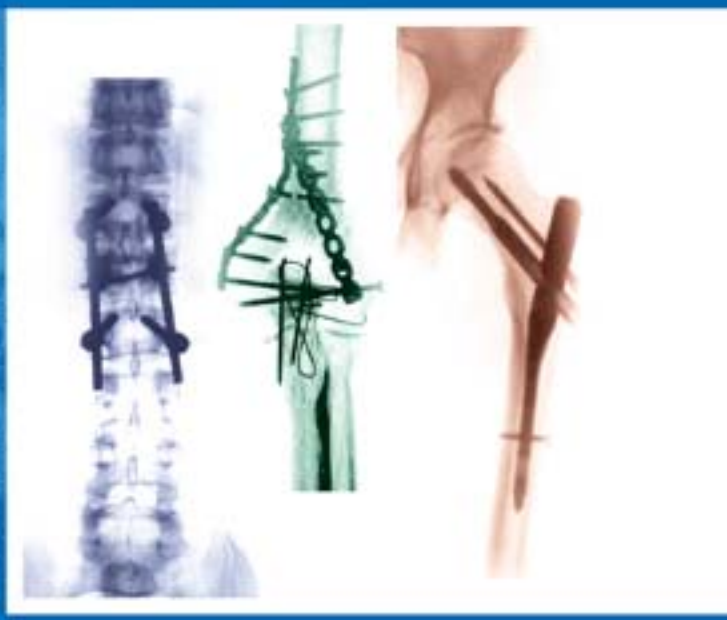
Weigel
Nerlich



Praxisbuch Unfallchirurgie

2. Auflage

Springer

Bernhard Weigel

Michael L. Nerlich

(Hrsg.)

Praxisbuch Unfallchirurgie

2. Auflage

Bernhard Weigel
Michael L. Nerlich
(Hrsg.)

Praxisbuch Unfallchirurgie

2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage

Mit 3580 Einzelabbildungen und 161 Tabellen

Springer

Dr. med. Bernhard Weigel
Unfallchirurgie, Sportmedizin
Landgestütstraße 8
85435 Erding

Prof. Dr. med. Michael L. Nerlich
Universitätsklinikum Regensburg
Unfallchirurgische Abteilung
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
93053 Regensburg

ISBN 978-3-642-10788-7 2. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer Medizin
Springer-Verlag GmbH
Ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Büro f. Wissensvermittlung Kathrin Nühse, Mannheim; Dr. Fritz Kraemer, Heidelberg
Projektmanagement: Büro f. Wissensvermittlung Kathrin Nühse, Mannheim; Hiltrud Wilbertz, Heidelberg
Lektorat: Dr. Susanne Meinrenken, Bremen; Büro f. Wissensvermittlung Kathrin Nühse, Mannheim
Zeichnungen: Albert R. Gattung u. Regine Gattung- Petith, Edingen-Neckarhausen; Grafik Hanns, Gundelfingen; Bodo Gsedl, Taufkirchen
Einbandgestaltung: deblik, Berlin
Satz und Repro: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

SPIN 11541677
Gedruckt auf säurefreiem Papier 106/2111 wi 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur 2. Auflage

Im Vorwort zur 1. Auflage heißt es, unser »Praxisbuch Unfallchirurgie« soll dem angehenden genauso wie dem bereits erfahrenen Unfallchirurgen bei der täglichen Arbeit dienen. Anscheinend haben wir dieses Ziel erreicht. Namhafte Vertreter unseres Fachs haben das Buch rezensiert und durchwegs gut beurteilt. Schon nach drei Jahren waren die gesamte erste Auflage und ein Nachdruck vergriffen. Deshalb haben wir zusammen mit den Verantwortlichen des Springer-Verlags beschlossen, eine zweite Auflage herauszubringen.

Bei der Überarbeitung haben wir einiges verändert. Viele Kapitel wurden umfangreich ergänzt und sind zum Teil um ein Drittel ihres ursprünglichen Textvolumens gewachsen. Auch die Abbildungen wurden nicht nur farbiger, sondern wesentlich zahlreicher. Das Buch ist jetzt in drei Hauptteile gegliedert:

I. Unfallchirurgie der Körperregionen,
II. Unfallchirurgie spezieller Verletzungen,
III. Zusatzwissen für den Klinikalltag.

Das Register wurde vollständig neu erstellt, damit der Leser auch tatsächlich findet, was er sucht.

Andererseits haben wir auf all das verzichtet, was heutzutage beim täglichen Umgang mit dem Computer stets aktualisiert zur Verfügung steht: Klinikorganisation, Qualitätsmanagement, Klassifikation von Frakturen, ICPM- und ICD- Nummern und die Adressen. Dadurch wurde viel Platz frei, sodass wir den gesamten Stoff, wie gewohnt, ausführlich darstellen konnten.

In unserem Beruf kommt man nur weit, wenn man sich ihm mit »Haut und Haar« verschreibt. Teilzeitchirurgie funktioniert nicht. Jeder von uns würde sich selbst ja auch nur von einem erfahrenen Operateur versorgen lassen – je erfahrener der Chirurg, umso komplikationsärmer die Ergebnisse. Aber viel Erfahrung heißt viel Arbeit. Unser Alltag allerdings ist in der Regel so ausgefüllt, dass kaum Muße bleibt, Wissenslücken zu schließen. »Mut zur Lücke« ist in unserem Fach jedoch ein schlechter Rat. Wir wissen, dass der Alltag viel stressfreier wird, wenn man auf jede OP gut vorbereitet ist. Doch wie oft ist es jedem von uns schon passiert, dass er überraschend zu einer OP gerufen wurde und keine Gelegenheit mehr hatte, sich vorher noch einmal zu belesen und den bevorstehenden Eingriff kurz vor seinem geistigen Auge durchzugehen, weil das passende Schriftstück, in dem man die OP vor längerer Zeit mal so schön dargestellt fand, gerade nicht greifbar war?

Das sind die Gründe, warum wir das Konzept der Praxisnähe, das bei unseren Lesern so gut angekommen ist, beibehalten und vertieft haben. In der nun vorliegenden 2. Auflage ist eine noch größere Auswahl verschiedener Eingriffe enthalten. Die Beschreibungen sind möglichst anschaulich gestaltet, damit sie als Merkhilfe für die jeweilige OP dienen können und gleichzeitig typische Gefahren und Fehlerquellen in Erinnerung gerufen werden.

So gerüstet soll unser Praxisbuch weiterhin dabei helfen, Wissenslücken schnell zu schließen, und - wenn es Muße gibt – sich über ganze Themenkreise eingehend zu informieren.

Bernhard Weigel
Michael Nerlich

Erding im März 2011
Universität Regensburg

Danksagung

- Unser Dank gilt den Rezensenten der 1. Auflage, die durch ihr durchweg positives Votum, unserem Buch zu einem guten Start verholfen haben.
- Besonderen Dank an Herrn Dr. Michael Bedall aus Neustadt bei Coburg, der in seiner Eigenschaft als Arzt und Lektor das Buch bei der Vorbereitung auf seine Facharztprüfung als Außenstehender mit »frischen Augen« korrekturgelesen hat.
- Ein herzlicher Dank gilt Herrn Mollowitz für die Genehmigung, die Tabellen zu den aufgeführten Beeinträchtigungen und den ihnen zugeordneten Graden der MdE, GdB oder Invalidität aus dem Buch »Der Unfallmann« (Mollowitz, 1998) in diesem Buch darstellen zu dürfen.
- Vielen Dank auch an Frau Dr. Susanne Meinrenken, die den gesamten Text zusammen mit Frau Nühse lektoriert hat. Außerdem hat sie das Register sehr akribisch erstellt und dadurch einen ebenfalls sehr wichtigen Beitrag für die Qualität des Buches geleistet.
- Herrn Tobias Schaedla, TypoStudio Heidelberg, danken wir für die gelungene Seitengestaltung, die so Bild und Text ins rechte Licht rückt.
- Im Springer Verlag gilt unser Dank Frau Hiltrud Wilbertz und Herrn Dr. Fritz Kraemer für die kompetente Projektbetreuung.
- Unser persönlich größter Dank geht an die zuständige Lektorin Frau Kathrin Nühse, die uns bei der Herausgabe der 2. Auflage stets hilfreich zur Seite stand und in aller Stille sich nicht nur um den Text und die äußere Form, sondern auch um zahllose ebenso mühsame wie auch unverzichtbare Details gekümmert hat.

Ein wichtiger Hinweis:
Viele unserer Operationstechniken sind an spezielle Implantate und Instrumentarien gebunden und dadurch mit dem jeweiligen Hersteller verknüpft. Die Verfahren für die Versorgung spezieller Verletzungen der verschiedenen Körperregionen sind zahlreich und ähneln sich. Aus Platzgründen konnten aus der Vielzahl der Methoden immer nur Beispiele herausgegriffen und beschrieben werden. Dabei wurden diejenigen Verfahren für eine detaillierte Beschreibung ausgewählt, mit denen der jeweilige Autor am besten vertraut war.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Unfallchirurgie der Körperregionen

1 Kopf und Hals ... 3
V. Bonkowsky, R. Dammer, O.-W. Ullrich, B. Weigel

1.1 Basiswissen zum Schädel-Hirn-Trauma ... 4
1.1.1 Anatomie ... 4
1.1.2 Leitsymptome ... 4
1.1.3 Klassifikation ... 5
1.2 Versorgung des Schädel-Hirn-Traumas ... 6
1.2.1 Präklinische Versorgung (am Unfallort und während des Transports) ... 6
1.2.2 Klinische Akutversorgung ... 9
1.2.3 Spezielle intensivmedizinische Versorgung ... 13
1.2.4 Operative Behandlung intrakranieller Raumforderungen ... 15
1.2.5 Sonstige Verletzungsfolgen ... 19
1.3 Frakturen des Schädeldachs ... 21
1.3.1 Grundlagen ... 21
1.3.2 Versorgung je nach Frakturform ... 21
1.4 Rhinobasale Frakturen ... 22
1.4.1 Anatomie und Terminologie ... 22
1.4.2 Standortbestimmung ... 22
1.4.3 Terminologie ... 23
1.4.4 Klinik und Diagnostik ... 23
1.4.5 Therapie ... 25
1.4.6 Komplikationen ... 28
1.5 Otobasale Frakturen (Felsenbeinfrakturen) ... 28
1.5.1 Anatomie ... 28
1.5.2 Klinik und Diagnostik ... 29
1.5.3 Therapie ... 30
1.6 Mittelgesichtsfrakturen ... 32
1.6.1 Basiswissen ... 32
1.6.2 Zentrale und zentrolaterale Mittelgesichtsfrakturen ... 37
1.6.3 Frakturen des Nasenskeletts und nasoorbitoethmoidalen Komplexes ... 38
1.6.4 Orbitafrakturen ... 40
1.6.5 Laterale Mittelgesichtsfrakturen ... 43
1.6.6 Komplexe Mittelgesichtsfrakturen ... 44
1.7 Frakturen und Luxationen des Unterkiefers ... 44
1.7.1 Frakturen ... 44
1.7.2 Kiefergelenkluxationen ... 50
1.8 Alveolarfortsatzfrakturen ... 51
1.9 Frakturen und Luxationen der Zähne ... 51
1.10 Panfaziale Frakturen ... 52
1.11 Besonderheiten der Gesichtsschädelfrakturen im Wachstumsalter ... 53
1.11.1 Anatomische und physiologische Besonderheiten ... 53
1.11.2 Mittelgesichtsfrakturen ... 53
1.11.3 Gelenkfortsatzfrakturen ... 53
1.11.4 Unterkieferfrakturen ... 53
1.11.5 Milchzahnfrakturen und -luxationen ... 53
1.12 Weichteilverletzungen ... 54
1.12.1 Nase und Ohr ... 54
1.12.2 Periorale Region und Mundhöhle ... 56
1.12.3 Verletzungen des äußeren Halses ... 56
1.12.4 Stumpfe Kehlkopftraumen ... 57
1.12.5 Verletzungen der oberen Speisewege ... 59
1.13 Verletzungen des Auges, der Lider und der Tränenwege ... 59
1.13.1 N. opticus ... 59
1.13.2 Augenlider ... 61
1.13.3 Tränenwege ... 61
1.14 Komplikationen nach Gesichtsschädelverletzungen ... 61
1.14.1 Aus Sicht des HNO-Arztes ... 61
1.14.2 Aus Sicht des MKG-Chirurgen ... 62
1.14.3 Spätfolgen disloziert verheilter Frakturen – Sekundäroperationen ... 62
1.15 Notfallmaßnahmen ... 63
1.15.1 HNO-ärztliche Erste Hilfe ... 63
1.15.2 MKG-chirurgische Notfallmaßnahmen ... 64
Literatur ... 64

2 Thorax ... 67
H. Aebert

2.1 Basiswissen ... 68
2.1.1 Anatomie ... 68
2.1.2 Leitsymptome ... 68
2.1.3 Diagnostik ... 69
2.1.4 Anästhesie für Thoraxoperationen ... 71
2.1.5 Lagerung ... 71
2.1.6 Zugangswege ... 72
2.2 Thoraxwand ... 77
2.2.1 Stumpfe Traumen ... 77
2.2.2 Offene Thoraxverletzungen ... 79
2.3 Zwerchfellruptur ... 81
2.4 Verletzungen der Lunge und großen Luftwege ... 83
2.4.1 Lunge ... 83
2.4.2 Große Luftwege ... 88
2.4.3 Nachbehandlung nach Lungenoperationen ... 89
2.5 Herz und intraperikardiale große Gefäße ... 89
2.5.1 Herzkontusion ... 89
2.5.2 Penetrierende Herzverletzungen ... 89
2.6 Verletzungen der intrathorakalen Gefäße ... 92
2.6.1 Aortenruptur ... 92
2.6.2 Andere intrathorakale Blutgefäßverletzungen ... 94
2.7 Thorakale Ösophagusverletzungen ... 95
2.8 Verletzungen des Ductus thoracicus ... 95
Literatur ... 96

3 Abdomen ... 97
C. Zülke, S. Rüth, W. Rößler, M. Anthuber, W.F. Wieland

3.1 Basiswissen ... 98
3.1.1 Anatomie ... 98
3.1.2 Epidemiologie ... 101
3.1.3 Leitsymptome ... 102
3.1.4 Diagnostik ... 102

3.1.5 Übersehene Verletzungen (missed injuries)/verzögerte Diagnosestellung (delayed diagnosis) 106
3.1.6 Nichtoperatives Management von Abdominalverletzungen 108
3.1.7 Damage Control Surgery 108
3.1.8 Abdominelles Kompartment-Syndrom 110
3.2 Bauchwand 111
3.2.1 Stumpfe Verletzung der Bauchwand 111
3.2.2 Penetrierende Verletzung der Bauchwand 112
3.3 Parenchymatöse Organe 114
3.3.1 Milz 114
3.3.2 Leber 119
3.3.3 Pankreas 127
3.4 Hohlorgane 130
3.4.1 Magen 130
3.4.2 Dünndarm 133
3.4.3 Dickdarm 134
3.4.4 Rektum 136
3.5 Urogenitalorgane 137
3.5.1 Niere 137
3.5.2 Harnleiter 142
3.5.3 Blase 144
3.5.4 Harnröhre 146
3.5.5 Penis 148
3.5.6 Hoden und Skrotum 149
3.5.7 Weibliches Genitale 150
3.5.8 Standard für den Einsatz von Blasenkathetern 151
Literatur 153

4 Wirbelsäule 157
B. Weigel, C. Neumann
4.1 Basiswissen 158
4.1.1 Anatomie und Biomechanik 158
4.1.2 Leitsymptome 160
4.1.3 Diagnostik 161
4.1.4 Präklinische Versorgung 162
4.1.5 Klinische Versorgung 163
4.2 Querschnittslähmung 168
4.3 Verletzungen der Halswirbelsäule 172
4.3.1 Distorsion 172
4.3.2 Traumatischer Diskusprolaps 173
4.3.3 Frakturen der Okzipitalkondylen 174
4.3.4 Atlantookzipitale Dislokationen 176
4.3.5 Frakturen des Atlas 178
4.3.6 Atlantoaxiale Dislokationen 180
4.3.7 Frakturen des Axis 184
4.3.8 Spezielle Verletzungen der unteren Halswirbelsäule 190
4.3.9 Weitere Operationsverfahren an der Halswirbelsäule 193
4.3.10 Tübinger Nachbehandlungskonzept 199
4.4 Verletzungen der Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule 200
4.4.1 Epidemiologie, Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation 200
4.4.2 Therapie 203
4.5 Spezielle Instabilitäten 220
4.5.1 Wirbelsäulenmetastasen 220
4.5.2 Instabilität bei Morbus Bechterew 222
4.5.3 Spondylitis, Spondylodiszitis 223
4.5.4 Osteoporose 226
Literatur 228

5 Schulter 233
F. Hoffmann, B. Weigel, S. Coenen
5.1 Basiswissen 234
5.1.1 Anatomie 234
5.1.2 Leitsymptome 235
5.1.3 Diagnostik 235
5.2 Verletzungen der Klavikula 239
5.2.1 Frakturen 239
5.2.2 Luxationen 248
5.3 Skapulaverletzungen 257
5.3.1 Skapulafrakturen 257
5.3.2 Nervenkompressionssyndrom: Incisura-scapulae-Syndrom 261
5.4 Kapsel-Band-Läsionen 262
5.4.1 Rotatorenmanschettenruptur 262
5.4.2 Impingement-Syndrom 267
5.4.3 Tendinosis calcarea 269
5.4.4 Luxationen und Instabilitäten 270
5.4.5 Ruptur der langen Bizepssehne 279
5.4.6 SLAP-Läsion 280
5.5 Humeruskopffrakturen 281
5.5.1 Ätiologie, Klinik und Diagnostik 281
5.5.2 Therapie 282
5.5.3 Nachbehandlung und Prognose 295
5.6 Plexusläsionen 295
5.6.1 Traumatische Läsionen des Plexus cervicobrachialis 295
5.6.2 Kompressionsbedingte Läsionen des Plexus cervicobrachialis 297
Literatur 299

6 Arm 303
B. Weigel, R. Baumgartner
6.1 Basiswissen 304
6.1.1 Anatomie 304
6.1.2 Leitsymptome 306
6.2 Oberarm 306
6.2.1 Humerusschaftfrakturen 306
6.2.2 Distale Humerusfrakturen 314
6.2.3 Weichteilläsionen 320
6.3 Ellenbogengelenk 321
6.3.1 Luxation 321
6.3.2 Arthroskopie 330
6.3.3 Floating elbow 334
6.3.4 Posttraumatische Gelenksteife und heterotope Ossifikation 334
6.3.5 Weichteilläsionen 338
6.4 Unterarm 342
6.4.1 Radiuskopf- und Radiushalsfrakturen 342
6.4.2 Olekranonfrakturen 346
6.4.3 Radius- und Ulnaschaftfrakturen 350
6.4.4 Distale Radiusfraktur 356
6.4.5 Verletzungen des distalen Radioulnargelenks (DRUG) 372
6.4.6 Weichteilläsionen 373
6.5 Amputationen an der oberen Extremität 377
6.5.1 Grundlagen 377
6.5.2 Allgemeine Operationstechnik 378
6.5.3 Stumpfbildung 379
Literatur 382

7 Hand 387
C. Schuster
7.1 Basiswissen 388
7.1.1 Anatomische Besonderheiten 388
7.1.2 Leitsymptome 389
7.1.3 Diagnostik 389
7.1.4 Standardvorgehen bei handchirurgischen Eingriffen 390
7.1.5 Hautinzisionen an der Hand 390
7.2 Handgelenk und Handwurzel 390
7.2.1 Skaphoidfraktur 390
7.2.2 Skaphoidpseudarthrose 394
7.2.3 Übrige Handwurzelfrakturen 398
7.2.4 Karpale Luxation und Luxationsfraktur 400
7.2.5 Karpale Instabilität 403
7.2.6 Karpaltunnelsyndrom 408
7.2.7 Guyon-Logen-Syndrom 411
7.3 Mittelhand 412
7.3.1 Mittelhandfrakturen 412
7.3.2 Kompartment-Syndrom der Hand 418
7.4 Finger 419
7.4.1 Verletzungen des Nagels 419
7.4.2 Frakturen der Finger 420
7.4.3 Kapsel-Band-Verletzungen 424
7.5 Sehnen, Bänder, Faszien 428
7.5.1 Beugesehnenruptur 428
7.5.2 Strecksehnenruptur 434
7.5.3 Tendovaginitiden 439
7.5.4 Morbus Dupuytren 440
7.6 Weichteilverletzungen 443
7.6.1 Grundlagen 443
7.6.2 Freie Hauttransplantate 444
7.6.3 Lokale Schwenk- oder Verschiebelappen 445
7.6.4 Gestielte Nah- und Fernlappen 449
7.6.5 Vaskulär und neurovaskulär gestielte Insellappen 452
7.6.6 Freie Hautlappen mit mikrovaskulären Anastomosen 453
7.7 Nervenverletzungen 454
7.7.1 Grundlagen 454
7.7.2 Operative Therapie 455
7.7.3 Nachbehandlung und Prognose 457
7.8 Amputationsverletzungen 457
7.9 Infektionen der Hand 461
7.9.1 Grundlagen 461
7.9.2 Spezielle Infektionen 463
Literatur 466

8 Becken 469
T. Pohlemann, B. Weigel, M. Maghsudi
8.1 Basiswissen 470
8.1.1 Anatomie 470
8.2 Beckenringverletzungen 475
8.2.1 Ätiologie, Klinik und Diagnostik 475
8.2.2 Klassifikation und Indikationsstellung 477
8.2.3 Therapie 479
8.2.4 Komplikationen und Prognose 489
8.3 Acetabulumfrakturen 489
8.3.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation 489
8.3.2 Therapie 491
8.3.3 Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose 501
Literatur 502

9 Hüfte und Oberschenkel 505
B. Weigel, M. Leunig, R. Ganz
9.1 Basiswissen 506
9.1.1 Anatomie 506
9.1.2 Diagnostik 508
9.2 Hüftgelenk 509
9.2.1 Hüftluxationen 509
9.2.2 Hüftkopffrakturen 512
9.2.3 Femoroacetabuläres Impingement 514
9.2.4 Hüftarthroskopie 517
9.3 Proximales Femur 520
9.3.1 Schenkelhalsfrakturen 520
9.3.2 Trochantere Frakturen 538
9.4 Femurschaftfrakturen 549
9.4.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation 549
9.4.2 Therapie 550
9.4.3 Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose 565
9.5 Distale Femurfrakturen 567
9.5.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation 567
9.5.2 Therapie 567
9.5.3 Nachbehandlung und Komplikationen 574
9.6 Periprothetische Frakturen 575
9.7 Weichteile 579
9.7.1 Weichteilverletzungen und -überlastungen 579
9.7.2 Kompartment-Syndrom 582
Literatur 583

10 Knie und Unterschenkel 587
B. Weigel, J. Zellner, P. Angele
10.1 Basiswissen 588
10.1.1 Anatomie 588
10.1.2 Diagnostik 591
10.2 Kniegelenk 591
10.2.1 Menisken 591
10.2.2 Kapsel-Band-Apparat 598
10.2.3 Streckapparat 618
10.2.4 Gelenkknorpel 635
10.3 Spezielle Verfahren 639
10.3.1 Umstellungsosteotomien 639
10.3.2 Endoprothetik 643
10.4 Unterschenkel 651
10.4.1 Tibiakopffrakturen 651
10.4.2 Unterschenkelschaftfrakturen 661
10.4.3 Distale Tibiafrakturen 678
10.4.4 Amputationen 680
Literatur 686

11 Sprunggelenk und Fuß 691
S. Rammelt, H. Zwipp
11.1 Grundlagen 692
11.1.1 Anatomie und Biomechanik 692
11.1.2 Komplextrauma des Fußes 695
11.1.3 Amputationstechniken am Fuß 697
11.2 Frakturen und Luxationsfrakturen 699
11.2.1 Malleolarfrakturen 699
11.2.2 Frakturen des Pilon tibiale 705
11.2.3 Talusfrakturen 709
11.2.4 Kalkaneusfrakturen 714
11.2.5 Chopart-Luxationen und Luxationsfrakturen 719
11.2.6 Lisfranc-Luxationen und Luxationsfrakturen 723
11.2.7 Metatarsalefrakturen 727

11.2.8 Zehenfrakturen ... 730
11.3 Band- und Sehnenverletzungen ... 731
11.3.1 Distale tibiofibulare Syndesmose ... 731
11.3.2 Laterale Instabilität im oberen Sprunggelenk ... 733
11.3.3 Mediale Instabilität im oberen Sprunggelenk ... 738
11.3.4 Subtalare Instabilität ... 738
11.3.5 Kalkaneokuboidale Instabilität ... 741
11.3.6 Metatarsophalangeale und interphalangeale Luxationen ... 742
11.3.7 Achillessehnenrupturen ... 743
11.4 Rekonstruktive Fußchirurgie ... 746
11.4.1 Posttraumatische Fehlstellungen ... 746
11.4.2 Ausgewählte degenerative Vorfußprobleme ... 758
Literatur ... 764

Teil II Unfallchirurgie spezieller Verletzungen

12 Frakturen im Kindesalter ... 773
P. P. Schmittenbecher, C. Menzel
12.1 Basiswissen ... 774
12.1.1 Frakturformen und Klassifikation ... 774
12.1.2 Frakturheilung und Korrekturmechanismen ... 774
12.1.3 Grundsätzliches zur Diagnostik ... 777
12.1.4 Grundsätzliches zur Therapie ... 778
12.1.5 Mehrfachverletzungen ... 779
12.2 Spezieller Teil ... 781
12.2.1 Schädelfrakturen ... 781
12.2.2 Wirbelfrakturen ... 782
12.2.3 Klavikulafrakturen ... 784
12.2.4 Proximale Humerus- und Humerusschaftfrakturen ... 786
12.2.5 Ellenbogengelenkverletzungen ... 789
12.2.6 Unterarmschaftfrakturen ... 797
12.2.7 Distale Unterarmfrakturen ... 800
12.2.8 Handverletzungen ... 802
12.2.9 Beckenfrakturen ... 804
12.2.10 Schenkelhalsfrakturen ... 805
12.2.11 Oberschenkelschaftfrakturen ... 807
12.2.12 Distale Oberschenkelfrakturen ... 810
12.2.13 Knieverletzungen ... 812
12.2.14 Frakturen am Unterschenkel ... 814
12.2.15 Distale Unterschenkelfrakturen, Malleolarfrakturen und Übergangsfrakturen ... 818
12.2.16 Fußverletzungen ... 821
Literatur ... 824

13 Gefäßverletzungen ... 827
P. Vogel, P. Kasprzak
13.1 Basiswissen ... 828
13.1.1 Allgemeines ... 828
13.1.2 Osteosynthesezeitpunkt ... 828
13.1.3 Infektion ... 828
13.1.4 Fasziotomie ... 828
13.1.5 Antikoagulation ... 829
13.1.6 Nahttechniken ... 829
13.1.7 Rekonstruktionstechniken ... 830
13.2 Hals ... 831
13.2.1 A. carotis ... 831
13.2.2 A. vertebralis ... 835
13.3 Obere Extremität ... 836
13.3.1 Allgemeines ... 836
13.3.2 Truncus brachiocephalicus ... 837
13.3.3 A. subclavia ... 837
13.3.4 A. axillaris ... 838
13.3.5 A. brachialis ... 839
13.3.6 Aa. radialis et ulnaris ... 840
13.4 Bauch ... 840
13.4.1 Aorta ... 840
13.4.2 V. cava und Lebervenen ... 842
13.4.3 A. renalis ... 843
13.4.4 Viszeralarterien ... 845
13.5 Becken ... 846
13.5.1 Iliakalgefäße ... 846
13.6 Untere Extremität ... 847
13.6.1 A. femoralis communis und A. femoralis ... 847
13.6.2 A. poplitea ... 848
13.6.3 Aa. crurales ... 849
13.7 Folgezustände ... 850
Literatur ... 851

14 Infektionen ... 853
J. Mattes, B. Weigel
14.1 Basiswissen ... 854
14.1.1 Physiologie der Wundheilung ... 854
14.1.2 Klassifikationen ... 855
14.1.3 Schutzimpfungen ... 855
14.1.4 Prävention von Wundinfekten ... 860
14.1.5 Umgang mit Antibiotika ... 863
14.1.6 Multiresistente Erreger (MRE) ... 866
14.1.7 Chirurgische Techniken zur Infektbekämpfung ... 867
14.2 Weichteilinfektion ... 868
14.2.1 Grundlagen ... 868
14.2.2 Infizierte Verletzung ... 869
14.2.3 Postoperative Wundinfektion ... 869
14.2.4 Abszess ... 870
14.2.5 Erysipel ... 871
14.2.6 Phlegmone ... 871
14.2.7 Diabetischer Fuß ... 872
14.2.8 Bursitis ... 872
14.2.9 Myositis, Fasziitis ... 874
14.2.10 Gasbrand ... 875
14.3 Infektion von Knochen und Gelenken ... 875
14.3.1 Versorgung offener Frakturen ... 875
14.3.2 Osteitis, Osteomyelitis ... 876
14.3.3 Empyem ... 880
14.3.4 Infizierte Endoprothese ... 881
Literatur ... 882

15 Polytrauma ... 885
W. Jakob, B. Weigel
15.1 Basiswissen ... 886
15.2 Präklinische Versorgung ... 886
15.2.1 Struktur der präklinischen Versorgung ... 886
15.2.2 Vorgehen am Notfallort ... 886
15.3 Klinische Versorgung ... 895
15.3.1 Strukturelle Voraussetzungen ... 895
15.3.2 Zeitlicher Ablauf ... 897
15.4 Reanimation ... 904
15.5 Ethische Fragen ... 906
Literatur ... 907

16 Intensivmedizin 909
T. Bein
16.1 Pathogenese des Organversagens 910
16.1.1 Grundlagen und Definition 910
16.1.2 Mediatoren und Zytokine 910
16.1.3 Pathophysiologie der Organe nach Schock und generalisierter Inflammation 910
16.1.4 Das posttraumatische Lungenversagen 911
16.1.5 Klinische Manifestation von Sepsis und SIRS 911
16.2 Prävention/Therapie des Organversagens 912
16.2.1 Chirurgische Herdsanierung und Fokuseradikation 912
16.2.2 Damage Control 912
16.2.3 Grundzüge der Antibiotikatherapie 912
16.2.4 Volumentherapie 914
16.2.5 Vasoaktive und positiv-inotrope Substanzen 914
16.2.6 Management des Lungenversagens 915
16.2.7 Lungenprotektive Beatmung 916
16.2.8 Prävention und Behandlung des akuten Nierenversagens – Nierenersatztherapie 917
16.2.9 Ernährungstherapie nach Trauma – während Sepsis 918
16.2.10 Neuere Ansätze zur Immunmodulation in der Sepsis 920
16.3 Prognose des Organversagens 920
16.3.1 Lebensqualität und Spätschäden nach Intensivtherapie 921
Literatur 921

17 Komplikationen 923
F. Müller
17.1 Allgemeine Komplikationen in der Traumatologie 924
17.1.1 Dekubitus 924
17.1.2 Harnweginfekt 925
17.1.3 Nachblutung und Hämatom 927
17.1.4 Kontraktur 927
17.1.5 Magen-Darm-Atonie 928
17.1.6 Hypertrophe Narbe und Keloid 929
17.1.7 Ödem 930
17.1.8 Phlebothrombose 931
17.1.9 Postoperative Pneumonie 935
17.1.10 Wundheilungsstörung 937
17.2 Spezielle Komplikationen in der Traumatologie 939
17.2.1 Algodystrophie 939
17.2.2 Fettembolie und Fettemboliesyndrom 941
17.2.3 Heterotope Ossifikation 943
17.2.4 Kompartment-Syndrom 944
17.2.5 Pseudarthrose 949
Literatur 952

18 Analyse und Korrektur von Deformitäten der oberen und unteren Extremität 957
W. Strecker
18.1 Basiswissen 958
18.2 Untere Extremitäten 958
18.2.1 Definitionen und Normalwerte 958
18.2.2 Methodik 960
18.2.3 Korrekturosteotomie 966
18.2.4 Osteosynthesetechniken 974
18.2.5 Spezielle Deformitäten 975
18.3 Obere Extremitäten 1001
18.3.1 Definitionen und Normalwerte 1001
18.3.2 Methodik 1002
18.3.3 Korrekturosteotomie 1005
18.3.4 Osteosynthesetechniken 1005
18.3.5 Spezielle Deformitäten 1007
Literatur 1012

Teil III Zusatzwissen für den Klinikalltag

19 Klinische Untersuchungstests 1015
F. Müller, C. Schuster, B. Weigel
19.1 Wirbelsäule 1016
19.2 Thorax 1018
19.3 Schultergürtel 1018
19.3.1 Akromioklavikulargelenk 1019
19.3.2 Impingement 1019
19.3.3 Rotatorenmanschette 1020
19.3.4 Lange Bizepssehne 1022
19.3.5 Instabilität 1022
19.4 Ellenbogen 1024
19.4.1 Epicondylitis 1024
19.4.2 Instabilität 1025
19.4.3 Engpass-Syndrome 1025
19.5 Hand 1025
19.5.1 Instabilität der Handwurzel 1025
19.5.2 Handfunktion 1026
19.5.3 Engpass-Syndrome 1027
19.5.4 Durchblutung der Hand 1029
19.6 Beckengürtel 1030
19.7 Hüftgelenk 1032
19.8 Oberschenkel 1034
19.9 Kniegelenk 1034
19.9.1 Patella 1034
19.9.2 Meniskus 1035
19.9.3 Instabilität 1037
19.10 Unterschenkel 1042
19.11 Fuß 1042
19.11.1 Achillessehne 1042
19.11.2 Sprunggelenk 1043
Literatur 1044

20 Sonografie der Stütz- und Bewegungsorgane 1045
W. Hartung, K. Lerch
20.1 Basiswissen 1046
20.2 Gelenksonografie 1047
20.2.1 Glenohumeralgelenk 1047
20.2.2 Akromioklavikulargelenk und Klavikula 1054
20.2.3 Sternoklavikulargelenk 1055
20.2.4 Ellenbogengelenk 1056
20.2.5 Hüftgelenk 1059
20.2.6 Kniegelenk 1061
20.2.7 Kleine Gelenke 1066
20.3 Weichteilsonografie 1069
20.3.1 Muskeln 1069
20.3.2 Sehnen 1071
20.3.3 Bänder 1074

20.3.4 Fremdkörper ... 1074
20.3.5 Abszesse ... 1074
20.3.6 Gewebeneubildungen ... 1076
20.4 Knochenneubildung, Frakturheilung ... 1077
20.5 Sonografisch gesteuerte Punktion und Injektion ... 1078
20.5.1 Indikation ... 1078
20.5.2 Technik ... 1078
20.6 Ausblick und neue Entwicklungen ... 1079
20.6.1 Intraoperative Myelonsonografie ... 1079
20.6.2 3 D-Sonografie/Elastografie/Fusion Imaging ... 1080
Literatur ... 1081

21 Standardzugänge in der Traumatologie ... 1083
B. Weigel, H. Aebert, M. Leunig, R. Ganz, S. Rammelt, C. Schuster, H. Zwipp
21.1 Basiswissen ... 1084
21.1.1 Häufige Lagerungsarten ... 1084
21.2 Kopf und Hals ... 1085
21.3 Thorax ... 1086
21.3.1 Minithorakotomie ... 1086
21.3.2 Sternotomie ... 1086
21.3.3 Laterale Thorakotomie ... 1088
21.4 Abdomen ... 1089
21.4.1 Mediane Ober- und Unterbauchlaparotomie ... 1089
21.4.2 Erweiterte mediane Unterbauchlaparotomie ... 1090
21.4.3 Erweiterte quere Oberbauchlaparotomie ... 1090
21.4.4 Thorakale Erweiterungen ... 1090
21.4.5 Flankenschnitt ... 1090
21.5 Wirbelsäule ... 1091
21.5.1 Halswirbelsäule ... 1091
21.5.2 Brust- und Lendenwirbelsäule ... 1095
21.6 Schulter ... 1101
21.6.1 Schultergürtel ... 1101
21.6.2 Schultergelenk ... 1103
21.7 Arm ... 1106
21.7.1 Humerus ... 1106
21.7.2 Ellenbogengelenk ... 1107
21.7.3 Radius ... 1110
21.7.4 Ulna ... 1114
21.8 Hand ... 1114
21.8.1 Handgelenk, Handwurzel ... 1114
21.8.2 Hohlhand und Finger ... 1116
21.9 Becken ... 1117
21.9.1 Beckenring ... 1117
21.9.2 Knochenentnahme am Beckenkamm ... 1123
21.10 Hüfte und Oberschenkel ... 1125
21.10.1 Hüftgelenk ... 1125
21.10.2 Femur ... 1129
21.11 Knie und Unterschenkel ... 1131
21.11.1 Kniegelenk ... 1131
21.11.2 Unterschenkel ... 1133
21.12 Sprunggelenk und Fuß ... 1134
21.12.1 Sprunggelenk ... 1134
21.12.2 Fuß ... 1136
Literatur ... 1142

22 Chirurgisches Handwerk ... 1143
B. Weigel
22.1 Weichteilchirurgie ... 1144
22.1.1 Regionalanästhesie ... 1144
22.1.2 Nahttechniken ... 1145
22.1.3 Knüpftechniken ... 1155
22.1.4 Wundversorgung ... 1162
22.1.5 Wundverschluss ... 1165
22.1.6 Drainagen ... 1166
22.2 Knochenchirurgie ... 1166
22.2.1 Knochenheilung ... 1166
22.2.2 Schrauben, Platten ... 1167
22.2.3 Verriegelung von Marknägeln ... 1172
22.3 Implantatentfernung ... 1172
22.3.1 Kirschner-Drähte ... 1172
22.3.2 Schrauben ... 1173
22.3.3 Platten ... 1173
22.3.4 Fixateur-externe-Pins ... 1174
Literatur ... 1174

23 Begutachtung ... 1175
B. Weigel
23.1 Basiswissen ... 1176
23.1.1 Aufgaben des Gutachters ... 1176
23.1.2 Aufgaben des Auftraggebers ... 1176
23.1.3 Äußere Form des Gutachtens ... 1176
23.2 Versicherungsarten ... 1176
23.2.1 Gesetzliche Unfallversicherung ... 1176
23.2.2 Gesetzliche Rentenversicherung ... 1183
23.2.3 Recht der Bundesversorgung ... 1183
23.2.4 Private Unfallversicherung ... 1184
23.3 Gutachtenaufbau ... 1184
23.3.1 Deckblatt ... 1184
23.3.2 Gliederung ... 1185
23.3.3 Vorgeschichte ... 1185
23.3.4 Untersuchung des Verletzten ... 1186
23.3.5 Beurteilung ... 1192
23.4 Gutachtenformen ... 1193
23.4.1 Freies Gutachten ... 1193
23.4.2 Formulargutachten ... 1196
23.4.3 Berufsgenossenschaftliche Gutachten ... 1196
23.4.4 Gerichtsgutachten ... 1198
23.4.5 Sozialgerichtsgutachten ... 1200
23.5 Praktische Tipps ... 1201
23.6 Rententabellen ... 1201
23.7 Anhang ... 1201
23.7.1 Durchschnittliche MdE-Sätze bzw. Invaliditätsgrade ... 1201
23.7.2 Tafeln der MdE-Sätze im Rahmen der gesetzlichen Unfallversicherung ... 1208
23.7.3 Rentensätze im Rahmen der gesetzlichen Unfallversicherung: Prüfung der Sensibilität ... 1212
Literatur ... 1212

Stichwortverzeichnis ... 1215

Autorenverzeichnis

Prof. Dr. med. Hermann Aebert
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
Eberhard-Karls-Universität
Hoppe-Seyler-Str. 3
D-72076 Tübingen

Prof. Dr. med. Peter Angele
Universitätsklinikum Regensburg
Abteilung für Unfallchirurgie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

Sportorthopaedicum Regensburg
Hildegard-von-Bingen-Str. 1
D-93053 Regensburg

Prof. Dr. med. Matthias Anthuber
Klinikum Augsburg
Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Stenglinstr. 2
D-86156 Augsburg

Prof. Dr. med. René Baumgartner
Chirurgie und Orthopädie FMH
Langwisstr. 14
CH-8126 Zumikon

Prof. Dr. med. Thomas Bein
Universitätsklinikum Regensburg
Klinik für Anästhesiologie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

Prof. Dr. med. Viktor Bonkowsky
Klinikum Nürnberg
Hals-Nasen-Ohren Klinik
Prof.-Ernst-Nathan-Str. 1
D-90419 Nürnberg

Dr. med. Stephan Coenen
Orthopädische Gemeinschaftspraxis
Münchner Str. 13
D-86899 Landsberg/Lech

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Ralf Dammer
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Plastische Operationen
Bahnhofplatz 1a
D-94315 Straubing

Prof. Dr. Reinhold D. Ganz
Professor Emeritus Universität Bern
Walchstr. 10
CH-3073 Gümligen

Dr. med. Wolfgang Hartung
Asklepios Klinikum Bad Abbach
Klinik für Rheumatologie und klin. Immunologie
Kaiser-Karl-V Allee 3
D-93077 Bad Abbach

Dr. med. Frank Hoffmann
RoMed Klinikum Rosenheim
Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie
Pettenkoferstr. 10
D-83022 Rosenheim

Dr. med. Wolfgang Jakob
HELIOS Klinikum Erfurt
Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Nordhäuser Str. 74
D-99089 Erfurt

PD Dr. med. Piotr Kasprzak
Universitätsklinikum Regensburg
Gefäßchirurgische Abteilung
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

PD Dr. med. Klaus Lerch
Klinikum Landshut
Orthopädische Klinik
Robert-Koch-Str. 1
D-84034 Landshut

PD Dr. med. Michael Leunig
Schulthess Klinik
Orthopädie
Lengghalde 2
CH-8008 Zürich

PD Dr. med. Mohammad Maghsudi, MHM
Sana Kliniken Ostholstein GmbH
Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie
Hospitalstr. 22
D-23701 Eutin

Dr. med. Johann Mattes
Facharzt für Mikrobiologie und Infektionsepidemiologie
Bahnhofstr. 32
D-84524 Neuötting

Dr. med. Claudia Menzel
Klinikum der Universität München
Dr. von Haunersches Kinderspital
Kinderchirurgie
Lindwurmstr. 4
D-80337 München

Dr. med. Franz Josef Müller
Krankenhaus Barmherzige Brüder
Abteilung Unfallchirurgie
Prüfeninger Str. 86
D-93049 Regensburg

Prof. Dr. med. Michael L. Nerlich
Universitätsklinikum Regensburg
Abteilung für Unfallchirurgie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

Dr. med. Carsten Neumann
Universitätsklinikum Regensburg
Abteilung für Unfallchirurgie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

Prof. Dr. med. Tim Pohlemann
Universitätsklinikum des Saarlandes
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Kirrberger Str., Gebäude 57
D-66421 Homburg/Saar

PD Dr. med. Stefan Rammelt
Universitätsklinikum »Carl Gustav Carus« der TU Dresden
Klinik und Poliklinik für Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Fetscherstr. 74
D-01307 Dresden

Prof. Dr. med. Wolfgang Rößler
Caritas-Krankenhaus St. Josef
Klinik und Poliklinik für Urologie
Landshuter Str. 65
D-93053 Regensburg

Dr. med. Stefan Rüth
Klinikum Augsburg
Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Stenglinstr. 2
D-86156 Augsburg

Prof. Dr. med. Peter Schmittenbecher
Städtisches Klinikum Karlsruhe
Kinderchirurgische Klinik
Moltkestr. 90
D-76133 Karlsruhe

Dr. med. Christian Schuster
Praxis im Gesundheitspark Schloß Kösching
Krankenhausstr. 21
D-85092 Kösching

Prof. Dr. med. Wolf Strecker
Klinikum am Bruderwald
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
Buger Str. 80
D-96049 Bamberg

Dr. med. Odo-Winfried Ullrich
Universitätsklinikum Regensburg
Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

PD Dr. med. Peter Vogel
Allgemeines Krankenhaus Celle
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie
Siemensplatz 2
D-29223 Celle

Dr. med. Bernhard Weigel
Unfallchirurgie, Sportmedizin
Landgestütstr. 8
D-85435 Erding

Prof. Dr. med. Wolfgang F. Wieland
Caritas-Krankenhaus St. Josef
Klinik und Poliklinik für Urologie
Landshuter Str. 65
D-93053 Regensburg

Dr. Johannes Zellner
Universitätsklinikum Regensburg
Abteilung für Unfallchirurgie
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg

PD Dr. med. Carl Zülke
Marienhospital Gelsenkirchen
Allgemein- und Viszeralchirurgie
Virchowstr. 122
D-45886 Gelsenkirchen

Prof. Dr. med. Hans Zwipp
Universitätsklinikum »Carl Gustav Carus« der TU Dresden
Klinik und Poliklinik für Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Fetscherstr. 74
D-01307 Dresden

Teil I Unfallchirurgie der Körperregionen

1 **Kopf und Hals – 3**
V. Bonkowsky, R. Dammer, O.-W. Ullrich, B. Weigel

2 **Thorax – 67**
H. Aebert

3 **Abdomen – 97**
C. Zülke, S. Rüth, W. Rößler, M. Anthuber, W.F. Wieland

4 **Wirbelsäule – 157**
B. Weigel, C. Neumann

5 **Schulter – 233**
F. Hoffmann, B. Weigel, S. Coenen

6 **Arm – 303**
B. Weigel, R. Baumgartner

7 **Hand – 387**
C. Schuster

8 **Becken – 469**
T. Pohlemann, B. Weigel, M. Maghsudi

9 **Hüfte und Oberschenkel – 505**
B. Weigel, M. Leunig, R. Ganz

10 **Knie und Unterschenkel – 587**
B. Weigel, J. Zellner, P. Angele

11 **Sprunggelenk und Fuß – 691**
S. Rammelt, H. Zwipp

Kopf und Hals

V. Bonkowsky, R. Dammer, O.-W. Ullrich, B. Weigel

1.1 Basiswissen zum Schädel-Hirn-Trauma – 4
1.2 Versorgung des Schädel-Hirn-Traumas – 6
1.3 Frakturen des Schädeldachs – 21
1.4 Rhinobasale Frakturen – 22
1.5 Otobasale Frakturen (Felsenbeinfrakturen) – 28
1.6 Mittelgesichtsfrakturen – 32
1.7 Frakturen und Luxationen des Unterkiefers – 44
1.8 Alveolarfortsatzfrakturen – 51
1.9 Frakturen und Luxationen der Zähne – 51
1.10 Panfaziale Frakturen – 52
1.11 Besonderheiten der Gesichtsschädelfrakturen im Wachstumsalter – 53
1.12 Weichteilverletzungen – 54
1.13 Verletzungen des Auges, der Lider und der Tränenwege – 59
1.14 Komplikationen nach Gesichtsschädelverletzungen – 61
1.15 Notfallmaßnahmen – 63
Literatur – 64

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_1,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

1.1 Basiswissen zum Schädel-Hirn-Trauma

O.-W. Ullrich, B. Weigel

1.1.1 Anatomie

Der knöcherne Schädel setzt sich aus den in ◘ Abb. 1.1 dargestellten Anteilen zusammen. Man unterscheidet Schädelkalotte und Schädelbasis, Mittelgesicht mit Nasennebenhöhlen und Unterkiefer.

Frontobasis

Die Frontobasis umfasst den vorderen Bereich der Schädelbasis mit dem Orbitadach beidseits, der Stirnhöhlenhinterwand, der Lamina cribrosa des Siebbeins sowie den Wänden der Siebbeinzellen und der Keilbeinhöhle. Die letztgenannten Partien werden auch als Rhinobasis bezeichnet.

Die Knochen sind teilweise – etwa im Bereich der Orbitawand – papierdünn und frakturieren bei lokaler Gewalteinwirkung schnell und ausgedehnt. Gerade bei frontobasalen Frakturen reißt auch die Dura leicht ein, weil sie hier ebenfalls sehr dünn ist und fest am Knochen haftet. Fließt über einen Duraeinriss Liquor in die Nase ab, spricht man von Rhinoliquorrhoe (s. unten).

Jochbein

Das Jochbein (Os zygomaticum) bildet eine Brücke zwischen Gesicht und seitlicher Schädelwand. Der Jochbogen besteht aus dem Processus temporalis des Jochbeins und dem Processus zygomaticus des Schläfenbeins (Os temporale); sie sind über die Sutura zygomaticotemporalis verbunden.

1.1.2 Leitsymptome

Bei der Frage, ob eine Gewalteinwirkung zu einem Schädel-Hirn-Trauma geführt hat und wie hoch der Grad weiterer Gefährdung anzunehmen ist, sind eine Reihe von Symptomen wegweisend (◘ Tab. 1.1).

◘ **Tab. 1.1** Leitsymptome des Schädel-Hirn-Traumas

Leitsymptom	(Verdachts-)Diagnose
Bewusstseinstrübung, Bewusstlosigkeit, Amnesie (retro-/anterograd: vor/nach dem Trauma)	Schädel-Hirn-Trauma
Kurze Bewusstlosigkeit (<5 min), Amnesie (retro- und anterograd), Übelkeit, Erbrechen, Kopfweh	Gehirnerschütterung (Commotio cerebri)
Mydriasis primär (sofort mit dem Trauma)	Bulbustrauma
	Direkte Schädigung des N. oculomotorius im Kerngebiet oder weiteren Verlauf, z.B. bei Mittelhirnkontusion oder Schädelbasisfraktur
Mydriasis sekundär (erst später nach dem Trauma)	Mittelhirneinklemmung durch zunehmende intrakranielle Raumforderung
Trauma mit kurzer Bewusstlosigkeit, dann »freies Intervall« mit relativ klarer Bewusstseinslage, dann rasche Verschlechterung der Bewusstseinslage bis zum Koma, ipsilaterale Mydriasis, kontralalerale Hemiparese mit Strecksynergismen, Mittelhirnsyndrom	Progrediente intrakranielle Blutung – am ehesten epidurales Hämatom – mit akuter Lebensgefahr: Eine möglichst rasche Intervention ist erforderlich
Trias: Bradykardie, Hypertonie, »Maschinenatmung« (neurogene Hyperventilation)	Cushing-Reaktion bei terminaler Hirnstammischämie durch dekompensierten intrakraniellen Druck
Rhinoliquorrhoe, uni- oder bilaterale Anosmie, Pneumatozephalus, Monokel- oder Brillenhämatom, rezidivierende Sinusitiden, Meningitis, Hirnabszess	Frontobasale Fraktur mit Duraeinriss oder Abriss der Fila olfactoria. Dies entspricht einer offenen Verletzung.
Otoliquorrhoe, Hämatotympanon, horizontaler Nystagmus	Otobasale Fraktur
Protrusio bulbi, Doppelbilder, Hämatosinus, Läsion des N. supraorbitalis	Orbitafraktur
Kieferklemme, Hautemphysem, Gesichtsnervenausfälle	Jochbeinimpressionsfraktur
Mobiler Oberkiefer, Läsion des N. infraorbitalis	Mittelgesichtsfraktur (Le-Fort)
Läsion des N. alveolaris inferior	Unterkieferfraktur
Lidemphysem	Nasennebenhöhlenfraktur
Septumhämatom	Nasenbeinfraktur
Alleinige Bauchatmung des Bewusstlosen	Querschnittlähmung

1.1.3 Klassifikation

Einteilung nach der Pathogenese

Aus dem zumeist durch Sturz oder Verkehrsunfall verursachten Schädel-Hirn-Trauma (SHT) resultieren zunächst primäre Läsionen, die im Moment des Traumas entstanden sind und sekundäre Verletzungsfolgen initiieren können (Tab. 1.2). Dabei handelt es sich in der Frühphase, also einige Tage nach dem Trauma, um die Hirnschwellung, das Hirnödem und die raumfordernden intrakraniellen Blutungen, die nicht selten dann erst die eigentliche Bedrohung für den Patienten darstellen. Später können sich noch subdurale Ergüsse (Hygrome) oder chronische Subduralhämatome, Liquorzirkulationsstörungen, Infektionen, Krampfleiden und andere metatraumatische Veränderungen entwickeln.

Primäre und sekundäre Verletzungsfolgen

Offenes Schädel-Hirn-Trauma

Für die weitere Risikoabschätzung und Behandlung ist die Unterscheidung in **offene und gedeckte SHT** wichtig. Definitionsgemäß ist es bei einem offenen SHT zu einer Verbindung zwischen dem Liquorraum und der Außenwelt gekommen, was eine Duraverletzung voraussetzt. Ein **direkt offenes SHT** ist eine durchgehende Verletzung von Skalp, Schädelknochen und Dura, meist über der Konvexität des Schädels; bei einem **indirekt offenen SHT** besteht die Kommunikation über die Nasennebenhöhlen.

Offene Verletzungen sind am Liquorfluss direkt nach außen bzw. über die Nase (Rhinoliquorrhoe) oder das Ohr (Otoliquorrhoe) erkennbar und führen konsekutiv zu radiologisch nachweisbaren intrakraniellen Luftansammlungen. Man spricht vom Pneumatozephalus bzw. von der Pneumatozele, wenn die intrakranielle Luft raumfordernd wirkt. Der Liquorfluss ist nicht selten nur passager und sistiert spontan.

Bei offenen Verletzungen besteht ein hohes Risiko aufsteigender Infektionen wie Meningitis, Meningoenzephalitis oder Hirnabszess, was eine korrekte Diagnostik und ggf. operative Versorgung zwingend erforderlich macht (▶ Abschnitt 1.4.5.2, ▶ Abschnitt 1.4.5.3).

Die Glasgow-Coma-Scale

Der **klinische Schweregrad** eines SHT kann bei kardiopulmonal stabilen Patienten nach der Glasgow-Coma-Scale (GCS) initial und im weiteren Verlauf dokumentiert werden (Teasdale u. Jennett 1974; Tab. 1.3).

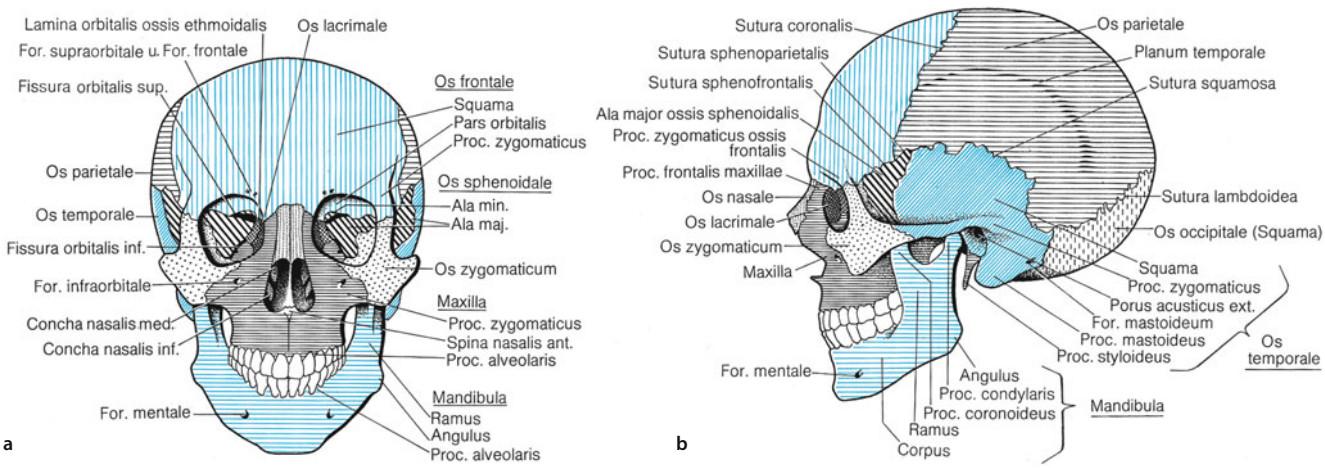


Abb. 1.1 Knöcherner Schädel. Von vorne (**a**) und von der Seite (**b**). (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

Tab. 1.2 Primäre und sekundäre Folgen des Schädel-Hirn-Traumas

Primäre Traumafolgen	Sekundäre Traumafolgen	Bemerkungen
Weichteilverletzungen	Empyem, Phlegmone, Hautdefekte	
Kalottenfraktur	Epidurales Hämatom; Impression von Knochenfragmenten; Knochendefekte	
Schädelbasisfraktur	Profuse Blutung, Liquorfistel	
Mittelgesichtsfraktur	Profuse Blutung	Instabilität möglich
Duraverletzung	Liquorfluss, Pneumatozephalus, Meningitis, Hirnabszess	Kriterium eines offenen SHT
Gefäßverletzungen	Epidurales Hämatom, subdurales Hämatom, intrazerebrale Blutung; traumatische Subarachnoidalblutung; Hirninfarkt; arteriovenöse Fistel	Raumfordernd
Hirnverletzung mit diffusen oder fokalen neurologischen Ausfällen	Hirnschwellung; Hirnödem; Kontusionsblutung; Krampfanfälle; Hirnatrophie; Liquorzirkulationsstörung; Hirnleistungsstörung	Commotio cerebri: reversible Funktionsstörung Contusio cerebri: strukturelle Läsion von diffusem axonalem Schaden bis zu ausgedehnter Lazeration von Hirngewebe

Tab. 1.3 Glasgow-Komaskala

Zu bewertende Reaktion	Beobachtete Reaktion	Punktzahl
Augenöffnen	Spontan	4
	Auf Aufforderung	3
	Auf Schmerzreiz	2
	Kein Augenöffnen	1
Beste sprachliche Antwort	Voll orientiert, prompt	5
	Verwirrt, desorieniert	4
	Verworren, unangemessen	3
	Unverständliche Laute	2
	Keine	1
Beste motorische Reaktion	Adäquat auf Aufforderung	6
	Gezielte Abwehr auf Schmerzreiz	5
	Ungezielte Abwehr, Massenbewegungen	4
	Beugesynergismen auf Schmerzreiz	3
	Strecksynergismen auf Schmerzreiz	2
	Keine Bewegung	1

Tab. 1.4 Einteilung der Schweregrade in Abhängigkeit vom GCS-Wert

GCS-Wert	Schweregrad
GCS Punkte 3–8 (bewusstlos)	Schweres SHT
GCS Punkte 9–12	Mittelschweres SHT
GCS Punkte 13–15	Leichtes SHT

Es hat sich gezeigt, dass die initialen Punktwerte, die nach der GCS zwischen 3 und 15 liegen, gut mit dem outcome und der Sterblichkeit des SHT korrelieren. Darauf beruht auch eine gängige Einteilung des SHT in verschiedene Schweregrade (Tab. 1.4).

Die einzelnen Parameter sind auch vom nicht ärztlichen Personal einfach und ohne nennenswerte Unterschiede zwischen verschiedenen Untersuchern zu registrieren. Als Nachteil wird angesehen, dass Pupillenfunktion, Hirnstammreflexe und Halbseitenzeichen nicht miterfasst werden.

Unabhängig vom GCS-Punktwert unterstellt man auch bei folgenden Befunden ein schweres SHT:

- Pupillendifferenz
- Halbseitensymptomatik
- Progrediente Verschlechterung des neurologischen Status
- Offenes SHT, Liquorrhoe
- Schädelimpressionsfraktur

Einteilungen nach Komagraden

Für klinische Zwecke sinnvoll ist die Unterscheidung verschiedener Komagrade. Der Begriff »Koma« bezeichnet ein **Syndrom aus Bewusstlosigkeit** und ggf. weiteren **neurologischen Symptomen**, die aus der anatomischen Lokalisation und der Intensität der Schädigung resultieren. Ungeachtet der Dauer der Bewusstlosigkeit können 4 Komagrade unterschieden werden (Brihaye et al. 1978; Tab. 1.5).

Tab. 1.5 Einteilung der Komagrade in Abhängigkeit von der Symptomatik. (Nach den Empfehlungen der World Federation of Neurosurgical Societies/WFNS, Brihaye et al. 1978)

Komagrad	Symptomatik
Komagrad I	Bewusstlosigkeit ohne weitere neurologische Störungen
Komagrad II	Bewusstlosigkeit mit neurologischen Störungen wie Lähmungen, Anfälle, Anisokorie oder Störungen der Augenmotilität
Komagrad III	Mittelhirnsyndrom: Bewusstlosigkeit mit lichtstarren Pupillen (initial eng, dann mittelweit bis weit) Störung von Hirnstammreflexen (z.B. Kornalreflex) Erhöhung des Muskeltonus (Streck- und/oder Beugesynergismen, Pyramidenbahnzeichen (z.B. Babinski-Zeichen) Zentrale Hyperventilation und andere Zeichen vegetativer Überfunktion (Hypertonie, Tachykardie, Bronchialsekretion, Hyperglykämie u.a.m.)
Komagrad IV	Bulbärhirnsyndrom: Bewusstlosigkeit mit lichtstarren weiten Pupillen Schlaffer Muskeltonus Erloschene Hirnstammreflexe,erlöschende Spontanatmung Vegetative Paralyse

1.2 Versorgung des Schädel-Hirn-Traumas

O.-W. Ullrich, B. Weigel

Präklinische und klinische Versorgung der Patienten mit SHT orientieren sich an **Art** und **Ausmaß** der Verletzungen und erfolgen nach klaren, gesicherten Leitlinien.

1.2.1 Präklinische Versorgung (am Unfallort und während des Transports)

Der erste orientierende Blick

Die Notfalluntersuchung soll klären, ob ein SHT vorliegt und wodurch der Patient unmittelbar oder im weiteren Verlauf gefährdet ist. Sie ist innerhalb von 1–2 min mit einfachsten Mitteln möglich und umfasst folgende Parameter:

- Vitalfunktionen
- Bewusstseinslage
- Äußere Verletzungen
- Pupillen
- Motorik

Reihenfolge und Ausführlichkeit orientieren sich dabei an der Gesamtsituation.

Vitalfunktionen

Vitalfunktionen werden stets zuerst geprüft, denn respiratorische oder kardiozirkulatorische Störungen können sowohl (Teil-)Ursache einer zerebralen Funktionsstörung als auch direkte Folge der Hirnverletzung sein. Die Stabilisierung der Vitalfunktionen hat absoluten Vorrang (▶ Kap. 15, Polytrauma).

Ein **Kreislaufschock** muss immer zuerst an eine extrakranielle Ursache – z.B. thorakale oder abdominelle Blutung, Spannungspneumothorax, kardiales Trauma u.Ä. – denken lassen. Viel seltener, aber dann oft unterschätzt, sind kranielle Ursachen wie profuse oder länger anhaltende Blutungen aus Galeagefäßen oder Frakturen mit Einriss großer Gefäße im Bereich der venösen Sinus oder der Schädelbasisarterien. Allenfalls bei Kleinstkindern kann ein Volumenmangelschock einmal Folge einer intrakraniellen Blutung oder eines Galeahämatoms sein.

Bewusstseinslage

Anhand des Spontanverhaltens und der Reaktion auf Ansprechen oder Schmerzreize wird dokumentiert, ob der Patient wach, bewusstseinsgetrübt oder bewusstlos ist. Ein Patient ist **bewusstseinsgetrübt**, wenn er sich und seine Umgebung nur eingeschränkt wahrnehmen kann. Ein **Bewusstloser** befolgt keine Aufforderungen, hat die Augen dauernd geschlossen und öffnet sie selbst auf lautes Ansprechen oder Schmerzreize nicht.

Zu beachten sind bei wachen Patienten auch **qualitative Bewusstseinsstörungen** wie Unruhe, Verwirrtheit oder psychotisches Verhalten, die erste Zeichen eines Blutungsschocks oder eines Mittelhirnsyndroms sein können.

Die Störung der Bewusstseinslage ist zunächst nur ein unspezifisches Leitsymptom einer Beeinträchtigung der Hirnfunktion. Erst bei stabilen Vitalfunktionen kann auf eine primär zerebrale Ursache geschlossen werden.

Äußere Verletzungen

Wunden, Prellmarken, Frakturzeichen, Blutungen etc. können wertvolle Hinweise auf den Verletzungsmechanismus und damit eine weitere Gefährdung geben. Auf eine Rhinoliquorrhoe ist besonders zu achten, da sie oft nur passager zu beobachten ist.

Nicht adäquat erstversorgte Blutungen aus Galeagefäßen oder großen Gefäßen der Schädelbasis oder des Gesichtsschädels können zu einem erheblichen Blutverlust bis hin zur vitalen Bedrohung führen.

Pupillen

Die Pupillen werden nach Form, Weite und Lichtreaktion im Seitenvergleich beurteilt, wobei auch Störungen der Okulomotorik und Bulbusverletzungen beobachtet werden können.

Die **Mydriasis** entsteht dadurch, dass die medialen Anteile des Temporalhirns bei einer supratentoriellen Raumforderung nach medial und kaudal in den Tentoriumschlitz abgedrängt werden (so genannte Einklemmung) und der N. oculomotorius im Bereich der Klivuskante unter Druck oder Zug gerät (Abb. 1.2).

Eine Pupillendifferenz, die sich im Verlauf von Minuten bis Stunden nach dem Trauma ausprägt, ist solange als Symptom einer einseitigen intrakraniellen Raumforderung anzusehen, bis in der Klinik das Gegenteil nachgewiesen ist. In etwa zwei Drittel dieser Fälle findet sich ein Hämatom auf der Seite der Pupillenerweiterung (Mydriasis). Wenn die Mydriasis bereits unmittelbar nach dem Trauma besteht, spricht das eher für ein Bulbustrauma oder für eine direkte Schädigung des N. oculomotorius in seinem Verlauf (basale Fraktur) oder Kerngebiet (Hirnstammkontusion).

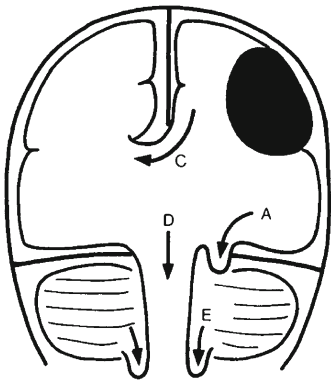


Abb. 1.2 Einklemmung des Temporalhirns im Tentoriumschlitz. *A* Uncusherniation, *C* subfalciale Herniation, *D* Kaudalverlagerung des Mittelhirns, *E* Herniation der Kleinhirntonsillen. (Aus: Koreaki 1988)

Motorik

Die Untersuchung von Muskeltonus, spontanen und provozierten Bewegungen ergibt auch beim Bewusstlosen Hinweise auf Halbseitensymptome, Verletzungen peripherer Nerven oder eine Querschnittlähmung. Eine zentrale Halbseitenlähmung ist meist Ausdruck einer Hirnkontusion. Immer wieder verwechselt werden die tonisch-klonischen Muskelkontraktionen im Krampfanfall mit den Strecksynergismen im Mittelhirnsyndrom.

Anamnese

Für die weitere Therapie, die Prognose und für spätere Begutachtungen sind Informationen über den Unfallhergang und die Begleitumstände sehr hilfreich.

Unfallhergang

Aus dem Unfallhergang kann auf Art und Schweregrad der Verletzungen, ggf. auf spezielle Verletzungsmuster und Begleitverletzungen geschlossen werden. Unwillentlich Fallende schlagen meist mit dem Körperschwerpunkt, also mit Kopf oder Rumpf voran, auf, während Suizidale häufig mit den Füßen voraus in die Tiefe springen.

Begleitverletzungen

An mögliche Begleitverletzungen muss man insbesondere bei Stürzen aus größerer Höhe oder bei starker Fahrzeugdeformation oder hohen Geschwindigkeiten denken. Besonders gefährdet in Hinblick auf schwerere Verletzungen sind Patienten, bei denen sich das Trauma in einer besonders vulnerablen Situation ereignet, z.B. unter Alkoholeinfluss, der die Schutzreflexe abschwächt, während eines Krampfanfalls, der immer mit einer Hypoxie einhergeht, als Folge einer Bewusstseinsstörung nichttraumatischer Ursache oder unter Antikoagulation. Daher muss das besondere Augenmerk auch den Begleitumständen (s. Übersicht) gelten.

Begleitumstände

- Unterkühlung
- Einfluss von Alkohol oder Drogen
- Einnahme von Medikamenten (Dauermedikation)
- Hinweise auf Fremdeinwirkung oder Suizid
- (Kardiale) Vorerkrankungen, Hypertonus, Synkopen
- Stoffwechselerkrankungen, Hypoglykämie
- Frühere Operationen oder Verletzungen

Bei Patienten, die keine Angaben machen können, helfen die Angaben von Sanitätern, Unfallbeteiligten, Passanten oder Angehörigen weiter und müssen erfragt werden.

Therapeutische Richtlinien

Oberstes Ziel der Soforttherapie bei SHT ist die **Sicherung der zerebralen Sauerstoffversorgung**. Damit soll nicht nur die unmittelbare vitale Bedrohung abgewendet, sondern auch der Gefahr einer sekundären Hirnschädigung durch Hypoxie in den verletzten Arealen begegnet werden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Sauerstoffsättigung des Bluts und ein suffizienter Perfusionsdruck des Gehirns. Zur Soforttherapie gehören

- das Freimachen und Freihalten der Atemwege, ggf. die Intubation und Beatmung,
- die Stabilisierung des Kreislaufs mit adäquater Volumensubstitution und
- die Versorgung stark blutender Wunden.

Atmung

Bewusstlose Patienten sind durch Verlegung der Atemwege durch zurückfließendes Blut und durch das Zurückfallen der Zunge oder von Prothesen vital bedroht. Mit zunehmender Komatiefe steigt die Aspirationsgefahr, weil die Schutzreflexe erlöschen und es zu vermehrter Magen- und Bronchialsekretion kommt. Patienten mit Blutungen bei frontobasalen oder Gesichtsschädelfrakturen sind besonders aspirationsgefährdet.

Intubation

Klare Indikationen zur Intubation bei SHT sind:

- Bewusstlosigkeit (GCS <9),
- Bewusstseinstrübung mit Ateminsuffizienz,
- starke Blutung im Nasennebenhöhlen-, Mund- oder Rachenraum,
- zunehmende Schwellung bei frontobasalen, Gesichts- oder Halsverletzungen,
- manifeste oder drohende Aspiration und/oder
- Kombination mit Thoraxverletzung oder schwerem hämorrhagischem Schock.

Zur Intubation ist eine Narkose erforderlich, z.B. mit einem Opioid plus Hypnotikum, um Schmerzreaktionen und reflektorische Blutdruckspitzen sicher zu vermeiden (Übersicht).

Risiken bei der Intubation

- Aspirationsgefahr von Blut, Erbrochenem, Zähnen oder Prothesen.
- Nach Möglichkeit oral intubieren, weil man bei nasaler Intubation Blutungen im Nasenrachenraum provozieren und über frontobasal klaffende Bruchspalten unbeabsichtigt nach intrakraniell abweichen kann.
- Schmerzen und motorische Unruhe erhöhen den intrakraniellen Druck (ICP) und unterhalten das Schockgeschehen, deshalb muss der Patient zur Intubation narkotisiert werden.
- Zur Narkoseeinleitung für die Intubation und weiteren Analgosedierung kurzwirksame Narkotika intravenös verabreichen, z.B.
  - Etomidat (Hypnomidate, Einleitungsdosis 0,15–0,30 mg/kg KG i.v.)
  - Methohexital (Brevimytal, Einleitungsdosis 1,0–1,5 mg/kg KG i.v.)
  - Thiopental (z.B. Trapanal, Einleitungsdosis 3–5 mg/kg KG i.v.)
  - Diazepam (z.B. Valium, zur bloßen Sedierung vorsichtig titrieren, mit 0,05 mg/kg KG i.v. beginnen)
  - Thiopental und Diazepam haben überdies eine gute antikonvulsive Wirkung.
  - Ketamin (Ketanest) steigert in der üblichen narkotischen Dosierung von 2 mg/kg KG die Hirndurchblutung und kann dadurch den ICP erhöhen. Das muss bei hyperdynamer Kreislaufsituation und beim insuffizient atmenden/beatmeten hyperkapnischen Patienten bedacht werden. Bei Kreislaufhypotonie kann es hingegen sehr hilfreich sein. In analgetischer Dosierung (0,7–1,5 mg/kg KG) gilt Ketamin ohnehin als unbedenklich bei SHT.
- Vor der Intubation sollte nach Möglichkeit der neurologische Ausgangsbefund dokumentiert werden, weil dies prognostisch und therapeutisch bedeutsam ist.

Beatmung

Der intubierte Patient soll nicht spontan atmen, sondern beatmet werden. Nur dadurch wird eine ausreichende Sauerstoffversorgung sichergestellt. Zur weiteren Beatmung ist in der Regel eine Analgosedierung mit kurzwirkenden Präparaten ausreichend. Eine Relaxation ist nur in Ausnahmefällen erforderlich.

Ohne pCO_2-Messung ist eine Hyperventilation zur Prophylaxe und Therapie der ICP-Steigerung unter Notfallbedingungen – wie es noch vor wenigen Jahren empfohlen wurde – wegen zerebraler Ischämiegefahr kontraindiziert. Vielmehr soll mit dem Ziel einer Normokapnie (pCO_2 35–40 mmHg) normoventiliert werden.

Blutdruck und Volumensubstitution

Für eine suffiziente Hirndurchblutung ist ein zerebraler Perfusionsdruck (CPP) von mindestens 70 mmHg erforderlich. Daher ist insbesondere für Patienten mit erhöhtem ICP ein Blutdruckabfall gefährlich. Eine aggressive hämodynamische Stabilisierung ist nötig. Therapieziel bei bestehender Hypotonie ist ein arterieller Mitteldruck von mindestens 90 mmHg (systolisch über 110 mmHg). Vasoaktive Substanzen, also Katecholamine, werden jedoch erst dann eingesetzt, wenn durch eine alleinige Volumensubstitution der angestrebte Mitteldruck nicht erreicht werden kann.

Erhöhter Blutdruck ist meist Ausdruck von Schmerzen. Bleibt der Blutdruck trotz adäquater Sedierung und Analgesie zu hoch, ist eine zerebrale Ursache, etwa eine ICP-Steigerung oder Hirnstammläsion, denkbar. In diesem Fall sollte der Blutdruck nicht gesenkt werden, um keine kritische Minderung des CPP (Ischämiegefahr!) zu riskieren.

Isoosmolare Lösungen, z.B. 0,9%ige NaCl- oder Ringer-Lösung und ähnliches, sind zur Volumensubstitution Mittel der Wahl. Hypotone Lösungen wie Glukose-5%- oder Ringer-Laktat-Lösung begünstigen hingegen ein Hirnödem. Hyperosmolare Lösungen wie NaCl 7,5% (ca. 4 ml/kg KG) bieten sich als Initialmaßnahme bei Patienten mit hypovolämischem Schock und SHT im Konzept der »**small volume resuscitation**« an (▶ Kap. 15, Polytrauma).

Begleitende Maßnahmen

Ein Motorradhelm sollte ggf. immer abgenommen werden (■ Abb. 1.3). Vor dem Lagern soll eine stabilisierende Zervikalstütze (z.B. Stiffneck)

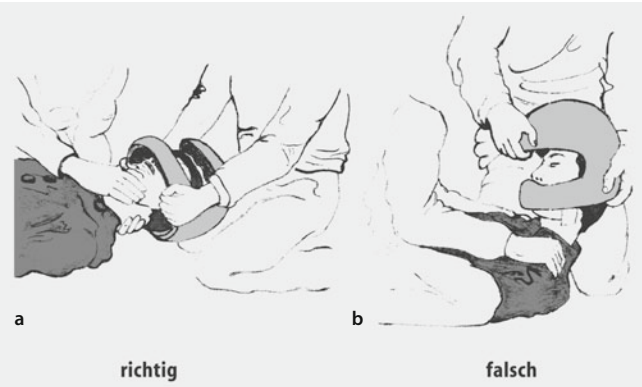
angelegt werden, weil instabile Halswirbelsäulen(HWS)-Verletzungen in 5–10% ein schweres SHT begleiten. Die Zervikalstütze bleibt belassen, bis in der Klinik eine HWS-Verletzung radiologisch ausgeschlossen ist. Bei gutem Sitz der Zervikalstütze ist nachgewiesenermaßen keine ICP-Steigerung durch Drosselung des venösen Rückstroms zu befürchten.

Stark blutende Weichteilverletzungen sollen mit Druckverband komprimiert und spritzende Galeagefäße abgeklemmt werden. Eine sehr wirksame Alternative zum Druckverband, die sich bestens bewährt hat, ist, im Rettungswagen einige Hautklammerapparate vorzuhalten, mit denen stark blutende Skalpierungsverletzungen blitzartig adaptiert und dadurch weitere Blutverluste am wirksamsten verhindert werden können.

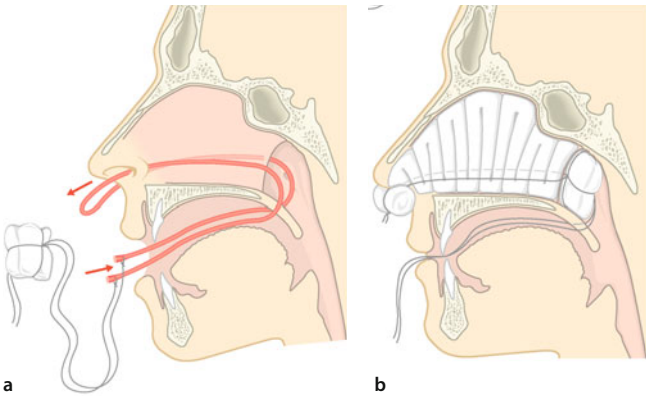
Perforierende Fremdkörper müssen in situ belassen bleiben, da deren Entfernung profuse Blutungen provozieren kann und die spätere Lokalisation erschwert.

Freiliegendes Gehirn sollte mit in physiologischer Kochsalz- oder Ringer-Lösung getränkten Kompressen und einem Ringpolster abdeckt werden.

Zur provisorischen Versorgung stark blutender frontobasaler Verletzungen im Nasenrachenraum hat sich die modifizierte Bellocq-Tamponade (◘ Abb. 1.4) gut bewährt; man benutzt dafür 2 Urindauerkatheter, deren Ballons mit physiologischer NaCl-Lösung, zur Not aber auch mit Luft gefüllt werden können (▶ Abschnitt 1.15.1, HNO-ärztliche Erste Hilfe).



◘ **Abb. 1.3a,b** Abnahme des Schutzhelms. **a** Richtig, **b** falsch. (Aus: Kalbe et al. 1997)



◘ **Abb. 1.4.a,b** Hintere Bellocq-Tamponade. **a** Anbinden des Tupfers an die Enden eines Gummischlauchs, **b** Bellocq-Tampon in den Nasenrachenraum gezogen. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

Für kreislaufstabile Patienten wird generell die leichte Oberkörperhochlagerung mit maximal 20° in achsengerechter, gerader und ruhiger Kopflagerung empfohlen. Manche Autoren (Rosner et a. 1995) raten von der Hochlagerung ab, weil dabei zwar der ICP sinkt, gleichzeitig aber auch der Blutdruck, sodass der CPP absinken kann. Eine Hochlagerung von mehr als 30° ist sicherlich ungünstig und erhöht die Gefahr der Minderdurchblutung. Kreislaufinstabile Patienten bedürfen aus vitaler Indikation einer Flach- bzw. Schocklagerung. Das gilt auch für Patienten mit manifester oder vermuteter Querschnittlähmung.

Für zentrale Zugänge werden die V. jugularis externa oder die V. subclavia bevorzugt. Die Punktion der V. jugularis interna ist aber bei einem SHT nicht ideal, weil bei versehentlicher Verletzung der A. carotis communis Hämatome entstehen können, die die Halsweichteile komprimieren, den venösen Abstrom drosseln und sich dadurch intrakraniell drucksteigernd auswirken können. Außerdem kann die Vene thrombosieren, was denselben negativen Effekt hätte.

Hyperosmolare Lösungen wie Sorbit oder Mannit sind nur bei klarer Diagnose und unter intensivmedizinischer Überwachung indiziert. Allenfalls bei Verschlechterung der Bewusstseinslage mit gleichzeitiger Entwicklung einer Anisokorie, also bei Verdacht auf eine rasche Steigerung des ICP, kann die Gabe von Mannitol erwogen werden (0,3–1,5 g/kg KG über 15 min als Kurzinfusion).

Dexamethason brachte nach SHT selbst in ultrahoher Dosierung keine Verbesserung der Prognose, wohl aber Nachteile wie Immunsuppression und aseptische Knochennekrosen. Damit hat Dexamethason ebenso wie auch andere im Experiment neuroprotektive Medikamente derzeit keinen Stellenwert in der Therapie.

Transport

Der Transport sollte möglichst schnell, schonend und erschütterungsarm in das nächste geeignete Krankenhaus erfolgen. Die Wahl des Transportmittels und der Transportbegleitung ist im Einzelfall zu entscheiden.

Wache Patienten mit Schädelfraktur (leichtes gedecktes SHT) und Patienten mit mittelschwerem SHT haben ein hohes Risiko, eine operationsbedürftige intrakranielle Blutung zu entwickeln. Man spricht in diesem Zusammenhang deshalb auch von den »Talk-and-die-Patienten«. Sie bedürfen engmaschiger Überwachung bzw. intensivmedizinischer Therapie, am besten in einer neurochirurgischen Klinik.

Alle Patienten mit isoliertem schwerem SHT oder mit offenem SHT sollten primär einer neurochirurgischen Klinik mit Operationsbereitschaft rund um die Uhr und Intensivtherapiemöglichkeit zuverlegt werden.

Patienten, die kreislaufinstabil sind oder die neben dem SHT wesentliche Begleitverletzungen haben könnten, müssen in Hinblick auf die vitale Gefährdung in eine traumatologische Schwerpunktklinik, möglichst mit einer neurochirurgischen Einheit, gebracht und zunächst weiter diagnostiziert und stabilisiert werden. Erst dann kann die spezielle neurochirurgische Therapie erfolgen. Eine neurochirurgische Operation vital instabiler Patienten ist sinnlos.

1.2.2 Klinische Akutversorgung

Primärdiagnostik im Schockraum

An den ersten orientierenden Check-Up schließt sich die weitere Untersuchung in kraniokaudaler Richtung an, um weitere – vielleicht klinisch führende – Verletzungen nicht zu übersehen. In jedem Fall muss sorgfältig nach einer Verletzung der HWS gefahndet werden, die 5–10% aller SHT begleiten. Überdies müssen

thorakoabdominelle Verletzungen ausgeschlossen werden. Auch diskrete Zeichen einer Hirnbeteiligung müssen registriert und ggf. mit der CT abgeklärt werden, weil sie eine potenzielle Gefährdung des Patienten signalisieren.

Symptome einer Hirnbeteiligung

- Kopfschmerzen
- Übelkeit mit oder ohne Erbrechen
- Schwindel, Sehstörungen
- Psychomotorische Unruhe, Agitiertheit
- Beginnende Bewusstseinstrübung, Bewusstlosigkeit
- Amnesie, Merkstörung, Desorientiertheit zu Zeit, Ort oder Person
- Neurologische Ausfälle
- Krampfanfall

Manche Patienten wiederholen unmittelbar nach einem Unfall mit SHT immer wieder dieselben Fragen, was für alle Beteiligten sehr anstrengend sein und den zügigen Ablauf der Versorgung stören kann. Insbesondere unerfahrene Mitarbeiter schätzen diese typische posttraumatische mnestische Störung womöglich als eine vom Patienten bewusst herbeigeführte Provokation falsch ein, statt sie als ein Kardinalsymptom bei Gehirnerschütterung zu verstehen.

Selbst dringliche Untersuchungen können erst durchgeführt werden, wenn alle vitalen Funktionen gesichert sind. Ausgenommen sind die thorakale und abdominelle Sonografie sowie Röntgenaufnahmen von Thorax p.a. und der HWS seitlich, die während der Stabilisierung der Vitalparameter eines Polytraumatisierten schon im Schockraum durchgeführt werden können, ohne dass dadurch der Ablauf lebensrettender Maßnahmen behindert würde.

Nativröntgen

Röntgennativaufnahmen dienen dem Nachweis von Frakturen. Sie ermöglichen dadurch, das Gefährdungspotenzial des Patienten im Hinblick auf spinale oder intrakranielle Läsionen abzuschätzen und weitere gezielte Maßnahmen zu begründen. Typisches Röntgenzeichen der Schädelfraktur ist die scharf gezeichnete Aufhellungslinie, die ohne Zähnelung (Schädelnaht) und seitliche Verzweigung (Gefäßkanal) allmählich und nicht abrupt in den intakten Knochen übergeht.

Folgende Aufnahmen werden je nach klinischem Befund angefordert:

- Grundsätzlich Nativaufnahmen des Schädels in 2 Ebenen.
- Hinterhauptsaufnahme nach Towne. Sie wird in halbaxialer Projektion im a.p.-Strahlengang, 30° in kraniokaudaler Richtung gekippt, angefertigt und ist indiziert bei okzipitaler Gewalteinwirkung oder Verdacht auf eine hier verlaufende Fraktur, denn Frakturen im Bereich des Foramen magnum stellen sich auf den Standardprojektionen in der Regel nicht dar.
- Eine Nasennebenhöhlenaufnahme ist bei möglicher Mittelgesichtsbeteiligung aufschlussreich.
- Standardaufnahmen der HWS in 2 Ebenen müssen bei wirbelsäulenbezogenen Beschwerden, bei entsprechenden radikulären oder medullären neurologischen Ausfällen und immer bei bewusstlosen Verletzten angefertigt werden.
- Bei Verdacht auf diskoligamentäre Instabilität sind Funktionsaufnahmen der HWS indiziert, ggf. später ergänzt durch eine befundbezogene Kernspintomografie.

Computertomografie

Die CT ist inzwischen flächendeckend für den breiten Einsatz zur Primärdiagnostik in der Traumatologie verfügbar und hat teilweise die Nativdiagnostik ersetzt. Mit der »Traumaspirale« kann in wenigen Minuten die Komplettdiagnostik von Kopf bis Becken erfolgen. Die CT ermöglicht den Nachweis von

- intrakraniellen Verletzungen und
- Frakturen der Schädelbasis, des Mittelgesichts und der gesamten Wirbelsäule, insbesondere der oberen HWS.

Indikationen für eine kranielle CT (CCT)

- Bei jeder Schädelfraktur, weil auch bei einem wachen Patienten mit Schädelfraktur die Wahrscheinlichkeit, dass ein intrakranielles Hämatom vorliegt, etwa 200-mal höher ist als bei Vergleichspatienten ohne Fraktur.
- Bei jeder Form von Bewusstseinsstörung und Bewusstlosigkeit.
- Bei jedem kraniell lokalisierten neurologischen Defizit.
- Bei alkoholisierten Patienten mit Kopfverletzung.
- Bei Patienten mit Gerinnungsstörungen.
- Bei Verschlechterung eines fokalen neurologischen Defizits.
- Bei schwerem SHT – auch bei primär unauffälligem CT-Befund – Kontrolluntersuchung nach 6 h.

Notfallangiografie

Die Angiografie ist bei Verdacht auf spezielle vaskuläre Schädigungen wie eine Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel, ein Aneurysma oder eine Gefäßdissektion indiziert.

Notfalllabor

Zum Notfalllabor gehören folgende Werte:

- Blutbild,
- Serumelektrolyte,
- Gerinnung,
- Blutzucker,
- Blutgasanalyse,
- Serumosmolarität.

Basis-Monitoring

Das Basis-Monitoring umfasst folgende Parameter:

- Beatmungsparameter,
- Kapnometrie,
- Blutdruckmessung, möglichst arteriell,
- Pulsoxymetrie,
- Elektrokardiogramm (EKG),
- zentraler Venendruck (ZVD),
- Diurese (Blasenkatheter),
- Temperatur.

Elektroenzephalogramm (EEG)

In der Akutdiagnostik des schweren oder mittelschweren SHT kann man auf ein EEG verzichten. Es gehört aber zum neurophysiologischen Monitoring auf der Intensivstation, um die Tiefe der Analgosedierung zu überwachen, Anfälle zu erfassen oder die Irreversibilität eines Hirntodsyndroms zu bestätigen.

Beim leichten SHT kann das EEG auch bei negativem CT Hinweise für fokale Mikroläsionen geben und ist daher grundsätzlich – auch unter gutachterlichen Aspekten – ratsam. Auch bei Stürzen unklarer Ursache mit Amnesie für den Unfallhergang ist an ein Anfallsgeschehen zu denken, das mit einem EEG und

einem konsiliarisch zugezogenen Neurologen abgeklärt werden sollte.

Evozierte Potenziale

Die Untersuchung von evozierten Potenzialen hat in der Frühphase nach SHT neben der Dokumentation eines Ausgangsbefundes folgende spezielle Indikationen:

- Somatosensorisch evozierte Potenziale erleichtern den Nachweis einer Querschnittlähmung beim Bewusstlosen.
- Mit akustisch evozierten Hirnstammpotenzialen lassen sich durch Verlaufskontrollen auch beim analgosedierten Patienten frühzeitig prognostische Aussagen treffen.
- Wenn der Verdacht auf eine Läsion des N. opticus bei einem Bewusstlosen besteht, kann man durch visuell evozierte Potenziale einen Optikusschaden verifizieren.

Stabilisierung der Vitalfunktionen

Zur Kreislaufstabilisierung gehört neben der Gabe von Volumen und ggf. vasoaktiven Substanzen vorrangig die Lokalisation und Versorgung einer extrakraniellen Blutungsquelle. Hypertone Blutdruckwerte hingegen, die trotz ausreichender Analgosedierung persistieren, können eine Cushing-Reaktion (Tab. 1.6) anzeigen und sollten nicht gesenkt werden. Die Aufrechterhaltung einer adäquaten Oxygenierung und Ventilation setzt eine geeignete Beatmungsform unter kontinuierlicher Analgosedierung voraus (▶ Kap. 15 Polytrauma und ▶ Kap. 16 Intensivmedizin).

Hirnspezifische Maßnahmen

Arterielle Hypotonie und Hypoxämie wirken sich schon in Episoden von wenigen Minuten Dauer nachweislich ungünstig auf das Outcome nach einem SHT aus. So haben 70% der SHT-Patienten respiratorische Störungen, die in Hypoxämie und/oder Hyperkapnie resultieren, wenn sie nicht adäquat behandelt werden.

Vorrangiges Therapieziel ist daher die **Vermeidung zerebraler Sekundärschäden**. Dazu gehören:

- die Vermeidung von Hypoxämie,
- die Vermeidung – auch kurzer Episoden – von arterieller Hypotonie; Richtwerte sind ein systolischer Druck >100 mmHg und bei erhöhtem ICP >120 mmHg,
- die Aufrechterhaltung eines ausreichenden CPP; der CPP soll 70 mmHg nicht unterschreiten,
- die Vermeidung von Hyperkapnie und extremer Hypokapnie,
- eine ausreichende Analgesie – auch beim komatösen Patienten –, da Schmerz den zerebralen Sauerstoffverbrauch erhöht,
- eine frühzeitige Diagnose und zügige operative Entlastung epiduraler und subduraler Hämatome,
- die frühzeitige ICP-Messung,
- die Einleitung von Maßnahmen zur Senkung eines erhöhten ICP (s. unten).

Zu diesem Themenkreis wird auch auf Tab. 1.6 verwiesen.

Außer der CT-Diagnostik und der ICP-Messung bleiben weitere – meist aufwändige – diagnostische Verfahren der Behandlung auf der Intensivstation vorbehalten.

Spezifische Maßnahmen der Hirnprotektion wie etwa die Gabe von Glukokortikoiden können mangels Wirksamkeitsnachweis nicht empfohlen werden.

Notfalloperationen

Epidurale und akute subdurale Hämatome müssen dringlich operiert werden. Vorrang haben allenfalls vital bedrohliche thorakale oder abdominelle Blutungen. Der Zeitpunkt der Versorgung von offenen Verletzungen, Impressionsfrakturen oder Kontusionsblutungen richtet sich nach der neurochirurgischen Dringlichkeit im Einzelfall und der Gesamtsituation, die u.a. von der Kreislaufstabilität und extrakraniellen, chirurgisch zu versorgenden Verletzungen abhängt, wobei eine enge Absprache mit den mitbehandelnden Disziplinen erfolgen sollte (zur notfallmäßigen Bohrlochtrepanation s. ▶ Abschnitt 1.2.4.3, Epidurales Hämatom).

Tab. 1.6 Wichtige Zielgrößen und Maßnahmen in der Akutversorgung nach schwerem SHT

Parameter	Ziel	Maßnahmen
Atmung	saO_2 >95% paO_2 >100 mmHg $petO_2$ = 35 mmHg	Intubation FiO_2 >0,5, PEEP <5 cm H_2O Kontrollierte Beatmung
Kreislauf	CPP >70 mmHg MAP >90 mmHg SAP >120 mmHg	Volumentherapie Kolloide, isoosmolare Kristalloide Vasoaktive Substanzen
ICP	ICP <20 mmHg	Lagerung Osmotherapie Hyperventilation Liquordrainage Barbiturattherapie Milde Hypothermie (34°C)
Labor	Hb >10 g/dl HK >30% Osmolarität 295–315 mosmol/l Blutzucker <200 mg/dl Quick-Wert >60%	Erythrozytenkonzentrat Osmotherapie/Diuretika Fresh frozen plasma Insulin
CCT	Hämatomentlastung ICP-Messung	Ggf. Kraniotomie Ggf. externe Ventrikeldrainage ICP-Sonde

CPP zerebraler Perfusionsdruck; MAP mittlerer arterieller Druck; ICP intrakranieller Druck; SAP »systolic arterial pressure«. (Mod. nach Jantzen et al. 1998)

ICP-Messung

Bis zu drei Viertel der Patienten mit schwerem SHT haben im weiteren Verlauf eine ICP-Steigerung durch Hirnschwellung, Hirnödem, intrakranielle Blutungen oder Liquorzirkulationsstörungen. Die kontinuierliche ICP-Messung ist nicht nur für die Erkennung einer ICP-Steigerung nach SHT von Bedeutung, sondern auch für deren differenzierte Therapie.

Für die ICP-Messung gibt es folgende Indikationen:

- Schweres SHT (GCS<9) und pathologischer CCT-Befund,
- schweres SHT, aber initial normales CCT bei Patienten >40 Jahren oder mit neurologischem Defizit,
- Patienten, die im Anschluss an eine Kraniotomie weiter beatmet werden müssen,
- Mehrfachverletzungen oder Polytrauma mit mittelschwerem SHT oder pathologischem CCT, wenn eine längere Beatmung notwendig ist oder wenn während langdauernder chirurgischer Eingriffe eine ICP-Steigerung nicht auszuschließen ist,
- bei nicht bewusstlosen Patienten mit größeren Kontusionen erfolgt die Druckmessung fakultativ.

Bei Patienten mit Gerinnungsstörungen ist eine ICP-Messung zwar besonders wünschenswert, sie muss aber sorgfältig gegen das Blutungsrisiko des Eingriffs abgewogen werden.

Für die ICP-Messung kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht:

- Bei der externen Ventrikeldrainage wird der intraventrikuläre Druck über ein externes Messelement erfasst. Gleichzeitig kann über das System Liquor abgelassen und der Hirndruck auf diesem Weg entlastet werden.
- Bei der intraparenchymalen Messung wird die Sonde in die weiße Hirnsubstanz eingebracht,
- bei der subduralen unter die harte Hirnhaut und
- bei der epiduralen auf die harte Hirnhaut.

Intraventrikuläre und intrazerebrale Techniken erfordern die Passage von Hirnparenchym und bergen die Risiken der Infektion, der Liquorfistel und der intrazerebralen Einblutung; sie obliegen deshalb dem Neurochirurgen. Dies gilt grundsätzlich auch für die subdurale ICP-Messung, die sich nach Kraniotomien anbietet.

Die epidurale ICP-Messsonde ist dagegen vergleichsweise einfach zu platzieren und mit weniger Komplikationen behaftet. Um eine verlässliche Messung zu erzielen, ist dennoch technische und operative Erfahrung vonnöten. Grundsätzlich sollte nur dann eine ICP-Sonde implantiert werden, wenn auch eventuelle Komplikationen beherrscht werden können.

Verwendet werden Katheter mit speziellen Druckaufnehmern (z.B. Neurodur/Neurovent von der Fa. Rehau oder MicroSensor Basic Kit von der Fa. Codman).

Implantation einer ICP-Sonde

Die Sonden werden im Allgemeinen frontal auf der Seite der stärkeren Raumforderung implantiert. Nach knapp handtellergroßer Rasur oberhalb vom Haaransatz legt man die Schnittführung fest. Das Bohrloch soll in der Pupillenlinie etwa 12 cm oberhalb des Orbitarandes, 3 cm paramedian, in Höhe der Kranznaht liegen (Abb. 1.5).

Nach Hautdesinfektion und steriler Abdeckung des Operationsgebiets setzt man einen etwa 3 cm langen sagittalen Hautschnitt bis auf den Knochen. Anschließend werden einzelne Blutungen ggf. mit dem Elektrokauter gestillt und ein Wundspreizer eingesetzt. Das Bohrloch wird mit einem Elektro- oder Druckluftbohrer angelegt. Es kann auch ein Handbohrer verwendet werden, wobei man zunächst mit einem lanzettförmigen Bohrkopf bis zur Tabula interna vorgeht und anschließend das Bohrloch mit dem Kugelfräskopf bis zur Dura erweitert. Die Dura muss nun mit einem Dissektor in frontaler Richtung weiträumig (im 120°-Winkel etwa 5 cm weit!) von der Kalotte separiert werden. Der dorsale Rand des Bohrlochs sollte mit dem Luer oder einer Fräse abgeschrägt und mit Wachs geglättet werden, damit die Sonde nicht an der Kante abknickt oder bei der späteren Entfernung abreißt (Abb. 1.6). Die Sonde wird nach dem Nullabgleich, subkutan möglichst weit vom Hautschnitt entfernt, über eine Stichinzision eingeleitet (bei bestimmten Fabrikaten transkutan), über das Bohrloch mindestens 3 cm weit epidural in frontaler Richtung vorgeschoben und dann an der Haut festgenäht. Anschließend wird die Wunde schichtweise verschlossen.

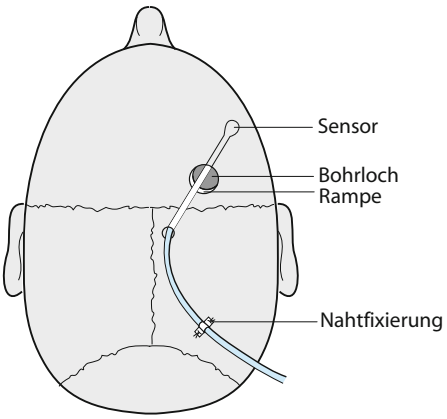


Abb. 1.5 Lokalisation des Bohrlochs für eine epidurale Drucksonde

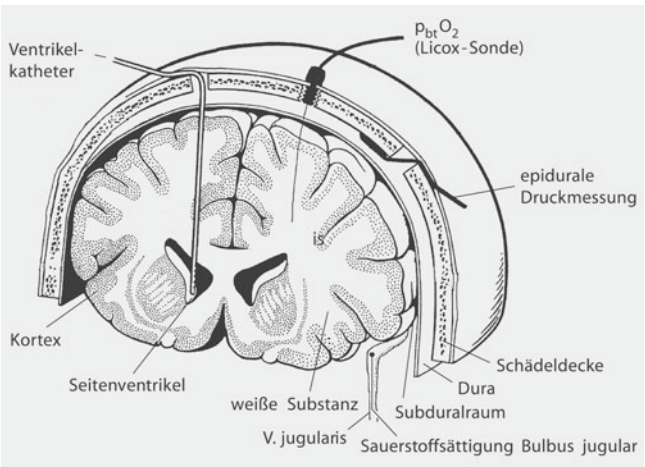


Abb. 1.6 Lage der verschiedenen Hirndruckmesssonden. (Aus: Regel und Becker 1997)

Bei den heute favorisierten Bolt kits ist die Drucksondenimplantation noch einfacher: Über eine Stichinzision wird mit einem Handbohrer ein dünnes Bohrloch angelegt, die Dura blind punktiert und die Sonde intraparenchymal platziert.

Die ersten verlässlichen ICP-Werte erhält man etwa nach 1–2 h, wenn sich die harte Hirnhaut dem Druckaufnehmer angelegt hat.

Eine Lumbalpunktion (zur Druckmessung, -minderung und Diagnostik) ist nicht nur diagnostisch wertlos, sondern beim Schädel-Hirn-Verletzten höchst gefährlich: Durch lumbalen Liquorverlust (nicht nur während der Punktion, sondern auch

durch späteres Nachsickern ins peridurale Gewebe) besteht bei ICP-Steigerung, lokalen Raumforderungen oder bei behinderter Liquorpassage die Gefahr einer Massenverschiebung nach kaudal mit konsekutiver Hirnstammeinklemmung, was lebensgefährlich wäre.

Die kontinuierliche Messung des Hirndrucks lässt kurzfristige Anstiege erkennen und hilft rechtzeitig gegenzusteuern; mögliche Ursachen sind:

- Husten, Pressen, Niesen,
- Absaugen des Bronchialsystems,
- Lagerungsmaßnahmen,
- Kopftieflage z.B. zum Legen eines zentralen Zugangs,
- Einsatz von Blutsperren in der Extremitätenchirurgie,
- erneute Blutung oder zunehmendes Hirnödem.

Eine Sonde kann entfernt werden, wenn der Patient aus der Bewusstlosigkeit erwacht und nicht mehr beatmet werden muss.

1.2.3 Spezielle intensivmedizinische Versorgung

Pathophysiologische Grundlagen (intrakranieller Druck und Hirnödem)

Intrakranieller Druck (ICP)

Der ICP, der normalerweise im Mittel unter 15 mmHg liegt, schwankt mit der arteriellen Pulswelle und der Atmung. Er ist beim wachen Patienten inspiratorisch, beim beatmeten endexspiratorisch am niedrigsten und hängt weiterhin von der Körperlage sowie langfristig von einer Reihe anderer physiologischer Parameter ab. Werte über 20 mmHg sind pathologisch und behandlungsbedürftig, Werte über 30 mmHg kritisch.

Zerebraler Perfusionsdruck (CPP)

Der CPP wird aus dem mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) und dem ICP errechnet (CPP = MAP – ICP). Der CPP sollte insbesondere unter pathophysiologischen Bedingungen (erhöhter ICP und/oder niedriger Blutdruck) 70 mmHg nicht unterschreiten.

Hirndurchblutung (CBF)

Die CBF resultiert aus dem CPP und dem zerebrovaskulären Widerstand (CVR). Sie errechnet sich analog zum Ohm-Gesetz nach CBF = CPP/CVR und liegt in Ruhe um 50 ml/100 g/min.

Die CBF ist physiologischerweise unabhängig vom Perfusionsdruck und ändert sich bei Blutdruckschwankungen nicht. Diese Gefäßreaktion wird Autoregulation genannt und besteht in einem weiten Bereich von etwa 50–150 mmHg Perfusionsdruck, bei älteren oder hypertonen Menschen liegen die Grenzen etwas höher. Lokal wird die Durchblutung durch vasoaktive Metaboliten, insbesondere CO_2, bedarfsweise reguliert. Hyperkapnie führt dabei zu einer Vasodilatation und Steigerung des intrakranialen Blutvolumens, Hypokapnie bewirkt eine Vasokonstriktion in autoregulationsfähigen gesunden Hirnarealen mit konsekutiver Senkung des intrakraniellen Blutvolumens und des ICP. Bei zu ausgeprägter Hypokapnie (pCO2 <25 mmHg) droht eine zerebrale Ischämie.

Hirnschwellung

Unter einer Hirnschwellung versteht man die **Vermehrung des intrazerebralen Blutvolumens** im Sinne einer Kongestion. Ursächlich ist die posttraumatische Störung der Autoregulation.

Hirnödem

Das Hirnödem ist definitionsgemäß eine **Vermehrung des Hirn-Wasser-Gehalts**. Das vasogene Hirnödem tritt meist nach Trauma, bei Tumor oder Infektion auf und ist durch eine Extravasation von Plasmaflüssigkeit ins Interstitium gekennzeichnet, auf dem Boden einer Funktionsstörung der Blut-Hirn-Schranke. Das zytotoxische Hirnödem ist Folge toxisch-hypoxischer Zellschädigung und charakterisiert durch eine Zellschwellung. Die Membranionenpumpe versagt.

Gemeinsame pathophysiologische Endstrecke von Hirnschwellung, Hirnödem und intrakraniellen Blutungen ist die ICP-Steigerung, die über eine Senkung des CPP die Hirndurchblutung soweit mindert, dass die Hirnzelle von Hypoxie bedroht ist.

Monitoring

Obligat kommen beim SHT-Patienten folgende Techniken der Überwachung zum Einsatz:

- die klinisch-neurologische Überwachung der Pupillen, Bewusstseinslage und Schmerzreaktion,
- ein Basis-Monitoring mit EKG, MAP (invasiv), ZVD, Temperatur, $etpCO_2$ (endexspiratorischer CO_2-Partialdruck), saO_2 (arterielle Sauerstoffsättigung),
- die laborchemische Kontrolle von BGA, Blutzucker, Elektrolyten, Osmolarität und
- die ICP-Messung.

Fakultativ:

- Elektrophysiologie: EEG, evozierte Potenziale,
- Hirndurchblutung: CBF-Messung, transkranielle Dopplersonografie, Perfusions-CT
- zerebrale Oxygenierung: Bulbusoxymetrie [kontinuierliche Messung der Sauerstoffsättigung im Bulbus venae jugularis ($svjO_2$)]; direkte intraparenchymatöse Registrierung des Gewebesauerstoffpartialdrucks ($ptiO_2$); Überwachung der regionalen Gewebesauerstoffsättigung durch Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS).

Therapeutische Prinzipien

Die bloße Schädelprellung bedarf keiner speziellen Therapie, abgesehen von körperlicher Schonung bis zur Beschwerdefreiheit. Eine stationäre Überwachung ist nicht erforderlich.

Patienten mit SHT hingegen müssen zumindest initial stationär aufgenommen und mindestens bis zum folgenden Tag beobachtet werden. Bestehen dann noch Schwindelgefühl und Kopfschmerzen, ist ein CCT angezeigt, um Kontusionsherde nicht zu übersehen. Gerade frontale Kontusionen, die auch durch einen contrecoup nach Sturz auf den Hinterkopf auftreten, können trotz beträchtlicher Größe anfangs vergleichsweise wenig Beschwerden oder Ausfälle verursachen. Eine EEG-Kontrolle ist deshalb ratsam.

Nicht jedes Kind mit Kopfplatzwunde muss geröntgt werden, weil die kindliche Kalotte relativ elastisch ist, und Frakturen eher selten sind. Nur bei schwerer Gewalteinwirkung, ausgedehnten Kopfplatzwunden oder bei stattgehabter Bewusstlosigkeit muss eine Fraktur radiologisch ausgeschlossen werden.

Basismaßnahmen bei Schädel-Hirn-Trauma

- Bettruhe, Lagerung mit leicht erhöhtem Oberkörper (20°),
- engmaschige Überwachung mit viertelstündlicher Kontrolle von
  - Bewusstseinslage,
  - Pupillen,
  - Puls und Blutdruck,
- Vermeiden von Bücken und Pressmechanismen, um keine ICP-Steigerung zu provozieren.

Schädelbogen der Berufsgenossenschaften

Dieser Bogen eignet sich sehr gut für die kontinuierliche Überwachung und kann deshalb generell bei SHT-Patienten verwendet werden. Anfangs müssen die Patienten viertelstündlich, nach Stabilisierung nur noch halbstündlich, später stündlich anhand der einzelnen Positionen dieses Untersuchungsbogens beurteilt werden. Dazu gehört, dass der Patient auch nachts in entsprechenden Intervallen geweckt wird. Falls er zunehmend schwer erweckbar sein sollte, muss der Dienstarzt zugezogen werden. Die einzelnen Untersuchungsparameter gewährleisten, dass auch diskrete Befundänderungen erfasst werden können. Überprüft werden

- Vigilanz
- Lähmungen der Gliedmaßen
- Pupillenweite und -reaktion (Cave: Pupillendifferenzen nach einseitiger Staroperation, bei Glasauge oder einseitiger Amaurosis)
- Strecksynergismen
- Babinski-Zeichen: Das Babinski-Zeichen deutet auf eine Läsion im Bereich der Pyramidenbahn hin. Es wird durch druckvolles Bestreichen des äußeren Fußsohlenrandes ausgelöst und ist positiv, wenn eine anhaltende Überstreckung der Großzehe mit Abspreizen der übrigen Zehen provoziert werden kann. Beim Gesunden zeigt sich lediglich eine Beugung der Großzehe. Der Test sollte mehrmals wiederholt werden. Die Kontraktion der Großzehenstrecker muss mindestens so lange anhalten, wie der Reiz ausgelöst wird. Ein flüchtiges Auf und Ab der Zehen bei empfindlichen Patienten ist belanglos.
- Blutdruck
- Puls: Frequenzabfall kann auf steigenden ICP hinweisen. Sportliche oder mit Betablockern behandelte Patienten sind von Haus aus eher bradykard.

Risikopatienten müssen besonders sorgfältig überwacht werden. Bei Alkoholikern und alten Menschen liegt oft eine Hirnatrophie vor. Dadurch kann sich eine intrakranielle Blutung erst vergleichsweise spät mit Symptomen der ICP-Steigerung bemerkbar machen. Oft sind die Hämatome dann schon sehr groß.

Stark alkoholisierte Patienten mit SHT sind deshalb besonders gefährdet, weil durch die Alkoholwirkung Symptome verschleiert sein können und sich die Vigilanz des Patienten nicht gut beurteilen lässt. Außerdem sind die Schutzreflexe (Husten, Würgen, Schlucken) abgeschwächt oder erloschen (→ Aspirationsgefahr!) Oft führen Stürze im Alkoholrausch zu schweren Hirnverletzungen und intrakraniellen Hämatomen. Immer wieder hört man in diesem Zusammenhang vom Tod in der Ausnüchterungszelle. Bei Hinweisen auf Alkoholeinfluss sollten daher immer Gerinnung und Blutalkoholwert mitbestimmt werden!

Verletzte mit Gerinnungsstörungen, die Antikoagulanzien einnehmen (Marcumar), sind ebenfalls gefährdet, intrakranielle Blutungen zu bekommen. Deshalb muss man diese Patienten, auch wenn sie neurologisch unauffällig sind, intensiver und evtl. über mehrere Tage überwachen. Im Zweifelsfall empfiehlt es sich, eine CCT-Kontrolle vorzunehmen und die Gerinnung zu substituieren.

Therapieprinzipien bei bewusstlosen Patienten

Ziele sind entsprechend den Empfehlungen des **European Brain Injury Consortium (EBIC)** von 1995:

- die Aufrechterhaltung einer arteriellen Sauerstoffsättigung >95% und
- eines arteriellen Mitteldruckes >90 mmHg,
- Normovolämie,
- Normothermie,
- Normoglykämie,
- ein Beatmungsregime unter Analgosedierung, das einen arteriellen Sauerstoffpartialdruck über 100 mmHg gewährleistet und einen arteriellen Kohlendioxidpartialdruck zwischen 30 und 35 mmHg,
- möglichst bald sollte ein enteraler Kostaufbau erfolgen.
- Zur Aufrechterhaltung des CPP >70 mmHg sollte der ICP gemessen und dann gesenkt werden, wenn:
  - eine ICP-Messung erhöhte Werte >20–25 mmHg zeigt,
  - im CT Zeichen der ICP-Erhöhung bestehen, z.B. in Form verstrichener basaler Zisternen, und
  - klinische Zeichen der ICP-Steigerung bestehen.

Allgemein akzeptierte Verfahren zur Senkung eines erhöhten ICP sind:

- Sedierung, Analgesie und mäßige Hyperventilation mit einem $paCO_2$ von 30–35 mmHg,
- Volumenexpansion und Vasopression des arteriellen Blutdrucks, um den CPP anzuheben,
- Osmodiurese mit Mannitol als Bolusinfusion, ggf. unterstützt durch Furosemid; die Serumosmolarität sollte 315 mosmol/l nicht übersteigen!
- Liquordrainage über einen liegenden Ventrikelkatheter,
- als Ultima Ratio die forcierte Hyperventilation mit $paCO_2$ <30 mmHg unter Überwachung der zerebralen Oxygenierung über Bulbusoxymetrie.

Alternative Therapieverfahren wie die Barbiturattherapie, die Hypothermie u.a. sind klinisch noch nicht ausreichend erprobt. Für Steroide wird bei ICP-Steigerung keine Indikation gesehen. In Ausnahmefällen kann eine massive ICP-Steigerung durch eine Dekompressionskraniektomie behandelt werden.

Aufwachversuch

Die Beatmungstherapie kann ausschleichend beendet werden, wenn unter Normothermie und Normoventilation während der letzten 24 h keine therapiebedürftigen intrakraniellen Drucksteigerungen über 20 mmHg zu beobachten waren, der CT-Befund unverdächtig und unter Spontanatmung eine gute Oxygenierung und Normokapnie gewährleistet ist. Ein Aufwachversuch wird abgebrochen, wenn der ICP länger als 5 min über 20 mmHg ansteigt.

Absetzen des Monitorings

Das Monitoring kann abgesetzt werden, wenn eine klinisch-neurologische Evaluation möglich ist und keine speziellen Interventionen während der vergangenen 24 h mehr nötig waren.

Feststellung des Hirntodes

Die Feststellung des Hirntodes erfolgt nach Richtlinien, die von der Bundesärztekammer formuliert worden sind und in der jeweils aktuellen Form für den Arzt verbindlich sind. Die Hirntodfeststellung beinhaltet

- eine Reihe von Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen,
- die Dokumentation des Hirntodsyndroms,
- den Nachweis seiner Irreversibilität durch ergänzende Befunde oder angemessene Beobachtungszeit.

Zu den personellen Voraussetzungen gehört, dass der Hirntod von 2 approbierten Ärzten festgestellt werden muss, die beide unabhängig von einem Transplantationsteam sind und von denen einer über mehrjährige Erfahrungen in der intensivmedizinischen Behandlung von Patienten mit schwerer Hirnschädigung verfügen muss. Von Seiten des Patienten muss eine schwere akute primäre oder sekundäre Hirnschädigung vorliegen. Im Untersuchungszeitraum müssen Intoxikation, neuromuskuläre Blockade, Unterkühlung, Kreislaufschock, endokrines oder metabolisches Koma als mögliche Ursache oder wesentliche Mitursache für den Ausfall der Hirnfunktion ausgeschlossen sein.

Maßgebliche klinische Symptome des Ausfalls der Hirnfunktion sind:

- Bewusstlosigkeit (Koma),
- lichtstarre (mittel-)weite Pupillen beidseits,
- Fehlen des okulozephalen, des kornealen und des pharyngealen Reflexes,
- Fehlen der Schmerzreaktion im Trigeminusbereich,
- Ausfall der Spontanatmung (Dokumentation durch den Apnoetest).

Der Nachweis der Irreversibilität des Hirntodsyndroms erfolgt durch:

- eine angemessene klinische Beobachtungszeit, die bei Erwachsenen 12 h beträgt,
- alternativ durch apparative Zusatzuntersuchungen wie
  - Ableitung eines Nulllinien-EEG über 30 min unter definierten Ableitebedingungen,
  - Nachweis des zerebralen Perfusionsstillstandes mittels SPECT (Single-Photon-Emissionscomputertomografie, ^{99m}Tc-HMPAO), Dopplersonografie oder Viergefäßangiografie (die Angiografie kann aus diagnostischen Gründen indiziert sein und den Perfusionsstopp ergeben; zum alleinigen Zweck der Hirntoddokumentation ist sie aber wegen ihrer Invasivität obsolet),
  - Ableitung evozierter Potenziale (frühe, akustisch evozierte Hirnstammpotenziale oder Medianus-SEP (somatosensibel evozierte Potenziale).

Bei Neugeborenen, Kleinkindern sowie bei sekundärer oder primär infratentorieller Hirnschädigung sind besondere Anforderungen zu beachten (s. dazu Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer 1998).

1.2.4 Operative Behandlung intrakranieller Raumforderungen

Pathophysiologie

Die gerichtete Druckwirkung einer zunehmenden Blutung über einer Großhirnhemisphäre führt zu einer Massenverschiebung, und zwar:

- zunächst unter die Falx cerebri zur Gegenseite, man spricht von **subfalzialer Einklemmung**,
- dann zu einer Herniation medialer Temporallappenanteile in den Tentoriumschlitz, der **Mittelhirneinklemmung**, und
- schließlich zur Einklemmung der Medulla oblongata durch die ins Foramen magnum eingepressten Kleinhirntonsillen, zur **Bulbärhirneinklemmung**.

Derselbe Mechanismus liegt der **Stammhirnkompression** zugrunde, wenn eine raumfordernde Blutung von der hinteren Schädelgrube, dem Kleinhirn oder Hirnstamm ausgeht (Abb. 1.7, Bull et al.1989).

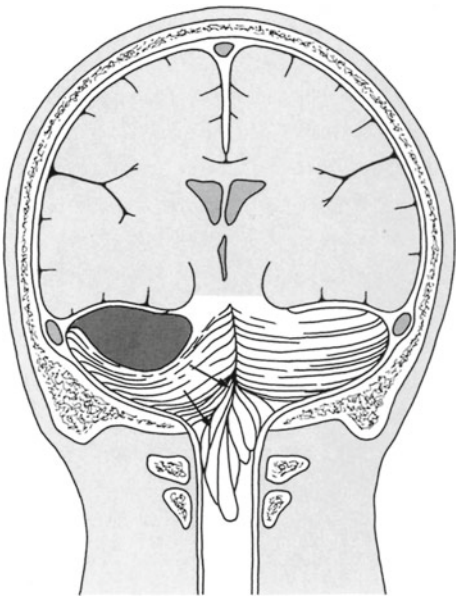


Abb. 1.7 Von der hinteren Schädelgrube ausgehende Raumforderung

Die mechanische Einklemmung zieht über die Drosselung arteriellen Zustroms und venösen Abstroms eine Hypoxie vital wichtiger Stammhirnzentren und -bahnen nach sich. Wird die Einklemmung nicht binnen kurzer Zeit durch Senkung des ICP abgewendet, so führt der weitere Verlauf zum Tode. Auch die vorübergehend zu beobachtende Cushing-Reaktion mit der Symptomentrias **Hypertonie**, **Bradykardie** und **pathologischem Atemmuster** ändert daran nichts. Bei der einsetzenden Cheyne-Stokes-Atmung handelt es sich um einen biologischen Mechanismus, der der Aufrechterhaltung der Stammhirndurchblutung dienen soll.

Wird ein länger bestehendes Mittelhirnsyndrom überlebt, resultieren oft ein lang anhaltendes, apallisches Syndrom oder andere Formen posttraumatischer Durchgangssyndrome. Ein Bulbärhirnsyndrom wird kaum jemals länger als 30 min überlebt.

Klinische Zeichen der Einklemmung

Nicht immer ist gleich das Vollbild des Mittelhirn- oder Bulbärhirnsyndroms erreicht. Auch schon beim wachen Patienten können Differenzen der Pupillenweite, des Muskeltonus oder eine innere Unruhe mit Schweißausbruch auf eine beginnende Mittelhirneinklemmung prodromal hinweisen. Folgende Symptome deuten bis zum Beweis des Gegenteils dringend auf eine progrediente Mittelhirneinklemmung hin:

- die rasche Verschlechterung der Bewusstseinslage bis zum tiefen Koma,
- das Erlöschen der Lichtreaktion und die Erweiterung der Pupillen,
- die Steigerung des Muskeltonus sowie Beuge- und Strecksynergismen,
- Pyramidenbahnzeichen wie z.B. das Babinski-Zeichen und
- eine zunehmende Hyperventilation, Hypertonie, Tachykardie und Bronchialsekretion.

Die Strecksynergismen können bei zunehmendem ICP spontan oder provoziert durch Berührung, Erschütterung oder Schmerzrei-

ze auftreten. Die Arme sind dabei außenrotiert, die Sprunggelenke befinden sich bei hohem Tonus in Spitzfußstellung.

Strecksynergismen dürfen nicht mit Krampfanfällen verwechselt werden. Beim Grand-mal-Anfall beobachtet man erst eine tonische Phase mit Atemstillstand und maximal erhöhtem Muskeltonus, dann eine klonische Phase mit schüttelnden Massenbewegungen. Die Pupillen sind initial weit und werden dann wieder enger.

Epidurales Hämatom

Ätiologie

Epidurale Hämatome (EDH) liegen zwischen der Dura mater und der Schädelinnenseite. Sie können venösen oder arteriellen Ursprungs sein. Die weitaus häufigste Ursache sind frakturbedingte Einrisse von Hirnhautarterien. In etwa 70% sind EDH temporal oder temporobasal lokalisiert, entstanden aus Verletzungen der A. meningea media durch temporale Frakturen, die den Gefäßverlauf kreuzen. Bei Kleinkindern mit nachgiebigem Schädel können EDH auch ohne begleitende Fraktur entstehen. Bei älteren Patienten sind EDH seltener, weil die Dura dem Knochen stärker anhaftet. Sinusverletzungen kommen als venöse Blutungsquelle in Frage. Die ebenfalls überwiegend venösen Frakturhämatome sind selten so groß oder raumfordernd, dass sie behandlungsbedürftig wären.

Klinik

Typischer Verlauf

Der »typische« Verlauf ist gar nicht so typisch, denn er tritt nur in 20–30% der Fälle auf. Er sieht folgendermaßen aus:

- Trauma mit kurzer Bewusstlosigkeit,
- anschließend »freies Intervall« mit relativ klarer Bewusstseinslage,
- dann rasche Verschlechterung mit Bewusstseinstrübung bis zum Koma und Zeichen der Mittelhirneinklemmung mit ipsilateraler Mydriasis, kontralateraler Hemiparese sowie Beuge- und Strecksynergismen.

Häufiger Verlauf

In der Mehrzahl der Fälle sind die Verletzten entweder primär so stark traumatisiert, dass die Bewusstlosigkeit anhält und somit kein luzides Intervall zu beobachten ist, oder sie sind bei einer bloßen Schädelprellung nicht bewusstlos.

Besondere Varianten

Frontale EDH können eine beträchtliche Größe erreichen, ehe sie symptomatisch werden. Fehlt auch eine Bewusstseinstrübung, so fällt häufig eine desorientierte Verwirrtheit auf. EDH im Bereich der hinteren Schädelgrube können urplötzlich zu Atemlähmung und Kreislaufstillstand führen, ohne dass eine Bewusstseinsstörung oder andere neurologische Störungen vorausgehen müssen.

Diagnostik

In der CT stellt sich ein bikonvexes (linsenförmiges) zum Hirn hin glatt begrenztes hyperdenses Areal zwischen Kalotte und Dura dar (◘ Abb. 1.9c); die Knochenfenstereinstellung zeigt benachbarte Frakturen auf. Zu beachten ist das Ausmaß der Raumforderung, also das Volumen des Hämatoms, die Verlagerung der Ventrikel und der Mittellinienstrukturen und ein etwaiger kontralateraler Ventrikelaufstau.

Therapie

Raumfordernd wirkende Hämatome müssen so schnell wie möglich operativ entlastet werden, um weitere sekundäre ischämische Schädigungen abzuwenden. Bei zunehmenden Einklemmungszeichen besteht höchste Lebensgefahr!

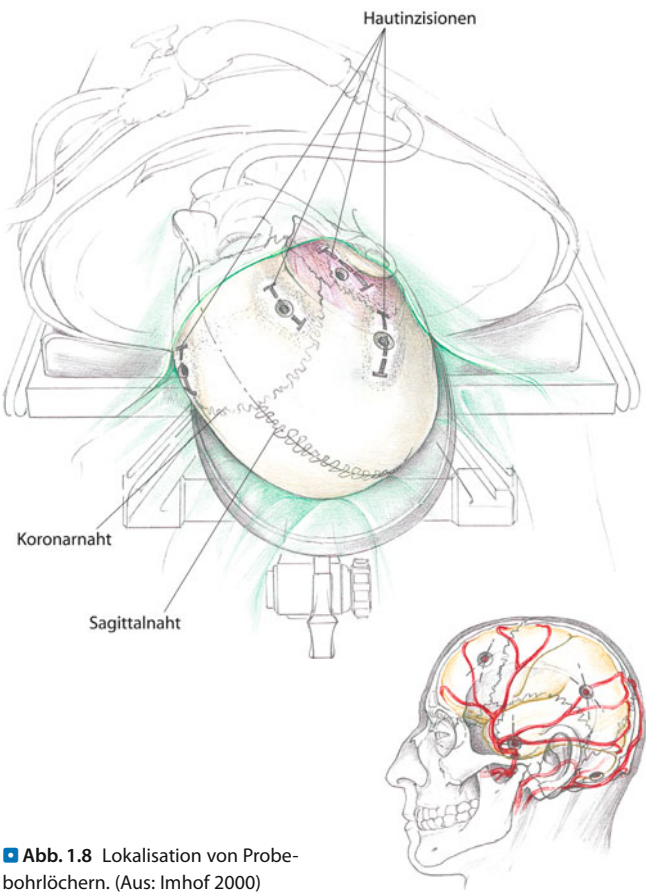
Bohrlochtrepanation

Bei foudroyantem Verlauf besteht die Indikation zur unverzüglichen Entlastung des Hämatoms über eine Bohrlochtrepanation. Nach dem so genannten Krönlein-Schema wird zunächst temporal begonnen, weil hier zwei Drittel aller EDH lokalisiert sind. Der Hautschnitt sollte senkrecht verlaufend, einen Finger breit vor dem vorderen Ansatz der Ohrmuschel und einen Finger breit oberhalb des Jochbogens nach parietal hin gelegt werden. Nach Einsetzen eines Sperrers wird der Temporalmuskel in Faserrichtung gespalten und mit dem Raspatorium vom Knochen abgeschoben. Dann wird ein Bohrloch angelegt, wie in ▶ Abschnitt 1.2.2 beschrieben. Wenn Koagel sichtbar werden, sollte das Bohrloch mit einem Luer erweitert, das Hämatom ausgeräumt und eine etwaige Blutung aus der A. meningea media koaguliert werden. Zuletzt legt man eine Redon-Drainage über das Bohrloch ein und verschließt die Wunde mit Situationsnähten.

Nach Möglichkeit sollte zunächst eine orientierende CT-Untersuchung erfolgen. Dabei werden wenigstens, grob orientierend, einige Schichten zwischen Schädelbasis und Ventrikelsystem gefahren, da in diesem Bereich Blutungen am häufigsten lokalisiert sind. Um Zeit zu sparen, beschränkt man sich auf ein grobes Raster in 8-mm-Schritten. Falls kein Notfall-CT verfügbar ist, wird im Zweifelsfall auf der Seite der Mydriasis trepaniert (◘ Abb. 1.8).

Prognose

Das EDH hat für sich gesehen eine günstige Prognose mit einer Mortalität um 10%, vorausgesetzt, es wird rechtzeitig erkannt und entlastet. Die Prognose hängt aber wesentlich vom Ausmaß der



◘ Abb. 1.8 Lokalisation von Probebohrlöchern. (Aus: Imhof 2000)

primären Hirnverletzung und von den Begleitverletzungen ab. Die Letalität liegt in der Praxis bei 20–35%.

Subdurales Hämatom

Definition

Subdurale Hämatome (SDH) liegen zwischen der Dura mater und der Arachnoidea. Man unterscheidet nach dem Zeitablauf verschiedene Formen (Tab. 1.7).

Ätiologie

Etwa 10% aller schweren SHT werden durch ein akutes SDH kompliziert. Blutungsquelle sind zumeist kortikale Gefäße, die im Bereich von Kontusionen lazeriert sind, bei älteren Patienten häufig auch abgerissene Brückenvenen oder leptomeningeale Anastomosen, gelegentlich Sinuseinrisse. Nicht immer ist eine Blutungsquelle eindeutig zu bestimmen, etwa bei Gerinnungsstörungen.

Klinik

Akutes subdurales Hämatom

Dem akuten SDH liegt im Unterschied zum EDH meist ein schweres Trauma zugrunde. Daher sind die meisten Patienten primär bewusstlos, ein freies Intervall wird dann nicht beobachtet. Eine sekundäre Verschlechterung als Ausdruck kritischer Massenverschiebung bzw. intrakranieller Drucksteigerung wird dann allenfalls an zunehmender Komatiefe mit begleitender kontralateraler Hemiparese und Mydriasis auf der Seite des Hämatoms erkannt.

Subakutes subdurales Hämatom

Subakute SDH entwickeln sich langsamer. Sie können ein tagelanges freies Intervall haben und äußern sich mit den Zeichen ICP-Steigerung und kortikalen Irritationen, diese sind:

- persistierende oder zunehmende (meist ipsilaterale) Cephalgien,
- epileptische Anfälle, die oft fokal beginnen und dann sekundär generalisieren,
- zunehmende Verwirrtheit und motorische Unruhe oder Lethargie,
- plötzliche Dekompensation mit Bewusstlosigkeit und zunehmenden Einklemmungszeichen.

Tab. 1.7 Einteilung der subduralen Hämatome in Abhängigkeit vom Zeitintervall

Form	Zeitintervall
Akutes subdurales Hämatom	<3 Tage
Subakutes subdurales Hämatom	3–20 Tage
Chronisches subdurales Hämatom	>20 Tage

Chronisches subdurales Hämatom

S. unten, ▶ Abschnitt 1.2.4.7.

Diagnostik

Das akute SDH stellt sich als hyperdenses konvex-konkaves, sichelförmiges Areal dar, das im Gegensatz zum EDH meist die gesamte Hemisphäre überdeckt und teilweise dem Windungsrelief folgt. Die deutliche Hyperdensität des frischen Hämatoms bleibt 1–3 Wochen bestehen, um dann zunehmend isodens und nach 4 Wochen hypodens zu erscheinen. Das Ausmaß der Raumforderung, also die Verlagerung von Ventrikeln und Mittellinienstrukturen, ist oft größer als es die Dicke des Hämatoms erwarten ließe, weil die lädierte Hemisphäre zusätzlich geschwollen oder kontusioniert ist (Abb. 1.9).

Therapie

Akute SDH werden in ihrem Volumen meist unterschätzt. Ihre Behandlung besteht in:

- unverzüglicher ausgedehnter Kraniotomie,
- Entlastung des Hämatoms,
- Versorgung blutender Kontusionsherde (Abb. 1.10).

Nach der Entlastung des Hämatoms kommt es nicht selten zu einer ausgeprägten Hirnschwellung, der so genannten erectio cerebri (s. unten), sodass die Dura plastisch erweitert oder offen gelassen werden muss und man den Knochendeckel nicht wieder einsetzen kann, um im Sinne einer Dekompression Platz für das geschwollene Gehirn zu gewinnen.

Nur im äußersten Notfall, d.h. wenn keinerlei diagnostische Möglichkeiten oder Transportfähigkeit besteht, wird man bei dringendem Verdacht auf der Seite der Mydriasis an mehreren Stellen über der Großhirnhemisphäre Bohrlöcher so anlegen, dass sie notfalls zu einer großen Trepanation verbunden werden können. Man verfährt dabei so, wie es oben im ▶ Abschnitt 1.2.4.3, Epidurales Hämatom, beschrieben wurde. Ein SDH im Fenster des Bohrlochs erkennt man an der sich vorwölbenden, bläulich schimmernden Dura. Sichtbare Duragefäße werden koaguliert, dann die Dura inzidiert und das Hämatom vorsichtig abgesaugt, ohne die Hirnoberfläche zu verletzen. Anschließend wird über das Bohrloch eine Redon-Drainage gelegt und die Wunde mit Situationsnähten verschlossen. Zur definitiven Diagnostik und neurochirurgischen

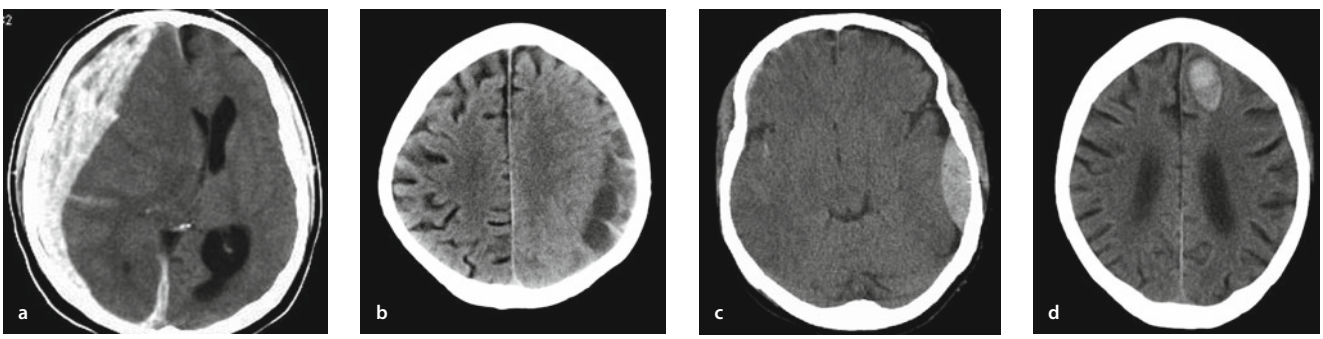


Abb. 1.9a–d Computertomogramme traumatischer intrakranieller Hämatome. **a** Akutes Subduralhämatom. **b** Chronisches Subduralhämatom. **c** Epidurales Hämatom. **d** Kontusionsblutung links frontal

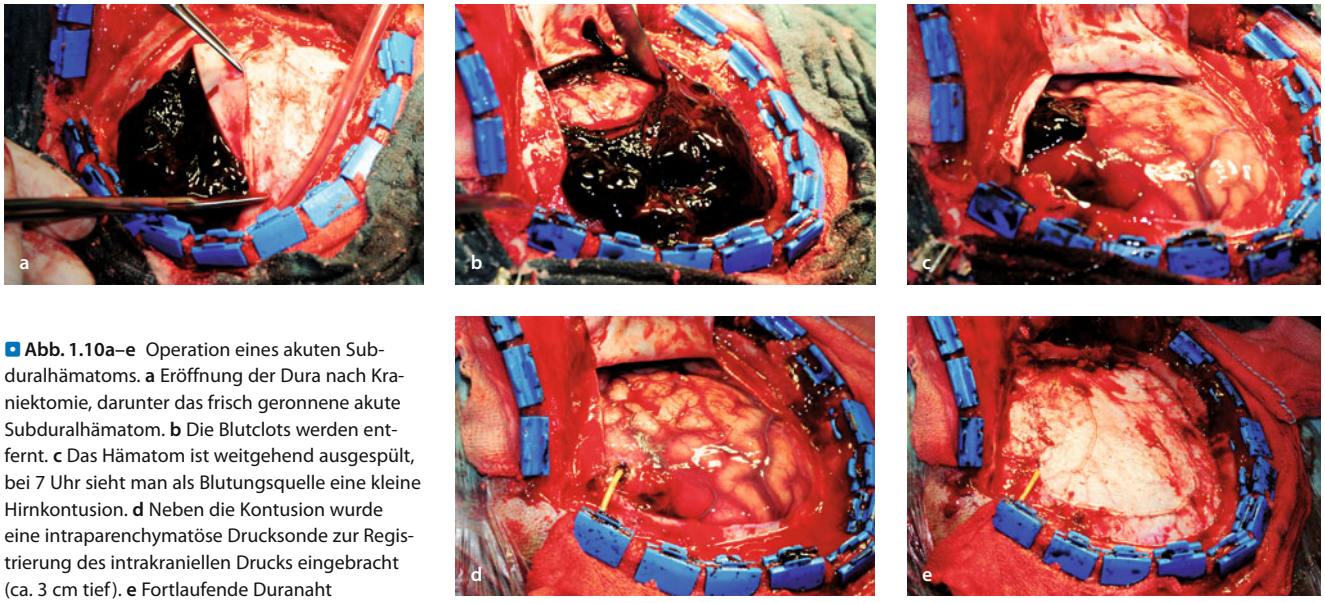


Abb. 1.10a–e Operation eines akuten Subduralhämatoms. **a** Eröffnung der Dura nach Kraniektomie, darunter das frisch geronnene akute Subduralhämatom. **b** Die Blutclots werden entfernt. **c** Das Hämatom ist weitgehend ausgespült, bei 7 Uhr sieht man als Blutungsquelle eine kleine Hirnkontusion. **d** Neben die Kontusion wurde eine intraparenchymatöse Drucksonde zur Registrierung des intrakraniellen Drucks eingebracht (ca. 3 cm tief). **e** Fortlaufende Duranaht

Versorgung verlegt man den Patienten so schnell wie möglich in eine entsprechende Behandlungseinheit.

Für subakute SDH gelten dieselben therapeutischen Empfehlungen, die Gefahr der intraoperativen Hirnschwellung oder anderer Komplikationen ist jedoch geringer.

Komplikationen und Prognose

Postoperativ entwickeln sich häufig eine Hirnschwellung und ein Hirnödem, beides Folge der schweren primären Hirnschädigung. Dabei kann Hirngewebe, das sich in die Kraniotomielücke ausdehnt, infarzieren. In 20–30% zwingen Nachblutungen zur operativen Revision. Selbst zeit- und sachgerecht versorgte akute SDH haben nach wie vor eine schlechte Prognose mit einer Mortalität von 60–75%, was ganz überwiegend dem primären Hirntrauma anzulasten ist. Überlebende Patienten leiden oft an fokalen Defiziten, Krampfanfällen oder schweren neuropsychologischen Störungen.

Hirnkontusion und intrazerebrales Hämatom

Ätiologie

Bei einem Großteil aller schweren SHT liegen Hirnkontusionen vor. Es handelt sich um strukturelle Schädigungen der Hirnsubstanz, die je nach Verletzungsmechanismus, dem Alter des Patienten und z.B. der Gerinnungssituation unterschiedliche Ausmaße annehmen können. Sie reichen von der diffusen Axonschädigung, die auch in der MRT nicht sichtbar zu machen ist, bis zu groben Hirnlazerationen. Kontusionen sind früher oder später immer von einem perifokalen Ödem umgeben, was die lokale Raumforderung weiter vergrößert.

Intrazerebrale Hämatome (ICH) entstehen entweder durch hämorrhagische Erweichung von Kontusionsherden oder durch Einblutung rupturierter intrazerebraler Blutgefäße in die Hirnsubstanz.

Klinik

Die Symptomatik der Kontusionen oder ICH ist lokalisationsbezogen und umfasst:

- fokale Reizerscheinungen (Anfälle, Parästhesien),
- neurologische Ausfälle wie Hemiparese, Aphasie, Hemianopsie u.a. sowie
- Symptome der ICP-Steigerung.

Diagnostik

In der CT wechseln hyperdense mit hypodensen unregelmäßig begrenzten Arealen ab, die Einblutungen bzw. Ödemen entsprechen. Sie können bihemispärisch als Coup- und Contrecoup-Herde auftreten. Der Coup liegt am Ort der stattgehabten Gewalteinwirkung, der Contrecoup gegenüber. Contrecoup-Herde sind zumeist ausgeprägter oder allein nachweisbar, so etwa die bifrontalen Kontusionsherde bei Sturz auf den Hinterkopf.

Wenn Kontusionsherde vorliegen, muss die CT nach 12–24 h wiederholt werden, da sich Kontusionen oft erst verzögert entwickeln, in ihrer Ausdehnung vergrößern oder weiter einbluten können.

Findet ein neurologisches Defizit in der CT kein angemessenes Korrelat, so gibt die MRT Hinweise für tiefer gelegene diffuse Axonschädigungen etwa im Balken- oder Hirnstammbereich. In diesem Fall sind elektrophysiologische Untersuchungen indiziert mit sensibel und akustisch evozierten Potenzialen.

Therapie

Tief intraparenchymal gelegene, kleine oder multiple Kontusionen sind nicht Gegenstand operativer Behandlung. Eine Operationsindikation besteht hingegen bei raumfordernden großen Kontusionsherden in klinisch stummen Arealen, etwa frontal oder temporal, wenn dadurch die kritische ICP-Steigerung zu beheben ist. Das operative Vorgehen beinhaltet:

- die gezielte Kraniotomie über der zu entlastenden Region; bei begleitendem Hirnödem muss diese ggf. weiter ausgedehnt werden,
- die Entfernung von kontusioniertem Hirngewebe,
- die Entlastung von Hämatomen,
- die penible Blutstillung,
- die Teilresektion von klinisch stummen Hirnarealen bei maligner Drucksteigerung, um eine Einklemmung abzuwenden.

Prognose

Die Mortalität liegt zwischen 15 und 55% je nach Anzahl, Lokalisation und Ausmaß der Kontusionsherde. Wie bei allen schweren

SHT hängt die Prognose aber auch von der biologischen Verfassung der Patienten ab. Bleibende fokale Defizite sind häufig.

Dekompression bei ICP-Dekompensation

Darunter werden operative Maßnahmen verstanden, die bei kritischer, vital bedrohlicher ICP-Steigerung eine Drucksenkung ermöglichen sollen. Bei malignem Mediainfarkt hat die Dekompressionskraniektomie mit Duraerweiterungsplastik über der infarzierten Hemisphäre bereits Eingang in die klinische Routine gefunden. In der Traumatologie wird sie hingegen sehr kontrovers beurteilt. Es werden verschiedene Verfahren vorgeschlagen, darunter:

- die (bi-)temporale oder (bi-)frontale Kraniektomie,
- die ein- oder beidseitige fronto-temporo-parieto-okzipitale Kraniektomie,
- die Duraerweiterungsplastik und
- die Lobektomie (darunter wird die ausgedehnte Resektion von Hirnlappen(teilen) verstanden, z.B. die Frontallappenresektion).

Die (bi-)temporale Kraniektomie ist nicht zur effektiven ICP-Senkung geeignet. Die bifrontale Entlastung wird bei großen frontalen Kontusionsblutungen von einigen Zentren angeraten (Abb. 1.9). Die hemisphärische Kraniektomie bietet sich als Ultima Ratio beim generalisierten Hirnödem an. Eine Duraerweiterungsplastik ist in beiden Fällen erforderlich, um Raum zu gewinnen. Die Lobektomie ist nur bei ausgedehnter Kontusionierung indiziert.

Die Dekompressionskraniektomie mit Duraerweiterungsplastik ist eine Behandlungsoption bei konservativ-intensivmedizinisch nicht beherrschbarer traumatisch bedingter ICP-Steigerung. Ein Beweis für ihre Effektivität ist noch nicht definitiv erbracht. Zwar ist ein Nutzen für Patienten unter 40 Jahren, v.a. für Kinder und Jugendliche, unter bestimmten Voraussetzungen belegt. Dennoch profitieren die meisten Patienten nicht von dieser Maßnahme.

Chronisches subdurales Hämatom

Ätiologie

Das chronische subdurale Hämatom (CSDH) gilt als eigenes Krankheitsbild und betrifft zumeist ältere oder betagte Patienten. 75% der Patienten sind über 50 Jahre alt. Ursache ist in der Mehrzahl der Fälle eine Kopfverletzung, wobei es sich zumeist um Bagatelltraumen handelt. In fast 50% ist ein Trauma jedoch nicht erinnerlich. Weitere Risikofaktoren sind Alkoholismus, Epilepsie und Gerinnungsstörungen meist im Rahmen einer Antikoagulanzientherapie.

Initial kommt es durch das Trauma zu einer – in der Regel asymptomatischen – kleinen Blutung in den Subduralraum, die sich in den folgenden Wochen abkapselt und vergrößert. Als ursächlich dafür nimmt man rezidivierende Einblutungen aus stark proliferierenden Kapselgefäßen an, verbunden mit osmotischer Wasseraufnahme und vermehrtem Gehalt fibrinolytischer Enzyme in der Hämatomflüssigkeit. CSDH können über Wochen eine enorme Größe erreichen und sich mehrere Zentimeter dick über eine oder beide Hemisphären ausbreiten, ehe sie symptomatisch werden.

Klinik

Die Symptome umfassen:

- Kopfschmerzen, Schwindel, Gangunsicherheit,
- fokale oder generalisierte Krampfanfälle durch Irritation des Kortex,
- Bewusstseinstrübung bis Bewusstlosigkeit durch ICP-Steigerung,
- Halbseitenzeichen wie Hemiparese, Aphasie, Hemianopsie,
- einseitige Pupillenerweiterung, die jedoch meist erst bei Dekompensation des ICP auftritt.

Die Symptome sind per se uncharakteristisch. Erfahrungsgemäß wird daher das CSDH sehr häufig verkannt oder als ischämischer Insult fehlgedeutet, zumal die Symptome gerne fluktuieren und sich unter unspezifischer Infusionstherapie der oft exsikkierten Patienten passager bessern.

Bei älteren und v.a. bei alten Patienten, die – mit oder ohne Trauma in der Vorgeschichte – über neu aufgetretene Kopfschmerzen, Vigilanzminderung oder Halbseitenzeichen klagen, sollte man immer an ein CSDH denken.

Diagnostik

In der CT zeigt sich eine hypodense, später zusätzlich abgekapselte oder septierte subdurale Raumforderung mit Massenverlagerung (Abb. 1.9b). Leicht zu übersehen sind symmetrische isodense beidseitige Hämatome, die zu keiner Verschiebung des Ventrikelsystems führen.

Therapie

Das Hämatom muss über eine Bohrlochtrepanation langsam entlastet werden. Die Hämatomhöhle wird über 2–3 Tage drainiert. Hämatomreste resorbieren sich meist allmählich. In seltenen Fällen, nämlich bei rezidivierenden Nachblutungen oder Infektion, wird eine Kraniotomie mit Resektion der Hämatomkapsel erforderlich.

Prognose

Insgesamt ist die Prognose auch bei alten Menschen gut. Sie hängt aber vom neurologischen Status zum Zeitpunkt der Operation und etwaigen Begleitkrankheiten ab. In 80–85% der Fälle wird eine völlige Wiederherstellung erreicht.

1.2.5 Sonstige Verletzungsfolgen

Traumatische Subarachnoidalblutung

Ätiologie

Bei traumatischer Zerreißung pialer oder arachnoidaler Blutgefäße tritt Blut in den Subarachnoidalraum aus. Der Liquor ist dadurch blutig tingiert. Eine traumatische Subarachnoidalblutung (tSAB) ist häufig in der Umgebung oberflächlicher Hirnkontusionen zu finden. Sie offenbart sich in der CT in Form einer hyperdensen Nachzeichnung des Windungsreliefs, insbesondere im Bereich der Hirnkonvexität, seltener in den basalen Zisternen.

Diagnostik

Differenzialdiagnostisch muss bei ausgedehnten subarachnoidalen Blutansammlungen, insbesondere im Bereich der basalen Zisternen, immer an eine spontane aneurysmatische Subarachnoidalblutung gedacht werden, evtl. mit konsekutivem Sturz und SHT. Traumatisch ausgelöste aneurysmatische Subarachnoidalblutungen sind die Ausnahme. Im Zweifelsfall muss die zerebrale Viergefäßangiografie zum Nachweis oder Ausschluss eines Aneurysmas erfolgen. Auch die Angabe eines plötzlich einsetzenden äußerst heftigen Kopfschmerzes von vernichtender Qualität und ein Meningismus deuten eher auf eine spontane Subarachnoidalblutung hin.

Therapie

Prinzipiell kann auch eine tSAB einen Vasospasmus bzw. verzögert einsetzende neurologische Defizite nach sich ziehen. Deshalb wird bei ausgedehnten Befunden die Gabe von Nimodipin empfohlen (2 mg/h i.v. einschleichend beginnen, nach 10 Tagen 6-mal 60 mg p.o.).

In der Akutphase nach SHT ist die wiederholte Lumbalpunktion zur Reinigung des Liquors, wie sie bisweilen nach Subarachnoidalblutung empfohlen wird, natürlich strikt kontraindiziert, da eine Einklemmung des Hirnstamms im Tentoriumschlitz oder der Medulla oblongata im Foramen magnum resultieren kann, ausgelöst durch die Druckentlastung im Spinalkanal.

Posttraumatischer Hydrozephalus

Ätiologie

Der Liquor wird normalerweise in den Plexus chorioidei der Ventrikel gebildet (ca. 500 ml/24 h), passiert die Foramina Monroi, den Aquädukt und die Foramina Luschkae und Magendii, um dann das Gehirn zu umspülen und in den Pacchioni-Granulationen der sinusnahen Arachnoidea wieder resorbiert zu werden. Zu einem druckaktiven Hydrozephalus kommt es,

- wenn die Liquorpassage durch Hirnschwellung, Hirnödem, lokale Einblutungen oder Massenverschiebung blockiert ist und sich der Liquor oberhalb der Okklusion aufstaut. Dieser Hydrocephalus occlusus ist radiologisch als Ventrikelerweiterung oberhalb der Läsion erkennbar (Hydrocephalus internus).
- Die zweite Möglichkeit ist, dass die Liquorresorption durch Blutauflagerungen, entzündliche oder exsudative Prozesse behindert ist und sich ein Missverhältnis zwischen Liquorproduktion und Resorption einstellt. Man spricht dann vom Hydrocephalus aresorptivus, der radiologisch durch eine Erweiterung der Ventrikel und der äußeren Liquorräume gekennzeichnet ist (Hydrocephalus internus et externus).

Es gibt auch Formen des Hydrozephalus, die nicht druckaktiv sind:

- Der Hydrocephalus e vacuo entspricht einer kompensatorischen Erweiterung der inneren oder äußeren Liquorräume infolge Untergangs von Hirngewebe. Hier besteht ein Defektzustand ohne Behandlungsnotwendigkeit.
- Beim Normaldruckhydrozephalus handelt es sich um eine komplexe Störung der Liquordynamik mit Erhöhung des Liquorausflusswiderstandes auf normalem Druckniveau, oft mit phasenweiser Druckaktivität. Klinisch besteht ein Syndrom aus der Trias von Gang- und Gleichgewichtsstörung, demenziellem Abbau und Blasenfunktionsstörungen, wobei die Symptome unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Radiologisch findet man einen Hydrocephalus internus ohne Hinweis auf eine Beeinträchtigung der Liquorpassage. In ausgewählten Fällen ist eine Shuntimplantation indiziert und erfolgreich.

Klinik

Die Symptomatik des druckaktiven Hydrozephalus, der zur ICP-Steigerung führt, besteht charakteristischerweise in:

- Kopfschmerzen, später mit Übelkeit und Erbrechen durch Vagusreiz,
- Schwindel, Gangunsicherheit und Koordinationstörungen,
- Sehstörungen mit Doppelbildern oft auf dem Boden einer Abduzensparese und Visusminderung durch eine Stauungspapille (nicht bei akutem Hydrozephalus),
- zunehmender Benommenheit, Bewusstseinsstörung, Bewusstlosigkeit,
- kognitiven Störungen, demenziellem Abbau,
- Blasenstörungen mit Inkontinenz.

Bei Säuglingen und Kleinkindern sieht man:

- überproportionales Wachstum des Kopfumfangs,
- gespannte Fontanellen,
- erweiterte Skalpvenen,
- Sonnenuntergangsphänomen durch zentrale Blickheberparese,
- Trinkschwäche.

Beim Okklusivhydrozephalus ist die Symptomatik meist akuter und rascher progredient als beim aresorptiven Hydrozephalus. Halbseitenzeichen gehören nicht zu den Zeichen der ICP-Steigerung.

Diagnostik

Die Diagnose resultiert aus den oben genannten Symptomen und dem CT- oder MRT-Befund, auf dem die Ventrikelerweiterung sichtbar wird. Eine augenärztliche Untersuchung dokumentiert die Stauungspapille und den Visus.

Bei eher akuter Symptomatik dürfen die Pupillen keinesfalls weitgestellt werden, um die weitere Überwachung nicht zu vereiteln.

Die ICP-Messung kann in Zweifelsfällen der Druckaktivität oder Behandlungsbedürftigkeit indiziert sein.

Therapie

Der akute, druckaktive Hydrozephalus wird zunächst mit einer externen Ventrikeldrainage versorgt: Über ein frontales Bohrloch in Höhe der Koronarnaht wird 2 cm paramedian (bevorzugt rechts) der Seitenventrikel punktiert und der Liquor über eine Drainage, die zur Infektionsprophylaxe möglichst weit subkutan verlaufen soll, nach außen in ein Reservoir abgeleitet. Am weiteren Verlauf zeigt sich, ob die Drainage entfernt werden kann oder ob ein Shunt erforderlich ist.

Der chronische, druckaktive Hydrozephalus wird mit einer permanenten internen Liquorableitung behandelt. In der Regel wird ein ventrikuloperitonealer Shunt implantiert. Mancherorts wird noch ein ventrikuloatrialer Shunt bevorzugt. Dabei wird das ventrikuläre Ende des Shunts frontal oder okzipital in den Ventrikel eingeführt, der Shunt selbst subkutan untertunnelt und das distale Ende in der Peritonealhöhle versenkt. Bei einem ventrikuloatrialen Shunt wird das distale Ende über die Vv. facialis und jugularis im rechten Vorhof platziert.

Posttraumatisches Anfallsleiden

Ätiologie

Man unterscheidet zwischen **Früh- und Spätepilepsie**. Frühe Anfälle manifestieren sich innerhalb der ersten Woche nach Trauma. Die Anfälle treten insgesamt mit einer Häufigkeit von etwa 3–5% nach gedecktem SHT auf, nach offenem SHT in 8–10%, nach Schussverletzungen in über 50%. Späte Anfälle manifestieren sich erstmals bei 50% der Patienten innerhalb des ersten Jahres, bei 75% innerhalb von 2 Jahren nach dem Trauma.

Hauptrisikofaktor ist die fokale hämorrhagische Hirnschädigung. Dabei korreliert die Häufigkeit der posttraumatischen Epilepsie mit dem Schweregrad des Traumas, der Dauer der Bewusstlosigkeit und dem Alter. Sie ist bei Kindern insgesamt häufiger (Tab. 1.8).

Klinik

Frühanfälle sind in der Hälfte der Fälle fokale Anfälle ohne Generalisierung, bei frontaler oder temporaler Schädigung in Form psychomotorischer Anfälle. Sie rezidivieren seltener als Spätanfälle. Speziell ein Anfall im Moment des Traumas prädestiniert nicht für die Entwicklung einer Spätepilepsie. Späte Anfälle sind hingegen in 60–70% der Fälle generalisierend, seltener fokal oder psychomotorisch.

Tab. 1.8 Risiko des früh bzw. spät nach Trauma auftretenden Anfallsleidens in Abhängigkeit von der Verletzungsart

Verletzungsart	Frühanfälle	Spätanfälle
Penetrierende Schussverletzung	??	53%
Intrazerebrales Hämatom, Kontusion	20–30%	32–39%
Subdurales Hämatom		45%
Impressionsfraktur mit/ohne Durazerreißung	11%	25/15%
Bewusstlosigkeit >24 h	11–14%	5%
Lineare Schädelfraktur	7%	5%

Diagnostik und Therapie

Die weitere Abklärung erfolgt durch den Neurologen oder Neurochirurgen mittels EEG in Ruhe und unter Hyperventilation, evtl. mit Provokation durch Schlafentzug. Danach wird ggf. eine antikonvulsive Medikation eingeleitet. Generell wird keine Indikation für die prophylaktische Gabe eines Antikonvulsivums gesehen, auch ein einzelner Anfall rechtfertigt noch keine Therapie.

Prognose

Aus der Sicht des Gutachters wird nur dann ein kausaler Zusammenhang zwischen Trauma und nachfolgender Epilepsie angenommen, wenn eine Hirnschädigung nachweisbar ist und dies mit einem entsprechenden EEG-Befund korreliert.

Patienten mit Anfällen sollten darauf hingewiesen werden, dass sie keinesfalls ein Kraftfahrzeug führen dürfen. Dies ist erst wieder erlaubt, wenn sie 2 Jahre lang anfallsfrei waren. Überdies müssen diese Patienten von sturz- und verletzungsgefährdeten Arbeitsplätzen ferngehalten werden und dürfen keine Schichtarbeit leisten.

Postkommotionelles Syndrom

Ätiologie

Unter dem postkommotionellen Syndrom versteht man einen nicht objektivierbaren Symptomenkomplex nach SHT. Es ist noch ungeklärt, ob es sich um die Folgen neuronaler Schädigung, der »diffuse axonal injury«, handelt oder um eine neurotische Fehlentwicklung. Für die erste These gibt es pathologische und pathophysiologische Hinweise, z.B. Mikroläsionen im Bereich des Hirnstamms, des Balkens und der weißen Hirnsubstanz. Für die Annahme einer Persönlichkeitsstörung spricht, dass das postkommotionelle Syndrom bei Sportunfällen, Kindern, bei Berufstätigen sowie bei schwererem Trauma deutlich seltener beobachtet wird und objektivierbare abnormale Befunde regelmäßig fehlen.

Klinik

Ganz überwiegend handelt es sich um ein leichtes Trauma, nach dem etwa 25–50% der Patienten über folgende Beschwerden klagen:

- Kopfschmerzen
- Schwindel
- Doppelbilder und Verschwommensehen
- Störung des Kurzzeitgedächtnisses
- Konzentrationsschwäche
- Reizbarkeit
- Müdigkeit
- depressive Verstimmung
- Alkoholunverträglichkeit

Therapie

Die Behandlung besteht in dem Ausschluss anderer posttraumatischer Erkrankungen (s. oben). Gegebenenfalls sind eine neuropsychologische Testung und eine Beratung über das Krankheitsbild nötig. Die Symptome bilden sich meist innerhalb von einigen Wochen bis Monaten zurück. Eine symptomatische Pharmakotherapie ist wenig erfolgreich.

1.3 Frakturen des Schädeldachs

O.-W. Ullrich, B. Weigel

1.3.1 Grundlagen

Diagnostik

Auf Röntgennativaufnahmen in den Standardprojektionen ist oft das wahre Ausmaß einer Fraktur nicht zu erkennen, was besonders für Impressionsfrakturen zu beachten ist. Im Zweifelsfall gibt die CT im »Knochenfenster« Auskunft über Lage, Tiefe und Ausdehnung der Impression und über evtl. ins Gehirn eingesprengte Knochenfragmente oder Hirnkontusionen. Erst so lässt sich die Operationsindikation definitiv beurteilen.

Therapie

Eine operative Behandlung ist bei Kalottenfrakturen nur dann notwendig, wenn eine Impression nennenswerten Ausmaßes oder eine offene Verletzung vorliegt.

1.3.2 Versorgung je nach Frakturform

Geschlossene Schädelimpressionsfraktur

Therapie

Eine Indikation zur Hebung besteht grundsätzlich bei einer knöchernen Impression um Kalottendicke oder mehr. Impressionen im Stirn- oder Schläfenbereich können aus kosmetischen Gründen auch bei geringerem Ausmaß operationsbedürftig sein. Bei gleichzeitiger epiduraler Blutung hängt die Operationsindikation in erster Linie von der Größe des Hämatoms ab. Bei ausgedehnteren Impressionsfrakturen ist nicht selten die Dura zerrissen und in etwa der Hälfte aller Fälle Hirngewebe kontusioniert.

Die operative Versorgung ist in der Regel nicht schwierig: Neben der Impression werden 1 oder 2 Bohrlöcher angelegt, von wo aus mit einer kräftigen Pinzette oder der Luer-Hohlmeißelzange das Imprimat vorsichtig entfernt wird. Bei größeren Imprimaten ist eine ausgedehntere Schnittführung erforderlich, dazu meist eine Kraniotomie um das imprimierte Areal herum. Nur so können etwaige Duradefekte dargestellt und die Verletzungen der Hirnoberfläche angemessen versorgt werden. Kann die Dura nicht primär genäht werden, wird der verbleibende Defekt mit autologem Periost oder einem Duraersatzpräparat verschlossen. Rund um den Kalottendefekt werden Durahochnähte gelegt, die die Dura an der Kalotte fixieren und die Ausbreitung einer evtl. epiduralen Nachblutung vermeiden sollen. Danach werden die gehobenen Knochenfragmente wieder eingesetzt und mit Miniosteosyntheseplätt-

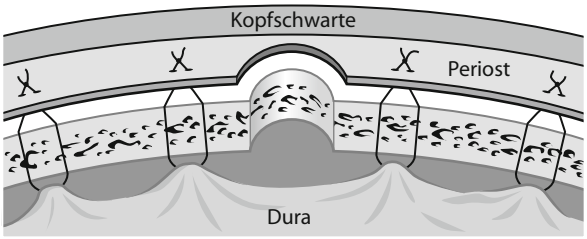


Abb. 1.11 Durahochnähte zur Prophylaxe postoperativer epiduraler Hämatome

chen, Titanklammern, Draht oder Fäden (Vicryl oder Mersilene) untereinander und am Kalottenrand fixiert (Abb. 1.11).

Eine Besonderheit ist die Impression des nichtfrakturierten Schädels bei Kleinstkindern, die so genannte Ping-pong-Fraktur, die über ein kleines Bohrloch mit dem Dissektor unterfahren und eleviert werden kann, ohne dass eine Kraniotomie erforderlich ist.

Offene Schädelimpressionsfraktur

Therapie

Das operative Vorgehen ist bei offenen Impressionsfrakturen prinzipiell gleich. Allerdings wird der Wundbereich grundsätzlich als kontaminiert angesehen und das Imprimat zunächst nicht wieder eingesetzt. Die plastische Deckung kann dann 3–6 Monate später erfolgen, vorausgesetzt die Wunde ist reizlos verheilt.

Ein weiterer Unterschied betrifft den Operationszeitpunkt: Offene Frakturen müssen so früh wie möglich, am besten innerhalb von 6 h nach dem Trauma versorgt werden. Bei geschlossenen Frakturen hingegen wird nicht selten abgewartet, bis die Weichteile im Frakturbereich abgeschwollen sind, was in Hinblick auf die Wundheilung günstiger ist.

Komplikationen und Prognose

Impressionsfrakturen können je nach Lage und Tiefe der Impression zu einer oberflächlichen Hirnschädigung führen, die meist trotz Hebung der Impression persistiert. 15–25% der Patienten entwickeln im Laufe der folgenden Jahre eine posttraumatische Narbenepilepsie, die eine antikonvulsive Behandlung erfordert.

Auch entzündliche Komplikationen sind relativ häufig. In 5–10% tritt nach offener Impressionsfraktur, nicht selten erst nach monatelanger Latenz, ein Hirnabszess auf. Dies unterstreicht die Forderung nach einer sorgfältigen Versorgung auch vermeintlich weniger bedeutsamer Verletzungen, gerade auch bei Patienten ohne nennenswerte primäre Hirnverletzung.

Wachsende Frakturen

Eine Besonderheit des Kindesalters sind die wachsenden Frakturen. Sie treten bei etwa 0,6% der linearen Kalottenfrakturen auf. Dabei sind die Kinder in 90% der Fälle jünger als 3 Jahre. Durch eine Durazerreißung unter der Fraktur können Arachnoidea und Hirn hernieren. In diesem Fall kann die Dura nicht primär heilen und der intrakranielle pulsierende Druck führt zu einer progredienten Verbreiterung des Frakturspalts. Die operative Behandlung besteht in einer plastischen Rekonstruktion der Dura und einer Deckung des Kalottendefekts (s. unten). Gelegentlich ist eine interne Liquorableitung (Shunt) erforderlich.

Schädeldachplastik

Wurde bei einer Kraniotomie der Kalottendeckel nicht wieder eingesetzt, etwa bei primär offener, verschmutzter Verletzung, bei ausgeprägter Hirnschwellung oder im Rahmen einer Dekompressionskraniektomie, so ist die plastische Deckung des Kalottendefekts auf verschiedene Art möglich:

- Wird der entnommene Knochendeckel tiefgefroren steril aufbewahrt, kann er wieder eingesetzt werden. Gelegentlich kommt es im Anschluss zur aseptischen Knochennekrose. Dann muss der Deckel wieder entfernt werden.
- Am häufigsten werden – auch größere – Kalottendefekte mit Knochenzement (Palacos) gedeckt. Die Plastik wird passend einmodelliert und mit Fäden oder Miniplättchen fixiert. Wird die Plastik mit kleinen Löchern versehen, kann gefäßtragendes Bindegewebe durchsprossen, was eine reizlose Einheilung begünstigt.
- Auch mit Titannetzen können Defekte im Bereich der Schädelbasis erfolgreich verschlossen werden.
- Zunehmend werden in 3-D-CAD-Technik individuell maßgefertigte Plastiken aus Titan, Keramik oder Methylmethacrylat eingesetzt, um ausgedehnte und kosmetisch heikle Kalottendefekte zu decken.

1.4 Rhinobasale Frakturen

V. Bonkowsky

1.4.1 Anatomie und Terminologie

Schädelbasisfrakturen, die mit den Nasennebenhöhlen in Verbindung stehen, sind offene Schädel-Hirn-Verletzungen und deshalb versorgungspflichtig. Rhinobasale Frakturen entstehen nicht nur bei frontaler Gewalteinwirkung, sondern auch bei okzipitaler oder seitlich auftreffender Gewalt, v.a. beim Aufprall des Gesichts bei Verkehrs- und Arbeitsunfällen. Die Bruchlinien verlaufen entlang der Schwachstellen des Schädelgerüsts.

Der vordere Basisabschnitt wird, abgesehen vom Orbitadach, aus Teilen des Nasennebenhöhlensystems, nämlich der Stirnhöhlenhinterwand, der Lamina cribrosa, den Dächern von Siebbein und Keilbeinhöhle sowie von Hinterwand und Seitenwänden der letzteren gebildet. Das für diesen Teil der Schädelbasis typische Nebeneinander von festen Knochen, dünnen knöchernen Lamellen und angrenzenden lufthaltigen Hohlräumen sorgt zusammen mit der siebartigen Durchlöcherung der Riechplatte, variablen kongenitalen Dehiszenzen sowie den zahlreichen präformierten Öffnungen für den Durchtritt von Gefäßen und Nerven für eine unterschiedliche Festigkeit. Frontobasale Brüche folgen deswegen nicht den verhältnismäßig einfachen Gesetzmäßigkeiten etwa eines seitlichen Schädelbruchs, sondern zeigen oftmals völlig unerwartete Verlaufsrichtungen. Von klinischer Bedeutung ist ferner, dass die Dura mater im Bereich der Rhinobasis sehr dünn, besonders fest mit dem Knochen verwachsen und relativ unelastisch an ihrer Unterlage fixiert ist. Knochenbrüche führen hier deswegen besonders leicht zu Durazerreißungen.

1.4.2 Standortbestimmung

Da die meisten frontobasalen bzw. rhinobasalen Verletzungen die Folge von Mittelgesichtstraumen sind, transnasale und transfaziale extradurale Zugänge als schonend und sicher gelten, das Riechvermögen bei der Versorgung möglichst erhalten werden soll und in der Regel Nasennebenhöhlendrainagen notwendig sind, liegt die Organisation der Behandlung in den Händen des HNO-Chirurgen.

Für eine optimale Versorgung schwerer Verletzungen ist jedoch eine enge Absprache zwischen Anästhesisten, Unfallchirurgen, HNO- und Kieferchirurgen, Neurochirurgen, Ophthalmologen und Radiologen erforderlich, zumal sich auch die behandelnden Disziplinen forensisch abgrenzen und absichern müssen.

1.4.3 Terminologie

Immer dann, wenn Nasennebenhöhlenwände im Bereich der Schädelbasis gebrochen sind, sollte von einer **rhinobasalen Fraktur** gesprochen werden. Der häufig verwendete Terminus frontobasale Fraktur ist im Hinblick auf therapeutische Konsequenzen weniger exakt. So ist z.B. eine frontobasale Fraktur im lateralen Bereich, die nicht mit den Nasennebenhöhlen kommuniziert, therapeutisch in der Regel ohne Konsequenzen, während z.B. von Keilbeinhöhlenfrakturen, die nicht mehr dem frontobasalen Bereich zuzuordnen sind, die Gefahr der endokraniellen Komplikationen über das Nasennebenhöhlensystem ausgeht.

1.4.4 Klinik und Diagnostik

Klinik

Leitsymptome von Fronto- oder Rhinobasisfrakturen sind:

- Brillenhämatom, Weichteilschwellung, Ödeme oder Hämatome
- Lidemphysem, Protrusio bulbi
- Hyposmie oder Anosmie
- Blutung aus Nase und Mund, evtl. Platzwunden auf der Stirn

Sichere Zeichen einer rhinobasalen Fraktur mit gleichzeitiger Durazerreißung sind:

- Rhinoliquorrhoe – nach ihr sollte bei jeder Gesichtsschädelfraktur oder Schädelfraktur gefahndet werden: Provokation durch Pressen oder Kopftieflagerung
- Pneumatozephalus: Nachweis der Luftfüllung von Liquorräumen durch Röntgenaufnahmen bzw. CT

Die Durazerreißung mit folgender Rhinoliquorrhoe oder Pneumatozephalus ist häufig am Übergang von der Stirnhöhle zum Siebbein gelegen, da hier der Knochen besonders dünn ist und zur Splitterung neigt. Weitere Prädilektionsstellen sind die Lamina cribrosa und das Siebbeindach sowie das Keilbeinhöhlendach. Bei frontobasalen oder rhinobasalen Frakturen liegt zusätzlich häufig ein SHT vor. Ein pulsierender Exophthalmus und Nasenbluten treten auf bei den sehr seltenen, aber lebensbedrohlichen Verletzungen der A. carotis interna im Bereich des Sinus cavernosus.

Diagnostik

Nach Möglichkeit sollte eine exakte Anamnese erhoben werden. Spiegel- und Endoskopuntersuchung sowie verschiedene Röntgenaufnahmen helfen, das Ausmaß des eingetretenen Schadens abzuschätzen.

Sobald es der Zustand des Patienten erlaubt, sollte eine Geruchs- und Geschmacksprüfung durchgeführt werden, weil dies forensische Konsequenzen haben kann.

Röntgen

Zur radiologischen Diagnostik gehören Übersichtsaufnahmen des Schädels in 3 Ebenen a.p., seitlich und axial und Übersichtsaufnahmen der Nasennebenhöhlen im okzipitofrontalen sowie okzipitomentalen Strahlengang. Heutzutage unverzichtbar ist bei klinischem Verdacht auf eine Fronto- bzw. Rhinobasisfraktur ein Nasennebenhöhlen-CT. Die CT gilt als das bildgebende Verfahren der ersten Wahl für die Darstellung der Fronto- bzw. Rhinobasis. Insbesondere die koronaren Schichten und das hochauflösende Knochenfenster erlauben eine zuverlässige Beurteilung der knöchernen Schädelbasis und ermöglichen Art, Lokalisation und Ausdehnung einer Frontobasisfraktur genau zu erkennen.

Qualitativ optimal ist ein ultrahochauflösendes, axiales Mehrzeilen-Spiral-CT mit 0,5 mm (0,75; 1,25 mm) Schichtdicke und multiplanarer Rekonstruktion. Bei Schädel-Hirn-Traumen können hierbei Neurokranium, Gesichtsschädel und auch HWS gemeinsam erfasst werden. Dieses Verfahren mit Bildern in 3 Ebenen (axial, koronar und sagittal) erlaubt die heutzutage bestmögliche Frakturdarstellung (Abb. 1.12).

Magnetresonanztomografie

Die MRT gehört nicht zu den Routineuntersuchungen bei Fronto- bzw. Rhinobasisfrakturen. Im Zweifelsfall lassen sich jedoch Hirnverletzungen sichtbar machen. Ein Hirnprolaps und intrakranielle Blutungen kommen ebenfalls sehr gut zur Darstellung. Bei Orbitaverletzungen können sie ebenfalls ergänzende Informationen geben (N. opticus, Herniation von Orbitagewebe in die NNH).

Angiografie

Eine Angiografie ist nur bei anhaltenden, therapieresistenten oder rezidivierenden Blutungen und bei einem pulsierenden bzw. zunehmenden Exophthalmus von HNO-Seite indiziert. Zweckmä-

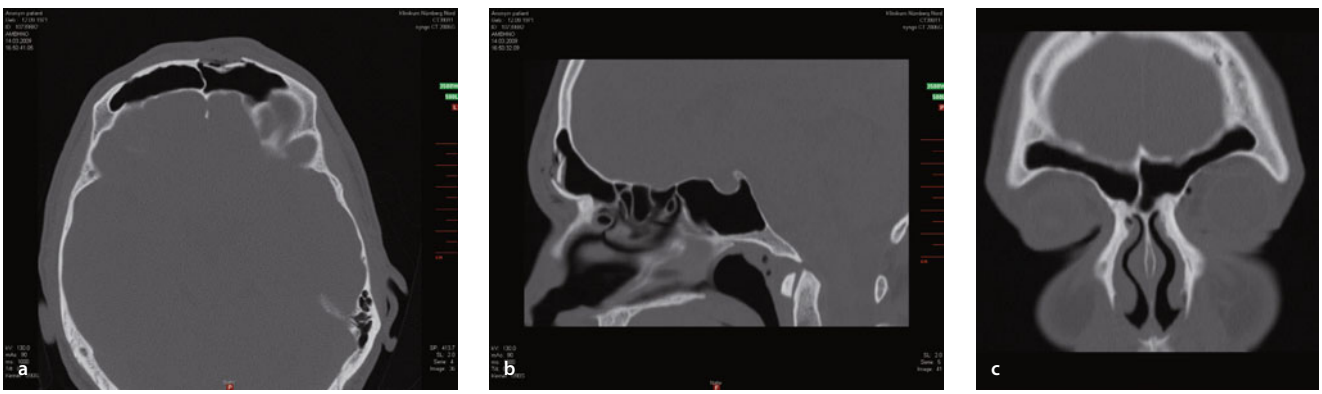


Abb. 1.12a–c Stirnhöhlenvorderwandfraktur. **a** Axialer Strahlengang. **b** Sagittal. **c** Koronar

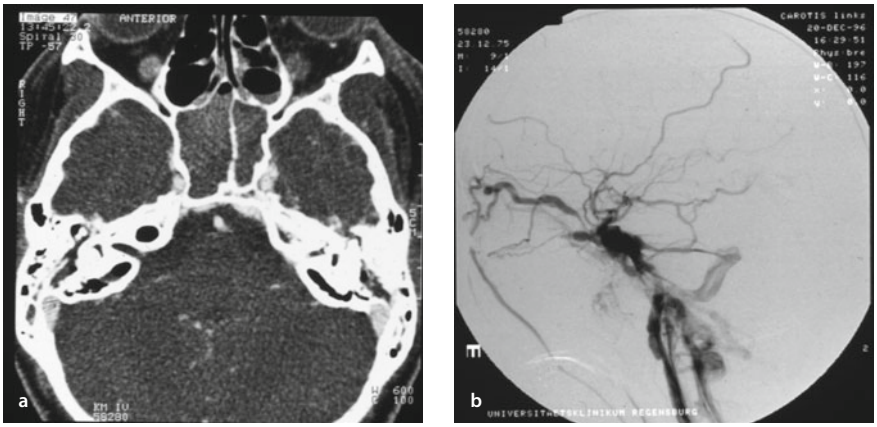


Abb. 1.13a,b **a** CT mit Kontrastmittel bei Keilbeinhöhlenfraktur links und Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel. **b** Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel links in der Angiografie

ßigerweise sollte man vor diesem invasiven Vorgehen mit dem Neuroradiologen vereinbaren, evtl. Blutungsquellen, z.B. aus der A. maxillaris, sofort zu embolisieren. Beim pulsierenden Exophthalmus oder zunehmenden Exophthalmus, dessen Genese in der CT oder MRT nicht geklärt werden kann, ist die diagnostische Angiografie zum Nachweis bzw. Ausschluss einer Carotis-Sinus-cavernosus-Fistel erforderlich (Abb. 1.13).

Diagnostik der Rhinoliquorrhoe

Man unterscheidet zwischen klinisch sichtbarer und, wegen geringer Mengen, nicht sichtbarer Liquorrhoe. Zur Sicherung einer Liquorfistel haben sich in den letzten Jahren v.a. 2 Methoden endgültig etabliert:

- β_2-Transferrin-Untersuchung oder β-Trace-Protein (Prostaglandin-D-Synthase); beides Proteine, die praktisch nur im Liquor nachgewiesen werden,
- Fluoreszeinprobe.

Damit bietet sich die Möglichkeit, kleinste Mengen austretenden Liquors zu identifizieren. Glukose- und Eiweißteststreifen, radioaktive Isotope, aber auch verschiedene andere Farbstoffe sind wegen zahlreicher falscher Ergebnisse und auch Komplikationen nicht mehr zu empfehlen.

β2-Transferrin-Test oder β-Trace Proteinnachweis

Der β_2-Transferrin-Test ist eine nichtinvasive Untersuchungsmethode. Als Screeninguntersuchung hat er folgende Vorteile:

- einfache und sofortige Probengewinnung,
- jederzeit wiederholbar,
- bei intermittierend auftretender Liquorrhoe kann der Patient zu Hause Sekret in einem Gefäß sammeln,
- Probenversand per Post möglich.

Bei einer subklinischen Liquorrhoe müssen zur Probengewinnung immer Schwämmchen eingelegt werden. Bei den in den letzten Jahren verwendeten Merocel-Schwämmchen ergaben sich jedoch Probleme beim Nachweis der β_2-Transferrin-Bande. Dies wird durch eine verstärkte Proteinadsorption von β_2-Transferrin an die Merocel-Matrix vermutet. Es muss deshalb dringend von einer Anwendung von Merocel abgeraten werden. Alternativ dazu hat sich gewöhnlicher Schaumstoff (z.B. Fa. Spiggel/Theis) bewährt.

Fluoreszeinprobe

Bei der diagnostischen Fluoreszeinprobe handelt es sich um eine invasive Methode, bei der 1 ml 5%iges Natriumfluoreszin lumbal intrathekal appliziert wird. Die Untersuchung erfolgt praktisch ausschließlich im klinischen Bereich. Die Zubereitung der Na^+-Fluoreszinlösung wird jeweils in Klinikapotheken durchgeführt. Der Vorteil gegenüber dem β_2-Transferrin-Test liegt in folgenden Punkten:

- höhere Sensitivität,
- ein Liquorfluss kann nicht nur diagnostiziert, sondern auch die Lokalisation der Fistel präoperativ bestimmt werden.

Die Berücksichtigung wichtiger Punkte bei der Zubereitung, eine richtige Dosierung und die ausschließlich lumbale Applikation von Natriumfluoreszin haben dazu geführt, dass die Fluoreszinprobe heute wieder als risikoarme Methode mit sehr hoher Aussagekraft bezeichnet werden kann.

Röntgen

Die bildgebenden Verfahren stellen neben den liquordiagnostischen Methoden die zweite wichtige Säule in der Diagnostik dar. Die hochauflösende CT ermöglicht dabei eine Identifikation auch kleinster knöcherner Defekte. Eine Darstellung in 2 Ebenen mit axialer und koronarer Schichtführung, inklusive Knochenfenster, ist bei der Diagnostik der Rhinoliquorrhoe zu fordern, besser noch ist eine Darstellung in 3 Ebenen (axial, koronar und sagittal). Die axiale Schichtung ist für die Diagnostik der Stirnhöhlenvorder- und -hinterwand (Region 1) sowie der Keilbeinhöhlenseiten- und -hinterwand geeignet. Die koronare Schnittrichtung eignet sich zur Frakturabklärung der Lamina cribrosa und des Siebbeindachs sowie des Keilbeinhöhlendachs. Bei der Frontobasis ist eine Schichtdicke von 2 mm immer noch üblich, besser ist eine Schichtdicke von 0,5–1,25 mm bei einem Mehrzeilen-Spiral CT. Kleinste Defekte lassen sich so lokalisieren (Abb. 1.14).

Eine weitere Möglichkeit eine Liquorrhoe zu diagnostizieren ist durch eine Magnetresonanzcisternografie (MR-cis) gegeben. Diese Methode kann einen Schädelbasisdefekt mit Liquorrhoe nachweisen durch Betonung und Verstärkung des Liquorsignals und Suppression und Subtraktion des umgebenden Gewebesignals. Diese Methode kommt ohne Kontrastmittel, Lumbalpunktion und Strahlenbelastung aus.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in den weitaus meisten Fällen eine suffiziente Diagnostik der Rhinoliquorrhoe mittels β_2-Transferrin-Test, β-Trace-Protein und den derzeit verfügbaren neuroradiologischen Untersuchungsmethoden möglich ist. In Einzelfällen ist die beschriebene intrathekale Fluoreszenzapplikation

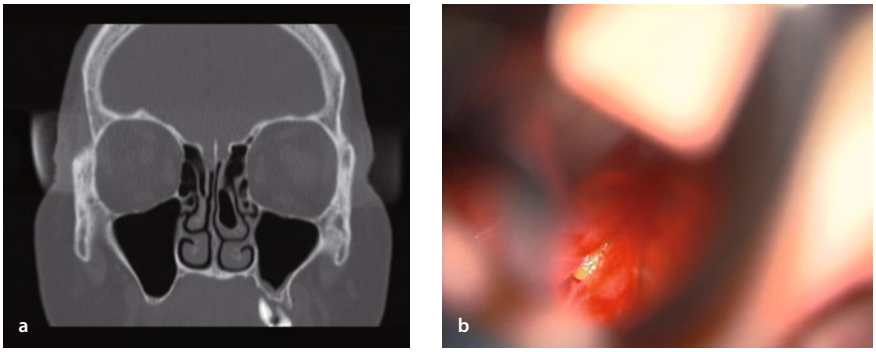


Abb. 1.14a,b **a** CT einer Rhinobasisläsion in der Rima olfactoria rechts. **b** Natriumfluoreszin zur intraoperativen Lokalisation der Liquorrhoe

Abb. 1.15 Anatomisch relevante Einteilung der Schädelbasis in 3 Kompartimente: *I* Stirnhöhlenvorder- und -hinterwand, *IIa* Lamina cribrosa, *IIb* Siebbeindach, *III* Keilbeinhöhlendach – Seiten- und Hinterwand. (Aus: Oberascher 1998)

und UV-Lichtendoskopie zur Seitenlokalisation und Identifizierung der Liquorquelle hilfreich. Wegen einer gewissen juristischen Problematik (Nichtzulassung für den Gebrauch am Menschen in der BRD) muss bei Anwendung der Fluoreszeinprobe eine ausführliche schriftliche Aufklärung des Patienten erfolgen und vom Patienten oder seinem gesetzlichen Vertreter unterschrieben werden.

Klassifikation

Aus didaktischen Gründen und zur besseren klinischen Beschreibung der Frakturlinien hat man verschiedene Einteilungen entwickelt. Dabei hat sich eine Einteilung der vorderen Schädelbasis in 3 anatomische Kompartimente als sinnvoll erwiesen.

- **Region 1:** Stirnhöhlenvorder- und -hinterwand,
- **Region 2a:** Lamina cribrosa,
- **Region 2b:** Siebbeindach,
- **Region 3:** Keilbeinhöhlendach, -seiten- und -hinterwand (Abb. 1.15).

1.4.5 Therapie

Therapieziele und zeitlicher Ablauf

Die operative Versorgung von Rhinobasisfrakturen hat 3 Ziele:

1. Den wasserdichten Verschluss der Dura bei Liquorrhoe zur Vermeidung einer aufsteigenden, lebensbedrohlichen Infektion der Hirnhäute und des Gehirns,
2. die Wiederherstellung der knöchernen Wände der NNH und der Rhinobasis zur kosmetischen Wiederherstellung und
3. die Wiederherstellung einer ausreichenden Ventilation und Drainage der frakturierten NNH zur Vermeidung von Mukozelen als Spätkomplikation.

Aus der Befundkombination leitet sich der zeitliche Verlauf der Behandlung ab. Dabei bestimmen die zerebrale Ausgangssituation und die Narkosefähigkeit die zumutbare Dauer eines Eingriffs. Unter Umständen ist eine zeitlich versetzte Behandlung besser als eine mehrstündige Operation. Der Zeitplan sollte von Fall zu Fall abgesprochen werden, wobei einige Richtlinien zu beachten sind, die sich nicht auf Notfallmaßnahmen am Unfallort, sondern auf die Operationsplanung in den Kliniken beziehen.

Timing

Versorgung so schnell wie möglich:

- Rhinobasale Frakturen mit offenem SHT
- Starke Blutungen aus Mund und Nase
- Pfählungsverletzungen mit liegenden Fremdkörpern
- Weichteildefekte mit Substanzverlust
- Kompression des N. opticus mit Visusverlust
- Posttraumatische Amaurose des letzten Auges

Versorgung im Laufe 1 Woche:

- Interdisziplinäre aufwändige Rekonstruktionen
- Pneumatozele ohne großen Knochendefekt
- Rhinoliquorrhoe ohne meningitische Zeichen

Abwarten:

- Glatte Fissuren
- Keine Fragmentdislokation
- Keine funktionelle Einschränkung

Bei komplexen Mittelgesichts- und Fronto- bzw. Rhinobasisfrakturen sollten zuerst die Mittelgesichtsfrakturen versorgt und stabilisiert werden. Erst nach der Stabilisierung des Mittelgesichts erfolgt die Versorgung der Rhinobasisfrakturen mit evtl. Deckung eines Defekts im Bereich der Schädelbasis. Bei einem umgekehrten Vorgehen würde eine evtl. gedeckte Rhinobasisfraktur durch das Einrichten der Mittelgesichtsfraktur wieder eröffnet werden können.

Zugangswege zur Rhinobasis

Weichteildefekte

Prinzipiell gehen bestehende Wunden und Weichteildefekte in die präoperative Planung ein, da sie möglichst als Zugangswege zu den Nasennebenhöhlen und der Frontobasis ausgenutzt werden sollen. Bei Pfählungsverletzungen soll der eingedrungene Gegenstand bis zur Versorgung im Operationssaal in situ belassen werden.

Transnasaler mikro- bzw. endoskopischer Zugang

Transnasales mikroskopisches oder endoskopisches Operieren zählt zu den schonendsten Techniken. Sehr gut lassen sich dabei umschriebene Defekte (ca. 1 cm) im Bereich des gesamten Siebbeindachs, der Keilbeinhöhle und im unteren Bereich der Stirnhöhlenhinterwand erreichen und transnasal decken. Müssen jedoch größere Areale freigelegt werden oder besteht ein Rhinobasisdefekt im übrigen Bereich der Stirnhöhlenhinterwand, so lässt sich dieser Defekt durch den transnasalen Zugang nicht ausreichend gut erreichen, sodass dann Zugänge gewählt werden müssen, die eine bessere Übersicht bieten. Größere Defekte können kombiniert endonasal endoskopisch und über einen angemessenen Zugang von außen extrakraniell versorgt werden.

Frontoorbitaler Zugang (rhinochirurgisch)

Die Schnittführung nach Kilian, d.h. der Zugang über den medialen Augenwinkel, ermöglicht eine übersichtliche Exploration der Stirnhöhle, der Siebbeinregion und der Keilbeinhöhle sowie der medialen Orbita und des Orbitadachs. Die Hautinzision läuft dabei von kaudal nach kranial über die Mitte der lateralen Nasenwand und zieht zum Unterrand der Augenbraue oder in die Augenbraue hinein (Abb. 1.16). Nach lateral wird die Schnittführung der Ausdehnung des Traumas angepasst. Wenn möglich, sollte der N. supraorbitalis geschont werden. Ist eine beidseitige Versorgung erforderlich, so kann auch der doppelseitige frontoorbitale Zugang gewählt werden. Kosmetisch ist diese Schnittführung und auch der Brillenbügelschnitt jedoch dem Bügelschnitt unterlegen und sollte deshalb, wenn möglich, nicht gewählt werden.

Transfrontaler, extraduraler Zugang via Bügelschnitt (rhinochirurgisch)

Stirnhöhlenimpressionsfrakturen oder ausgedehnte Traumen, die in die Orbita bzw. Stirnhöhle einstrahlen, sind sehr gut über den Bügelschnitt zu erreichen (Abb. 1.16). Die Hautinzision kann in der Scheitel-Ohr-Linie oder 2 cm hinter dem Haaransatz angelegt werden. Die Schnittführung muss so gewählt werden, dass die arterielle Versorgung nicht gefährdet ist. Lichter Haarwuchs oder eine familiäre Glatzenbildung sind Kontraindikationen, sofern der Schnitt nur aus kosmetischen Gründen gewählt werden soll.

Subfrontaler, subkranialer, extraduraler Zugang nach Raveh

Dieser subfrontale primär extradurale Zugang bietet die Möglichkeit, das operative Trauma für das Frontalhirn zu minimieren und bietet eine sehr gute Übersicht über die gesamte Frontobasisregion (Abb. 1.17).

- **1. Schritt:** Präparation eines koronaren Skalplappens nach kaudal bis zur Sutura frontozygomatica und in der Mittellinie bis zum Nasenbein. Auslösen der Periorbita und evtl. Ligatur der A. ethmoidalis anterior.
- **2. Schritt:** Ausleuchtung der Stirnhöhle über einen Frakturspalt diaphanoskopisch und Markierung der Grenzen. Osteotomien mit der oszillierenden Säge entlang der Vorderwand der Stirnhöhle, des Orbitarandes, der medialen Orbitawand und entlang der nasomaxillären Rinne anterior des Ductus nasolacrimalis.
- **3. Schritt:** Bei Bedarf Entfernung der Stirnhöhlenhinterwand unter Sicht und Schonung der Dura. Die Enttrümmerung des Infundibulum, eine Ethmoidektomie und Darstellung der Keilbeinhöhle ist nun möglich. Duraleckagen können dargestellt und sicher verschlossen werden. Dazu wird breitflächig Fascia lata oder Temporalisfaszie auf Duralecks aufgebracht und mit Fibrinkleber und Tachocomb oder Tachosil nach kaudal gesichert. Abschließend erfolgt eine Deckung der frontalen Schädelbasis und der Stirnhöhlenhinterwandregion durch zusätzliches Einschlagen eines vaskularisierten Galea-Periostlappens. Nach äußerst präziser Entfernung der Mukosa von den noch vorhandenen Stirnhöhleninnenflächen wird das nasofrontale Segment exakt reponiert und mit Miniplatten fixiert.

Dieser Zugang bietet einen breiten inferior-anterioren Zugang zur vorderen Schädelbasis ohne Retraktion des Frontalhirns, im Gegensatz zum transfrontalen superioren Weg.

Transfrontales intradurales Vorgehen (neurochirurgisch)

Dieser Zugang ist auf wenige umfangreiche Traumen beschränkt und muss unbedingt mit dem Neurochirurgen abgesprochen werden (Abb. 1.16). Komplexe Frakturen der vorderen Schädelbasis (offene SHT mit zusätzlichen Frakturen der Rhinobasis) werden über den klassischen neurochirurgischen bifrontalen intraduralen Zugang

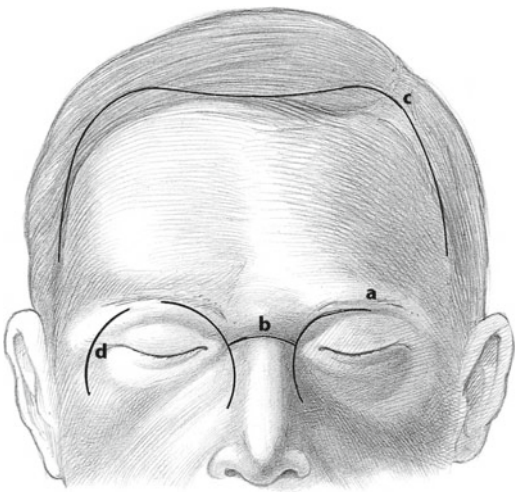


Abb. 1.16a–c Schnittführung zur Revision von Stirnhöhle, Siebbeinzellen, Keilbeinhöhle und Orbita. **a** medialer Augenbrauenrandschnitt nach Kilian. **b** Brillenschnitt nach Siebenmann. **c** Bügelschnitt nach Unterberger hinter der Haargrenze. **d** Laterale Kathotomie. (Aus: Koch u. Lehnhardt 2000)

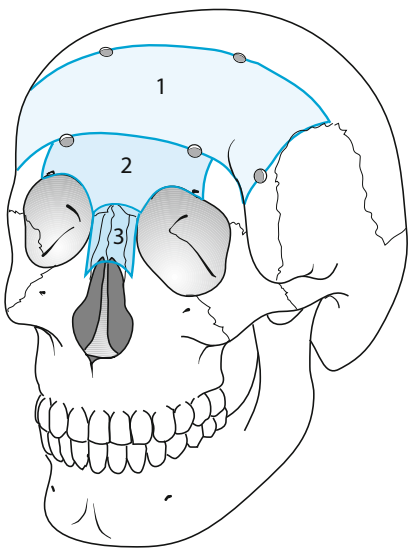


Abb. 1.17 Klassischer transfrontaler Zugang (*1*) subfrontaler Zugang (*2*) und subkranieller Zugang (*2* und *3*) nach Raveh

freigelegt. Nach dem Verschluss des Liquorlecks wird zunächst eine Rekonstruktion der Schädelbasis und des supraorbitalen Stirnbogens vorgenommen und damit die Projektion des oberen Mittelgesichts vorgegeben. Anschließend werden die eventuell vorhandenen weiteren Mittelgesichtsfrakturen anhand dieser Landmarke rekonstruiert. Zunächst erfolgt bei allen Vorgehensweisen eine Freilegung der Frakturen, dann eine provisorische Stellung der horizontalen und vertikalen Dimension des Gesichts gefolgt von einer Fixation mit anschließender Rekonstruktion des nasoorbitoethmoidalen Komplexes. Bleiben Knochenlücken von mehr als 5 mm, werden sie mit autologen Knochen gefüllt. Probleme des transfrontalen, intraduralen Vorgehens sind die Größe des Eingriffs, die Eröffnung des Subarachnoidalraums und die Kompression des Frontalhirns. Generell gilt, dass das rhinochirurgische primär extradurale Vorgehen für das Hirn- und Riechorgan schonender ist als das neurochirurgische und daher, wenn irgend möglich, ersterem der Vorzug gegeben werden sollte.

Duraplastiken und Defektdeckungen im Bereich der Rhinobasis

Stirnhöhle

Eine sinnvolle Einteilung der Stirnhöhlenfrakturen mit Angabe der relativen Häufigkeiten zeigt die Tab. 1.9 (Ernst et al. 2004).

Stirnhöhlenhinterwanddefekt

Der Stirnhöhlenhinterwanddefekt kommt nur selten isoliert vor (nur in ca. 1%). In Kombination mit anderen Frakturen steigt die Häufigkeit der Stirnhöhlenhinterwandbeteiligung auf knapp 50% an. Stirnhöhlenhinterwanddefekte mit Duraeinriss zeigen sich klinisch in erster Linie durch eine intrakranielle Luftansammlung (Pneumatozephalus) und Liquorrhoe. Meist besteht zusätzlich ein Defekt im Bereich der Stirnhöhlenvorderwand, der jedoch klinisch oft nicht in Erscheinung tritt, da das traumatisch bedingte Hämatom die Frakturstufen überdeckt.

Große Defekte der Stirnhöhlenhinterwand lassen sich bei gut pneumatisierten Stirnhöhlen am besten über den Bügelschnitt erreichen. Vorher ist jedoch zu überlegen, ob bestehende Wunden als Zugang benutzt werden können oder ob der frontoorbitale Zugang geeignet erscheint. Nach der Wahl des Zugangs werden zunächst der Vorderwanddefekt freigelegt und die imprimierten Fragmente ausgehebelt. Selbst kleinste Trümmer der Stirnhöhlenvorderwand sollten aufbewahrt werden für eine spätere Rekonstruktion. Nach Anlage des Zugangs zur Stirnhöhle wird der Stirnhöhlenausführungsgang inspiziert. Ist er unverletzt, so soll auf weitere Manipulationen in diesem Bereich unbedingt verzichtet werden. Eine Traumatisierung des Infundibulums dagegen erfordert eine frontonasale Drainage bzw. eine Mediandrainage. Bei der weiteren Inspektion ist nach einem Defekt der Stirnhöhlenhinterwand zu suchen, der sich meist am Übergang zum Siebbein darstellt. Einfache Knochendefekte mit Duraeinriss werden mit autologer Faszie und Fibrinkleber versiegelt. Die Faszie wird unter den Knochen der Stirnhöhlenhinterwand geschoben und mit Fibrinkleber und evtl. zusätzlich Tachosil fixiert. Diese Unterfütterungstechnik und die Fixation mit Fibrinkleber ist derzeit die Methode der Wahl und wird in vielen Kliniken erfolgreich praktiziert. Die Verwendung von lyophilisierter Dura haben wir weitgehend eingeschränkt aufgrund der Infektionsproblematik (Jakob-Creutzfeld-Erkrankung).

Durarisse im Bereich der Hinterwand sind in der Regel gut zugänglich und lassen sich manchmal auch mit feinem Nahtmaterial vernähen. Zusätzlich oder auch ohne Naht des Duradefekts kann dieser mit einem freien Transplantat gedeckt werden. Nach Deckung des Defekts bestehen die weiteren Operationsschritte in der bereits erwähnten ausreichenden Abflusssicherung und in der Rekonstruktion der Vorderwand mittels Mikroplatten. Im Bereich der Stirnhöhle reichen Mikroplatten (1,0 mm Schrauben, 1 mm Platten, Schraubenlänge 4–6 mm), da keine Beanspruchung durch Kaukräfte oder Gewebezug vorhanden ist. Werden alle modernen Osteosyntheseverfahren ausgeschöpft, so lassen sich in der Regel die Nebenhöhlenräume rekonstruieren, sodass eine Stirnhöhlenverödung nach Riedel nur auf extreme Ausnahmefälle beschränkt bleibt. Bei ausgedehnteren Verletzungen mit Hirnbeteiligung ist u.U. das transfrontale intradurale Vorgehen erforderlich. Dieses Vorgehen sollte immer jedoch schon präoperativ mit dem Neurochirurgen abgestimmt werden.

Tab. 1.9 Einteilung und Häufigkeit von Stirnhöhlenfrakturen

Art der Verletzung	Häufigkeit in%
Isolierte Fraktur der Vorderwand	60
Fraktur der Vorderwand und Hinterwand	33
Direkte, offene Schädelfraktur – »durchgehende Fraktur« von der äußeren Haut zum Endokranium	3
Isolierte Fraktur des Ductus nasofrontalis	3
Isolierte Fraktur der Hinterwand	1

Siebbeindachdefekt

Das Siebbeindach ist am häufigsten bei Rhinobasisfrakturen beteiligt (ca. 70%). Die Dura ist in diesem Bereich nämlich äußerst dünn und häufig dem Knochen adhärent. Bei isolierten Defekten im Bereich des Siebbeindachs ist ein reines transnasales, endoskopisches Vorgehen möglich. Dazu erfolgt eine typische endoskopisch kontrollierte Siebbeinoperation, wobei der Defekt im Bereich der Schädelbasis dargestellt und freigelegt wird. Es eignen sich Defekte von einer Größe von etwa 1 cm^2 und einer Länge von bis zu 15 mm. Nachteile des externen Zugangs wie kosmetisch störende Narbe, Riechstörung oder Beeinträchtigung der Sinusventilation werden vermieden. Die Mukosa wird dabei vom angrenzenden Knochen gelöst, die Fistel mit einem Mukoperiosttransplantat der unteren, seltener der mittleren Nasenmuschel gedeckt und mit Fibrinkleber fixiert. Da sich das Transplantat postoperativ narbig zusammenzieht, sollte es mindestens 30% größer sein als der zu deckende Defekt. Anschließend wird das Transplantat mit einem Kollagenvlies antamponiert und eine Gummifingerlingtamponade in die Nase für mindestens 5 Tage eingelegt. Bei größeren Defekten ist eine zweilagige Deckung mit Mukoperiost und Faszientransplantat (Fascia lata) angeraten. Ist aufgrund des Verletzungsmusters bereits ein Zugang von außen angelegt, so wird dieser Siebbeindachdefekt von außen evtl. kombiniert mit einem transnasalen Vorgehen gedeckt.

Keilbeinhöhlenwanddefekt

Das Planum sphenoidale und die Seitenwände der Keilbeinhöhle sind über den transnasalen und transseptalen Zugang gut zu erreichen. Endoskopie oder Mikroskopie helfen bei der Orientierung. Wie bei Verletzungen des Siebbeindachs ist jedoch aufgrund des Verletzungsmusters oft ein kombiniertes Vorgehen von außen und transnasal üblich. Besondere Gefahren bei Frakturen im Bereich der Keilbeinhöhlenwandungen sind durch die enge Nachbarschaft zur A. carotis interna, zum Sinus cavernosus und zu den Hirnnerven II, III, IV, und VI vorgegeben.

Kleine umschriebene Defekte lassen sich, wie beim Siebbeindach aufgeführt, decken. Größere Defekte sollten nach Entfernung der Schleimhaut mit Faszie abgedeckt und mit Fibrinkleber fixiert werden. Wie bei Defekten des Siebbeindachs erfolgen dann eine Abdeckung mit Kollagenvlies und eine Nasentamponade. Bei aus-

gedehnten Defekten kann auch eine Obliteration der Keilbeinhöhle mit Fett erwogen werden.

Drainagen

Die ausreichende postoperative Drainage ist Voraussetzung für einen ungestörten Heilungsprozess. Sie soll auf Dauer dazu beitragen, aufsteigende Infektionen, posttraumatische Sinusitiden und Mukozelenbildungen zu verhindern.

Frontonasale-frontoethmoidale Drainage. Dies stellt eine großzügige Erweiterung des traumatisierten Abflusswegs der Stirnhöhle durch ein kombiniertes transfaziales und transnasales Vorgehen dar. Dabei ist besonders auf eine Schonung der Schleimhaut im Bereich des Stirnhöhleninfundibulums zu achten. Wenn möglich sollte die Schleimhautplastik nach Killian und Uffenorde bei einem transfazialen Vorgehen angelegt werden.

Kontralaterale transseptale Drainage. Bei sehr engen Verhältnissen ist die frontonasale-frontoethmoidale Drainage zu erweitern. Demnach wird das Septum intrafrontale weggeschliffen und die Begrenzung der Spina nasalis superior soweit ausgedünnt, bis der kontralaterale Abfluss über das Infundibulum der Gegenseite unbehindert erfolgen kann. Die Schleimhaut des Infundibulums der Gegenseite bleibt möglichst unberührt.

Mediandrainage. Der sicherste Abfluss nach ein- oder doppelseitiger Rhinobasisfraktur mit Stirnhöhlenbeteiligung ist die Mediandrainage. In jedem Fall soll bei der Mediandrainage der Stirnhöhlenboden beidseits medial reseziert werden. Die Spina nasalis muss abgeschliffen werden. Die innere Schicht des Stirnbeins wird ebenfalls weggenommen und das Septum dreischichtig ausgestanzt. Zur Epithelisierung des Abflusses steht ein Mukoperiostlappen zur Verfügung, der aus Septumschleimhaut und lateraler Nasenwand gebildet werden kann.

Zusammenfassend lässt sich zu den Drainagen sagen, dass unverletzte Abflusswege möglichst erhalten werden sollen, nur traumatisierte Abflusswege sind durch künstliche Drainagen zu ersetzen. Um Verklebungen und vorzeitigen Vernarbungen vorzubeugen, können gut biegsame, gewebefreundliche Silikonröhrchen unterschiedlichen Durchmessers eingelegt werden. Diese können dann über mehrere Wochen belassen werden.

1.4.6 Komplikationen

Zu den Frühkomplikationen der rhinobasalen Frakturen zählen Verletzungen der A. carotis interna und des N. opticus im Keilbeinhöhlenbereich, andere Hirnnervenausfälle (N. abducens), Riechverlust und die Meningitis. Zu den Spätkomplikationen gehören die Muko- oder Pyozelenbildung, die Spätmeningitis, der Hirnabszess und ein unbefriedigendes kosmetisches Ergebnis.

1.5 Otobasale Frakturen (Felsenbeinfrakturen)

V. Bonkowsky

1.5.1 Anatomie

Aufgrund der komplizierten Anatomie des Ohres sollen einige für das Verständnis von Frakturen im Otobasisbereich wichtige Grundlagen rekapituliert werden.

Das **Trommelfell** schließt den Gehörgang in der Tiefe gegen die Paukenhöhle ab. Die **Paukenhöhle** lässt sich von unten nach oben in drei ineinander übergehende Etagen einteilen:

- Hypotympanon
- Mesotympanon
- Epitympanon

Das **Hypotympanon** liegt durch eine dünne Knochenlamelle getrennt unmittelbar über dem Bulbus venae jugularis superior (Abb. 1.18). Die vordere Wand des **Mesotympanon** ist dem Canalis caroticus benachbart, die laterale Wand wird durch die Trommelfellinnenseite gebildet, die hintere Wand ist die knöcherne Wand zum Warzenfortsatz hin, in der der N. facialis verläuft (Abb. 1.18). Die mediale Wand wird vorne durch das vorgewölbte Promotorium (Basalwindung der Schnecke) gebildet. Hinten unten

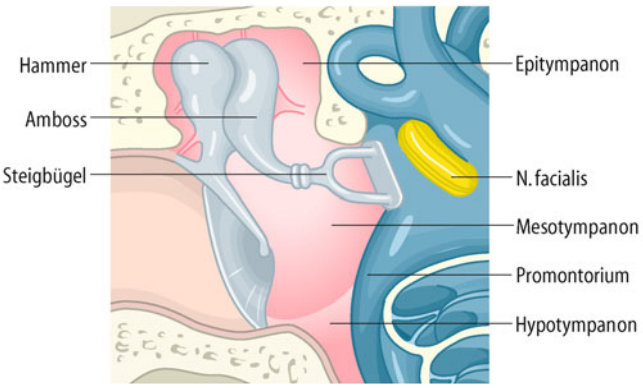


Abb. 1.18 Schnitt durch die Paukenhöhle. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

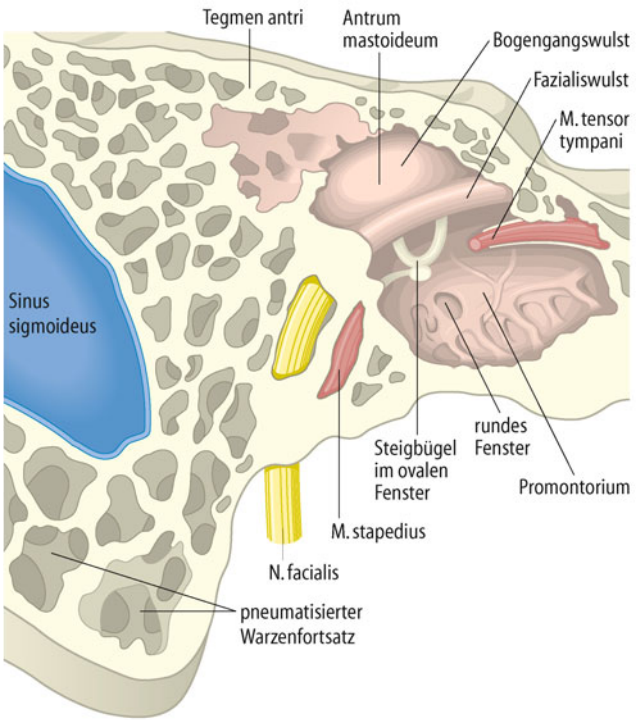


Abb. 1.19 Schnitt durch den pneumatisierten Warzenfortsatz und Aufsicht auf die mediale Paukenhöhlenwand. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

liegt das runde Fenster, das durch die runde Fenstermembran von der Scala tympani der Schnecke abgeschlossen wird. Hinten oben liegt das ovale Fenster mit Steigbügel, Fußplatte und Ringband. Die Begrenzung der Nische zum ovalen Fenster nach oben wird durch den Fazialiswulst (knöcherner Fazialiskanal am Übergang von der horizontalen zur vertikalen Verlaufsstrecke) gebildet.

Das **Epitympanon** (Kuppelraum, so genannter Attikus) öffnet sich nach hinten über den Attikus ad antrum in das Antrum mastoideum, an dessen medialer Wand hinter dem Fazialiswulst der Bogengangswulst (knöcherner horizontaler Bogengang) liegt. Das Dach (Tegmen tympani und Tegmen antri) grenzt an die mittlere Schädelgrube (Abb. 1.19). Hammerkopf und Ambosskörper liegen im Epitympanon und engen mit ihren Bändern und durch Schleimhautfalten den Kuppelraum und seine Durchlüftungswege ein.

In der Paukenhöhle befinden sich die von Schleimhaut überzogenen 3 Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel). Die Warzenfortsatzzellen (Mastoidzellen) stehen mit dem Antrum in Verbindung, sind in Antrumnähe klein und werden nach der Peripherie hin größer. Besonders große Zellen findet man in der Warzenfortsatzspitze und hinten im Winkel zwischen Dura und Sinus sigmoideus.

1.5.2 Klinik und Diagnostik

Klinik

Frakturen der Otobasis treten im Allgemeinen in Kombination mit SHT auf. Klinisch steht daher beim akut Verletzten meist die Hirnschädigung im Vordergrund und erfordert die notfall- und intensivmedizinische Betreuung. Wie bei allen Polytraumatisierten ist eine enge Kooperation der einzelnen Disziplinen erforderlich (Unfallchirurg, Anästhesist, Neurochirurg, HNO-Arzt etc.).

Bei Längsfrakturen tritt das Leitsymptom Gehörgangsblutung in ungefähr 50% der Fälle auf. Eine Otoliquorrhoe ist etwa bei 10% zu sehen. Bei Querfrakturen stehen Innenohrschäden (Taubheit, Vestibularisausfall) im Vordergrund. Sie komplizieren ca. 30% der Verläufe.

Ein wichtiges Symptom von Felsenbeinfrakturen ist die Fazialisparese, die bei ungefähr 15–25% der Längsfrakturen und bei ungefähr 50% der Querfrakturen auftritt. Wegen einer Schwellung im Gesichtsbereich und wegen anderer im Vordergrund stehender Traumafolgen des SHT wird sie anfangs häufig nicht bemerkt.

Es ist von eminenter therapeutischer Bedeutung, ob eine Fazialisparese bei Felsenbeinfraktur sofort oder erst verzögert auftritt, es sich also um eine Sofortparese oder um eine Spätparese handelt.

Eine Sofortparese des N. facialis deutet nämlich auf eine direkte Zerreißung oder Quetschung des Nervs hin und erfordert in aller Regel eine operative Exploration. Eine Spätparese (mehr als 24 h nach dem Trauma) ist durch ein Ödem im Bereich des Fazialiskanals bedingt. Eine operative Exploration ist in diesen Fällen nur in Abhängigkeit von den Ergebnissen der elektrodiagnostischen Tests erforderlich (>90% Degeneration).

Diagnostik

Auch hier ist eine komplette HNO-ärztliche Untersuchung unabdingbar. Besonders ist auf Liquorrhoe, Hörstörung, Vestibularisstörung und auf die erwähnte Fazialisparese (Sofort- oder Spätparese) zu achten. Beim frisch traumatisierten Patienten bedeutet dies, dass man beobachten muss, ob klares Sekret aus dem Ohr läuft und ob mit der Frenzel-Brille Nystagmen zu sehen sind. Bei einer rechtsseitigen Felsenbeinfraktur deutet ein horizontal rotatorischer Nystagmus nach links auf einen Vestibularisausfall hin. Ist der Patient ansprechbar, sind auch einfache Hörprüfungen mit Stimmgabel und Lärmtrommel möglich. Beim wachen Patienten kontrolliert man die Fazialisparese durch Aufforderung zu Bewegungen (Augenschluss, Pfeifen, Zähne zeigen), beim somnolenten oder bewusstseinsgetrübten prüft man die Fazialisfunktion durch Auslösen eines Schmerzreizes (z.B. durch Schlag auf die Glabella mit dem Reflexhammer).

Bei der Inspektion des äußeren Gehörgangs und des Trommelfells kann man Längsfrakturen häufig als Stufe im Gehörgang erkennen. Sie endet in einem Trommelfelleinriss. Im klassischen Fall ergibt sich dabei bei der Hörprüfung eine Schallleitungsschwerhörigkeit infolge der Flüssigkeitsansammlung im Mittelohr oder durch eine Luxation der Gehörknöchelchenkette. Ein Nystagmus wird bei der typischen Längsfraktur nicht beobachtet. Eine periphere Fazialisparese ist möglich.

Bei Querfrakturen sieht man das Hämatotympanon und im Audiogramm im klassischen Fall eine Schallempfindungsschwerhörigkeit.

Röntgendiagnostik

Eine Dünnschicht-CT des Felsenbeins ist heute Standard. Darin kann man die Lagebeziehung der Frakturlinien zu wichtigen Strukturen des Felsenbeins (Fazialis, Labyrinth, Gehörknöchelchen) erkennen und davon ein evtl. operatives Vorgehen abhängig machen (Abb. 1.20).

Klassifikation

Entsprechend ihrer unterschiedlichen Symptomatik unterscheidet man im Wesentlichen Quer- und Längsfrakturen des Felsenbeins (Abb. 1.21). Daneben beobachtet man natürlich komplexe Frakturen und Frakturen anderer Regionen des Schädels, insbesondere der Region der hinteren Schädelgrube, die in das Felsenbein einstrahlen. Etwa 80% der Felsenbeinfrakturen sind Längsfrakturen, 15% Querfrakturen und 5% komplexe Frakturen.

Längsfrakturen

Bei den Längsfrakturen folgt die Frakturlinie in der Regel den Schwachstellen der Felsenbeinarchitektur. Die Bruchlinie des Os

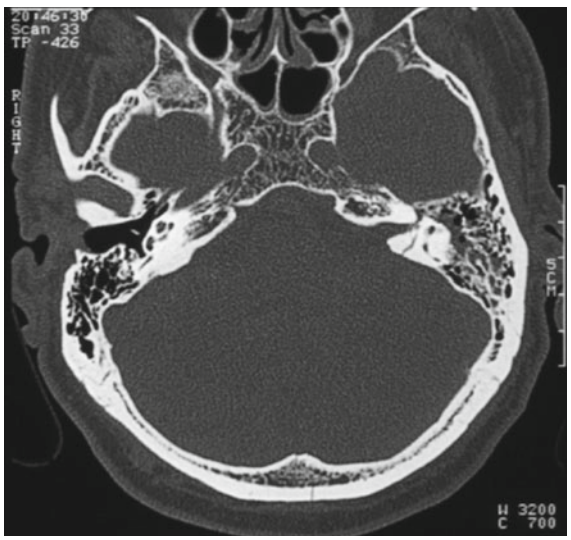


Abb. 1.20 Felsenbeinquerfraktur links durch den Labyrinthblock

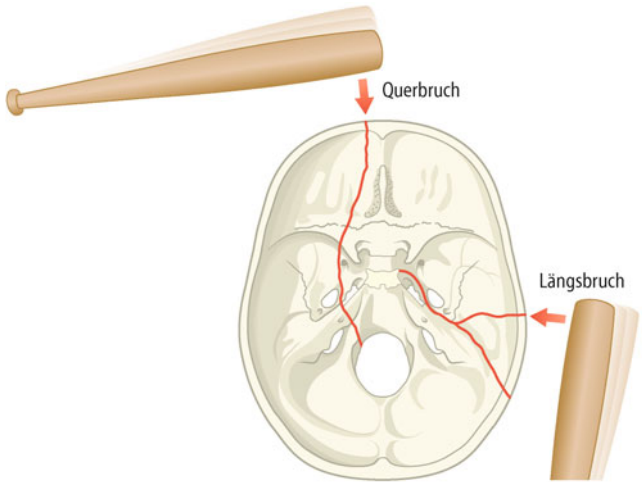


Abb. 1.21 Felsenbeinbrüche: Längsbruch, Querbruch. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

temporale strahlt in die hintere Gehörgangswand ein. In ihrem weiteren Verlauf

- kann der N. facialis im mastoidalen Verlaufsabschnitt geschädigt sein;
- kann das Trommelfell einreißen, die Gehörknöchelchen, meist der Amboss, können luxieren. Bei Frakturen mit Luxation der Gehörknöchelchen kann sich die Fraktur in die Region des Ganglion geniculi nach medial fortsetzen und hier wiederum zu einer Fazialisschädigung führen;
- bei einer Mitverletzung der Dura kann Liquorfluss beobachtet werden, der durch den Trommelfellriss aus dem Gehörgang läuft;
- leichte Blutungen aus dem äußeren Gehörgang sind bei Trommelfelleinrissen die Regel. Starke Blutungen treten selten auf. Als Ursache dieser starken Blutungen kommen Verletzungen des Sinus petrosus, des Sinus cavernosus oder des Sinus sigmoideus in Betracht;
- bei Felsenbeinlängsfrakturen bleibt die Labyrinthkapsel meist intakt und damit auch die Innenohrleistung.

Querfrakturen

Dabei werden üblicherweise Brüche durch den inneren Gehörgang und Brüche durch das Labyrinth unterschieden:

- Bei diesen Frakturen sind das Trommelfell und der äußere Gehörgang in der Regel nicht betroffen.
- Bei einer Mitverletzung der Dura kann eine Liquorrhoe über die Eustachi-Röhre in den Nasenrachen beobachtet werden (Pseudorhinoliquorrhoe).
- Entsprechend dem Verlauf der Frakturlinie können die Nerven des inneren Gehörgangs (N. facialis, N. vestibulocochlearis) geschädigt sein.
- Verläuft der Bruch durch die Labyrinthkapsel, beobachtet man eine Taubheit mit Vestibularisausfall.

1.5.3 Therapie

Notfalltherapie

Ein notfallmäßiges otochirurgisches Vorgehen ist nur bei einer Massenblutung aus den großen Gefäßen (z.B. Sinus sigmoideus) erforderlich; dies ist jedoch sehr selten. Im Vordergrund stehen die neurochirurgische, ggf. unfallchirurgische Versorgung und eine intensivmedizinische Betreuung. Die HNO-ärztliche Versorgung erfolgt erst im Intervall, bis dahin sollte das Ohr steril abgedeckt werden.

Versorgung im Intervall

Die einzelnen Schädigungsfolgen sind mehr oder weniger zeitlich versetzt in Abhängigkeit vom Gesamtzustand des Patienten zu therapieren und sollen daher im Folgenden einzeln besprochen werden.

Hämatotympanon

Das Hämatotympanon isoliert gesehen bedarf keiner Therapie. Man sieht ein vorgewölbtes, bläulich verfärbtes Trommelfell. Das Blut läuft im Laufe einiger Wochen über die Tube spontan ab. Bei einem Durariss und geschlossenem Trommelfell fließt Liquor über die Pauke und die Tube durch die Nase (Pseudorhinoliquorrhoe).

Trommelfellzerreißung

Auch die Trommelfellzerreißung im Rahmen einer Felsenbeinlängsfraktur heilt in der Regel ohne Operation aus. Persistiert eine Perforation, muss sie nach Besserung des Allgemeinzustandes im Sinne einer Tympanoplastik verschlossen werden. Im Gefolge dieser Trommelfellzerreißungen können sich traumatische Cholesteatome entwickeln, daher ist die Beobachtung des weiteren Verlaufs wichtig.

Otoliquorrhoe

Die Otoliquorrhoe durch den Trommelfelldefekt bei der Längsfraktur oder über die Tube bei der Querfraktur sistiert im Allgemeinen spontan. Lediglich bei kontinuierlichem Liquorabfluss über mehr als 8 Tage ist eine chirurgische Exploration und Deckung der Fistel zu erwägen.

Meningitis

Eine Meningitis kann auftreten, wenn eine Durazerreißung mit Oto- bzw. Pseudorhinoliquorrhoe eingetreten ist. Die Häufigkeit des Auftretens einer Meningitis bei Patienten mit Liquorrhoe liegt bei ca. 10–15%, wobei der Zeitpunkt des Auftretens nach dem Trauma sehr unterschiedlich ist. Trotz der Gefahr der Meningitis ist eine Antibiotikaprophylaxe nicht indiziert (s. unten, Exkurs). Die häufigsten Erreger der posttraumatischen Meningitis sind Pneumokokken, das Erregerreservoir sind der Nasen-Rachen-Raum und der obere Respirationstrakt. Tritt postoperativ eine Meningitis auf, muss das Ohr zum Verschluss der Eintrittspforte operiert werden.

Gehörknöchelchenluxation

Diese findet man am häufigsten bei der Längsfraktur, an erster Stelle steht hier eine Ambossluxation. Sie ist im Wesentlichen für eine persistierende Schallleitungsschwerhörigkeit bei Felsenbeinfrakturen verantwortlich. Seltener sind Luxationen oder Frakturen des Steigbügels. In beiden Fällen ist eine mittelohrchirurgische Exploration nach völliger Wiederherstellung des Zustandes des Patienten erforderlich. Die Schallübertragung im Mittelohr wird durch Interposition von Prothesen wiederhergestellt.

Perilymphfistel

Das klinische Bild ist hier nicht einheitlich. Im Vordergrund der Beschwerden stehen Innenohrschwerhörigkeit und Schwindel. Es kann eine Ruptur der Membran des runden Fensters vorliegen oder eine Luxation des Steigbügels oder seltener eine Fraktur durch das Promotorium. Beweisend für eine Perilymphfistel ist der Nachweis von Luft in den Labyrinthstrukturen in der CT. Bei Verdacht auf eine Perilymphfistel wird operativ exploriert, die Umgebung

des Defekts wird angefrischt und mit Bindegewebe und Fibrinkleber verschlossen.

Fazialislähmung

Die wohl wichtigste Folge einer Felsenbeinfraktur ist eine Fazialislähmung. Dabei ist eine Sofortparese in der Regel operationsbedürftig (s. oben). Die Indikation zu dem Eingriff wird mittels Elektromyogramm und Elektroneurografie gestellt. Die Behandlung besteht in einer Dekompression des Nervs mit Entsplitterung und Rekonstruktion der Nervenkontinuität. Bei traumatischen kompletten Sofortparesen ist eine End-zu-End-Vereinigung bei Unterbrechung oft nicht möglich, sodass ein Interponat aus dem N. auricularis magnus erforderlich wird. Dieses wird zwischen die angefrischten Nervenenden in einen gefrästen Knochenkanal eingelegt und mit Faszie abgedeckt, die mit Fibrinkleber fixiert wird.

Bei traumatischen Fazialisspätparesen kann in der Regel abgewartet werden; die Prognose für eine völlige Wiederherstellung ist sehr gut. Nur bei Eintreten der Degeneration des Nervs (>90% Degeneration im Elektroneurogramm und hohe Spontanaktivität im Elektromyogramm) sollte über eine operative Exploration nachgedacht werden. Weitere Einflussfaktoren sind das CT des Felsenbeins und der klinische Gesamtzustand des Patienten.

Bei Spätparesen des N. facialis nach Felsenbeinfrakturen sollte man sofort eine antiphlogistische Therapie (Stennert-Schema) mit Kortison einleiten, um dem Ödem des N. facialis im Fazialiskanal zu begegnen.

Commotio labyrinthi

Hör- und Gleichgewichtsorgan können auch ohne Fraktur geschädigt sein, und zwar durch die Erschütterung. Hierbei steht das Hörorgan im Vordergrund. Es werden Schädigungsbilder beobachtet, die der Lärmschwerhörigkeit ähneln und Hinweise auf eine Haarzellschädigung zeigen. Bei Schallempfindungsschwerhörigkeiten nach SHT sind die Schwerhörigkeiten einseitig betont; eine symmetrische Innenohrschädigung spricht gegen eine posttraumatische Genese. Dieses Krankheitsbild ist auch von gutachterlicher Bedeutung. Frühzeitige differenzierte audiometrische Untersuchungen sind hierbei wichtig.

Schwindel

Durch eine Commotio labyrinthi kann auch ein peripher-vestibulärer Schwindel ausgelöst werden. Ein kompletter Vestibularisausfall zeigt sich dabei durch einen heftigen horizontal-rotatorischen Nystagmus zur Gegenseite; die Prognose dieses Vestibularisausfalls ist gut. Es kommt zwar in aller Regel nicht zu einer Restitution des betroffenen peripheren Gleichgewichtsorgans, der Ausfall wird jedoch zentral innerhalb von 3–4 Wochen kompensiert.

Tinnitus

Posttraumatische Innenohrschäden gehen häufig mit einem lästigen Ohrgeräusch einher, diese Störungen sind nur schwer zu beeinflussen.

Ist bei posttraumatischer Liquorrhoe eine Antibiotikaprophylaxe indiziert?

Die am meisten gefürchtete Komplikation bei einer posttraumatischen Liquorrhoe ist eine Meningitis. Um dieser Gefahr vorzubeugen, wird nach wie vor in deutschen HNO-Kliniken eine Antibiotikaprophylaxe, meist sogar über mehrere Tage oder Wochen, durchgeführt. Diese Antibiotikaprophylaxe ist jedoch nicht sinnvoll, es gibt 3 Gründe, von diesem Vorgehen dringend abzuraten:

- Es gibt bisher keine einzige prospektive randomisierte Studie, die die Wirksamkeit einer Antibiotikaprophylaxe bei Liquorrhoe nachgewiesen hätte.
- Normalerweise werden für eine Antibiotikaprophylaxe Cephalosporine der 2. oder 3. Generation oder Aminopenicilline mit oder ohne Betalaktamase-Inhibitor verwendet. Diese Antibiotika penetrieren bei nicht entzündeten Meningen nicht in ausreichender Konzentration in den Liquor. Eine prophylaktische Wirkung der Antibotika kann aber nur erzielt werden, wenn die Antibiotikakonzentration gerade in dem Moment, in dem pathogene Keime aus dem Nasenrachenraum den Liquor erreichen, hoch genug ist, um aszendierende Keime abzutöten. Die Vorstellung, dass dies mit den derzeit verfügbaren und am meisten verwendeten Antibiotika möglich ist, ist falsch.
- Durch eine Antibiotikaprophylaxe erzielt man subinhibitorische Konzentrationen im Nasen-Rachen-Raum, v.a. durch Ausscheidung der Antibiotika im Speichel, die zwar ausreichen, die sehr empfindlichen Pneumokokken aus dem Nasen-Rachen-Raum zu eliminieren, die aber gleichzeitig die Kolonisierung mit einer resistenten Flora (Staphylococcus aureus, gramnegative Keime, Pilze) begünstigen. Eine evtl. dann folgende Meningitis wird nicht durch die leichter therapierbaren Pneumokokken, sondern durch die schwer therapierbaren Staphylokokken oder gramnegativen Keime verursacht.

In Übereinstimmung mit der **Neurosurgery Working Party** der **British Society for Antimicrobiochemotherapy** wird daher **keine** Antibiotikaprophylaxe bei Liquorrhoe empfohlen.

Therapie der Otobasisfrakturen

Unkomplizierte Otobasisfrakturen kann man konservativ behandeln durch steriles Abdecken des Ohrs und Audiogrammkontrollen. Die Otoliquorrhoe sistiert in der Regel innerhalb von 10 Tagen. Eine prophylaktische antibiotische Abdeckung ist nicht erforderlich (s. oben). Indikationen zur Operation sind in der Übersicht genannt.

Indikationen zur chirurgischen Exploration

- Persistierende Otoliquorrhoe über 10 Tage
- Sofortparese des N. facialis
- Fremdkörperinkorporation
- Otogene Früh- oder Spätkomplikationen, wie Meningitis oder Hirnabszess

Zugangswege für die chirurgische Exploration sind:

- **Einfache Attikotomie und Mastoidektomie** bei umschriebenen Defekten im Tegmen tympani oder Tegmen antri.
- **Tympanotomie** bei umschriebenen Frakturen im Bereich des ovalen oder runden Fensters (bei größeren Defekten transmastoidale Erweiterung).
- **Transtemporaler extraduraler Zugang**: Ausgedehnte Frakturen sind nur über den transtemporalen Zugang zur mittleren Schädelgrube darzustellen.
- **Translabyrinthärer Zugang**: Dieser Zugang kommt nur bei bereits bestehender Taubheit und ausgedehnten Frakturen infrage.

1.6 Mittelgesichtsfrakturen

R. Dammer, V. Bonkowsky

1.6.1 Basiswissen

Anatomie

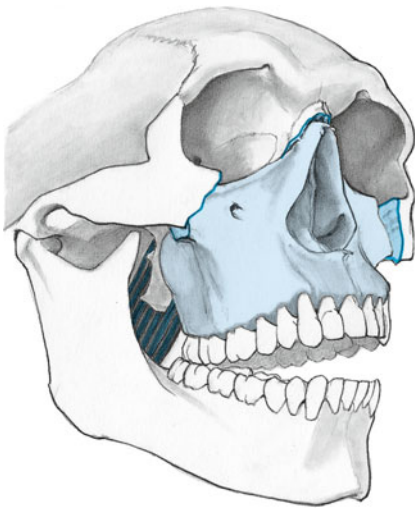
Das knöcherne Mittelgesicht setzt sich zusammen aus Maxilla, Os zygomaticum, Os palatinum, Os lacrimale, Vomer, Os nasale und Anteilen des Os frontale sowie temporale. Die Frakturlinien verlaufen bei Mittelgesichtsfrakturen quer durch alle Knochen und werden in der Regel von den Stützpfeilern bzw. von den Schwachstellen des Gesichtsskeletts bestimmt, die jedoch nicht mit den Grenzen der anatomischen Strukturen übereinstimmen. Die unmittelbare Nähe des Mittelgesichtskomplexes zum Schädelinneren birgt die Gefahr der Entwicklung zerebraler Komplikationen, wie Meningitis, Liquorfistel, Zelenbildung usw. in sich. Die Orbita mit dem Bulbus oculi, der Augenmuskulatur und dem N. opticus, N. oculomotorius, N. trochlearis, N. ophthalmicus sowie N. abducens sowie N. infraorbitalis ist ebenfalls Bestandteil des Mittelgesichts und häufig bei zentralen Mittelgesichtsfrakturen mitbetroffen. Die häufigste Folge von Frakturen mit Beteiligung der Orbita sind Bulbusverlagerung, Diplopie und Beeinträchtigung des Visus.

Der Mittelgesichtskomplex beinhaltet das System der Nasennebenhöhlen bzw. grenzt an dessen Strukturen: Cavum nasi, Sinus maxillaris, frontalis, ethmoidalis et sphenoidalis, sodass Einblutungen (Hämatosinus) und Entzündungen (Sinusitis) als Folge der Verletzungen auftreten können. Die äußere und innere Nase kann bei zentralen Mittelgesichtsfrakturen gleichermaßen mitverletzt sein. Die Traumatisierung der Regio olfactoria im oberen Nasengang kann zu Beeinträchtigungen des Geruchssinns führen.

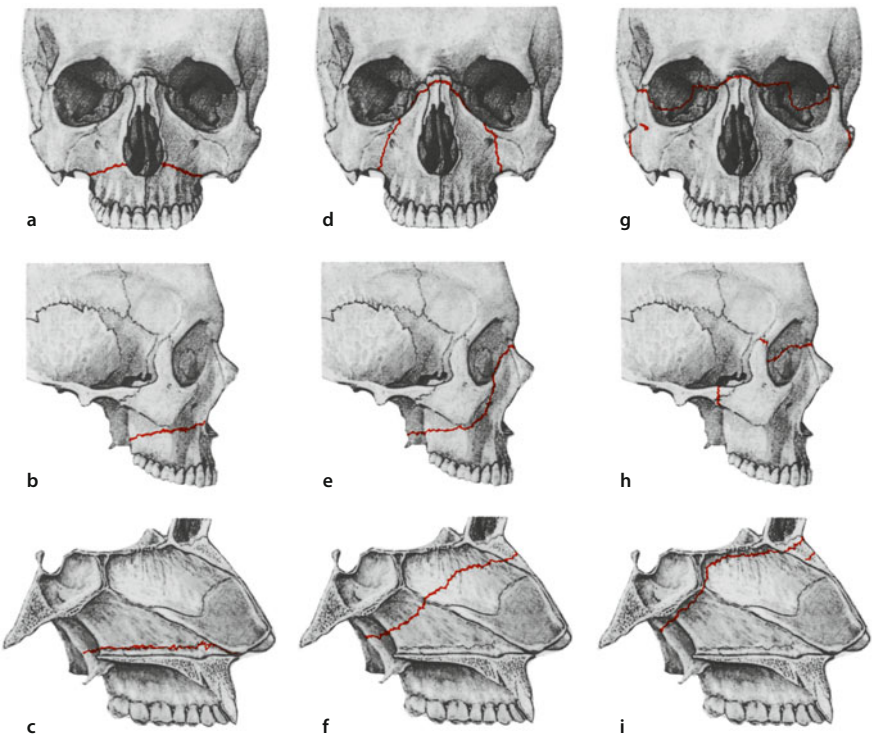
Frakturen des zahntragenden Alveolarfortsatzes und der Zähne gehören ebenfalls zu den Besonderheiten von Frakturen des Mittelgesichts.

Klassifikation

Die Klassifikation der Mittelgesichtsfrakturen nach LeFort hat nach wie vor Gültigkeit. Jedoch spiegelt sie, wie auch andere Einteilungen, die Komplexität des Frakturgeschehens in den meisten Fällen nur unzureichend wider. Um eine differenzierte Therapie ableiten zu können, haben wir die im Folgenden dargestellte Einteilung vorgenommen (◘ Abb. 1.22, ◘ Abb. 1.23 und Übersicht).



◘ **Abb. 1.23** Dislokationsmuster bei zentralen Mittelgesichtsfrakturen – frontal offener Biss. (Aus: Hausamen u. Schierle 2000)



◘ **Abb. 1.22a–i** Bruchlinienverlauf bei LeFort-I-Fraktur. **a** Frontalansicht. **b** Lateralansicht. **c** Medianschnitt. **d–f** Bruchlinienverlauf bei LeFort-II-Fraktur. **d** Frontalansicht. **e** Lateralansicht. **f** Medianschnitt. **g–i** Bruchlinienverlauf bei LeFort-III-Fraktur. **g** Frontalansicht. **h** Lateralansicht. **i** Medianschnitt. (Aus: Ewers et al. 1995)

Einteilung der Mittelgesichtsfrakturen (Abb. 1.22)

1. Zentrale/zentrolaterale Mittelgesichtsfrakturen
   - Frakturen der LeFort-I-Ebene (dentoalveolärer Komplex)
   - Frakturen der LeFort-II-Ebene (zentrale Mittelgesichtsfraktur mit/ohne Beteiligung des Nasenskeletts)
   - Frakturen der LeFort-III-Ebene (zentrolaterale Mittelgesichtsfraktur mit/ohne Beteiligung des Nasenskeletts)
   - Frakturen des Nasenskeletts und des nasoorbitoethmoidalen Komplexes
2. Orbitafrakturen
   - Orbitabodenfrakturen
   - Orbitadachfrakturen
   - Blow-in-Frakturen
   - Frakturen im Bereich der Orbitaspitze (Orbitaspitzensyndrom)
   - Komplexe Orbitafrakturen
3. Laterale Mittelgesichtsfrakturen
   - Jochbeinfrakturen
   - Jochbogenfrakturen
   - Zygomatiko-temporo-mandibuläre Frakturen
4. Komplexe Mittelgesichtsfrakturen

Tab. 1.10 Leitsymptome der Mittelgesichtsfrakturen: Spezifische Symptome lassen bereits auf die Lokalisation einer Fraktur schließen

Symptom	Frakturlokalisation
Okklusionsstörungen	Kiefer-, Alveolarfortsatz-, Zahnfraktur
Mobiler Oberkiefer	Zentrale Mittelgesichtsfraktur
Sensibilitätsstörungen (N.infraorbitalis)	Orbitabodenfraktur Jochbeinfraktur
Behinderung der Mundöffnung	Jochbogenfrakturen
Diplopie	Orbita(boden)-Frakturen
Störung des Sehvermögens	Orbitaspitzensyndrom
Liquorrhoe	Schädelbasis-(Rhinobasis)-Frakturen
Periorbitales Hämatom	Indirektes Frakturzeichen

Klinik, Diagnostik und Therapie

Leitsymptome

Die Leitsymptome der Mittelgesichtsfrakturen sind in Tab. 1.10 zusammengestellt.

Klinische Untersuchung

Bei der Inspektion des Gesichtsschädels fallen zunächst Ödeme, Hämatome und Suffusionen sowie Weichteilverletzungen auf. Die Schwellung der Gesichtsweichteile vollzieht sich rasch und meist auch sehr intensiv, sodass der palpierende Finger oft nicht in der Lage ist, in der Tiefe lokalisierte Veränderungen des Knochens zu erfassen. Die intraorale Inspektion und Palpation sollte bei guter Beleuchtung durchgeführt werden. Bei Verdacht auf Mittelgesichtsfrakturen sollte v.a. die bidigitale Palpation des Gesichtsschädels, wie sie in Abb. 1.24 dargestellt ist, vorgenommen werden. Der tastende Zeigefinger am Infraorbitalrand lässt darüber hinaus leicht Stufenbildungen erkennen, die auf Jochbeinfrakturen hinweisen. Die intraorale Palpation ermöglicht die Erfassung von Deformationen des Kieferkamms und der Crista zygomaticoalveolaris als auch die Erkennung von Zahnlockerungen. Mit einer Kanüle lässt sich beim kooperativen Patienten mit der Spitz-Stumpf-Unterscheidung im Bereich der Oberlippe auf einfache Weise eine Hypästhesie im Versorgungsbereich des N. infraorbitalis diagnostizieren. Dem gleichen Ziel dient die Sensibilitätsprüfung der Zähne (Kältetest). Ein weiterer wichtiger Hinweis auf zentrale Mittelgesichtsfrakturen ist ein heller Klopfschall (»Schachtelton«) beim Perkutieren der Zähne.

- **HNO-ärztlicher Status:** Nasennebenhöhlenendoskopie, Fazialisdiagnostik, Riechtest, Schwindeldiagnostik
- **Augenärztlicher Status:** Visusprüfung, Diplopietests (z.B. Härtel-Ophthalmometer)
- **Neurologischer/psychiatrischer Status:** Hirnnervendiagnostik, hirnorganisches Psychosyndrom, Liquoruntersuchung
- **Internistischer/chirurgischer Status:** Diagnostik von Verletzungen innerer Organe, der Extremitäten, des Thorax, der Wirbelsäule und des Beckens.

Bildgebende Verfahren

Konventionelles Röntgen

Mit Schädelübersichtsaufnahmen allein kann keine zuverlässige Diagnostik von Mittelgesichtsfrakturen erfolgen. Man braucht zusätzlich Aufnahmen der Nasennebenhöhlen und der Jochbögen (so genannte Henkeltopfaufnahme).

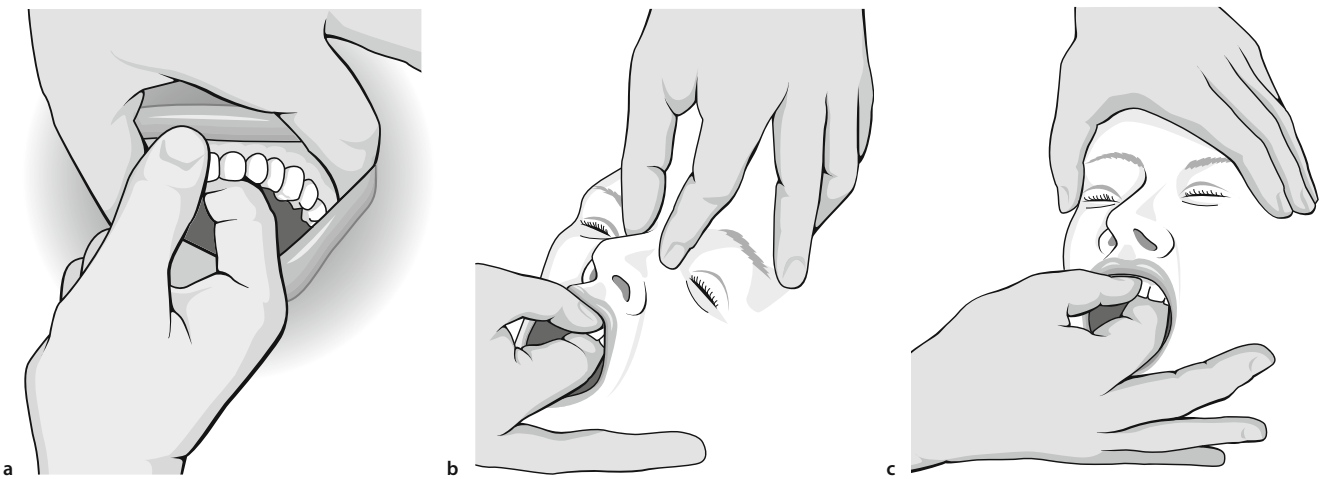


Abb. 1.24a–c Klinische Untersuchung bei zentralen Mittelgesichtsfrakturen **a** LeFort-Typ I. **b** LeFort-Typ II. **c** LeFort-Typ III. (Aus: Hausamen et al. 1995)

Konventionelle Schichtaufnahmen, Orthopantomografie, Zonografie

Die konventionelle Tomografie wurde durch die CT verdrängt. Spezielle, für die Zahnmedizin entwickelte Tomografietechniken sind die Orthopantomografie (OPG) und die Zonografie. Im OPG (Abb. 1.25) werden auf einem Röntgenfilm mit ca. 1,5-facher Vergrößerung alle Zähne des Ober- und Unterkiefers, die Mandibula und das Mittelgesicht abgebildet. Die Zonografie ermöglicht v.a. die Untersuchung am liegenden, auch intubierten Patienten. Zur Erkennung von Mittelgesichtsfrakturen im Speziellen sind die verschiedenen Einstellmöglichkeiten des Zonografiegeräts denen moderner digitaler Orthopantomografen gleich zu setzen. Allerdings stehen Zonografiegeräte aufgrund des hohen Anschaffungspreises nur wenigen Zentren zur Verfügung.

Computertomografie

Computertomografische axial und koronar geführte Schichten ermöglichen eine besonders gute Auflösung von Frakturverläufen insbesondere bei Orbitabodenfrakturen. Die Untersuchung mit der dreidimensionalen CT ist als Standard bei Mittelgesichtsfrakturen eine conditio sine qua non zur Planung des operativen Vorgehens. Bei Bedarf kann die 3 D-MRT zur Beurteilung muskulärer und nervaler Strukturen, wie z.B. des N. opticus und des Orbitainhalts herangezogen werden (Abb. 1.26). In zunehmendem Maße wird alternativ die digitale Volumentomografie (DVT) eingesetzt. Dieses Verfahren weist im Vergleich zur CT eine deutlich geringere Strahlenbelastung bei vergleichbar guter diagnostischer Wertigkeit auf.

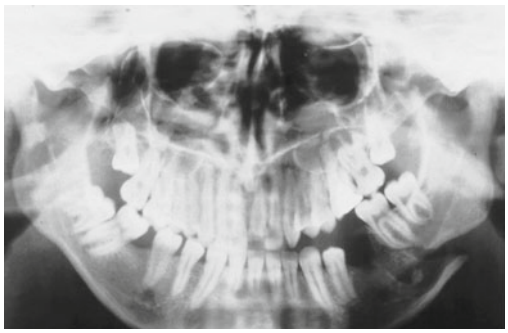


Abb. 1.25 Orthopantomogramm (OPG). Gelenkfortsatzfraktur rechts, Korpusfraktur links, Avulsion Zahn 36

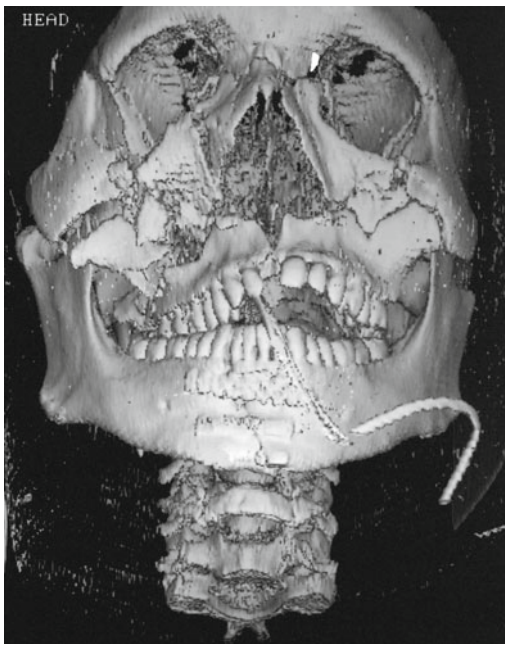


Abb. 1.26 Dreidimensionales CT einer panfazialen Fraktur. Die Unterkiefermehrfachfraktur wurde notfallmäßig temporär mit 2 Miniplatten stabilisiert

Ultraschalldiagnostik

Mit Hilfe der Ultraschalldiagnostik lassen sich Schwellungszustände im Kopf-Hals-Bereich relativ gut erkennen. Hämatome können von Ödemen oder Suffusionen mit Hilfe des Ultraschalls gut genug differenziert werden, um daraus therapeutische Konsequenzen zu ziehen. Zur Verifizierung von Mittelgesichtsfrakturen eignet sie sich jedoch nicht.

Konservative Therapie/Schienungsverfahren

Das Prinzip, wonach Mittelgesichtsfrakturen »von oben nach unten« und »von innen nach außen« operiert werden, hat noch immer Gültigkeit. Abweichungen sind möglich und manchmal, z.B. bei komplexen Frakturen oder panfazialen Frakturen, unumgänglich.

Wann immer möglich, ist als erste Maßnahme die Sicherung der Okklusion durch Schienung anzustreben, weil eine gut eingestellte Okklusion die besten Informationen bietet, wie die Fraktur optimal zu versorgen ist. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Schienungsverfahren entwickelt, von denen eine Auswahl in Abb. 1.27, Abb. 1.28, Abb. 1.29, Abb. 1.30, Abb. 1.31, Abb. 1.32, Abb. 1.33 gezeigt wird.

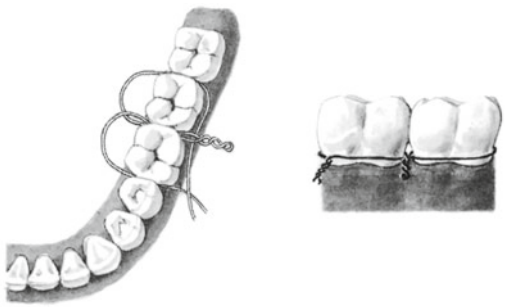


Abb. 1.27 Ernst-Ligaturen. (Aus: Ewers et al. 1995)

Abb. 1.28 Obwegeser-Schiene. (Aus: Ewers et al. 1995)

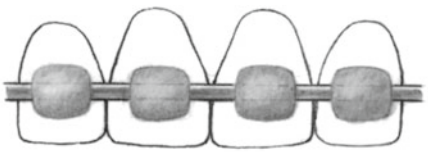


Abb. 1.29 Mit lichthärtendem Kunststoff an den Kronen befestigte Schiene. Sie ist besonders geeignet zur Schienung von Milchzähnen. (Aus: Ewers et al. 1995)

Operative Verfahren

Bei Stück- und Trümmerfrakturen ist man gezwungen, sich vorzugsweise am Skelett des Gesichtsschädels zu orientieren. Durch geeignete Schnittführungen muss eine gute Übersicht über den Verlauf der Frakturlinien sowie ein ausreichender Freiraum für Manipulationen gewährleistet sein, um Fehlpositionierungen zu vermeiden. Bei der Auswahl des operativen Zugangs müssen ästhetische und funktionelle Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Mittel der Wahl ist die operative Versorgung mit Mini-/Mikroplatten bzw. Schrauben. Die kraniomaxilläre Aufhängung gehört ebenso wie die Verwendung von Kopfgipsschienen (so genanntes Hirschgeweih) der Vergangenheit an. Drahtosteosynthesen sind vereinzelt indiziert.

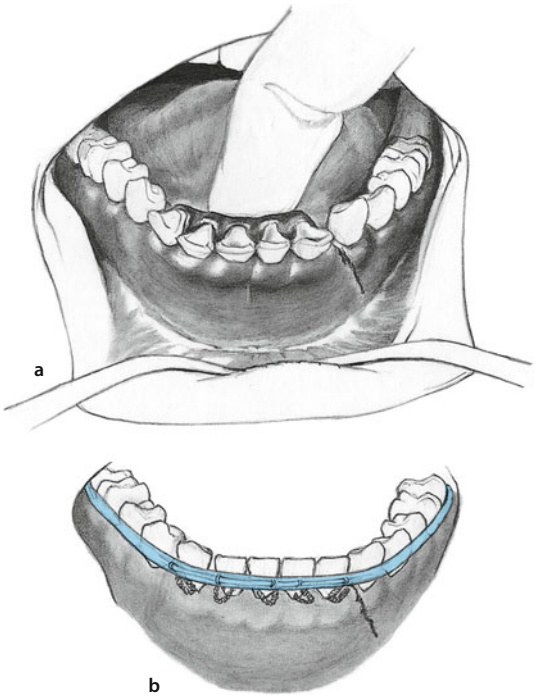


Abb. 1.30a,b **a** Alveolarfortsatzfraktur der Unterkieferfront. **b** Stabilisierung mit einer Kunststoff-Drahtbogen-Schiene. (Aus: Hausamen und Schierle 2000)

Abb. 1.31 Intermaxilläre Fixation mit Otten-Häkchen, die mit Hilfe von Osteosyntheseschrauben (Durchmesser 1,5–2 mm) interradikulär zwischen den Zähnen 11 und 12 sowie 31 und 41 über eine Mukoperiost-Inzision eingebracht werden. (Aus: Ewers et al. 1995)

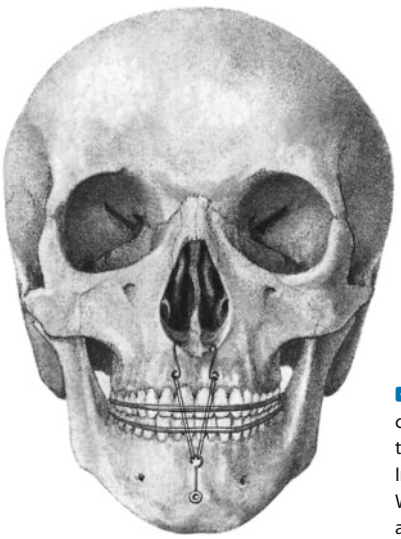


Abb. 1.32 Dal-Pont-Häkchen, im Cavum nasi befestigt. Indikation: intermaxilläre Immobilisation im Milch- und Wechselgebiss. (Aus: Ewers et al. 1995)

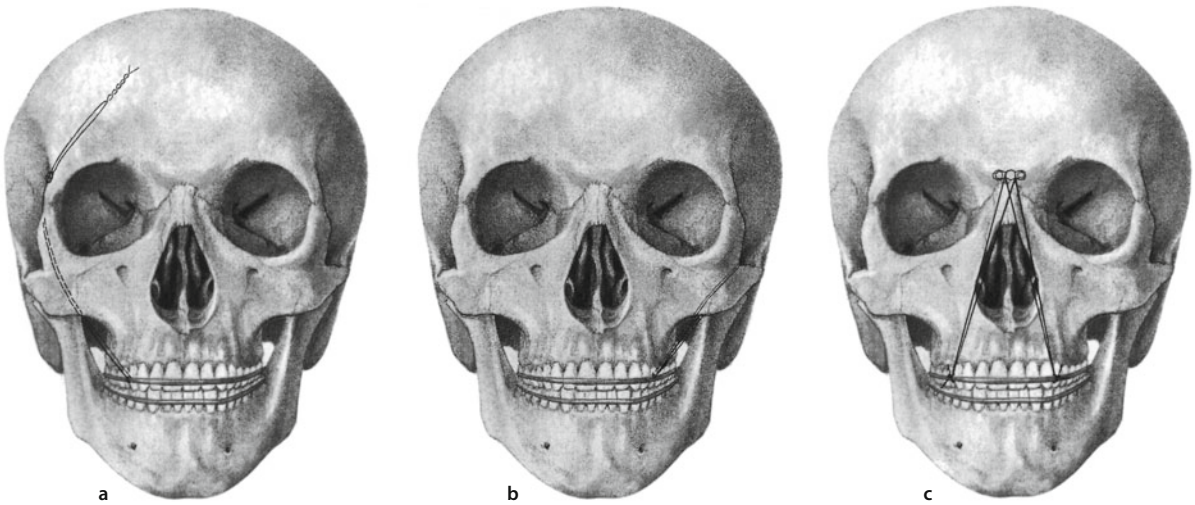


Abb. 1.33a–c **a** Frontomaxilläre, **b** zygomatikomaxilläre, **c** Kufner-Aufhängung. (Aus: Ewers et al. 1995)

Operative Zugänge

Operative Zugänge zur Therapie von Mittelgesichtsfrakturen umfassen:

- **Extraoraler Zugang** (Abb. 1.34): Über den lateralen Orbitarandschnitt lässt sich die Sutura frontozygomatica darstellen. Zur Revision des Orbitabodens und Manipulation am Infraorbitalrand ist der so genannte mittlere Unterlidschnitt zu empfehlen. Dieser Zugang führt praktisch nicht zum Ektropium und bietet einen guten Überblick über den Frakturverlauf. Als Alternativen kommen der Subziliarschnitt (häufig postoperatives Ektropium), der Infraorbitalschnitt (häufig postoperatives hartnäckiges Ödem) oder der Konjunktivalschnitt (ästhetisch unauffällig, aber oft unzureichende Übersicht über den Frakturverlauf) zur Anwendung.
- **Intraoraler Zugang** (Abb. 1.35): Der Zahnfleischrandschnitt ist sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer von der Weisheitszahnregion links bis rechts, je nach Umfang der Verletzung, zu bevorzugen. Wahlweise kann auch eine paramarginale Schnittführung im Vestibulum oris vorgenommen werden.
- **Weichteilwunden**: Bei offenen Frakturen bieten Riss- und Quetschwunden oft eine ausreichende Übersicht, sodass sie als untypische Zugänge genutzt werden können. Im Bedarfsfall können sie unter Schonung wichtiger Strukturen erweitert werden.

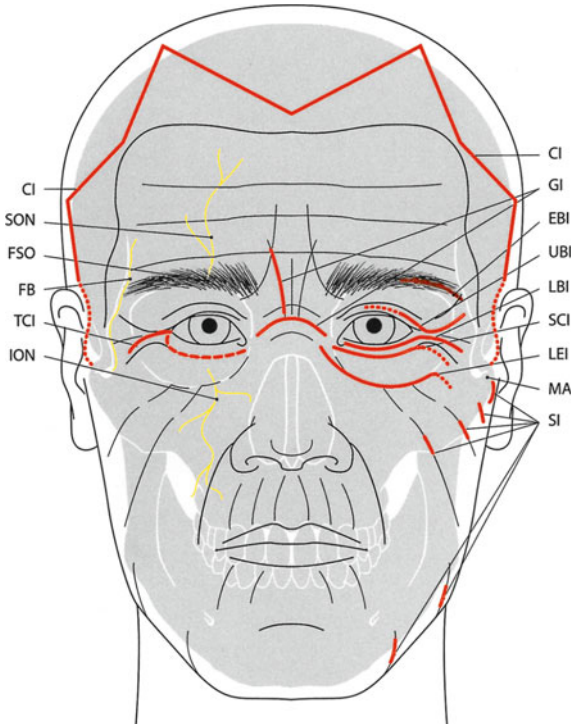


Abb. 1.34 Extraorale Zugänge zur operativen Behandlung von Mittelgesichtsfrakturen. *CL* Bügelschnitt, *SON* N. supraorbitalis, *FSO* Foramen supraorbitale, *FB* lateraler Orbitarandschnitt, *TCI* Transkonjunktivalschnitt, *ION* N. infraorbitalis, *GI* vertikaler Schnitt entspricht Kilianschnitt, horizontaler Schnitt entspricht Nasenwurzelschnitt, *EBI* Augenbrauenschnitt, UBI Oberlidschnitt, LBI Subziliarschnitt, *SCI* mittlerer Unterlidschnitt, *LEI* Infraorbitalschnitt, *MA* molar arch, *SI* Inzisionen im Verlauf der Hautspaltlinien. (Aus: Prein 1998)

Osteosynthesesysteme

Die modernen Osteosynthesesysteme enthalten Mini- und Mikroplatten mit oder ohne selbstschneidende Schrauben (Abb. 1.36). Die gängigen Schraubendicken für den Mittelgesichtsbereich betragen 1, 1,3, 1,5 und 2 mm. Eine fachgerechte Fixation erfordert Miniplatten unterschiedlicher Dicke, Größe und Form. Das Ziel muss sein, die Fraktur sicher zu stabilisieren. Die Platten und Schrauben werden idealerweise an den Stützpfeilern des Gesichtsschädels angebracht. Welche Platten und Schrauben im Einzelfall verwendet werden, hängt von der Dicke, Qualität, Größe und Form der verletzten knöchernen Strukturen ab.

Grundsätzlich geht der Trend zu immer kleineren Platten und Schrauben, vorzugsweise aus Titan (Härle et al. 2009, Horch 2007 u.a.).

Der Einsatz von resorbierbaren Osteosynthesematerialien gewinnt zunehmend an Bedeutung. In der täglichen Praxis erfordert deren Anwendung einen erhöhten Aufwand an Zeit und Equipment. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieses Verfahren in der täglichen traumatologischen Routinepraxis durchsetzen wird (Gerlach 2000).

Implantatentfernung

Bei Kindern und Jugendlichen, also am wachsenden Gesichtsskelett, ist die Entfernung des Osteosynthesematerials indiziert! Die Indikation zur Entfernung des Osteosynthesematerials bei Erwachsenen, eine komplikationslose Wundheilung vorausgesetzt, ist relativ und sollte auf den Einzelfall bezogen entschieden werden. Liegen neuralgiforme Beschwerden, Wetterfühligkeit und andere Symptome vor, ist die Entfernung anzuraten.

Bei resorbierbaren Osteosynthesematerialien erübrigt sich eine Materialentfernung. Vermutlich werden diese Materialien metallisches Osteosynthesematerial in vielen Fällen verdrängen, aber nicht überflüssig machen.

Operationszeitpunkt

Mittelgesichtsfrakturen sind hinsichtlich des Operationszeitpunkts Verletzungen mit aufgeschobener Dringlichkeit. Eine sofortige Versorgung ist nur bei arteriellen bzw. starken venösen Blutungen,

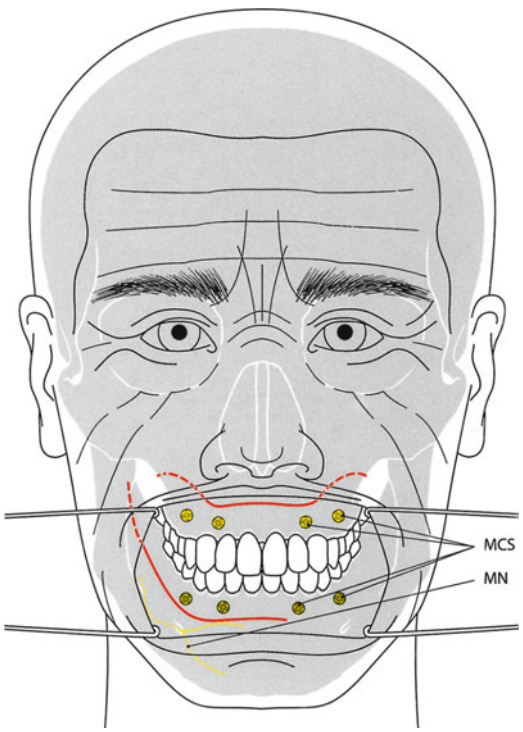


Abb. 1.35 Intraorale Schnittführung im Vestibulum oris des Ober- und Unterkiefers. *MCS* Minischrauben zur intermaxillären Fixation, *MN* N. mentalis. (Aus: Prein 1998)

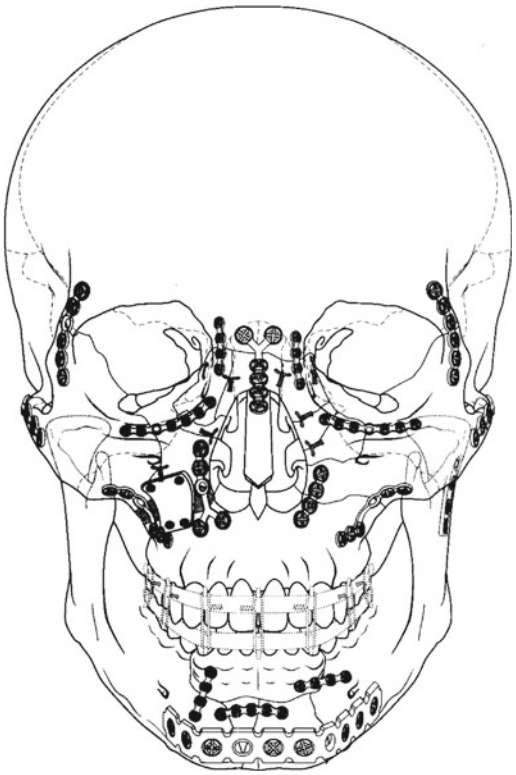


Abb. 1.36 Typische Osteosyntheseloci an den Stützpfeilern im Mittelgesicht

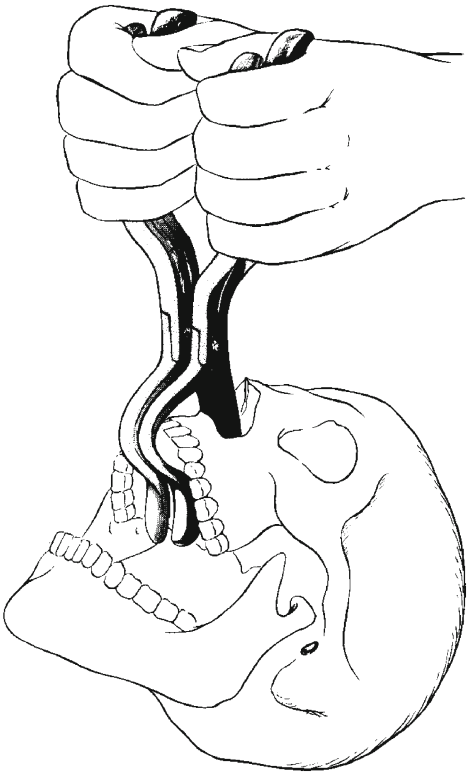


Abb. 1.37 Reposition dislozierter zentraler Mittelgesichtsfrakturen mit Hilfe der Repositionszange

Hämatomen, die zur Erstickung führen können oder aber bei der Gefahr des Auftretens orbitaler Komplikationen (Orbitaspitzensyndrom, Inkarzeration von Augenmuskeln bei Orbitafrakturen) angezeigt. In allen anderen, d.h. in den meisten Fällen sollte bei Okklusionsstörungen eine Ruhigstellung durch Schienung erfolgen und das Abklingen der Ödeme, Suffusionen, Sugillationen und Hämatome abgewartet werden. Beim polytraumatisierten Patienten haben lebensbedrohliche Verletzungen selbstverständlich Vorrang.

Eine Antibiotikagabe ist angezeigt, wenn bei Haut- oder Schleimhautverletzungen offene Frakturen vorliegen (z.B. Clindamycin 3-mal 600 mg i.v.). Ausgedehnte Weichteilverletzungen der Lider, Lippen, Zunge und des Mundvorhofs sollen innerhalb von 8–10 h der Erstversorgung zugeführt werden. 5 Tage nach dem Unfall sollten alle Frakturen des Mittelgesichts definitiv versorgt sein. Ab dem 10.–12. Tag ist mit einer Verminderung der Qualität des Operationsergebnisses zu rechnen (Resorption der Knochenkanten, beginnende Konsolidierung).

1.6.2 Zentrale und zentrolaterale Mittelgesichtsfrakturen

Frakturen der LeFort-I-Ebene

Diagnostisch richtungweisend sind der mobile Oberkiefer und die gestörte Okklusion. Es liegt ein Abriss des Oberkiefers oberhalb des Alveolarfortsatzes mit Frakturverlauf durch Sinus maxillaris und Nasenhöhle vor (Abb. 1.22).

Therapie

Die Okklusionssicherung erfolgt durch Schienung. Dadurch wird in der Regel, ggf. mit Hilfe von Gummizügen, der frakturierte Oberkiefer reponiert. Gelingt auf diese Weise die Reposition nicht, so muss versucht werden, mit Hilfe der Repositionszange den dislozierten Kiefer einzurichten (Abb. 1.37). Dieses Vorgehen gilt für die Reposition aller 3 LeFort-Frakturtypen. Die Mini-/Mikroplattenosteosynthese zur Stabilisierung der Fraktur wird über einen transoralen Zugang realisiert.

Frakturen der LeFort-II-Ebene

Klinisch sind die folgenden Symptome typisch: frontal offener Biss, mobiler Oberkiefer, Sensibilitätsstörung im Gebiet des N. infraorbitalis, Stufenbildung am Infraorbitalrand, »Schachtelton« beim Beklopfen der Zähne. Es handelt sich um eine pyramidale Aussprengung des Oberkiefers, die mit Beteiligung des Nasenskeletts als Wassmund-I- und ohne Beteiligung als Wassmund-II-Fraktur bezeichnet wird (Abb. 1.22, ▶ Abschnitt 1.6.1.2, Klassifikation).

Therapie

Als erste Maßnahme erfolgt die Okklusionssicherung durch Schienung. Über einen transoralen Zugang wird die Mini-/Mikroplattenosteosynthese vorzugsweise an der Sutura frontozygomatica und der fazialen Kieferhöhlenwand vorgenommen. Bei Beteiligung des Nasenskeletts erfolgt die Reposition transnasal, mit anschließender intra-/extranasaler Schienung (▶ Kap. 1.6.1.3, Abschnitt: Operative Verfahren).

Frakturen der LeFort-III-Ebene

Typische Symptome sind wie bei der LeFort-II-Fraktur Okklusionsstörung (frontal offener Biss), mobiler Oberkiefer. Hinzu kommen ggf. Sehstörungen, periorbitales Hämatom, Stufenbildung am lateralen Orbitarand und den Jochbögen. Bei diesem Frakturtyp liegt häufig ein Schädel-Hirn-Trauma vor. Der Allgemeinzustand

dieser Patienten ist in der Regel deutlich reduziert. Es handelt sich gewissermaßen um einen Abriss des Gesichtsschädels vom Hirnschädel, einseitig oder zweiseitig, mit unterschiedlicher Beteiligung des Nasenskeletts (◘ Abb. 1.22, Abschnitt 1.6.1.2, Klassifikation).

Therapie

Mehrfache Zugänge über einen lateralen Orbitarandschnitt, mittleren Unterlidschnitt oder transoralen Schnitt sind nach Art und Umfang der Verletzung erforderlich, um eine sichere Reposition und Fixation der Fraktur zu gewährleisten. Der Bügelschnitt (bikoronarer Schnitt) ist bei Stück- und Trümmerfrakturen nicht nur empfehlenswert, sondern oft unumgänglich, um, beginnend über die Reposition der Jochbögen, systematisch (von oben nach unten) das Gesichtsskelett reponieren und fixieren zu können.

Vor der operativen Therapie muss neben einer aussagekräftigen bildgebenden Darstellung (ein- oder zweiseitig frakturiert?, Stück- oder Trümmerfraktur?) ein HNO-ärztlicher, ophthalmologischer und neurochirurgischer Status erhoben werden, um Duraverletzungen und Läsionen der Rhinobasis und des Auges rechtzeitig erkennen und die Frakturversorgung ggf. interdisziplinär vornehmen zu können.

Die Osteosynthese mit Mini- und Mikroplatten erfolgt in der Regel am lateralen und unteren Orbitarand sowie an den Stützpfeilern des Gesichtsskeletts. Die Jochbögen werden mit dem Elevatorium aufgerichtet, selten ist eine Osteosynthese erforderlich (▶ Kap. 1.6.1.3, Abschnitt: Operative Verfahren).

1.6.3 Frakturen des Nasenskeletts und nasoorbitoethmoidalen Komplexes

V. Bonkowsky

Einfache Fraktur des Nasenbeins

Klinik und Diagnostik

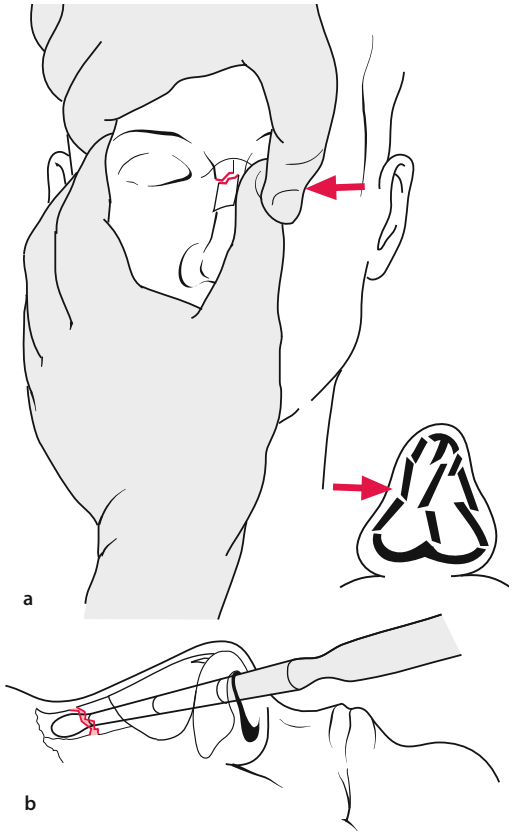
Zunächst erfolgen wieder die Inspektion und die Palpation der Verletzung. Dabei fallen eine abnorme Beweglichkeit der äußeren Nase sowie eine Krepitation der Frakturfragmente bei seitlichem Druck auf die Nase auf. Eine seitliche (»weiche«) Röntgenaufnahme des Nasengerüsts gibt Aufschluss über das Ausmaß der Dislokation.

Operatives Vorgehen

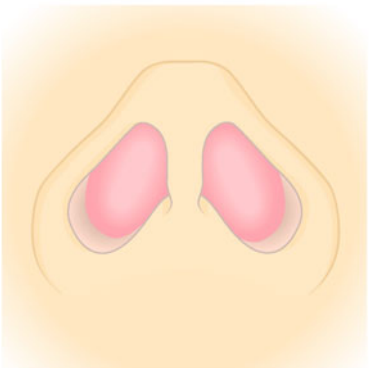
Die Reposition geschlossener Nasengerüstfrakturen sollte innerhalb der ersten 24 h erfolgen oder nach Abschwellung spätestens 8 Tage nach dem Unfallereignis. Die klassische Behandlung ist dabei eine geschlossene Reposition mit einem Elevatorium. Durch vorsichtiges Anhebeln und Herausdrücken der imprimierten Nasenknochen und gleichzeitiges Abtasten und Gegendrücken werden die Frakturen reponiert und durch entsprechende Nasentamponade von innen fixiert (◘ Abb. 1.38). Die äußerliche Fixierung erfolgt durch einen individuell angepassten Nasengips oder eine Nasenschiene, die 8–10 Tage liegen bleibt.

Bei offenen Nasengerüstverletzungen werden zunächst eine Säuberung (Wundreinigung) und anschließend eine Reposition des dislozierten Nasengerüsts und ein atraumatischer Wundverschluss durchgeführt. Offene Trümmerfrakturen des Nasengerüsts können in Ausnahmefällen gedrahtet werden. In der Regel sind jedoch keine Osteosynthesen erforderlich.

Traumen des Nasengerüsts sind oft kombiniert mit Brüchen der Nasenscheidewand und einem Septumhämatom, die zusätzlich versorgt werden müssen. Das Septumhämatom ist Folge eines



◘ **Abb. 1.38a,b** Geschlossene Reposition einer Nasenbeinfraktur durch seitlichen Druck (**a**) oder mit einem Elevatorium (**b**)



◘ **Abb. 1.39** Septumhämatom. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

Bruchs des knorpeligen Septums und hat als Leitsymptom eine behinderte Nasenatmung; es ist leicht bei der Spiegeluntersuchung zu erkennen. Die Schleimhaut wird dabei in den vorderen Partien des Septums gewöhnlich auf beiden Seiten durch einen Bluterguss polsterartig abgeschoben (◘ Abb. 1.39).

Bei stärkeren Blutergüssen in diesem Bereich empfiehlt es sich, sofort Blut und Koagula durch eine Inzision auf der Höhe der Vorwölbung zu entfernen, wenn nötig, die Knorpelstücke in die richtige Lage zu bringen und die Schleimhaut von beiden Seiten durch Tamponade mit Salbentampons anzulegen. Als Komplikation kann sich auf dem Boden eines Septumhämatoms ein Septumabszess entwickeln. In solchen

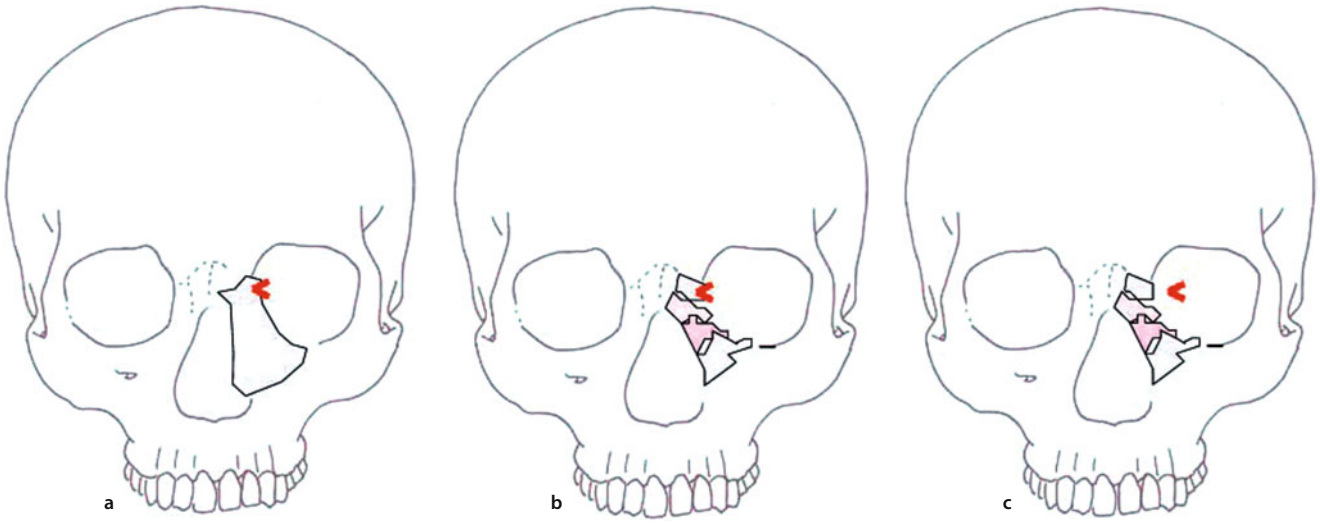


Abb. 1.40a–c **a** Nasorbitoethmoidale Fraktur Typ I, **b** Typ II, **c** Typ III. (Hosemann et al. 2005)

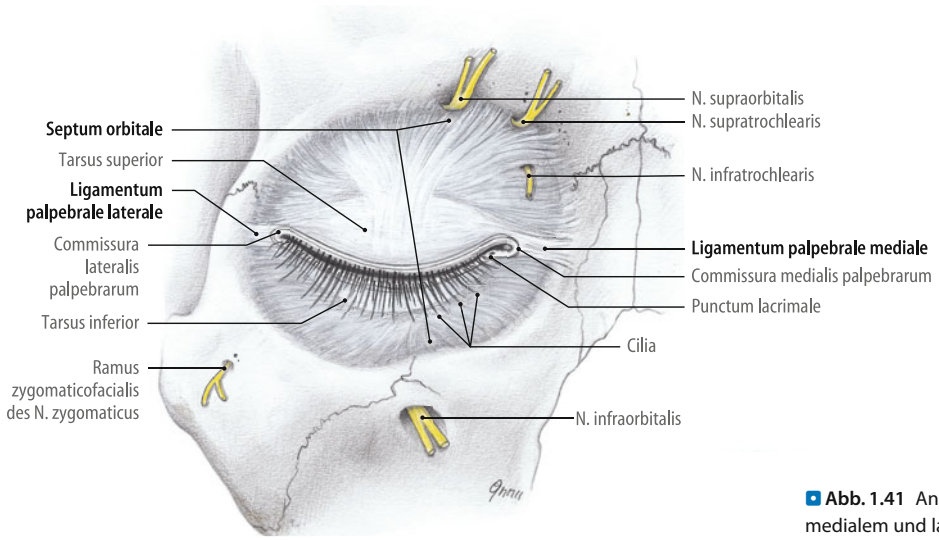


Abb. 1.41 Anatomie der nasoorbitalen Region mit medialem und lateralem Lidbändchen. (Aus Tillmann 2009)

Fällen muss die Nase vom Naseninneren aus breit inzidiert werden. Lose liegende Knorpelsequester werden entfernt. Bei Abheilung ausgedehnter Septumabszesse resultiert in vielen Fällen eine starke Einsenkung des Nasenrückens.

Nasoorbitoethmoidale Frakturen

Nasoethmoidale oder nasoorbitoethmoidale Frakturen sind vielgestaltig und für den HNO-Arzt wichtig. Mittelgesichtsfrakturen mit einem zentralen Fragment erfüllen diese Kriterien. Daher ist eine Kombination mit anderen Läsionen häufig (Ductus nasofrontalis, mediales Lidband, 20% Tränenwege, 65% Augenverletzungen). Aufgrund der vielen möglichen verletzten Strukturen ist die Versorgung kompliziert. Eine Klassifikation der nasoorbitaloethmoidalen Frakturen zeigen Tab. 1.11 und Abb. 1.40.

Tab. 1.11 Einteilung der nasoorbitoethmoidalen Frakturen

Klassifikation	Frakturbeschaffenheit
Typ I	Einzelnes zentrales Fragment
Typ II	Splitterfraktur, Segment mit Lidband aber noch identifizierbar
Typ III	Splitterfraktur, ohne identifizierbares Fragment des medialen Lidbandes (selten)

Therapie

Behandlungsziele sind.

- Wiederherstellung der normalen orbitalen Konturen und des medialen Lidbandkomplexes (Normaler interkanthaler Abstand 33 mm)
- Normalisierung der nasalen Protektion und Projektion
- Normalisierung einer behinderten Nasenatmung oder einer gestörten Nebenhöhlendrainage

Die nasoorbitoethmoidalen Strukturen müssen sorgfältig operativ versorgt werden, da sekundäre Defekte aufgrund der Narbenbildung sehr schwer zu korrigieren sind.

Operatives Vorgehen

Der Zugangsweg muss die individuelle Situation mit Begleitfrakturen und Weichteilverletzungen berücksichtigen (z-förmige paranasale Inzision, transläsionaler Zugang oder auch Bügelschnitt mit Unterlidinzision). Oft ist eine Zweipunkt Fixation größerer Fragmente ausreichend.

Die Nase wird am Stirnbein osteosynthetisch fixiert, knöcherne Substanzverluste sollten durch Transplantate aus der Tabula externa ausgeglichen werden. Abgerissene mediale Lidbänder (Typ 3 Fraktur) können durch eine transnasale Drahtnaht oder durch Mikroplatten superior-posterior der Fossa lacrimalis fixiert werden. Die Anatomie der nasoorbitalen Region mit medialem und lateralem Lidbändchen zeigt ◘ Abb. 1.41.

Bei panfazialen Frakturen wird die nasoorbitoethmoidale Fraktur als Letzte versorgt. Zunächst erfolgt die Versorgung der Stirnregion, dann die Versorgung der nasoorbitoethmoidalen Fraktur von lateral nach medial.

Spätfolgen

Typische Spätfolgen bei nicht optimaler Versorgung sind ein Telekanthus, Enophthalmus oder eine Breit- oder Sattelnase.

1.6.4 Orbitafrakturen

V. Bonkowsky, R. Dammer

Basiswissen

Klassifikation

Frakturen der Augenhöhle treten als Orbitaboden, -dach oder mediale -Wandfraktur und als orbitozygomatische Frakturen in verschiedenen Kombinationen auf.

Behandlungsziele, Besonderheiten bei Orbitafrakturen

Ein **augenärztliches Konsil** ist vor der operativen Versorgung einer Orbitafraktur eine conditio sine qua non: in etwa 30% ist eine Orbitafraktur mit einer Verletzung des Auges vergesellschaftet!

Am Ende der Orbitareposition sollte die passive Bulbusbeweglichkeit erneut durch einen Augenarzt mit Hilfe des so genannten »Forced Duction Tests« überprüft werden.

Am 1. postoperativen Tag muss erneut vom Ophthalmologen eine Motilitäts- und Visuskontrolle, dann möglichst beim wachen Patienten, erfolgen.

Der Zeitpunkt der operativen Intervention liegt meist ca. 7–8 Tage nach dem Trauma. Nach diesem Zeitraum ist nicht mehr zu erwarten, dass sich Doppelbilder zurückbilden. Ein Vorteil der Versorgung der Orbitafraktur nach 7–8 Tagen ist die weitgehende Rückbildung des Hämatoms und des oft ausgeprägten periorbitalen Ödems. Nach dem Abklingen der Schwellung kommt es nach Reposition des prolabierten Orbitainhalts in die Augenhöhle nicht zu einer Druckerhöhung in der Orbita mit evtl. Beeinträchtigung der Durchblutung und nachfolgender Visusminderung.

Die auch in der Literatur beschriebenen ophthalmologischen Probleme nach orbitalen Traumen (Gellrich 1990) sind auch den Autoren aus der eigenen Tätigkeit bekannt. Dazu gehören Erblindungen nach Reposition einer Orbitabodenfraktur bei denen als Ursache nur eine intraorbitale Druckerhöhung infrage kam!

Die chirurgische Korrektur der Orbitafrakturen besteht im Einzelnen in:

- Wiederherstellung der normalen knöchernen Projektion
- Befreiung eingeklemmter Fett- oder Muskelanteile
- Reposition des Bulbus mit Rekonstruktion eines normalen Orbitavolumens

Orbitabodenfraktur (Blow-out-Fraktur)

Typische Hinweiszeichen sind Diplopie, kaudale Bulbusverlagerung (Achsenverschiebung) und Sensibilitätsstörungen im Versorgungsgebiet des N. infraorbitalis (Taubheitsgefühl an der Oberlippe, Sensibilitätsstörungen an den Oberkiefer-Frontzähnen). Bei den isolierten Orbitabodenfrakturen liegt häufig ein falltürhafter Einbruch des Orbitabodens mit Dislokation des Orbitainhalts in die Kieferhöhle vor. Es besteht die Gefahr der Einklemmung der Mm. rectus et obliquus inferior im Bruchspalt (◘ Abb. 1.42).

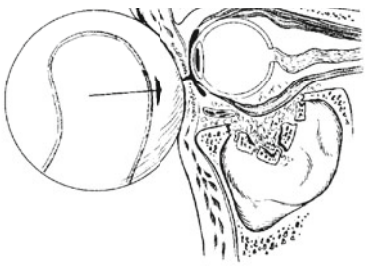
Diagnostik

Die Diagnose wird durch eine koronare CT des Gesichtsschädels gesichert (◘ Abb. 1.43). Eine augenärztliche, bzw. orthoptische Begutachtung ist prä- und postoperativ in jedem Fall vorzunehmen. Zur Objektivierung möglicher Augenmuskelläsionen und Darstellung nervaler Strukturen (N. opticus, N. infraorbitalis) kann eine dreidimensionale magnetresonanztomografische Darstellung der Orbita beitragen.

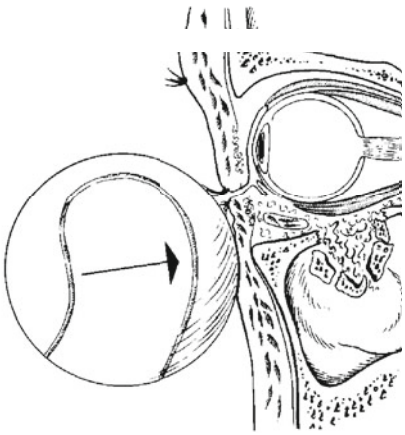
Therapie

Operationsindikationen

Eine Exploration des Orbitabodens muss bei persistierender Beeinträchtigung des Sehvermögens (Diplopie), Sensibilitätsstörungen des N. infraorbitalis, im konventionellen Röntgenbild bzw. in der CT sichtbarer kaudaler Verlagerung des Orbitainhalts sowie Dis-



a



b

◘ **Abb. 1.42a,b** Mechanismen der Frakturierung des Orbitabodens. **a** Fraktur durch Druckerhöhung in der Orbita. **b** Fraktur durch fortgeleitete Kraftübertragung

lokation von Orbitaknochenstrukturen und konsekutivem Enophthalmus (>2 mm) erfolgen.

Bei fehlender Funktionsstörung, aber deutlich frakturiertem Orbitaboden sehen Ophthalmologen eine Kontraindikation zur Operation, u.a. um die sehr seltene, aber gefürchtete Komplikation des Spasmus der A. centralis mit Erblindung oder aber ein Ektropium zu vermeiden. Dem steht die Tatsache gegenüber, dass ein Orbitahämatom oder -ödem eine normale Funktion und Lage des Bulbus vortäuschen kann, sodass erst Tage später nach dem Abschwellen die Funktionsstörungen sichtbar werden.

Eine Spätkorrektur zeitigt aber immer schlechtere Ergebnisse. Ursache dafür sind in erster Linie narbige Verwachsungen.

Operatives Vorgehen

Der Subziliarschnitt (3–4 mm unterhalb der Unterlidkante) oder der mittlere Unterlidschnitt ist die Schnittführung der Wahl, weil dadurch in aller Regel ein Ektropium vermieden werden kann und ein guter Überblick über das Ausmaß der Fraktur möglich ist (Abb. 1.34). Nach der Inzision der Haut präpariert man entlang der Außenfläche des M. orbicularis oculi nach kaudal zum Infraorbitalrand. Nach stumpfer Ablösung des Orbitafettes erreicht man den Orbitarand, durchtrennt das Periost und stellt vorsichtig subperiostal, horizontal und nach distal entlang des Knochens präparierend den Orbitaboden dar.

Ein frakturierter, nichtdislozierter Orbitaboden bedarf keiner besonderen Maßnahmen, wenn ein Prolaps des Orbitainhalts in die Kieferhöhle ausgeschlossen werden kann. Dagegen muss bei Defekten und falltürartigem Einbruch des Augenhöhlenbodens äußerst vorsichtig reponiert werden, um eine Druckerhöhung in der Orbita zu vermeiden und v.a. den N. opticus wie auch den N. infraorbitalis nicht zu verletzen. Nicht eindeutig zuzuordnende Knochensplitter sollten entfernt werden.

Knöcherne Defekte müssen mit einem geeigneten Material abgestützt werden, um ein Zurückgleiten des Orbitainhalts in die Kieferhöhle sicher zu stellen.

Zur Stabilisierung des Orbitabodens wurde eine Vielzahl von Materialien vorgeschlagen. Bewährt haben sich v.a. autologer Knochen (Tabula externa) oder PDS-Folien und -Schalen, die nach ca. 6–7 Monaten resorbiert sind. Bei großen Defekten, bzw. komplexen Frakturen verwendet man auch Titangitter.

Das Unterfütterungsmaterial wird so zugerichtet, dass es sicher auf intaktem, regelrecht stehendem Knochen aufliegt.

Die transantrale Revision, Reposition und anschließende Fixation des Orbitabodens mit einem Ballonkatheter wird ebenfalls beschrieben. Dieses Verfahren bietet jedoch nur einen begrenzten Einblick in die Frakturzone und eine z.T. nur bedingte Kontrolle des Repositionsergebnisses (Abb. 1.44).

Komplikationen und Prognose

Vereinzelt in der Literatur beschriebene Amaurosen infolge der Orbitabodenrevision zwingen zu einer klaren Indikationsstellung. Sorgfältiges, schonendes Vorgehen vorausgesetzt, ist der Eingriff mit einem geringen Risiko behaftet. Nach dem Aufwachen des Patienten aus der Narkose muss eine klinische Visusprüfung erfolgen (s. oben).

Orbitadachfraktur

Bei umschriebener Gewalteinwirkung ist eine isolierte Dachfraktur möglich. Es resultiert daraus ein Blow-in- bzw. Blow-out-Mechanismus.

Diagnostik

Die Erstuntersuchung beginnt mit der äußeren Inspektion. Dabei fallen oftmals ein Hämatom und ein subkonjunktivales Hämatom auf. Anschließend erfolgt die eingehende Palpation des Orbitarahmens mit der Suche nach Stufenbildungen und mobilen Konturen. Krepitationen und Emphyseme sind ebenfalls palpatorisch zu erfassen.

Auf eine eingehende ophthalmologische Untersuchung soll, wie bereits erwähnt, bei keiner Orbitafraktur verzichtet werden.

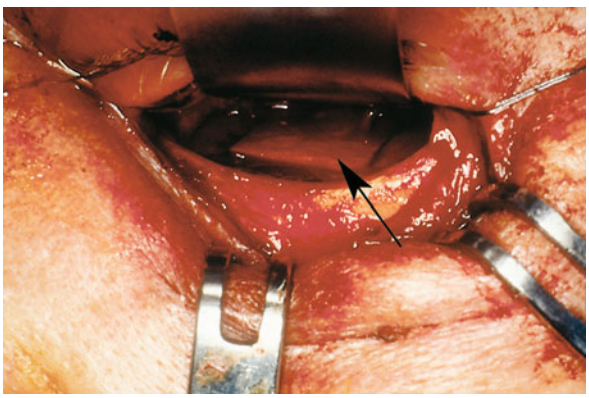


Abb. 1.44 Abstützung einer isolierten Orbitabodenfraktur mit einem Kalvariatransplantat. (Aus: Hausamen u. Schierle 2000)

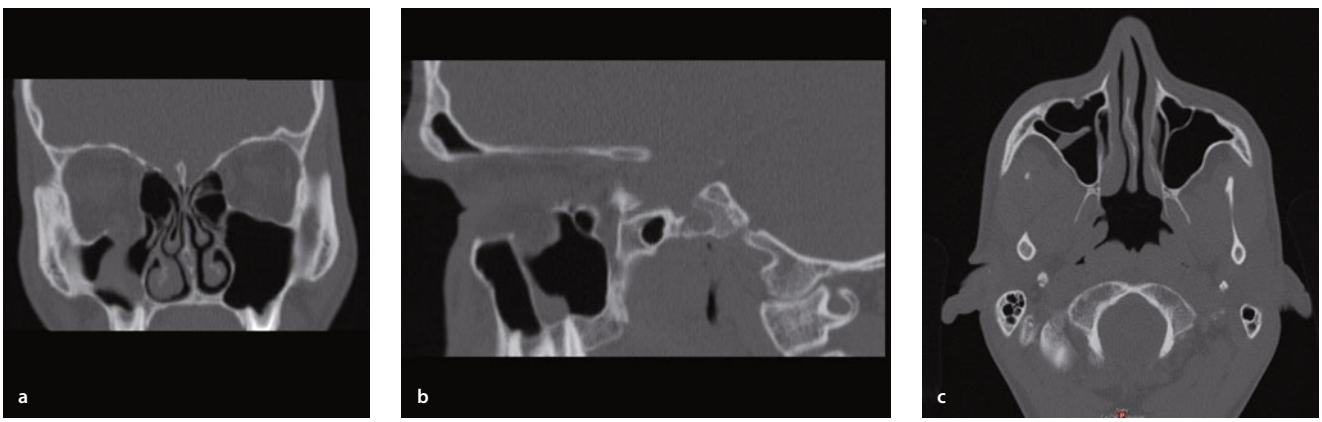


Abb. 1.43 Orbitabodenfraktur rechts. **a** Koronare Schicht. **b** Sagittale Schicht. **c** Axiale Schicht

Bei der groben klinischen Prüfung wird nach einem Exophthalmus oder Enophthalmus gefahndet. Falls das Auge des Patienten nicht zugeschwollen ist, soll er angeben, ob sein Visus erhalten oder verschlechtert ist. Die Bulbusbeweglichkeit wird mit vorgehaltenem Finger geprüft und nach Doppelbildern in Endposition gefragt. Die Wichtigkeit der Zusammenarbeit zwischen Ophthalmologen, MKG-Chirurgen und HNO-Chirurgen ergibt sich aus der Tatsache, dass der Anteil von Augenverletzungen bei Frontobasistraumen sehr hoch ist. In einem Krankengut von Stoll (1993) betrug die Anzahl der Amaurosen 24%.

Weitere Symptome der Orbitaverletzung sind Sensibilitätsstörungen im Bereich der Trigeminusäste V1 und V2. Eine genaue Lokalisation der Orbitafrakturen ermöglicht die axiale und koronare CT.

Therapie

Bei geringer Dislokation ohne ophthalmologische Symptome kann konservativ behandelt werden. Ein operatives Vorgehen ist hingegen indiziert bei:

- Bulbusdislokation, persistierende Sehstörungen nach Abklingen der Schwellung
- Weichteilhernie
- Liquorrhoe

In diesem Fall sollte ein frontoorbitaler Zugang gewählt werden, da meistens eine Kombination mit anderen Frontobasisverletzungen vorliegt. Eine Enttrümmerung bzw. Reposition der Fragmente und ein Abdichten der darüber liegenden Dura genügt. Jeder Zugang über die Nasennebenhöhlen muss anschließend in der bereits besprochenen Weise versorgt werden.

Mediale Orbitafraktur

Die medialen Orbitafrakturen sind an die Anatomie der nasoethmoidalen Region gebunden und bilden eigentlich keine nosologische Einheit. Das Trauma der medialen Orbitawand tritt häufig zusammen mit einer Nasengerüstfraktur auf. Axiale und koronare CT-Aufnahmen lassen das Frakturmuster sehr gut erkennen. Auf konventionellen Röntgenaufnahmen sind diese Frakturen meist schwierig zu diagnostizieren. Luft in der Orbita ist ein Hinweis auf das Trauma.

Therapie

Eine geringfügige isolierte Traumatisierung (< 2 cm^2) bedarf in der Regel keiner Therapie. In diesen Fällen bildet sich eine initial bestehende Diplopie kontinuierlich innerhalb von 1–2 Wochen zurück. Ist der Defekt größer oder bilden sich die Doppelbilder nicht zurück, ist eine operative Intervention indiziert. Ist die Glabella beteiligt, so muss eine sehr sorgfältige Rekonstruktion vorgenommen werden, um einem posttraumatischen Hypertelorismus (überweiter Abstand beider Augen) vorzubeugen. Der normale interkanthale Abstand beträgt 33 mm (24–39 mm), die knöcherne Distanz zwischen den Augenhöhlen ist 10 mm geringer. In jedem Fall ist ein evtl. abgerissenes mediales Lidbändchen ein- oder beidseitig zu versorgen (◘ Abb. 1.45).

Beim operativen Vorgehen muss darauf geachtet werden, dass auf keinen Fall der mediale Kanthus zusätzlich verletzt wird. Die Annäherung der interkanthalen Distanz wird heute mit speziellen Platten aus dem Miniset erreicht. Zur Konturbildung helfen transnasale Nähte, die durch aufgelegte laterale Schienen ziehen und das Nasengerüst stützen. Da bei der Versorgung ausgedehnter Traumen stets das Siebbein und die Stirnhöhle miteröffnet werden, gelten für die weitere Versorgung die bereits dargestellten Regeln, d.h. es muss unbedingt eine suffiziente Drainage angelegt werden.

◘ **Abb. 1.45** Lidverletzung mit gut sichtbarem oberen Tränenpünktchen und auffallend flacher Vorderkammer, die auf eine perforierende Bulbusverletzung hinweist. (Aus: Werry 2000)

◘ **Abb. 1.46** Komplexe Orbitafraktur. (Aus: Hausamen u. Schierle 2000)

Fraktur der Lamina papyracea und des Siebbeins

Neben dem Orbitaboden bildet die Lamina papyracea ebenfalls einen Locus minoris resistentiae. Die isolierte Fraktur ist sehr selten und außerdem symptomarm. Lediglich Luftansammlung in der Orbita kann mitunter ein Hinweis sein. Bei einem geringen Emphysem genügt eine Beobachtung ohne chirurgische Intervention. Da das frakturierte Siebbein über eine ausgeprägte Tendenz zur selbstständigen Restitution von Ventilation und Drainage verfügt, ist ein vorsorgliches Débridement frakturierter und radiologisch verschatteter Siebbeine nicht indiziert. Nur bei einer eindeutigen Verlegung des Ductus nasofrontalis, verschmutzten Schuss- oder Stichkanälen oder einer eindeutigen Infektion sollte operativ interveniert werden.

Komplexe Orbitafrakturen

Typische klinische Hinweiszeichen sind Diplopie, Bulbusverlagerung, Einschränkung der Bulbusmotilität, Sensibilitätsstörungen des N. infraorbitalis, Gesichtsasymmetrie und ein gestörter Tränenabfluss. Komplexe Orbitafrakturen liegen vor, wenn zwei und mehr Wandungen der Orbita betroffen bzw. die Tränenwege mitbeteiligt sind. Besondere Beachtung verdient der Zustand des lateralen und medialen Lidbändchens, deren Abriss nicht selten zu spät bemerkt wird, und zum Telekanthus, also zur Vergrößerung des Abstandes zwischen den Bulbi, führen kann (◘ Abb. 1.46).

Therapie

Die operative Revision wird nach Schnittführung über einen mittleren Unterlidschnitt, lateralen Orbitarandschnitt und bei ausgedehnten Verletzungen ggf. über einen Bügelschnitt durchgeführt. Die interdisziplinäre Planung und Ausführung der Operation hängt

ab vom Ausmaß des Traumas. Beteiligt werden je nach Art und Umfang der Verletzung Mund-Kiefer-Gesichts(MKG)-Chirurgie, Neurochirurgie, HNO- und Augenheilkunde. Die Behandlung von Verletzungen der ableitenden Tränenwege bedarf der besonderen Aufmerksamkeit (▶ Abschnitt 1.12, Weichteilverletzungen).

Auch bei ausgedehnten Frakturen und bei eingeschränkter Narkosefähigkeit sollte möglichst innerhalb von 7–8 Tagen eine subtile Rekonstruktion der Orbita erfolgen, weil Sekundärkorrekturen von dislozierten verheilten Frakturen funktionell und ästhetisch meist ungünstige Resultate erbringen. Eine Restitutio ad integrum ist nach narbiger Verwachsung nicht regelrecht revidierter Weichteilwunden praktisch ausgeschlossen.

1.6.5 Laterale Mittelgesichtsfrakturen

R. Dammer

Jochbeinfrakturen

Wichtigstes klinisches Zeichen ist die Stufenbildung am Infraorbitalrand. Sensibilitätsstörungen an der Oberlippe und die nach Abschwellung oft erst nach Tagen sichtbare Deformierung des lateralen Mittelgesichts sind typische Zeichen. Loci minores resistentiae sind die Suturae frontozygomatica et zygomaticomaxillaris sowie die Tuberregion. Die Jochbögen können imprimiert oder nach lateral oder medial rotiert sein. Der Orbitaboden ist praktisch immer mitbeteiligt (◘ Abb. 1.47). Der typische Impressionsbruch des Jochbogens tritt bei seitlicher Gewalteinwirkung auf. Meist ist die beschriebene Dellenbildung nur anfangs zu erkennen. Nach einigen Tagen ist sie durch die eintretende Schwellung maskiert. Eine Behinderung der Mundöffnung (»Kieferklemme«) ist meist Ausdruck einer dislozierten Jochbogenfraktur mit Einklemmung des M. temporalis.

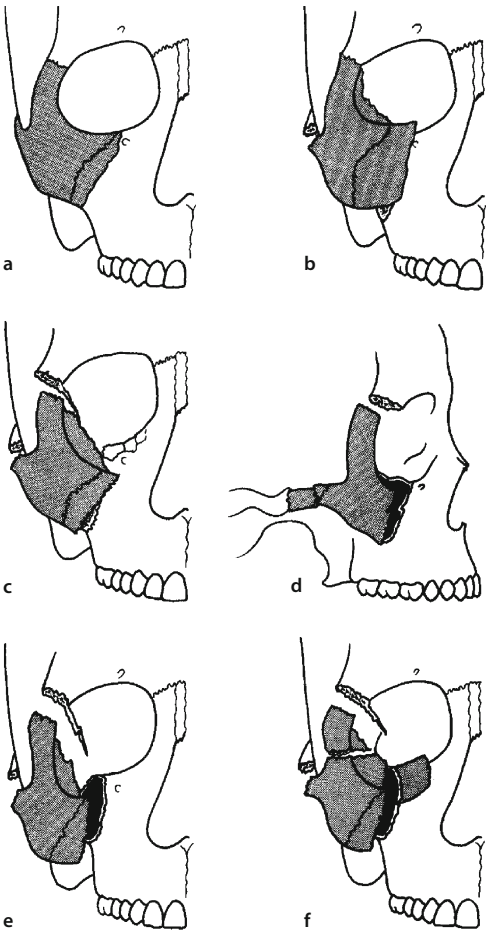
Röntgenologisch erkennt man die Jochbogenfraktur am besten mit der so genannten Henkeltopfaufnahme.

Therapie

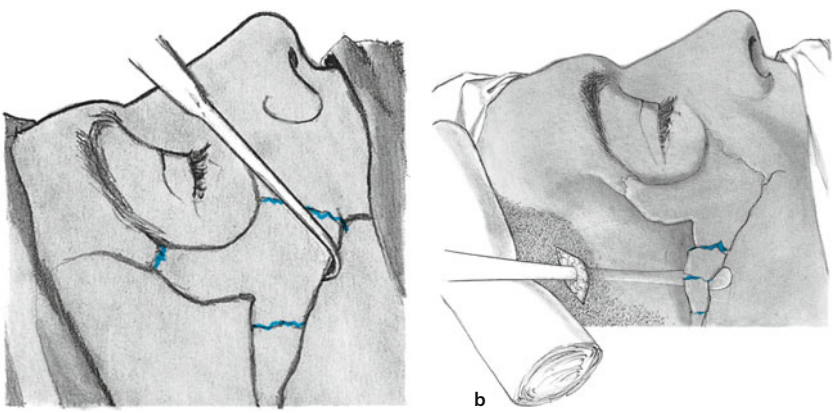
Das Behandlungsspektrum reicht von der bloßen Reposition durch perkutanen Zug mit dem Einzinkerhaken bis zur aufwändigen Mini- bzw. Mikroplattenosteosynthese. Es ist abhängig vom Grad der Dislokation, von der Mobilität der Fragmente und dem Ausmaß der Zerstörung im Bereich des Orbitabodens.

Einfache Impressionsfrakturen

Einfache Impressionsfrakturen des Jochbeins werden mit dem Einzinkerhaken reponiert. Der Haken wird über eine Stichinzision in der Mitte einer Linie zwischen Tragus und Mundwinkel unter dem Jochbeinkörper platziert. Die Reposition erfolgt durch Zug in kraniofrontale Richtung. Oft kommt es, v.a. bei der Sofortversorgung, zum spürbaren Einrasten des Jochbeins. Wenn die postoperative Kontrolle das Repositionsergebnis bestätigt, ist keine weitere Therapie erforderlich. Der Patient muss ca. 10 Tage nach der Operation vermeiden, auf der betreffenden Seite zu liegen. Alternativ kann die Reposition mit einem speziellen Elevatorium, das in der Regio temporalis über eine Hautinzision auf der Faszie des M. temporalis unter das Jochbeinmassiv geführt wurde, durchgeführt werden (◘ Abb. 1.48).



◘ **Abb. 1.47a–f** Bruchtypen und Dislokationsrichtungen bei lateralen Mittelgesichtsfrakturen



◘ **Abb. 1.48a,b** **a** Reposition lateraler Mittelgesichtsfrakturen mit dem Einzinkerhaken. **b** Reposition mit dem Elevatorium über einen Hilfsschnitt nach Gillies. (Aus: Hausamen u.Schierle 2000)

Bei der Reposition einer Jochbogenfraktur schnappen die Fragmente idealerweise in anatomischer Stellung ein und verhaken sich, da der Muskelfortsatz des Unterkiefers bzw. der Temporalismuskel den reponierten Bruch in Position hält.

Wenn die imprimierten Fragmente instabil bleiben und erhebliche Dislokationen bestehen, müssen von einem Schnitt kranial und parallel des Jochbogens die Frakturen dargestellt und die Fragmente durch eine kleine Drahtnaht oder Miniplatte fixiert werden. Hierbei besteht jedoch das Risiko einer Fazialisschädigung.

Dislozierte mobile Jochbeinfrakturen

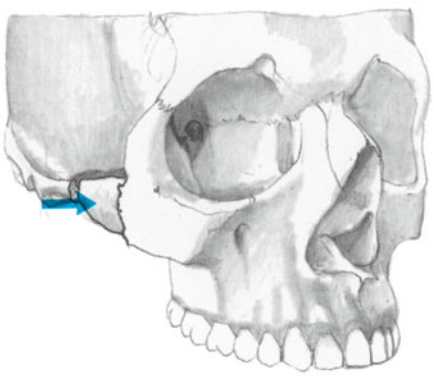
Dislozierte Frakturen werden zunächst ebenfalls nur mit Hakenzug versucht zu reponieren. In den meisten Fällen muss über eine Inzision am lateralen Orbitarand der Frakturspalt dargestellt und mit einer Miniplatte des 1,5- oder 2,0-mm-Systems stabilisiert werden. Diese Fixation reicht in der Regel aus. Bei sehr instabilen Brüchen muss über einen mittleren Unterlidschnitt der Infraorbitalrand und der Orbitaboden zusätzlich revidiert werden. Das Repositionsergebnis wird dann ebenfalls mittels Miniplatte auch am unteren Orbitarand fixiert (◘ Abb. 1.49).

Jochbein-Stück-Trümmer-Defektfrakturen

Trümmerfrakturen des Jochbeins sind meist Folge heftiger direkter Gewalteinwirkung. Die Fraktur muss neben dem lateralen Orbitarandschnitt und mittleren Unterlidschnitt oft zusätzlich von intraoral über eine breite Schleimhautperiostinzision an der fazialen Kieferhöhlenwand dargestellt werden. Die Reposition und Fixation einzelner Knochenstückchen kann sehr schwierig oder ganz unmöglich sein. In diesem Fall werden dann zumindest folgende Ziele angestrebt:

- Optimale Funktion des Auges
- Neurolyse der N. infraorbitalis
- Optimierung der Belüftung der Kieferhöhle
- Wahrung der Kontur des Mittelgesichts

Oft müssen temporäre Repositionshilfen, z.B. Drähte oder Platten, eingesetzt werden, um die stark dislozierten Bruchstücke zunächst wie ein Puzzle zusammenfügen und mit größtmöglicher Präzision fixieren zu können. Häufig wird zur Wiederherstellung der Gesichtskontur der Einsatz von Metallgittern aus Titan notwendig. Kleinere Feinkorrekturen des Gesichtsreliefs können auch sekundär erfolgen. Eine entsprechende Aufklärung des Patienten vor dem Eingriff soll übertriebenen Erwartungen vorbeugen.



◘ **Abb. 1.49** Isolierte, nach medial dislozierte Jochbogenstückfraktur. (Aus: Ewers et al. 1995)

Zygomatico-temporo-mandibuläre Frakturen

Als typische klinische Zeichen gelten eine Behinderung der Mundöffnung, Deformation der seitlichen Gesichtsregion, Gehörminderung und die periphere Fazialisparese. Die Frakturen betreffen Jochbogen, Kiefergelenkfortsatz und Felsenbein. Alle aufgezählten Strukturen sind in unterschiedlichem Ausmaß mehr oder weniger komplex frakturiert.

Diagnostik

Die Verletzung erfordert in jedem Fall ein HNO-ärztliches Konsil, um eine mögliche Beeinträchtigung des Gehörs und der Fazialisfunktion auszuschließen. Eine CT-Untersuchung bzw. eine MRT für den Fall, dass der N. facialis bzw. Gelenkknorpel dargestellt werden sollen, ist erforderlich, um das Ausmaß der Verletzung präzise einschätzen zu können.

Therapie

Über einen submandibulären und/oder präaurikulären Zugang wird die Fraktur dargestellt. Nicht selten ist auch eine temporale Schnittführung erforderlich, um ausreichend Übersicht zu haben. Dieser insgesamt seltene Frakturtyp wird in Abhängigkeit von Frakturausmaß und Funktionsausfall wie die Fazialisparese oder Kieferklemme auch interdisziplinär osteosynthetisch versorgt (s. unten, 1.7.1, ▶ Abschnitt: Therapie bei Frakturen des Corpus oder Angulus mandibulae).

1.6.6 Komplexe Mittelgesichtsfrakturen

Dabei handelt es sich um schwere und schwerste, irreguläre Kombinationstrümmerbrüche der Mittelgesichtsknochen nach grober Gewalteinwirkung, bei denen fast immer gleichzeitig ein Trauma im Bereich der Schädelbasis vorliegt. Auch hier erfolgen zunächst die Exploration der Verletzungen und die Reposition der Frakturen mit Stabilisierung gemäß der entstandenen Verletzung. Die Rhinobasis wird in der Regel erst nach erfolgter Stabilisierung des Mittelgesichts versorgt. Würde man umgekehrt vorgehen und zunächst die Rhinobasis und eine etwaige Liquorrhoe decken, könnte durch die Manipulation bei der Reposition der Mittelgesichtsfrakturen die Rhinobasis wieder undicht werden. Die übrigen therapeutischen Maßnahmen entsprechen den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen (Hausamen et al. 1995, 1996, 2000).

1.7 Frakturen und Luxationen des Unterkiefers

R. Dammer

1.7.1 Frakturen

Anatomie

Hervorzuheben ist der dünn auslaufende Gelenkfortsatzhals, der in das Kiefergelenkköpfchen übergeht. Der Processus articularis ist der Teil des Unterkiefers, der am häufigsten frakturiert und dessen Verletzung auch sehr oft übersehen wird. Da sich im Kiefergelenkfortsatz die Wachstumszonen des Unterkiefers befinden, dürfen Frakturen im Wachstumsalter nur konservativ behandelt werden. Die Kenntnis der Topografie der Kaumuskulatur und auch der Muskulatur des Mundbodens ist wichtig für das Verständnis der Frakturdislokation. Zu beachten ist weiterhin der N. alveolaris inferior, der im Foramen mandibulare in den gleichnamigen Kanal ein- und am Foramen mentale austritt, um mit seinem Hauptanteil in die Unterlippe einzustrahlen. Ein kleinerer Teil überkreuzt sich

in der Mitte mit den Fasern der Gegenseite. Frakturen des Unterkiefers führen bei starker Fragmentdislokation zu Sensibilitätsstörungen im Versorgungsbereich des Nervs (Taubheitsgefühl in der Unterlippe, Sensibilitätsverlust der Zähne).

Klassifikation

Frakturen des Unterkiefers sind sehr vielgestaltig in Form und Ausmaß. Die Therapie wird v.a. von folgenden Merkmalen bestimmt:

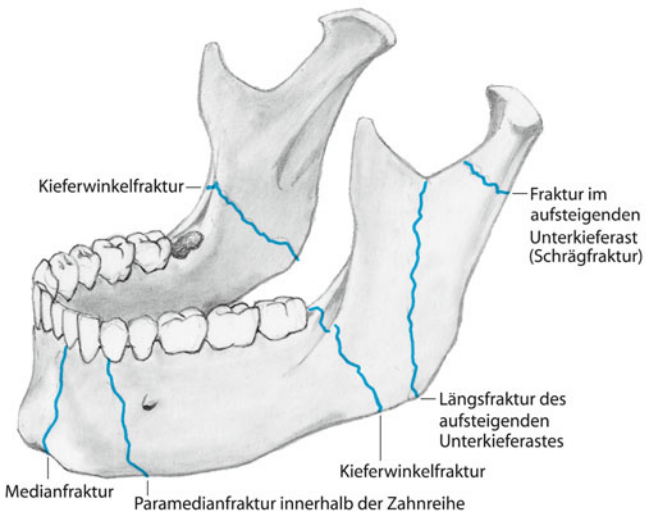
- **Bezahnung/Bisslage**: vollständiges Gebiss, Teilbezahnung, zahnloser Kiefer mit Atrophie; Art und Qualität der prothetischen Versorgung wie auch des Sanierungsgrades; Angle-Klassifikation (Bisslage).
- **Offene/geschlossene Fraktur:** Geschlossene Frakturen sind selten; nach innen, d.h. zur Schleimhaut offene Frakturen am häufigsten. Zur Haut offene Frakturen müssen im Gegensatz zu den zur Schleimhaut offenen sofort, d.h. innerhalb von 10 h nach Trauma, versorgt werden, um Komplikationen wie Bruchspaltosteomyelitis oder Weichteilinfektionen vorzubeugen.
- **Schräg-/Quer-/Längs-/Stück-/Trümmerfrakturen:** Diese Einteilung ist wegweisend für die Wahl des geeigneten Osteosynthesematerials: Zugschraubenosteosynthese bei Schrägfrakturen, Überbrückungsosteosynthese bei Stück- und Trümmerfrakturen (◘ Abb. 1.50);
- **Einfach-, Zweifach-, Mehrfachfrakturen**
- **Defektfrakturen** (z.B. Schussverletzungen, Prein et al.1996)
- **Kiefergelenkfortsatzfrakturen:** Gelenkfortsatzbasis, Hals- oder Köpfchenfraktur (◘ Abb. 1.51), einseitige/doppelseitige, mit Luxation des Gelenkköpfchens, ohne Luxation (◘ Abb. 1.52), Frakturen des Gelenkfortsatzes in Kombination mit Frakturen des Ramus, Corpus oder Angulus mandibulae.
- **Komplexe, panfaziale Frakturen**

Zwischen den oben aufgeführten 7 Hauptgruppen gibt es eine Vielzahl von Kombinationen. Das bedeutet, der Therapeut muss die gesamte Palette der konservativen und operativen Therapie von Frakturen des Unterkiefers beherrschen.

Klinik und Diagnostik

Klinik

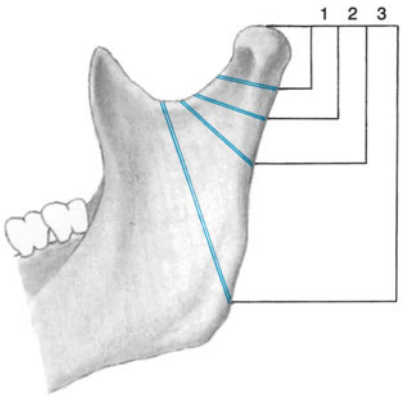
Das Leitsymptom der Unterkieferfrakturen ist die gestörte Okklusion und abnorme Beweglichkeit der »Zahnreihen«. Weitere Hinweise auf das Vorliegen einer Fraktur sind Hypästhesien in der Seitenzahnregion, aber v.a. in der Unterlippe (◘ Abb. 1.53).



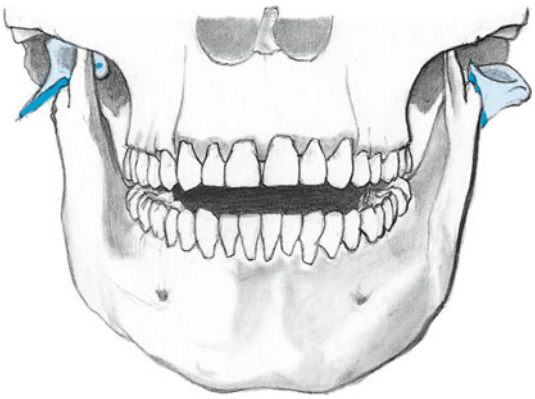
◘ **Abb. 1.50** Typische Lokalisationen von Unterkieferfrakturen. (Aus: Hausamen u. Schierle 2000)

Diagnostik

Zur Verifizierung einer Unterkieferfraktur müssen in jedem Fall Röntgenbilder in 2 Ebenen angefertigt werden. Idealerweise ein OPG (Orthopantomogramm) und eine Aufnahme nach Clementschitsch. Anstelle des OPG kann ersatzweise auch eine Übersichtsaufnahme des Unterkiefers, der so genannte »hängende Unter-



◘ **Abb. 1.51** Klassifikation der Kollumfrakturen: *1* hohe Kollumfraktur, *2* mittelhohe Kollumfraktur,*3* tiefe Kollumfraktur. (Aus: Ewers et al. 1995)



◘ **Abb. 1.52** Doppelseitige Luxationsfraktur des Unterkiefers mit offenem Biss. (Aus: Hausamen u. Schierle 2000, S. 142, ◘ Abb. 4.21)

◘ **Abb. 1.53** Klinisches Bild einer Unterkieferfraktur

kiefer« durchgeführt werden. Bei Frakturen der Kinnregion ist es sinnvoll, zusätzlich eine Unterkieferaufbissaufnahme oder eine Unterkiefer-Status-X-Aufnahme anzufertigen. Diese Projektionen sind jedem Zahnarzt bekannt und können in nahezu jeder zahnärztlichen Praxis vorgenommen werden. In der Regel reicht bei einfachen Frakturen das konventionelle Röntgenbild in 2 Ebenen, wie oben beschrieben, aus.

Die Anfertigung einer Dünnschicht-CT ist bei Unterkieferfrakturen nur in Ausnahmefällen bei ungenügender Darstellung der Fraktur in konventionellen Aufnahmen erforderlich. Alternativ kann die Frakturdiagnostik am Unterkiefer auch mit Hilfe der dentalen digitalen Volumentomografie (DVT) erfolgen, die in MKG-chirurgischen Praxen in zunehmendem Maße vorhanden ist.

Im Kindesalter treten häufig Grünholzfrakturen auf, aber auch im Erwachsenenalter sind nichtdislozierte Frakturen keine Seltenheit.

Therapie

Mit der Einführung der intraoralen Miniplattenosteosynthese ist die konservative Behandlung mit Schienenverbänden und der damit verbundenen etwa 4 Wochen andauernden intermaxillären Verschnürung endgültig in den Hintergrund gedrängt worden. Bei Mehrfachfrakturen, Stück- und Trümmerfrakturen sowie Defektfrakturen ist die operative Therapie eine Conditio sine qua non.

Einfache, wenig dislozierte Frakturen können aber nach wie vor, gute Bezahnung und saniertes Gebiss sowie eine vorzügliche Mundhygiene vorausgesetzt, konservativ durch Schienung erfolgreich behandelt werden. Deshalb muss man diese Methode auch aus juristischen Gründen dem Patienten im Aufklärungsgespräch als Alternative zur Entscheidung anbieten.

Bei Gerinnungsstörungen und fehlender bzw. eingeschränkter Narkosefähigkeit haben die konservativen Behandlungsverfahren mit Schienenverbänden ebenfalls ihre Berechtigung (▶ Abschnitt 1.1, Basiswissen).

Bei Teilbezahnung, Zahnlosigkeit und Mehrfachfrakturen ist die operative Therapie die Behandlungsmethode der Wahl.

Die operative Behandlung der Unterkieferfrakturen mit Zugschrauben und Osteosyntheseplatten unterschiedlicher Dimensionierung kann als Standardbehandlungsmethode angesehen werden. Dies trifft umso mehr zu, als auch die resorbierbaren Platten über biomechanische Eigenschaften verfügen, welche im zunehmenden Maße die Anforderungen an eine stabile Frakturversorgung erfüllen. Wie im Oberkiefer werden auch hier die Platten nach Möglichkeit an den Trajektorlinien des Unterkiefers befestigt.

Zugang

Der **extraorale operative Zugang** erfolgt über eine submandibuläre Schnittführung, ggf. unter Ausnutzung gleichzeitig bestehender Weichteilwunden, etwa 2 Querfinger unterhalb der knöchernen Unterkieferbasis, möglichst in einer Hautfalte verlaufend, damit die Narbe später weniger sichtbar ist.

Nach Durchtrennung des Platysma wird auf der Kapsel der Glandula submandibularis unter Schonung des R. marginalis des N. facialis nach kranial präparierend das Periost der Kieferbasis dargestellt. Im Bereich des Kieferwinkels müssen A. und V. facialis unterbunden und durchtrennt werden. Auch der Ansatz des M. masseter wird scharf durchtrennt und nach oben geschlagen. In der Kinnregion sollte die suprahyoidale Muskulatur nur so weit wie unbedingt nötig abgelöst werden, weil die Refixation schwierig ist. Der Zugang zum R. mandibulae und zum Gelenk kann, sofern er von submandibulär aus erfolgen soll, mit der so genannten Wechselschnitttechnik durchgeführt werden. Dabei werden Haut und Unterhautfett- und Bindegewebe bis zum Platysma durchtrennt, um dann auf dem Muskel weiter nach kranial zu präparieren, bis man sich oberhalb des R. marginalis des N. facialis befindet. Nun kann man gefahrlos den M. masseter und das Periost durchtrennen und den Knochen mit dem Raspatorium freilegen.

Der **intraorale Zugang** erfolgt über eine marginale oder paramarginale Inzision des Mukoperiosts der Gingiva im Vestibulum oris bis auf den Knochen, ggf. unter Ausnutzung vorhandener Weichteilläsionen. Beim Abschieben des Mukoperiostlappens zur Darstellung des Frakturspalts muss in der Prämolarenregion das aus dem Foramen mentale austretende Gefäß-Nerven-Bündel der A. und V. sowie des N. mentalis geschont werden.

Wahl des Osteosynthesesystems

Die Frage nach Dimension und Form der zu verwendenden Platten und des Durchmessers der Schrauben wird kontrovers diskutiert. Gleiches gilt, wenn auch in geringerem Maße, für die Wahl des intra- bzw. extraoralen Zugangs sowie der mono- oder bikortikalen Insertion der Schrauben. Der Trend geht bei einfachen, unkomplizierten Frakturen zur intraoralen Versorgung mit Miniplatten vom 2,0-mm-System unter Zugrundelegung des von Champy (1983) und Härle et al. (2009) beschriebenen biomechanischen Prinzips der Miniplattenosteosynthese.

Mehrfach-, Stück-, Trümmer- und Defektfrakturen bedürfen der Fixation mit stabileren Platten und, abhängig vom Bruchtyp, Schrauben mit einem Durchmesser von 2,4 oder 2,7 mm. Bei derartigen Frakturen kommen auch so genannte Überbrückungsplatten, das THORP-System (Titan-Hohlschrauben-Rekonstruktions-Platten-System), Uni-Lock-Systeme, seltener der Fixateur externe, zum Einsatz (Prein et al 1996, Prein 1998).

Die so genannten Uni-Lock-Systeme verfügen über ein in der Platte eingearbeitetes Gewinde, mit dessen Hilfe eine hohe Primärstabilität des Knochens erreicht werden kann, ohne ihn zu überlasten. In diesen Fällen muss häufig sowohl intra- als auch extraoral vorgegangen werden

Behandlungsziele sind: Funktionsstabilität zu erreichen, wenn immer möglich einen intraoralen Zugang zu nutzen und die Nn. facialis et trigeminus zu schonen.

Praktisches Vorgehen

Die Reposition und Fixation der Fragmente erfolgt am günstigsten mit Drahtbogen-Kunststoff-Schienen nach Schuchard (Abb. 1.30). Die intermaxilläre Fixation mit Gummizügen bewirkt durch die Einstellung der Okklusion die schonende, allmähliche Reposition der Fraktur. Schwierigkeiten bereitet die Reposition bei Stück- und Trümmerfrakturen, unzureichender Bezahnung oder wenn a priori dysgnathe Bissverhältnisse vorgelegen haben.

Bei Zahnlosigkeit oder mangelhafter Bezahnung ist eine optimale Reposition und v.a. Fixation der reponierten Fragmente mit Schienenverbänden nicht möglich. Die Behandlungsmethode der Wahl in dieser Situation ist die funktionsstabile Osteosynthese. In Ausnahmefällen, z.B. bei Risikopatienten, können die Zahnprothesen mit Drahtumschlingung oder Jochbogenaufhängung bzw. kraniomaxilläre Fixation am frakturierten Kiefer befestigt werden, um auf diese Weise die Bruchstücke zu reponieren und fixieren (Abb. 1.33, Abb. 1.54).

Als bewährte Osteosyntheseverfahren gelten folgende Methoden (Abb. 1.55, Abb. 1.56, Abb. 1.57):

- Miniplattenosteosynthese (Champy-Prinzip)
- Zugschraubenosteosynthese

- Kompressionsosteosynthese mit dynamischer Kompression und Zuggurtung, bikortikal verschraubt (AO-System, Luhr-System u.a.)
- Dynamische Kompressionsplatten
- THORP-System
- Uni-Lock-System
- Fixateur interne
- Haloframe, Fixateur externe

Der Zahn im Bruchspalt

Dieses Problem bedarf einer differenzierten Betrachtung, da es den »Zahn im Bruchspalt« als solchen eigentlich nicht gibt.

Besser ist deshalb die Differenzierung in:

- Zahn am Bruchspalt mit oder ohne Luxation,
- Gefäß-Nerven-Bündel intakt oder zerrissen,
- Zahn intakt oder frakturiert,
- Zahn vital, avital oder lege artis wurzelbehandelt.

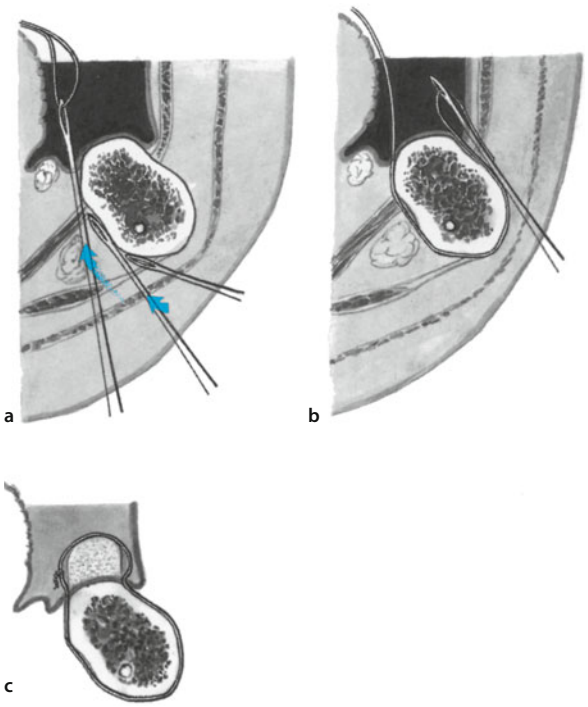


Abb. 1.54a–c Applikation der circumferential wiring. (Aus: Ewers et al. 1995)

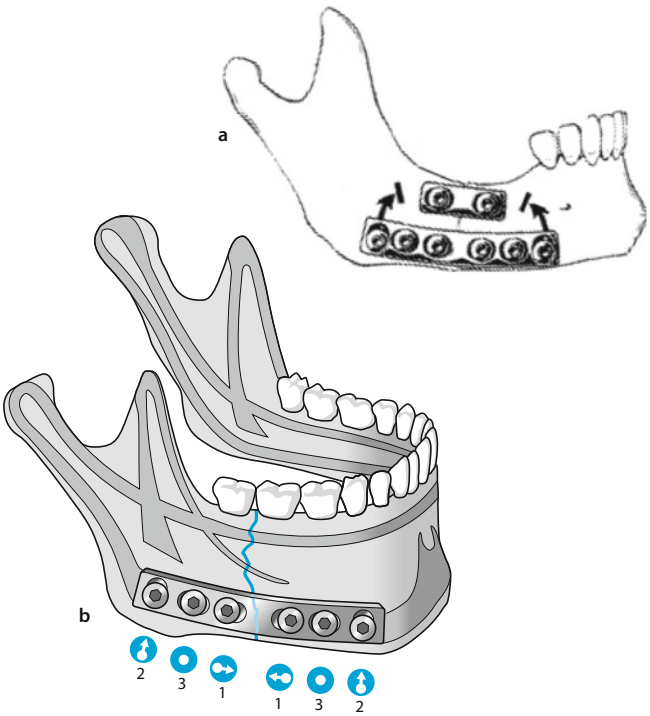


Abb. 1.57a,b Kompressionsosteosynthese mit exzentrisch-dynamischer Kompressionsplatte

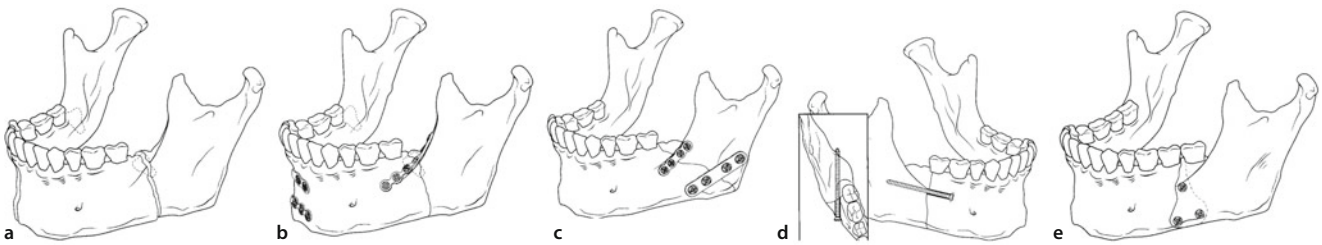


Abb. 1.55a–e Beispiele für Miniplatten- bzw. Zugschraubenosteosynthese einer Kieferwinkelfraktur

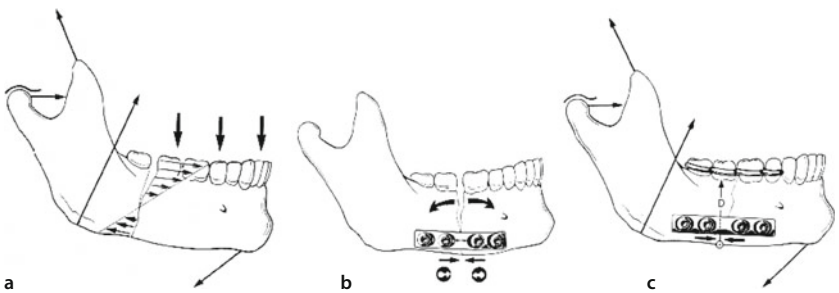


Abb. 1.56a–c Kompressionsosteosynthese mit Zuggurtung durch dentalen Schienenverband

Hinsichtlich der Therapie besteht kein allgemeiner Konsens. Während in einigen MKG-Kliniken die Zähne am Bruchspalt großzügig entfernt werden, um einer Osteomyelitis vorzubeugen, werden sie in anderen Einrichtungen weitestgehend erhalten, um die Fraktur optimal reponieren zu können.

Folgende Kriterien sprechen für eine Extraktion:

- avitale mehrwurzelige Zähne,
- frakturierte Zähne,
- teilretinierte Weisheitszähne,
- Zahnluxation mit Zerreißung des Nerven-Gefäß-Bündels.

Die Therapie bei Zahnluxation ist in ▶ Abschnitt 1.9, Frakturen- und Luxationen der Zähne beschrieben.

Versorgungszeitpunkt

Unabhängig von Umfang und Ausmaß des Traumas sollten Frakturen des Unterkiefers zum frühestmöglichen Zeitpunkt ruhiggestellt werden. Das kann im Notfall mit so genannten Ernst-Ligaturen erfolgen (Abb. 1.27). Wenn über einen längeren Zeitraum die definitive operative Therapie nicht durchführbar ist, sind Schuchardt-Schienen indiziert (Abb. 1.30). Sie sind stabiler und schonen die Gingiva. Ist die operative Versorgung innerhalb der ersten 2 Tage realisierbar, kann meist auf eine aufwändige Schienung verzichtet werden.

Nach außen, also zur Haut hin offene Frakturen müssen innerhalb von 8–10 h versorgt werden, um das Infektionsrisiko zu minimieren. Frakturen mit Einrissen der Schleimhaut (nach innen offen) bedürfen in der Regel keiner Sofortversorgung, da die Infektionsgefahr wesentlich geringer ist. Eine Ruhigstellung, z.B. mit Ernst-Ligaturen, sollte dennoch vorgenommen werden. In zunehmendem Maße werden die Schienen anstelle der Drahtligaturen mit lichthärtendem Kunststoff befestigt.

Grundsätzlich gilt, dass die Versorgung so früh wie möglich stattfinden soll. Beim Polytrauma besteht eine aufgeschobene Dringlichkeit. Im Vordergrund steht die Stabilisierung der Vitalfunktionen und Extremitätenfrakturen. Eine provisorische Ruhigstellung sollte immer erfolgen, und sei es auch nur mit so genannten Achterligaturen oder einem Kopf-Kinn-Verband.

Therapie bei Frakturen des Corpus oder Angulus mandibulae

Methode der Wahl am **bezahnten oder teilbezahnten Unterkiefer** ist die intraorale Osteosynthese. Alternativ können auch Schuchardt-Schienen eingebunden werden, was jedoch mit einer mindestens 4 Wochen andauernden, intermaxillären Immobilisierung verbunden ist.

Am **unbezahnten Unterkiefer** wird die intraorale Osteosynthese analog dem Vorgehen bei bezahntem oder teilbezahntem Unterkiefer empfohlen. Die anatomisch exakte Reposition des stark atrophierten Unterkiefers kann bei Stückfrakturen, aber auch einfachen Querfrakturen schwierig sein, weil man sich allein nach den Frakturlinien orientieren muss. Kleinere Abweichungen von der prätraumatischen Situation können durch Prothesen ohne wesentliche Funktionseinbußen für den Patienten ausgeglichen werden. Operationstechnische Schwierigkeiten bereitet oft die anatomische Nähe des N. alveolaris inferior. Die Auswahl des Osteosynthesematerials ist abhängig von Frakturtyp und der Dicke, Höhe und Qualität des Knochens (Dichte).

Eine Alternative, z.B. bei Risikopatienten, Narkoseunfähigkeit etc., ist das Einbinden der Ober- und Unterkieferprothesen (Teilprothese, totale Prothese) und Befestigung am Unterkiefer durch circumferential wiring. Die Drähte werden mit Ahlen über eine extra-orale Stichinzision in die Mundhöhle eingebracht (Abb. 1.54).

Gelenkfortsatzfrakturen

Das Leitsymptom der einseitigen, dislozierten Kiefergelenkfortsatzfraktur ist der seitlich offene Biss auf der gegenüber liegenden, nicht betroffenen Seite. Doppelseitige dislozierte Gelenkfortsatzfrakturen bewirken einen frontal offenen Biss (Abb. 1.52).

Die klinisch oft nicht einfach zu diagnostizierende Fraktur kann man leicht erkennen, indem man einen kleinen Finger in den äußeren Gehörgang steckt und den Patienten auffordert, den Mund zu öffnen und zu schließen. Ein frakturierter Gelenkfortsatz macht, im Gegensatz zum intakten, die Mundbewegungen nicht mit.

Therapeutische Konsequenzen richten sich nach den folgenden Kriterien: ein- oder doppelseitige Fraktur, Gelenkfortsatzbasis-, -hals- oder -köpfchenfraktur bzw. -luxationsfraktur oder Grad der Dislokation des Gelenkköpfchens.

In der Literatur gehen die Auffassungen, welches therapeutische Vorgehen im Einzelfall zu wählen ist, von der ausschließlichen konservativen bis hin zur ausschließlich operativen Therapie weit auseinander. Eckelt et al (2006) hat in Auswertung einer prospektiven multizentrischen Studie auf die zunehmende Bedeutung und zugleich Effektivität der operativen Versorgung von Kiefergelenkfortsatzfrakturen hingewiesen.

Konservative Therapie

Konservativ behandelt werden Gelenkfortsatzfrakturen im Wachstumsalter, nicht dislozierte Frakturen, dislozierte Frakturen mit Knochenkontakt jedoch ohne Luxation des Gelenkköpfchens, Gelenkfortsatzhals- und -köpfchenfrakturen – die so genannten »hohen« (intrakapsulären) Frakturen«. Dabei geht man praktisch folgendermaßen vor:

- Schienung oder Einbringung von Minihäkchen bei isolierten Kollumfrakturen und guter Bezahnung (Otten-Häkchen, Abb. 1.31),
- intermaxilläre Immobilisation für 10–15 Tage,
- anschließend funktionelle Behandlung.

Bei dislozierten Frakturen, insbesondere wenn es sich um eine Dislocatio ad longitudinem cum contractione handelt, sollte im Molarengebiet ein Hypomochlion eingesetzt werden, das eine Reposition durch Distraktion bewirken soll (Abb. 1.58).

Alternativ kann nach Abdrucknahme und Herstellen eines Modells ein so genannter Bionator gefertigt und eingesetzt werden. Dieser kieferorthopädische Apparat dient zur Führung der Kiefer in die optimale Okklusion. Bei hartnäckigen Okklusionsstörungen

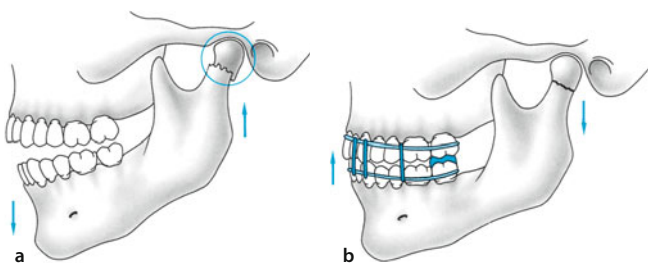


Abb. 1.58a,b Prinzip der konservativen Therapie mit Hypomochlioneinlage zwischen den letzten Molaren

kann diese Form der Behandlung zum Erfolg führen. Das trifft besonders bei Frakturen im Kindesalter zu (s. unten).

Die Therapie von Gelenkfortsatzfrakturen **zahnloser oder mangelhaft bezahnter Kiefer** bedarf eines differenzierten Vorgehens. Gering dislozierte Frakturen können nach Einhalten einer ca. 3-wöchigen Diät prothetisch ausgeglichen werden. Liegen Luxationsfrakturen mit starker Dislokation vor, so kommt die offene Reposition und Osteosynthese zum Einsatz. Alternativ kann man totale bzw. subtotale Prothesen über circumferential wiring befestigen und den Patienten nach Einbringen von Schrauben am Ober- und Unterkiefer intermaxillär verschnüren. Nach ca. 10-tägiger Immobilisation muss funktionell behandelt werden. Dieses aufwändige Verfahren ist bei Risikopatienten bei fehlender Narkosefähigkeit noch indiziert.

Operative Therapie

Die Indikation zur operativen Versorgung ist gegeben bei Frakturen der Gelenkfortsatzbasis mit erheblicher Dislokation (>30° Abweichung) bzw. fehlendem Knochenkontakt, Gelenkfortsatzluxationsfrakturen und doppelseitigen Gelenkfortsatzfrakturen. Praktisch geht man dabei folgendermaßen vor:

Im Anschluss an eine nasale Intubationsnarkose und provisorische Schienung zur Einstellung der Okklusion richtet sich der Zugang zum Gelenkfortsatz nach der Art des anzuwendenden Osteosyntheseverfahrens. Die submandibuläre Schnittführung am Angulus mandibularis, der so genannte Wechselschnitt, ist Voraussetzung für die Zugschraubenosteosynthese (z.B. nach Eckelt) und die extraorale Miniplattenosteosynthese (Eckelt 2000).

Weitere operative Zugänge zum Processus articularis, bzw. zum Kiefergelenk können über einen präaurikulären oder postaurikulären Schnitt erfolgen. Diese Schnittführungen sind je nach Ausgangssituation für sich ausreichend, können aber auch mit dem bewährten submandibulären Zugangsweg kombiniert werden.

Es gibt auch Berichte über die intraorale, endoskopisch gestützte Reposition und Fixation von Kiefergelenkfortsatzfrakturen (Schön et al. 2002 u.a.). Ob diese Verfahren sich in der täglichen Praxis durchsetzen, bleibt abzuwarten, da insbesondere bei Frakturen mit Luxation und Dislokation wegen des eingeschränkten, wenig übersichtlichen Operationsfeldes eine zuverlässige zügige Frakturversorgung oft sehr aufwändig und schwierig ist.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche, z.T. neue Methoden zur operativen Versorgung von Kiefergelenkfortsatzfrakturen im kranialen Bereich (Gelenkwalzenfrakturen) entwickelt, die mit einem deutlichen Trend zur operativen Versorgung einhergehen. Eine abschließende Bewertung dieser Verfahren steht noch aus (Rasse 1993, Neff et al. 2002, Neff et al. 2005). Dessen ungeachtet haben die konservativen Methoden nicht an Bedeutung verloren.

Die Reposition dislozierter und v.a. luxierter Gelenkfortsätze ist schwierig und oft nur möglich, wenn der Patient tief relaxiert ist und ein Assistent den Unterkiefer während der Operation nach kaudal zieht, z.B. über einen Hilfsdraht oder ein Knochenhäkchen. Die Fixation einer reponierten Kiefergelenkfortsatzfraktur kann insbesondere bei Stückfrakturen schwierig bis unmöglich sein (Abb. 1.60, Abb. 1.61). Alle Verfahren lassen sich letztlich auf zwei grundsätzliche Methoden zurückführen, die Miniplatten- oder Zugschraubenosteosynthese (Abb. 1.59).

Es obliegt der Einzelfallentscheidung und Erfahrung des Operateurs, welches Verfahren er wählt. Der Operateur sollte beide Methoden beherrschen und für beide Methoden instrumentell ausgerüstet sein. Bei der Anwendung von Miniplatten sollte nicht zu dünnes Material verwendet werden, weil es leicht zur Fraktur der Platten unter Belastung (Kauen, Sprechen) kommen kann. Die Schrauben müssen bei der Miniplattenosteosynthese häufig über einen zusätzlichen transbukkalen Zugang nach Hautinzision eingebracht werden. In diesem Falle ist der Verlauf des N. facialis zu beachten.

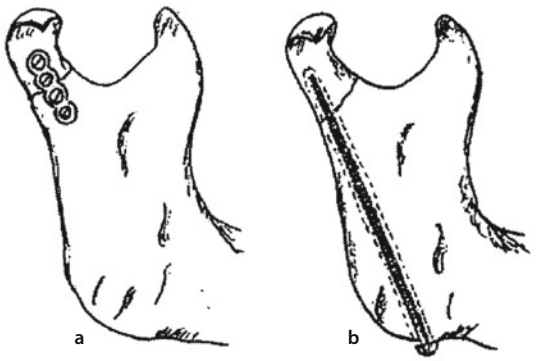


Abb. 1.59a,b Miniplattenosteosynthese und Zugschraubenosteosyntese – zwei Grundprinzipien der operativen Versorgung von Kiefergelenkfortsatzfrakturen

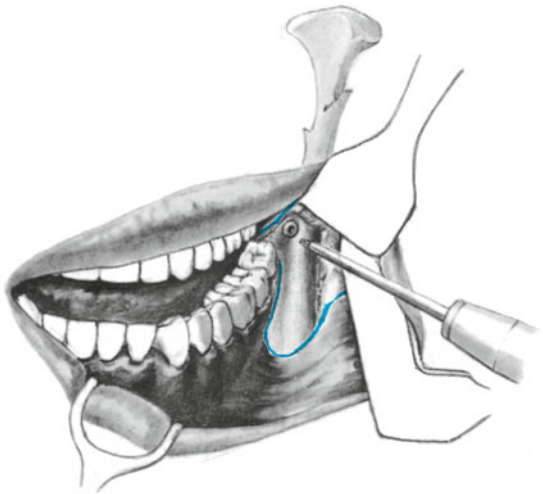


Abb. 1.60 Transorale Osteosynthese

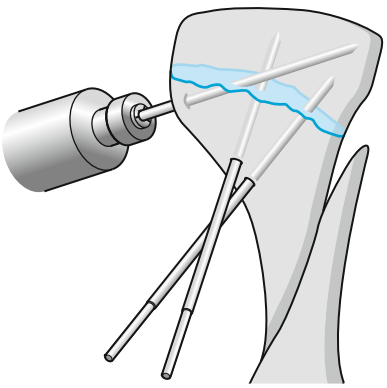


Abb. 1.61 Pinfixation einer Gelenkkopffraktur nach Rasse über einen präaurikulären Zugang. (Aus: Ewers et al. 1995)

Implantatentfernung

Die Entfernung von Osteosyntheseminiplatten im Gelenkbereich kann schwierig sein. Zum einen bereitet die Präparation durch das Narbengebiet zum Gelenkfortsatz Probleme, zum anderen sind die Platten und Schrauben häufig knöchern überwachsen, sodass mechanische Hindernisse die Entfernung erschweren. Deshalb ist es vertretbar, dass, sofern der Patient beschwerdefrei ist, die Platten belassen werden. Die Entfernung einzelner Zugschrauben ist wesentlich einfacher (z.B. Zugschraubenosteosynthese nach Eckelt).

Therapie bei Fraktur des Processus muscularis

Frakturen des Processus muscularis bedürfen in aller Regel keiner Therapie.

Therapie bei Unterkiefermehrfragment-, -stück- und -trümmerfrakturen

Die Diagnose wird durch die bildgebenden Verfahren, in erster Linie die CT, erhärtet. Die exakte Reposition und sichere Fixation erzielt man entweder durch intraorale Schienung, auch einzelner Fragmente, oder durch großzügige Anwendung des extraoralen Zugangs, wenn auf intraoralem Wege keine ausreichende Übersicht gewährleistet ist. Als Implantate werden meist Rekonstruktionsplatten genutzt. Alternativ kommen das THORP-System, ein Fixateur externe oder das Compact-2,4-Uni-Lock-Plattensystem zum Einsatz (Abb. 1.62).

Kompromisse im Sinne einer kombinierten konservativ-operativen Behandlung können im Einzelfall sinnvoll sein, um zusätzliche, v.a. extraorale Schnittführungen zu vermeiden. In diesen Fällen muss eine intermaxilläre Immobilisation konsequent durchgeführt werden, um die notwendige Ruhigstellung für die Knochenregeneration zu gewährleisten.

In besonders schweren Fällen ist es als Erfolg zu werten, wenn es gelingt, für spätere Korrekturoperationen und Rekonstruktionen günstige Bedingungen zu schaffen.

Das erscheint zunächst einfach, ist aber oft schwierig, weil die Patienten reflektorisch die Kaumuskulatur verkrampfen. Man fordert deshalb den Patient auf, sich zu entspannen oder lenkt ihn durch geeignete Maßnahmen ab, indem man ihn z.B. anweist, seine Finger zu verhaken und kräftigen Zug auszuüben. Dem Autor sind zahlreiche Fälle bekannt, bei denen die Luxation erst in Analgosedierung oder gar in Vollnarkose nach medikamentöser Muskelrelaxation gelang. Auf jeden Fall sollte man nicht gewaltsam reponieren, da die Gefahr der Fraktur des Processus articularis (Gelenkfortsatzhalsfraktur) besteht.

Nach erfolgter Reposition ist es sinnvoll, dass der Patient einige Tage einen Kopf-/Kinnverband trägt.

Auf jeden Fall ist anschließend eine zahnärztliche und physiotherapeutische Behandlung erforderlich, weil häufig die Ursache, eine Myoarthropathie mit Funktionsstörung der Kaumuskulatur und Läsion des Discus articularis als primäre Ursache kausal behandelt werden muss.

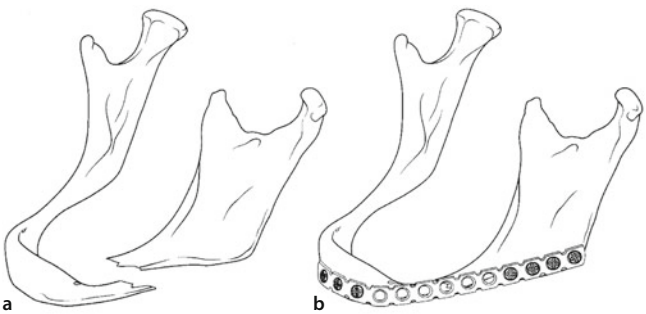


Abb. 1.62a,b Fixation einer Unterkieferfraktur durch »innere Schienung« mit einer Überbrückungsplatte

1.7.2 Kiefergelenkluxationen

Kiefergelenkluxationen, bei denen der Gelenkkopf vollständig aus der Gelenkpfanne über das Tuberculum articulare (Abb. 1.63) nach anterior austritt und nicht reponibel ist, kommen vergleichsweise selten vor. Dieser vollständigen fixierten Luxation gehen in aller Regel rezidivierende (habituelle), nicht fixierte, Luxationen des Unterkiefers voraus. Lange Zeit vor einer spontan irreponiblen Luxation vermögen die Patienten durch besondere »Techniken« den ausgerenkten Unterkiefer selbst wieder einzurenken. Allerdings kann es bei zahnlosen, betagten (senilen!) Patienten, die schon über einen langen Zeitraum keine Prothese tragen, zu einer vollständigen fixierten Luxation des Unterkiefers kommen, die längere Zeit unbemerkt bleibt. Besonders bei Pflegefällen wird dieser Zustand nicht selten fehlinterpretiert und übersehen.

Die traumatisch bedingte Ausrenkung des Unterkiefers ist ein seltenes Ereignis. Das Leitsymptom der vollständigen fixierten beidseitigen Kieferluxation ist der offene Biss. Der Patient ist nicht in der Lage, den Mund zu schließen.

Therapie

Bei der Einrenkung muss der Behandler darauf achten, dass die primäre Bewegung des Unterkiefers streng nach kaudal gerichtet ist. Erst wenn das Caput mandibulae über das Tuberculum articularis hinweg gleiten kann, sollte man den Unterkiefer nach distal in die Fossa articularis zurückschieben.

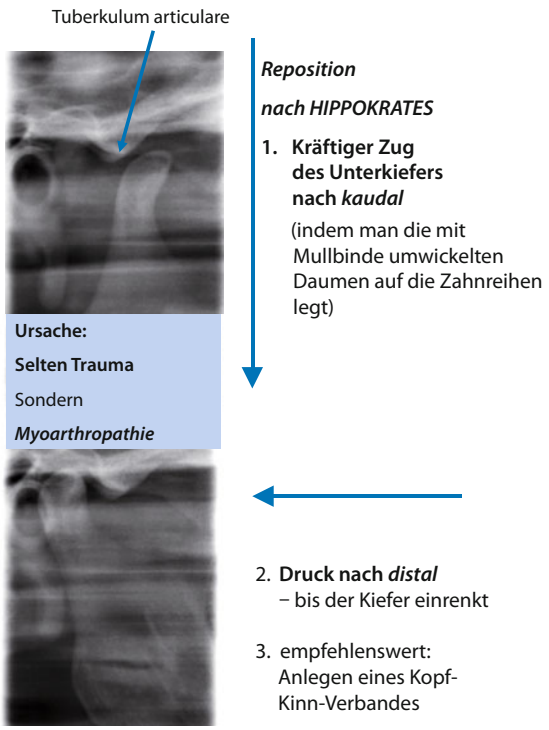


Abb. 1.63 Diagnostik und Therapie von Kiefergelenkluxationen

1.8 Alveolarfortsatzfrakturen

R. Dammer

Terminologie

Frakturen des Alveolarfortsatzes liegen vor, wenn bei erhaltener Kontinuität des Ober- bzw. Unterkiefers Anteile des Processus alveolaris frakturiert sind. Diese Abschnitte des Kieferkamms können sowohl am zahntragenden als auch am zahnlosen Kiefer vorliegen.

Die im zahntragenden Fragment befindlichen Zähne können selbst frakturiert, luxiert, aber auch unversehrt sein. Diese Möglichkeiten bedingen eine Vielzahl von Varianten der Alveolarfortsatzfrakturen, bedingt auch durch die Kombination mit Frakturen des Ober- und Unterkiefers. Auch bei Trümmerfrakturen des Alveolarfortsatzes sind die Knochenstücke meist mit dem Mukoperiost verhaftet und damit ausreichend durchblutet, sodass der Versuch, sie zu erhalten, meist erfolgreich und deshalb immer indiziert ist.

Diagnostik

Die isolierten Alveolarfortsatzfrakturen sind gekennzeichnet durch eine im Ausmaß unterschiedliche Dislokation, sichtbar an einer Okklusionsstörung, bei intaktem Ober- bzw. Unterkiefer. Röntgenologisch kann die Diagnose meist im OPG erhärtet werden. Zur Diagnosesicherung im Frontzahnbereich oder von gering dislozierten Frakturen ist die zusätzliche Anfertigung eines Zahnfilms oder einer Status-X-Aufnahme geboten.

Therapie

Die Erhaltung des Alveolarfortsatzes ist für eine spätere prothetische Rehabilitation außerordentlich wichtig und sollte deshalb auch in wenig aussichtsreichen Fällen versucht werden. Aufgrund der oben beschriebenen günstigen Durchblutungsverhältnisse ist mit einer guten Heilungstendenz zu rechnen. Die Reposition sollte frühzeitig, möglichst im Sinne einer Sofortversorgung, in Lokalanästhesie auf blutigem Wege erfolgen. Die Fixation wird am günstigsten mit Drahtbogen-Kunststoff-Schienen oder nach Abdrucknahme und Modellherstellung mittels Miniplastschiene vorgenommen. Der Einsatz von Pfeifer-Schienen aus schnellhärtendem Kunststoff hat sich gleichermaßen bewährt (s. oben).

Die Befestigung von Schienen aus Stahl oder Titan mit lichthärtendem Kunststoff an den vestibulären Flächen der Zahnkronen setzt sich offenbar immer mehr durch. Für die Mundhygiene und das Parodontium ist dieses Vorgehen als günstig zu bewerten. Allerdings muss zur sicheren Befestigung des lichthärtenden Kunststoffes eine Ätzung der Zahnoberfläche (Dentin) vorgenommen werden. Ob dadurch dauerhafte Schäden an der Zahnhartsubstanz entstehen können, ist noch offen. Diese Patienten sollten nach der Therapie engmaschig von ihrem Zahnarzt auf kariöse Läsionen kontrolliert werden.

Auch bei polytraumatisierten Patienten oder eingeschränkter Narkosefähigkeit ist eine Reposition eigentlich immer möglich. Zumindest sollte eine provisorische Fixation vorgenommen werden, um spätere Knochensubstanzverluste zu vermeiden. Die Dauer der Fixation hängt ab von Umfang und Schwere der Fraktur, sollte aber 4 Wochen nicht unterschreiten.

Die allmähliche, unblutige Reposition unter Verwendung kieferorthopädischer Apparate entspricht nicht mehr den Prinzipien einer modernen Frakturbehandlung und sollte disloziert verheilten Alveolarfortsatzfrakturen vorbehalten bleiben. Frakturierte und luxierte Zähne werden entsprechend den dafür geltenden Regeln behandelt (◘ Abb. 1.29, ◘ Abb. 1.30, ◘ Abb. 1.68).

1.9 Frakturen und Luxationen der Zähne

R. Dammer

Für den Notarzt vor Ort gilt, luxierte Zähne und Zahnprothesen nach Möglichkeit zu asservieren. Zähne sollten in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt werden, um sie vor dem Austrocknen zu schützen. Zur Aufbewahrung luxierter Zähne kann ein so genannter Dentosafe dienen, der zur Ausstattung jedes Rettungswagens und Notfallambulanz gehören sollte (◘ Abb. 1.64).

Es sollte baldmöglichst ein MKG-Chirurg oder ein Zahnarzt hinzugezogen werden, weil eine Replantation, soll sie erfolgreich sein, innerhalb von 2 h erfolgen muss (◘ Abb. 1.65, ◘ Abb. 1.66, ◘ Abb. 1.67, ◘ Abb. 1.68).

Die Therapie ist einzelfallbezogen abhängig vom Ausmaß des Zahntraumas, dem periodontalen Zustand, der möglichen kariösen Schädigung, dem Alter des Patienten, der Art der prothetischen Versorgung und nicht zuletzt dem Stellenwert der betroffenen Zähne in der Gesamtbisssituation. (Kirschner et al. 2002, Tuli et al. 2005).

◘ **Abb. 1.64** Zahnrettungsbox

◘ **Abb. 1.65** Zahnfrakturen und Luxationen – Behandlungsschema

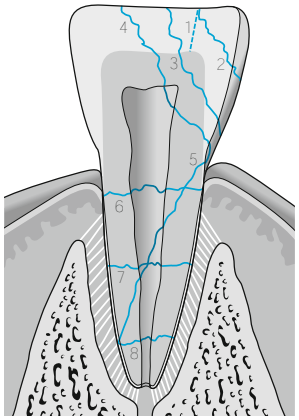


Abb. 1.66 Verschiedene Formen von Zahnfrakturen: *1* Schmelzfissur, *2* Schmelzfraktur, *3* Schmelz-Dentin-Fraktur ohne Eröffnung der Pulpa, *4* Schmelz-Dentin-Fraktur mit Eröffnung der Pulpa, *5* Schräg- bzw. Längsfraktur der Zahnwurzel, *6* intraalveoläre Fraktur in der Zahnhalsregion, *7* intraalveoläre Fraktur in der Wurzelmitte, *8* intraalveoläre Fraktur im apikalen Bereich. (Aus: Ewers et al. 1995)

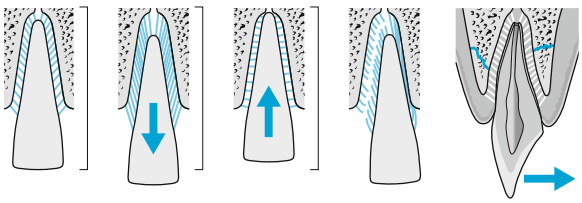


Abb. 1.67 Zahnluxationen (von links nach rechts): Subluxation, Extrusion, Intrusion, Luxation (Avulsion), Luxation mit frakturierter Alveolarwand. (Aus: Ewers et al. 1995)

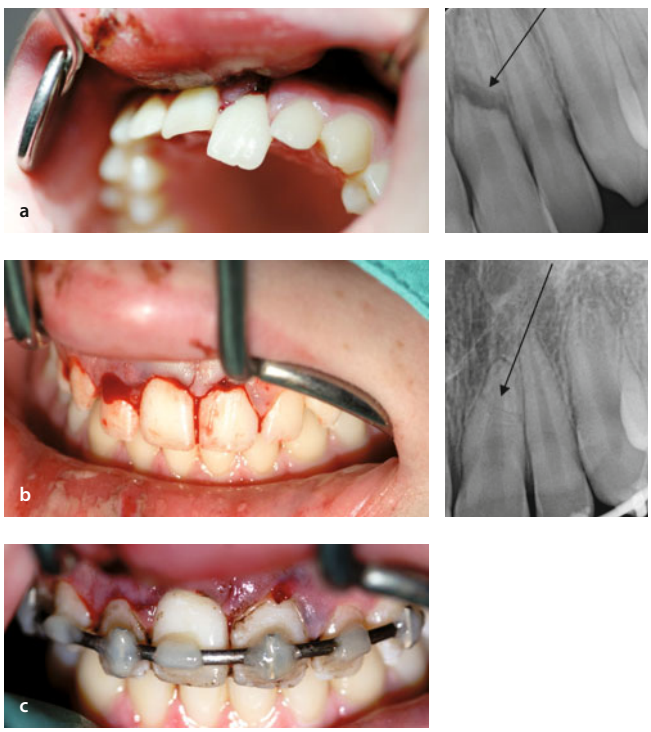


Abb. 1.68 Luxationsfraktur Zahn 21 mit Alveolarfortsatzfraktur bei einem 11 Jahre alten Jungen. **a** Präoperativer Befund. **b** Nach blutiger Reposition in LA. **c** Drahtbogenschiene fixiert mit lichthärtendem Kunststoff

1.10 Panfaziale Frakturen

R. Dammer, V. Bonkowsky

Terminologie

Bei panfazialen Frakturen handelt es sich um Mehrfachfrakturen des Ober- und Unterkiefers. Klinisch bedeutsam und für die Therapie ausschlaggebend ist neben der Schwere und des Umfangs der Fraktur v.a. die Zerstörung der Architektur des Gesichtsschädels in allen 3 Ebenen. Diese Frakturen sind häufig mit ausgedehnten Verletzungen der Gesichtsweichteile kombiniert. Oft liegen komplexe Verletzungen des Auges, der Schädelbasis, meist mit SHT und anderen Verletzungen vor. Diese erfordern bereits bei der Diagnostik und Therapieplanung ein gemeinsames Vorgehen von Neurochirurgen, MKG-Chirurgen, HNO- und Augenarzt und dem Unfallchirurgen.

Klinik

Das klinische Bild ist vielgestaltig und hängt von Lokalisation und Ausmaß des Frakturgeschehens ab. In den meisten Fällen sind die Patienten primär bewusstlos (SHT, Schock etc.) oder kommen im intubierten bzw. tracheotomierten Zustand in die Klinik. Die Erhebung einer Anamnese ist dann nicht möglich. Klinische Frakturzeichen sind wegweisend.

Diagnostik

Die CT-Untersuchung mit dreidimensionaler Rekonstruktion des Gesichtsschädels ist das Mittel der Wahl, um auf der Grundlage dieser Bilder eine optimale Therapieplanung vornehmen zu können (◘ Abb. 1.26).

Zur ersten Orientierung ist auch eine konventionelle Röntgendiagnostik sinnvoll. Hervorzuheben ist der Wert der Zonografie (▶ Abschnitt 1.6.1.3, Basiswissen), weil dieses Verfahren beim intubierten, liegenden Patienten die Anfertigung einer dem Orthopantomogramm gleich zu setzenden Röntgen-Übersichtsaufnahme in guter Qualität sowie weitere spezielle Schnittbilder des Mittelgesichts und der Kiefergelenke ermöglicht. Damit erhält man einen guten Überblick über die Topografie des Frakturgeschehens. Bei stark dislozierten Frakturen bzw. Stück- oder Trümmerfrakturen ist so eine bessere Zuordnung der Fragmente möglich.

Therapie

Das therapeutische Vorgehen wird vom Ausmaß und Umfang der Verletzungen bestimmt. Von Bedeutung ist auch der Zahnstatus. Fehlende Bezahnung, multiple Zahn- oder Alveolarfortsatzfrakturen erschweren die Reposition und Fixation panfazialer Frakturen zusätzlich.

Vorgehen

Therapieprinzip ist die Schienung der zahntragenden Kiefer und die intermaxilläre Verschnürung zur Einstellung der Okklusion. Damit werden zügig zuverlässige Informationen geschaffen, wie mit der Rekonstruktion des Gesichtsschädels weiter zu verfahren ist. Bei Gelenkfortsatzfrakturen mit Dislokation sollten mindestens ein Gelenkfortsatz, besser beide reponiert und stabil fixiert werden, um die vertikale Dimension des Untergesichts zu rekonstruieren.

Bei Zahnlosigkeit können zur Einstellung der Okklusion Ober- und Unterkieferprothesen mittels Drahtumschlingung eingebunden werden, um die Gesichtsschädelarchitektur zu rekonstruieren.

Kann der Unterkiefer bei Trümmer- und Stückfrakturen nicht auf der Grundlage eines rekonstruierten Untergesichts wiederhergestellt werden (Okklusion nicht einstellbar), geht man nach bikoronarer Schnittführung und Darstellung der Stirn- und Jochbein-

region von **kranial nach kaudal** unter Ausnutzung von Techniken der kraniomaxillären Chirurgie vor. Beginnend an den Jochbögen wird das Mittelgesicht reponiert, fixiert und schrittweise vom lateralen Mittelgesicht zum zentralen Oberkiefer bis zur Kinnspitze anhand der anatomischen Gegebenheiten rekonstruiert.

Erfahrungsgemäß sind bei der Rekonstruktion von panfazialen Gesichtsschädelfrakturen mit Trümmerbildung, Knochendefekten, Zahnverlust und erheblichen Weichteilläsionen Mängel und Ungenauigkeiten hinsichtlich des Ergebnisses der Wiederherstellung von Form und Funktion des Gesichts nicht zu vermeiden. Diese sollten aber so gering wie nur möglich gehalten werden, denn Sekundärkorrekturen sind immer schwierig durchzuführen und bringen häufig ungünstige funktionelle und ästhetische Ergebnisse.

1.11 Besonderheiten der Gesichtsschädelfrakturen im Wachstumsalter

R. Dammer, V. Bonkowsky

1.11.1 Anatomische und physiologische Besonderheiten

Die Kronen der Milchzähne sind im Gegensatz zu denen der bleibenden Zähne keilförmig und haben keinen ausgeprägten Äquator. Dadurch sind Schienenverbände und Ligaturen nur bedingt anwendbar und müssen, um eine ausreichende Stabilität zu erzielen, zusätzlich mit Kunststoff an den Zahnkronen oder mit Hilfe eines so genannten circumferential wiring am Kiefer fixiert werden. Gering dislozierte Frakturen können mit Metallschienen stabilisiert werden, die mit lichthärtendem Kunststoff an den Zähnen befestigt werden (Abb. 1.29, Abb. 1.68). In zunehmendem Maße kommt Osteosynthesematerial aus resorbierbarem Kunststoff zum Einsatz (Gerlach 2000).)

Im Wechselgebiss befinden sich die Wurzeln der Milchzähne im Stadium der Resorption. Die Wurzeln der permanenten Zähne sind noch nicht voll entwickelt. Auch das bedingt eine verminderte Stabilität bei der Fixation mit dentalen Schienen.

Die Wurzeln der Zahnkeime reichen im Unterkiefer bis an die Basis, im Oberkiefer bis an den Boden der Kieferhöhle. Deshalb besteht bei Anwendung der Osteosynthese die Gefahr der Verletzung von Zahnwurzeln durch Schrauben.

1.11.2 Mittelgesichtsfrakturen

Sie treten im Kindesalter relativ selten auf und dann meist in Form von Grünholzfrakturen. Bei geringer Dislokation (LeFort I) ist später ein Ausgleich mit den Mitteln der Kieferorthopädie möglich, ansonsten erfolgt die Behandlung wie beim Erwachsenen. Die Platten müssen, sofern sie nicht aus resorbierbarem Material bestehen, bald – d.h. nach spätestens 6 Monaten – wieder entfernt werden, da sie sonst im Knochen einwachsen.

1.11.3 Gelenkfortsatzfrakturen

Bis zum 12. Lebensjahr werden auch stark dislozierte Gelenkfortsatzfrakturen funktionell behandelt, selbst wenn eine erhebliche Dislokation und Luxation besteht. Der kieferorthopädischen Behandlung mit dem Aktivator und anderen funktionskieferorthopädischen Apparaturen kommt eine besondere Bedeutung zu. Eine operative Behandlung im Wachstumsalter würde zu Wachstumsstörungen des Unterkiefers und damit zur Entwicklung eines »Vogelgesichts« führen. Auch bei Luxationsfrakturen mit erheblicher Dislokation kommt es unter dieser Behandlung fast ausnahmslos zur Restitutio ad integrum bzw. zum Remodelling des Kiefergelenkfortsatzes ohne wesentliche Funktionseinschränkung. Vereinzelte Ansätze, auch solche Frakturen blutig zu reponieren und osteosynthetisch zu stabilisieren, bedürfen einer Langzeitüberprüfung und können noch nicht empfohlen werden.

1.11.4 Unterkieferfrakturen

Die konservative Behandlung ist zu bevorzugen. Die Möglichkeiten der Fixation reichen von der Drahtbogen-Kunststoff-Schiene nach Schuchardt über Schienen, die mit Hilfe lichthärtender Kunststoffe an der Krone fixiert werden, bis hin zur Eingliederung von Miniplastschienen, die auf dem Modell nach der Reposition der Fraktur erstellt worden sind (s. oben Abb. 1.29, Abb. 1.30).

Je nach Ausmaß und Umfang der Fraktur kann es erforderlich sein, die Schiene zusätzlich mit einem so genannten circumferential wiring zu fixieren. In bestimmten Fällen ist auch das Einbringen von Dal-Pont-Haken möglich. Die Fixation mit Minihäkchen nach Otten ist nur indiziert, wenn dadurch die Wurzeln der permanenten Zähne nicht verletzt werden (Abb. 1.31).

Die chirurgische Therapie sollte ausgedehnten Frakturen mit intra- oder extraoralen Zerreißungen der Weichteile, Stück- und Trümmerfrakturen vorbehalten bleiben. Hier sind monokortikale Mini- oder Mikroplatten indiziert, die basal angelegt werden. Neue Perspektiven wurden mit der Entwicklung resorbierbaren Osteosynthesematerials auch bei der operativen Versorgung kindlicher Frakturen eröffnet.

1.11.5 Milchzahnfrakturen und -luxationen

Die Reposition erfolgt blutig in Lokalanästhesie, günstigerweise bei zentraler Sedierung, ggf. auch in Narkose. Bewährt hat sich die sofortige Schienung mit schnellhärtendem Kunststoff, mit dem man nach der Reposition zunächst einen Abdruck nimmt. Die Aushärtung erfolgt extraoral wegen der großen Wärmeentwicklung durch die Polymerisation. Danach kann diese als **Pfeifer-Schiene** bezeichnete Apparatur durch Beschleifen korrigiert und, sofern überhaupt erforderlich, mit einem temporären Zement eingesetzt werden. Diese Pfeifer-Schiene gilt als Notversorgung, ist aber, eine gute Passform vorausgesetzt, auch als definitive Lösung verwendbar.

Wann immer möglich, sollte nach Reposition ein Ober- und Unterkieferabdruck genommen werden, um auf dem dann gefertigten Gipsmodell eine Miniplastschiene herzustellen. In den meisten Fällen reicht es, wenn die Miniplastschiene mit einem temporären Zement (z.B. Tempbond) befestigt wird. Die Immobilisation der Zähne sollte 3–6 Wochen andauern. Bei luxierten Zähnen ist eine sorgfältige Kontrolle der Sensibilität des Zahnes erforderlich. Vitalitätsverlust stellt eine Indikation zur Wurzelbehandlung dar.

Schienenverbände, fixiert mit Drahtligaturen, sind wegen der klinischen Form der Milchzahnkronen nicht indiziert.

Mit lichthärtendem Kunststoff können nach Ätzung der Zahnoberfläche (Dentin) stabile Schienen aus Stahl oder Titan zur Stabilisierung reponierter Zähne befestigt werden, möglichst

an zwei benachbarten stabilen Zähnen. In bestimmten Fällen (z.B. geringe Dislokation) bietet sich auch das Anbringen von Bracketts an, wie sie in der Kieferorthopädie gebräuchlich sind.

In Abhängigkeit vom Alter und vom Zustand des Gesamtgebisses kann auch der Wurzelstumpf eines Milchzahns im trepanierten Zustand als Platzhalter belassen werden.

Bei traumatischem Zahnverlust ist nach Abschluss der Wundheilung auf jeden Fall eine kieferorthopädische Kontrolle und ggf. Therapie erforderlich.

Die Indikation zur Extraktion frakturierter oder luxierter Milchzähne ist gegeben, wenn durch sie eine Infektionsgefahr für die Zahnkeime besteht.

Bei **Zahnintrusion** ist ein abwartendes Vorgehen angezeigt. Im Regelfall stellen sich die Zähne von selbst wieder ein.

1.12 Weichteilverletzungen

V. Bonkowsky, R. Dammer

1.12.1 Nase und Ohr

Die Beurteilung und Behandlung von Weichteilverletzungen in der Kopf-Hals-Region erfordert eine besondere Sorgfalt. Die Untersuchung sollte gründlich und ohne Hast erfolgen. Meistens wird der HNO-Arzt in die Notfallambulanz gerufen, um spezifische Hals- und Gesichtsverletzungen zu versorgen, nachdem andere Ärzte bereits die Notfallversorgung des Patienten übernommen haben.

Anamnese

Eine genaue Anamneseerhebung über die Umstände der Verletzung ist unbedingt erforderlich. Wenn möglich, sollten Fotodokumentationen durchgeführt werden, denn gelegentlich vergessen Patienten und deren Familien die Größe einer Verletzung. Gesichtsverletzungen bergen zahlreiche Probleme. Die einzigartige Anatomie des Gesichts und seine Bedeutung für das psychische und physische Befinden des Patienten erfordern besondere Sorgfalt. Der HNO-Arzt sollte hinsichtlich des endgültigen Ergebnisses im Gespräch mit den Angehörigen nicht zu viel Optimismus verbreiten, damit keine unrealistischen Erwartungen entstehen.

Klinik

Die initiale Inspektion dient mehreren Zielen. Nach der Inspektion sollten entsprechende weitere diagnostische Schritte eingeleitet und ein Behandlungsplan aufgestellt werden. Frakturen des Gesichtsschädels sollten vor der Versorgung von Weichteilverletzungen ausgeschlossen werden, da eine osteosynthetische Versorgung von Mittelgesichtsfrakturen am besten durch die offene Wunde erfolgt. Die Wunde sollte gründlich inspiziert und mit steriler Kochsalzlösung gespült werden, um das volle Ausmaß der Verletzung zu erkennen. Bei dieser Inspektion sollten entsprechende Klemmen vorliegen, um größere Blutgefäße abklemmen oder Blutungen bei der Untersuchung stillen zu können. Bei der Inspektion sollten sichtbare Kontaminationen oder Fremdkörper entfernt werden.

Therapie

Generell gilt, dass es umso günstiger ist, je früher die Wunde versorgt wird. Man sollte anstreben, die Wunde innerhalb von 6 h zu verschließen. Wenn dies nicht möglich sein sollte, kann man einen primären Wundverschluss auch noch bis zu 24 h nach der Verletzung durchführen.

Bei Gesichtswunden, die älter als 24 h sind, ist eine primär chirurgische Versorgung in der Regel nicht mehr möglich, da das zunehmende Ödem den Wundverschluss deutlich erschwert. In den Fällen, bei denen man Patienten mit Gesichtsweichteilverletzungen erst nach 24 h zur Versorgung bekommt, sollten nur etwaige Fremdkörper entfernt, die Wunden durch eine temporäre Verbandstechnik vor weiteren Infektionen von außen geschützt und eine Antibiotikaprophylaxe eingeleitet werden. Die definitive chirurgische Versorgung erfolgt dann nach Abschwellung der Gesichtsweichteile.

Wenn der Patient keine weiteren Verletzungen hat, kann die Wundversorgung in der Notfallambulanz in Lokalanästhesie durchgeführt werden. Vorher sollten jedoch alle weiteren diagnostischen Untersuchungen abgeschlossen sein. Wenn größere Begleitverletzungen eine chirurgische Intervention in Allgemeinanästhesie erforderlich machen, so können die Gesichts- und Halsverletzungen gemeinsam mit den Operateuren anderer Disziplinen versorgt werden. Wenn aufgrund des Allgemeinzustandes des Patienten die Narkosezeit möglichst kurz gehalten werden muss, besteht die Wundversorgung primär nur aus einer Wundtoilette mit Débridement, Entfernung etwaiger Fremdkörper und einer Wundnaht (zu Tetanusimmunisierung: ▶ Kap. 14, Weichteilverletzungen und Infektionen).

Lokalanästhesie

Wenn immer möglich, sollte eine lokale Anästhesie zur Versorgung der Weichteilverletzungen im Gesicht gewählt werden. Dabei wird Lidocain (1%ig oder 0,5%ig mit 1:100.000 und 1:200.000 Epinephrin) verwendet. Bupivacain ist auch nützlich und hat den Vorteil, dass die Anästhesiewirkung länger andauert als die von Lidocain. Die Lokalanästhesielösung wird langsam mit einer dünnen Nadel in die Wundränder injiziert. Durch vorsichtiges Massieren des Gewebes wird die Flüssigkeit im Gewebe verteilt. In manchen Fällen ist auch eine regionale Nervenblockade mit Lokalanästhetika hilfreich.

Allgemeinanästhesie

Eine Allgemeinanästhesie ist erforderlich für extensive oder besonders komplizierte Verletzungsarten mit entsprechend komplizierten Versorgungen oder bei nicht kooperativen Kindern. Da die akut verletzten Patienten meist nicht nüchtern sind, wird in Absprache mit den Anästhesisten ein möglichst günstiger Zeitpunkt für eine Allgemeinnarkose gewählt.

Wundtoilette

Vor der definitiven Versorgung wird die Wunde ausgiebig mit steriler Kochsalzlösung gespült. Während dieser Spülung wird die Wunde sorgfältig inspiziert und Fremdkörper werden entfernt. Bei besonders verschmutzten Wunden ist eine zusätzliche Spülung mit Wasserstoffperoxidlösung hilfreich. Eine Infektion kann ein gutes Resultat einer Wundversorgung im Gesicht zunichte machen.

Débridement

Ein Wunddébridement, wie es in der allgemeinen Chirurgie durchgeführt wird, ist im Kopf-Hals-Gebiet viel weniger extensiv, und man verhält sich viel konservativer als in anderen Regionen, da das Gesicht eine sehr gute Blutversorgung hat. Natürlich muss offensichtlich devitalisiertes Gewebe entfernt werden.

Abscherungen

Bei Abscherungen ist die wesentliche Therapie eine Reinigung der Wunde und ein Entfernen von Fremdkörpern. Oft sind die Fremd-

körper nicht sofort zu erkennen und müssen gesucht werden, wenn eine pigmentierte Narbe vermieden werden soll. Ein Bürsten der Wunde ist in den meisten Fällen ausreichend. Verbände sollten bei diesen Verletzungen mit wasserlöslichen Substanzen durchgeführt werden. Salben sollten nicht verwendet werden.

Kontusionen

Kontusionen im Gesichtsbereich erfordern keine chirurgische Therapie, wenn die darunter liegenden Strukturen nicht verletzt sind. Oft ist es jedoch so, dass zunächst Kontusionen unterschätzt werden, bei weitergehender Diagnostik sich jedoch dahinter ausgedehnte knöcherne Verletzungen zeigen. Falls es sich wirklich nur um Kontusionen handelt, ist die Applikation von Eispackungen eine adäquate und ausreichende Therapie.

Schnittverletzungen

Hier handelt es sich häufig um kombinierte Läsionen von Haut und unter der Haut liegenden Strukturen. Nach entsprechender Reinigung und Inspektion der Wunde sollte der Wundverschluss grundsätzlich mit dünnem, monofilem, atraumatischem Nahtmaterial der Stärke 5/0 oder 6/0 erfolgen. Falls es von der Verletzungsart her möglich ist, ist die Kenntnis und Beachtung der Hautspannungslinien sinnvoll. Die Schnittführung sollte nach Möglichkeit diesen Linien folgen. Quer dazu verlaufende Narben können sich erheblich verbreitern. Kosmetische Probleme sind die Folge.

Verletzungen der Lider und der Tränenwege

Hier ist eine schichtweise Rekonstruktion von Muskulatur, Tarsus, Lidkante und Lidhaut mit Hilfe eines Mikroskops oder einer Lupenbrille erforderlich. Bei gleichzeitigen Verletzungen der Tränenwege müssen diese rekonstruiert werden. Hierbei erfolgt eine Schienung mit Silikonschläuchen, die bei einer Verletzung z.B. des Saccus lacrimalis im Sinne einer West-Operation durch die Nase herausgeleitet werden (Abb. 1.69). Bei Verletzungen des Auges und der Lider sollte die operative Versorgung in Absprache mit den Augenärzten durchgeführt werden.

Augenbraue

Ein häufiges Resultat nach Versorgung von Augenbrauenverletzungen ist der Verlust von Haarfollikeln entlang der Wunde, sodass die Narbe sichtbar wird. Um dies zu vermeiden, können die Wundränder bei Augenbrauenverletzungen auf beiden Seiten parallel zu den Haarschäften getrimmt werden.

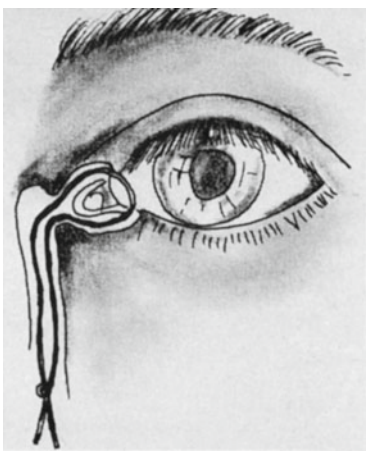


Abb. 1.69 Bikanalikuläre Tränenwegsschienung. (Aus: Stoll 1993)

Verletzung des medialen Kanthus

Zerreißungen des medialen Kanthus ohne knöcherne Verletzung können durch einfache Nähte versorgt werden (Abb. 1.74). Meistens jedoch liegen knöcherne Begleitverletzungen vor. Wenn das mediale Ligament an dem knöchernen Fragment noch festsitzt, wird eine Reposition der Fraktur das mediale Ligament in seine richtige Position bringen. Häufig sind die Tränenwege mitverletzt. Nicht erkannte kanthale Traumen führen zu einer erheblichen kosmetischen Deformität, dem so genannten traumatischen Telekanthus (Abb. 1.45).

Verletzungen des lateralen Kanthus

Die Versorgung ist einfacher als die des medialen Kanthus, da das laterale kanthale Ligament einfach an das Periost des Processus frontalis des Jochbeins genäht werden kann.

Nase

Weichteilverletzungen der Nase sind aufgrund ihrer exponierten Lage besonders häufig. Bissverletzungen des Gesichts betreffen ebenfalls häufig die Nase. Bei der Inspektion ist besonders auf Verletzungen knorpeliger Strukturen wie Einrisse oder Querrisse des Flügelknorpels, des Seitenknorpels und des Septums zu achten. Substanzdefekte betreffen häufig den Nasensteg (Columella) oder einen Nasenflügel. Die anteriore Rhinoskopie dient dabei der Inspektion und dem Ausschluss weiterer Verletzungen an Nasenseptum und der Nasenhaupthöhle. Beim Wundverschluss im Bereich der Nase muss man darauf achten, dass der Wundverschluss von innen (Nasenschleimhaut) nach außen erfolgt. Knorpelige Strukturen werden hierbei exakt durch Naht adaptiert, um späteren kosmetischen Defiziten vorzubeugen. Rechtwinkelig zu den Spannungslinien des Gesichts verlaufende Rissverletzungen der Nase werden evtl. bei der Primärversorgung bereits durch Z-Plastiken aufgelöst.

Die Behandlung von Substanzdefekten ist schwierig und setzt genaue Kenntnisse der plastischen Operationstechniken voraus. Substanzdefekte des Nasenflügels und des Nasensteges müssen besonders sorgfältig versorgt werden, um Naseneingangsstenosen zu vermeiden. Liegt ein dreischichtiger Substanzdefekt von Haut, Knorpel und Schleimhaut des Nasenflügels oder des Nasenstegs vor, so kommt ein freies Transplantat zur Anwendung. Für diese Indikation hat sich ein so genanntes »composite graft« (das die 3 Schichten enthält) aus der Ohrmuschel bewährt. Hierdurch können Form und Funktion der Nase in vielen Fällen erhalten werden.

Regio parotidea

Bei tiefen Wunden kommt es hier zu Verletzungen der Ohrspeicheldrüse und des N. facialis mit entsprechender Lähmung. Nach Exploration des Nervs sollte hier eine primäre mikrochirurgische Versorgung der Nervenverletzung durchgeführt werden durch eine primäre Naht der Nervenstümpfe mit 10/0-dünnem Nahtmaterial. Ist eine End-zu-End-Naht aufgrund der Zerreißung des Nervs nicht möglich, empfiehlt sich die Interposition eines Transplantats aus dem N. auricularis magnus. Bei tiefen Verletzungen der Ohrspeicheldrüse und besonders bei infizierten Wunden und Mitverletzungen des Ausführungsganges kann es zu lästigen Speichelfisteln kommen. In den ersten 2 Tagen nach der Verletzung kann eine Wundrevision mit mikrochirurgischer Versorgung des Ausführungsgangs Erfolg bringen. Der Heilungsverlauf kann unterstützt werden durch eine Sekretionshemmung der Drüse, was durch Bestrahlung mit ca. 10–15 Gy erreicht wird. Als ultima ratio kommt bei Persistenz der Fistel eine Parotidektomie infrage.

Othämatom, Otserom

Dabei handelt es sich um eine geschlossene Ablösung der Hautperichondriumschicht vom Ohrmuschelknorpel mit Bildung eines Hämatoms oder Seroms zwischen Perichondrium und Knorpel. Auslöser ist häufig stumpfe Gewalt oder eine Sportverletzung. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Ringerohr. Der Befund bei der Inspektion und Palpation ist eindeutig, es handelt sich um eine Schwellung und Fluktuation im Bereich der lateralen Ohrmuschelhaut. Da eine schlechte Resorptionstendenz des Hämatoms besteht, kann es zu bleibenden Formveränderungen des Knorpelgerüsts kommen, dem so genannten Blumenkohlohr. Eine sekundäre Infektion führt zu einer Perichondritis. Therapeutisch führt man eine operative Ausräumung des Hämatoms mit einer Knorpelfensterung durch. Es erfolgen eine Refixation des Perichondriums und ein modellierender Verband.

Scharfe Verletzungen, Ohrmuschelabriss

Dabei handelt es sich um offene Ohrmuschelverletzungen mit frei liegendem Knorpel. Ein Ohrmuschelabriss kann partiell oder komplett sein. Beim partiellen Abriss steht eine Hautbrücke. Wie bei den anderen Gesichtsregionen auch, erfolgt hier zunächst eine sorgfältige Reinigung und Inspektion. Haut- und Knorpelbrücken sollten auf jeden Fall erhalten bleiben. Therapeutisch werden bei offenen Verletzungen eine Perichondrium- und Hautnaht durchgeführt mit Deckung von frei liegendem Knorpel. Bei partiellen Ohrmuschelabrissen erfolgt eine direkte Versorgung. Bei einem kompletten Ohrmuschelabriss sollte die Wunde zunächst steril abgedeckt werden, eine sofortige Einweisung in eine HNO-Klinik erfolgen und abgetrennte Ohrteile dem Patienten mitgegeben werden. Die Teile sollten gekühlt (ca. 4°C), aber nicht direkt auf Eis gelegt werden. In der Klinik sollte innerhalb von 8–10 h nach dem Trauma eine Reanastomosierung versucht werden. Als Alternative kommt eine subkutane Implantation des Knorpels retroaurikulär auf dem Mastoid infrage (Pocket-Methode). Dazu wird das Transplantat gesäubert und eine Dermabrasion der Haut des Amputats durchgeführt. Die Epidermis wird dabei entfernt, die Dermis bleibt intakt. Anschließend bildet man retroaurikulär eine subkutane Tasche und setzt das Replantat in anatomisch richtiger Lage in die Tasche ein. Eine 14-tägige Antibiotikaprophylaxe isr erforderlich. Nach ca. 4–6 Wochen kann man dann das Ohrmuschelreplantat aus der subkutanen Tasche lösen, das Transplantat abheben und als Ohrmuschel replantieren. Die Haut wird nach Abheben der Ohrmuschel retroaurikulär in das frühere Bett zurückverlagert.

Gehörgangsverletzungen

Isolierte Verletzungen des Gehörgangs kommen hauptsächlich durch Fremdkörper oder unsachgemäße Manipulation zustande. Der otoskopische Befund zeigt eine Epithelverletzung und eine Blutung. Begleitverletzungen des Trommelfells und des Mittelohrs müssen natürlich durch eine entsprechende Inspektion ausgeschlossen werden. Die Therapie einer Epithelablösung im Bereich des äußeren Gehörgangs besteht in einer Readaptation des Epithels. Bei Blutungen kann eine Gehörgangstamponade mit Gelatine oder Kunststoffschwämmchen notwendig sein. Isolierte Gehörgangsverletzungen sind meist unproblematisch und zeigen eine sehr gute Heilungstendenz.

1.12.2 Periorale Region und Mundhöhle

Grundsätzlich entsprechen die Behandlungsprinzipien von Weichteilverletzungen denen anderer Körperregionen, inklusive der Tetanusprophylaxe. Die gute Durchblutung und die durch den Speichel gegebenen Mechanismen der lokalen Immunität in dieser Region ermöglichen eine primäre Versorgung bis zu 12 h und später nach einem Trauma. Insbesondere bei verschmutzten Wunden, Tierbissverletzungen etc. sind eine Antibiotikaprophylaxe und exakte Wundrevision obligat.

Therapie

Die Wunden werden sorgfältig inspiziert und etwaig freiliegender Knochen auf Frakturen, Defekte und Verschmutzung hin untersucht. Wundtaschen müssen sorgfältig gesäubert und ausgetastet werden, weil sich viele Fremdkörper im Röntgenbild nicht darstellen. Insbesondere bei Riss-Quetsch-Wunden muss unter Zuhilfenahme der Lupenbrille oder des Mikroskops eine exakte schichtweise Rekonstruktion von innen nach außen erfolgen, um spätere Behinderungen durch funktionell ungünstige Narben zu vermeiden. Das betrifft besonders die Ober- und Unterlippe sowie die Zunge. Auch gestielte Haut- bzw. Schleimhautfetzen und abgeschilferte Haut oder Schleimhaut werden exakt reponiert und mit Naht oder Fibrinkleber befestigt. Aufgrund der günstigen physiologischen Gegebenheiten im Gesichtsbereich heilen häufig auch solche Areale gut an, sodass Ausschneidungen in dieser Region die Ausnahme darstellen.

Bei Riss- und Quetschwunden der Ober-und Unterlippe wird von innen nach außen vorgegangen. Wichtig ist bei tiefen Einrissen die Vereinigung der Muskulatur. Aus ästhetischen Gründen muss beim Nähen die Lippenrot-Weiß-Grenze beachtet werden.

Um tiefe Zungenrisswunden zuverlässig zu versorgen, muss man nach sorgfältiger Blutstillung (Umstechung) tiefgreifend nähen. Ggf. ist die Anwendung von U-Nähten sinnvoll um Dehiszenzen zu vermeiden. Gleichermaßen soll man bei Verletzungen der Wangenschleimhaut vorgehen.

Zu beachten sind am Mundboden der Ausführungsgang der Glandulae submandibularis et sublingualis (Wharton-Gang) und A., V. und N. lingualis im distalen Bereich.

In Höhe des zweiten Molaren ist die Papille des Stenon-Gangs zu berücksichtigen, der dort aus der Wangenschleimhaut austritt.

Zerreißungen der Ausführungsgänge der großen Kopfspeicheldrüsen erfordern deren Schienung mit einem kleinen Plastikschlauch über 2–8 Wochen, in Abhängigkeit vom Ausmaß der Verletzung.

Defekte sollen möglichst nicht primär rekonstruiert werden. Es ist günstiger, diese erst abheilen oder granulieren zu lassen, um dann nach Auswahl einer entsprechenden Spenderregion eine optimale Deckung vornehmen zu können. In bestimmten Situationen ist eine sofortige Replantation oder Transplantation, ggf. unter Zuhilfenahme mikrochirurgischer Techniken möglich oder sogar notwendig.

Schusswunden und Tierbissverletzungen bedürfen je nach Art und Umfang der besonderen Inspektion und Infektionsprophylaxe. In diesen Fällen kann eine Wundausschneidung erforderlich sein.

1.12.3 Verletzungen des äußeren Halses

Verletzungen des Halses sind oftmals schwierig einzuschätzen. Die Bandbreite der Verletzungen reicht von harmlosen Schnittwunden bis hin zu lebensbedrohlichen Gefäßverletzungen oder Verletzungen der Luftwege. Oft sind primär harmlos erscheinende Kontusionsverletzungen des Halses gefährlicher als bedrohlicher erscheinende Schnittwunden. Wie bei allen anderen Traumen ist auch hier eine systematische und gründliche Vorgehensweise er-

forderlich, um das genaue Ausmaß der Verletzung richtig einzuschätzen und die richtigen Entscheidungen treffen zu können.

Penetrierende Verletzungen

Schusswunden

Dabei muss man unterscheiden zwischen Verletzungen mit Schrotflinten und Verletzungen mit Gewehren oder Revolvern. Einer der wichtigsten Faktoren bei Schrotflintenverletzungen ist der Abstand zwischen der Schrotflinte und dem Opfer. Bei einer Entfernung über 6–7 m sind die Verletzungen in aller Regel nur oberflächlich. Bei einem Abstand unter 3 m jedoch muss mit ernsthafteren Verletzungen gerechnet werden. Schussverletzungen mit Kugeln führen in der Regel im Halsbereich nicht zu geradlinigen Verläufen, sondern sie werden durch knöcherne Strukturen häufig abgelenkt und können multiple, kleine metallische Fremdkörper im Schusskanal zurücklassen, die röntgenologisch nachweisbar sind.

Schnittwunden

Sie unterscheiden sich von Gewehrschussverletzungen dadurch, dass die äußere Schnittwunde und der Verletzungsweg in aller Regel in einer Richtung verlaufen. Wichtig hierbei sind v.a. die Länge des Instruments und die Tiefe der Penetration.

Kontusionsverletzungen

Kontusionsverletzungen des Halses sind oft besonders problematisch. Hier ist eine äußerst genaue Inspektion, Palpation und allgemeine körperliche Untersuchung erforderlich. Man unterscheidet auch hier zwischen offenen und geschlossenen Kontusionsverletzungen. In den meisten Fällen von offenen Verletzungen ist eine chirurgische Exploration erforderlich. Bei jeder dieser Kontusionsverletzungen des Halses ist ein systematisches Vorgehen notwendig. Bei jedem Patienten mit Kontusionsverletzungen des Halses müssen Luftwege und Speiseröhre sowie Kreislaufsituation und neurologischer Status untersucht werden.

An begleitende Verletzungen der HWS und des zervikalen Rückenmarks ist zu denken.

Klinik

Die Leitsymptome bei Halsverletzungen sind in Tab. 1.12 dargestellt.

Diagnostik

Zunächst werden die Atemwege notfallmäßig gesichert und eine etwaige hämodynamisch wirksame Blutung gestillt. Erst wenn der Zustand des Patienten als stabil betrachtet werden kann, schließt sich die bildgebende Diagnostik an. Die Halsweichteilaufnahme im seitlichen Strahlengang kann hilfreich bei der Beurteilung der Luftwege sein. Dabei ist v.a. auf Abweichungen der Luftsäule oder auf Verschattungen zu achten. Überdies muss nach Frakturen oder Luxationen der HWS gefahndet werden.

Diagnostisches Verfahren der Wahl bei stabilen Patienten ist die CT des Halses, bei der die einzelnen Strukturen beurteilt werden können.

Die Angiografie ist eine nützliche diagnostische Hilfe bei Verletzungen der großen Gefäße. Wenn offensichtliche arterielle Verletzungen während der klinischen Untersuchung gefunden werden, ist jedoch die unmittelbare direkte chirurgische Exploration indiziert. Nur wenn der Ort der Gefäßverletzungen unklar und der Zustand des Patienten stabil ist, ist das relativ zeitaufwändige Verfahren der Angiografie indiziert.

Tab. 1.12 Charakteristische Symptome als Hinweis auf die Art der eingetretenen Verletzung

Leitsymptom	Verletzung
Hauptemphysem, Dyspnoe, Stridor, Aspiration, Hämoptysen	Verletzung oder Schädigung der oberen Luftwege
Dysphagie, Hautemphysem, Blutung aus dem Mund	Verletzungen der oberen Speisewege
Hämatom, Blutung aus offener Halswunde	Gefäßverletzungen

Therapie

Die **Sicherung der Atemwege** ist die erste Notfallmaßnahme bei penetrierenden oder stumpfen Halstraumen. Auf eine Verletzung der Luftwege deuten folgende Zeichen hin: Knistern im Bereich des Halses als Ausdruck eines Emphysems, Dyspnoe, Stridor, Dysphagie, Aspiration oder Hämoptyse. Ebenso sollten immer das Hyoid, der Schildknorpel und der Ringknorpel und die Trachea abgetastet werden. Man unterscheidet verschiedene Verletzungen der oberen Luftwege.

1.12.4 Stumpfe Kehlkopftraumen

Grundsätzlich gehört jede stumpfe Kehlkopfverletzung in eine stationäre Überwachung. Luftnot entwickelt sich erst oft einige Stunden nach dem Trauma und man muss, um frühzeitig eingreifen zu können, den Patienten unter stationärer Kontrolle haben. Das Risiko von Larynxverletzungen ist dabei umso größer, je mehr der Hals überstreckt ist, da dann der Unterkiefer und das Sternum nicht länger einen Schutz für den Kehlkopf bieten. Überdies kann dabei der Kehlkopf gegen die starre HWS gedrückt und dabei verletzt werden. Von anatomischer Seite kann der Kehlkopf besser lateral gerichtete Verletzungen tolerieren. Die vertikal orientierten Muskeln und Bänder erlauben eine gewisse Beweglichkeit nach lateral hin. Dadurch kann der Kehlkopf den lateral gerichteten Kräften eher ausweichen.

Entwickelt sich bei stumpfen Larynxtraumen zunehmend Luftnot, sollte eine orotracheale Intubation unter Tracheotomiebereitschaft durchgeführt werden.

Lässt sich der Larynx ohne Probleme mit dem Larynxspatel einstellen und der Tubus durch den Larynx in die Trachea vorschieben, so ist dies die Methode der Wahl. Bei stumpfen Kehlkopftraumen ist es jedoch häufig so, dass Hämatome und ausgedehnte Verletzungen mit Dislokationen, z.B. der Aryknorpel, eine Intubation unmöglich machen. In diesen Fällen muss sofort eine Nottracheotomie erfolgen. Nach Sicherung der Atemwege wird dann eine Mikrolaryngoskopie mit einem speziellen Rohr (Kleinsasser-Instrumentarium) durchgeführt, bei der das Ausmaß der Larynxverletzung diagnostiziert wird.

Bei stumpfen Kehlkopftraumen sollte eine Intubation immer unter Tracheotomiebereitschaft durchgeführt werden.

Konservative Therapie

Bei stabilen Atemwegen können stumpfe Larynxtraumen unter stationärer Beobachtung konservativ therapiert werden. Die konservative Therapie beschränkt sich dabei auf Stimmruhe, abschwellende Medikamente, z.B. Kortison, und Bettruhe. Antibiotika sind in der Initialperiode wertlos.

Operative Behandlung

Eine operative Behandlung ist immer dann erforderlich, wenn es Hinweise auf Luftwegobstruktionen gibt, ein subkutanes Emphysem oder exponierte und frakturierte Knorpelanteile freiliegen. Ein primärer Verschluss der Schleimhautverletzungen und die Reposition und Fixation von frakturierten Knorpelanteilen, z.B. mit Miniplatten, ist hierbei möglich und erforderlich. Steigt die Gefahr von Stenosen durch die Fraktur, ist eine innere Schienung des Kehlkopfs mit Silikonplatzhaltern erforderlich. Lebensbedrohlich ist eine laryngotracheale Separation (Abb. 1.71), die in der Regel erst durch eine chirurgische Exploration diagnostiziert und dann in einer Sitzung durch eine primäre Anastomose versorgt wird.

Management von Blutungen bei Halsverletzungen

Eine gefährliche Komplikation bei offenen Halsverletzungen ist die unkontrollierte Blutung. Starke Blutungen erfordern eine offene chirurgische Exploration im Bereich der Halswunde; das blinde Setzen von Klemmen ist kontraindiziert, weil wichtige Strukturen

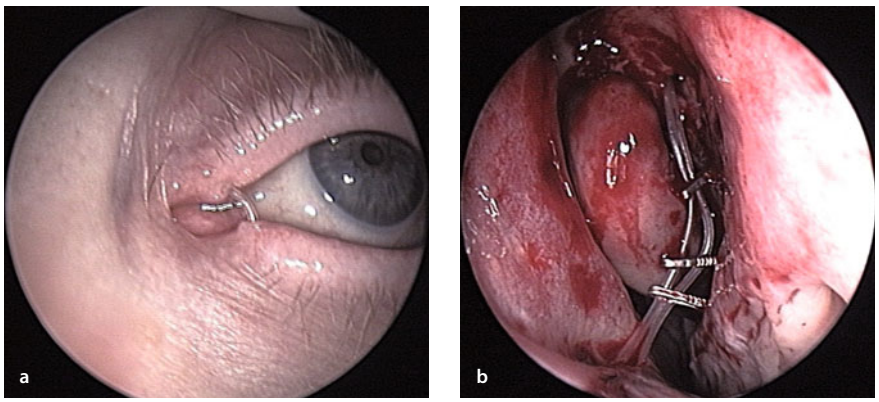


Abb. 1.70a,b **a** Silikonschienung im oberen und unteren Tränenpünktchen. **b** Silikonschläuchlein endonasal aus dem eröffneten Tränensack herausgeleitet

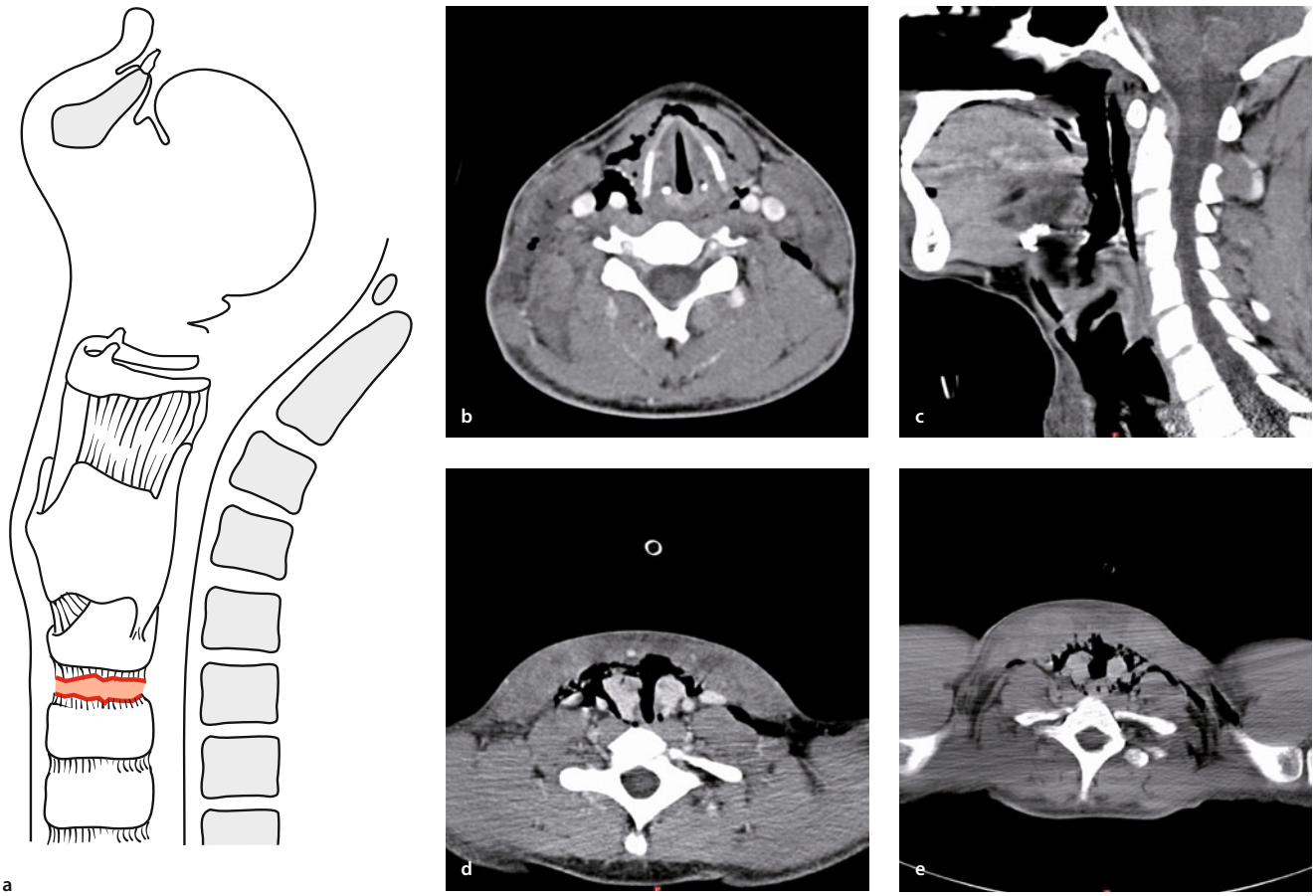


Abb. 1.71a–e Laryngotracheale Separation mit ausgedehntem Halsemphysem. **a** Schematische Darstellung. **b** Halsemphysem um den Larynxknorpel und in der Hals-Gefäßscheide. **c** Weit offene Trachea mit ausgeprägtem Halsemphysem. **d** Vom Larynx separierte Trachea. **e** Laryngotracheale Separation mit ausgedehntem mediastinalem Emphysem

des Halses wie der N. vagus, der N. phrenicus und andere nervale Strukturen verletzt werden können. Blutende Äste der A. carotis externa werden bei der chirurgischen Versorgung unterbunden. Verletzungen im Bereich der A. carotis interna oder communis werden in Kombination mit den Gefäßchirurgen versorgt.

Ein sich rasch entwickelnder Bluterguss im Bereich des Halses nach einem Trauma ist eine absolute Indikation für eine chirurgische Exploration. Einmal kann das Hämatom zu einer sekundären Beeinträchtigung der Atemwege führen, zum anderen ist ein sich schnell entwickelnder pulsierender Bluterguss nach Halstrauma oft durch eine verletzte A. carotis communis bedingt. Bewusstseinsveränderungen, verbunden mit Hemiplegie, Aphasie oder eingeschränktem Visus, weisen auf solche Gefäßverletzungen hin.

Spätkomplikationen bei Halsverletzungen

Embolisierungen, Thrombosen oder arteriovenöse Fisteln können nach Versorgung der Verletzungen auftreten. Pseudoaneurysmen oder wahre Aneurysmen können auch 1–3 Wochen nach der Halsverletzung auftreten. Eine antikoagulatorische Therapie, intravaskuläre Embolektomie oder Arteriotomie sollte dann in Betracht gezogen werden, wenn sich diese Komplikationen ereignen (▶ Kap. 13 »Gefäßverletzungen«).

1.12.5 Verletzungen der oberen Speisewege

Klinik

Verletzungen der oberen Speisewege zu erkennen, bereitet gewöhnlich keine Probleme. Frühzeichen sind ein Knistern im Bereich des Halses als Ausdruck eines Empyhsems. Daneben finden sich Dysphagie, Schluckschmerzen oder Hämoptysen.

Diagnostik

Bei stabilen und kooperativen Patienten erleichtert eine Untersuchung des Schluckvorgangs mit Kontrastmittel die Diagnose. In manchen Fällen lassen sich Verletzungen des oberen Verdauungstrakts nur endoskopisch nachweisen. Darüber hinaus ist eine genaue Untersuchung des gesamten Nervensystems wichtig, insbesondere aller Hirnnerven. Traumen des zentralen Nervensystems können normalerweise gut von Traumen des peripheren Nervensystems unterschieden werden.

Therapie

Jede neurologische Struktur, die durch den Hals verläuft, kann bei stumpfen oder scharfen Halstraumen verletzt werden. Daher sollte beim Transport dieser Patienten äußerste Vorsicht angewendet werden, v.a. dann, wenn man eine Verletzung der HWS befürchtet.

Schleimhautverletzungen des Naso- oder Oropharynx erfordern gewöhnlich keine chirurgischen Maßnahmen. Eine Penetration dieser anatomischen Regionen ist normalerweise nicht mit weitergehenden Infektionen verbunden. Im Gegensatz dazu erfordern penetrierende Schleimhautverletzungen des Hypopharynx und des oberen Ösophagus wegen der Gefahr einer sich entwickelnden Mediastinitis in manchen Fällen eine chirurgische Exploration, Versorgung und Drainage. Bei kleineren Verletzungen v.a. im Bereich des Hypopharynx ist eine endoskopische Versorgung möglich oder eine konservative Therapie mit antibiotischer Abschirmung (z.B. Cephazolin und Metronidazol), oraler Nahrungskarenz und engmaschigen klinischen und laborchemischen Kontrollen erlaubt. Bei Fieber, Ansteigen der Entzündungsparameter und anderen Mediastinitiszeichen ist dann eine chirurgische Exploration indiziert. Bei Traumen im Bereich des Halses ist die Indikation zur chirurgischen Exploration oftmals schwierig und bedarf großer Erfahrung des Untersuchers, denn eine nicht indizierte chirurgische Exploration kann zusätzlichen Schaden bewirken. Umgekehrt kann die Unterlassung einer chirurgischen Exploration bei bestimmten Verletzungen, z.B. einer laryngotrachealen Separation, zum Tode des Patienten führen.

Indikationen zur chirurgischen Exploration

- Obstruktion der Atemwege
- Unkontrollierte Blutung aus dem Hals
- Vorausgegangene Blutung aus dem Hals mit Blutdruckabfall
- Akute orale Blutung ohne sichtbare orale Verletzung
- Expandierendes Hämatom
- Verletzung der A. vertebralis, A. subclavia oder A. carotis, die durch eine Angiografie bestätigt wurde
- Zunehmendes neurologisches Defizit, das auf eine beeinträchtigte zerebrale Zirkulation zurückzuführen ist
- Chylusfistel
- Aufweitung des oberen Mediastinums
- Progressive Halsinfektion oder Entwicklung eines Abszesses
- Mediastinitis

Prognose

Die Mortalität bei Patienten mit unbehandelten Perforationen im oberen Ösophagus oder Hypopharynx ist mit 70% sehr hoch. Durch die Anwendung von Antibiotika, chirurgischer Drainage und Nahrungskarenz kann sie auf 10–20% reduziert werden.

1.13 Verletzungen des Auges, der Lider und der Tränenwege

V. Bonkowsky

Siehe dazu auch den vorausgehenden ▶ Abschnitt 1.12, Weichteilverletzungen.

1.13.1 N. opticus

Klinik

Traumatische Schäden des N. opticus treten meist im Rahmen von Mittelgesichtsfrakturen oder rhinobasalen Frakturen auf. Leitsymptom der Optikusläsion ist bei wachen Patienten die Visusminderung oder Erblindung auf einem oder beiden Augen.

Diagnostik

Beim bewusstlosen Patienten müssen folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Spiegelung des Augenhintergrundes,
- konsensuelle und direkte Lichtreaktion der Pupillen; die lichtstarre Pupille bei erhaltenem konsensuellen Reflex und normalem Hintergrund spricht für eine Läsion im Canalis opticus,
- visuell evozierte Potenziale.

Die Feststellung, ob eine traumatische Optikusneuropathie vorliegt, obliegt dem Augenarzt und ist keineswegs trivial und nicht immer sicher.

Therapie

In der Literatur gibt es unterschiedliche Empfehlungen zum Management traumatischer Optikusschäden:

- abwartende Haltung führt zur Besserung des Visus in etwa 30% der Fälle,
- medikamentöse Therapie (s. unten),
- chirurgische Therapie,
- medikamentöse und chirurgische Therapie.

Eine Studie (International Traumatic Optic Neuropathy Study, IONTS), die ursprünglich als randomisierte Studie geplant war, sollte eine chirurgische Dekompression mit einer Megadosis Steroidtherapie vergleichen. Sie wurde schließlich als nicht randomisierte Interventionsstudie mit 127 Teilnehmern zu Ende gebracht, als die Patientenrekrutierung nicht ausreichte. Zwischen den 4 Vorgehensweisen – keine spezifische Therapie, Steroide, chirurgische Dekompression und Dekompression plus Steroide – fand sich kein signifikanter Unterschied. »Treatment on individual basis« lautete schießlich die Empfehlung. Daraus folgt: »Entscheidung im Einzelfall.«

Die Situation ist demnach denkbar kompliziert: Eine überzeugende Therapie existiert nicht, und der Patient ist von einem schweren, dauerhaften Schaden seines Sehvermögens bedroht. In dieser Situation ist es kaum durchzuhalten, streng nach einer (insuffizienten) Datenlage vorzugehen und auf jegliche Behandlung zu verzichten. Das Risiko wäre zu groß, dass der Patient Zeit seines Lebens darüber grübeln würde, ob man nichts versäumt habe. Deshalb raten wir zu der am wenigsten eingreifenden Therapie, nämlich einer kurzen hoch dosierten Gabe von Methylprednisolon. Nur in streng indizierten Ausnahmefällen kommt ein operatives Vorgehen in Betracht. Obwohl keineswegs in Studien belegt, aber immerhin durch Einzelbeobachtungen gestützt, hat chirurgisches Vorgehen da seine Berechtigung, wo man ohne weiteren Schaden anzurichten, eine CT-morphologisch erkennbare Kompression des Sehnervs lindern oder beseitigen kann. Jegliche Therapie ist nur in einem kurzen Zeitraum nach dem Trauma überhaupt sinnvoll. Äußerste Obergrenze sind 3 Tage.

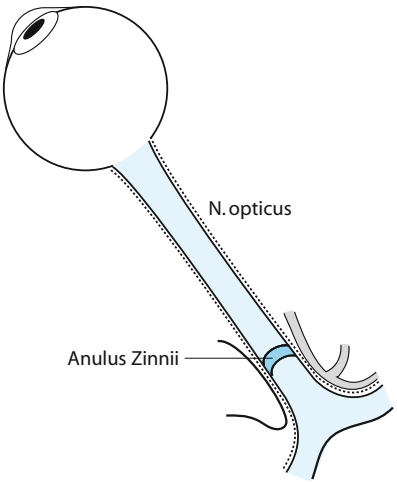


Abb. 1.72 Verlauf des N. opticus vom Bulbus oculi zum Chiasma

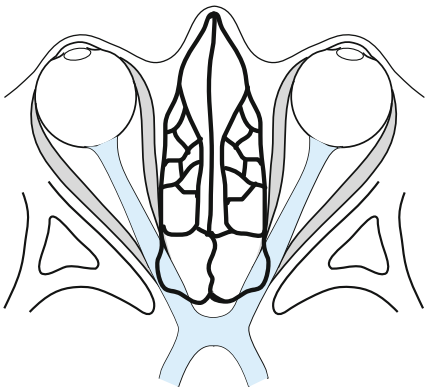


Abb. 1.73 Schemazeichnung (Horizontalschnitt), die die Beziehung der hinteren Siebbeinzellen zum N. opticus zeigt

Medikamentöse Therapie

Die medikamentöse Therapie besteht in einer hochdosierten Kortisongabe:

- Initialdosis: 1-mal 25–30 mg/kg KG Methylprednisolon,
- anschließend 10–15 mg/kg KG Methylprednisolon alle 6 h über einen Tag, anschließend Ausschleichen über 10 Tage.

Chirurgische Therapie

Das besondere Problem der Dekompressionsoperation bei traumatischen Optikusschäden liegt in der Indikationsstellung. Eine chirurgische Dekompression ist zu erwägen bei:

- radiologischem Nachweis einer Fraktur des Canalis opticus und Visusminderung bzw. Visusverlust,
- Verdacht auf Ödem oder Hämatom im Bereich des Canalis opticus mit Visusminderung,
- ausbleibendem Erfolg einer hochdosierten Kortisontherapie,
- progredientem Visusverlust nach Trauma,
- Erblindung des einzig sehenden Auges.

Kontraindikationen sind:

- gravierende Verletzungen am Bulbus,
- eine komplette Durchtrennung des Sehnervs,
- eine totale Ischämie des Auges.

Zur chirurgischen Dekompression des N. opticus stehen verschiedene **Zugangswege** zur Verfügung:

- Kraniotomie mit neurochirurgischem Zugang
- Extranasaler, transethmoidaler/transfrontaler Zugang
- Transantraler Zugang
- Intranasaler mikroskopisch/endoskopischer Zugang

Der endonasale/endoskopische Zugang ist dabei der schonendste Weg und der Zugang der Wahl, außer wenn schwere Verletzungen mit offenen Wunden ein extranasales Vorgehen vorgeben. Vorteile des endoskopischen Vorgehens sind eine reduzierte Morbidität, eine Erhaltung des Geruchsvermögens, keine äußeren Narben und daher ein optimales kosmetisches Ergebnis.

Zunächst werden das Siebbein endoskopisch ausgeräumt und die Keilbeinhöhle breit gefenstert, dann die Lamina papyracea im Bereich der Orbitaspitze ca. 10 mm weit abgetragen. Der Knochen des Canalis opticus wird mit einem speziellen Bohrer ausgedünnt und die letzte dünne Knochenschale mit einem Dissektor abgetragen. Die knöcherne Schale, die abgetragen wird, sollte möglichst 180° des medialen Umfangs des Knochenkanals betragen (Abb. 1.72, Abb. 1.73, Abb. 1.74). Schlitzung der Nervenscheide nur nach Indikationsstellung durch den Ophthalmologen.

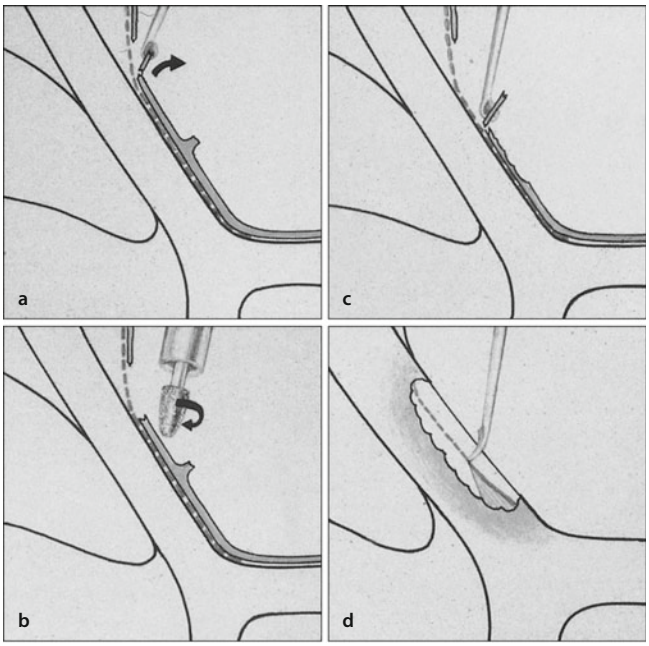


Abb. 1.74a–d Operative Schritte bei der Dekompression des N. opticus. **a** Entfernung der Lamina papyracea 0,5–1 cm vor dem Tuberculum n. optici. **b** Bei dickem Knochen über dem Tuberculum kann der Knochen mit einem Diamantbohrer ausgedünnt werden. **c** Die ausgedünnten Knochenlamellen werden vorsichtig nach medial in das Sinuslumen hinein entfernt. **d** Eventuell kann die Nervenscheide des N. opticus inzidiert werden. (Aus: Denecke et al. 1992)

Prognose

Bei richtiger Indikationsstellung dürfte die Kombination einer operativen Dekompression mit einer begleitenden Kortisontherapie die besten Ergebnisse hinsichtlich der Visusverbesserung bringen. Bei alleiniger medikamentöser Therapie verbessert sich laut Literatur in 60% der Fälle der Visus.

Aufgrund der schwierigen, nicht evidenzbasierten Datenlage erscheint zusammenfassend folgendes Vorgehen empfehlenswert:

1. Bei Orbitablutung: laterale Kanthotomie, evtl. Revision
2. Bei Optikusscheidenhämatom: evtl. Hämatomausräumung
3. Bei Kompression des N. opticus durch ein Knochenfragment: Operative Entfernung und Kanaldekompression so schnell wie möglich
4. In allen anderen Fällen einer traumatischen Optikusneuropathie: Megadosis Steroide (gilt nicht für aussichtslose Situationen, z.B. einer definitiven Durchtrennung des Nervs)

1.13.2 Augenlider

Die Versorgung von Verletzungen an den Augenlidern wurde im vorausgehenden ▶ Abschnitt 1.12, Weichteilverletzungen beschrieben.

1.13.3 Tränenwege

Hier soll noch einmal auf die Besonderheit der Tränenwegverletzungen hingewiesen werden. Die besten kosmetischen und funktionellen Ergebnisse erzielt man, wenn die Primärversorgung innerhalb von 12 h erfolgt. Spätere Rekonstruktionen ergeben ein viel schlechteres funktionelles Resultat. Beim Polytrauma hat insofern die Tränenwegverletzung bei der Planung Priorität. Liegt ein Abriss der Tränenwege im inneren Lidwinkel vor oder ist der Tränenweg im Bereich des Siebbeins bzw. der Nase mitbetroffen, so soll zweckmäßigerweise auf die bikanalikuläre Tränenwegintubation nach Jünemann (Abb. 1.69) zurückgegriffen werden. Dabei erfolgt die Einlage eines dünnen Silastikschlauchs vom oberen und unteren Tränenpünktchen aus in die Canaliculi bis hin ins Nasenlumen. Dort werden die beiden Enden verknotet oder geclippt und für mindestens 12 Wochen belassen (Abb. 1.70).

1.14 Komplikationen nach Gesichtsschädelverletzungen

1.14.1 Aus Sicht des HNO-Arztes

V. Bonkowsky

Frühkomplikationen wie Blutung, Atemnot und Liquorrhoe sind in den einzelnen Kapiteln bereits ausgeführt. In diesem Abschnitt sollen kurz typische Spätkomplikationen nach Gesichtsschädelverletzungen beschrieben werden. Dazu gehören die im Folgenden beschriebenen Veränderungen.

Sekundäre Formveränderungen und Fehlstellungen

Sekundäre Formveränderungen kommen v.a. im Bereich der äußeren und inneren Nase vor. Sie verursachen regelmäßig eine ästhetische Beeinträchtigung und fast immer eine Behinderung der Nasenatmung. Die Ursache hierfür sind in Fehlstellung eingekeilte knöcherne und knorpelige Bruchstücke sowie eine narbige Schrumpfung der Flügelknorpel und des Nasenstegs. Dadurch kommt es zu einer knöchernen und knorpeligen Schief- oder Sattelnase, zur Höcker- oder Breitnase und zur Verunstaltung der Nasenspitze.

Fehlstellungen mit konsekutiven Doppelbildern sind eine typische Folge von Orbitafrakturen. Die Ursache hierfür liegt meist in einer nicht optimalen Reposition bei der Primärversorgung. Eine typische Spätfolge ist auch der sekundäre Hypertelorismus bei Abriss der Lidbändchen und nicht erfolgter Versorgung.

Muko- oder Pyozelenbildung

Eine Muko- oder Pyozelenbildung ist eine häufige Komplikation bei Stirnhöhlenfrakturen. Die Ursache ist eine nicht optimale Drainage bei der Primärversorgung der Verletzung.

Spätmeningitis

Eine typische Spätfolge von Mittelgesichtsfrakturen bzw. Rhinobasisfrakturen ist eine Spätmeningitis, meist als Folge nicht versorgter Frakturen im Bereich des Siebbeindachs.

Tränenwegstenosen

Tränenwegstenosen treten v.a. bei nicht optimal versorgten Frakturen des nasoorbitoethmoidalen Komplexes auf und erfordern im Intervall eine Dakryozystorhinostomie.

Enophthalmus

Ein Enophthlamus tritt v.a. bei nicht oder nicht optimal versorgten Orbitabodenfrakturen und bei nicht oder nicht optimal versorgten Frakturen des nasoorbitoethmoidalen Komplexes auf. Ein Enophthalmus ist klinisch bei >2 mm erkennbar und sekundär schwierig zu korrigieren.

1.14.2 Aus Sicht des MKG-Chirurgen

R. Dammer

Bruchspaltosteomyelitis

Die gefürchtetste Komplikation nach Unterkieferfraktur ist die Bruchspaltosteomyelitis. Die häufigste Ursache dafür ist eine instabile operative oder konservative Versorgung des Unterkiefers. Das betrifft meist insuffizient mit Miniplatten und monokortikalen Schrauben versorgte Frakturen mit primärer Instabilität oder sekundärer Lockerung des Osteosynthesematerials. Aber auch infizierte nekrotische Knochenstücke, Fremdkörper oder Schrauben, die zu nahe am Bruchspalt platziert worden sind, kommen als Ursache für eine Osteomyelitis in Betracht.

Gleichermaßen kommt ursächlich der Zahn am Bruchspalt infrage, wenn er avital, frakturiert oder gelockert war und nicht exakt reponiert worden ist. In Verbindung mit einer instabilen Frakturversorgung führt ein Zahn am Bruchspalt meist zur Infektion. Unabhängig davon können vorbestehende pathologische Prozesse wie Parodontitis apicalis, Parodontitis marginalis, Kieferzysten, Tumoren und Osteopathien in Bruchspaltnähe, aber auch die primär offene Fraktur eine Knocheninfektion bedingen.

Die Erkrankung verläuft meist subakut bis chronisch. Nicht selten verbirgt sich hinter einer abszedierenden Weichteilinfektion eine Bruchspaltosteomyelitis. Die äußeren Kennzeichen sind Druckschmerz, Schwellung, Rötung, pathologische Beweglichkeit (federnde Fixation), Fistelbildung und im Röntgenbild ein nicht konsolidierter Bruchspalt, ggf. mit deutlicher Sequesterbildung. Die Entstehung von Totenladen ist im Kiefer eine Seltenheit.

Wenn im Unterkiefer der N. alveolaris inferior in das Entzündungsgeschehen einbezogen ist, kommt es auch zum Sensibilitätsverlust auf der betreffenden Seite der Unterlippe und Kinnhaut (Vincent-Zeichen).

Therapie

Die Therapie der Bruchspaltosteomyelitis besteht in erster Linie in der operativen Beseitigung der Ursache. Das heißt, gelockertes Osteosynthesematerial muss entfernt und durch eine stabile Überbrückung ersetzt werden. Außerdem müssen infizierte, frakturierte oder gelockerte Zähne aus dem Bruchspalt extrahiert und pathologische Prozesse saniert werden. Die operative Revision erfordert eine gute Übersicht, häufig über einen extraoralen Zugang und in jedem Fall eine sichere stabile Fixation. Sie sollte immer unter Antibiotikaschutz vorgenommen werden. Mittel der Wahl sind Clindamycin (i.v. 3-mal 600 mg oder als Kapsel 3- bis 4-mal 300 mg täglich) und Betalaktamase-stabile Penicilline (Augmentan, Unacid) oder als Reserveantibiotikum Doxycyclin und Fosfocin (3-mal 3 g über 10 Tage).

Besondere Vorsicht ist geboten, wenn Patienten medikamentös mit **Bisphosphonaten** behandelt worden sind. In diesen Fällen kann es zu schwerwiegenden Wundheilungsstörungen durch so genannte **Chemonekrosen** kommen. Die Ursache dieser Veränderungen ist noch nicht aufgeklärt. Die Therapie ist ebenfalls noch nicht evidenzbasiert. Ein möglichst atraumatisches Vorgehen und eine perioperative antibiotische Abschirmung sind indiziert (Marx 2007).

Bekanntermaßen muss auch die Versorgung von Frakturen im Mund-Kiefer-Gesichtsbereich nach stattgehabter radiologischer Therapie unter Antibiotikaschutz erfolgen, um eine Radioosteomyelitis zu verhindern. Die Osteosynthese muss in solchen Fällen eine stabile Überbrückung gewährleisten, die über das normale Maß hinausgeht.

Pseudarthrose

Pseudarthrosen kommen im Zeitalter der stabilen Osteosynthese seltener vor und werden daher eher bei ausschließlich konservativer Therapie angetroffen. Sie erfordern eine operative intra- und ggf. auch extraorale Revision des Kieferknochens mit Anfrischen des Bruchspalts und anschließender stabiler Osteosynthese.

Sowohl bei der Osteomyelitis als auch bei der Pseudarthrose muss, wenn der Bruchspalt keine ausreichende Adaptation der Frakturenden gewährleistet, der Knochendefekt mit einem geeigneten Material aufgefüllt werden, am besten mit autologer Spongiosa vom Beckenkamm. Auf einen dichten intra- oder extraoralen Wundverschluss ist dabei zu achten. Bewährt hat sich darüber hinaus die Applikation von antibiotikahaltigen Gelatineschwämmen (Gentacoll) im infizierten Bruchspalt oder das Einlegen einer Gentamycin-Kette. Letztere ist sehr wirksam, hat aber den Nachteil, dass sie in einem Zweiteingriff entfernt werden muss.

1.14.3 Spätfolgen dislozierter verheilter Frakturen – Sekundäroperationen

Die Ursachen für fehlverheilte Frakturen liegen meist im Trauma selbst, in der Ausdehnung der Verletzung und der nicht zeitgerechten qualifizierten Versorgung. Dazu gehören Gesichtsasymmetrien, Gefühlsstörungen, Exophthalmus, Enophthalmus, Diplopie, Okklusionsstörungen, Liquorfisteln, Tränengangstenosen und Telekanthus. Diagnostik, Indikationsstellung und Festlegung des therapeutischen Vorgehens erfolgen gemeinsam mit dem MKG-Chirurgen, HNO-Arzt, Ophthalmologen und Neurochirurgen.

Diagnostik

Die radiologische Diagnostik stützt sich auf dreidimensionale Dünnschicht-CT-Untersuchungen. Die dreidimensionale magnetresonanztomografische Darstellung der Gesichtsweichteile sowie nervaler Strukturen der Orbita ist ggf. ergänzend indiziert.

Therapie

Die Indikation zur Sekundäroperation ist gegeben bei lebensbedrohlichen Situationen, funktionellen Störungen, erheblichen ästhetischen Störungen und größeren Knochen- bzw. Weichteildefekten. Die Komplexität der sekundär-rekonstruktiven Maßnahmen erfordert den Einsatz der bei der Primärversorgung anzuwendenden Techniken, den Einsatz endoskopischer Operationsmethoden, die Anwendung der aus der Dysgnathiechirurgie und kraniomaxillären Chirurgie bekannten Verfahren sowie auch die Techniken der Mikrochirurgie.

Wie die Erfahrung zeigt, sind Sekundäroperationen, auch wenn sie lege artis von einem interdisziplinären Team versorgt werden, immer problematisch und oft mit ungünstigen Resultaten belastet. Deshalb sei noch einmal auf die Notwendigkeit einer Maximalversorgung im Akutstadium hingewiesen.

Geringe Störungen der Okklusion können durch Einschleifen oder prothetische Maßnahmen behoben werden. Größere Abweichungen müssen durch Osteotomien behandelt werden. Dabei wird nach den Grundsätzen der Dysgnathiechirurgie (Kraniometrie, Modellanalyse, Modelloperation, Osteotomie usw.) vorgegangen.

Mit dem Einsatz der navigationsgestützten Chirurgie können, wenn auch mit hohem materiellen und zeitlichen Aufwand, schwere posttraumatische Deformationen des Gesichtsschädels zufriedenstellend wieder hergestellt werden (Marmulla et al 1997).

1.15 Notfallmaßnahmen

1.15.1 HNO-ärztliche Erste Hilfe

V. Bonkowsky

Nasenbluten

Klinik

Die häufigste notfallmäßige Intervention ist aufgrund von Nasenbluten erforderlich. Es ist oft harmlos, kann aber bei ausgedehnten Mittelgesichts- und Schädelbasisfrakturen auch lebensbedrohliche Formen annehmen. Die Blutung kommt bei Nasengerüstfrakturen meist spontan zum Stehen, während sie bei ausgedehnten Nebenhöhlen- oder Mittelgesichtsfrakturen und Rhinobasisfrakturen bedrohlich werden und durch einfache Maßnahmen nicht stillbar sein kann.

Diagnostik

Erstes Ziel der Untersuchung mit Rhinoskopie, Postrhinoskopie oder Nasenendoskopie ist, die Blutungsquelle zu lokalisieren und die Schwere der Blutung abzuschätzen. Bei bewusstseinsklaren Patienten sollte man diese aufrecht sitzen lassen, in eine Nierenschale kräftig ausschneuzen lassen, dann den Kopf nach vorne neigen und beobachten, aus welcher Nasenseite und wie stark es blutet. Blutungen aus den tieferen Luft- oder Speisewegen, die nur durch Husten oder Erbrechen in die Nase gelangt sind, werden damit sofort erkennbar.

Als nächstes muss man versuchen, die Blutungsquelle genauer zu lokalisieren. Durch die Rhinoskopie sind Blutungen am Locus Kiesselbachii meist gut sichtbar. Die Lokalisation von Blutungen aus den hinteren Nasenabschnitten ist weit schwieriger.

Therapie

Leichte Blutungen

Bei eindeutiger Lokalisation der Blutungsquelle kann eine bipolare Koagulation des blutenden Gefäßes versucht werden. Bei Blutungen im Bereich des vorderen Septumabschnitts (Locus Kiesselbachii) kann die Blutung auch manchmal durch kräftiges Zusammenpressen der Nasenflügel zum Stillstand gebracht werden.

Vordere Nasentamponade

Diese Tamponade wird am besten in sitzender oder halbliegender Position ausgeführt. In die Nasenhaupthöhle wird eine fortlaufende Streifentamponade eingelegt (Abb. 1.75).

Um zu verhindern, dass der Streifen in den Nasenrachenraum abrutscht, beginnt man am besten hinten weit oben, wo sich der Streifen zwischen mittlerer und oberer Nasenmuschel verfängt; dann zunächst locker, sobald die Tamponade aber Halt gibt, fester zu stopfen, von hinten nach vorne. Bei jeder festen Tamponade einer Nasenseite sollte auch die andere Nasenseite ausgestopft werden, um das Septum zu stützen. Nach der Tamponade muss man kontrollieren, ob der Rachen nun blutungsfrei ist.

Bellocq-Tamponade

Liegt die Blutung weit hinten und gelingt es mit der vorderen Nasentamponade nicht, die Blutung zu stillen, so ist in manchen Fällen eine hintere Nasentamponade nach Bellocq erforderlich. Das Legen einer Bellocq-Tamponade ist für den Patienten sehr belastend und sollte in Intubationsnarkose erfolgen. Zunächst wird ein Gummikatheter von vorne durch die Nase am Nasenboden entlang geschoben, bis er im Rachen erscheint. Dort wird der Gummikatheter mit einer Kornzange gefasst und durch den Mund nach außen gezogen. Dasselbe Vorgehen erfolgt für die andere Nasenseite. Zwei Fäden der Bellocq-Tamponade, die von einem gemeinsamen Knoten kommen, müssen an die durch den Mund herausgeleiteten Katheterenden geknüpft werden (Abb. 1.4). Die Gummikatheter und anschließend die beiden Fäden werden aus der Nase herausgezogen. Dadurch gelangt der Bellocq-Tampon in den Mund und wird dann mit 2 Fingern in den Nasenrachenraum geführt. Die Bellocq-Tamponade muss hinter der Uvula liegen. Dabei darf die Uvula beim Hochschieben des Tampons nicht nach hinten umgeschlagen werden. Die Tamponade muss dabei so groß sein, dass der Nasenrachenraum vollständig ausgefüllt und abgedichtet wird. Der weiche Gaumen ist dann deutlich vorgewölbt. Anschließend wird gegen das Widerlager des Bellocq-Tampons eine fortlaufende feste vordere Nasentamponade gelegt. Beide Fäden werden über einem Tupfer auf dem Nasensteg fest miteinander verknotet. Die beiden anderen Fäden, die vom Mund herausführen, werden an der Wange mit Pflaster befestigt.

Eine Bellocq-Tamponade ist für den Patienten äußerst quälend und sollte nur dann angewendet werden, wenn alle anderen Maßnahmen ohne Erfolg sind. Vor dem Legen einer Bellocq-Tamponade sollte evtl. noch versucht werden, den Nasenrachenraum mit einem Ballonkatheter abzudichten. Die vordere Nasentamponade kann dann gegen den im Nasenrachenraum aufgeblasenen Ballon gegentamponiert werden.

Weitere Möglichkeiten der Blutstillung bestehen in der Unterbindung von Gefäßen der A. maxillaris, ethmoidalis oder carotis externa bzw. in einer angiografischen Embolisation, falls alle anderen Möglichkeiten der Blutstillung nicht von dauerhaftem Erfolg sind.

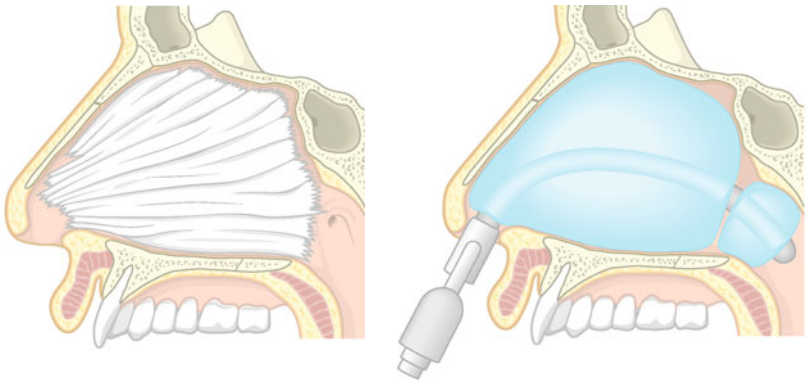


Abb. 1.75 Fortlaufende vordere Nasentamponade. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

Atemnot

Orale Intubation

Die orale Intubation ist der wichtigste Noteingriff, durch den die Atemwege freigehalten werden können. Sie ist für viele Notfälle von akuter Atembehinderung das Mittel der Wahl. Eine nasotracheale Intubation gilt bei Vorliegen einer relevanten Rhinobasisfraktur oder Mittelgesichtsfraktur als kontraindiziert auch ohne den Nachweis einer Liquorrhoe. Andere Maßnahmen wie Tracheotomie oder Koniotomie kommen nur bei Patienten infrage, bei denen eine Intubation nicht möglich ist.

Koniotomie

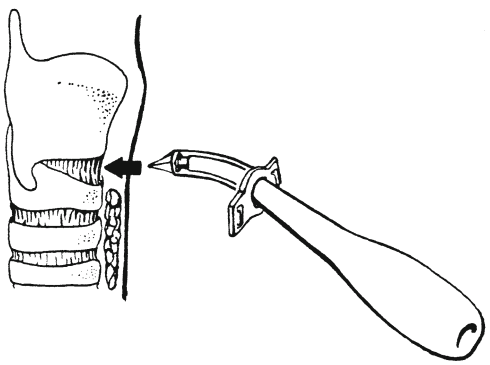
Dieser Eingriff ist ein Notbehelf, der nur zur Überbrückung indiziert ist, wenn andere, bessere Maßnahmen nicht möglich sind. Hierbei wird das Ligamentum conicum zwischen Schildknorpelunterrand und Ringknorpel quer durchschnitten. Die Öffnung liegt unmittelbar unterhalb des Stimmlippenniveaus (◘ Abb. 1.76).

Vorteilhaft für die Koniotomie ist ein fertiges Instrument, das aus einem Trokar und aus einer kurzen darüber gesteckten Kanüle besteht. Der Patient liegt, der Kopf wird nach hinten überstreckt. Der Schildknorpel wird mit der linken Hand gefasst und der Kehlkopf damit fixiert. Mit der rechten Hand werden der untere Rand des Schildknorpels und der Ringknorpel getastet. In diesem Bereich wird in der Medianlinie ein Schnitt von ca. 2 cm Länge ausgeführt. Dann wird mit der Spitze des Messers quer zwischen Unterrand des Schildknorpels und Ringknorpels eingegangen, der Schnitt wird aufgespreizt und ein Röhrchen, eine kleine Trachealkanüle, eingesetzt. Nach dieser Notkoniotomie muss jedoch möglichst bald eine regelrechte Tracheotomie angelegt und die Koniotomieöffnung operativ versorgt werden.

Tracheotomie

Die Tracheotomie ist bei Traumapatienten indiziert, v.a. bei Kehlkopftraumata mit zunehmendem Stridor und Atemnot. Obwohl der Eingriff für den Geübten meist technisch nicht schwierig ist, kommt er doch in der konkreten Notfallsituation nur sehr selten in Betracht. Die Vorstellung, man könne in jeder Situation nur mit einem Taschenmesser eine Tracheotomie ausführen, ist unrealistisch. Für derartige Notsituationen kommt nur die Koniotomie (s. oben) in Betracht. Trotz dieser Einschränkungen soll kurz die Technik der Tracheotomie beschrieben werden:

Der Patient liegt auf dem Rücken mit einer geringen Überstreckung. Es erfolgt ein Schnitt in der Mittellinie vom unteren Rand des Schildknorpels abwärts etwa 4 cm lang. Präpariert wird in der Mittellinie in Richtung Ringknorpel, dessen Lage gut zu palpieren ist. Die Muskulatur in der Mittellinie wird gespalten. Nach Darstellung des Ringknorpels folgt die Unterminierung der Schilddrüse. Im Bereich des Isthmus werden 2 Klemmen gesetzt und dazwischen der Schilddrüsenisthmus durchtrennt. Anschließend kann die Trachea in Höhe des 2. bis 4. Trachealrings eröffnet und eine Tracheotomiekanüle eingesetzt werden.



◘ **Abb. 1.76** Trokar zur Koniotomie

1.15.2 MKG-chirurgische Notfallmaßnahmen

R. Dammer

Aus Mittelgesichts- und Unterkieferfrakturen kann es hämodynamisch wirksam bluten. Die beste Blutstillung lässt sich meist durch Reposition und Schienung der Frakturen erreichen, bei Mittelgesichtsfrakturen in Form der kraniomaxillären Kompression, d.h. man presst den Oberkiefer gegen die Schädelbasis und fixiert ihn mit Hilfe von Osteosyntheseplatten oder durch kraniomaxilläre Aufhängung. Die Reposition und Schienung luxierter Zähne erfolgt mit der so genannten **Pfeifer-Schiene** aus schnellhärtendem Kunststoff (▶ Abschnitt 1.11.5). Nach Möglichkeit sollte eine intermaxilläre Immobilisation erfolgen. Bei bewusstlosen oder somnolenten Patienten oder der Gefahr des Erbrechens muss darauf verzichtet werden – es sei denn, man tracheotomiert die Patienten.

Als Minimalversorgung am Notfallort sollte ein Kopf-Kinn-Verband oder Spatelverband angelegt werden, v.a. dann, wenn der Patient transportiert werden muss. Besonderes Augenmerk gilt Alveolarfortsatzfrakturen, die umgehend reponiert und fixiert werden müssen (▶ Abschnitt 1.8).

Luxierte Zähne sollten, wenn möglich, in steriler Kochsalzlösung aufbewahrt und dem MKG-Chirurgen oder Zahnarzt zur Replantation übergeben werden. Möglich ist auch die Aufbewahrung in Milch oder beim kooperativen Patienten im Mundvorhof. Zahnprothesen sind ebenfalls zu asservieren. Idealerweise sollte für Notfallsituationen ein Dentosafe vorgehalten werden, der zur Aufbewahrung luxierter Zähne dient (◘ Abb. 1.64).

Eine definitive Versorgung wird zum frühestmöglichen Zeitpunkt angestrebt. Bei polytraumatisierten Patienten gilt die aufgeschobene Dringlichkeit zu Gunsten der Versorgung prognostisch höherwertiger Verletzungen.

Ausgedehnte Weichteilwunden dürfen erst nach sorgfältiger Revision tiefer liegender knöcherner Strukturen und einer ausgiebigen Wundtoilette definitiv verschlossen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt ist bestenfalls ein provisorischer Verschluss zur Verminderung des Infektionsrisikos indiziert.

Eine Antibiotikaprophylaxe ist bei allen offenen Verletzungen indiziert. Clindamycin wird in der MKG-Chirurgie für diesen Zweck häufig verwendet, weil es sowohl das aerobe als auch das anaerobe Keimspektrum abdeckt.

Literatur

Literatur zu den Abschnitten 1.1 bis 1.3

Allen SJ, Parmley CL (1998) Current concepts in treatment of closed head injury. Curr Opin Anaesthesiol 11: 141–145

Baethmann A, Eriskat J, Stoffel M et al. (1998) Special aspects of severe head injury: Recent developments. Curr Opin Anaesthesiol 11: 193–200

Boenninghaus H-G, Lenarz T (2007) Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, 13. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Brain Trauma Foundation (1995) Guidelines for the management of severe head injury. BTF, New York

Brihaye J, Frowein RA, Lindgren S, Loew F, Stroobandt (1978) Report on the meeting of the W.F.N.S. Neuro-Traumatology Committee I. Coma Scaling. Acta Neurochir 40: 181
Bull HG, Ganzer U, Grüntzig J, Schirmer M (1989) Traumatologie des Hirn- und Gesichtsschädels, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
Cooper PR (ed) (1993) Head injury, 3rd edn. Williams & Wilkins, Baltimore
European Brain Injury Consortium (1997) EBIC-guidelines for management of severe head injury in adults. Acta Neurochir (Wien) 139: 797–803
Frowein RA (ed) (1991) Cerebral contusions, lacerations and hematomas. Springer, Wien New York
Hacke W (ed) (1994) Neurocritical care. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Heberer G (1993) Chirurgie und angrenzende Gebiete. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Herrmann HD (1991) Neurotraumatologie. Ed. Medizin, VCH, Weinheim Basel Cambridge New York
Jantzen JP, Piek J, Buchardi H (1998) SHT-Manual. Systemed, Lünen
Kakarieka A (1997) Traumatic subarachnoid haemorrhage. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Kalbe P, Seekamp A, Tscherne H (1997) Erstmaßnahmen des Notarztes. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 189–221 (Tscherne Unfallchirurgie)
Koreaki M (1988) An outline of neurosurgery. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
McLaurin RL (ed) (1986) Extracerebral collections. Springer, Wien New York
Miller JD, Piper IR, Dearden NM (1993) Management of intracranial hypertension in head injury: Matching treatment with cause. Acta Neurochir Suppl Wien 57: 152–159
Nayaran RK, Wilberger JE, Povlishock JT (eds) (1996) Neurotrauma. McGraw-Hill, New York
Regel G, Becker Th (1997) Intensivmedizinische Versorgung. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 335–389 (Tscherne Unfallchirurgie)
Report on The Traumatic Come Data Bank (1991) J Neurosurg 75: S1–S66
Rosner MJ, Rosner SD, Johnson AH (1992) Cerebral perfusion pressure: Management protocol and clinical results. J Neurosurg 76: 212–217
Rosner MJ, Rosner SD, Johnson AH (1995) Cerebral perfusion pressure: Management protocol and clinical results. J Neurosurg 83: 949–962
Schiebler TH, Schmidt W (1991) Anatomie, 5. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Teasdale G, Jennett B (1974) Assessment of coma and impaired consciousness: A practical scale. Lancet 2: 81–84
The European Study group on nimodipine in severe head injury (1994) A multicenter trial of the efficacy of nimodipine on outcome after severe head injury. J Neurosurg 80: 797–804
Tönnis W, Loew F (1953) Einteilung der gedeckten Hirnschädigungen. Ärztl Praxis 5: 3–10
Trentz O (Hrsg) (2000) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie)
Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer (1998) Richtlinien zur Feststellung des Hirntodes. Dtsch Ärztbl 30: 1861–1868

Literatur zu den Abschnitten 1.4 bis 1.15

Andrä A, Bethmann W, Heiner H (1981) Kieferchirurgie – Traumatologie. Barth, Leipzig
Boenninghaus H-G, Lenarz T (2007) Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, 13. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Bull H-G, Ganzer U, Grüntzig J, Schirmer M (1989) Traumatologie des Hirn- und Gesichtsschädels. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
Champy M (1983) Biomechanische Grundlagen der Straßburger Miniplatte-nosteosynthese. Dtsch Zahnärztl Z 38: 358–360
Denecke H-J, Denecke M-U, Draf W, Ey W (1992) Allgemeine und spezielle Operationslehre, Bd V/2: Die Operationen an den Nasennebenhöhlen und der angrenzenden Schädelbasis. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Eckelt U (2000) Gelenkfortsatzfrakturen. Mund Kiefer GesichtsChir 4 Suppl. 1 110-117
Eckelt U, Schneider M, Rasse M et al. (2006) Open versus closed treatment of fractures of the mandibulr process- a prospective randomiced multicentre study. J. Craniomaxillofac Surg 34: 306-314
Eppley BL, Prevel CD (1997) Nonmetallic fixation in traumatic midfacial fractures. J Craniofac Surg 8: 103–109
Ernst A, Herzog M, Seidl RO (2004) Traumatologie des Kopf-Hals-Bereiches. Thieme, Stuttgart
Ewers R, Wild K, Wild M, Enislidis G (1995) Traumatologie. In: Hausamen JE, Machtens E, Reuther J: Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Kirschnersche allgemeine und spezielle Operationslehre, Bd 2)
Gerlach (2000) Resorbierbare Polymere als Osteosynthesematerialien. Mund Kiefer GesichtsChir 4 Suppl. 1 91–102
Gellrich N-C (1999) Kontroversen und aktueller Stand von Sehnervenschäden in der kraniofazialen Traumatologie und Chirurgie. Mund Kiefer GesichtsChirurgie 3: 176–194
Guyuron B, Vasconeza HC (1997) Basic principles of bond fixation. In: Ferraro JF (ed) Maxillofacial surgery. Springer, Berlin, Heidelberg New York Tokyo, pp 172–178
Härle F, Champy M, Terry BC (2009) Atlas of craniomaxillafacial osteosynthesis. Thieme, Stuttgart New York
Hammer B (1995) Orbitalfractures – diagnosis, operative treatment, secondary corrections. Hogrefe – Huber, Seattle Toronto Bern Göttingen
Hausamen JE, Schmelzeisen R (Hrsg) (1996) Traumatologie der Schädelbasis. Einhorn, Reinbek
Hausamen J-E, Schierle HP (2000) Gesichtsschädelverletzungen. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 125–157 (Tscherne Unfallchirurgie)
Hausamen J-E, Machtens E, Reuther J (Hrsg) (1995) Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Kirschnersche allgemeine und spezielle Operationslehre, Bd 2)
Horch H-H (Hrsg) (2007) Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, Urban & Fischer München, Jena
Hosemann W, Schroeder HWS, Kaduk W, Augst D, Friedrich J (2005): Interdisziplinäres Management von Mittelgesichtsfrakturen. HNO 53: 479–499
Imhof HG (2000) Das Schädel-Hirn-Trauma. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 1–66 (Tscherne Unfallchirurgie)
Kastenbauer ER, Tardy ME (Hrsg) (1995) Kopf- und Halschirurgie, Bd 1: Gesicht, Nase und Gesichtsschädel, Teil II. Thieme, Stuttgart New York
Kirschner H, Filippi A, Pohl Y. Ebelseder K (2002) Unfallverletzungen der Zähne. Schlütersche, Hannover
Koch T, Lehnhardt E (2000) Verletzungen im Hals-Nasen-Ohren-Bereich. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 77–124 (Tscherne Unfallchirurgie)
Krüger E, Schilli W (1982) Oral and Maxillofacial Traumatology. Quintessence, Chicago Berlin Rio de Janeiro Tokyo
Krüger E, Schilli W (1986) Oral and Maxillofacial Traumatology, vol 2. Quintessence, Chicago Berlin Rio de Janeiro Tokyo
Kübler A, Mühling J (1998) Leitlinien für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Lutz KC (1992) Einstelltechniken in der Traumatologie. Thieme, Stuttgart New York
Luxenberger W, Stammberger H, Jebeles JA, Walch C (1998) Endoscopic optic nerve decompression: The Graz Experience. Laryngoscope 108: 873–882
Marx, R. E. (2007) Oral &intravenous Bisphosphonate-induced osteonecrosis of the jaws . QuintessenzChicago, Berlin Tokyo, London,Paris
Mathog RH (1992) Atlas of craniofacial trauma. WB Saunders, Philadelphia/PA
Meco C, Oberascher G, Arrer E, Moser G, Albegger K (2003) ß-trace protein test: new guidelines for the reliable diagnosis of cerebrospinal flluid fistula. Otolaryngol Head Neck Surg 129: 508–517
Montag ME, Morales L Jr, Daane St (1997) Biosorbables: Their use in pediatric craniofacial surgery, J Craniofac Surg 8: 100–102
Neff A, Klk A, Horch HH (2002) Surgical vs conservative therapy of diacapitular and high capitular fractures with dislocation. Mund Kiefer GesichtsChirurgie 6: 66–73

Neff A, KolkA, Meschke F, Deppe H, Horch HH (2005) Small fragment screws vs plate oseosynthesis incondylar head fractures. Mund Kiefer GesichtsChirurgie 9: 80–88
Oberascher G (1998) Rhinoliquorrhoe – Otoliquorrhoe. HNO 3: 197–200
Obwegeser JA (1998) Resorbier- und umbaubare Platten in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Mund Kiefer GesichtsChir 2: 288–308
Pasler FA (2003) Zahnärztliche Radiologie. Thieme, Stuttgart New York
Prein J (ed) (1998) Manual of internal fixation in the craniofacial skeleton. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Rasse M (1993) Diakapituläre Frakturen der Mandibula. Eine neue Operationsmethode und erste Ergebnisse. Z Stomatologie 90: 413–428
Raveh J, Laedrach K, Speiser M, et al. (1993) The subcranial approach for fronto-orbital and anteroposterior skull-base tumors. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 119: 385–393
Richter WC (1992) Kopf- und Halsverletzungen. Thieme, Stuttgart New York
Rochels R, Behrendt S (Hrsg) (1997) Orbita-Chirurgie. Einhorn, Reinbek
Rother UJ (2001) Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Urban & Fischer, München Jena
Salyer KE (1992) Kraniofaziale Chirurgie. Thieme, Stuttgart New York
Samii M, Draf W (1989) Surgery of the skull base. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Schön R, Gutwald R, Schramm A, Gellrich NC, Schmelzeisen R (2002) Extraorale und intraorale endoskopisch assistierte Versorgung von Kollumfrakturen. Mund Kiefer Gesichts Chir 6(4): 236–240
Schuchardt K, Schwenzer N (Hrsg) (1996) Traumatologie des Unterkiefers, Orbitaerkrankungen. Thieme, Stuttgart New York
Schwab W (1994) Atlas der Kopf-Hals-Chirurgie. Kohlhammer, Stuttgart Berlin Köln
Schwenzer N, Ehrenfeld M (2002) Spezielle Chirurgie, Bd 2 Zahn-Mund-Kieferheilkunde. Thieme, Stuttgart New York
Schwenzer N, Grimm G (Hrsg) (1990) Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde. Spezielle Chirurgie, Bd 1 und 2. Thieme, Stuttgart New York
Schwenzer (Hrsg) (1996) Traumatologie des Unterkiefers. In: Fortschritte Kiefer-Gesichtschirurgie (Bd. 41). Thieme, Stuttgart New York
Spießl B (1987) Osteosynthese des Unterkiefers. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Stoll W (1993) Operative Versorgung frontobasaler Verletzungen (inklusive Orbita) durch den HNO-Chirurgen. Eur Arch Otorhinolaryngol Suppl I: 287–307
Tilmann B (2009) Atlas der Anatomie des Menschen. Springer Berlin Heidelberg New York Tokyo
Tuli T, Hächl O, Rasse M, Kloss F, Gassner R (2005) Dentoalveoläre Traumen. Mund KieferGesichtsChirurgie 9: 324–329
Werry H (2000) Ophthalmologische Notfälle. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S. 67–76 (Tscherne Unfallchirurgie)
Wilhelm H (2009): Traumatische Opticusneuropathie. Laryngo-Rhino-Otol 88: 194–207

Thorax

H. Aebert

2.1 Basiswissen – 68
2.2 Thoraxwand – 77
2.3 Zwerchfellruptur – 81
2.4 Verletzungen der Lunge und großen Luftwege – 83
2.5 Herz und intraperikardiale große Gefäße – 89
2.6 Verletzungen der intrathorakalen Gefäße – 92
2.7 Thorakale Ösophagusverletzungen – 95
2.8 Verletzungen des Ductus thoracicus – 95
Literatur – 96

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_2,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

2.1 Basiswissen

2.1.1 Anatomie

Die **Brustwand** mit ihrem knöchernen Gerüst aus Brustbein, Rippen und Wirbelsäule besitzt die Funktion eines Schutzkäfigs für die an sich leicht verletzlichen Organe von Atmung und Kreislauf, deren traumatische Schädigung unmittelbar lebensbedrohlich ist. Die dynamische Stabilität von Knochen und Muskeln ist dabei eine wesentliche Voraussetzung für die Atmung.

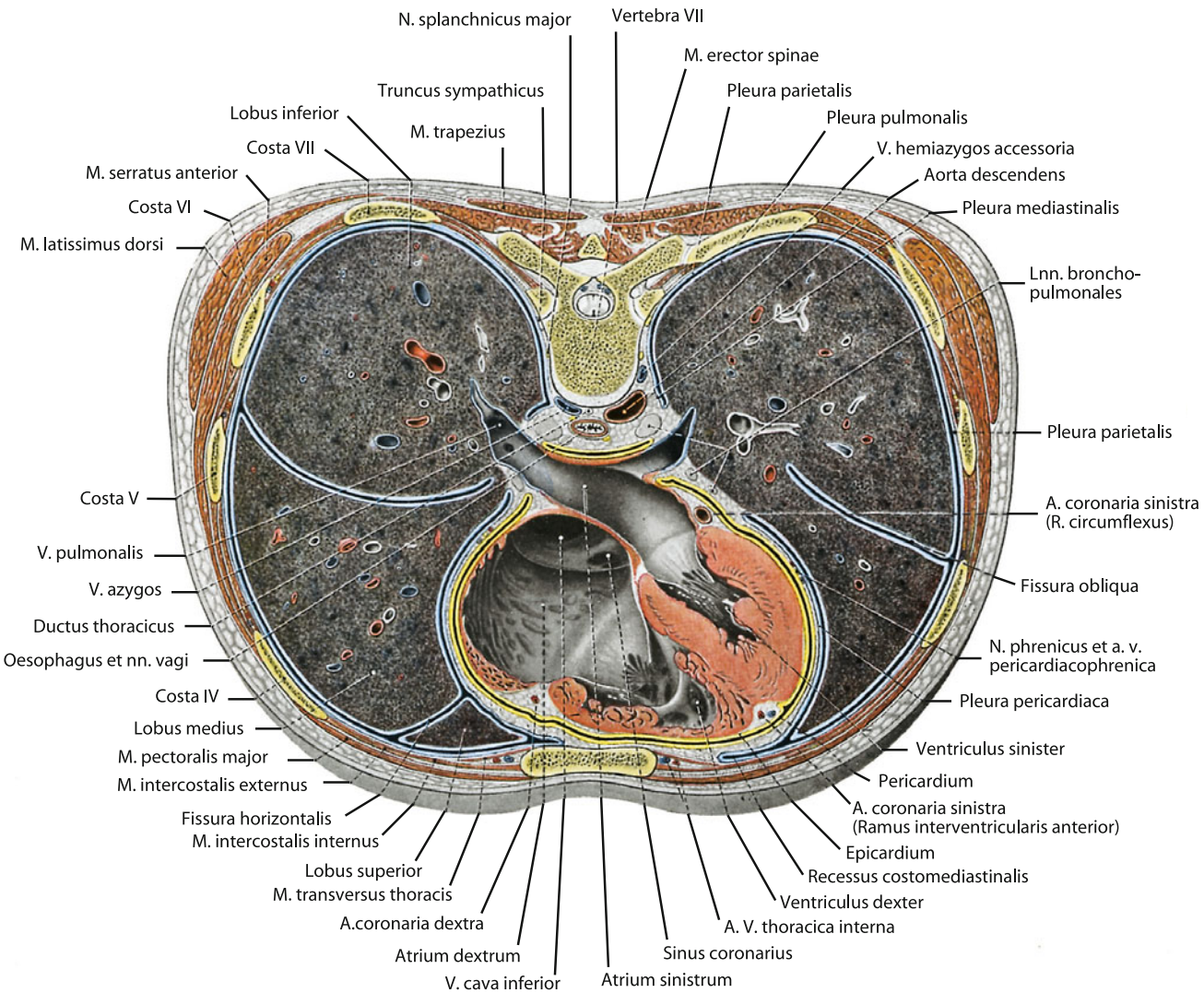
Das **Zwerchfell** trennt den Brust- vom Bauchraum und spielt zusammen mit dem thorakalen Knochen- und Muskelmantel die entscheidende Rolle bei der mechanischen Atemarbeit.

Das **Mediastinum** enthält neben Thymus und Herz zentrale Leitungsbahnen – die großen Gefäße, Nerven (Nn. phrenici et vagi), den Ductus thoracicus, die Speise- und Luftröhre – sowie zahlreiche Lymphknoten und Lymphbahnen der Brusteingeweide (◘ Abb. 2.1, ◘ Abb. 2.2).

2.1.2 Leitsymptome

Anamnese und **äußere Verletzungszeichen** geben wesentliche Hinweise für Art, Intensität und Richtung der stattgehabten Gewalteinwirkung. Die Verknüpfung mit den in ◘ Tab. 2.1 aufgeführten Leitsymptomen ermöglicht bereits eine relativ hohe diagnostische Sicherheit. Wesentlich ist aber, die Befunderhebung zu wiederholen und kritisch zu hinterfragen, da z.B. selbst bei einer Aortenruptur äußere Verletzungszeichen völlig fehlen und abgeschwächte Pulse auch durch eine chronische arterielle Verschlusskrankheit bedingt sein könnten.

Da sich bei Thoraxverletzungen aus manchen Leitsymptomen sofort durchzuführende therapeutische Maßnahmen ergeben, wie etwa beim Pneumothorax, werden die Leitsymptome und die zugehörigen Therapiemaßnahmen zusammen mit der initialen Basistherapie beim Thoraxtrauma in 2 Flussdiagrammen zusammengefasst (◘ Abb. 2.3, ◘ Abb. 2.4).



◘ **Abb. 2.1** Horizontalschnitt durch den Thorax in Höhe des 7. Brustwirbelkörpers. (Aus: Hetzer u. Zipfel 2000)

2.1.3 Diagnostik

Klinische Untersuchung

Die **Anamnese** des Verletzten bzw. die Befragung von Begleitpersonen oder Beobachtern eines Unfalls ermöglichen häufig entscheidende Rückschlüsse auf das Unfallgeschehen und damit wiederum auf mögliche Verletzungen. Es ist von wesentlicher Bedeutung, dabei soweit wie möglich auch Vorerkrankungen des Verletzten zu eruieren. Insbesondere häufige Herz-Kreislauf-Erkrankungen, wie Herzinfarkt oder Schlaganfall, können die Unfallursache darstellen oder zu Fehldeutungen Anlass geben.

Bei der **Inspektion** wird der Verletzte genau und von Kopf bis Fuß einschließlich des Rückens nach äußeren Verletzungszeichen abgesucht, penetrierende Fremdkörper werden dabei in situ belassen. Weiterhin achtet man auf Symptome wie Zyanose, Venenstauung, seitengleiche Atemexkursion, paradoxe Thoraxwandbewegungen etc..

Die **Auskultation** ist bei Thoraxverletzungen von zentraler Bedeutung. Die Ursache eines abgeschwächten oder aufgehobenen Atemgeräuschs lässt sich durch die **Perkussion** häufig noch weiter differenzieren, da sich beim Erguss eine Dämpfung und beim Pneumothorax ein Schachtelton findet.

Die **Palpation** des Thorax gibt Aufschluss über Krepitationen, Instabilitäten oder ein Hautemphysem. Die peripheren Pulse müssen im Seitenvergleich und hinsichtlich ihrer Qualität und des Rhythmus beurteilt werden.

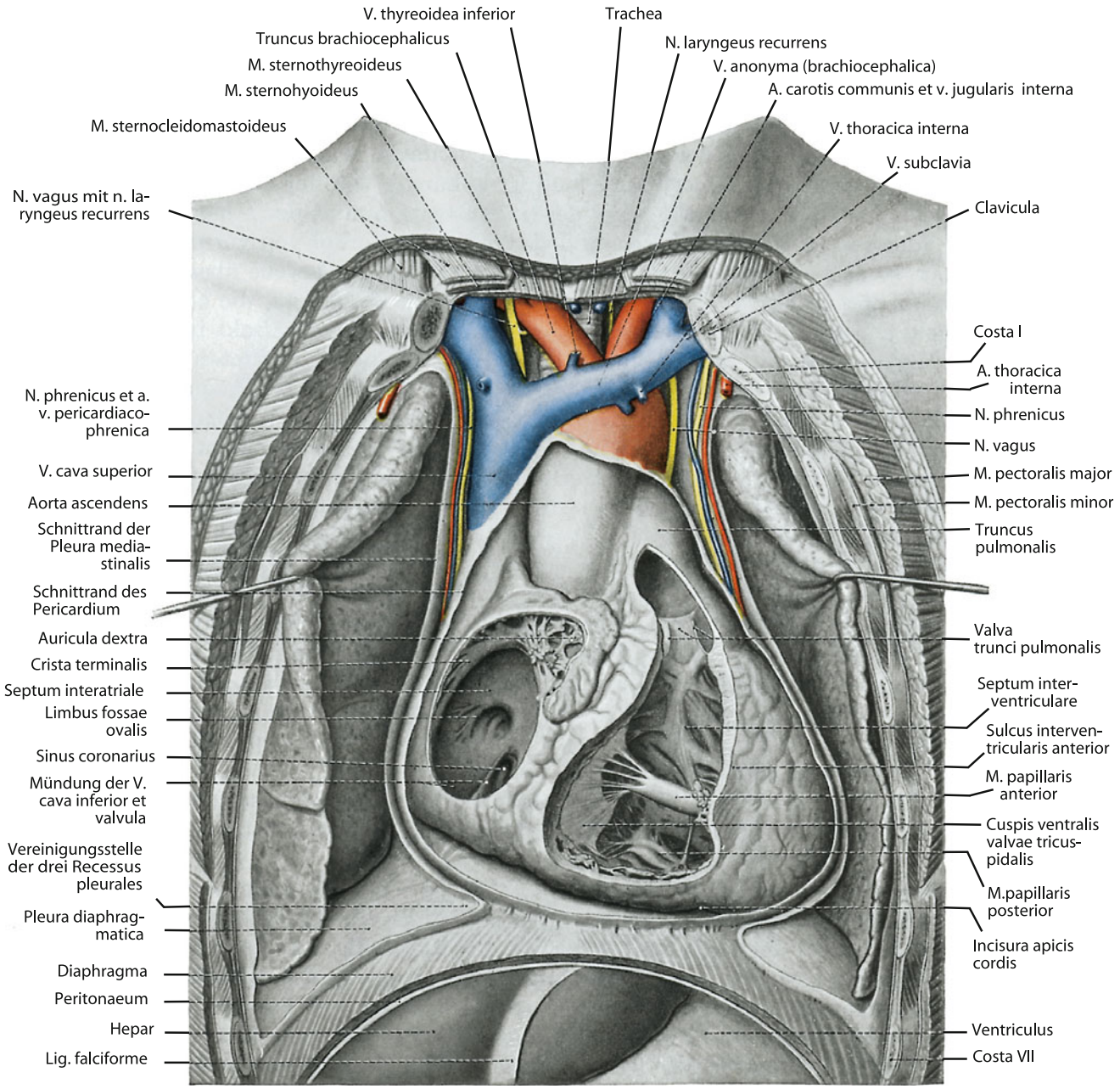


Abb. 2.2 Situs thoracis. (Aus: Hetzer u. Zipfel 2000)

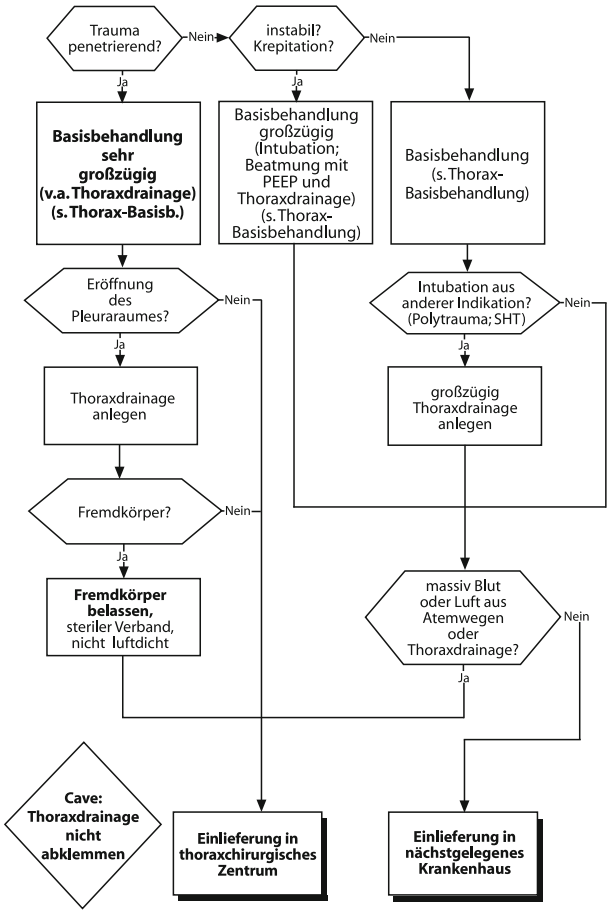


Abb. 2.3 Algorithmus zu den Leitsymptomen beim Thoraxtrauma. (Aus: Aebert 2001)

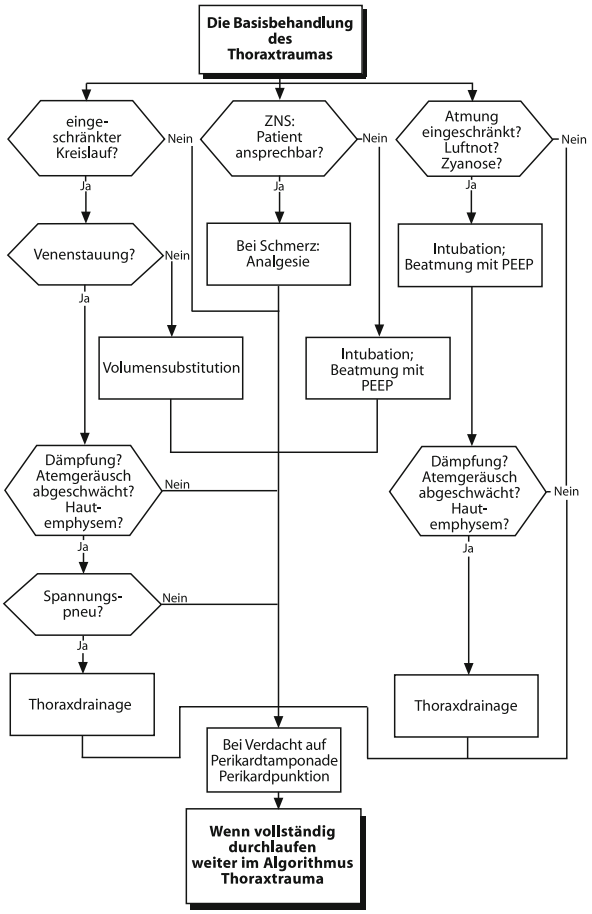


Abb. 2.4 Algorithmus zur Basistherapie beim Thoraxtrauma. (Aus: Aebert 2001)

Tab. 2.1 Leitsymptome bei Thoraxverletzungen

Symptom	Ursache, mögliche Verletzung von
Schmerz	
Atemabhängig	Thoraxwand, Rippen, Pleura (Pneumothorax!)
Vernichtungsschmerz, atemunabhängig	Aorta, Myokardinfarkt (Unfallursache!)
Blässe, Zentralisation	
Generalisiert	Volumenmangel (z.B. bei Hämatothorax)
Extremität isoliert	Gefäßverletzung (A. subclavia)
Zyanose	Respiratorische Insuffizienz (Pneumothorax, große Luftwege), Herzbeuteltamponade
Venenstauung	Herzbeuteltamponade, Mediastinalverschiebung bei Spannungspneumothorax
Hautemphysem	Lunge, Atemwege, selten Ösophagus
Instabilität, Krepitation, paradoxe Atembewegung	Knochen, insbesondere Rippen
Dyspnoe, Stridor	Pneumothorax, Hämatothorax, große Luftwege, Thoraxwandinstabilität
Atemgeräusch abgeschwächt/aufgehoben	Pneumothorax, Hämatothorax, Zwerchfellruptur, Fehlintubation
Pulse peripher abgeschwächt/aufgehoben	
Generalisiert	Volumenmangel
Obere Extremität isoliert	A. subclavia
Beide unteren Extremitäten isoliert	Aorta loco typico (Pseudokoarktation)
Blut/Luft aus Atemwegen/Thoraxdrainage	Lunge, große Atemwege, thorakale Gefäße

Bei Verdacht auf Pneumo- oder Hämatothorax mit eingeschränkter Atemfunktion muss u.U. noch vor der Anfertigung eines Röntgenbildes eine Thoraxdrainage gelegt werden, insbesondere bei intubierten und beatmeten Patienten.

Apparative Untersuchungen

Das **Röntgenbild des Thorax a.p.** ist die wichtigste apparative Basisuntersuchung. Bei der Beurteilung sucht man gezielt nach Frakturen, Pneumothorax, Hämatothorax, Lungenkontusion, Mediastinalemphysem, einer Verbreiterung oder Verziehung des Mediastinums, Zwerchfellhochstand oder intrathorakaler Verlagerung von Baucheingeweiden. Bei intubierten Patienten wird die korrekte Tubuslage und ggf. der Verlauf zentraler Zugänge und der Magensonde überprüft.

Das seitliche Röntgenbild gibt bei mobilen Patienten häufig zusätzliche Aufschlüsse. Zielaufnahmen können bei Verdacht auf Frakturen hilfreich sein, wie ein knöcherner Hemithorax. Dagegen zeigt sich auf einem seitlichen Röntgenbild des Sternums die Fraktur nur, wenn sie auch klinisch durch eine entsprechende Stufenbildung erkennbar ist. Beim schweren Trauma kostet die Untersuchung unnötig Zeit, in einer hier regelhaft angefertigten CT ist die Fraktur meist besser zu beurteilen (Frakturen der Wirbelsäule und des Schultergürtels: ▶ Kap. 4, Wirbelsäule, ▶ Kap. 5, Schulter).

Die **CT des Thorax mit Kontrastmittel (!)** wird am besten in Spiraltechnik angefertigt. Es ist die wichtigste weiterführende radiologische Untersuchung insbesondere hinsichtlich Lunge, Mediastinum und Gefäßen. Alle Frakturen im Thoraxbereich können ebensogut und häufig besser als in konventionellen Röntgenaufnahmen dargestellt werden. In Traumazentren mit entsprechender apparativer Ausstattung der Notaufnahme wird die Ganzkörper-CT inzwischen als initiale radiologische Screeninguntersuchung bei Mehrfachverletzten eingesetzt.

Die **Sonografie** im Schockraum hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, sogar ein präklinischer Einsatz wird diskutiert (Wening et al. 2008). Im Rahmen der Untersuchung des Abdomens werden auch die basalen Abschnitte der Pleuren und das Perikard mit untersucht. Ergüsse in diesen Körperhöhlen sowie ein Pneumothorax können mit hoher Treffsicherheit diagnostiziert werden. Wenn sowieso eine CT angefertigt wird, sollte auf die Ultraschalluntersuchung nicht viel Zeit verwendet werden. Eine wesentliche Rolle spielt die Sonografie in der Verlaufskontrolle, da sie ohne Umlagern und auch im Operationssaal ohne viel Aufwand wiederholt werden kann.

Die **Echokardiografie** transthorakal ist rasch durchgeführt und insbesondere hilfreich bei Verdacht auf einen Perikarderguss. Zusätzlich erhält man einen Überblick über die Kontraktilität und Funktion von Myokard und Klappen. Als transösophageale Untersuchung gibt sie detaillierten Aufschluss über Klappenläsionen und Aortenverletzungen. Die Echokardiografie ist damit das wichtigste allgemein verfügbare bildgebende Verfahren zur Diagnose von Herzverletzungen.

Die **MRT** ist zeitraubender und eingeschränkter verfügbar als die Kontrastmittel-CT, zudem bringt sie im Vergleich nur selten zusätzliche Informationen.

Die **Endoskopie** ist zur Diagnose und v.a. zur exakten Lokalisation von Verletzungen der großen Luftwege und des Ösophagus unentbehrlich.

Die **Angiografie** hat durch die Weiterentwicklung der CT mit dreidimensionaler Rekonstruktion an diagnostischer Bedeutung verloren. Sie wird meist nur noch im Verein mit interventionellen Maßnahmen wie der Platzierung von Endovaskularprothesen etwa bei der Aortenruptur eingesetzt.

Die **arterielle Blutgasanalyse** wird initial und in kurzen Abständen (maximal halbstündlich bis stündlich) bei jedem schweren Thoraxtrauma bis zur Stabilisierung durchgeführt, da die periphere Sättigungsanzeige v.a. bei Zentralisation und Zyanose unzuverlässig ist.

Das **Elektrokardiogramm (EKG)** ermöglicht die Differenzierung von Rhythmusstörungen und die Diagnose einer Herzkontusion bzw. kardialen Ischämie oder Myokardnekrose (ST-Hebungen). Außerdem kann es Hinweise auf eine mögliche kardiale Unfallursache wie Myokardinfarkt oder Schlaganfall bei Vorhofflimmern geben.

Der **Rechtsherzkatheter** (Swan-Ganz) ist bei schweren Thoraxtraumen oft hilfreich für Diagnostik und Therapiesteuerung. Beispielsweise sind die Füllungsdrücke bei Perikardtamponade hoch. Die Ursache einer Zentralisation und niedriger Herzzeitvolumen kann differenziert werden nach eingeschränkter Herzleistung oder Hypovolämie, hohen Shuntvolumina etc..

Die **Serumwerte von CK und CKMB** sollten bei jedem schweren Thoraxtrauma oder bei Verdacht auf Herzinfarkt als Unfallursache bestimmt werden (sofort und nach 6 sowie 24 h). Es ist zu beachten, dass der CKMB-Anteil der Thoraxwandmuskulatur relativ hoch ist und bei begleitendem schwerem Schädel-Hirn-Trauma (SHT) dieser Subtyp auch aus dem Gehirn freigesetzt werden kann. Liegt der MB-Anteil aber deutlich >10%, so besteht der dringende Verdacht auf eine Schädigung des Herzens. Durch die Bestimmung von Troponin I im Serum kann ein Myokardschaden definitiv gesichert werden.

2.1.4 Anästhesie für Thoraxoperationen

Wenn möglich, sollte immer ein Doppellumentubus oder Bronchusblockertubus verwendet werden, da dies fast alle thorakalen Eingriffe ganz wesentlich erleichtert. Bei in dieser Technik ungeübtem Anästhesisten und erheblicher thorakalen Blutung gilt es, eine Zeitverzögerung gegen die bessere Übersicht abzuwägen. Eine stärkere intrabronchiale Blutung kann ohne Doppellumentubus in Seitenlage durch Übertreten von Blut in das Bronchialsystem der anderen Lunge die Beatmung massiv beeinträchtigen. Hier wie auch in anderen Fällen einer notwendigen Einlungenbeatmung kann die Anästhesie den normalen Tubus unter bronchoskopischer Sicht in einen Hauptbronchus vorschieben. Generell muss intraoperativ eine laufende Kommunikation und Abstimmung zwischen dem Anästhesisten und dem Chirurgen erfolgen. So sind bei schlechten intraoperativen Blutgasen intermittierend beide Lungen zu beatmen.

Bei Eingriffen am Herzen und den großen Gefäßen ist die Koordination einzelner Operationsakte mit der Blutdruckeinstellung durch die Anästhesie von wesentlicher Bedeutung. Ein zentraler Zugang und eine arterielle Druckmessung sind obligat. Ein Swan-Ganz-Katheter ist bei jedem schweren Thoraxtrauma berechtigt. Als sehr hilfreich erweisen sich oft entsprechend dimensionierte Zugänge wie etwa ein Sheldon-Katheter oder ähnliches in der V. jugularis interna, die zusammen mit Druckmanschetten an Kunststoffinfusionsflaschen oder Blutkonservenbeuteln die Möglichkeit zur raschen Zufuhr großer Volumenmengen schaffen. Ein Cell Saver sollte eingesetzt werden.

2.1.5 Lagerung

Für **alle lateralen Thorakotomieformen** wird der Patient auf der Gegenseite gelagert. Eine Vakuummatratze ist hier hinsichtlich Stabilität und Tempo optimal (▶ Kap. 21).

Bei grenzwertigem Gasaustausch wird diese Lagerung u.U. vom Patienten nicht toleriert! Daher ist eine Blutgasanalyse nach Abschluss der Lagerung dringend zu empfehlen.

Allerdings wird häufig eine Besserung nach Ausräumen von Blut und Koageln bzw. nach Beseitigung eines massiven Luftlecks beobachtet. Liegende Thoraxdrainagen werden bei größerem Luftleck belassen und mit abgewaschen, um einem Spannungspneumothorax vorzubeugen. Von wesentlicher Bedeutung ist schließlich ein ausreichendes Abknicken des Operationstischs in Höhe der Thorakotomie und damit in der Regel im Bereich der Schulterblattspitze. Abwaschen und Abdecken erfolgt vom Brustbein bis zur Wirbelsäule und von der Axilla bis mindestens zum Nabel, besser bis zur Symphyse, um alle Möglichkeiten für eine ggf. notwendige Erweiterung des Eingriffs ins Abdomen zur Verfügung zu haben.

Die **Rückenlagerung** wird eingesetzt bei der Sternotomie und der bilateralen Thorakotomie. Durch Tieferstellen des Kopfteils wird der Nacken etwas überstreckt, um die Kinnspitze vom Jugulum zu entfernen. Die Arme werden möglichst angelagert, etwa durch Einschlagen in Tücher, die dann unter dem Rücken durchgezogen werden. Für die bilaterale Thorakotomie empfiehlt es sich, die Arme seitlich möglichst dorsal zu lagern und um 20–30° im Schultergelenk zu abduzieren, damit die laterale Thoraxwand gut zugänglich wird. Abgewaschen wird von oberhalb des Jugulums bis zur Symphyse und seitlich bis mindestens zur vorderen Axillarlinie bei der Sternotomie bzw. bis zur hinteren Axillarlinie bei der bilateralen Thorakotomie. Die Rückenlagerung wird respiratorisch besser toleriert als die strenge Seitenlage, u.U. kann man nach Unterlegen von Keilen unter Thorax und Becken eine **partielle Seitenlagerung** erreichen, die einerseits die Atemgassituation nicht verschlechtert und trotzdem eine anterolaterale Thorakotomie (s. unten) gestattet.

Immer großzügig abdecken, Inzisionen nicht zu klein und nicht zu kaudal vornehmen!

2.1.6 Zugangswege

Minithorakotomie zur Anlage einer Thoraxdrainage

Die Minithorakotomie ist der sicherste Weg, eine Thoraxdrainage ohne Verletzung innerer Organe zu platzieren und lässt sich auch an der Unfallstelle durchführen (Abb. 2.5).

Nach Desinfektion und Abdecken mit einem Lochtuch wird in der mittleren Axillarlinie im 4. Interkostalraum (ICR), der in der Regel der Mamillenhöhe entspricht, beim wachen Patienten eine großzügige Lokalanästhesie gesetzt. Diese soll bis unmittelbar zur Pleura reichen, die weitaus am schmerzempfindlichsten ist. Dazu sucht man mit der tastenden Nadel den Oberrand der 5. Rippe auf, schiebt noch 3–4 mm vor und injiziert hier, ebenso wie am Periost selbst, nach vorangegangener Aspiration ein Lokalanästhetikumdepot von 2–3 ml, z.B. Xylocain 1%ig.

Der Hautschnitt von etwa 4 cm, bei schlanken Patienten etwas weniger, wird über der darunter liegenden Rippe waagerecht angelegt. Die Subkutis wird scharf bis zur Muskulatur durchtrennt. Die oberflächliche und die Interkostalmuskulatur am Rippenoberrand werden dann mit einer kräftigen Schere durch wiederholtes Spreizen schräg nach oben stumpf auseinandergedrängt. Der zwischendurch eingeführte Finger hilft bei der Orientierung. Die Pleura selbst wird immer mit dem Finger und nicht mit dem Trokar durchstoßen. So vermeidet man Verletzungen der inneren Organe, und der tastende Finger orientiert gleichzeitig über die Verhältnisse, etwa ob tatsächlich ein Pneumothorax vorhanden ist oder ob bedingt durch eine Zwerchfellruptur Leber, Milz oder Darm prolabiert sind.

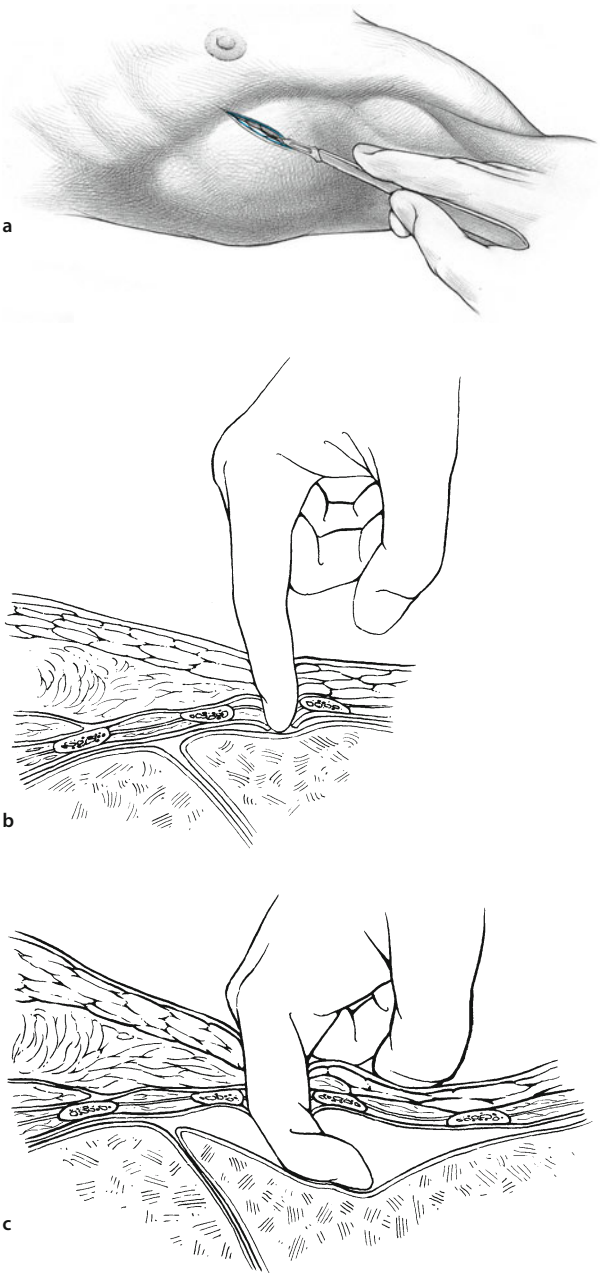


Abb. 2.5a–c Einbringen einer Thoraxdrainage über Minithorakotomie. (Aus: Pinter et al. 2000)

Mit der anderen Hand wird nun entlang dem in situ verbliebenen Finger die großlumige Drainage (mindestens 28 oder 32 Charr) mit der in das Innere der Drainage zurückgezogenen Trokarspitze vorgeschoben. Die Fixation der Drainage erfolgt durch eine kräftige (z.B. 1-er Mersilene) Naht, die am besten V-förmig um die Drainageeintrittstelle am ventralen Wundrand gestochen wird. So lässt sich der beste Luftabschluss erreichen, der zur Vermeidung eines Hautemphysems notwendig ist. Der Rest der Wunde wird mit kräftigen und tiefgreifenden Einzelknopfrückstichnähten verschlossen. Abschließend legt man noch eine ebenfalls tiefgreifende, weitgestochene und nach kaudal offene U-Naht um die Drainage, die zum Verschluss des Kanals nach Ziehen der Drainage dient.

Beim beatmeten Patienten kann das Drainageende offen bleiben bzw. wird beim reinen Pneumothorax nicht luftdicht mit einer sterilen Kompresse umwickelt. Anderenfalls muss ein Heimlich-Ventil konstruiert werden, falls zunächst keine Bülau-Ableitung unter Wasser zur Verfügung steht. Dazu wird vom Finger eines Handschuhs knapp die Spitze abgeschnitten und die Basis mit Hilfe einer Ligatur am Drainageende fixiert. Keinesfalls darf die Drainage einfach abgeklemmt oder verschlossen werden! Nach Anlage wird die korrekte Lage durch ein Thoraxröntgenbild mindestens a.p., besser in 2 Ebenen, überprüft und dokumentiert.

Die Drainagebehandlung wird unter Sog bis zum Sistieren des Luftlecks fortgeführt. Dann wird nach 24 h ohne Sog und bei unauffälligem Befund schließlich mit über 2–4 h abgeklemmter Drainage geröntgt, diese kann anschließend entfernt werden. Eine weitere Röntgenkontrolle in 2 Ebenen nach 4–6 h ist obligat.

Laterale Thorakotomie

Die laterale Thorakotomie wird als Standardzugang bei anzunehmenden schwereren Verletzungen in Form einer **posterolateralen Thorakotomie** ausgeführt (Abb. 2.6). Die posterolaterale Thorakotomie ergibt die beste Übersicht insbesondere bei dorsal gelegenen Verletzungen im Bereich von Trachea, Ösophagus, Lungenhilus oder bei Aortenruptur. Ein Nachteil ist die Durchtrennung großer Muskelmassen, insbesondere des M. latissimus dorsi, was postoperativ zu vermehrten Schmerzen mit entsprechender Einschränkung von Atmung und Elevation des Arms führt. Weiterhin neigt der dorsale Wundanteil, v.a. bei langen Intubations- und damit Immobilisationszeiten zu druckbedingten Wundheilungsstörungen.

Alternativ kann eine **anterolaterale Thorakotomie** gewählt werden (Abb. 2.7), die den M. latissimus dorsi weitgehend schont.

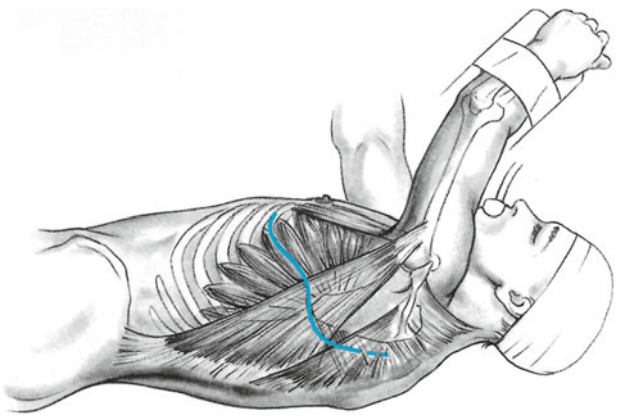


Abb. 2.6 Posterolaterale Thorakotomie. (Aus: Heberer et al. 1991)

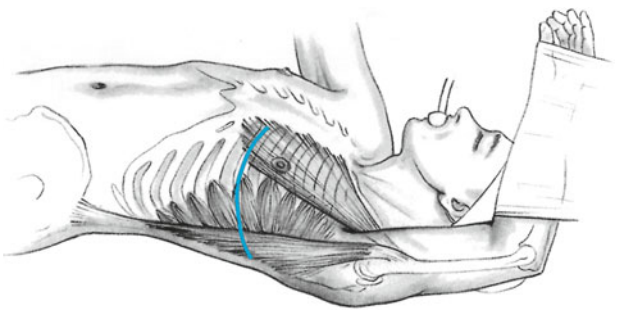


Abb. 2.7 Anterolaterale Thorakotomie. (Aus: Heberer et al. 1991)

Bei entsprechendem intraoperativem Befund ist die Erweiterung zur posterolateralen Thorakotomie möglich. Die anterolaterale Thorakotomie kann bei Zeitnot, wie bei thorakaler Massenblutung oder zur offenen Herzmassage, auch ohne strenge Seitenlagerung etwa in der Notaufnahme ausgeführt werden. Dazu wird bei dem in Rückenlage befindlichen Patienten die zu eröffnende Thoraxhälfte durch Unterlegen von Keilen oder Kissen unter Becken und Thorax angehoben und der Arm im Schultergelenk entweder dorsal überstreckt oder wie bei der Seitenlagerung über dem Kopf fixiert.

Der Hautschnitt beginnt bei der anterolateralen Form ca. 3 cm lateral des Sternumrandes, bei der posterolateralen Form etwa im gleichen Abstand lateral der Mamille. Vor allem bei Frauen wird man die Inzision in die Submammärfalte legen. Dann schwingt der Schnitt nach kranial und dorsal in Richtung auf die Axilla bis in Höhe der Schulterblattspitze. Bei der posterolateralen Form biegt man dann nach dorsal um und umschneidet die Schulterblattspitze in einem Abstand von etwa 2 cm. Anschließend wird der Schnitt wieder schräg nach kranial geführt, entlang des dorsalen Schulterblattrandes. Je höher man in den Thorax eingehen möchte, desto weiter nach kranial muss die Inzision fortgesetzt werden.

Der M. latissimus dorsi wird mit der Hand unterfahren und mit dem elektrischen Messer unter separater Koagulation von Gefäßstümpfen durchtrennt, wobei diese zwischen den Fingern der unterfahrenden Hand komprimiert werden. Die Durchtrennung soll möglichst weit kaudal erfolgen, um die von kranial kommende Gefäß-Nerven-Versorgung weitgehend zu schonen. Dorsal wird dann der Rand des M. serratus anterior aufgesucht. Dieser Muskel wird von hier aus nach ventral unterfahren und aus denselben Gründen und mit derselben Technik ebenfalls möglichst weit kaudal durchtrennt. Der Mindestabstand zum Ansatz am Schulterblatt sollte 2 cm betragen, um beim Wundverschluss eine sichere Naht zu ermöglichen. Ventral wird der M. serratus anterior jedoch vorläufig nicht auf voller Länge der Hautinzision, sondern nur bis zu seinen kostalen Ansätzen durchtrennt. Die ventral gelegenen Muskelanteile werden erst nach Aufsuchen und Eingehen im entsprechenden ICR abgesetzt, indem die kostalen Muskelansätze mit dem Raspatorium von der entsprechenden Rippe abgeschoben werden.

Zur Identifikation der einzelnen Rippen werden diese nach Anheben und stumpfem Unterminieren des Schulterblatts von kranial her kommend abgezählt.

Zur Orientierung: Die 1. Rippe ist nicht zu tasten, der Abstand von der 2. zur 3. Rippe ist größer als die Abstände zwischen den übrigen Rippen.

Das Periost wird entlang der Rippenmitte mit dem elektrischen Messer inzidiert und mit einem breiten Raspatorium zusammen mit den ventral noch anhaftenden Fasern des M. serratus anterior nach kranial abgeschoben (Abb. 2.8). Die Blutstillung erfolgt am besten und schnellsten mit der elektrischen Kugel. Anschließend werden ebenfalls mit dem Raspatorium die Interkostalmuskelfasern vom Oberrand der Rippe abgeschoben, wobei die Pleura möglichst noch nicht eröffnet werden sollte. In der Regel wird man jetzt eine erneute Blutstillung vornehmen. Das Eingehen in den Thorax erfolgt im mittleren Wundanteil auf der Rippenrückseite (Abb. 2.9) und damit im Bett der Rippe durch Inzision mit der Schere unter kurzer Unterbrechung der Beatmung bzw. Übergang auf Einlungenbeatmung. Die Inzision wird mit dem elektrischen Messer nach Unterfahren der Pleura mit dem Finger nach ventral und dorsal erweitert. Es kann auch das Rippenperiost primär nach kaudal abgeschoben und der ICR am Unterrand der Rippe eröffnet werden, was ergonomisch günstiger und schneller ist. Bei diesem

Vorgehen müssen aber häufiger die Interkostalgefäße durch Ligatur versorgt werden. Ein geeigneter Spreizer mit stumpfen, gebogenen Valven wird eingeführt, und dann werden die Rippen langsam, am besten mit kurzen Pausen, auseinandergespreizt. Beim raschen Spreizen kommt es v.a. bei älteren Patienten regelmäßig zu Rippenfrakturen.

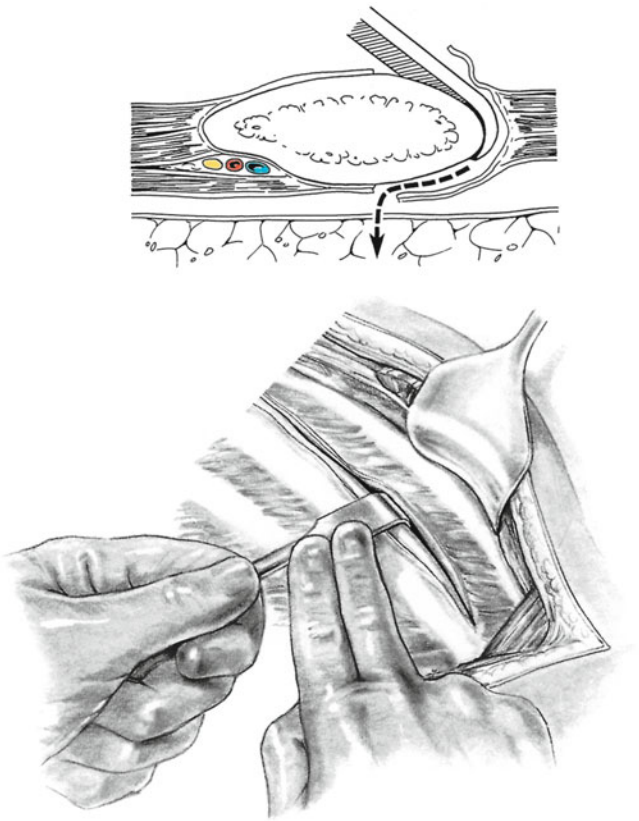


Abb. 2.8 Ablösen des Periosts von der Rippe. (Aus: Heberer et al. 1991)

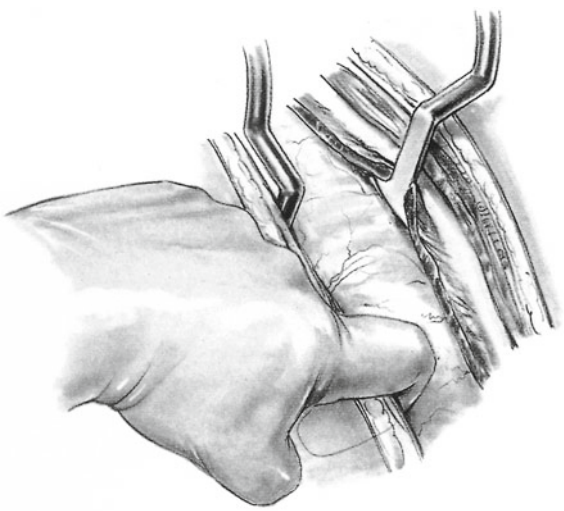


Abb. 2.9 Eingehen in den Thorax auf der Rippenrückseite. (Aus: Heberer et al. 1991)

Bei Eröffnung der Pleurahöhle können bisher tamponierte Blutungen plötzlich massiv zunehmen, daher muss spätestens zu diesem Zeitpunkt die Möglichkeit zur massiven Volumen-Blut-Gabe durch die Anästhesie gegeben sein und dem Chirurgen müssen ausreichende Absaugmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Folgende Hinweise können zur **Orientierung über die am besten geeignete Thorakotomiehöhe** für verschiedene Eingriffe gegeben werden:

- Trachea (immer von rechts), Aorta loco typico (immer von links) und die Lungenoberlappen werden am besten vom 4. ICR aus angegangen.
- Bei unklarer Diagnose oder für den Zugang zum Lungenhilus wählt man den 5. ICR.
- Für das Zwerchfell eignet sich der 6. oder 7. ICR (Tab. 21.1).

Nie sollte man initial kaudal des 7. ICR eingehen.

Bei Bedarf ist eine weitere Thorakotomie von derselben Hautinzision aus möglich, wobei mindestens 2, besser aber 3 Rippen zwischen den beiden Thorakotomien liegen sollten und die Interkostalgefäße sorgfältig geschont werden müssen, um das Risiko einer Thoraxwandnekrose zu verringern. Eine weitere Alternative besteht in der Resektion einer Rippe durch Aushülsen aus dem Periost, Herausluxieren im Sternokostalgelenk und dorsalem Durchtrennen mit der Rippenschere oder Luer-Zange. Alternativ kann die Rippe auch dorsal nach Durchtrennen der Bandverbindungen aus den Wirbelgelenken mit dem Raspatorium luxiert werden.

Paravertebral sollte man immer zurückhaltend mit der Elektrokoagulation sein, da das Risiko einer Weiterleitung von Strömen durch die Nervenwurzeln ins Myelon und damit im Extremfall einer Paraplegie besteht, was lediglich bei bipolarer Koagulation ausgeschlossen ist.

Vor dem **Wundverschluss** werden in der Regel 2 großlumige (32 Charr) Thoraxdrainagen über separate seitliche Stichinzisionen eingebracht. Eine soll ventral im Bereich der Pleurakuppel liegen, zur Drainage von Luft, und eine dorsokaudal, zur Drainage von Blut bzw. Wundsekret. Es empfiehlt sich, die Drainagen bei entferntem Thoraxspreizer zu platzieren, um die sich sonst ergebende Dislokation der Spitze beim Thoraxverschluss zu vermeiden. Die Drainagen werden mit kräftigen Nähten (1-er Mersilene) gesichert, und zusätzlich wird eine U-Naht aus demselben Material zum Verschluss der Öffnung beim Ziehen vorgelegt. Der eröffnete ICR wird mit resorbierbaren (2er Vicryl) U-Nähten verschlossen, die kranial durch die Lefze aus Periost bzw. Interkostalmuskulatur und kaudal im Nachbar-ICR parallel zum Rippenverlauf allschichtig durch die Interkostalmuskulatur und Faszie mit Ausnahme der Pleura gestochen werden. Bei älteren Patienten, nach Resektion einer Rippe oder bei weitem Klaffen des eröffneten ICR können 3–4 Perikostalnähte sinnvoll sein, die um die beiden benachbarten Rippen gestochen werden (Abb. 2.10). Danach ist sorgfältig nach verletzten Interkostalgefäßen zu suchen.

Alle diese Nähte werden vorgelegt und dann die Abknickung des Tischs aufgehoben. Anschließend werden die Rippen mit einem Approximator (Abb. 2.10) angenähert oder alternativ durch Anziehen der Perikostalnähte. Auf die übrigen Nähte darf v.a. bei älteren Patienten oder bei ausgedehntem Trauma der Thoraxwand mit entsprechend mürben Gewebeverhältnissen nicht zu viel Spannung gebracht werden, da die Interkostalmuskeln nur ein begrenztes Nahtwiderlager bieten. Beim Ausriss besteht das Risiko einer Thoraxwandhernie.

Bei Rippenfrakturen werden die der Inzision anliegenden kleineren Fragmente entfernt, einzelne Frakturen können durch

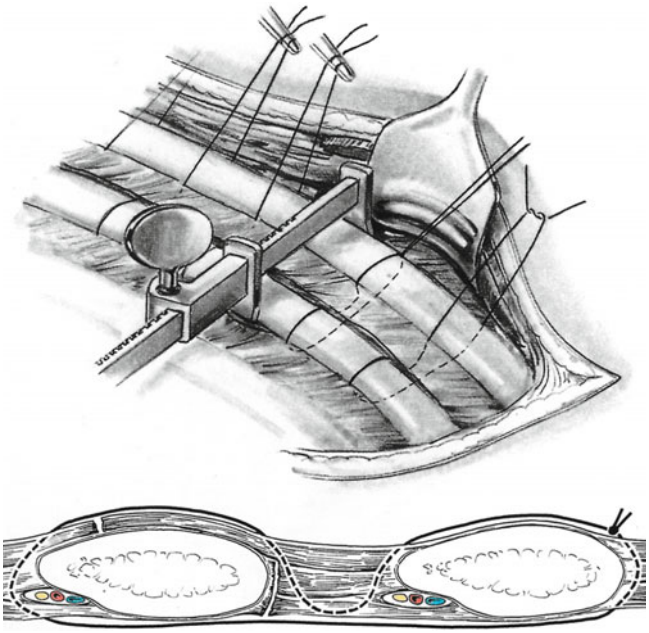


Abb. 2.10 Verschluss des Interkostalraums mit resorbierbaren Perikostalnähten. (Aus: Heberer et al. 1991)

weit um die Rippe gestochene Achtertournähte geschient werden. Schmerzen entstehen weniger durch die Fraktur als solche, sondern vielmehr durch die Krepitation der Knochenenden bei Bewegung.

Die großen Thoraxwandmuskeln werden unter Einschluss der Faszien schichtweise mit 2er Vicryl mit fortlaufenden Nähten readaptiert. Nach fortlaufender Subkutannaht erfolgt der Hautverschluss. Insbesondere bei der posterolateralen Thorakotomie und bei schwerverletzten Patienten bevorzugen wir hier nichtresorbierbare monofile Nähte (fortlaufend Rückstich- oder Einzelknopfrückstichnähte), da bei längerer postoperativer Immobilisation und Rückenlagerung sich insbesondere dorsal gerne druckbedingte Wundheilungsstörungen entwickeln. Ansonsten kommt auch ein resorbierbarer Intrakutanfaden infrage (Maxon o.Ä.).

Thorakoskopie

Der Einsatz der Thorakoskopie ist beim Thoraxtrauma primär und v.a. bei instabilen Patienten nur in Ausnahmefällen durch Geübte sinnvoll und setzt erhebliche Erfahrung voraus. Regelmäßig ist eine Einlungenbeatmung erforderlich. Sekundär wird dieses Verfahren aber zunehmend zum Ausräumen von Hämatomen oder im Frühstadium eines Pleuraempyems verwendet.

Sternotomie

Die Sternotomie bietet die beste Übersicht über das Herz und die herznahen großen Gefäße. Zudem sind die postoperativen Schmerzen geringer als bei einer lateralen Thorakotomie. Bis auf den linken Unterlappen können auch alle Lungenresektionen von diesem Zugang aus durchgeführt werden, wobei für den Ungeübten Lungenlappenresektionen nicht einfach sind. Dazu wird am besten das Perikard mit Haltenähten gefasst und das Herz zur Gegenseite gezogen. Dorsal gelegene Lungenabschnitte können durch Unterlegen feuchter Tücher nach ventral verlagert und damit leichter zugänglich werden. Im Notfall ist auch eine laterale Erweiterung im 4. oder 5. ICR oder türflügelartig supraklavikulär und lateral durch den Rippenbogen möglich (Abb. 2.11).

Abb. 2.11 Eine Sternotomie mit Erweiterung nach supraklavikulär und durch den unteren Rippenbogen (Zugang nach Masaoka) ergibt eine gute Übersicht über die jeweilige Thoraxhälfte

Der Hautschnitt erfolgt vom Jugulum bis 3 cm kaudal des Xiphoids (Abb. 2.12); Subkutis, Faszie und Periost werden mit dem elektrischen Messer durchtrennt. Wichtig ist die Einhaltung der Mittellinie. Zur Orientierung hilfreich sind die mediane Grube am Sternumoberrand im Jugulum und die ICR, die sich beidseits gut von der Inzision aus tasten lassen. Das Xiphoid kann schräg verlaufen! Seine Spitze wird nach Durchtrennung der Rektusfaszie in der Linea alba mit dem Finger stumpf möglichst weit nach kranial unterfahren, um den Knochen vom Herzbeutel und den Pleuren abzulösen. Anschließend wird das Brustbein im Atemstillstand mit einer Sternumsäge durchtrennt (Abb. 2.12), oder, falls diese nicht zur Verfügung steht, mit einer oszillierenden Säge, wie sie auch bei anderen Osteotomien Verwendung findet.

Bei der Durchtrennung des Brustbeins mit einer oszillierenden Säge ist darauf zu achten, kein zu schmales Sägeblatt zu verwenden und zunächst auf voller Länge die Lamina externa zu durchtrennen.

Die Lamina interna wird mit der vom Bohren etwa an der Wirbelsäule her vertrauten Technik (wiederholtes vorsichtiges Vorschieben und Zurückziehen bis der Widerstand schwindet) unter Stoppen der Beatmung ebenfalls von kaudal nach kranial durchtrennt.

Resternotomien, bei den ja zunehmend häufiger werdenden herzoperierten Patienten (etwa 100.000 pro Jahr in Deutschland), erfolgen in derselben Technik und sind wegen des Komplikationsrisikos erfahrenen Thoraxchirurgen vorbehalten. Die Blutstillung am initial kräftig blutenden Periost führt man am besten direkt mit der elektrischen Kugel durch. Die V. anonyma wird aufgesucht und der verfettete Thymusrest kaudal davon entweder vorsichtig mit dem elektrischen Messer oder zwischen kräftigen Ligaturen durchtrennt. Die im Thymusrest enthaltenen Gefäße und v.a. die kräftigen Venen können Ursache für erhebliche Nachblutungen sein. Eventuell im Herzbeutel stehendes Blut schimmert bläulich durch. Der Herzbeutel wird mit 2 Pinzetten gefasst und vorsichtig ventral eröffnet. Bisher durch das Perikard tamponierte Blutungen können dann rasch wieder aktiv werden! Sie sind ggf. zunächst digital zu komprimieren. Ältere Koagel werden erst nach Komplettierung der Perikardiotomie in Form eines auf dem Kopf stehenden Y und Einbringen von Perikardhaltenähten entfernt. Dazu werden links und rechts 2–3 kräftige Mersilenenähte durch Perikard und Subkutis oder Kutis eingebracht.

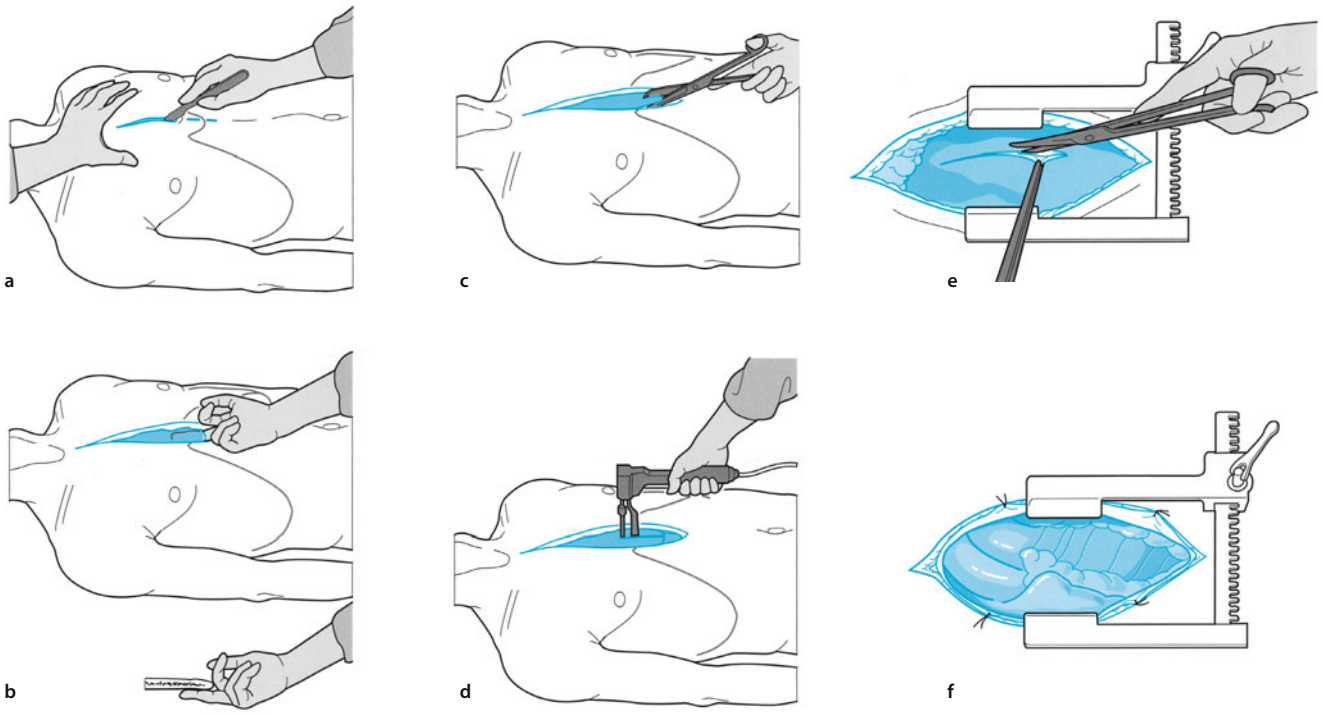


Abb. 2.12a–f Ablauf einer medianen Sternotomie. (Aus: Hetzer u. Zipfel 2000)

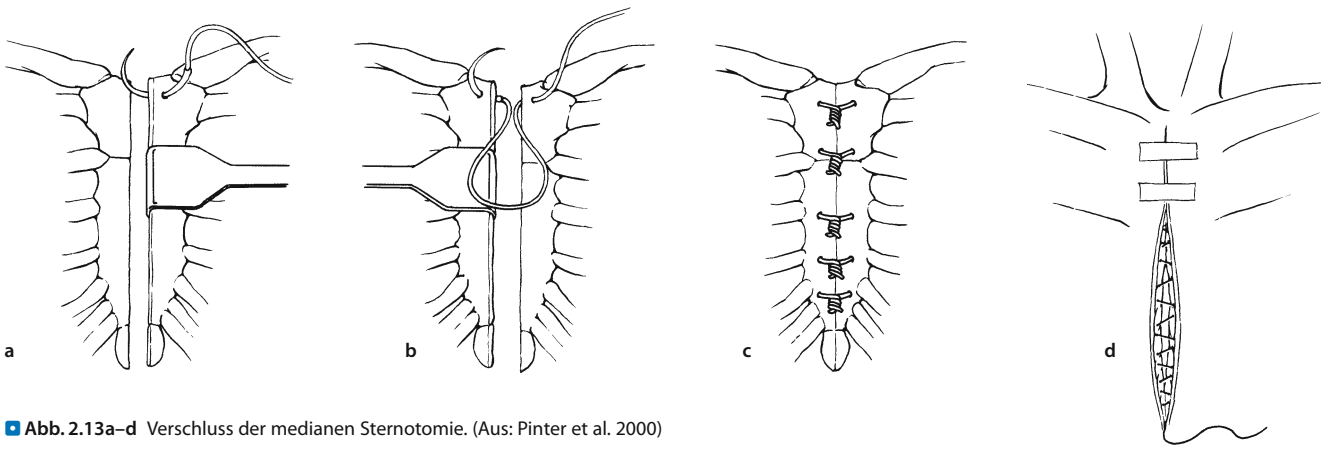


Abb. 2.13a–d Verschluss der medianen Sternotomie. (Aus: Pinter et al. 2000)

Der Zugang zu den Pleurahöhlen erfolgt bei Bedarf durch retrosternales Durchtrennen von mediastinalem Fett und Pleura von kaudal nach kranial, wobei kranial sorgfältig auf den N. phrenicus geachtet werden muss.

Vor dem **Wundverschluss** werden eröffnete Pleurahöhlen nach denselben Prinzipien wie bei der lateralen Thorakotomie drainiert. Sie können ebenso wie die Drainagen des Retrosternalraums (eine kranial, eine kaudal) subxiphoidal ausgeleitet werden. Das Brustbein wird mit 5–6 kräftigen nadelarmierten Drahtcerclagen verschlossen (Abb. 2.13). Die Drähte müssen in entsprechendem Abstand von der Knocheninzision und am besten durch die Rippenansätze geführt werden. Bei osteoporotischem Brustbein haben sich Achtertouren bewährt, insbesondere zur Überbrückung des Gelenks zwischen Manubrium und Corpus sterni, um Scherbewegungen in Längsrichtung und resultierende sekundäre Instabilitäten zu verringern. Nach festem, aber gefühlvollem Zerklieren der Drähte (das Sternum ist v.a. bei älteren Patienten wesentlich weicher als etwa Olekranon, Patella oder gar Femur) werden die Enden umgebogen und die Faszie von kranial und kaudal kommend mit 2er Vicryl fortlaufend verschlossen. Diese Naht trägt besonders bei weichem Knochen zusätzlich zur Stabilisierung des Brustbeins bei, wenn sie weit gestochen und kräftig angezogen wird. Es folgen fortlaufende Subkutan- und Intrakutannähte mit resorbierbarem Material.

Bilaterale Thorakotomie

Dieser Zugang (Abb. 2.14) bietet eine gute Übersicht über beide Thoraxhälften, das Herz und die großen Gefäße mit gewisser

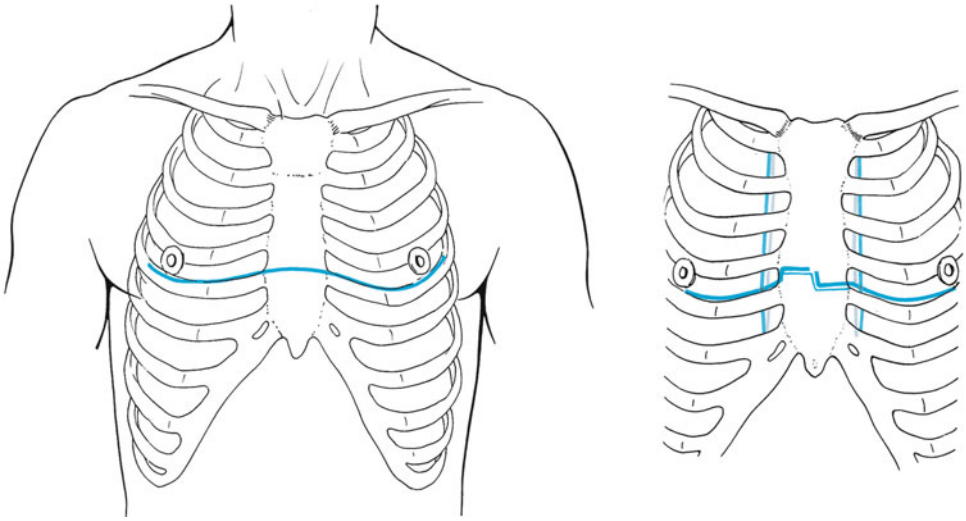


Abb. 2.14 Bilaterale Thorakotomie. (Aus: Heberer et al. 1991)

Einschränkung hinsichtlich des Aortenbogens, sodass über diesen Zugang nahezu alle Thoraxverletzungen versorgbar sind. Ideal ist er bei beidseitigem penetrierendem Trauma wie etwa Schussverletzungen, vor allem wenn die Zeit für eine präoperative Diagnostik fehlt. Unbedingt ist aber im 4. ICR einzugehen! Weiter kaudal sind die Übersicht und der Zugang insbesondere zur oberen Thoraxhälfte und vor allem zum Herzen deutlich reduziert.

Nach Hautschnitt in der Submammärfalte wird bis auf die Rippen nach dorsal eingegangen. Die Brustmuskulatur wird bei Frauen zusammen mit den Mammae nach kranial abpräpariert. Dann wird zunächst auf einer Seite der Thorax wie bei einer anterolateralen Thorakotomie eröffnet. Die Mammariagefäße müssen beidseits zwischen (doppelten) Ligaturen abgesetzt werden. Das Brustbein schließlich wird am besten keilförmig durchtrennt, um später beim Verschluss mit 2 Drahtcerclagen eine bessere Stabilisierung zu erreichen. Nachteil dieses Zugangs ist das ausgedehnte Operationstrauma. Bei einem entsprechenden Verletzungsmuster sollte man aber nicht zögern, diesen Zugang zu verwenden.

2.2 Thoraxwand

2.2.1 Stumpfe Traumen

Thoraxprellung

Auch Prellungen können äußerst schmerzhaft sein und durch schmerzbedingte Einschränkung von Atmung und Hustenstoß bei reduziertem Allgemeinzustand Komplikationen und insbesondere Pneumonien nach sich ziehen. Bei jungen Patienten mit entsprechender Elastizität des knöchernen Thoraxgerüsts können ausgedehnte äußere und innere Weichteilzerstörungen mit konsekutiven Gewebenekrosen ohne knöcherne Verletzung vorliegen.

Klinik

Es gibt ein weites Spektrum, von fehlenden äußeren Verletzungszeichen bis zu ausgedehnten Hämatomen und Prellmarken, verbunden mit starken, atemabhängigen Schmerzen.

Diagnostik

Weitere thorakale Verletzungen müssen ausgeschlossen werden. Als Minimum soll eine Röntgenuntersuchung des Thorax in 2 Ebenen durchgeführt werden.

Therapie

Im Zuge der ausschließlich konservativen Maßnahmen werden nichtsteroidale Antiphlogistika/Analgetika, bei ausgeprägten Fällen auch stärker wirksame Schmerzmittel verabreicht. Liegen erhebliche Einschränkungen des Allgemeinzustandes oder ein erhöhtes Pneumonierisiko durch Vorerkrankungen wie einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung vor, kann ein zusätzliches Atemtraining zur Pneumonieprophylaxe hilfreich sein.

Einfache Rippenfrakturen

Klinik

Die Verletzten klagen über atemabhängige Schmerzen. Lokaler Druckschmerz und Krepitation können bei Verletzten mit großem Muskelmantel auch diffus sein oder fehlen. Bei jungen Patienten und pointierter Gewalteinwirkung von vorne kann es in seltenen Fällen zu Knorpelfrakturen kommen, die radiologisch nicht nachweisbar sind.

Bei alten Patienten mit ausgeprägter generalisierter Osteoporose reicht häufig eine geringe Gewalteinwirkung aus. In diesen Fällen muss aber immer auch an die Möglichkeit einer pathologischen Fraktur gedacht werden, z.B. bei Multiplem Myelom oder Karzinommetastasen.

Diagnostik

Immer sollte eine Röntgenaufnahme des Thorax in 2 Ebenen angefertigt werden. Bei unklarem Befund dieser Untersuchung und v.a. bei Verdacht auf Fraktur der unteren Rippen sind zusätzlich ein knöcherner Hemithorax bzw. Zielaufnahmen angezeigt. Immer muss gezielt nach Komplikationen einer Rippenfraktur gesucht werden, wie Pneumo- oder Hämatothorax. Die Blutung aus einer Interkostalarterie kann lebensbedrohlich sein!

Bei den seltenen Frakturen der 1. Rippe ist immer von einer massiven Gewalteinwirkung auszugehen, die häufig die umgebenden Strukturen in Mitleidenschaft zieht. Daher muss besonders sorgfältig nach Nerven- und Gefäßverletzungen im Bereich der oberen Thoraxapertur gesucht werden!

Therapie

Nach Ausschluss von Komplikationen wird konservativ primär analgetisch behandelt. Die Schmerzbehandlung muss v.a. bei alten und multimorbiden Patienten ausreichend sein, da bei schmerzbe-

dingter Abschwächung der Atmung und des Hustenstoßes die Gefahr einer Pneumonie besteht. Hilfreich können u.U. wiederholte Interkostalblockaden sein.

Bei jüngeren Patienten kann ein straffer Tape-Verband zur lokalen Schienung hilfreich sein. Bei alten Patienten ist dieser Verband wegen Pneumoniegefahr kontraindiziert.

Bei Komplikationen wie Pneumo- oder Hämatothorax wird eine Thoraxdrainage eingebracht. Falls die Spitze eines Rippenfragments verantwortlich dafür ist und im Zuge einer Anspießung der Lunge oder aus anderen Gründen eine Thorakotomie erforderlich wird, sollte man bei dieser Gelegenheit die Spitze des Fragments mit einem Luer und einer Knochenfeile glätten.

Je schlechter der Allgemeinzustand und die pulmonale Ausgangssituation sind und je höher das Alter ist, desto besser muss bei Thoraxprellungen und Rippenfrakturen die Analgesie sein, um Komplikationen zu verhüten. Dazu kann ein periduraler Katheter oder eine patientengesteuerte Infusionspumpe mit Opiaten notwendig sein.

Rippenserienfraktur

Klinik

Eine Rippenserienfraktur liegt vor bei Bruch von mehr als 3 Rippen. Vor allem bei jungen Patienten ist sie immer als Hinweis für eine massive thorakale Gewalteinwirkung zu werten, sodass nach thorakalen und abdominellen Begleitverletzungen intensiv gefahndet werden muss. Ein Hämatopneumothorax ist häufig, daher sollte man mit der Einlage einer Thoraxdrainage großzügig sein. Bei wachen Patienten bestehen immer starke Schmerzen. Regelmäßig lassen sich bei einer Thoraxkompression Krepitation und Instabilität feststellen, die bis zur ausgedehnten Thoraxwandinstabilität mit paradoxer Atemexkursion beim nicht intubierten Patienten reichen kann. Diese Verletzten sind akut durch eine respiratorische Insuffizienz gefährdet.

Therapie

Auch bei Serienfrakturen mit ausgeprägter Instabilität wird primär konservativ behandelt, insbesondere durch eine »innere Schienung« im Zuge der maschinellen Beatmung, die in aller Regel allein aufgrund des gesamten Verletzungsmusters erforderlich ist. Daher stehen auch die Begleitverletzungen und hier insbesondere Lungenkontusionen im Vordergrund. Ein instabiler Thorax mit paradoxer Atmung bei ausgedehnter Rippenserien- und Sternumfraktur ist aber in jedem Fall eine Indikation zur Intubation und maschinellen Beatmung.

Falls nach primärer pulmonaler Erholung weiterhin paradoxe Atemexkursionen bestehen und der Verletzte deshalb nicht von der künstlichen Beatmung abtrainiert werden kann, kann einer der seltenen Fälle zur operativen Versorgung gegeben sein. Dazu wird möglichst über einen anterolateralen und damit muskelsparenden Zugang auf Höhe der Frakturen und unter Weghalten des M. latissimus dorsi nach dorsal die Thoraxhöhle kurzstreckig zur Inspektion und Hämatomausräumung eröffnet. Das zusätzlich schienende Periost wird nicht abgeschoben. In jedes Fragment werden minimal 2 Schrauben über 3,5-mm-Rekonstruktionsplatten eingebracht. Vor allem bei alten Patienten und durch längere Immobilisation verstärkte Osteoporose finden die Schrauben im Knochen nur wenig Halt. In solchen Fällen kann eine Stabilisierung durch 8-Figur-Nähte (2er Vicryl oder Stahldraht) und die Verankerung der kranialen und kaudalen geschienten Rippen durch Perikostalnähte sinnvoll sein. Wird aus anderen Gründen thorakotomiert, so wird man Rippenfragmente im Bereich der Thorakotomie entfernen und übrige Frakturen durch die oben angeführten Nahttechniken schienen.

Schmerzen werden weniger durch die Fraktur als solche, sondern durch Krepitation der Fragmente bei Bewegung und pleurale Reizung verursacht. Eine primäre Verplattung wird allgemein nicht durchgeführt.

Brustbeinfraktur

Klinik

Sternumfrakturen sind selten und werden meist als Querbrüche beobachtet. Immer sind sie auf eine massive Gewalteinwirkung zurückzuführen, wenn keine schwere generalisierte Osteoporose vorliegt. Häufig treten sie im Zuge forcierter Reanimationen im fortgeschrittenen Lebensalter auf. Eine klar sicht- oder tastbare Stufe ist selten, v.a. bei etwas adipösen Patienten. Bei Deformationen muss auch an angeborene Varietäten wie eine Trichterbrust gedacht werden. Bei Kompression der vermuteten Fraktur zwischen den beiden Handballen finden sich Instabilität und Krepitation.

Diagnostik

Am wichtigsten ist die klinische Untersuchung. Eine Röntgenaufnahme des Sternums seitlich ist meist von eingeschränkter Aussagekraft und nur bei klinisch klarem Befund positiv. Am besten lässt sich die Diagnose mit der CT sichern, v.a. bei sehr adipösen Patienten.

Therapie

In aller Regel besteht die Behandlung in konservativen Maßnahmen, v.a. in Form einer adäquaten Schmerzbekämpfung, falls der Patient nicht intubiert und beatmet ist. Die Begleitverletzungen stehen zumeist auch hier im Vordergrund.

Eine operative Therapie kommt nur infrage bei starker, nicht durch Druck reponierbarer knöcherner Stufenbildung, nach sicherem Ausschluss weiterer schwerer Verletzungen und bei ausgedehnter Thoraxwandinstabilität. Der Zugang erfolgt über der Fraktur mit Längsschnitt in der Mittellinie, Durchtrennen der Faszie und seitlichem Abschieben der Muskulatur. Bei der in der Regel vorliegenden Querfraktur können die Bruchenden kranial und kaudal mit scharfen Haken angehoben werden. Nach der Inspektion des dorsal liegenden Mediastinalgewebes und der im Bereich der dorsalen Sternumränder liegenden Mammariagefäße schiebt man das mediastinale Fettgewebe am besten stumpf mit einem Präpariertupfer ab und vergewissert sich über die Lage und den Abstand des Perikards. Ein blutiger Erguss schimmert bläulich durch und ergibt den dringenden Verdacht auf intraperikardiale Verletzungen (▶ Abschnitt 2.5). Unter Anheben der Sternumfragmente mit der freien Hand und Schonung der Mammariagefäße werden 2–3 kräftige, am besten nadelarmierte Stahldrahtzerklagen durch den gesamten Sternumdurchmesser in einem Abstand von etwa 2 cm vom Frakturspalt vorgelegt (◘ Abb. 2.15). Gemeinsam werden die Drähte vorsichtig angezogen und anschließend zerkliert.

Bei alten Patienten mit entsprechender Osteoporose sind die Kortikales sehr dünn, und die Drähte reißen dementsprechend leicht aus. Dieser Umstand schafft entsprechende Probleme bei der Verankerung von Schrauben im Rahmen einer Verplattung, die bei schlanken Personen mit einem oft unmittelbar retrosternal gelegenen Perikard sowieso nicht ratsam ist, da die Schrauben keinesfalls überstehen dürfen.

Insbesondere bei Verletzung und Ligatur der für die Ernährung des Brustbeins wichtigen Mammariagefäße und bei schlanken Personen mit dünnen prästernalen Weichteilen empfiehlt sich eine Mo-

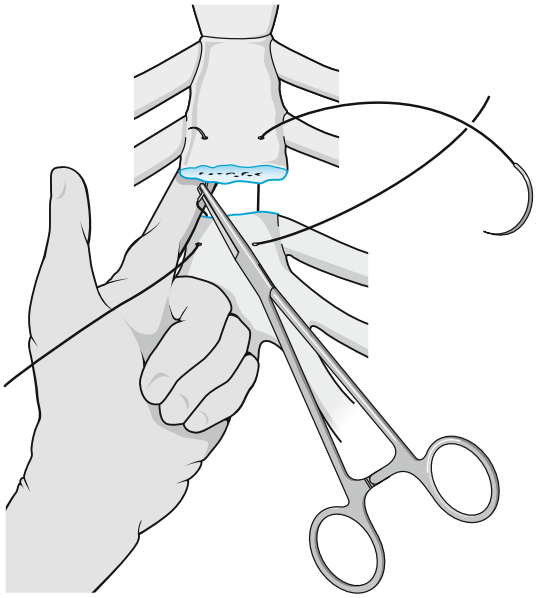


Abb. 2.15 Reposition und Fixierung von Sternumfragmenten mit Drahtcerclagen

bilisation der angrenzenden Teile des M. pectoralis, die dann über der Osteosynthese mit kräftigen resorbierbaren Nähten adaptiert werden, um eine entsprechende Weichteildeckung zu erreichen.

Bei Rippen und Brustbeinfrakturen darf man nie unverankerte Kirschner-Drähte oder Steinmann-Nägel verwenden wegen der Wanderungsgefahr!

2.2.2 Offene Thoraxverletzungen

Bei penetrierenden Verletzungen innerhalb des Raums zwischen beiden Medioklavikularlinien ist so lange von lebensbedrohlichen Verletzungen des Herzens und der großen Gefäße auszugehen, bis das Gegenteil bewiesen ist.

Für das Vorgehen entscheidend sind Art, Lokalisation, Richtung und Tiefe der Gewalteinwirkung sowie der Zustand des Patienten. Mehr zur Mittellinie liegende großkalibrige Schussverletzungen bei einem kreislauflabilen Patienten wird man sofort operativ revidieren, während mit einem kurzen Messer geführte, seitliche Stichverletzungen auch ein zunächst abwartendes Verhalten und ggf. eine ausschließliche Thoraxdrainageeinlage gestatten können. Im Zweifelsfall sollte immer operiert oder der Patient in ein geeignetes Zentrum verlegt werden. Je mehr über den Verlauf des Schuss- bzw. Stichkanals bekannt ist, desto leichter kann der am besten geeignete Zugang gewählt werden!

Stichverletzungen

Klinik

Das klinische Bild schwankt in weiten Grenzen je nach Umfang der Verletzungen der inneren Organe. Die Eindringtiefe mancher Fremdkörper wird leicht unterschätzt, etwa von Stricknadeln o.Ä. bei Suizidversuchen psychiatrischer Patienten oder auch bei Schleifscheibenverletzungen, bei denen abgesprengte Metallsplitter u.U. bis in das Perikard vordringen können. Atemexkursionen insbesondere beim Husten und Pressen können nach initial sehr tiefem Vordringen der Fremdkörper sekundär zu einer Wanderung in Richtung der Körperoberfläche führen, was zu einem Unterschätzen der tatsächlichen Eindringtiefe und damit der Verletzungen führt. Ein typisches Beispiel hierfür sind Nägel aus Nagelschussapparaten (Abb. 2.28).

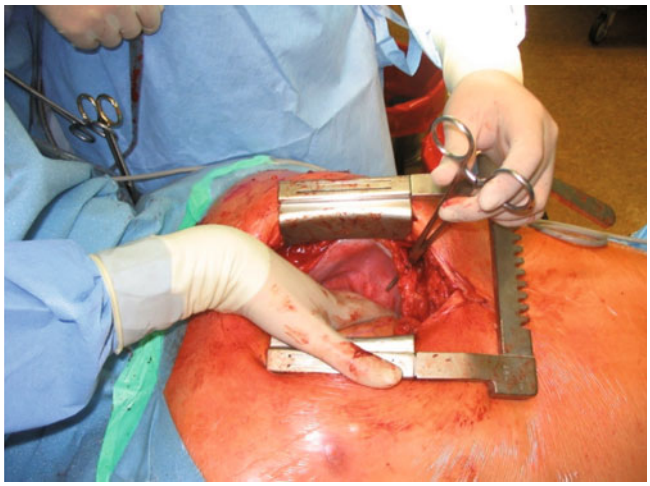


Abb. 2.16 Stichverletzung mit stattgehabter Extraktion der Waffe am Tatort. Der Verlauf des Stichkanals nach intraperikardial ist mit einer Klemme dargestellt. Es entstand keine wesentliche kardiale Verletzung, da die Stichrichtung von rechts nach links lateral verläuft

Weiterhin ist der Einfluss der Stichrichtung zu bedenken (Abb. 2.16, Abb. 2.17). Ein epigastrischer Einstich mit Richtung nach oben führt zur Herzverletzung. Ein Stich von oben geführt in Höhe der Klavikula kann eine intrathorakale Gefäßverletzung oder Läsionen von Mediastinalorganen nach sich ziehen. Bei Stichverletzungen unterhalb der 6. Rippe muss immer das Abdomen genau untersucht und beim geringsten Verdacht auf eine Eröffnung der Bauchhöhle laparotomiert werden.

Alle Fremdkörper werden immer bis zur chirurgischen Revision in situ belassen. Sorgfältig ist nach Ausstichen bzw. Ausschüssen zu fahnden.

Diagnostik

Das diagnostische Vorgehen richtet sich nach dem Zustand des Patienten, u.U. muss ganz darauf verzichtet werden. Wenn möglich, sollte immer der Thorax in 2 Ebenen geröntgt werden. Bei der

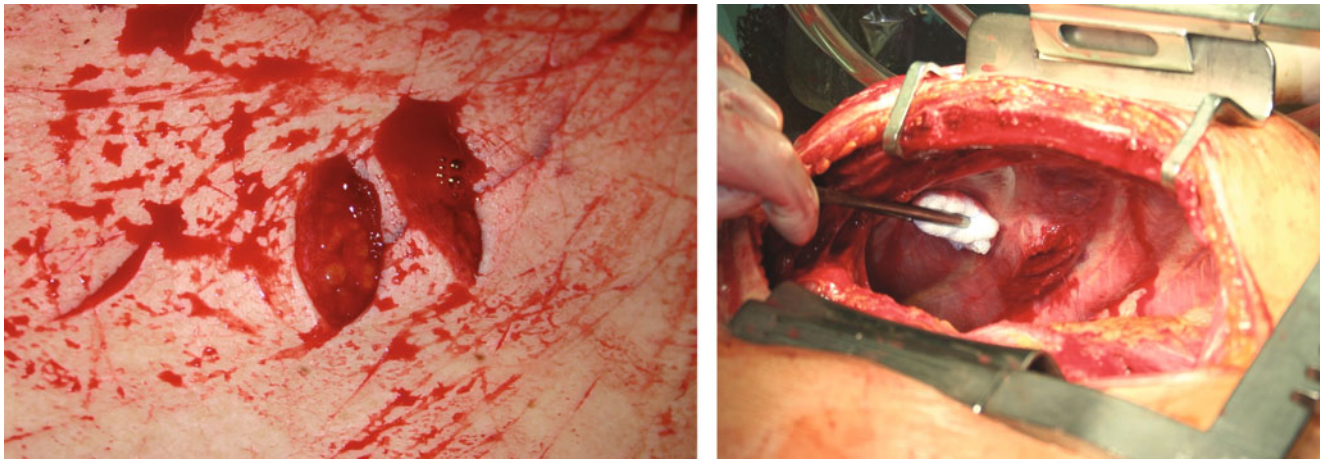


Abb. 2.17 Zwei scheinbar oberflächliche Schnittverletzungen links thorakal umgeben von zahllosen rein epidermalen Schnittverletzungen. Die Exploration nach intrathorakal über eine Sternotomie zeigt die komplette Perforation der Thoraxwand, die durch Verschiebung der extrathorakalen Gewebeschichten kaschiert war (Kulissenphänomen)

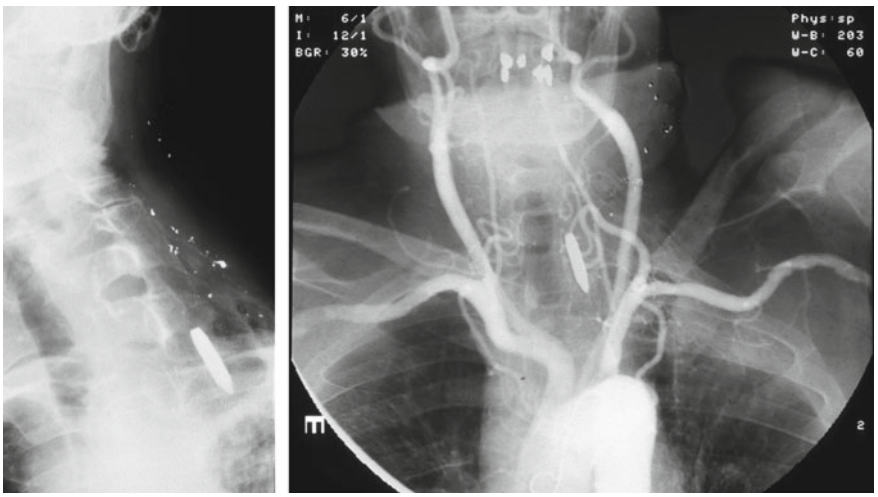


Abb. 2.18 Schussverletzung im Bereich der oberen Thoraxapertur. Abgesprengte Teile des Projektils im von dorsal kranial nach kaudal verlaufenden Schusskanal in der Nähe von zentralen Gefäßen

Möglichkeit einer Verletzung des Perikards wird eine Echokardiografie durchgeführt, wobei besonders auf einen Erguss geachtet wird. Zusatzuntersuchungen wie Angiografie oder CT richten sich nach den klinischen Befunden bzw. den von der Art der Gewalteinwirkung her möglichen Verletzungen.

Therapie

Bei oberflächlichen Stichverletzungen und stabilen Patienten wird man nach sterilem Abwaschen und Abdecken bei Bedarf unter Lokalanästhesie zunächst die Wunde inspizieren und insbesondere feststellen, ob eine Pleurahöhle oder gar das Perikard eröffnet wurde. Ist dies nicht der Fall und das Röntgenbild bzw. die Echokardiografie sind unauffällig, so ist außer der üblichen Wundversorgung zunächst keine weitere Maßnahme erforderlich.

Der Patient sollte aber beim kleinsten Zweifel operiert oder mindestens 24 h stationär beobachtet werden, da sich z.B. die Muskulatur kulissenartig über den tieferen Stichkanal schieben und sich ein Pneumothorax bei kleinerer Lungenverletzung oder auch ein Hämatothorax erst verzögert entwickeln können. Ein weiteres Röntgenbild vor Entlassung ist daher obligat.

Bei stabilen Patienten und Stichkanälen in Richtung auf das Herz wird die Echokardiografie ebenfalls in Abhängigkeit von der Klinik spätestens nach 24 h wiederholt. Zeigt das Röntgenbild einen (Hämato-)Pneumothorax, so wird eine großlumige Thoraxdrainage von mindestens 28 Charr eingelegt (▶ Abschnitt 2.1.6) und der Patient antibiotisch abgedeckt. Bei sauberen Stichwerkzeugen ist ein Cephalosporin der 3. Generation ausreichend. Bei kardiorespiratorischer Stabilität und sofern die Thoraxdrainage nicht >300 ml Blut pro Stunde fördert, ist ein weiteres Zuwarten gerechtfertigt. Besteht eine stärkere oder eine anhaltende Blutung von >200 ml/h über mehrere Stunden, so wird thorakotomiert.

Bei Verdacht auf Hämatoperikard oder auch nur Eröffnung des Herzbeutels wird immer eine operative Exploration angestrebt. Gleiches gilt bei kreislauflabilen Patienten, wobei der Zugang nach Art der vermuteten Verletzung gewählt wird. In Zweifelsfällen ist immer der Exploration der Vorzug zu geben.

Sind die Stichwerkzeuge noch in situ, so werden bei stabilen Patienten zunächst weitere radiologische Untersuchungen durchgeführt, um Eindringtiefe und Lokalisation näher zu eruieren. Dabei sollen bereits großzügig Thoraxdrainagen gelegt sein. Ist lediglich eine oberflächliche Lungenverletzung wahrscheinlich, so kann der Fremdkörper nach sterilem Abwaschen und Abdecken

in voller Operationsbereitschaft im Operationssaal, am besten unter Vollnarkose, herausgezogen werden. Beim geringsten Verdacht auf Verletzung des Herzens oder der großen Gefäße wird aber vorher bereits ein chirurgischer Zugang zu diesen Organen geschaffen.

Schussverletzungen

Hier sind Unterschiede von Waffen, Munition und Schussentfernung zu berücksichtigen. Die Lage des Projektils im Röntgenbild sagt wenig über die Verletzungen aus, da das Geschoss durch Knochen abgelenkt worden und im Blutstrom oder der Pleurahöhle gewandert sein kann. Auch kleinere Kaliber können durch Aufpilzen des Geschosses zu umfangreichen Gewebezerstörungen führen, die mit zunehmendem Abstand vom Einschuss immer größer werden. Der resultierende »Wasserschlag« im Zuge der explosionsartigen Gewebeverdrängung kann zu Gewebezerreißungen auch abseits des eigentlichen Schusskanals führen. Daher ist bis auf wenige Ausnahmen, wie etwa eindeutige Streifschüsse, eine chirurgische Exploration angezeigt. Besondere Sorgfalt muss dabei auch der Thoraxwand gelten, insbesondere bei evtl. vorhandenen Ausschüssen und Schrotschussverletzungen. Hier liegen oft sehr ausgedehnte und infektionsträchtige Gewebezerstörungen vor, die möglichst primär nach entsprechendem Débridement verschlossen werden sollten, bei Bedarf auch mit Hilfe plastischer Maßnahmen.

Wie bei Stichverletzungen sollte man sich präoperativ möglichst über die ungefähre Richtung des Schusskanals und über möglicherweise vorliegende Organverletzungen orientieren, da hiervon der Zugang abhängt (Abb. 2.18).

Bei jeder penetrierenden Thoraxverletzung sollte im Zweifelsfall im Hinblick auf die größte anzunehmende Verletzung chirurgisch exploriert werden.

2.3 Zwerchfellruptur

Klinik

Die Zwerchfellruptur ist eine der am häufigsten übersehenen Verletzungen und eine typische Begleiterscheinung des schweren Rumpftraumas (Aebert et al. 1992). Es handelt sich um eine Art Blow-out-Verletzung durch eine ausgeprägte, akute, zumeist intraabdominelle Drucksteigerung. Prädilektionsstelle ist der Übergang vom membranösen zum muskulären Anteil insbesondere links laterodorsal, wie bei Leichenversuchen festgestellt wurde. Zahlreiche Fälle werden erst intraoperativ bei Revision intraabdomineller oder intrathorakaler Verletzungen diagnostiziert.

Die Gefäße des Zwerchfells können Ursache erheblicher intraabdomineller und intrathorakaler Blutungen sein. Relativ häufig werden Zwerchfellrupturen erst bei Entwöhnung von der Beatmung festgestellt, wenn der intrathorakale Druck geringer wird und der von Natur aus höhere intraabdominelle Druck zu einem Eingeweideprolaps nach intrathorakal führt. Oder die Zwerchfellruptur wird erst bei Auftreten sekundärer Probleme diagnostiziert, wie anhaltender Pleuraerguss, anhaltende Atelektasen oder Behinderung der Nahrungspassage.

Bei den meisten Patienten stehen zunächst die schweren übrigen Rumpfverletzungen wie Leber- oder Milzzerreißung, Beckenfrakturen, Rippenserienfrakturen oft mit Lungenkontusion etc. im Vordergrund, die bei Patienten mit Zwerchfellruptur wesentlich häufiger als bei anderen Polytraumatisierten beobachtet werden. Andererseits kann ein massiver Eingeweideprolaps entweder sofort oder auch erst nach Jahren akut zu schwerer Beeinträchtigung von Atmung und Kreislauf führen, insbesondere wenn es bereits zur Verlagerung der Mediastinalorgane gekommen ist (Abb. 2.19).

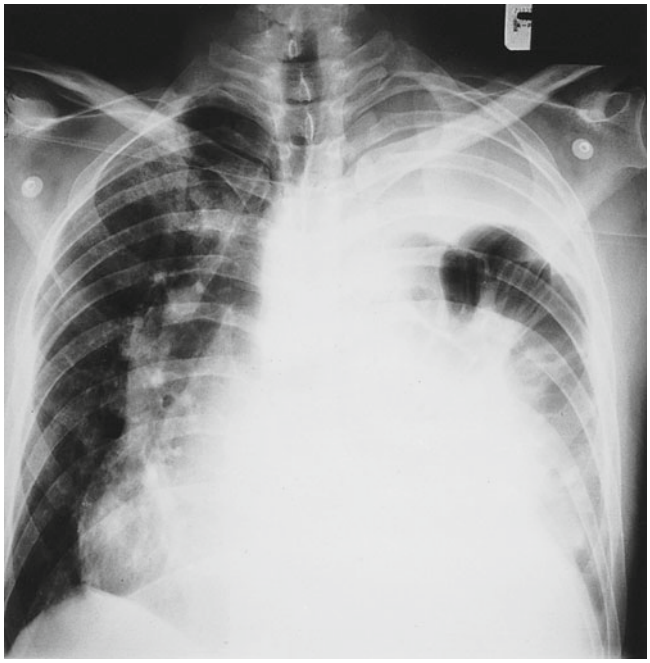


Abb. 2.19 Über Jahre bekannte Zwerchfellruptur bei einem aktiven Sportler, die akut zum massiven Eingeweideprolaps mit Totalatelektase der linken Lunge und massiver Mediastinalverschiebung führte. Klinisch bestand eine ausgeprägte respiratorische Insuffizienz, Kreislaufinsuffizienz und ein Subileus

Diagnostik

Im Röntgenbild des Thorax sind insbesondere rechtsseitige Zwerchfellrupturen häufig ein diagnostisches Problem, da die Leber eine aufgehobene Zwerchfellkontur kaschieren kann. Eine unscharfe oder nicht vorhandene Zwerchfellkontur, die sich beim täglichen Kontrollröntgen des Thorax auch noch verändert, ist verdächtig. Intrathorakale Magen- oder Darmanteile sind ein zuverlässiges Indiz für eine Zwerchfellruptur. Dieser Verdacht kann durch die Gabe von wasserlöslichem Kontrastmittel über die Magensonde noch erhärtet werden.

Ohne intrathorakale Verlagerung von Bauchorganen sind auch CT und Sonografie oft wenig hilfreich. Besonders auf der rechten Seite ist die diagnostische Aussagekraft eingeschränkt.

Therapie

Hier ist jeweils eine individuelle Indikationsstellung v.a. hinsichtlich des Operationszeitpunkts erforderlich. Selbstverständlich wird bei einer Laparotomie oder Thorakotomie eine zufällig entdeckte Zwerchfellruptur immer mitversorgt. Man sollte bei schwerverletzten Patienten grundsätzlich an diese Möglichkeit denken und das Zwerchfell dahingehend eigens untersuchen. Fällt die Verletzung des Zwerchfells bei einer Thorakotomie auf, so muss das Abdomen revidiert werden. Entsprechend den individuellen Umständen wird man entscheiden, ob dies über einen separaten Zugang oder von der Thorakotomie aus geschieht. Die Thorakotomie müsste dann erweitert werden durch semizirkuläres Durchtrennen des Zwerchfells, 2 cm von den Rippenansätzen entfernt, um die Phrenikusäste zu schonen und eine bessere Verschlussmöglichkeit zu haben. Wird eine Zwerchfellverletzung im Rahmen einer Laparotomie bemerkt, muss mindestens eine Thoraxdrainage eingebracht werden.

Anders stellt sich die Situation dar, wenn bei einem schwer polytraumatisierten Patienten eine Körperhöhle nicht aus anderen Gründen eröffnet werden muss und zusätzlich etwa schwere Lungenkontusionen und Beckenfrakturen bestehen. Sofern kein massiver intrathorakaler Eingeweideprolaps, der durch die häufig notwendige aggressive Beatmung meist verhindert wird, oder keine Blutung bestehen, erscheint es gerechtfertigt, zunächst die Stabilisierung des Patienten abzuwarten. Prinzipiell ist aber jede Zwerchfellruptur eine Operationsindikation, da auch noch nach Jahren schwere Komplikationen wie respiratorische Insuffizienz oder Inkarzeration von Eingeweiden akut auftreten können.

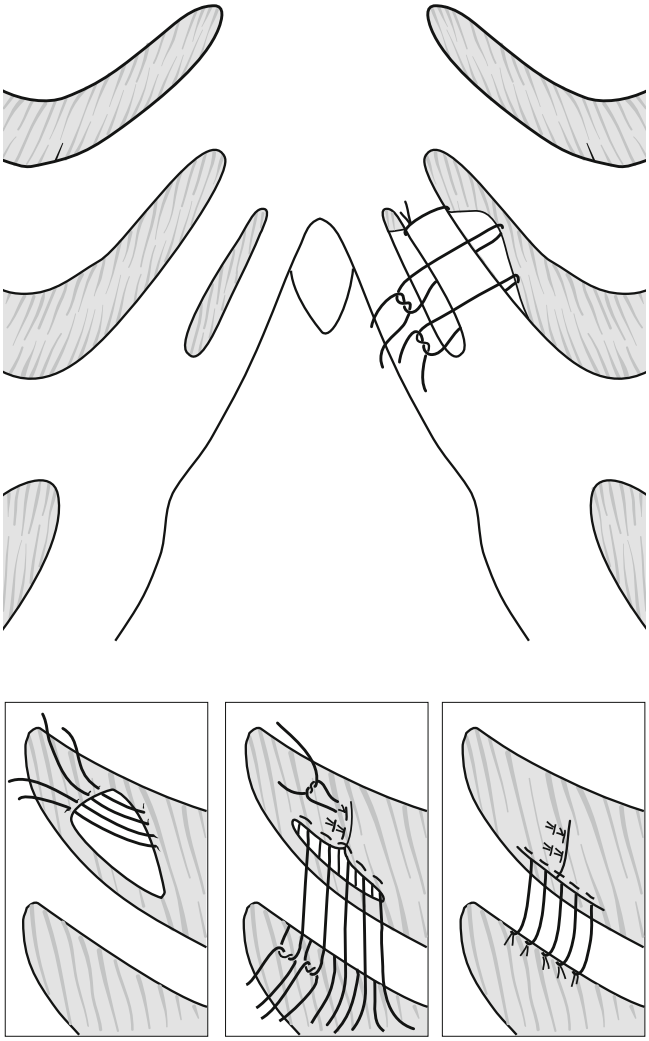
Bei frischen Verletzungen wird man zumeist einen abdominellen Zugang wählen, zumal versorgungsbedürftige Begleitverletzungen im Abdomen weitaus häufiger sind als im Thorax. Eine quere Oberbauchlaparotomie, mit bei Bedarf durchzuführender medianer Erweiterung nach kranial bis zum Xiphoid, ermöglicht v.a. bei den häufigen laterodorsal gelegenen Rupturen einen wesentlich besseren Überblick als eine mediane Längslaparotomie. Unter Umständen müssen die intraabdominellen Organe und insbesondere die Pars affixa der Leber entsprechend mobilisiert werden, um die ganze Ausdehnung der Ruptur überblicken zu können. Dies ist nicht nur für die spätere Naht, sondern auch für eine suffiziente Blutstillung aus den zerrissenen Zwerchfellgefäßen notwendig. Bei der Naht ist möglichst auf eine Schonung der Phrenikusäste zu achten.

Bei älteren Verletzungen bestehen häufig intrathorakale Verwachsungen, die u.U. sehr weit kranial liegen und eine Versorgung von abdominell her erschweren können. Daher ist es in solchen Fällen in der Regel zweckmäßig, über eine laterale Thorakotomie im 6. oder 7. ICR einzugehen.

Nach Lösen der Verwachsungen muss die alte Ruptur ggf. erweitert werden, um die Baucheingeweide atraumatisch und unter Sicht reponieren zu können. Dabei sind wiederum die Phrenicusäste zu beachten. Daher wird man solche Hilfsinzisionen in der Regel radiär und parallel zur Verlaufsrichtung der Nervenäste anlegen. Bei massivem Eingeweideprolaps, Milzverletzung, intrathorakalem Ileus oder Strangulation mit entsprechend ödematösen Darmschlingen kann eine thorakoabdominelle Schnittführung erforderlich werden. Dazu wird die Hautinzision ventral im entsprechenden Interkostalraum nach kaudal über den Rippenbogenrand abschwingend zu einem Pararektalschnitt bis zum Nabel verlängert. In Extremfällen kann das Zwerchfell dann nach Durchtrennung des Rippenbogens radiär bis zur Ruptur eingekerbt werden.

Der Verschluss des Zwerchfelldefekts kann entweder direkt oder plastisch erfolgen, je nach Ausmaß der Zerstörung und der resultierenden Spannung. Bei frischen Rupturen ist zu beachten, dass sich bei Zerreißungen der versorgenden Gefäße sekundär Nekrosen des Zwerchfells ausbilden können, die zum Rezidiv führen. Die narbigen Ränder alter Rupturen bieten ein besseres Nahtlager als die ausgefransten Ränder in frischen Fällen. Beim direkten Verschluss werden entsprechend der Technik der Fasziendopplung nach Mayo die freien Ränder mit weit gestochenen U-Nähten von kräftigem resorbierbarem Material (2er Vicryl oder PDS) gefasst. Alle Nähte werden vorgelegt und dann sequenziell von den Rändern aus geknotet (◘ Abb. 2.20). Der von der einen Seite her überstehende Rand wird anschließend noch zusätzlich mit Einzelknopfnähten am Zwerchfell fixiert.

Ist der Defekt so groß, dass ein direkter Verschluss zu unsicher erscheint, wird er unter Verwendung eines Vicrylnetzes verschlossen. Im Interesse der größeren Festigkeit und Ausbildung einer dickeren Narbenplatte ist es zweckmäßig, das Netz zu doppeln oder zwei übereinander gelegte Netze zu verwenden. Mit fortlaufenden kräftigen resorbierbaren Nähten (2er Vicryl oder PDS) werden



◘ **Abb. 2.20a,b** Technik der Zwerchfellnaht mit U-Nähten und zusätzlichen Einzelknopfnähten

die Defektränder tiefgreifend gefasst. Dabei wird die natürliche Zwerchfellkuppel rekonstruiert. Zu viel Spannung kann zu einem Nahtausriss führen, zu wenig zu einem Zwerchfellhochstand mit langfristigen Folgen für die Atmung. Reicht der Defekt bis zur Thoraxwand, kann sowohl bei direkter Naht als auch bei Verwendung eines Netzes eine Verankerung an den Rippen durch perikostale Nähte sinnvoll sein (vgl. ◘ Abb. 2.20). Bei frischen Rupturen sollten Thorax und Abdomen immer getrennt drainiert werden, ebenso bei Ödem oder anderweitiger Schädigung der prolabierten Abdominalorgane, bei einfachen älteren Rupturen mit problemlosem Direktverschluss kann eine Thoraxdrainage ausreichen.

Nachbehandlung

Bereits intraoperativ wird mit der Antibiose begonnen (Cephalosporin der 3. Generation), bei Ileus oder Inkarzeration von Eingeweiden sollte zusätzlich Metronidazol o.Ä. zur Abdeckung von Anaerobiern bzw. Darmkeimen gegeben werden. Bei ausgedehntem Eingeweideprolaps mit Kompression der Lunge kann sich nach Wiederentfaltung ein pulmonales Reperfusionsödem ausbilden. Deshalb ist zunächst eine 24-stündige kontrollierte Beatmung mit einem PEEP von 8–10 cm H_2O ratsam, die evtl. unter langsamer Reduktion noch wesentlich länger ausgedehnt werden muss.

2.4 Verletzungen der Lunge und großen Luftwege

2.4.1 Lunge

Die weitaus überwiegende Zahl der Lungenverletzungen wird primär konservativ behandelt. Sekundär sind allerdings gelegentlich operative Eingriffe erforderlich, insbesondere bei infektiösen Komplikationen, wie einem Pleuraempyem oder bei ausgedehnter Schwartenbildung. Wesentlich für die Verhinderung dieser Komplikationen und anderer Spätschäden ist eine suffiziente Drainage beim Hämato- und beim Pneumothorax, damit sich die Lunge vollständig der Brustwand anlegen kann und sich keine sekretgefüllten Höhlen mit dem Risiko der Superinfektion und Verschwartung bilden.

Indikation zur frühen operativen Therapie sind massive oder anhaltende Blutungen mit einer Sekretion von >300 ml Blut pro Stunde über 2–3 h und ein konservativ nicht beherrschbares Luftleck mit respiratorischer Insuffizienz. Beides ist bei isolierten Lungenverletzungen selten. Bei dem geringen Druck in den Pulmonalgefäßen sind massive Blutungen – sofern sie nicht auf eine penetrierende Verletzung der großen Lungengefäße zurückzuführen sind – fast immer durch Schäden an Systemarterien verursacht und hier insbesondere an den Thoraxwandgefäßen wie der A. mammaria interna und den Interkostalarterien.

Große Luftleckagen sind bei Lungenparenchymzerreißungen und besonders bei entsprechend aggressiver Beatmung nicht selten. Hier kann eine seitengetrennte Beatmung mit 2 Geräten über einen Doppellumentubus sehr hilfreich sein. Bei massivem Luftleck ist immer auch an eine operativ versorgungspflichtige Verletzung der großen Atemwege zu denken, d.h. eines Lappenbronchus oder zentral davon gelegener Abschnitte. Zum Ausschluss muss eine Bronchoskopie durchgeführt werden. Auch kleinere Lungenverletzungen können bei PEEP-Beatmung zu erheblichen Luftverlusten führen; hier wird primär konservativ behandelt.

Pneumothorax und Spannungspneumothorax

Klinik

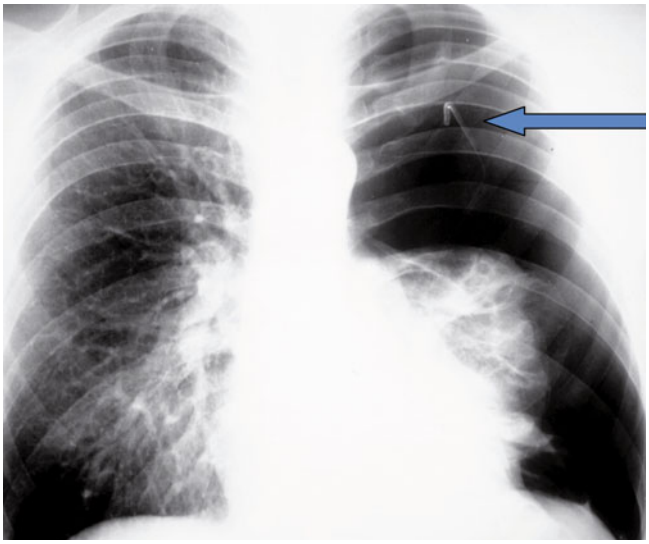
Je nach Umfang kann die Symptomatik sehr stark variieren: von leichten atemabhängigen Schmerzen bis zur massiven kardiorespiratorischen Insuffizienz mit Zyanose und Einflussstauung bei Mediastinalverschiebung. Die wichtigsten klinischen Hinweise ergeben die Auskultation mit abgeschwächtem oder aufgehobenem Atemgeräusch und die Perkussion mit dem typischen Schachtelton. Bei intubierten Patienten kommt es zu einem Anstieg des Beatmungsdrucks bzw. zu einer Abnahme des Atemvolumens. Ursache ist eine stumpfe oder eine von außen bzw. durch Knochenfragmente penetrierende Verletzung der Lunge oder der großen Luftwege. Vor allem bei jungen asthenischen Personen und bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen kann sich aber auch spontan ein Pneumothorax bis hin zum ausgeprägten Spannungspneumothorax bei Ruptur von Lungenbläschen oder Bullae entwickeln.

Diagnostik

Diagnostisch wichtig sind das klinische Bild und Röntgenaufnahmen des Thorax in 2 Ebenen, wobei nicht jeder Pneumothorax radiologisch sichtbar ist, insbesondere dann nicht, wenn ausschließlich eine a.p. Aufnahme vorliegt. Bei entsprechender Erfahrung ist die Sonografie hilfreich, die beste und aussagekräftigste Methode ist die CT.

Therapie

Es erfolgt die Einlage einer großlumigen Thoraxdrainage (▶ Abschnitt 2.1.6) (◘ Abb. 2.21), bei beatmeten Patienten und respiratorisch insuffizienten Patienten bereits beim Verdacht auf einen Pneumothorax, da hier die Situation rasch lebensbedrohlich werden kann. Dies gilt auch für den Fall, dass bereits eine Thoraxdrainage liegt. Diese kann ungünstig platziert oder okkludiert sein. Die zweite Drainage wird im Bereich der größten Abschwächung des Atemgeräuschs bzw. in den radiologisch gesicherten Restpneumothorax gelegt. Bei einem recht häufigen nicht drainierten Pneumothorax apikal muss die zweite Drainage entsprechend weit vorgeschoben werden. Alternativ kann sie – vom Erfahrenen!- apikal ventral im 2. ICR in der Medioklavikularlinie platziert werden.



◘ **Abb. 2.21** Anhaltender Totalkollaps der linken Lunge nach Anlage einer zu dünnen Drainage (Pfeil)

Die Behandlung wird bis zum Verschluss des Luftlecks fortgeführt. Insbesondere bei aggressiv beatmeten Patienten kann dies lange dauern, sodass u.U. – ebenso wie bei sehr großem Luftleck – eine operative Therapie (s. unten) oder eine interventionelle Therapie in Betracht gezogen werden muss. Bei letzterer wird bronchoskopisch durch Okklusion von Segment- oder Subsegmentbronchien das Luftleck lokalisiert und der betreffende Bronchus anschließend mit Fibrinkleber verschlossen.

Hautemphysem

Klinik

Ebenso wie beim Mediastinalemphysem handelt es sich eher um ein Symptom für eine Verletzung der Lunge oder der großen Luftwege als um ein Krankheitsbild. Selbst ein ausgeprägtes Hautemphysem mit grotesker Ballonierung der Gesichtshaut und des Skrotums beeinträchtigt die Vitalfunktionen in der Regel kaum und ist als solches nicht behandlungsbedürftig. Allerdings liegt fast immer ein begleitender Pneumothorax vor, der durch Drainage behandelt wird. Neben der zumindest initial asymmetrischen Auftreibung der Haut ist das Knistern bei der Palpation und Auskultation charakteristisch.

Diagnostik

Zielführend sind klinisches Bild und ein Röntgenbild des Thorax; besonders deutlich ist die Ausdehnung auch in der CT zu erkennen.

Therapie

In der Regel ist keine Therapie erforderlich. In Extremfällen und insbesondere bei begleitendem Mediastinalemphysem kann es zur Kompression insbesondere von Venen kommen. Hier wird über

eine ca. 3 cm kleine Inzision im Jugulum und stumpfem Vorschieben des Fingers hinter das Brustbein eine retrosternale großlumige Drainage eingebracht. Bei Überwiegen des Mediastinalemphysems kann diese nach Durchtrennen der geraden Halsmuskulatur in der Mittellinie kaudal der Schilddrüse an die Vorderseite der Trachea eingebracht werden, nach ebenfalls vorangegangener stumpfer Präparation mit dem Finger.

Falls die Ursache des Haut- oder Mediastinalemphysems eine Verletzung der großen Luftwege ist, muss diese operativ behandelt werden. Vor allem bei längerer Beatmung mit entsprechender Keimbesiedelung der Lunge empfiehlt sich eine antibiotische Abdeckung, da sich Bakterien in dem aufgelockerten Gewebe rasch ausbreiten können.

Lungenkontusion

Die Lungenkontusion ist eine regelmäßige Begleitverletzung schwerer stumpfer Thoraxtraumen und spielt hinsichtlich der Prognose der häufig mehrfachverletzten Patienten eine gravierende Rolle (Pape et al. 2000). Pathogenetisch kommt es zu Ödem und Einblutungen in das Parenchym bis hin zur Zerreißung kleinerer Gefäße und Alveolen sowie der terminalen Luftwege. Eine sekundäre Verlegung größerer Luftwege durch Blut, Koagel und Sekretstau ist häufig. Ein großes Problem besteht in der sehr oft verzögerten Ausbildung aller klinischen und radiologischen Zeichen, während die Therapie möglichst rasch einsetzen sollte. Eine wichtige Differenzialdiagnose gerade bei Polytraumata mit Massentransfusionen ist das transfusionsassoziierte Lungenversagen, bei dem sich häufig massiv schaumiges Sekret über den Tubus entleert. Allerdings ist die Therapie in Form von aggressiver Beatmung und temporärem Organersatz identisch mit der der Lungenkontusion.

Klinik

Ein mäßiger Hämatothorax ist häufig, ein Pneumothorax sehr häufig. Das Sekret aus den tiefen Luftwegen kann blutig und das Atemgeräusch abgeschwächt sein. Je nach Umfang der Einblutung und des Ödems sind Rasselgeräusche zu hören. Der Gasaustausch ist eingeschränkt.

Diagnostik

Im Röntgenbild des Thorax findet sich die volle Ausprägung mit mehr oder weniger deutlicher und häufig fleckförmiger Verschattung des Lungenparenchyms oft erst nach Stunden oder Tagen, da die Entwicklung des posttraumatischen Ödems Zeit braucht. Daher sind Röntgenkontrollen in höchstens 24-stündlichem Abstand obligat, bei Verschlechterung der respiratorischen Parameter noch engmaschiger. Die CT ist hinsichtlich der Diagnose am zuverlässigsten und gibt den besten Überblick über das Ausmaß der Kontusion. Allerdings muss auch hier die zeitliche Verzögerung beachtet werden.

Bronchoskopisch sind petechiale Schleimhautblutungen in den betroffenen Lungenarealen zu sehen. Diese Untersuchung ermöglicht schon sehr früh und vor Ausbildung des Ödems ein Bild über das Ausmaß der Kontusion und ist gleichzeitig in Verbindung mit bronchoalveolärer Lavage auch therapeutisch zur Beseitigung von Koageln im Bereich der Luftwege einzusetzen (Regel et al. 1990).

Therapie

Am wichtigsten ist die Beatmung mit PEEP (ca. 10 cm H_2O) und umgedrehtem Verhältnis von Inspiration und Exspiration. Dies wirkt dem Ödem entgegen und hält die Alveolen und kleinen Luftwege offen. Die maschinelle Beatmung mit hohem PEEP soll möglichst früh posttraumatisch beginnen, bei adäquatem Trauma und klinischem Verdacht möglichst bereits am Unfallort. Die Beatmung soll bis zum Rückgang bzw. zur Auflösung der Verschattungen fortgeführt werden. Bei zu früher oder zu rascher Reduktion des aggressiven Beatmungsmusters wird oft ein erheblicher Einbruch beobachtet. Hauptproblem ist die Entwicklung einer Pneumonie auf dem Boden der traumatischen Lungenschädigung. Diese wird zusätzlich begünstigt durch Missverhältnisse von Ventilation und Perfusion v.a. in den dorsobasalen Abschnitten der Lunge bei konstanter Rückenlage und dorsaler Sekretansammlung. Daher ist häufiges Umlagern der Patienten (2- bis 4-stündlich), möglichst auch mit Bauchlage, von erheblicher Bedeutung; noch besser – v.a. bei schweren Lungenkontusionen mit FiO_2>0,6 – ist eine frühzeitige Behandlung im Drehbett.

Regelmäßige mikrobiologische Kontrollen, möglichst durch bronchoalveoläre Lavage gewonnen, dienen der erregergerechten Antibiotikatherapie. Falls sich ein frühes posttraumatisches Lungenversagen oder im Verlauf ein Adult respiratory distress Syndrome (ARDS) zu entwickeln drohen, sollte eine frühzeitige Verlegung in ein Zentrum mit der Möglichkeit der extrakorporalen Membranoxygenierung durchgeführt werden. Zwischenzeitlich wurde auch ein pumpenloses System (ECLA) entwickelt, dessen Sauerstofftransportkapazität eher niedrig ist und das primär zur Beseitigung der Hyperkapnie und Azidose dient. Dafür ist hier nur eine geringe Antikoagulation erforderlich, ein bei Mehrfachverletzten wesentlicher Aspekt. Extrem wichtig zur Prophylaxe und Therapie des ARDS ist die feine Abstimmung der Beatmung mit möglichst niedrigem Beatmungsdruck, um ein zusätzliches Trauma der Lunge durch Scherkräfte zu verringern. Pulmonale Komplikationen sind die häufigste Todesursache auch im Rahmen eines Multiorganversagens bei Patienten mit schwerem Thorax- und Polytrauma, wenn die Initialphase überlebt wird.

Ausgedehnte Zerreißungen von Lunge und Lungengefäßen

Wie eingangs dargestellt, sind isolierte Verletzungen der Lunge, die zu einem thorakotomiepflichtigen Luftleck oder zu einer anhaltenden Sekretion von Blut aus den Drainagen führen, selten. Falls eine operative Intervention erforderlich wird, sind einfache Übernähung und parenchymsparende Resektionen am besten in Form einer atypischen Lungenresektion Techniken der ersten Wahl. Diese Verfahren sind nicht nur wesentlich schneller, sondern auch komplikationsärmer, insbesondere hinsichtlich einer möglichen Bronchusstumpfinsuffizienz nach Lappenresektion oder gar Pneumonektomie, deren Risiko unter maschineller Beatmung erheblich ansteigt, v.a. wenn ein hoher PEEP erforderlich ist. Nach größeren Lungenresektionen bilden sich außerdem leicht intrathorakale Hohlräume, bei denen unter längerer Beatmung das Superinfektionsrisiko groß ist.

Klinik

Die Symptomatik kann sehr stark variieren, von einer sich selbst tamponierenden Blutung bis zum massiven Hämatothorax und Spannungspneumothorax. Die Indikation zur chirurgischen Intervention über die Anlage einer Thoraxdrainage hinaus ergibt sich aus Stärke und Fortdauer der Sekretion aus der Drainage (>300 ml/h über 2–3 h) oder einem anders nicht beherrschbaren, massiven Luftleck. Falls sich ein größeres intrapulmonales Hämatom bildet, empfiehlt sich eine Ausräumung sekundär nach Stabilisierung des Patienten, da insbesondere bei länger beatmeten Patienten sonst eine Superinfektion droht.

Diagnostik

Wenn irgend möglich soll eine CT durchgeführt werden, um Umfang und Lokalisation des zerstörten Lungengewebes eruieren zu können. Die CT (mit KM!) ist oft aussagekräftiger nach Anlage einer Thoraxdrainage, da dann die Lunge nicht durch Blut und Luft im Pleuraraum komprimiert wird.

Therapie

Atypische Lungenresektion

Eine atypische Lungenresektion wird am besten und sichersten mit einem Klammernahtgerät unter Verwendung eines grünen Magazins tangential oder keilförmig durchgeführt (Abb. 2.22). Mit resorbierbaren Materialien als Widerlager armierte Klammernahtreihen sind hierfür v.a. bei aggressiver Beatmung am besten geeignet, da sie auch kleine Luftlecks im Bereich der Klammern zuverlässig verhindern. Alternativ können auch atraumatische Klemmen zentral der Verletzung gesetzt werden. Nach Resektion des zerstörten Parenchyms wird das Lungengewebe mit resorbierbarem Faden (PDS 3/0, Vicryl 2/0) am besten in doppelter Nahtreihe mit Matratzennaht und überwendlicher Naht versorgt (Abb. 2.23).

Diese Manöver werden möglichst bei entlüfteter Lunge durchgeführt, was die Gefahr des Einreißens verringert. Falls kein Doppellumentubus liegt, kann die Lunge wenigstens für das Knoten der Naht bzw. das Setzen der Klammernahtreihe durch Diskonnektieren der Beatmung kurzzeitig entlüftet werden.

In der Regel sollte man atypisch nie weiter zentral als den halben Lappendurchmesser und nicht hilusnah resezieren.

Residuale, kleinere Luftlecks werden am zuverlässigsten durch tangentiales Setzen einer Klammernahtreihe oder alternativ mit Fibrinkleber und Kollagenvlies verschlossen. Dazu sollte die Lunge ebenfalls entlüftet sein. Ein Übernähen mit feinen Fäden (PDS, Vicryl 3/0, 4/0) ist ebenfalls möglich, wobei das Parenchym nur wenig Widerlager für die Naht bietet und damit bei anhaltender maschineller Beatmung v.a. mit PEEP ein erhebliches Risiko für das Einreißen der Naht und Luftlecks aus Stichkanälen besteht. Gerade in diesem Fall ist aber die Beseitigung eines jeden Luftlecks wichtig.

Wenn eröffnete Gefäße isoliert umstochen werden sollen (Prolene 4/0, 5/0), muss man Sorgfalt walten lassen, wegen der Gefahr eines intrapulmonalen Hämatoms, insbesondere bei polytraumatisierten Patienten, und den dabei häufig vorkommenden Gerinnungsstörungen. Intrapulmonale Hämatome prädisponieren zur Infektion und Abszessbildung! Sollen eröffnete Bronchien (Segmentbronchus und kleiner) isoliert verschlossen werden, so kann entweder ligiert (Vicryl 3/0) oder überwendlich übernäht werden (Einzelknopfnähte 4/0-PDS).

Wie bei allen Lungenoperationen wird immer vor dem Thoraxverschluss eine ausgedehnte Spülung mit Wasserprobe nach dem Fahrradschlauchprinzip durchgeführt, um evtl. vorhandene Luftlecks darzustellen. Dabei wird die Lunge vom Anästhesisten mit 30–35 cm Wassersäule gebläht. Um ein besseres Verkleben der Pleurablätter und damit ein rascheres Sisitieren residualer Luftlecks zu erreichen, kann man eine Abrasio der Pleura parietalis durchführen, sofern keine Gerinnungsstörung besteht. Dazu wird die Pleura etwa mit einem Stiltupfer oberflächlich angerauht, bis kleine punktförmige Blutungen erkennbar sind.

Segmentresektion

Die Segmentresektion erfordert erhebliche Erfahrung und kostet wesentlich mehr Zeit als eine atypische Lungenresektion. A. und V. pulmonalis sowie der Bronchus des entsprechenden Segments

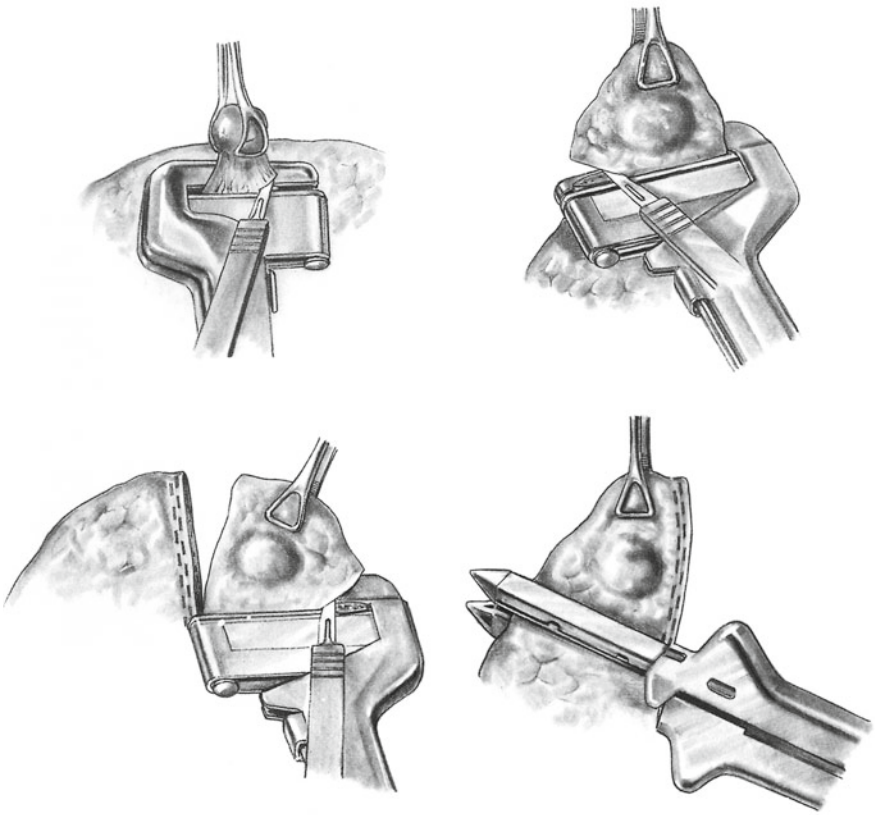


Abb. 2.22 a–d Atypische Lungenresektion mit Hilfe von Klammernahtgeräten. (Aus: Heberer et al. 1991)

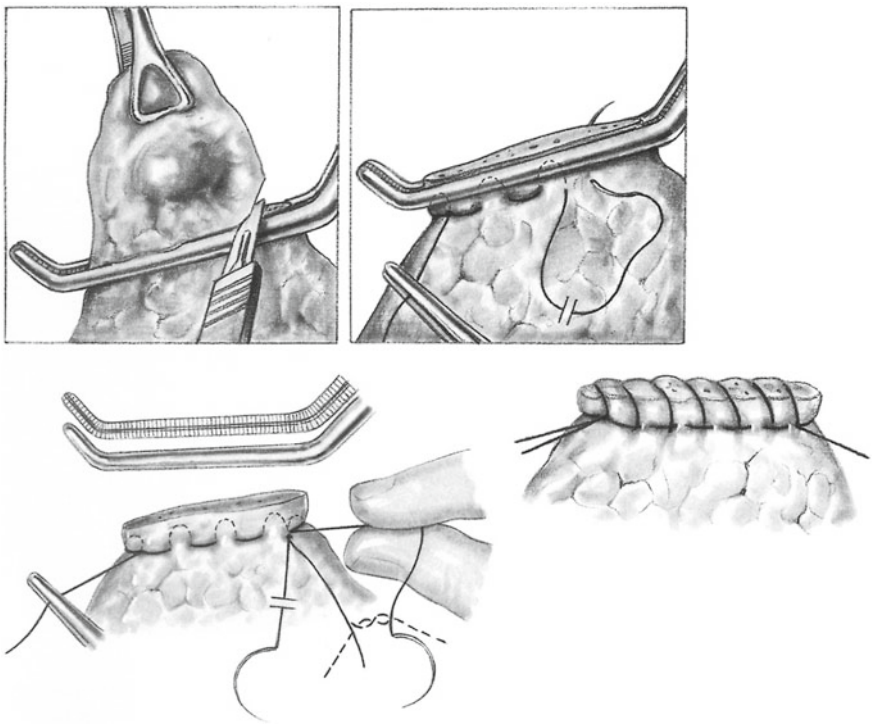


Abb. 2.23 a–d Atypische Lungenresektion unter Verwendung atraumatischer Klemmen. (Aus: Heberer et al. 1991)

werden isoliert abgesetzt und das angrenzende Lungenparenchym durchtrennt und übernäht. Die Segmentresektion ist ein Eingriff für lungenchirurgisch Erfahrene; im Rahmen eines Traumas besteht eine Indikation sicher sehr selten.

Lappenresektion

Eine Indikation ist nur gegeben bei ausgedehnter Zerstörung eines Lungenlappens oder der irreparablen Verletzung des zugehörigen Bronchus bzw. der versorgenden Gefäße. Sie kann auch bei ausgedehntem intrapulmonalem Hämatom nach spitzem Trauma mit Verletzung größerer Lungengefäße oder nach Schussverletzung mit entsprechender Gewebezerreißung erforderlich sein. Im Zweifelsfall sollte man aber eher eine atypische Resektion wählen. Die Entfernung der Unterlappen ist am einfachsten, die des Oberlappens, insbesondere links, technisch am schwierigsten und risikoreichsten.

Da das geeignetste Vorgehen bei den verschiedenen Lungenlappen unterschiedlich ist und detaillierte Beschreibungen den Rahmen dieses Kapitels sprengen würden, wird hier lediglich das Prinzip einer Lappenresektion dargestellt. Es besteht in der Isolation eines Lungenlappens durch Inzision der Pleura und Darstellen der Strukturen am Hilus. Anschließend erfolgt die Präparation im Lappenspalt. Dazu wird unter Normalbeatmung der Lunge zunächst die Pleura visceralis inzidiert unter Koagulation der kleinen Gefäße, die den Lappenspalt kreuzen. Wenn man immer »weg« von dem zu erhaltenden Lappen präpariert und damit seine oberflächliche Pleura schont, erspart man sich später Luftlecks.

Meist bestehen mehr oder weniger umfangreiche Parenchymbrücken zwischen benachbarten Lappen. Diese werden am besten mit einem Klammernahtgerät durchtrennt. Dazu wird an der entlüfteten Lunge entlang und unter sicherer Schonung der Gefäße und gegenüber dem tastenden Zeigefinger der anderen Hand die Spitze einer mittelgroßen Overholt-Klemme vom Hilus aus unter der Parenchymbrücke durchgeschoben und dann ein kräftiger resorbierbarer Faden durchgezogen. Entlang diesem angespannten Faden wird dann eine Klammernahtreihe gesetzt, nachdem die Resektionslinie nochmals überprüft wurde, damit nicht versehentlich Hilusstrukturen oder Gefäße unterbunden werden.

Danach können die zum Lappen gehörigen Pulmonalarterienäste und Venen sicher identifiziert werden. Wegen der häufigen Gefäßvariationen ist dieses Vorgehen sicherer als gleich zu Beginn ein größeres Gefäß abzusetzen. Insbesondere bei der Versorgung der Pulmonalarterienäste ist jede Vorsicht und Sorgfalt am Platze. Ihre Gefäßwand ist dünn und hat die Tendenz, nach zentral einzureißen! Keinesfalls dürfen dann blind Klemmen gesetzt werden. Besser ist es, die Blutung digital zu komprimieren und den Hauptstamm der Pulmonalarterie vorsichtig zu umfahren und mit einem Bändchen anzuschlingen. Nach Aufsetzen eines Schlauchstücks kann damit die Pulmonalarterie durch Herunterfahren des Schlauchstücks und seine Fixierung mit einer Klemme temporär verschlossen werden (Abb. 2.24). Die Versorgung der Gefäße erfolgt am besten durch Umfahren mit entsprechend dimensionierten Overholt-Klemmen und doppeltem Anschlingen mit Vicryl 2/0. Zwischen den 2 Fäden, die möglichst großen Abstand haben sollten und ligiert werden, wird das Gefäß mit langem proximalem (!) Stumpf durchtrennt. Dieser wird entweder noch mit einer Durchstechungsligatur versorgt oder – noch sicherer und bei größeren Gefäßen in jedem Fall zu empfehlen – mit 4/0- oder 5/0-Prolene übernäht.

In identischer Weise wird nach Versorgung der Gefäße der Lappenbronchus mit dem Skalpell abgesetzt, nachdem zuvor nach proximal in einem Abstand von ca. 0,5 cm zur Abzweigung eine Klammernahtreihe gesetzt wurde (TEA 30 mm, grünes Magazin); auch hier gibt es anatomische Varianten. Der Bronchusstumpf sollte möglichst kurz sein, da ein langer Stumpf zur Insuffizienz prädisponiert. Falls ein Doppellumentubus verwendet wird, kann der Bronchus offen abgesetzt werden. Dies ist schonender als ein Abklemmen, wenn kein Klammernahtgerät verfügbar ist. Ein Abklemmen des proximalen Stumpfs führt immer zu einer erheblichen Traumatisierung und damit zu einem höheren Insuffizienz-

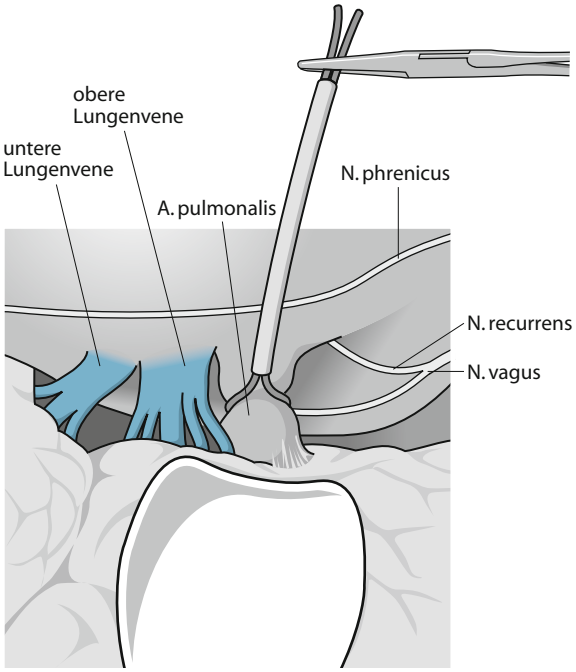


Abb. 2.24 Temporärer Verschluss des Pulmonalarterienhauptstamms mit einem schlaucharmierten Bändchen zur Blutungskontrolle

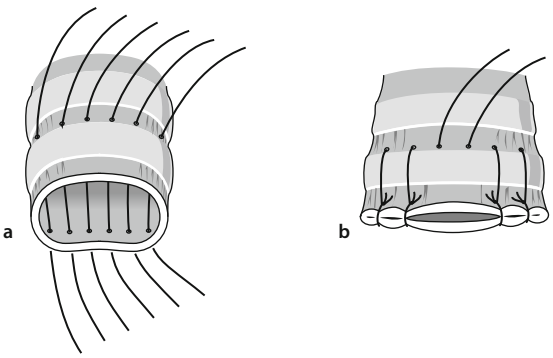


Abb. 2.25a,b Bronchusstumpfverschluss durch überwendliche resorbierbare Nähte

risiko. Wir übernähen den Bronchusstumpf immer noch zusätzlich mit fortlaufender PDS 3/0 oder 4/0-Naht in doppelter Nahtreihe mit Matratzennaht und überwendlicher Naht. Ohne vorausgegangenen Klammernahtverschluss wird der Bronchusstumpf mit einzeln vorgelegten 3/0-PDS-Nähten verschlossen, die ventral immer die benachbarte Knorpelspange mitfassen (Abb. 2.25). Gerade bei Patienten mit einer möglichen längeren maschinellen Beatmung sollte der Bronchusstumpf nach Spülung und Überprüfen auf Luftdichtigkeit mit vitalem Gewebe abgedeckt werden. Dazu eignen sich jeweils gestielte Pleura- oder besser Interkostalmuskellappen oder Perikardlappen, rechtsseitig auch mit der in ihrer Kontinuität erhaltenen oder durchtrennten V. azygos.

Pneumonektomie

Hierbei wird ein ganzer Lungenflügel entfernt. Die Indikation sollte wegen der hohen postoperativen Komplikationsrate eine extreme Ausnahme bleiben. Bereits bei elektiven Pneumonektomien

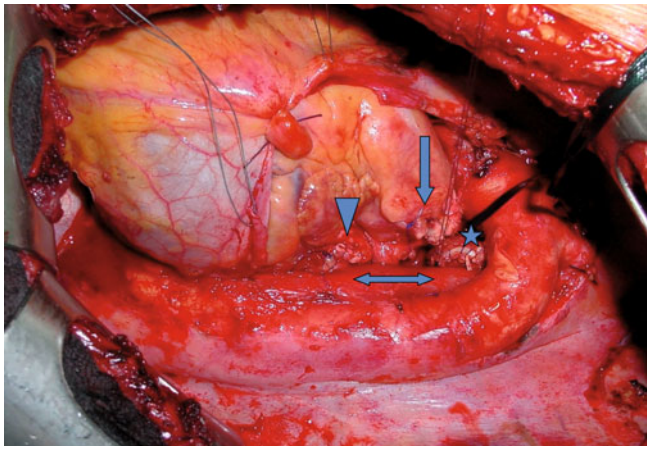


Abb. 2.26 Anatomie links thorakal nach intraperikardialer Pneumonektomie: die Aorta ist zwischen dem Abgang der linken A. carotis und A. subclavia angeschlungen; die Stümpfe von Hauptbronchus (Stern), Pulmonalarterie (Pfeil), Lungenvene (Pfeilkopf) und der Ösophagus (Doppelpfeil) sind sichtbar

beträgt die Letalität bis 5%. Daher wird man sie nur bei schwersten Zerstörungen der Lunge oder des Bronchialsystems bzw. bei anders nicht beherrschbaren Blutungen aus dem Lungenhilus durchführen. Vor allem eine rechtsseitige Pneumonektomie ist ein verstümmelnder Eingriff mit ganz erheblicher Einschränkung der Atemfunktion. Ist auch die andere Lunge durch das Trauma geschädigt, so ist der Eingriff ohne extrakorporale Membranoxygenierung nicht zu überleben.

Bei der Pneumonektomie werden die Hauptstämme der großen Lungengefäße und der Hauptbronchus in derselben Weise versorgt wie dies im vorangegangenen Abschnitt bei der Lappenresektion für die weiter peripher gelegenen Strukturen beschrieben wurde (Abb. 2.26). Die Deckung mit vitalem Gewebe ist bei einem Hauptbronchusstumpf ganz besonders wichtig.

Vorgehen bei nicht beherrschbaren Blutungen aus Lungengefäßen

Da der Druck in den Lungengefäßen niedrig ist, lassen sich Blutungen meist gut digital komprimieren. Aufgrund der dünnen und zerreißlichen Wand besonders der Pulmonalarterien ist das blinde Setzen von Klemmen äußerst gefährlich und kann dann zu nicht mehr kontrollierbaren zentralen Blutungen führen. Zur temporären Blutungskontrolle kann der Hilus mit einem Bändchen angeschlungen und mit einem übergezogenen Gummiröhrchen und einer auf das Bändchen gesetzten Klemme komprimiert werden (Abb. 2.24), ähnlich dem Pringle-Manöver an der Leberpforte (▶ Kap. 3, Abdomen). Dann wird die Blutungsquelle aufgesucht, und es folgt die selektive Versorgung des Gefäßes mit 5/0-oder 4/0-Prolene durch überwendliche Naht des Defekts. Eine mäßiggradige Einengung oder auch ein Verschluss von Segmentgefäßen kann dabei ohne weitere Maßnahmen in Kauf genommen werden. Defekte in größeren Gefäßen werden am besten unter Einnähen eines (Perikard-)Flickens verschlossen.

Zentrale Blutungen werden initial digital komprimiert. Dann werden das Perikard ventral des N. phrenicus eröffnet und die entsprechenden Gefäße intraperikardial vorsichtig umfahren und mit Gefäßklemmen oder ebenfalls mit Hilfe eines Bändchens und eines Gummiröhrchens temporär unterbunden. Um den intraoperativen Blutverlust geringer zu halten, sollte entweder auch distal der Blutungsquelle geklemmt oder wegen der Rückblutung Arterien

und Venen temporär okkludiert werden. Anschließend erfolgt die Versorgung der Blutungsquelle wie beschrieben.

2.4.2 Große Luftwege

Trachea, Haupt- und Lappenbronchien sollen möglichst durch direkte Naht verschlossen und somit erhalten werden. Die Versorgung weiter intrapulmonal gelegener Luftwege wurde oben unter »Parenchymverletzungen« beschrieben.

Klinik

Es bestehen in aller Regel ein Hautemphysem, Mediastinalemphysem und/oder ein Pneumothorax mit großem Luftleck nach Drainageeinlage. Eine Hypoxämie ist häufig. Aus den Luftwegen kann meist blutig tingiertes, schaumiges Sekret abgesaugt werden.

Diagnostik

Auf der Röntgenaufnahme des Thorax fallen deplatzierte Luftansammlungen, ein Mediastinalemphysem oder auch nur ein Pneumothorax auf. Eine genauere Eingrenzung gelingt oft mit der CT. Entscheidend ist die Endoskopie zum Nachweis und zur genauen Lokalisation des Defekts.

Therapie

Verletzungen der kranialen Tracheaanteile werden meist durch direkte, penetrierende oder stumpfe Gewalteinwirkung verursacht. Bei letzterer kann die Trachealwand intakt bleiben ohne Luftaustritt, das resultierende Ödem kann den Patienten aber vital gefährden. Die Verletzten sind daher entsprechend zu überwachen. Hilfreich sind in diesen Fällen die systemische Kortisontherapie und die Inhalation von Adrenalin (1:10.000) und ebenfalls von Kortikosteroiden. Im Zweifelsfall wird man eher intubieren, was aber technisch schwierig sein kann, daher muss u.U. der Tubus über ein Bronchoskop bis jenseits des traumatisierten Abschnitts vorgeschoben werden. Damit ist sowohl bei stumpfen wie bei penetrierenden Traumen ausreichend Zeit für eine Verlegung in eine spezialisierte Abteilung gewonnen. Falls dies nicht möglich ist, wird eine Tracheotomie und Platzierung einer Trachealkanüle distal der Ruptur durchgeführt, ggf. zusammen mit einer Naht des Defekts (s. unten). Dabei sind die Schilddrüse und der N. recurrens zu schonen.

Die meisten Rupturen der Trachea nach stumpfem Trauma liegen intrathorakal. Relativ häufig sind diese Rupturen eine Intubationsfolge. So werden sie auch im Rahmen elektiver operativer Eingriffe v.a. bei adipösen Frauen mit kurzem Hals beobachtet. Ursache ist möglicherweise eine direkte Verletzung der Pars membranacea durch den Führungsstab oder eine Ruptur beim Pressen und Husten gegen Widerstand. Entscheidend für das weitere Procedere ist neben der Lokalisation des Defekts v.a. das Ausmaß des Luftlecks.

Kleinere, gedeckte Rupturen der Trachea ohne wesentliches Mediastinalemphysem können einen konservativen Therapieversuch rechtfertigen, v.a. bei schwerstem Polytrauma oder alten Patienten. Wesentlich ist hier, dass der Cuff des Tubus distal und keinesfalls im Bereich der Ruptur platziert wird, hohe Beatmungsdrücke und insbesondere Druckspitzen beim Husten und Pressen vermieden werden sowie eine breite und hochdosierte antibiotische Abdeckung als Mediastinitisprophylaxe durchgeführt wird.

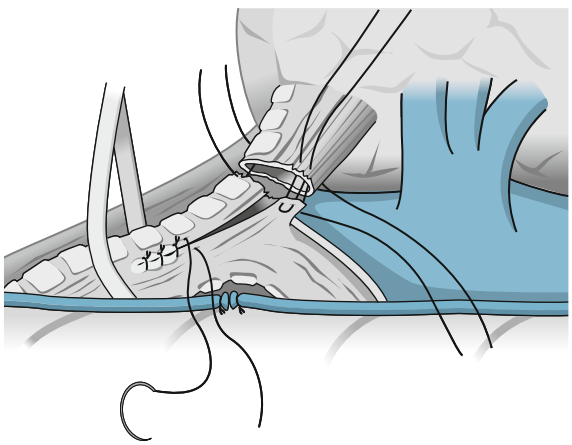
Distale Tracheal- oder Bronchialrupturen mit großem Luftleck beinhalten große anästhesiologische und operationstechnische Probleme, v.a. dann, wenn es nicht gelingt, einen Hauptbronchus distal der Ruptur zu intubieren und damit die Oxygenierung des Patienten sicherzustellen. Diese Situation kann sich auch erst intraoperativ ergeben, wenn die Pleura über der Trachea eröffnet wird und dadurch erst die entsprechenden Luftmengen entweichen können. Der Patient ist vital gefährdet, wenn die oben angeführte Einlungenbeatmung nicht gelingt; u.U. muss zunächst ein Tubus über das Operationsfeld eingebracht werden. Wenn vorhanden, kann die »high frequency jet ventilation« mit einem entsprechenden Katheter durch den Tubus oder das Operationsfeld die Oxygenierung sicherstellen. Andernfalls muss das Luftleck intermittierend manuell, am besten mit Hilfe von feuchten Kompressen oder Tüchern abgedeckt werden, die Naht muss dann schrittweise erfolgen.

Zugang

Der Zugang zum Übergang von der zervikalen zur thorakalen Trachea erfolgt über eine (partielle obere) Sternotomie. Dorsale Verletzungen sind hier technisch schwierig zu versorgen, da die Trachea langstreckig mobilisiert werden muss, um dorsal nähen zu können. Der Zugang zum intrathorakalen Anteil erfolgt in der Regel über eine rechtsseitige posterolaterale Thorakotomie im 4. ICR. Einzige Ausnahme ist die isolierte Verletzung des linken Hauptbronchus. In diesem Fall wählt man einen linksseitigen Zugang im selben ICR. Reicht die Ruptur jedoch bis an die Trachea, ist ein rechtsseitiger Zugang günstiger, da links der Aortenbogen im Wege ist und erst mobilisiert werden muss, der linke proximale Hauptbronchus sich aber auch von rechts noch gut erreichen lässt.

Der Eingriff sollte, wenn möglich, unter Einlungenbeatmung erfolgen, oder aber unter Weghalten der Lunge manuell oder mit einem geeigneten Spatel und Einstellen der Trachea, die sich anhand der Knorpelspangen gut zwischen V. cava superior und Ösophagus palpatorisch identifizieren lässt. Dann wird der N. phrenicus identifiziert. Dieser verläuft aber meist deutlich ventral. Es folgt die vorsichtige und langsame Inzision der emphysematösen Pleura über dem rupturierten Segment, besonders wenn der Tubus nicht distal der Ruptur platziert werden konnte (s. oben).

Die Wand des Ösophagus ist wegen des Risikos einer Fistelbildung unbedingt zu schonen. Die Identifikation des Ösophagus wird durch eine kräftige Magensonde erleichtert. Bei kaudalen Rupturen muss die V. azygos zwischen Durchstechungsligaturen durchtrennt werden. Im Bereich der Ruptur folgt das Vorlegen der Nähte (PDS 4/0, 3–5 mm Abstand), die dann anschließend geknotet werden (◘ Abb. 2.27). Nachfolgend wird die Luftdichtigkeit mit



◘ **Abb. 2.27** Abriss des rechten Hauptbronchus mit Längseinriss des Pars membranaceus der Trachea. (Aus: Heberer et al. 1991)

der Wasserprobe überprüft. Wenn es möglich ist, sollte zusätzlich vitales Gewebe wie bei der Bronchusstumpfdeckung aufgesteppt werden. Die Pleura wird mit dem Ziel eines besseren Sekretabflusses offen gelassen. In unmittelbarer Nähe der Ruptur wird eine Drainage platziert, die zusätzlich noch mit einer dünnen resorbierbaren Naht fixiert werden kann, um eine Dislokation zu verhüten.

2.4.3 Nachbehandlung nach Lungenoperationen

Postoperativ wird immer eine Röntgenuntersuchung des Thorax a.p. angefertigt, um insbesondere die Ausdehnung und Belüftung der Lunge zu überprüfen. Lunge und Bronchialbaum sind als potenziell infiziert anzusehen. Eine wesentliche intraoperative Infektionsprophylaxe ist die mehrfache Spülung mit mehreren Litern warmer Kochsalzlösung. Alle Patienten erhalten möglichst bereits präoperativ eine Antibiotikaprophylaxe mit einem Cephalosporin der 3. Generation (Cefuroxim o.Ä.). Bei lungenresezierenden Eingriffen sollte diese am besten bis zum Ziehen der Drainagen weitergegeben werden, v.a. bei anhaltendem Luftleck. Intraoperativ werden mindestens 2 großlumige Thoraxdrainagen platziert (32 Charr) – eine davon in die Pleurakuppel ventral zur Ableitung von Luft und eine dorsal im Sinus phrenicocostalis zur Ableitung von Sekret.

Nach Naht der Luftwege oder Resektion von Lungenlappen ist postoperativ prinzipiell eine rasche Extubation anzustreben, da diese das Risiko einer Naht- bzw. Bronchusstumpfinsuffizienz verringert. Ist eine längere Beatmung erforderlich, sollten die Beatmungsdrücke und der PEEP aus dem gleichen Grunde möglichst niedrig gehalten werden. Damit besteht z.B. nach Lungenkontusionen ein Zielkonflikt, da hier der PEEP 8–10 cm H_2O betragen sollte.

2.5 Herz und intraperikardiale große Gefäße

Akut lebensbedrohliche Herzverletzungen sind in Mitteleuropa selten und werden fast immer durch penetrierende Mechanismen im Rahmen krimineller Handlungen verursacht. Andererseits werden Herzkontusionen bei schweren Thoraxtraumen und kleinere Verletzungen wie etwa Metallsplitter von Schleifscheiben häufig übersehen oder unterschätzt.

2.5.1 Herzkontusion

Klinik

Die Symptomatik ist außerordentlich variabel. Sie kann einerseits völlig fehlen, andererseits können eine Perikardruptur mit Herzluxation, der traumatische Verschluss einer Koronararterie oder eine akute Klappeninsuffizienz, etwa bei Sehnenfadenabriss, entsprechende dramatische klinische Folgen haben. Entscheidend ist, an die Möglichkeit einer Herzkontusion zu denken und ggf. auch nach der initialen Diagnostik wiederholt entsprechende apparative Untersuchungen durchzuführen, insbesondere bei Zeichen der Einflussstauung, der Herzinsuffizienz sowie bei Auftreten von Rhythmusstörungen und EKG-Veränderungen. Weiterhin besteht immer die Möglichkeit eines Herzinfarkts oder einer kardial bedingten Synkope als Unfallursache.

Diagnostik

Es sollte eine Röntgenthoraxaufnahme erfolgen, wobei insbesondere Stauungszeichen und Verbreiterungen der Herzkontur wichtig sind. Beim EKG achtet man insbesondere auf ST-Hebungen als Verletzungszeichen des Myokards. Bei Verdacht auf eine Kontusion soll das EKG nach 6 und 24 h wiederholt werden. CK und CKMB im Serum geben wesentliche Hinweise für myokardiale Zellschäden. Der CKMB-Anteil ist dann größer als 10%. Auch hier ist eine Wiederholung der Untersuchung nach 6 und 24 h angezeigt. Noch spezifischer und mittlerweile auch als Schnelltest verfügbar ist die Bestimmung von Troponin, denn die CKMB kommt in relativ hohen Anteilen auch in der Thoraxwandmuskulatur und im Gehirn vor.

Wesentliche Befunde kann die Echokardiografie transthorakal und transösophageal liefern. Insbesondere bei letzterer können Schäden der Atrioventrikularklappen und deren Aufhängungsapparats wie etwa ein traumatischer Sehnenfadenabriss genau dargestellt werden. Weiterhin wird auf ein Hämoperikard sowie globale und regionale Kontraktilitätsstörungen geachtet. Bei dringendem Verdacht auf eine wesentliche Kontusion v.a. mit Kompromittierung des Koronarsystems kann eine Herzkatheteruntersuchung angezeigt sein. Moderne CT- und MRT-Geräte bieten aber heute teilweise eine gute Auflösung der Koronarien.

Therapie

Die weitaus am häufigsten angetroffene einfache Herzkontusion ohne Komplikationen wird primär konservativ behandelt. Zur Beurteilung des Myokardschadens und zur Mitbehandlung sollten immer Kardiologen hinzugezogen werden. Bei komplexer Kontusion, d.h. bei hämodynamischer Wirksamkeit und Herzinsuffizienz, bei Verdacht auf Klappen- oder Koronarschaden sollte der Patient schnellstmöglich in ein Zentrum mit entsprechenden diagnostischen und herzchirurgischen Einrichtungen verlegt werden.

Bei der seltenen traumatischen **Perikardruptur** mit Herzluxation, die praktisch ausschließlich in den linken Hemithorax erfolgt und zu einer sofortigen Kreislaufinsuffizienz mit Einflussstauung führt, wird der Verletzte umgehend auf die Gegenseite gelagert. Anschließend erfolgt die operative Revision mit Verschluss des rupturierten Perikards durch resorbierbare Nähte. Dabei muss eine intraperikardiale Drainage gelegt oder das Perikard darf nicht vollständig verschlossen werden, um einem hämodynamisch wirksamen Erguss vorzubeugen.

2.5.2 Penetrierende Herzverletzungen

Zwar können auch nicht penetrierende Verletzungen im Rahmen eines massiven Traumas zu Einrissen an intraperikardialen Gefäßen oder Herzkammern führen, doch in aller Regel sind Verletzungen dieser Strukturen auf Stich- oder Schussverletzungen zurückzuführen. Ähnlich der Situation am Abdomen sind auch scheinbar oberflächliche und kleine Verletzungen sorgfältig hinsichtlich einer Verletzung tieferer Strukturen abzuklären.

Ein Hauptproblem für den initial behandelnden Chirurgen ist die Entscheidung, eine an sich schon mit einer hohen Letalität behaftete Herzverletzung selbst zu versorgen oder den Patienten in ein herzchirurgisches Zentrum zu verlegen. Im ersten Falle besteht das Risiko, in eine ohne Herz-Lungen-Maschine nicht beherrschbare Situation zu geraten, andererseits ist eine Weiterverlegung der in aller Regel akut gefährdeten Patienten häufig nicht verantwortbar. Insofern kommt der Initialentscheidung am Unfallort hinsichtlich des aufnehmenden Krankenhauses und einem die individuellen Gegebenheiten berücksichtigenden Vorgehen (Patientenzustand, nächstes Krankenhaus/Zentrum) größte Bedeutung zu.

Im Zweifelsfall und insbesondere bei hämodynamisch instabilen Patienten mit aktiver Blutung muss auch der Patient in der Peripherie der schnellstmöglichen chirurgischen Therapie zuge-

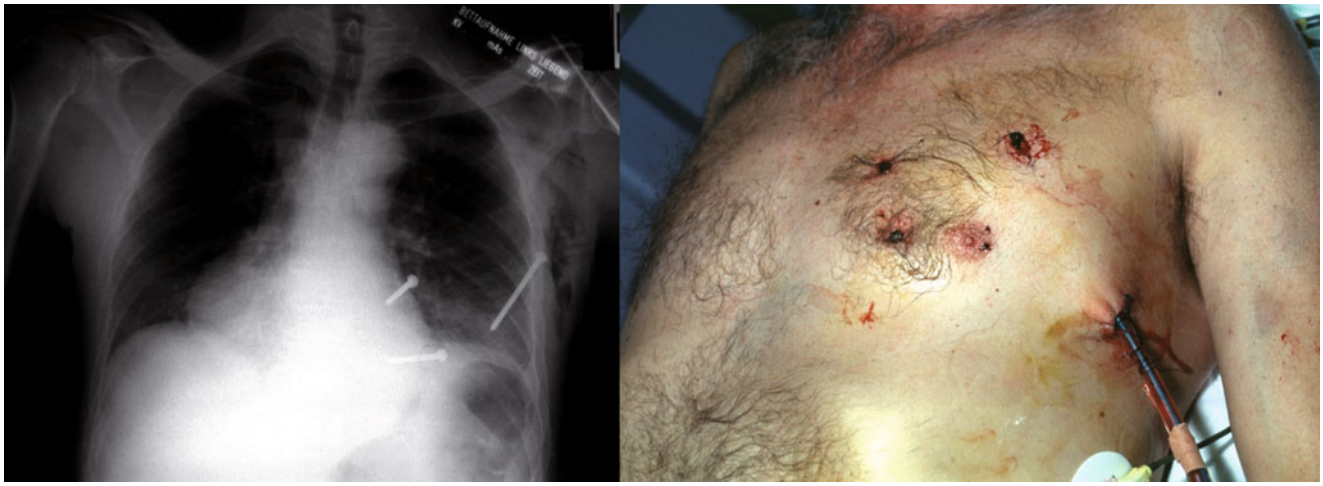


Abb. 2.28 Suizidale Applikation von Nägeln mit einem Schussapparat. Bei der Extraktion der Nägel während der operativen Versorgung entstand eine massive kardiale Blutung, die erfolgreich übernäht werden konnte. Vorausgegangen war die Ermordung der Ehefrau mit demselbem Gerät. Sie war durch einen Einschuss in die Aorta descendens verblutet

führt werden, selbst wenn eine Herz-Lungen-Maschine nicht zur Verfügung steht. Noch liegende Fremdkörper, wie Messer etc., sollen wie bei allen Thoraxverletzungen bis nach dem Abwaschen und Abdecken in situ belassen werden (Abb. 2.28). Falls keine Paddel zur internen Defibrillation zur Verfügung stehen, sollten Defibrillationspatches von außen auf den Thorax aufgeklebt werden. Weiterhin sollte die Anästhesie eine entsprechend dimensionierte Schleuse legen, über die ein transvenöser Schrittmacher eingeschwemmt werden kann.

Diagnostik

Das Röntgenbild des Thorax wird insbesondere hinsichtlich einer Verbreiterung des Mediastinums und der Lage von Fremdkörpern beurteilt. Detailliertere Informationen liefert die CT. Ein Pneumoperikard ist sicheres Zeichen einer Verletzung des Herzbeutels. Die Echokardiografie liefert weitere Informationen zum Funktionszustand des Herzens und zu einem Perikarderguss. Das EKG kann Ischämiehinweise geben, etwa bei Verletzung einer Herzkranzarterie.

Bei hämodynamischer Instabilität ist die chirurgische Exploration sowohl eine diagnostische wie auch eine therapeutische Maßnahme.

Therapie

Bei Verdacht auf eine Herzverletzung ist immer eine operative Revision angezeigt, zumal auch kleine Fremdkörper, etwa durch Läsionen der Herzkranzgefäße oder bei einer zweizeitigen Blutung, zu lebensbedrohlichen Situationen führen können. Schließlich wird immer wieder über eine Embolisation derartiger Partikel mit konsekutiven Gefäßverschlüssen in der Peripherie berichtet. Der Zugang erfolgt in der Regel über eine mediane Sternotomie, es sei denn, es liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine isolierte Verletzung der Herzhinterwand vor, die sich am schlagenden Herzen von vorne schwer versorgen lässt. Hier wird man über eine ausgedehnte laterale oder im Zweifelsfall eine bilaterale Thorakotomie zugehen. Lediglich bei hämodynamischer Stabilität und zur Abklärung eines fraglich blutigen Perikardergusses kann das Perikard initial über einen subxiphoidalen Zugang eröffnet werden (s. unten).

Bei Verdacht auf **Tamponade** wird sofort, und sei es am Unfallort, eine subxiphoidale Perikardpunktion durchgeführt. Dazu wird bei leicht angehobenem Oberkörper im Winkel zwischen Xiphoid und linkem Rippenbogen in Richtung auf die rechte Schulter mit einer langen Nadel unter laufender Aspiration punktiert. Das Anbringen einer unipolaren EKG-Elektrode zum Beobachten des EKG (»Direktableitung«, ST-Hebungen bei Kontakt bzw. Verletzung des Herzens) wird als hilfreich beschrieben; besser und zuverlässiger ist die Kontrolle durch Ultraschall. Der Erguss wird abgelassen, das Einführen eines (Pigtail-)Katheters nach der Seldinger-Technik gibt Informationen über den Umfang einer anhaltenden Blutung. Einerseits kann schon die Entleerung geringer Blutmengen hämodynamisch erfolgreich sein, andererseits lassen sich die zur Tamponade beitragenden Koagel so nicht entfernen.

Bei kleinerer oder unsicherer Verletzung erfolgen die Hautinzision über dem Xiphoid bis oberhalb des Nabels, die Resektion des Xiphoids und die kaudale Perikardiotomie; bei Hämatoperikard anschließend immer die Erweiterung zur Sternotomie. Bei multiplen Verletzungen gibt die bilaterale Thorakotomie eine hervorragende Übersicht über Herz und beide Lungen, zum Aortenbogen und den supraaortalen Ästen jedoch nur mit Einschränkung.

Bei relativer hämodynamischer Stabilität werden nach der Sternotomie zunächst Blutungen aus dem Periost durch Elektrokoagulation gestillt, am besten direkt mit der Kauterkugel. Nach Einsetzen eines geeigneten Sperrers wird der Thymusrest zwischen kräftigen Overholt-Klemmen oder mit dem elektrischen Messer durchtrennt. Dies erfolgt am besten nach Identifikation der V. anonyma. Größere Thymusvenen geben gerne Anlass zu Nachblutungen und sollten zumindest sekundär ligiert werden. Anschließend wird das Perikard in Form eines auf dem Kopf stehenden Y inzidiert. Im Moment der Perikarderöffnung wird eine evtl. vorbestehende Tamponade beseitigt. Dadurch bessern sich die Kreislaufverhältnisse, und die Selbsttamponade einer aktiven Blutungsquelle wird aufgehoben. Spätestens zu diesem Zeitpunkt müssen also Möglichkeiten zur ausreichenden Saugung und zur raschen Gabe größerer Volumenmengen durch die Anästhesie gegeben sein. Weiterhin empfiehlt es sich, die initiale Inzision des Perikards klein zu halten, um ein langsames Abfließen des intraperikardialen Bluts zu ermöglichen und den resultierenden Blutdruckanstieg zu verlangsamen. Dadurch wird der Anästhesie

Zeit gegeben, die Katecholamingaben zu reduzieren und exzessiv hohe Blutdruckwerte zu vermeiden, die die kardiale Blutung massiv verstärken und zur Vergrößerung bestehender Verletzungen insbesondere am Myokard führen können.

Nach Absaugen des Bluts wird eine aktive Blutungsquelle zunächst digital durch Auflegen eines oder mehrerer Finger komprimiert.

Falls es sich um Blutungen aus den Ventrikeln handelt, müssen v.a. bei dem an der Herzvorderseite liegenden rechten Ventrikel die Weichheit und der geringe Durchmesser der Kammerwand berücksichtigt werden, die bei forcierten Maßnahmen rasch zu noch größeren und damit kaum mehr beherrschbaren Defekten führen kann.

Wenn unmittelbar nach der Perikardiotomie keine aktive Blutung zu eruieren ist, werden zunächst die Perikardränder durch 2–3 kräftige Nähte (Mersilene Stärke 1 o.Ä.) auf jeder Seite an der Kutis oder Subkutis fixiert. Damit wird das Operationsfeld angehoben und die Übersicht verbessert. Anschließend werden vorhandene Koagel ausgeräumt und die Blutungsquelle aufgesucht.

Verletzungen des rechten Vorhofs und der Hohlvenen sind bei guter Zugänglichkeit am leichtesten zu versorgen. Sie werden am besten mit einer entsprechend dimensionierten Gefäßklemme (Satinsky) ausgeklemmt und mit 4/0-Prolene übernäht. Sollte dies nicht möglich sein, etwa am rechten Vorhof durch die Nachbarschaft der rechten Herzkranzarterie, so können unter fortbestehender digitaler Kompression zunächst in ca. 1 cm Abstand zur Verletzung 2 entsprechende Nähte vorgelegt und geknotet werden. Unter vorsichtigem Zug an den Fäden ist ein Ausklemmen oft leichter möglich. Anderenfalls können unter dem komprimierenden Finger fortlaufende Nähte oder weitere Einzelfäden gelegt werden. Bei letzterem Vorgehen ist auf entsprechend dimensionierte Nadeln zu achten.

In sehr dünnen Wandabschnitten, wie der Einmündung der Lungenvenen in den linken Vorhof, kann es sinnvoll sein, armierte Nähte zu verwenden. Dazu werden beide Nadeln eines Fadens durch ein Filzplättchen oder ein kräftiges Stückchen Perikard gestochen, dann durch die Ränder der Herzwunde und schließlich erneut durch ein Stückchen Teflonfilz bzw. Perikard. Dieses Vorgehen ist die Methode der Wahl bei **Ventrikelverletzungen**, wobei u.U. mehrere armierte U-Nähte vorgelegt und dann erst vorsichtig geknotet werden. Bei diesen Muskelnähten ist unbedingt darauf zu achten, dass Nadeln und Filzplättchen groß genug sind (mindestens 3/0-Prolene mit möglichst großer Nadel). Außerdem muss der gefasste Muskelrand ausreichend breit sein (1 cm), um ein Einreißen der Nähte zu vermeiden (Abb. 2.29).

Es ist besser, zunächst nur eine Blutungsreduktion zu erreichen und die fortbestehende Blutung mit weiteren armierten Nähten zu versorgen als ein Einreißen bei zu forciertem Knoten zu riskieren. Kleinere venöse Blutungen aus dem Epikard stehen meistens nach Aufbringen von Fibrinkleber und Kollagenvlies, kleinere arterielle Blutungen werden mit feinen Fäden (≤ 5/0-Prolene) vorsichtig umstochen.

Besonders schwierig zu versorgen sind Verletzungen, die nahe einem proximalen und damit größeren Ast einer **Herzkranzarterie** liegen oder diesen gar einbeziehen. Man wird bei nicht unmittelbaren Verletzungen der Koronarien versuchen, die armierten Nähte unter der entsprechenden Herzkranzarterie durchzustechen und so zu knoten, dass daraus keine Gefäßkompression resultiert (Abb. 21.9c). Diese macht sich relativ rasch durch ST-Hebungen im EKG und entsprechende hämodynamische Verschlechterung bemerkbar. Daher sollte im Zweifelsfall

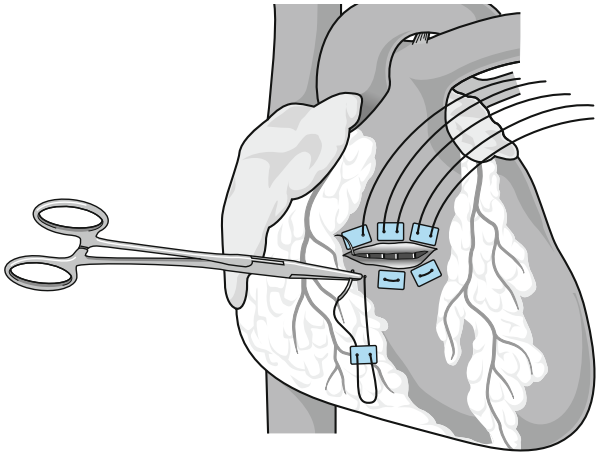


Abb. 2.29 Versorgung einer Stichverletzung des rechten Ventrikels mit filzarmierten U-Nähten

der Knoten zunächst nur einfach vorgelegt werden, sodass ein Nachlassen des Fadenzuges möglich ist. Im peripheren Drittel gelegene Äste können meist problemlos geopfert werden, insbesondere am rechten Ventrikel. Proximalere Verletzungen der Herzkranzarterien v.a. im ersten Drittel können in der Regel nicht kompensiert werden. Hier kann eine Naht versucht werden, erscheint aber kaum aussichtsreich.

Eine temporäre Unterbrechung des Blutstroms von proximal und distal ist entweder durch feine Bulldog-Klemmchen oder ein Unterstechen mit einem doppelt nadelarmierten Faden möglich, auf den ein Filzplättchen und dann ein Gummiröhrchen aufgefädelt werden. Mit einer Klemme wird das Gummiröhrchen heruntergeführt und damit über das Filzplättchen die Herzkranzarterie komprimiert. Anschließend kann die Arterienverletzung mit feinen Nähten entsprechend gefäßchirurgischen Prinzipien versorgt werden. Unter Umständen kann es aber günstiger sein, das Gefäß im Verletzungsbereich zu verschließen und stromabwärts einen Venenbypass anzunähen. Auch wenn durch Einbringen von Tüchern das Operationsfeld stabilisiert wird, so ist dies am schlagenden Herzen schwierig. Falls vorhanden kann ein dünnes, mit einem Faden gesichertes Shuntröhrchen in die Koronararterie eingebracht werden. Im Zweifelsfall wird man sich daher auf die Blutungskontrolle beschränken müssen und die schnellstmögliche Verlegung des Patienten – u.U. auch mit offenem Thorax, der mit sterilen Tüchern und einer sterilen Operationsfolie abgedeckt wird – in ein herzchirurgisches Zentrum organisieren. Außerdem verfügen bereits einige Herzzentren über mobile Geräte für die extrakorporale Zirkulation, mit deren Hilfe ein Verletzter auch in einem kleineren Krankenhaus umfassend herzchirurgisch versorgbar ist.

Direkte **Verletzungen der Aorta** können, sofern der Patient lebend den Operationstisch erreicht, mit einer entsprechend gebogenen Gefäßklemme temporär versorgt werden, je nach Wandqualität wird diese dann mit einfachen 4/0-Prolene oder mit filzarmierten Nähten versorgt. Dabei sollte unbedingt die Adventitia mit gefasst werden, die zusätzlich abdichtend wirkt und das Nahtwiderlager verbessert.

Bei der **Pulmonalarterie** kann die Gefäßwand sehr zerreißlich sein, ein Ausklemmen der Verletzung ist daher schwieriger und gefährlicher als an der Aorta. Hier werden nach Einbringen von Haltefäden am besten in oben beschriebener Manier Nähte unter dem komprimierenden Finger hindurchgestochen.

Ein weiteres Problem sind **Verletzungen** in weniger gut zugänglichen Bereichen des Herzens, insbesondere an der **Rückseite**. Ein längeres Herausluxieren der Herzspitze wird auch von kreislaufstabilen Patienten ohne Verwendung spezieller herzchirurgischer Techniken nur kurzzeitig vertragen. Außerdem nimmt die Blutung bei der Luxation zunächst häufig zu, um dann bei dem rasch folgenden Abfall des Blutdrucks im Gefolge der Luxation teilweise oder vollständig zu sistieren, was eine genaue Lokalisation und Versorgung zusätzlich schwierig gestalten kann. Man wird hier abzuwägen haben, ob ein Nahtversuch sinnvoll ist oder ob man, insbesondere am Niederdrucksystem, eine wenigstens temporäre Blutstillung mit Kollagenvlies, reichlich Fibrinkleber und lokalem Abstopfen mit Kompressen versucht und den Patienten anschließend einer herzchirurgischen Versorgung zuführt. Soll eine Naht versucht werden, hebt am besten zunächst der Operateur mit Hilfe einer um die Herzspitze gelegten Kompresse, um ein Abrutschen zu vermeiden, das Herz langsam und unter Beobachtung des Blutdrucks an, was meist besser toleriert wird als ein schnelles Herausheben. Gegebenenfalls kann der eigentliche Operationsbereich dann weiter durch den Assistenten oder durch entsprechend platzierte Kompressen oder feuchte Bauchtücher exponiert werden.

Herzverletzungen lassen sich am besten bei niedrigem Blutdruck versorgen, sodass eine enge Absprache mit der Anästhesie obligat ist, damit nicht gerade beim Legen oder Knoten der Nähte etwa Katecholamine »aus der Hand« gegeben werden.

Große Volumenmengen können bei Bedarf über eine dicklumige Kanüle direkt über das Operationsfeld gegeben werden. Dazu wird die Spitze des rechten Herzohrs mit einer Tabaksbeutelnaht versehen, auf die ein Gummiröhrchen aufgezogen wird. Die Kanüle wird ins Zentrum dieser Naht eingebracht und eine Leitung zur Druckinfusion von Blut und Infusionslösungen zum Anästhesisten abgegeben.

Am **Ende der Operation** wird man das Perikard in den kranialen Anteilen mit resorbierbarer Naht (z.B. Vicryl 2/0) verschließen bzw. das mediastinale Fett adaptieren. Regelhaft werden 2 Drainagen eingebracht (Thoraxdrainagen 32 Charr), von denen mindestens eine direkt den intraperikardialen Raum drainieren muss. Die Drainagen werden mit einer Saugung versehen, am besten wird eines der kommerziell erhältlichen Thoraxdrainagesets verwendet. Wurde intraoperativ eine Pleurahöhle eröffnet, wird sie separat drainiert. Mit der Antibiotikagabe in Form eines Cephalosporins der 3. Generation sollte möglichst präoperativ begonnen werden.

2.6 Verletzungen der intrathorakalen Gefäße

Von penetrierenden Verletzungen kann jedes intrathorakale Blutgefäß betroffen sein. Bei stumpfen Verletzungen handelt es sich um massive äußere Gewalteinwirkungen mit Gefäßzerreißungen oder -anspießungen durch Knochenfragmente. Auch die Blutung aus Interkostalarterien oder der A. mammaria interna kann zum Verblutungstod führen, insbesondere bei begleitenden Gerinnungsstörungen.

Klinik

Volumenmangelschock, Hämatothorax, anhaltende Blutung aus den Thoraxdrainagen, Herzbeuteltamponade mit Venenstauung bei intraperikardialer Blutungsquelle oder Pulslosigkeit an den Extremitäten sind wichtige Hinweise auf eine Gefäßverletzung.

Diagnostik

Im Röntgenthorax wird man besonders auf Verschattungen und Verbreiterung des Mediastinums achten. Eine Fraktur der 1. Rippe geht häufig mit Läsionen der Subklaviagefäße und des Plexus brachialis einher. Weiterführende Untersuchungen sind die Thorax-CT mit Kontrastmittel, die transösophageale Echokardiografie und schließlich die Angiografie, letztere zumeist verknüpft mit einer therapeutischen Intention wie der Platzierung einer Endovaskularprothese.

2.6.1 Aortenruptur

Nach massiver Gewalteinwirkung kann prinzipiell jeder Teil der thorakalen Aorta rupturieren. Weitaus am häufigsten ist die Ruptur loco typico unmittelbar stromabwärts des Abgangs der linken A. subclavia in Höhe des Ductus Botalli. Ursache hierfür ist die relative Beweglichkeit der Aorta descendens gegenüber dem weitgehend fixierten Aortenbogen im Sinne einer Scherverletzung sowie der gleichzeitige Anstieg des Binnendrucks durch externe Kompression. Patienten mit Rupturen der Aorta ascendens und des Aortenbogens erreichen nur selten lebend die Klinik. Allerdings sehen wir immer wieder auch Rupturen des distalen Aortenbogens mit Ausriss des linken A.-subclavia-Abgangs. Die Patienten versterben nur dann nicht sofort an der Unfallstelle, wenn die Gefäßadventitia und Pleura vorübergehend eine freie Ruptur verhindern. Mit zunehmendem Abstand vom Unfall nimmt die Wahrscheinlichkeit einer freien Ruptur ab, sofern keine Zunahme des Rupturdurchmessers zu beobachten ist. Beim Zuwarten muss also engmaschig kontrolliert werden (s. unten).

Klinik

Die Symptomatik kann einerseits völlig fehlen – ein Verletzter steigt z.B. ohne äußere thorakale Verletzungszeichen noch selbst aus dem Fahrzeug. Andererseits kann eine intrathorakale Massenblutung mit umfangreichen Begleitverletzungen vorliegen. Bei jedem linksseitigen Hämatothorax nach stumpfem Trauma muss eine Aortenruptur ausgeschlossen werden. Entscheidender klinischer Hinweis kann die Pulslosigkeit in den Leisten bei vorhandenem rechtsseitigen Radialis- oder Karotispuls sein, wenn durch das periaortale Hämatom der Blutfluss kaudal der Ruptur kompromittiert wird (Pseudokoarktation). Bei Ausriss oder Kompression des Abgangs der linken A. subclavia ist der Puls u.U. schwächer als rechts.

Diagnostik

Jede Mediastinalverbreiterung oder auffällige Kontur des Mediastinums, wie ein aufgehobener »Aortenknopf«, in Röntgenaufnahmen des Thorax müssen weiter abgeklärt werden. Die transösophageale Echokardiografie ist am schnellsten und ohne Patiententransport ausführbar, aber untersucherabhängig und im Bogenbereich nicht absolut zuverlässig sowohl hinsichtlich der Diagnosestellung als auch der Lokalisation. Sie ist die Methode der Wahl beim hämodynamisch nicht stabilen Patienten. Die CT des Thorax mit Kontrastmittel kann eine Ruptur zuverlässig bestätigen, sie gibt gleichzeitig Hinweise auf andere Verletzungen, die Lokalisationsdiagnose ist aber nicht ideal. Die arterielle Angiografie in DSA-Technik ist die beste Methode zur exakten Lokalisation, zeitlich und logistisch aber am aufwändigsten und wird heute in aller Regel direkt mit der Platzierung einer Endovaskularprothese zur Therapie der Ruptur kombiniert (Abb. 2.30).

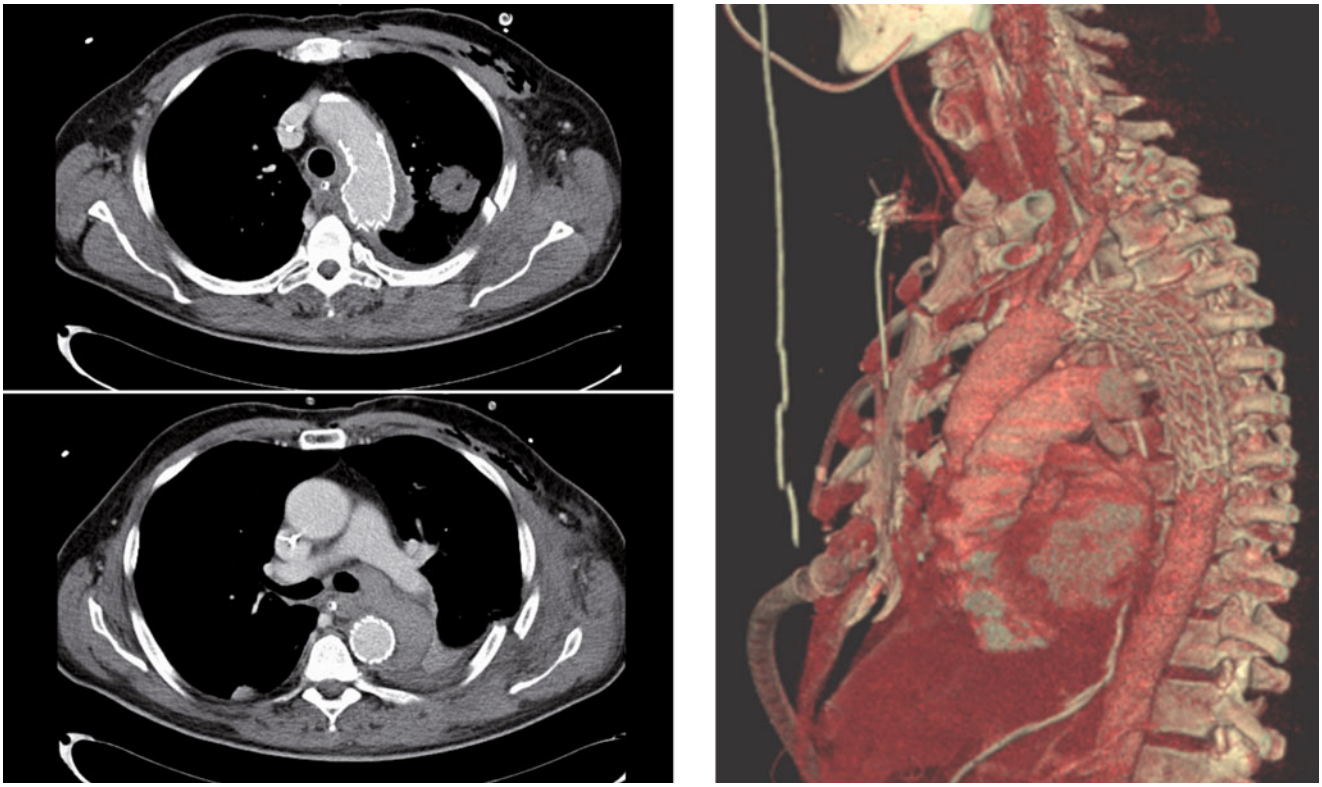


Abb. 2.30 Mit einer Endovaskularprothese erfolgreich versorgte Aortenruptur in loco typico

Therapie

Beim kreislaufstabilen Verletzten wird die Ruptur zunächst konservativ behandelt, insbesondere muss ein Hypertonus medikamentös verhindert werden. Intraabdominelle Blutungen werden vor der Aortenruptur versorgt, wenn kein massiver Hämatothorax mit anhaltender Blutung vorliegt. Die Wahrscheinlichkeit einer »freien Ruptur« sinkt mit zunehmendem Zeitabstand vom Trauma, sofern keine hypertonen Blutdruckwerte bestehen und Gerinnungsstörungen korrigiert werden. Es ist daher berechtigt, bei multiplen schweren Begleitverletzungen und insbesondere schweren Lungenkontusionen zunächst den Patienten zu stabilisieren und die Versorgung der Aortenruptur bis zur Verbesserung des Gesamtzustandes aufzuschieben. Dazu gehören aber engmaschige, mindestens 3- bis 4-tägige Kontrollen mittels CT oder MRT bzw. ein dringliches CT bei Veränderungen der Mediastinalkonturen im Röntgenbild des Thorax. Bei stabiler Aortensituation kann die Operation häufig dauerhaft aufgeschoben werden. Allerdings entwickelt sich im Verlauf von Jahren oft ein posttraumatisches Aneurysma, das regelmäßig (halbjährlich bis jährlich) radiologisch kontrolliert und bei zunehmendem Wachstum versorgt werden muss.

Bei rasch zunehmendem Durchmesser der Aorta im Rupturbereich steigt die Gefahr der freien Perforation stark an. Die Versorgung sollte in einer hierin erfahrenen Institution geschehen (gefäß- oder herzchirurgische Abteilungen). Dadurch lassen sich die Operationsrisiken insbesondere hinsichtlich einer postoperativen Querschnittslähmung (bis 10% bei offener Operation ohne extrakorporale Zirkulation) und eines postoperativen Nierenversagens erheblich verringern. Kreislaufstabile Patienten sollten in jedem Fall so schnell wie möglich nach Diagnosestellung in ein solches Zentrum verlegt werden. Rupturen die stromaufwärts des Abgangs der linken A. subclavia reichen, können in aller Regel nur mit extrakorporaler Zirkulation oder komplexen endovaskulären Techniken erfolgreich versorgt werden.

Alternativ zur offenen Operation wird bei kreislaufstabilen Patienten mit gedeckter Ruptur inzwischen zunehmend die geschlossene Operation mit Platzierung einer Endovaskularprothese zur Überbrückung des Rupturbereichs eingesetzt (Peterson et al. 2005). Mit dieser interventionellen Versorgung über die A. femoralis ist v.a. in der Frühphase nach dem Trauma eine Reduktion von Morbidität und Mortalität verbunden (Rousseau et al. 2005). Allerdings ist das Schicksal der Endovaskularprothesen bei den zumeist jungen Patienten und der zu antizipierenden jahrzehntelangen Implantationsdauer unsicher. Aortendurchmesser und -verlauf entwickeln sich dynamisch und haben bei Endovaskularprothesen im eigenen Krankengut wiederholt zur sekundären offenen Entfernung und Aortenersatz geführt. Bei der häufig erforderlichen Überstentung der linken A. subclavia besteht das Risiko zerebraler Ischämien mit der Notwendigkeit von Bypassoperationen an den supraaortalen Ästen. Schließlich ist die Indikation für dieses Verfahren nach der initialen Stabilisierung des Patienten und bei konstantem Aortendurchmesser vor dem Hintergrund des ja dann in der Regel benignen Verlaufs bisher nicht geklärt.

Operative Therapie

Indikation zur notfallmäßigen offenen Versorgung der Ruptur loco typico im primär versorgenden Krankenhaus ist die anhaltende Blutung aus der Thoraxdrainage mit Kreislauflabilität trotz massiver Volumen- und Blutgabe. Da der Aortenbogen zwischen linker A. carotis und subclavia abgeklemmt werden muss, ist eine anterolaterale Thorakotomie in der Notaufnahme v.a. für den Ungeübten nicht Erfolg versprechend. Falls dies nicht zu umgehen ist, müssen ggf. das Sternum durchtrennt und die Inzision zur Gegenseite

erweitert werden. Besser ist es, unter ausnahmsweise erfolgendem Abklemmen der Thoraxdrainage und Volumensubstitution, in den nächsten Operationssaal mit ausreichender Lagerungsmöglichkeit, Saugung und Beleuchtung zu fahren.

Der Patient wird in **Rechtsseitenlage** gelagert.

Der **Zugang** erfolgt durch eine posterolaterale Thorakotomie und Eingehen in den Thorax im 4. ICR. Zunächst erfolgen das Absaugen des Bluts und – falls erforderlich – möglichst eine digitale Kompression der Blutungsquelle. Entscheidend ist, zunächst nicht unmittelbar im Bereich der Ruptur zu präparieren, da nach Eröffnen der Pleura direkt am Einriss die Blutung massiv zunehmen würde. Aufzusuchen sind dann die linke A. subclavia und deren Abgang aus der Aorta. Proximal dieses Abgangs und unmittelbar stromabwärts von demjenigen der linken A. carotis wird die Pleura quer über der Aorta inzidiert, dabei sind die hier verlaufenden Nn. phrenicus, vagus bzw. recurrens möglichst zu schonen. Dann wird mit einer kräftigen, gebogenen Präparierklemme in der rechten Hand von kranial und mit dem gegentastenden Zeigefinger der linken Hand von kaudal der Aortenbogen vorsichtig umfahren. Dabei kann auch ein Bändchen durchgezogen werden, das später ein rasches Abklemmen der Aorta erleichtert; bei erheblicher Blutung wird die Aorta zu diesem Zeitpunkt schon unmittelbar abgeklemmt. Anschließend wird in identischer Weise die linke A. subclavia mindestens 4 cm stromabwärts des Abgangs aus der Aorta umfahren. Es folgt die Eröffnung der Pleura 4–5 cm stromabwärts der Ruptur an der Aorta descendens, damit die Aorta auch hier abgeklemmt werden kann. Dabei sind die in diesem Bereich abgehenden Interkostal- und Bronchialarterien unbedingt zu beachten. Falls beim Versuch des hier unnötigen Umfahrens der Hauptschlagader ihre Abgänge aus der Aorta ausreißen, kann die resultierende Blutung (auch retrograd aus dem retrahierten Stumpf) zu erheblichen Problemen führen.

Eine Heparingabe durch die Anästhesie (1 mg/kg KG) ist nicht obligat, v.a. nicht bei gestörter Gerinnung.

Nun werden mit geeigneten breiten und kräftigen Gefäßklemmen der Aortenbogen, die Aorta descendens distal der Ruptur und die linke A. subclavia abgeklemmt. Erst dann wird die Pleura über der Ruptur längs inzidiert und die Aortenverletzung inspiziert. Wenn möglich, kann jetzt eine Gefäßklemme unmittelbar stromabwärts des Subklaviaabgangs gesetzt und der Blutstrom in die linke A. subclavia wieder freigegeben werden, um den Kollateralfluss in die untere Körperhälfte zu verbessern. Ein lokalisierter Einriss der Aortenwand kann dann ggf. direkt mit 4/0-Prolene überwendlich vernäht werden. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, dass sämtliche Wandschichten gefasst werden. Bei einem kompletten Abriss der Aorta ist es besser, da spannungsfreier, eine kurze und entsprechend dem Aortendurchmesser dimensionierte Gefäßprothese zwischenzuschalten. Wenn irgend möglich, sollte eine der gängigen, blutabdichtend beschichteten Dacronprothesen verwendet werden.

Die Prothese wird in fortlaufender Technik (4/0-Prolene, doppelt armiert) zunächst proximal anastomosiert. Es hat sich bewährt, zunächst die Rückwand in offener Technik zu nähen; der Assistent hält solange die Prothese in der Hand. Durch Anziehen der beiden Fadenenden erfolgt das Einfahren der Prothese in den Situs. Die liegenden Fadenschlingen werden bei Bedarf noch mit Hilfe eines Nervenhakens nachgezogen. Anschließend wird die fortlaufende Naht komplettiert, wobei die dem Operateur zunächst liegenden Teile der Anastomose am Schluss gefertigt werden. Die Naht wird geknotet und die Prothese möglichst mit einer bezogenen Klemme abgeklemmt. Anschließend wird die Klemme an der linken A. subclavia und anschließend diejenige am Aortenbogen geöffnet. Damit wird die Prothese entlüftet und die Dichtigkeit der Anastomose geprüft.

Nur wenn insbesondere dorsal keine wesentlichen Blutungen, abgesehen von solchen aus Stichkanälen, bestehen, wird die distale Anastomose in gleicher Technik genäht. Dazu wird jetzt die Gefäßprothese entsprechend gekürzt und zurechtgeschnitten.

Bei einem kurzen Interponat ist es oft empfehlenswert, proximal erneut abzuklemmen und die Klemme von der Prothese zu entfernen. Damit gewinnt man mehr Raum für die Naht. Diese Klemme sollte möglichst stromabwärts des Subklaviaabgangs liegen, um einen besseren Kollateralkreislauf zu ermöglichen, was insbesondere hinsichtlich der Rückenmarkdurchblutung bedeutsam ist. Nach Aortenklemmzeiten von mehr als 30 min steigt ohne extrakorporale Zirkulation das Querschnittrisiko deutlich an.

Größere Blutungen werden mit Einzelnähten oder auch nach Armierung der Fäden mit Filzplättchen oder Prothesenstückchen mit U-Nähten versorgt. Bei Stichkanalblutungen ist neben der Gabe von Protamin zur Antagonisierung des vorher verabreichten Heparins das Aufbringen heißer Kompressen oder von Fibrinkleber und Kollagenvlies hilfreich.

Soweit dies möglich ist, sollte die Pleura über der Prothese adaptiert werden. Luftlecks an der Lunge sind sorgfältig zu versorgen, da sie insbesondere bei längerer postoperativer maschineller Beatmung und bei intrathorakaler Prothese das Infektrisiko vergrößern. Nach Einbringen von Thoraxdrainagen wird die Brustwand schichtweise verschlossen (▶ Abschnitt 2.1.6.2).

2.6.2 Andere intrathorakale Blutgefäßverletzungen

Supraaortale Arterien

Intrathorakal gelegene Verletzungen der supraaortalen Arterienäste aufgrund stumpfer Verletzungen sind selten. Klinische Symptome sind entweder die intrathorakale Blutung oder die periphere Minderdurchblutung. Relativ am häufigsten ist der Ausriss des Abgangs der linken A. subclavia aus der Aorta, oft in Verbindung mit einer Aortenruptur.

Wie die Aortenruptur werden auch diese Verletzungen am besten in Herz-Gefäß-chirurgischen Zentren versorgt. Falls die anhaltende Blutung und eine fortbestehende Kreislaufinstabilität trotz massiver Volumengabe bei stumpfer oder scharfer Verletzung der supraaortalen Äste zu einer Notfallversorgung im erstbehandelnden Krankenhaus zwingt, so sollten die oben dargestellten Prinzipien der Gefäßchirurgie befolgt werden. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass bei aortenbogennahen Schäden die proximale Gefäßkontrolle sehr schwierig sein und die Abklemmung von hirnversorgenden Arterien zu entsprechenden ischämischen Schäden führen kann, wenn keine temporären Shunts verwendet werden.

Bei ausgedehnteren und insbesondere nahe am Aortenbogen gelegenen Gefäßzerstörungen kann es sinnvoll sein, das entsprechende Gefäß durch einen Bypass zu ersetzen, der nach Übernähung des Stumpfs proximal an der Aorta ascendens bzw. an einem der intakten supraaortalen Äste anastomosiert wird. Der Zugang erfolgt für den Truncus brachiocephalicus und die intrathorakalen Abschnitte der Karotiden über eine (partielle obere) mediane Sternotomie, für die intrathorakalen Anteile der Aa. subclaviae über laterale Thorakotomien im 4. ICR.

Insbesondere bei von oben geführten Messerstichen kann es zu **Läsionen der Subklaviagefäße** im Bereich der oberen Thoraxapertur kommen, wo über einen reinen supraklavikulären Zugang nur schwer eine proximale Kontrolle des blutenden Gefäßes zu errei-

chen ist. Hier muss u.U. über eine zusätzliche Thorakotomie oder eine laterale Erweiterung der Sternotomie das Gefäß in seinem intrathorakalen Abschnitt abgeklemmt werden.

Verletzungen der A. mammaria und der Interkostalarterien

Sie gehören zu den häufigsten intrathorakalen Verletzungen sowohl bei penetrierenden als auch bei stumpfen Traumen. Nach stumpfen Traumen werden Verletzungen dieser Gefäße oft durch das umgebende Gewebe tamponiert. Bei perforierenden Verletzungen, die sich auch bei Einlage einer Thoraxdrainage mit nicht zurückgezogenem Trokar bzw. Matthes-Kathetereinlage ergeben können, verhindert die eröffnete Pleura eine solche Tamponade, und die resultierenden Blutungen können rasch lebensbedrohlich werden.

Die Versorgung erfolgt über eine laterale Thorakotomie auf der Seite des Hämatothorax. Es ist wichtig, beide Gefäßenden sicher aufzusuchen und zu umstechen oder doppelt zu ligieren, da ein intraoperativ nicht rückblutender distaler Stumpf, der auch erheblich retrahiert sein kann, postoperativ unter besseren hämodynamischen Bedingungen erneut bluten kann.

2.7 Thorakale Ösophagusverletzungen

Verletzungen des Ösophagus in seinem thorakalen Verlauf durch penetrierende oder stumpfe Traumen sind wesentlich seltener als Läsionen im Rahmen diagnostischer oder therapeutischer Maßnahmen wie Endoskopie, Dilatation oder auch eines Versuchs einer endotrachealen Intubation unter eingeschränkter Sicht oder durch Trinken ätzender Flüssigkeiten. Werden sie aber nicht rasch erkannt, so sind sie aufgrund der sich zwangsläufig entwickelnden Mediastinitis mit einer hohen Letalität behaftet. Bei penetrierenden Traumen muss bei entsprechender Lokalisation und Einwirkungsrichtung eine Ösophagusverletzung in die Überlegungen einbezogen werden. Wie bei stumpfen Traumen gilt es »daran zu denken« und bei entsprechenden Hinweisen die Patienten einer weiteren Diagnostik zuzuführen.

Diagnostik

Im Röntgenbild des Thorax verdächtig sind ein Mediastinalemphysem oder eine -verbreiterung und eine aberrante Lage der Magensonde. Im CT-Thorax ist bei paraösophagealen Luft- oder Flüssigkeitsansammlungen an eine Ösophagusläsion zu denken. Der Nachweis wird mit Gabe von wasserlöslichem Kontrastmittel oral oder über eine Sonde bzw. die Endoskopie geführt.

Therapie

Für die Therapie ist der Zeitpunkt der Diagnosestellung entscheidend. Es besteht weitgehende Einigkeit darüber, frische transmurale Verletzungen in der Frühphase, also maximal innerhalb der ersten 24 h, möglichst rasch durch direkte Naht zu versorgen. Je länger diese Frist überschritten wird, desto weniger aussichtsreich ist eine einfache Naht und desto mehr tritt die Behandlung der zunehmenden Mediastinitis durch chirurgische Drainage und systemische Antibiotikagabe in den Vordergrund. Wesentlich für die Wahl einer Therapiemethode sind weiterhin der Allgemeinzustand und die Begleitverletzungen des Patienten sowie das Ausmaß der Zerstörung des Ösophagus. Bestehen hier Unklarheiten oder Unsicherheiten, sollte der Patient, falls möglich, in eine Abteilung mit entsprechender Erfahrung in der Routinechirurgie des Ösophagus verlegt werden.

Standardzugang zum thorakalen Ösophagus ist die rechtsseitige posterolaterale Thorakotomie im 5. ICR. Je nach Höhe der Verletzung kann auch im Bett der 4.–6. Rippe eingegangen werden. Für isolierte, am thorakoabdominellen Übergang bzw. knapp oberhalb des Zwerchfells lokalisierte Verletzungen ist eine linksseitige Thorakotomie im 6. ICR günstiger. Das Aufsuchen des Ösophagus wird durch eine bereits liegende Magensonde erleichtert. Diese sollte aber nach Diagnosestellung nicht über die Verletzung hinaus vorgeschoben werden bzw. erst intraoperativ nach Darstellung des Wanddefekts zur inneren Schienung und Ableitung des Mageninhalts. Zu diesem Zweck sollte eine kräftige Sonde verwendet und bis zur postoperativen Röntgenkontrolle mit Kontrastmittel am 5. Tag auch belassen werden.

Die Pleura wird über der Verletzung längs inzidiert und der Ösophagus dargestellt. Ein Umfahren ist nicht unbedingt erforderlich und kann u.U. die Gefäßversorgung beeinträchtigen, die weitestgehend intakt gehalten werden sollte. Liegt der Defekt auf der vom Operateur abgewandten Seite, so ist allerdings eine gewisse Mobilisation der Speiseröhre unumgänglich. Der Wanddefekt wird inspiziert und dabei insbesondere die Vitalität der Wandschichten überprüft. Ist diese gegeben, so wird die Muskularis so weit längs inzidiert, bis die Ränder der Schleimhautverletzung eindeutig identifiziert werden können, da der Schleimhautschaden längerstreckig als die Verletzung der Muskularis sein kann.

Bei frischen einfachen Verletzungen erfolgt eine zweischichtige Naht (Schleimhaut 4/0-, Muskulatur 3/0-Vicryl) in Einzelknopftechnik. Vorher werden evtl. avitale Defektränder débridiert und die intraluminale Sonde unter Sicht bis in den Magen vorgeschoben. Eine zusätzliche Deckung mit vitalem Gewebe wie gestielten Pleuralappen oder noch besser Perikard- bzw. Interkostalmuskellappen, empfiehlt sich insbesondere bei nicht mehr ganz frischen Verletzungen (>6 h) bzw. bei eingeschränkter Vitalität des Ösophagusgewebes.

Das breit eröffnete Mediastinum wird anschließend ausgiebig gespült und mit großlumigen Drainagen versorgt. Bei ausgedehnteren Zerstörungen des Ösophagus oder bei älteren Defekten mit bereits offensichtlicher Mediastinitis ist eine primäre Naht wenig Erfolg versprechend. Hier muss individuell entschieden werden, ob eine zervikale Ausleitung des Ösophagus u.U. in Kombination mit einer Resektion des thorakalen Ösophagus und Anlage einer Gastrostomie durchgeführt werden soll. Bei schwerstkranken Patienten, denen keine Thorakotomie mit Seitenlage und Einlungenbeatmung zuzumuten ist, kann ein Versuch mit Einlage von Thoraxdrainagen und gecoverten Ösophagusstents gerechtfertigt sein. Alle Patienten mit Ösophagusverletzung sollten eine breite antibiotische Abdeckung in Form einer Kombinationstherapie erhalten.

2.8 Verletzungen des Ductus thoracicus

Ein Chylothorax, bedingt durch eine Verletzung des Ductus thoracicus oder anderer großer Lymphgefäße, wird sowohl nach stumpfen als auch nach penetrierenden und operativen Traumen gelegentlich beobachtet. Eine begleitende Wirbelkörperfraktur ist relativ häufig. Weiterhin können Verletzungen im thorakozervikalen Übergang – wie ein von oben nach unten geführter Messerstich, Ausrissverletzungen der oberen Extremität und des Schultergürtels, Scherkräfte bei Sicherheitsgurten – Läsionen des Ductus thoracicus nach sich ziehen, wobei diese zunächst häufig von anderen Verletzungen überdeckt und initial nicht bemerkt werden. Solange bei Schwerverletzten eine totale parenterale Ernährung durchgeführt wird, ist die Lymphsekretion in den Thorax häufig gering. Nach

Beginn der enteralen Ernährung kann die Sekretion auf 2–3 l/Tag zunehmen. Der Verlust an Nährstoffen und Lymphozyten mit konsekutiver Immuninkompetenz kann ganz erhebliche Ausmaße annehmen und führte vor der Ära der chirurgischen Versorgung bei chronischem Verlauf zu Letalitäten von 50%.

Initial und bei parenteraler Ernährung kann der Erguss blutig bzw. klar sein, erst bei enteraler Ernährung findet sich das typische milchig-trübe Erscheinungsbild.

Diagnostik

Im Röntgenbild des Thorax findet sich ein Erguss. Dessen laborchemische Untersuchung nach Punktion mit Bestimmung von Protein und Fetten einschließlich Triglyzeriden ergibt höhere Werte als im Serum. Bei Zellzählungen findet sich ein hoher Lymphozytenanteil.

Therapie

In aller Regel wird man zunächst einen konservativen Therapieversuch durchführen. Dieser besteht in einer totalen parenteralen Ernährung über einen Zeitraum von 2 Wochen zusammen mit einer Thoraxdrainage. Die zusätzliche parenterale Gabe von Somatostatin-Analoga hat sich als hilfreich erwiesen. Durch diese Maßnahmen wird der Fluss des Chylus maximal verringert, und seine kontinuierliche Ableitung ermöglicht ein Verkleben der Pleurablätter. Wenn auch nach dieser Zeit ein Chylusleck besteht, ist die Indikation zum chirurgischen Verschluss beim stabilen Patienten gegeben. Dies lässt sich erreichen durch einen Verschluss des Lecks selbst oder durch Verschluss des Ductus nach dessen Eintritt in die Brusthöhle.

Taktisch wird man so vorgehen, dass beim wesentlich häufigeren einseitigen Chylothorax auf der betroffenen Seite thorakoskopiert bzw. thorakotomiert wird. Präoperativ, 1 h vor Narkoseeinleitung, lässt man den Patienten Sahne trinken bzw. verabreicht diese über eine Magensonde, wenn der Patient noch nicht trinken kann. Das Leck, das als Austrittspunkt des fetttröpfchenreichen Chylus identifiziert wird, versorgt man mit Umstechungen resorbierbarer Nähte (2/0- oder 3/0-Vicryl). Eine zusätzliche Verwendung von Fibrinkleber ist hilfreich, um eine komplette Abdichtung des Lecks zu erreichen. Beim beidseitigen Chylothorax verschließt man den Ductus über eine rechtsseitige Thorakotomie knapp oberhalb des Zwerchfells durch Ligatur allen Gewebes zwischen V. azygos rechts und Ösophagus sowie Aorta links, in dem der Ductus verläuft, sich aber nicht immer einwandfrei isolieren und identifizieren lässt. Ein dabei unbeabsichtigt verursachtes zusätzliches Leck lässt sich nach vorangegangener Sahneapplikation leichter identifizieren. Falls trotz aller Maßnahmen ein Chylothorax fortbesteht, bleibt im Ausnahmefall die Anlage eines pleuroperitonealen Shunts.

Literatur

Aebert H (2001) Thoraxtrauma. In: Nerlich M (Hrsg) Notfallmedizinische Leitlinien und Behandlungsempfehlungen für Notärzte. Rettungszentrum Regensburg e. V., Regensburg

Aebert H, Südkamp N, Tscherne H (1992) Die Zwerchfellruptur: Eine Verletzung des schweren Rumpftraumas. Hefte Unfallheilk; 223: 345–349

Heberer G, Schildberg FW, Sunder-Plassmann L, Vogt-Moykopf I (1991) Lunge und Mediastinum. Anatomie – Diagnostik – Technik – Ergebnisse, 2. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Hetzer R, Zipfel B (2000) Verletzungen des Herzens und der großen Gefäße. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen, Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 159–226 (Tscherne Unfallchirurgie)

Kremer K, Platzer W (1991) Chirurgische Operationslehre, Bd 2. Thieme, Stuttgart

Pape HC, Remmers D, Rice J, Ebisch M, Krettek C, Tscherne H (2000) Appraisal of early evaluation of blunt chest trauma: development of a standardized scoring system for initial clinical decision making. J Trauma 49: 496–504

Peterson BG, Matsumura, Morasch MD et al. (2005) Percutaneous endovascular repair of blunt thoracic aortic transsection. J Trauma 59: 1062–1065

Pinter H, Friehs GB, Smolle-Jüttner F-M (2000) Verletzungen der Thoraxwand, des Tracheobronchialsystems und der Lunge. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 227–250 (Tscherne Unfallchirurgie)

Regel G, Seekamp A, Aebert H, Wegener G, Sturm JA (1990). Bronchoskopy in severe blunt chest trauma. Surg Endosc; 4: 31–35

Rousseau H, Dambrin C, Marcheix B et al (2005) Acute traumatic aortic rupture: a comparison of surgical and stent graft repair. J Thorac Cardiovasc Surg 129: 1050–1055

Wening JV, Tesch C, Huhnholz J, Friemert B (2008) Stellenwert der Sonographie in Traumatologie und Orthopädie. Unfallchirurg 111: 958–967

Abdomen

C. Zülke, S. Rüth, W. Rößler, M. Anthuber, W.F. Wieland

3.1 Basiswissen – 98
3.2 Bauchwand – 111
3.3 Parenchymatöse Organe – 114
3.4 Hohlorgane – 130
3.5 Urogenitalorgane – 137
Literatur – 153

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_3,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

3.1 Basiswissen

C. Zülke

3.1.1 Anatomie

Begrenzungen des Bauchraums

Bauchwand

Die Bauchwand gliedert sich in 3 Schichten (Abb. 3.1):

- Die oberflächliche Schicht besteht aus Haut, Subkutis sowie der oberflächlichen Fascia abdominis superficialis, die am Thorax in die Fascia pectoralis und am Oberschenkel in die Fascia lata übergeht.
- Die mittlere Schicht besteht aus elastischen Muskel-Sehnen-Platten mit der Fascia transversalis als innere Begrenzung.
- Die tiefe Schicht setzt sich zusammen aus einem z.T. ausgeprägten subfaszialen Bindegewebelager und dem abschließenden Peritoneum parietale.

Die ventrale Bauchwand wird muskulär vom M. rectus abdominis gestützt. Die seitlichen Abschnitte der Bauchwand bestehen aus 3 Muskelschichten, dem oberflächlich verlaufenden M. obliquus abdominis externus, dem M. obliquus abdominis internus und dem M. transversus abdominis. Lediglich im Bereich der dorsalen Rumpfwand gibt es durch die Lendenwirbelsäule und die basalen Rippen eine zusätzliche knöcherne Stütze, die verstärkt wird durch den M. quadratus lumborum (Nn. thoracici et lumbales T12–L3).

Zwerchfell

Den kranialen Abschluss des Abdomens bildet das Zwerchfell, dessen muskuläre Anteile sich phylogenetisch vom Zervikalmyotom C3–5 ableiten lassen, wodurch sich die Innervation durch den N. phrenicus, C4 (3,5) erklärt. Der ringförmige Muskel wird in die Abschnitte Pars lumbalis, costalis und sternalis unterteilt, die alle in das V-förmige Centrum tendineum einstrahlen. Zwischen den einzelnen Muskelanteilen bestehen muskelfreie Dreiecke, so das Bochdalek-Dreieck zwischen Pars lumbalis und costalis und das Larrey-Dreieck zwischen Pars sternalis und costalis als Prädilektionsorte für eine traumatische Hernierung von Baucheingeweide nach intrathorakal.

Beckenboden

Kaudal ist der Bauchraum begrenzt durch den Beckenboden, bestehend aus Muskel- und Bindegewebeplatten, die von den Urogenitalorganen und dem Rektum durchquert werden (Abb. 3.2). Im Einzelnen werden dabei das Diaphragma pelvis und das Diaphragma urogenitale unterschieden. Das Diaphragma pelvis setzt sich zum größten Teil aus dem M. levator ani mit umgebenden Faszien zusammen. Diese Strukturen verschließen den größten Anteil des Beckenbodens. Das Diaphragma urogenitale verläuft beidseits kaudal des Diaphragma pelvis und besteht aus einer muskulös-bindegewebigen Platte, die sich zwischen den Sitzbeinhöckern und den unteren Schambeinästen ausspannt. Der subperitoneale Raum oberhalb des Diaphragma pelvis enthält die Beckenorgane. Diese werden vom knöchernen Beckenskelett schützend umgeben.

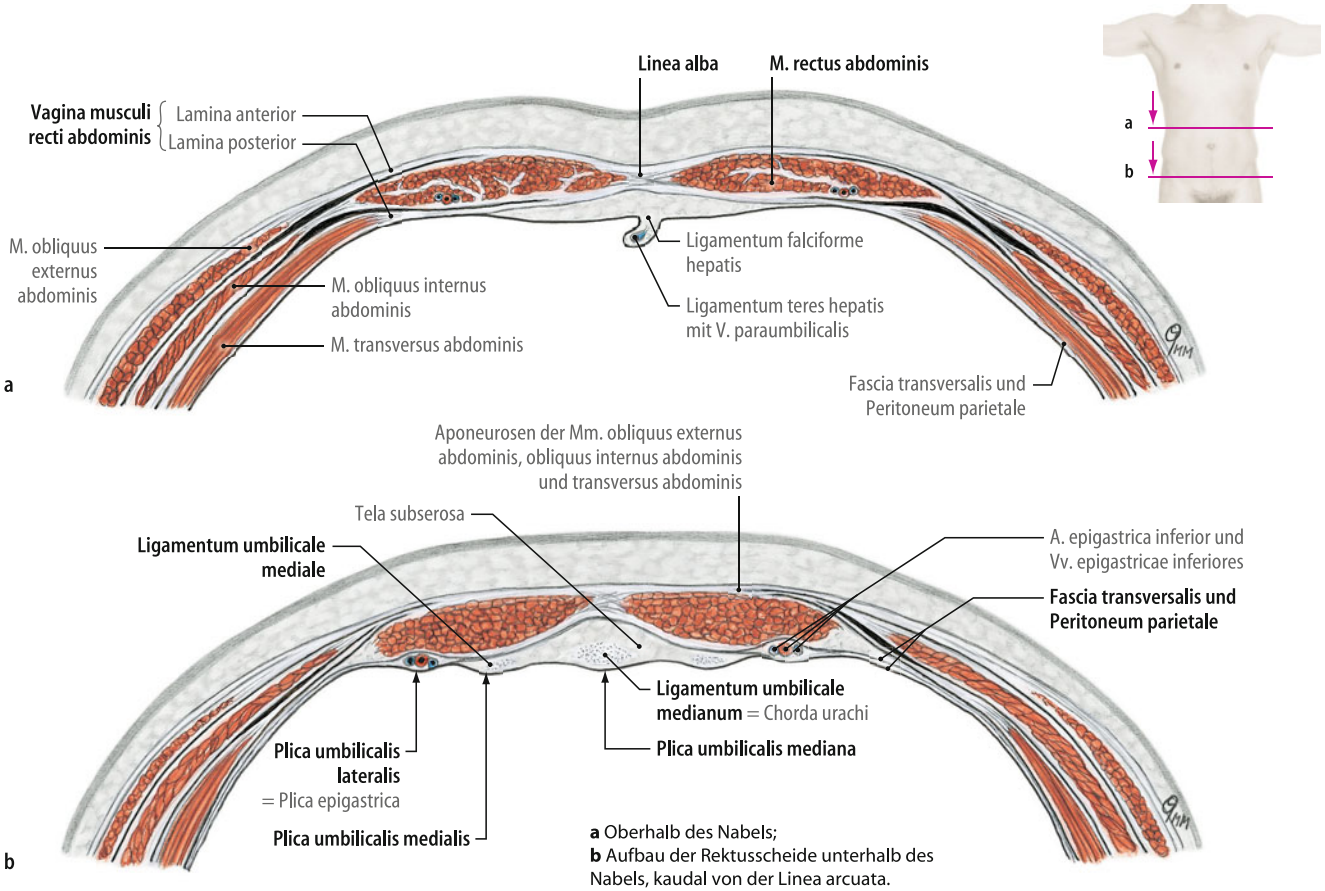


Abb. 3.1 Anatomie der Bauchdecken (Aus: Tillmann 2009)

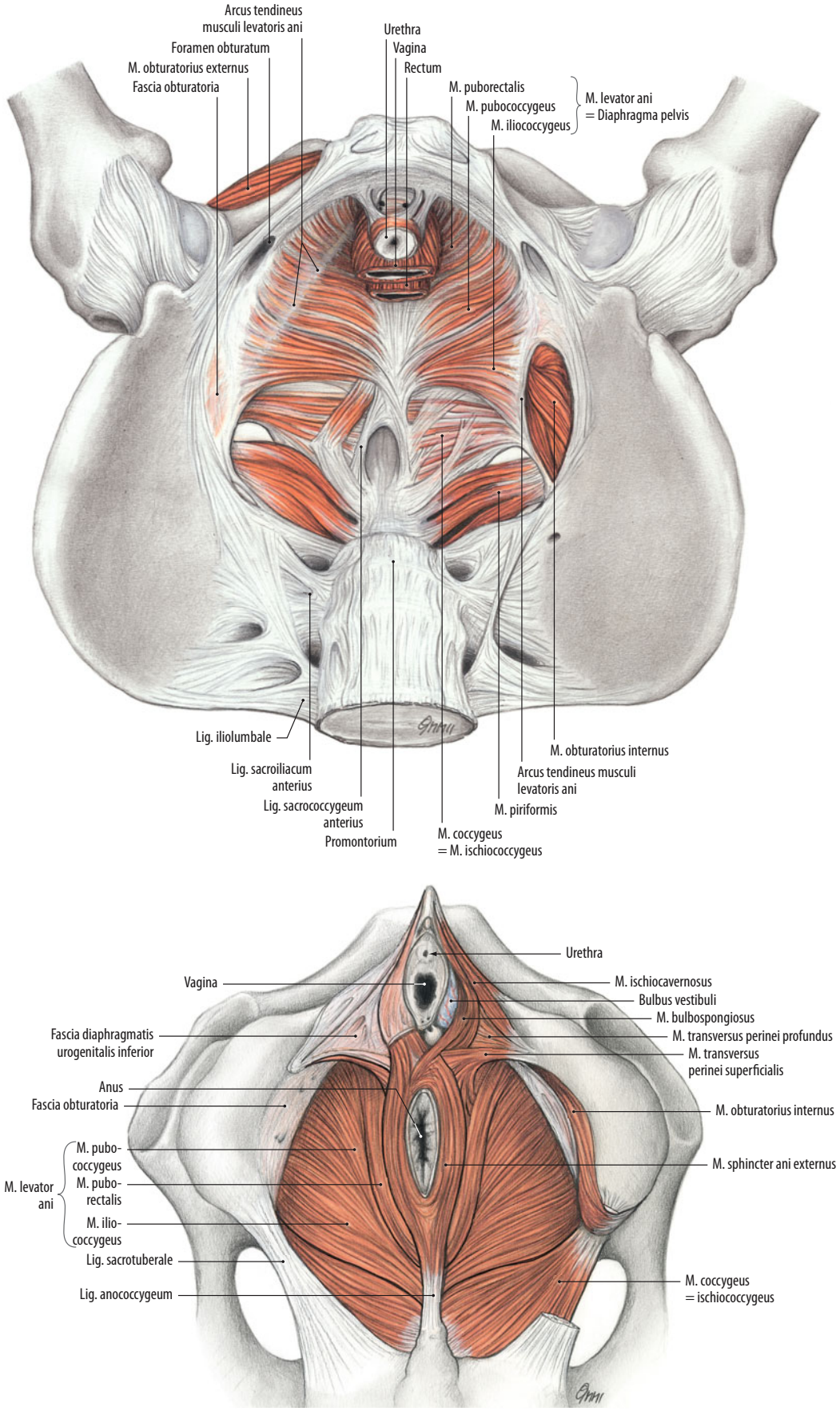


Abb. 3.2 Anatomie des Beckenbodens (Aus: Tillmann 2009)

Inhalt des Bauchraums

Bauchorgane

In der Peritonealhöhle liegen die vom Peritoneum viscerale umhüllten Anteile des Magendarmtrakts. Sie bestehen aus dem intraabdominellen Ösophagusanteil, dem Magen und der Pars superior des ansonsten sekundär retroperitoneal gelegenen Duodenums sowie dem restlichen Dünndarm und dem Dickdarm samt Mesenterium (Abb. 3.3). Ferner befinden sich die parenchymatösen Organe Milz und Leber mit Gallenblase im linken bzw. rechten subphrenischen Raum ebenfalls vollständig intraperitoneal. Neben der großen Gefäß-Nerven-Achse befinden sich als primär retroperitoneal angeordnete Organe die Nieren mit Harnleiter sowie die Nebennieren.

Magen

Der Magen befindet sich als erstes Organ der Nahrungsaufbereitung zwischen dem Ösophagus und dem Zwölffingerdarm und liegt größtenteils im linken oberen abdominellen Quadranten und Epigastrium. Über gefäßführende, bindegewebige Strukturen ist der Magen zum einen mit der Leber verbunden (Omentum minus), zum anderen über die so genannten Vasa gastricae breves magenfundusseitig mit der Milz. Ausgehend von der großen Magenkurvatur erstreckt sich das große Netz (Omentum majus) nach distal und bedeckt partiell Dünndarm und Dickdarm.

Dünndarm

Der Dünndarm besteht aus Duodenum, Jejunum und Ileum. Der Anfangsteil des Duodenums, die Pars superior, grenzt nach distal unmittelbar an den Magenpylorus an und liegt noch intraperitoneal. Die Pars descendens, Pars horizontalis und die Pars ascendens befinden sich retroperitoneal. An der Flexura duodenojejunalis (Treitz-Band) geht das Duodenum in das proximale Jejunum über. Jejunum und das sich anschließende Ileum liegen intraperitoneal. Ihre Gefäß-Nerven-Versorgung erfolgt über das Mesenterium. Die Wurzel des Mesenteriums hat eine Ausdehnung von etwa 15–18 cm und verläuft in einem nach rechts gerichteten Bogen über die Pars ascendens des Duodenums nach rechts unten bis nahe an die rechte Beckenschaufel. Im rechten Unterbauch befindet sich der Übergang vom terminalen Dünndarm in den proximalen Anteil des Dickdarms. Die Passage von Dünndarminhalt in den Dickdarm erfolgt durch ein endoluminales Ventil (Bauhin-Klappe).

Dickdarm

Der Dickdarm gliedert sich in die Abschnitte Zökum, Colon ascendens, transversum und descendens sowie Sigma und Rektum. Beginnend mit seinem Anfangsteil im rechten Unterbauch umgibt der Kolonrahmen die überwiegend links und mittig liegenden Dünndarmschlingen. Die Gefäßversorgung des Kolons erfolgt über eine Peritonealduplikatur (Mesenterium), die im Bereich des Colon transversums relativ lang ausgebildet ist, während sie am Colon ascendens und descendens sehr kurz ist. Deshalb hat der Darm kaum Ausweichmöglichkeit in diesem Bereich bei stumpfem oder penetrierendem Trauma. Dort grenzt die Darmhinterwand direkt an das Retroperitoneum an (Abb. 3.4). Vor dem 2. bis 3. Kreuzbeinwirbel, in einer Höhe von etwa 14–18 cm ab ano, geht das Sigma in das Rektum über. Die Blutversorgung des Colons ascendens und transversum erfolgt aus dem Stromgebiet der A. mesenterica superior. Das Colon descendens, Sigma und das proximale Rektum werden überwiegend über Äste der A. mesenterica inferior versorgt. Die Riolan-Arkade stellt die physiologische Verbindung beider Gefäßversorgungsgebiete im Bereich der linken Kolonflexur dar.

Mastdarm

Das Rektum bildet den terminalen Abschnitt des Verdauungstrakts und erstreckt sich über eine Länge von ca. 15–18 cm. Nach Durchtritt des Rektums durch den Beckenboden wird dieses zum Analkanal, der im oberen Drittel von Kolonschleimhaut ausgekleidet wird, während die unteren beiden Drittel von einem dünnen, schwach verhornendem Plattenepithel bedeckt sind. Die oberen beiden Drittel des Rektums werden aus der A. mesenterica inferior versorgt, das distale Drittel über die A. rectalis inferior, die aus der

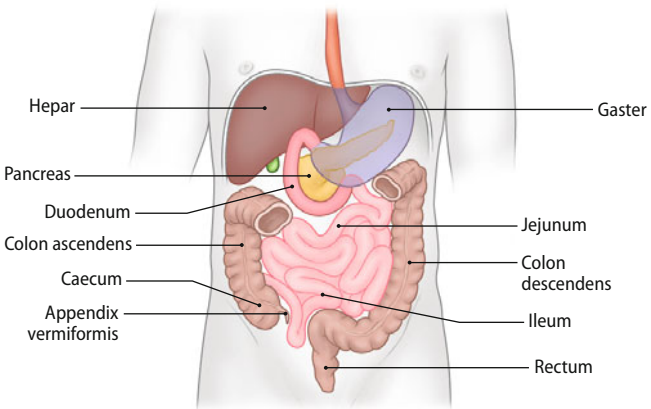


Abb. 3.3 Anatomie der Bauchorgane (Aus: Zilles u. Tillmann 2010)

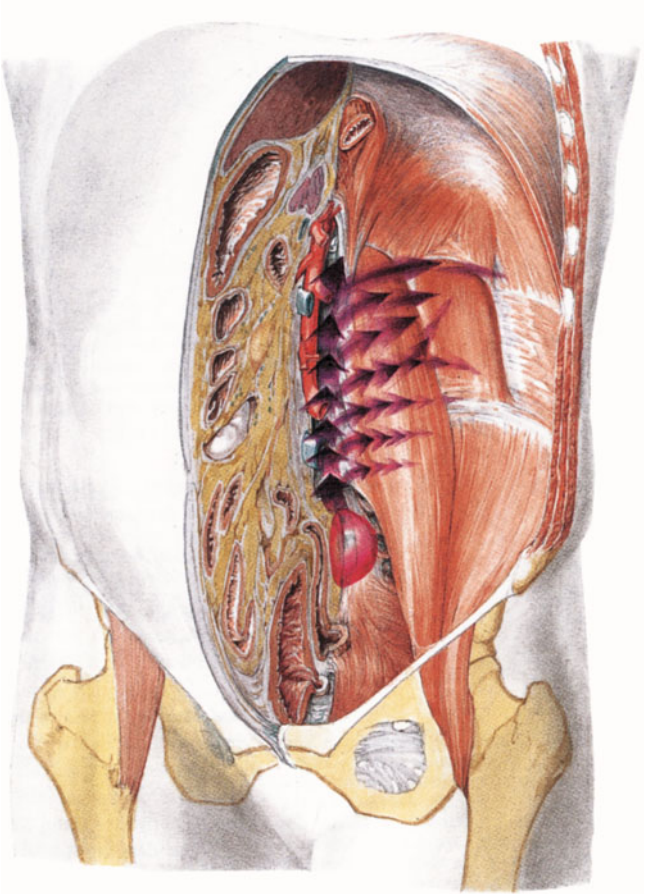


Abb. 3.4 Das Retroperitoneum ist streng genommen kein Raum, sondern eine bindegewebige Schicht, in die hinein es massiv bluten kann, weil kräftige Grenzstrukturen fehlen. (Aus: Pohlemann 1998)

A. iliaca entspringt. Die Gefäßversorgung befindet sich in einer fettreichen Gewebeschicht zwischen dem Darmrohr und dem Sakrum, dem so genannten Mesorektum. Die Innervation des Sphinkterapparats wird gewährleistet durch Fasern des sakralen Parasympathikus (Nn. splanchnici pelvici) und über Sympathikusfasern aus dem sakralen Grenzstranggebiet (Nn. splanchnici sacrales).

Harnröhre

Anatomisch weist die männliche Harnröhre mehrere Besonderheiten auf. Ihr blasennaher Anteil umfasst die membranöse und prostatische Harnröhre. Hierbei ist die Prostata tief im Becken gelegen und nach vorne durch das Schambein gut geschützt. Die Basis liegt am Blasenhals, wobei der Apex der Prostata mit dem Corpus spongiosum nahe des Beginns der bulbären Harnröhre durch die puboprostatischen Bänder an der Symphyse verankert ist. Ähnlich ist das proximale Corpus spongiosum urethrae besonders im mittleren Anteil mit dem Perineum adhärent. Der proximale Bulbus urethrae verläuft somit als relativ ungeschützte membranöse Harnröhre über eine Länge von ca. 2 cm zwischen diesen Strukturen. Im Bereich der Pars membranacea ist die Harnröhre wiederum fest mit dem Diaphragma urogenitale verwachsen.

3.1.2 Epidemiologie

Der Anteil abdomineller Verletzungen beim Polytrauma beträgt 11–20% (Gorchynski 2009, Hildebrand 2005). Stumpfe Verletzungen stellen mit 80–90% den Hauptanteil der Verletzungsmuster (Pfeifer 2008, Ali 2009), mit Ausnahme von einzelnen nordamerikanischen Zentren, die über bis zu 75% Schuss- oder Stichverletzungen berichten. Dabei sind Stichverletzungen 3-mal häufiger, jedoch sind Schussverletzungen für 90% der tödlichen Verläufe verantwortlich (Butt 2009). Im Jahr 2009 hat das amerikanische *Center for Disease Control and Prevention* geschätzt, dass über 8 Mio nicht tödliche Verletzungen infolge einer stumpfen Verletzung entstanden (CDC 2009).

Über 800.000 trauma-assoziierte Todesfälle (8,3% aller Todesfälle im statistischen Zeitraum) wurden 2002 in Westeuropa gezählt. Damit liegt die unfallbedingte Mortalität an dritter Position aller Todesfälle. Unter den bis zu 45-Jährigen ist sie in Westeuropa und Nordamerika die führende Todesursache (Gillman 2009). Darunter sind wiederum die Verkehrsunfälle am häufigsten. Statistiker gehen davon aus, dass im Jahr 2030 die durch Verkehrsunfälle bedingte Morbidität und Mortalität weltweit an dritter Stelle stehen wird (Mathers 2006).

In Westeuropa und Nordamerika ist bei unter 45-Jährigen das (Verkehrs-)Trauma die häufigste Todesursache.

Die Letalität beim isolierten Abdominaltrauma beträgt je nach Ausmaß der Verletzungen zwischen 6 und 45% und steigt bei zusätzlichen Thorax- oder Skelettverletzungen auf bis zu 50%, bei Schädel-Hirn-Trauma (SHT) auf bis zu 70%. Somit liegt das Abdominaltrauma nach SHT und Thoraxtrauma an dritter Stelle der direkten oder indirekten Einzelursachen für trauma-assoziierte Letalität (Tsui 2008).

Ein Verblutungstod wird bei 30–40% aller tödlich verlaufenden Unfallereignisse angenommen. Beim Abdominaltrauma ist der Verblutungstod mit einem Anteil von 80–90% die absolut dominierende unmittelbare Todesursache, während das schockbedingte Multiorganversagen im weiteren Verlauf nach primär beherrschtem Trauma die wesentliche Todesursache darstellt (Champion 2004).

Nach übereinstimmenden Untersuchungen in Nordamerika und Westeuropa liegt in der Blutung die Hauptursache für vermeidbare Todesfälle nach Polytrauma (Tien 2007), sodass verstärkt nach verbesserten Strategien der initialen, definitiven Blutstillung sowie Erkennung und Behandlung einer sich entwickelnden Koagulopathie geforscht wird, die in 30% aller Polytrauma-Fälle auftritt (für eine hervorragende aktuelle Übersicht zu diesem komplexen Thema: http://ccforum.com/content/14/2/R52 »Koagulopathie beim Trauma-Patienten«).

Die persistierende Blutung nach Polytrauma ist die häufigste vermeidbare Ursache für die Polytrauma-assoziierte Letalität.

Je nachdem, ob es sich um ein stumpfes oder penetrierendes Trauma handelt, ergeben sich unterschiedliche Verletzungsmuster, wobei insbesondere beim Oberbauchtrauma mehrere parenchymatöse Organe gleichzeitig verletzt sein können (Tab. 3.1). Die gleichzeitige Verletzung eines Hohlorgans (Magen, Dünndarm, Dickdarm) oder der Bauchspeicheldrüse wird häufiger bei Leberläsionen beobachtet als bei Milzläsionen, und wird mit der größeren Krafteinwirkung begründet, die notwendig sei, um eine klinisch manifeste Leberläsion zu verursachen (Miller 2002).

Während durch das Lenkrad bedingte Verletzungen an Thorax und Abdomen bei Verkehrsunfällen im Erwachsenenalter am häufigsten sind, ist im Kindesalter die Verletzung durch den Fahrradlenker häufiger als durch den Sicherheitsgurt im PKW.

Häufigste Begleitverletzungen des Skelettsystems sind Beckenfrakturen und Frakturen der Lendenwirbelsäule. Es gibt Korrelationen zwischen knöchernen Verletzungen einerseits und parenchymatösen Läsionen andererseits. Deshalb sollte man, wenn bestimmte Frakturen mit einem Bauchtrauma kombiniert sind, gezielt nach speziellen abdominellen Verletzungen fahnden (Tab. 3.2).

Darmverletzungen können entweder aus einem direkten Trauma des betreffenden Segments heraus entstehen – dabei sind die weitgehend immobilen Anteile des Colon ascendens und descendens bzw. sigmoideum mit ihren kurzen Mesenterien am häufigsten betroffen – oder sie entwickeln sich sekundär aus einer Verletzung des jeweiligen Mesenteriumanteils. Der mobile Dünndarm

Tab. 3.1 Verteilung der Organverletzungen je nach Verletzungsart

Stumpfes Trauma	
Milz	20–30%
Leber	15–20%
Retroperitoneum	10–15%
Niere	6–12%
Pankreas	1–16%
Kolon	3–15%
Duodenum	0–2%
Große Gefäße	1–4%
Penetrierende Verletzung	
Dünndarm	30%
Netz/Mesenterium	18%
Leber	16%
Kolon	9%

Tab. 3.2 Korrelation bestimmter Frakturen mit abdominellen Verletzungen

Fraktur	Organ
Wirbelsäulenfraktur T12–L1	Pankreas, große Gefäße
Rippenfraktur links C8–12	Milz, linke Niere
Rippenfraktur rechts C8–12	Leber, rechte Niere
Beckenfraktur	Urogenitaltrakt, Rektosigmoid, retroperitoneale Gefäße

Tab. 3.3 Leitsymptome des abdominellen Traumas

Leitsymptom	Ursache
Hämorrhagischer Schock	Intra- oder retroperitoneale Blutung
Paralytischer Ileus	Retroperitoneales Hämatom, Bauchdeckenhämatom, Kontusion oder Zerreißung von Anteilen des Magen-Darm-Trakts, oder intraabdominelle Blutung
Akutes Abdomen	Austritt von Darminhalt oder Blut in die Bauchhöhle

mit einem relativ langen, elastischen Mesenterium ist v.a. infolge indirekter Schäden durch Mesenterialeinrisse gefährdet, insbesondere dann, wenn die Dünndarmschlingen zum Zeitpunkt des Traumas stark gefüllt sind. Bei der perinealen Pfählungsverletzung können Urogenitaltrakt, Rektum, Schließmuskel und retroperitoneale Gefäße betroffen sein.

3.1.3 Leitsymptome

Besonderes Augenmerk ist auf Lokalisation und Ausmaß sichtbarer Verletzungen wie Ablederungen, Prellmarken und Sugillationen zu richten (Tab. 3.3).

Beim Austritt von saurem Mageninhalt ruft der direkte Reiz auf das Peritoneum eine peritonitische Reaktion hervor. Dagegen kann bei einer proximalen Dünndarmverletzung u.U. über Stunden eine entsprechende klinische Reaktion ausbleiben bzw. nur angedeutet zu erkennen sein.

Ähnliches wie für proximale Dünndarmverletzungen gilt für die seltenen Fälle einer primären Verletzung des Gallengangsystems mit oftmals längerem asymptomatischem Verlauf. Bei den seltenen direkten Verletzungen des retroperitonealen Duodenalanteils kann, aufgrund einer fehlenden Kontamination der »freien« Bauchhöhle, ein längeres, ebenfalls symptomfreies Intervall vorliegen.

Anamnese

Beim bewusstlosen Patienten muss nach Möglichkeit eine Fremdanamnese erhoben werden. Hinweise auf den Verletzungsmechanismus können eine zielgerichtete Diagnostik ebenso beschleunigen wie initiale Angaben eines primär ansprechbaren Patienten zum Unfallhergang.

Klagen des Patienten

Schmerzangaben des wachen Patienten sind von großer Bedeutung, v.a. beim Fehlen von sichtbaren Verletzungen. Diffuse Beschwerden ohne genaue Lokalisationsangabe sind charakteristisch für den viszeralen Schmerz, der über parasympathische afferente Bahnen wie den N. vagus, N. phrenicus oder Plexus pelvicus vermittelt wird. Sie werden oft als dumpf oder quälend beschrieben, und sie sind häufig begleitet von Allgemeinsymptomen wie Übelkeit, Erbrechen, Agitiertheit oder Tachykardie. Ursache hierfür sind u.a. Dehnungsschmerzen der Kapsel bzw. Hüllen von parenchymatösen oder Hohlorganen, akute Ischämien oder Koliken. Der oftmals gut lokalisierbare somatische Schmerz entsteht im Intervall, nachdem es zum Übergreifen auf das Peritoneum parietale gekommen ist, welches durch zerebrospinale Rezeptoren innerviert wird.

Der klar eingrenzbare somatische Schmerz entsteht erst im Intervall nach Übergreifen der Entzündungsreaktion auf das Peritoneum parietale.

Der reflektierte Schmerz entsteht infolge der metameren Gliederung des menschlichen Körpers. Die sensible Versorgung von umschriebenen Haut-Muskel-Abschnitten (Head-Zonen) wird auf gleicher Höhe im Rückenmark umgeleitet wie die viszeralafferenten Fasern einzelner Organe. Beispielhaft hierfür ist das Kehr-Zeichen mit ziehenden Schulterschmerzen als Hinweis auf eine Phrenikusreizung, z.B. bei einem subphrenischen Hämatom oder Abszess.

Das Kehr-Zeichen mit vermeintlichen »Schulterschmerzen« bei linksseitiger Phrenikusreizung ist das Paradebeispiel für den reflektierten Schmerz!

Körperliche Untersuchung

Bei der Bewertung des Inspektionsbefundes müssen eine medikamentöse Verschleierung durch Sedativa, Analgetika und Relaxanzien ebenso berücksichtigt werden wie Begleitverletzungen benachbarter Körperregionen. Hieraus erklärt sich, warum die Treffsicherheit der körperlichen Untersuchung bezüglich operationswürdiger intraabdomineller Befunde laut Literatur lediglich zwischen 45 und 84% liegt (Tsui 2008).

Insbesondere bei primär unklaren Befunden sollte nach Möglichkeit derselbe Chirurg die weiteren Kontrolluntersuchungen durchführen. Umschriebene oder diffuse Vorwölbungen sollten dokumentiert werden wie auch der Auskultationsbefund und das Ergebnis einer evtl. digitalen Untersuchung des Rektums.

Von entscheidender Bedeutung bei der körperlichen Untersuchung ist die Beurteilung einer umschriebenen oder diffusen peritonitischen Reaktion mit reflektorisch erhöhter Spannung des Bauchdeckenabschnitts. Während das primär »brettharte« Abdomen sofort auffallen wird, sind graduelle Veränderungen je nach initialer Verletzung (intra-, retroperitoneal) oft nur durch eine wiederholte Untersuchung zu erkennen.

Frakturen des unteren Sternums, der kaudalen Rippen, der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule sowie der Querfortsätze und des Beckens weisen auf die Schwere eines stattgehabten Traumas hin und sollten an das Vorliegen eines Abdominaltraumas denken lassen.

3.1.4 Diagnostik

Ultraschall

FAST, EFAST, RUS, FATE, BLEEP, BEAT, ONSD etc.

Die verwirrende Vielfalt an Abkürzungen (Übersicht) belegt die immense Bedeutung, welche die Ultraschalldiagnostik in der pri-

Tab. 3.4 Manka-Score

Variable		Punkte
Ultraschall		
0 (keine Flüssigkeit)		0
1 (Flüssigkeit unilokulär)		2
>1 (Flüssigkeit multilokulär oder >2 mm im Douglas, Morison-Pouch)		3
Schockraum		
Herzfrequenz	<120/min	0
	≥120/min	2
Blutdruck (systolisch)	≥90 mmHg	0
	<90 mmHg	1

mären Abklärung des Traumapatienten einnimmt. Das Focussed Assessment with Sonography for Trauma (FAST) ist als zentraler Bestandteil der Diagnostik des American College of Surgeons' Advanced Trauma Life Support (ATLS) implementiert (ACS 2008).

Die flächendeckende Einführung der **FAST-Untersuchung** war eine entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung der nichtoperativen Behandlung (non-operative management: NOM) zahlreicher Patienten mit Abdominaltrauma. Die rasche, fokussierte Darstellung von freier Flüssigkeit im peritonealen und perikardialen Raum ermöglicht in Verbindung mit wenigen klinischen Parametern wie Kreislaufinstabilität (ATLS-Definition: RR_{sys} <90 mmHg bei Aufnahme, fehlendes Ansprechen auf Gabe von bis zu 2000 ml Infusion) und Peritonismus, die zeit- und ressourcensparende Einteilung von Abdominaltrauma-Patienten in primär konservativ bzw. operativ zu Behandelnde (Manka 2008, Gillman 2009).

Somit erklärt sich die Bedeutung von FAST im diagnostischen Algorithmus beim kreislaufinstabilen Patienten, begründet in der Detektion von freier Flüssigkeit intraabdominell, intrathorakal oder perikardial. Während die Spezifität der FAST-Untersuchung für die intraabdominelle Pathologie »freie Flüssigkeit« durchgängig mit weit über 95% angegeben wird, liegt die Sensitivität der Methode bei 41–96%, oft aber deutlich unter 80% (Tsui 2008, Natarajan 2010). Dies hat dazu geführt, dass einfache klinische Parameter wie initialer systolischer Blutdruck und initiale Herzfrequenz in gemeinsamen Scores erfasst werden.

Hierdurch konnte v.a. eine wesentliche Erhöhung der positiven Aussagekraft für die fehlende Notwendigkeit einer therapeutischen Laparotomie erreicht werden: bei niedrigem Score von 0 bzw. 1 lag die Operationswahrscheinlichkeit deutlich unter 1% an einem der größten amerikanischen Zentren mit jährlichem Aufkommen von über 50.000 Trauma-Patienten (Manka 2008, Tab. 3.4).

Bei positivem FAST-Befund muss in Abhängigkeit des hämodynamischen Status mit einer Laparotomiewahrscheinlichkeit von 6–60% gerechnet werden. Kontrovers diskutiert wird dagegen der tatsächliche Nutzen der FAST-Untersuchung beim hämodynamisch stabilen Patienten.

Eine rezente Publikation an einem großem Kollektiv von normotensiven BAT-Patienten (BAT: blunt abdominal trauma, stumpfes Abdominaltrauma) (Def.-RR_{sys} >100 mmHg) ohne weitere Charakterisierung (wie Peritonismus, unklarer klinischer Befund etc.) berichtet über eine 37% Wahrscheinlichkeit notfallmäßiger Laparotomien – allein bezogen auf den positiven FAST-Befund – gegenüber 0,5% bei einem negativen FAST-Befund (Moylan 2007).

Dennoch wird zurzeit die FAST-Untersuchung beim hämodynamisch stabilen Patienten mit Abdominaltrauma nicht generell empfohlen (Natarajan 2010), um die Diagnostik im Multislice-CT und durch die klinische Untersuchung nicht zu verzögern.

Die allgemeine Begeisterung für die Sonografie als rasch verfügbares Mittel der diagnostischen und therapeutischen Triage (resuscitative ultrasound, RUS) beim Traumapatienten hat zu einer Reihe von weiteren Untersuchungstechniken mit entsprechenden Akronymen geführt (Übersicht).

Sonografie-Untersuchungstechniken beim Traumapatienten

- FAST: Focussed Assessment with Sonography for Trauma
- EFAST: Extended FAST mit zusätzlicher Abklärung des Pleuralraums (Pneumothorax)
- FATE: Focussed Assessment with Transthoracic Echocardiography
- BLEEP: Bedside Limited Echocardiography by the Emergency Physician
- BEAT: Bedside Echocardiography Assessment in Trauma/Critical care
- ONSD: Optic nerve sheath diameter: Eine Erhöhung des Durchmessers auf >5 mm scheint mit einem erhöhten intrakraniellen Druck zu korrelieren (Gillman 2009).

Standardisierte Schnittführungen des FAST sind:

- Rechtslateraler Längsschnitt zur Beurteilung von Leber, Gallenblase, Zwerchfell, Thorax, Niere, M. psoas sowie v.a. des Recessus hepatorenalis (Morison-Pouch). In 82–90% der Fälle kann innerhalb von 20 s beim massiven Hämoperitoneum durch diese einzige Einstellung ein positiver FAST-Befund erhoben werden (Wherrett 1996, Rozycki 1997). Der Flüssigkeitsnachweis im rechten oberen Quadranten sowie geschätzt >300 ml ist mit einem signifikant höheren Risiko der Notfall-Laparotomie verbunden als jeder andere intraabdominelle Ultraschallbefund (Velmahos 2003, Rose 2005).
- Linkslateraler Längsschnitt zur Beurteilung von Milz, Zwerchfell, Thorax, Niere, Magen, Pankreasschwanz, M. psoas sowie Recessus splenorenalis (Koller-Pouch).
- Horizontaler Unterbauchschnitt zur Beurteilung von Harnblase, Retroperitoneum, Excavatio rectovesicalis bzw. rectouterina (Douglas-Raum).
- Medianer Oberbauchschnitt zur Beurteilung von Leber, Zwerchfell, Herz, Magen, Pankreas, großen Gefäßen und Retroperitoneum. Mit diesem Schnitt kann die potenziell rasch lebensbedrohliche Perikardtamponade sofort erkannt werden. Er ist daher insbesondere bei penetrierenden Verletzungen im Oberbauch angezeigt.

Der sonografische Nachweis von Flüssigkeit im rechten Oberbauch oder >300 ml im gesamten Abdomen mahnt zur erhöhten Wachsamkeit.

Bei Unklarheit bezüglich der Art einer nachgewiesenen Flüssigkeitsansammlung (Darminhalt, Blut, Aszites, Galle, Pankreassaft oder Urin) und tatsächlicher therapeutischer Konsequenz kann sofort sonografisch gesteuert punktiert werden (Abb. 3.5).

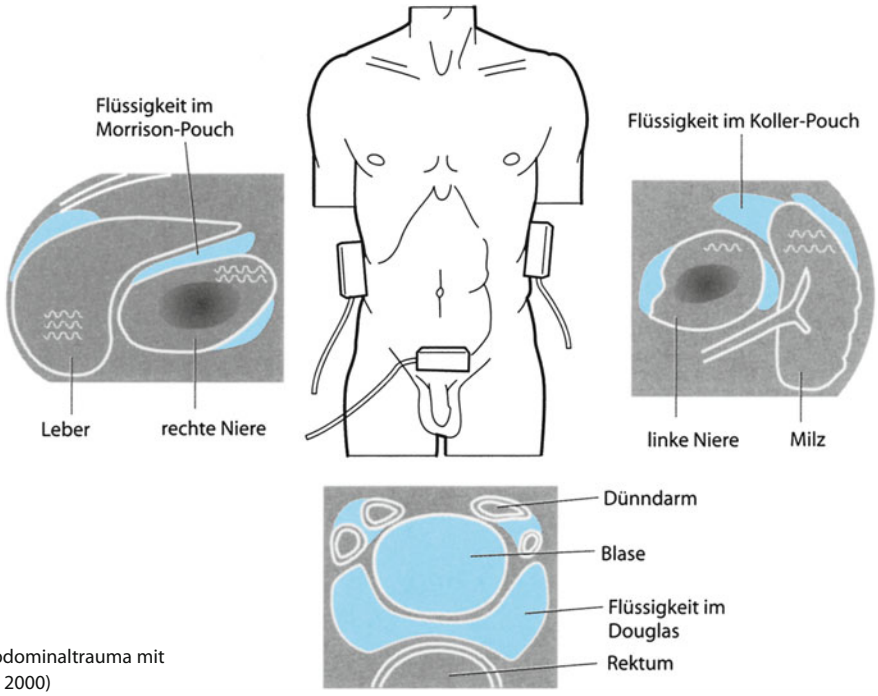


Abb. 3.5 Sonografische Standardschnitte beim Abdominaltrauma mit typischen pathologischen Befunden. (Aus: Pichlmayr 2000)

Der zukünftige Stellenwert einer flächendeckenden kontrastmittelgestützten FAST-Untersuchung muss noch in Studien belegt werden; erste Daten zeigen bereits eine (zu erwartende) wesentliche Verbesserung der Detektion von Parenchymläsionen.

Peritoneallavage

Wenngleich die Peritoneallavage durch die Sonografie in Westeuropa als primäres nichtinvasives Verfahren zu Recht weitgehend abgelöst worden ist, besitzt sie in medizintechnisch unterentwickelten Regionen sicherlich noch ihre generelle Berechtigung. Ihr Einsatz im gerätetechnisch bestens ausgestatteten Westen wird hingegen oft als Anachronismus gegeißelt (Abb. 3.6).

In der rezenten anglo-amerikanischen Literatur (Mele 1999, Griffin 2007) werden Übersichtsarbeiten zitiert, worin absolut nachvollziehbar festgestellt wird, dass eine korrekt durchgeführte diagnostische Peritoneallavage als Screening, der ein gezieltes Multislice-CT folgt, der alleinigen Multislice-CT signifikant überlegen ist in Bezug auf klinisch inapparente Hohlorganverletzungen, insbesondere Dünndarmläsionen. Bei Verdacht auf Hohlorganverletzungen – Anamnese, Untersuchung, unerklärlicher klinischer Verlauf – kann daher die diagnostische Peritoneallavage durchaus noch ihre Berechtigung haben. Keinesfalls also darf sie als »diagnostisches Versagen« eingestuft werden.

Nach offener oder perkutaner, ultraschallgezielter Platzierung eines Katheters über einen medianen Zugang knapp unterhalb des Nabels kann nach Spülung mit 1000 ml warmer Ringer-Lösung anhand des Aussehens und der laborchemischen Beurteilung der gewonnenen Flüssigkeit auf die Natur der vorliegenden Verletzung geschlossen werden:

- Erythrozytenzahlen >100.000/µl weisen auf eine manifeste Blutung hin,
- Bakterien, Amylase, Bilirubin oder Galle in der Peritoneallavage gelten als Nachweis einer Verletzung des Gastrointestinaltrakts.

Eine perkutane Katheterplatzierung sollte niemals erfolgen, bevor die Blase entlastet worden ist. Bei voroperierten oder fraglich schwangeren Patienten sollte eine Lavage ohne Ultraschallkontrolle unterbleiben. Alternativ ist einer Minilaparotomie der Vorzug zu geben.

Über eine versehentliche Verletzung des Gastrointestinaltrakts mit falsch-positiver Aussage wird in Einzelfällen ebenso berichtet wie über falsch-negative Ergebnisse bei Zwerchfellrupturen mit intrathorakaler Verlagerung der verletzten Organe. Alle Verletzungen, die keine Verbindung zur freien Bauchhöhle haben, wie subkapsuläre oder intraparenchymatöse Verletzungen der Leber oder Milz und Verletzungen des Retroperitoneums oder der Bauchdecken, können auf diesem Weg nicht erkannt werden. Vorwiegend aufgrund von irrtümlich punktierten retroperitonealen Hämatomen beträgt die Rate der falsch-positiven Peritoneallavagen bis zu 10%. Bei ungünstiger Lage des Spülkatheters sind falsch-negative Angaben in 0–2% möglich (Bivins et al. 1978).

Röntgen

Gezielt auf den Bauchraum bezogene Untersuchungen wie die Abdomenübersichtsaufnahme oder die Aufnahme in Linksseitenlage sind beim Abdominaltrauma mit einer Fehlerrate von bis zu 45% behaftet (Blaisdell 1993). Sowohl über unnötige wie auch unterbliebene Laparotomien mit letalem Ausgang in bis zu 20% ist als Folge falsch interpretierter Röntgenaufnahmen berichtet worden (Wening 1989). Neben dem Nachweis von freier Luft oder multiplen Darmspiegeln ist daher die begleitende Feststellung von Verletzungen wie Rippen- oder Wirbelfrakturen von großer Bedeutung, weil sie das Augenmerk auf benachbarte, potenziell mitverletzte Organe lenken.

Computertomografie

Durch den Einsatz der modernen Multislice-CT kann innerhalb weniger Minuten eine Darstellung des gesamten Bauchraums statt-

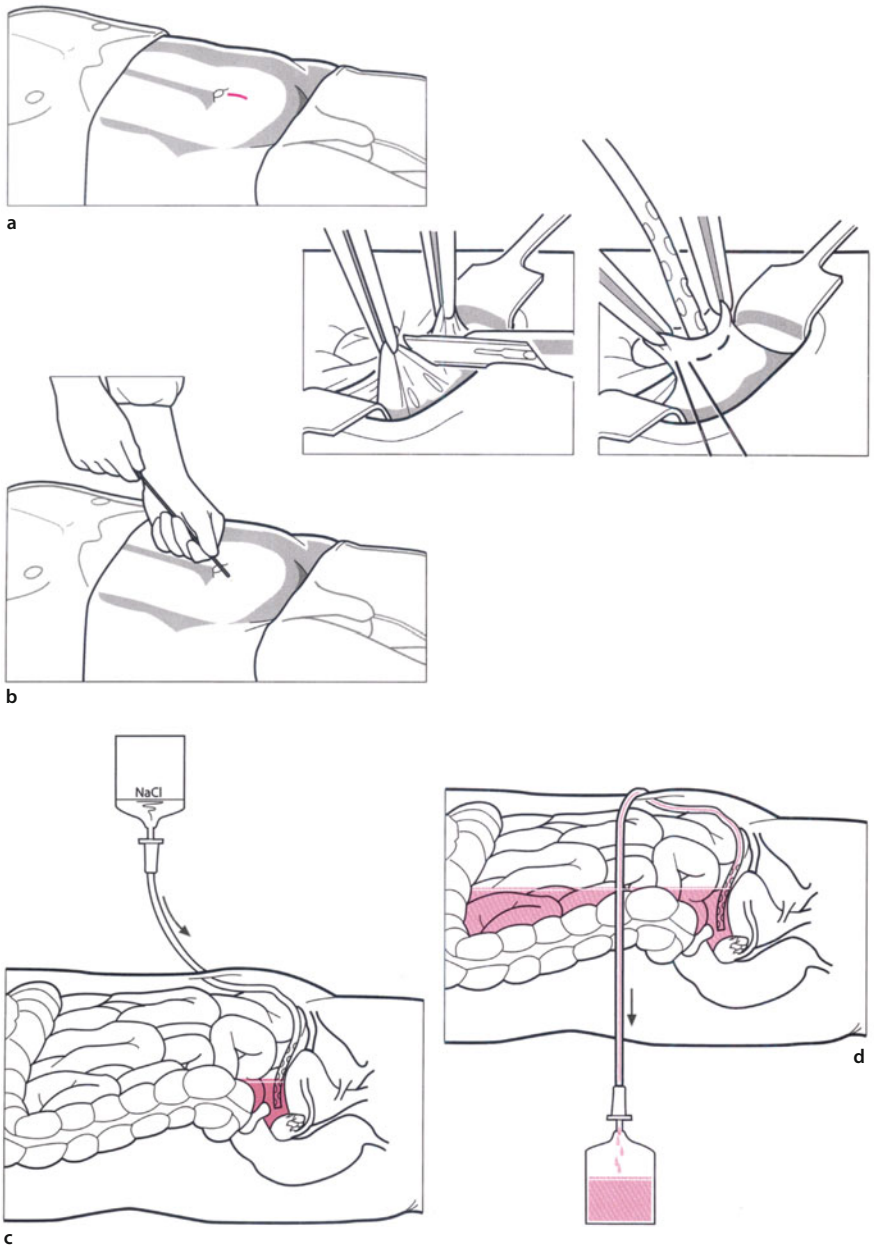


Abb. 3.6a–d Diagnostische Peritoneallavage. **a,b** Über eine Minilaparotomie infraumbilikal wird ein Katheter unterhalb der Bauchdecke nach distal geführt (**b**) und mit einer Tabaksbeutelnaht gesichert. **c,d** Anschließend wird eine isotone Lösung instilliert, später wieder rückgeführt (**d**) und deren Qualität beurteilt. (Aus: Pichlmayr 2000)

finden, wobei sinnvollerweise Kontrastmittel i.v. und bei Bedarf auch per Magensonde oder transrektal (wasserlöslich) appliziert werden sollte, um eine bessere Unterscheidung einzelner Strukturen zu ermöglichen.

Neben dem »einfachen« Nachweis von freier Flüssigkeit in allen intra- und retroperitonealen Abschnitten, auch bei adipösen oder Patienten, die wegen Meteorismus schlecht beurteilbar sind, können auch Parenchymläsionen ohne Flüssigkeitsaustritt mit hoher Sicherheit detektiert werden. Deshalb gilt die Multislice-CT derzeit als »Gold-Standard« der nichtinvasiven Diagnostik beim penetrierenden und stumpfen Abdominaltrauma mit einer Sensitivität von >97% und einer Spezifität von >94% (Nast-Kolb 2005).

Durch i.v.-Kontrastmittelgabe kommen nicht mehr perfundierte Gewebeareale oder Organe zur Darstellung, wodurch z.B. im Fall der Nierenstielverletzung wertvolle Zeit gewonnen werden kann. Der Nachweis eines umschriebenen Kontrastmittelaustritts (z.B. retroperitoneale Blutung bei Beckenfraktur) kann bei entsprechender Ausstattung zur sofortigen interventionellen Angiografie mit der Möglichkeit einer sofortigen Blutstillung mittels Embolisation führen.

Die komplexe Beurteilung des Thorax (muskuloskelettales System, Lunge, Mediastinum) stellt eine weitere wesentliche Indikation zur Durchführung einer Multislice-CT dar, insbesondere beim hämodynamisch instabilen Abdominaltrauma mit negativem FAST-Befund.

Angiografie

Die interventionelle Angiografie ist insbesondere bei Verdacht auf eine kreislaufwirksame retroperitoneale Blutung, bei FAST-negativem Intraperitonealbefund, EFAST-negativem Befund bzgl. Hämatothorax, bei Fehlen von Extremitätenverletzungen mit großem Weichteiltrauma sowie bei nachgewiesener Beckenfraktur angezeigt (Abb. 3.7). Nach sonografischem Ausschluss intraabdo-

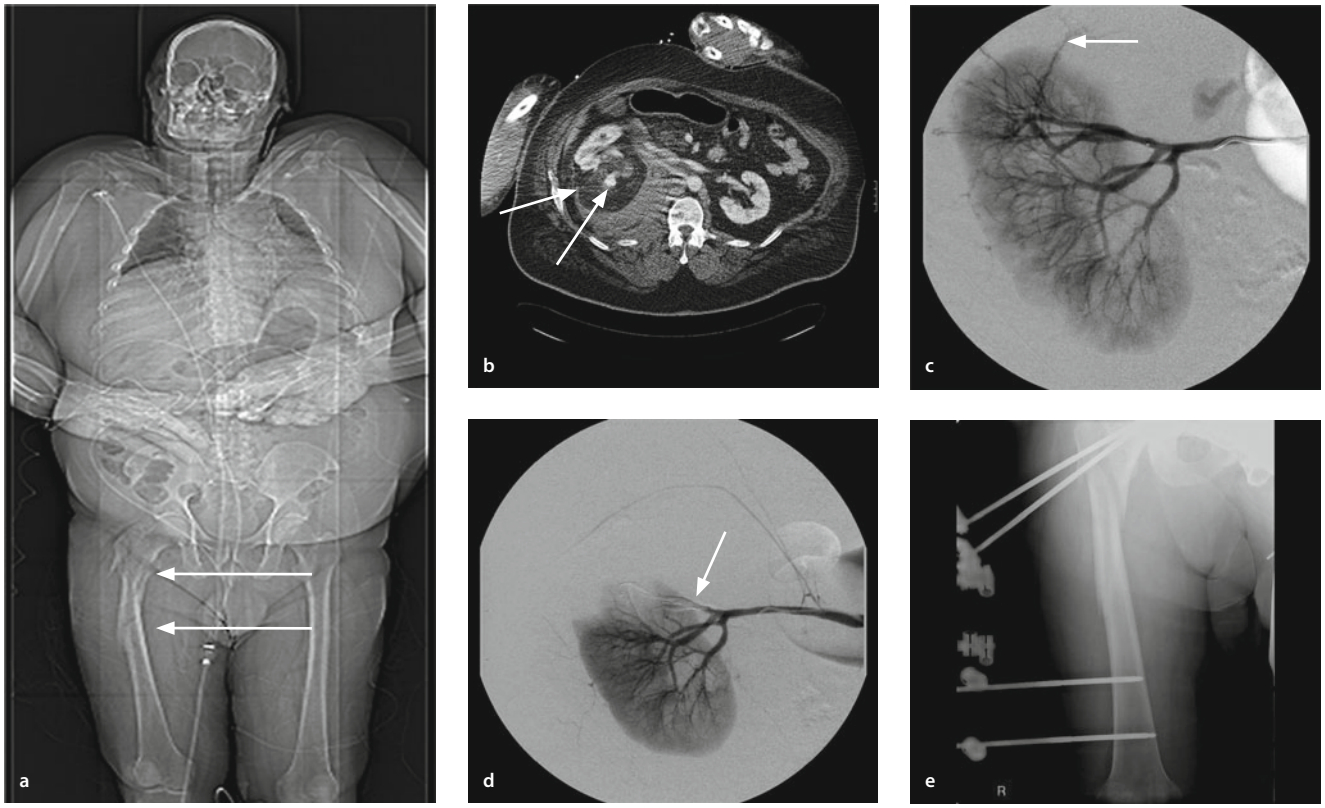


Abb. 3.7 Angiografie bei einem Patienten nach Trauma, bei FAST-negativem Befund. **a** Trauma-Scan (MSCT) bei Kreislaufinstabilität und negativem FAST mit komplexer Femurfraktur (*Pfeil*) rechtsseitig, Skapulafraktur rechts und Makrohämaturie. **b** Ausgedehntes perirenales Hämatom rechtsseitig (*Pfeile*). **c** Selektive Angiografie mit Kontrastmittelaustritt (*Pfeil*) als Nachweis der aktiven Blutung. **d** Selektive Embolisation (coils) der oberen Nierenpolarterie (*Pfeil*) mit sofortiger Blutstillung. **e** Damage Control Surgery der komplexen Femurfraktur 60 min nach radiologisch-interventioneller Versorgung der retroperitonealen Blutung der rechten Niere (S-Kreatinin bei Entlassung nach 3 Wochen: 1,2 mg/dl)

mineller und intrathorakaler Flüssigkeit und u.U. Direktnachweis des retroperitonealen Hämatoms kann eine gezielte Embolisation – oftmals im Versorgungsgebiet der A. iliaca interna – zur sofortigen Hämostase führen. Bei operativ nicht zugänglicher Blutung aus dem Leberparenchym oder nach erfolgloser operativer Blutstillung kann die selektive Angiografie eingesetzt werden, um bei persistierender arterieller Blutung diese nichtinvasiv zu beheben (Abb. 3.8). Bei isolierter Milzblutung kann die Notfall-Angiografie mit Embolisation die Notfall-Laparotomie oftmals vollständig ersetzen!

Laboruntersuchungen

Abgesehen vom Hämoglobinwert, der Leukozytenzahl und den Gerinnungsparametern spielen Laboruntersuchungen in der unmittelbaren posttraumatischen Phase eine untergeordnete Rolle. Die Erfassung der genannten Parameter ist jedoch für die Beurteilung des **Verlaufs** von großer Bedeutung. Falls der Hämoglobinwert initial stark erniedrigt sein sollte, muss abhängig vom Allgemeinzustand des Patienten (Alter, Verdacht auf koronare Herzkrankheit, Kreislaufsituation) evtl. eine sofortige Transfusion mit Konserven der Blutgruppe 0, Rhesusfaktor negativ, erfolgen.

Als Faustregel gilt, dass bei bekannter/vermuteter koronarer Herzkrankheit ein Hb-Wert von 10 g/dl angestrebt werden sollte. Da ein erheblicher Anteil der Traumapatienten jünger als 50 Jahre ist, kann bei vorhandener Kreislaufstabilität ein Hb-Wert von 6–8 g/dl toleriert werden.

Darüber hinaus können bestimmte Laborparameter einen ersten Hinweis für primär unentdeckte Organläsionen oder posttraumatisch eintretende Organdysfunktionen geben:

- Thrombozytenabfall bei Blutung, DIC (disseminierter intravasaler Koagulation) oder Sepsis
- Transaminasenanstieg bei Leberläsion oder -ischämie
- Bilirubinanstieg bei Leberparenchymschaden oder Cholestase
- Kreatininerhöhung bei Nierenparenchymschaden oder Muskelzerfall
- Amylase- und Lipaseanstieg bei Pankreatitis

3.1.5 Übersehene Verletzungen (missed injuries)/ verzögerte Diagnosestellung (delayed diagnosis)

Bei bis zu 38% der polytraumatisierten Patienten werden Verletzungen übersehen oder verzögert erkannt. In einer aktuellen Übersichtsarbeit lag die durchschnittliche Häufigkeit übersehener Verletzungen bei 9% (Pfeifer 2008).

Übersehene Verletzungen kommen mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 9% aller Traumapatienten vor.

15–22% der übersehenen Verletzungen sind medizinisch relevant (Houshian 2002). Nicht erkannte schwere Verletzungen an Schädel, Wirbelsäule, Becken, Femur, Humerus, Leber, Milz, Intesti-

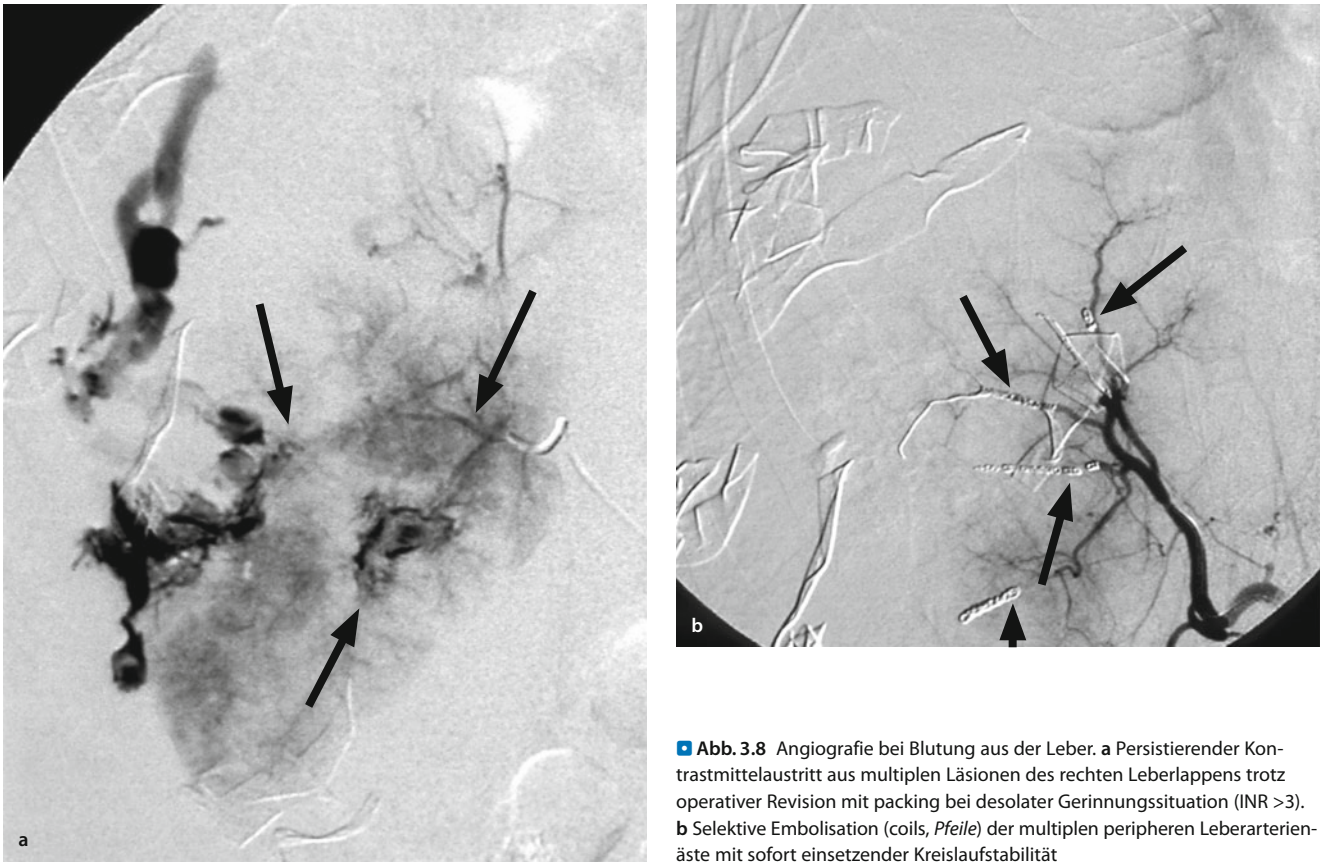


Abb. 3.8 Angiografie bei Blutung aus der Leber. **a** Persistierender Kontrastmittelaustritt aus multiplen Läsionen des rechten Leberlappens trotz operativer Revision mit packing bei desolater Gerinnungssituation (INR >3). **b** Selektive Embolisation (coils, *Pfeile*) der multiplen peripheren Leberarterienäste mit sofort einsetzender Kreislaufstabilität

num sowie neurologischen und arteriellen Strukturen werden in der Literatur in 27–66% der Fälle mit übersehenen Verletzungen angegeben (Juhl 1990, Kremli 1996) und lebensbedrohliche Verletzungen wie Pneumothorax, Hämatothorax und Verletzung großer thorakaler Gefäße in bis zu 4,4% (Robertson 1996).

Allerdings werden seit der weitgehenden Implementierung der Multislice-CT im diagnostischen workup des Polytrauma-Patienten Beckenverletzungen signifikant seltener übersehen (Vles 2003).

Die Folgen übersehener Verletzungen sind ein verlängerter Aufenthalt auf der Intensivstation und im Krankenhaus bei erhöhter Letalität und Morbidität (Pfeifer 2008). Am meisten gefährdet sind Patienten mit einem hohen ISS (Injury Severity Score) und/oder niedrigem GCS (Glasgow Coma Scale). Oftmals liegt eine multifaktorielle Ursache vor, bestehend aus einer Kombination folgender Fehler:

- Fehlen einer adäquaten radiologischen/sonografischen Diagnostik (46–54%)
- Fehldeutung vorhandener Röntgenaufnahmen (15–35%)
- Klinische Unerfahrenheit des Untersuchers, z.B. bei Peritonismus (26%)
- Einschätzungsfehler bei ausreichender Routine (34–60%)

Bewusstlose und beatmete Patienten mit einem hohen ISS sollten daher einem »tertiary trauma survey« unterzogen werden, bestehend aus einer Reevaluation der initialen Laborwerte, der vorhandenen Röntgen- und Ultraschallbefunde und der klinischen Untersuchung des Patienten, insbesondere dann, wenn dieser beatmet wird. Durch diese tertiäre Kontrolle können bis zu 90% der klinisch signifikanten, übersehenen Verletzungen noch im Krankenhaus entdeckt und behandelt werden (Janjua 1998, Vles 2003).

Mit Hilfe eines konsequent durchgeführten »tertiary trauma survey« lassen sich innerhalb von 24 h nach Aufnahme bis zu 90% aller primär übersehenen Verletzungen aufdecken. Risikogruppen sind insbesondere Patienten mit schwerem Polytrauma, hohem ISS und niedrigem GCS.

Beim stumpfen Abdominaltrauma werden Raten an primär übersehenen intraabdominellen Verletzungen – vorwiegend Zwerchfell, Dünndarm, Blase, Pankreas, Mesenterium – mit einer erstaunlich geringen Rate von 2,3–3,3% angegeben (Miller 2002, Velmahos 2003). Als Spätfolge der verzögerten Diagnose konnte erwartungsgemäß eine erhöhte Morbidität bei nicht signifikant erhöhter Mortalität beobachtet werden.

Die Sorge, intraabdominelle Verletzungen, insbesondere Hohlorganverletzungen zu übersehen, ist beim penetrierenden Abdominaltrauma (penetrating abdominal injury, PAI) verständlicherweise weitaus betonter als beim stumpfen Abdominaltrauma (blunt abdominal trauma, BAT). Dennoch liegen die publizierten Daten zu primär übersehenen intraabdominellen Läsionen mit verzögerter Operation beim PAI bei vergleichbaren 4,9–6,9% (Velmahos 2001, Demetriades 2006).

Bei adäquater klinischer Verlaufsbeobachtung wird die überwiegende Mehrzahl der primär übersehenen intraabdominellen Läsionen mit Operationsnotwendigkeit innerhalb von 12–24 h entdeckt. Auch in dieser Patientengruppe konnte lediglich eine erhöhte Morbidität bei unveränderter Mortalität im Vergleich zur Gruppe der primär operierten Patienten festgestellt werden (Velmahos 2001).

3.1.6 Nichtoperatives Management von Abdominalverletzungen

Stumpfes Abdominaltrauma

Das nichtoperative Management (NOM) beim klinisch stabilen Patienten mit stumpfem Abdominaltrauma kann inzwischen als Standardtherapieform angesehen werden.

Die FAST-Diagnostik in Verbindung mit wenigen klinischen Parametern, wie die primär bestehende oder sekundär erreichbare Kreislaufstabilität (RR_{sys} >90 mmHg bei Aufnahme oder nach Gabe von maximal 2000 ml i.v. Infusionslösung) und ein fehlender Peritonismus oder körperlicher Verfall hat in der Mehrzahl der Fälle beim negativen oder allenfalls schwach positiven (<300 ml) FAST-Befund dazu geführt, dass auf eine Laparotomie verzichtet wird. Denn selbst die rein diagnostische Laparotomie ist bei diesem Patientenkollektiv mit einer Komplikationsrate von bis zu 41% belastet (Ross 1995).

Es ist seit langem bekannt, dass zum Zeitpunkt der Laparotomie eine zuvor blutende Leberläsion in mehr als der Hälfte der Fälle spontan sistiert war. Deshalb wurde zunächst beim isolierten Lebertrauma auf eine operative Revision verzichtet. 1993 wurde dann von Hirshberg und Mattox im British Journal of Surgery die Kernaussage zum NOM beim stumpfen Abdominaltrauma formuliert.

»The operating room is the physiologically most unfavorable environment for the severely injured patient!« (Hirshberg u. Mattox 1993).

Die Pathophysiologie des Abdominaltraumas besteht im Wesentlichen aus den 3 Komponenten:

1. Hypothermie (α-adrenerge Überstimulation, periphere Vasokonstriktion, Endstrombahn-Hypoperfusion)
2. Metabolische Azidose (Energiemangel)
3. Koagulopathie durch Verdünnung und Verbrauch

Im Operationssaal kommt bei dieser kritischen Ausgangssituation häufig ein circulus vitiosus in Gang. Die kalte Umgebung, das offene Abdomen und die Volumensubstitution führen zur Hypothermie. Vasopressorengabe, hämorrhagischer Schock und Hypotension münden in einer metabolischen Azidose. Dies verstärkt die Koagulopathie und verschlechtert die Homöostase.

Die Entscheidung zur Durchführung einer NOM-Therapie kann auch im Zeitalter multipler diagnostischen Methoden, Scores etc. ausschließlich nach klinischem Ermessen vom erfahrenen Arzt getroffen werden.

Eine praxisorientierte Vorgehensweise wurde 2003 von Velmahos et al. als Ergebnis einer prospektiven Studie aus Los Angeles publiziert (Velmahos 2003, Übersicht).

Therapeutische Algorithmen nach Velmahos 2003

Therapeutischer Algorithmus I:

- Stumpfes Abdominaltrauma
- Hämodynamische Instabilität
- FAST positiv/Peritonealaspirat positiv
- → Umgehende Operation

Therapeutischer Algorithmus II:

- Stumpfes Abdominaltrauma
- Hämodynamische Stabilität
- Ausgeprägter, diffuser Peritonismus
- → Umgehende Operation

Therapeutischer Algorithmus III:

- Stumpfes Abdominaltrauma
- Hämodynamische Stabilität
- Kein Peritonismus
- FAST positiv oder FAST negativ
- → Multislice-CT von Abdomen und Becken

Nach dem Multislice-CT wurde die eigentliche Gruppeneinteilung für ein NOM vorgenommen, unter Berücksichtigung des radiologischen Befunds, des klinischen Zustandes und der Begleitverletzungen.

Nicht auf die Leber bezogene Organläsionen an Milz und Niere des Schweregrades III oder höher oder ein positiver FAST-Befund (>300 ml freie Flüssigkeit, meist multilokuläre Flüssigkeitsverteilung) waren neben der persistierenden Kreislaufinstabilität und der wiederholten Notwendigkeit der Blutübertragung die wesentlichen Parameter, die in einer aktuellen prospektive Studie mit einer NOM-Rate beim stumpfen Bauchtrauma (BAT) von 72% und einer Erfolgsrate von 78% auf ein erhöhtes Risiko des Versagens der NOM-Therapie hinweisen (Velmahos 2003).

Penetrierendes Abdominaltrauma

Beim penetrierenden Abdominaltrauma galt die systematische NOM-Behandlung lange Zeit als kontraindiziert, aus Sorge um eine hohe Zahl von übersehenen Hohlorganverletzungen trotz Multislice-CT, Laborkontrollen inkl. Laktatbestimmung etc.. Unter Verwendung der gleichen Einschlusskriterien zum NOM zeigt sich erwartungsgemäß ein weitaus höherer Anteil an Patienten, die in ca. 60% der Fälle bereits primär einer therapeutischen bzw. diagnostischen Laparotomie oder Laparoskopie zugeführt werden. Nach der initialen, CT-gestützen Diagnostikphase werden weitere 15–20% aufgrund des radiologischen Verdachts der Hohlorganläsion ebenfalls nicht für ein NOM ausgewählt.

Bei penetrierenden Abdominaltraumen mit Parenchymläsion ist das NOM-Konzept bei nachgewiesenen Läsionen der Leber in 28,4% erfolgreich, bei Nierenverletzungen in 14,9% und bei Milzverletzungen nur noch in 3,5% der Fälle (Demetriades 2006). Weiterhin gilt:

- Schussverletzungen weisen in Bezug auf NOM eine schlechtere Prognose auf als Stich- oder Pfählungsverletzungen (Butt 2009).
- Anteriore Verletzungen innerhalb der beiden medioklavikularen Linien sind gefährdeter für ein Therapieversagen als laterale oder posteriore Verletzungen (Velmahos 2001).
- Die Sorge um übersehene Verletzungen beim penetrierenden Abdominaltrauma führt signifikant häufiger, und zwar in 10% der Fälle, zur Durchführung einer nicht therapeutischen Laparotomie (Velmahos 2001).
- Die verzögerte Entdeckung einer Hohlorganläsion war in keiner Studie mit einer erhöhten Letalität, jedoch mit einer erhöhten Morbidität verbunden.

3.1.7 Damage Control Surgery

Die gleichen pathophysiologischen Prinzipien, die zur Einführung des NOM geführt haben, sind auch Grundlage der Damage Control Surgery (DCS), die in den letzten Jahrzehnten in allen Bereichen der Unfall- und Viszeralchirurgie rasche Ausbreitung fand. Die primären Ziele sind Blutungskontrolle und die Behebung bzw. Vermeidung einer intraabdominellen Kontamination. Die Indikation zum DCS beim Abdominaltrauma ist bei folgender Befundkonstellation gegeben:

- ISS: >>25
- RR_{sys}: <90 mmHg
- Laktat: >5 mmol/l
- BE: <-4 mmol/l
- pH: <7,1
- Temperatur: <35°C

Weitere Faktoren, die für DCS als primäre Therapieform sprechen, sind:

- Geplante Gesamtoperationszeit >>90 min
- Zusätzliche lebensbedrohliche extraabdominelle Verletzungen
- Manifeste Koagulopathie
- Hohe Wahrscheinlichkeit einer Second-look-Operation
- Bestehendes intraabdominelles Ödem

Bei der Durchführung einer Erst-DCS erfolgt zunächst die Blutungskontrolle durch Packing, Umstechung oder Ligatur der Blutungsquellen (Abb. 3.9). Dann geht es um die Eindämmung einer potenziellen Kontamination durch Resektionsdébridement mittels Stapler oder Ligatur, ohne Anlage von Stomata oder Anastomosen. Der Bauchdeckenverschluss wird temporär mit Folien oder einer Vakuumversiegelung durchgeführt für einen geplanten Second look (Abb. 3.10).

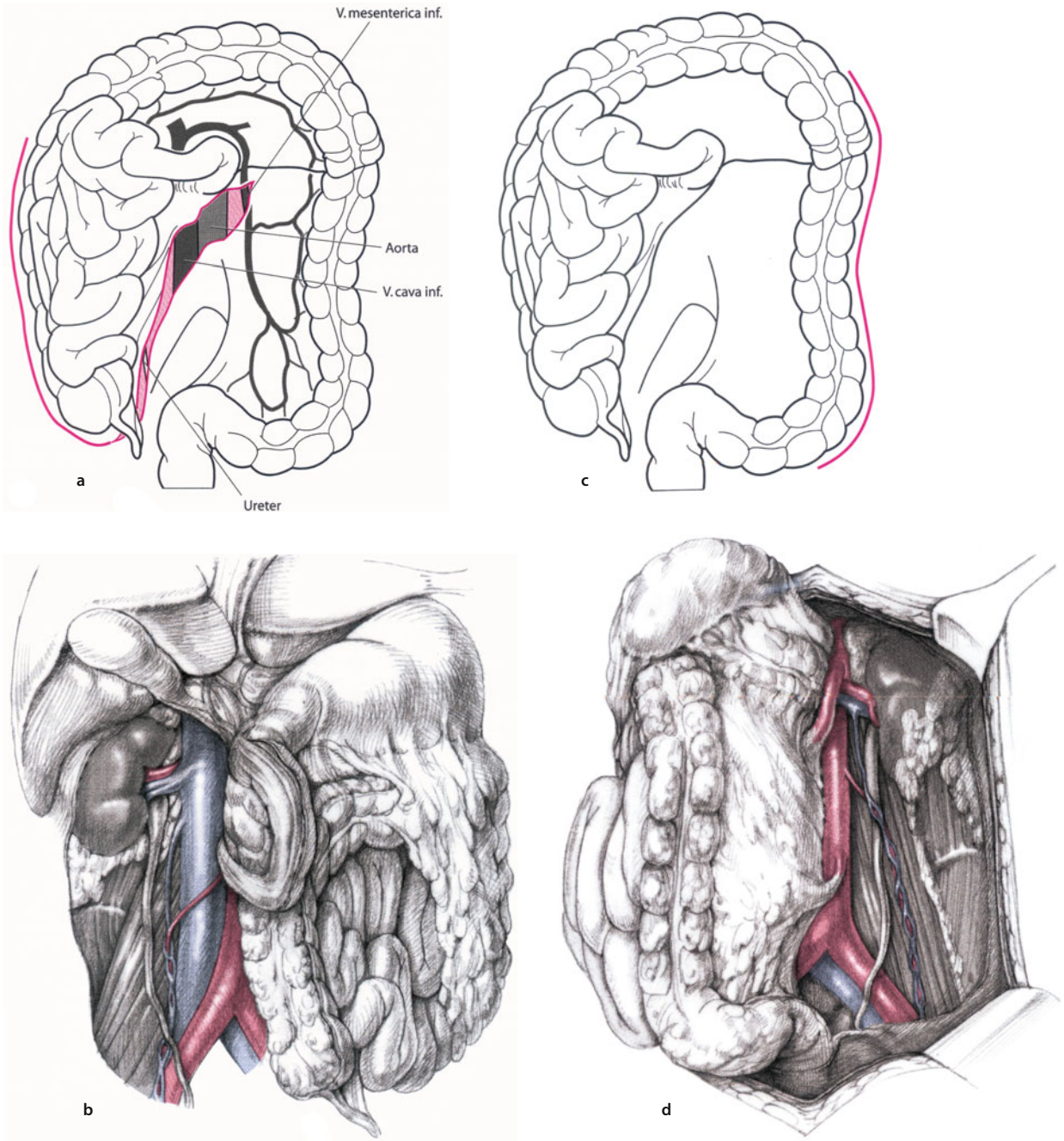


Abb. 3.9a–d Gefäßachse. **a,b** Von rechts dargestellt. **c,d** Von links dargestellt. (Aus: Pichlmayr 2000)

Abb. 3.10 Polytraumatisierter Patient mit Becken-, Abdominal- und Extremitätenverletzungen nach notfallmäßiger Laparotomie mit Damage Control und Verschluss durch Ethizip. (Aus: Pichlmayr 2000)

Damage Control Surgery bedeutet das Verlassen des Prinzips der primären vollständigen gastrointestinalen Rekonstruktion.

Im Anschluss an die DCS wird der Patient u.a. auch in Bezug auf typische Komplikationen überwacht, denn es drohen:

- persistierende Blutungen
- ein abdominelles Kompartment-Syndrom und
- die so genannte »closed-loop obstruction« bei beidseits abgestapelten Darmanteilen mit der Gefahr der intestinalen Ischämie und/oder der bakteriellen Translokation.

In solchen Fällen ist eine umgehende Revision angezeigt, ansonsten steigt das Letalitätsrisiko schnell an. Nach Stabilisierung eines polytraumatisierten Patienten kann mit 1-bis 2-tägiger und in Ausnahmefällen auch mit einer 3-tägigen Verzögerung die geplante Reoperation unter verbesserten Bedingungen durchgeführt werden. Dabei orientiert man sich an folgenden Parametern:

- Laktat: <4 mmol/l
- BE: >-4 mmol/l
- pH: >7,1
- Temperatur: >35°C

Die perioperative Mortalität lässt sich dadurch um 50–70% reduzieren.

Bei der Reoperation werden Rekonstruktionsverfahren wie die Anlage eines Stomas oder einer Anastomose zuerst durchgeführt und ein Packing zuletzt entfernt, um das Blutungsrisiko zu minimieren. Auf jeden Fall muss auch der gesamte abdominelle Situs erneut inspiziert werden, weil ca. 20% aller Läsionen initial übersehen werden. Beim Verschluss der Bauchdecke muss der aktuelle Zustand der Weichteildeckung berücksichtigt werden. Es ist besser einen Defekt erst einmal zu belassen als einen Verschluss zu erzwingen, wenngleich die Früh- und Spätfolgen des offenen Abdomens erheblich sind. Als Frühfolgen drohen intestinale Fistelbildung, Verwachsungen, Infektionen und der Flüssigkeitsverlust und später ausgedehnte Hernienbildung, Infektionsrezidive und persistierende Fisteln (Sutton 2006).

3.1.8 Abdominelles Kompartment-Syndrom

Sowohl die operative wie insbesondere die nicht operative Versorgung schwerer Abdominaltraumata haben wesentlich zum Verständnis der intraabdominellen Hypertension und des abdominellen Kompartment-Syndroms beigetragen (ACS: abdominal compartment syndrome). Die Ursache einer intraabdominellen Hypertension kann lokal begründet sein, wie beim Abdominaltrauma, aber auch extraabdominell, wie bei der aggressiven Flüssigkeitssubstitution in der fulminanten Sepsis (»Michelin-Männchen«).

Die Auswirkungen eines pathologisch gesteigerten intraabdominellen Drucks beschränken sich nicht alleine auf intraabdominelle Organe (Cheatham 2009). Vielmehr sind sämtliche Organsysteme davon betroffen, insbesondere bei Begleiterkrankungen wie chronischer Niereninsuffizienz, COPD, Kardiomyopathie etc., wodurch der Schwellenwert für das Eintreten eines klinisch manifesten abdominellen Kompartment-Syndroms erheblich reduziert sein kann.

Der intraabdominelle Druck (IAP: intra-abdominal pressure) eines Gesunden ist negativ oder beträgt maximal 0 mmHg. Er steigt bei der Inspiration aufgrund der Zwerchfellkontraktion an und fällt bei der exspiratorischen Relaxation des Zwerchfells ab. Er wird bestimmt vom Volumen bzw. dem Füllungsgrad der parenchymatösen Organe und des Hohlorgansystems sowie der Anwesenheit von Aszites, Blut oder sonstigen Raumforderungen, z.B. einem Tumor oder einem graviden Uterus und vom Zustand der Bauchdecken, die den Druck durch eingelagerte Ödeme oder Vernarbungen erhöhen können. Bei einem kritisch kranken Patienten ohne abdominelle Pathologie kann der intraabdominelle Druck auf 5–7 mmHg ansteigen (Malbrain 2004).

Der abdominelle Perfusionsdruck (APP: abdominal perfusion pressure) wird in Analogie zum zerebralen Perfusionsdruck als Differenz aus dem mittleren arteriellen Blutdruck (MAP: medial arterial pressure) und dem intraabdominellen Druck (IAP) als Gegendruck gemessen.

$$APP = MAP - IAP$$

Der abdominelle Perfusionsdruck hat sich zur Beurteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit beim abdominellen Kompartment-Syndrom im Vergleich zum mittleren arteriellen Blutdruck oder intraabdominellen Druck, aber auch zu herkömmlichen Parametern wie Basen-Defizit, Serum-Laktat, Urinausscheidung als überlegen erwiesen (Cheatham 2000). Somit nimmt der abdominelle Perfusionsdruck eine Schlüsselrolle ein in der Strategie zur Bekämpfung der klinischen Folgen des abdominellen Kompartment-Syndroms.

Von einem intraabdominellen Hochdruck spricht man bei anhaltenden oder wiederkehrenden Werten >12 mmHg, wenn sie 3-mal im Abstand von 4–6 h gemessen wurden. Diese sehr eng gefasste Definition basiert auf der klinischen Beobachtung, dass bereits bei diesem mäßig erhöhten Druckniveau klinische Auswirkungen auf Herz-Kreislauf-System, Nieren und Gastrointestinaltrakt nachweisbar sind (Burch 1996).

Schweregrade des intraabdominellen Hochdrucks

- Grad I: 12–15 mmHg
- Grad II: 16–20 mmHg
- Grad III: 21–25 mmHg
- Grad IV: >25 mmHg

Eine therapeutische Intervention wird bei jedem Grad des intraabdominellen Hochdrucks insbesondere bei Trauma- und Sepsispatienten gefordert, eine chirurgische ist jedoch erst beim Schweregrad IV angezeigt.

Druckmessung

Die klinische Einschätzung des intraabdominellen Hochdrucks hat sich als ebenso unzuverlässig erwiesen wie die Einschätzung durch eine körperliche Untersuchung. Daher sind frühzeitige, wiederholte Messungen entscheidend für die rechtzeitige Erkennung eines drohenden intraabdominellen Hochdrucks (Abb. 3.11).

Die Messung korrekt durchzuführen ist entscheidend, um sowohl falsch-positive Werte wegen einer zu hohen Blasenfüllung oder einer Transducer-Position unterhalb der mittleren Axillarlinie als auch falsch-negative Werte bei zu geringer Blasenfüllung und einer Transducer-Position oberhalb der mittleren Axillarlinie zu vermeiden. Als Bedingungen für eine korrekte Messung gelten:

- Empfohlene Blasenfüllung: 25 ml NaCl
- Transducer-Null-Abgleich: mittlere Axillarlinie
- Patientenposition: liegend
- Wertangabe: mmHg
- Messzeitpunkt: endexspiratorisch

Das abdominelle Kompartment-Syndrom wird nicht wie der intraabdominelle Hochdruck in Stufen eingeteilt, sondern als ein »Alles oder Nichts«-Phänomen verstanden. So wird ein permanent über 20 mmHg betragender intraabdomineller Druck in Verbindung mit einem neu aufgetretenen Organversagen als abdominelles Kompartment-Syndrom definiert.

Ein primäres abdominelles Kompartment-Syndrom ist eine kurzzeitig bestehende oder anhaltende Erkrankung aufgrund eines primär intraabdominell bestehenden Leidens, z.B. ein rupturiertes Bauchaorten-Aneurysma, eine akute Pankreatitis oder ein Abdominaltrauma. Ein sekundäres abdominelles Kompartment-Syndrom entsteht aufgrund einer primär extra-abdominellen Ursache am häufigsten bei einer Sepsis oder Verbrennung mit einem »capillary leak syndrom« und der Notwendigkeit der massiven Flüssigkeitssubstitution. Ein rekurrentes abdominelles Kompartment-Syndrom kann nach der Beseitigung eines primären durch zu frühzeitiges Erzwingen des Bauchdeckenverschlusses entstehen. Es ist aufgrund seines »Second-hit«-Charakters mit einer sehr hohen Mortalität verbunden.

Im vergangenen Jahrzehnt wurden entscheidende Fortschritte in der Erkennung, Definition und Behandlung des abdominellen Kompartment-Syndroms erzielt. Dennoch ist diese Komplikation nach wie vor lebensbedrohlich. Die Situation wird häufig unterschätzt oder zu spät erkannt.

»…clearly, those patients requiring major abdominal surgery, especially for traumatic injuries, are at particular risk [of ACS development]«. (Zitat P. Hayden, Crit Care Med 2007)

Um ein abdominelles Kompartment-Syndrom zu vermeiden, gibt es eine Reihe **prophylaktischer Maßnahmen**:

- Gastrointestinale Entlastung durch eine Magensonde, einen Schwenkeinlauf oder eine Dekompressionssonde
- Intestinale Motilitätssteigerung durch Medikamente (MCP), Erythromycin oder einen periduralen Katheter
- Volumenrestriktion
- Frühzeitige kontinuierliche veno-venöse Hämofiltration (CVVH)
- Muskelrelaxierung

Als ultimative therapeutische Maßnahme ist die (Re-)Laparotomie angezeigt, bei der ein weites abdomen apertum geschaffen wird, mit Einnähen eines Vicrylnetzes an den Faszienrändern als Standardverfahren. In geeigneten Fällen, wenn keine Infektion vorliegt, kann zur definitiven Bauchdeckenversorgung ein Bio-Mesh verwendet werden mit oberflächlichem Haut- und Weichteilverschluss.

3.2 Bauchwand

3.2.1 Stumpfe Verletzung der Bauchwand

Ätiologie

Stumpfe Bauchtraumen (BAT: blunt abdominal trauma) entstehen meist durch Rasanztraumen im Rahmen von Verkehrsunfällen, aber auch bei Sport- oder Arbeitsunfällen.

Klinik

Es besteht keine Korrelation zwischen dem Ausmaß der äußerlich sichtbaren Läsionen und dem Grad der inneren Verletzungen! Bei intakter oberflächlicher Faszie können sich schmerzhafte Blutungen weitflächig intramuskulär ausdehnen, ohne äußerliche Hämatome zu verursachen. Andererseits kann sich die Energieeinwirkung fast ungebremst auf den Intraabdominalraum übertragen, sodass schwerste Verletzungen ohne sichtbare Veränderungen der Bauchdecken beobachtet werden.

Stumpfe Bauchwandverletzungen können allein aufgrund der initialen Schmerzhaftigkeit einen lebensbedrohlichen Zustand vortäuschen und in Kombination mit einem schockähnlichen Zustand zu übereilten therapeutischen Maßnahmen Anlass geben. Eine oftmals verblüffend schnelle Erholung des Patienten unter Analgesie sowie rasche Stabilisierung des Kreislaufs ohne wesentliche Volumensubstitution sprechen für eine ausschließlich auf die Bauchwand bezogene Verletzung. Bei ausgeprägtem subfaszialem Hämatom kann sich in den Folgestunden ein reflektorischer Ileuszustand einstellen, vergleichbar zum retroperitonealen Hämatom nach Wirbelsäulenfraktur.

Das subfasziale Hämatom kann das klinische Bild des Peritonismus vortäuschen und zum reflektorischen Ileus führen.

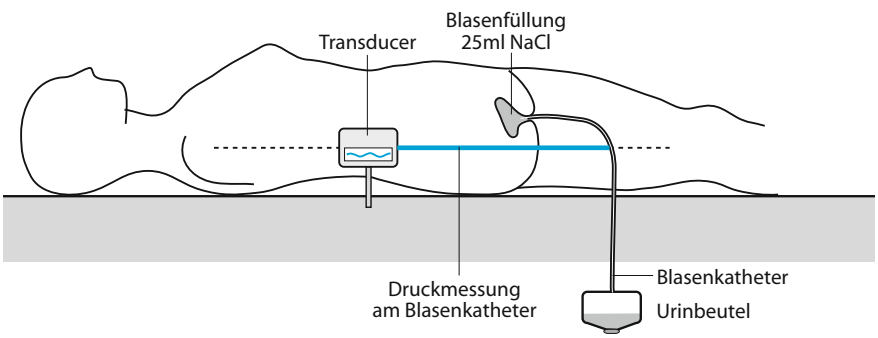


Abb. 3.11 Messung des intraabdominellen Drucks

Umschriebene subfasziale Hämatome können beim schlanken Patienten zu einer gut sichtbaren, prall-elastischen Vorwölbung führen. Bei einer Zerreißung der oberflächlichen Faszie oder einer primär subkutanen Blutung kann eine sichtbare Verfärbung zu erkennen sein.

Eine umschriebene Druckschmerzhaftigkeit besteht v.a. bei intakten Muskelfaszien, wie beim Hämatom im Bereich des M. rectus. Oftmals verharrt der Patient in einer ausgeprägten Schonhaltung mit angezogenen Beinen, um bewegungsabhängige Schmerzen zu vermeiden.

Diagnostik

Nach Möglichkeit sollte der Patient während der ersten 6–12 h wiederholt von demselben Chirurgen untersucht werden, um zu gewährleisten, dass schleichende Veränderungen des Allgemeinzustandes erkannt werden, die sich in laborchemischen oder apparativen Daten nicht wiederfinden müssen.

Neben Inspektion und Palpation ist die sonografische Untersuchung der Bauchdecken das diagnostische Mittel der Wahl. Hämatome kommen dabei als echoarme bis -freie Raumforderungen zur Darstellung, während diffuse Einblutungen in das umgebende Gewebe oft unscharf abzugrenzenden echoärmeren Bezirken innerhalb der sonst relativ echogenen Binnenstruktur der Muskulatur entsprechen. Bei deutlich adipösen Bauchdecken und entsprechender Symptomatik kann eine CT angezeigt sein, um diagnostische Sicherheit zu erlangen.

Konservative Therapie

Sofern kein operationswürdiger Befund vorliegt, besteht die Therapie des stumpfen Bauchtraumas in einer ausreichenden Analgesie, wobei Opiate aufgrund ihrer negativen Effekte auf die Darmmotilität nach Möglichkeit nicht verwendet werden sollten. Eine rasche Mobilisierung des Patienten fördert die Peristaltik, die bei subperitonealen Hämatomen über Tage beeinträchtigt bleiben kann. Die Kühlung der betroffenen Bauchwandabschnitte kann sich vorteilhaft bezüglich Hämatomausbildung und -resorption auswirken, während eine Therapie mit Parasympathomimetika oder Laxanzien die drohende Magen-Darm-Atonie günstig beeinflussen kann. In Fällen einer hartknäckigen reflektorischen Darmatonie kann die Anlage eines Periduralkatheters infolge der Sympathikolyse zum Einsetzen der Darmtätigkeit führen.

Operative Therapie

Indikation

Bei ausgedehnten Einblutungen kann eine operative Therapie in Ausnahmefällen angezeigt sein. Die Ausräumung von nekrotischem Gewebe und Hämatomen dient u.a. der Vermeidung einer sekundären Infektion. Dies ist insbesondere bei polytraumatisierten Patienten von Bedeutung, weil deren Immunantwort eingeschränkt ist. Im Rahmen der Hämatomresorption können erhebliche Mengen an serösem Sekret entstehen, welche bei Bedarf unter sterilen Kautelen abpunktiert werden sollten.

Operationstechnik

Der Zugang sollte nach Möglichkeit durch einen intakten Weichteilmantel erfolgen, um einen sicheren Wundverschluss zu ermöglichen. Avitales Gewebe wird débridiert. Falls möglich, sollten die umhüllenden Faszien adaptiert werden, ohne den Druck auf das Weichteilgewebe zu sehr zu erhöhen. Ausreichend dimensionierte Wunddrainagen werden schichtweise eingelegt und in weitem Abstand zum Wundgebiet ausgeleitet, um eine sekundäre Kontamination zu vermeiden. Ein direkter Wundverschluss wird angestrebt, aber nicht erzwungen.

Nachbehandlung

Sonografische Kontrollen ermöglichen die Erkennung von punktionswürdigen Serombildungen, die der klinischen Inspektion durchaus entgehen können. Die sterile Punktion solcher Verhalte, ggf. unter Einbringung einer Drainage in örtlicher Betäubung, begünstigt die Heilung.

Komplikationen

Bei ausgedehnten Hämatomen, welche bis an das Peritoneum heranreichen, ist mit der Ausbildung einer passageren Magen-Darm-Atonie zu rechnen. Großflächige Zerreißungen oder Schwächungen der Bauchdeckenmuskulatur können zu einer Bauchwandhernie führen.

3.2.2 Penetrierende Verletzung der Bauchwand

Ätiologie

Als penetrierende Verletzung der Bauchwand (PAI: penetrating abdominal injury) wird ein Defekt bezeichnet, der nachweislich das Peritoneum durchbrochen hat. Während bei der Verletzung der Bauchwand durch einen scharfen Gegenstand in ca. 50% intraabdominelle Organe betroffen sein können, ist dies beim Schusstrauma in sogar >90% der Fall (Matsubara et al. 1990).

Klinik

Für die klinische Einschätzung ist es von zentraler Bedeutung, sich über möglicherweise verletzte Organe anhand der Beurteilung des Wundkanals mit Ein- und ggf. Austrittsstelle einen Überblick zu verschaffen. Bei Schussverletzungen kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass das Projektil auf direktem Wege die Körperhöhle verlassen hat, sodass entsprechende Rückschlüsse nur mit Vorbehalt gezogen werden sollten.

Ausgedehnte Verletzungen parenchymatöser Organe oder des Mesenteriums können rasch zum klinischen Bild des Volumenmangelschocks führen. Hierbei wird je nach klinischem Verlauf unterschieden zwischen primär stabilisierbaren Verletzungen, welche sich aufgrund einer anhaltenden Blutung erneut verschlechtern, und primär nicht stabilisierbaren Blutungen.

Das klinische Bild bei der primär intestinalen Verletzung kann sich verzögert entwickeln, je nach Ort der Läsion – am Kolon sehr rasch, am Duodenum verzögert. Eine peritonitische Reaktion des Abdomens und allmähliche Entwicklung eines Schockzustandes lassen die Verdachtsdiagnose »Intestinalverletzung« zu.

Bei Verletzungen des Gastrointestinaltrakts kann in seltenen Fällen als weiteres klinisches Zeichen eine Hämatemesis oder ein peranaler Blutabgang vorliegen. Analog hierzu kann bei einer retroperitonealen Verletzung eine Makrohämaturie beobachtet werden. Retroperitoneale Verletzungen im Bereich der Harnblase, des Rektums oder Duodenums führen oft zu einer verspäteten, unspezifischen Reaktion.

Diagnostik

Das Ausmaß der diagnostischen Bemühungen hängt entscheidend von der Verletzungsart ab. Eine intraabdominelle Schussverletzung erfordert prinzipiell die Revision des gesamten Bauchraums, sodass hier keine ausführliche Diagnostik angezeigt ist. In allen anderen Fällen einer Penetration der Bauchdecken sollte je nach klinischem Zustand eine abgestufte Diagnostik erfolgen, da sich erst hieraus die Indikation zur Laparotomie ableiten lässt.

Zunächst sollte eine Magensonde platziert werden, um sowohl den Mageninhalt auf Blutbeimengung zu prüfen als auch einer späteren Aspiration bei Magenatonie vorzubeugen. Gleichzeitig sollte eine erste rektale Untersuchung erfolgen, um einen peranalen Blutabgang auszuschließen und die Funktion des Schließmuskels zu kontrollieren.

Die Katheterisierung der Harnblase ist angezeigt, sofern kein Hinweis für eine urethrale Verletzung vorliegt, um eine Makro- oder Mikrohämaturie zu entdecken sowie die Urinproduktion zu überprüfen.

Mit Standardaufnahmen in Form einer Abdomenübersicht und einer Aufnahme in Seitenlage können beim völlig stabilen Patienten Fremdkörper und freie Luft nachgewiesen werden. Sofern sich ein penetrierender Gegenstand noch im Abdomen befindet, wird er nach sorgfältiger Fixierung geröntgt, um eine genaue Vorstellung der intraabdominellen Position zu bekommen.

Obwohl die Sonografie größere Mengen freier Flüssigkeit beim PAI mit hoher Zuverlässigkeit nachweisen kann, weist diese Methode eine diagnostische Lücke auf bezüglich der Art der intestinalen Verletzung. Bei begründetem Verdacht kann daher nach positivem Sonografiebefund eine Punktion oder Peritoneallavage durchgeführt werden.

Die Multislice-CT mit hoher Sensitivität und Spezifität stellt derzeit den Goldstandard der Diagnostik dar. Die diagnostische Lücke bei zwerchfellnahen Verletzungen sowie geringgradigen Hohlorganverletzungen, z.B. des Dünndarms, darf nicht außer Acht gelassen werden.

Ergänzende Maßnahmen wie Angiografie, oder i.v.-Pyelografie bleiben spezifischen Fragestellungen vorbehalten.

Konservative Therapie

Der Anteil konservativ behandelter Patienten inklusive derer ohne manifeste Penetration des Peritoneums beträgt bis zu 80%. Bei tatsächlicher Verletzung des Peritoneums verringert sich der Anteil erheblich.

Eine NOM ist bei penetrierendem Abdominaltrauma unter folgenden Voraussetzungen angezeigt:

- Stabiler Kreislauf,
- fehlender Peritonismus,
- fehlende intestinale Verletzungen und
- die Möglichkeit der mehrtägigen stationären Beobachtung des Patienten.

Operative Therapie

Indikation

Neben der Art der erlittenen Verletzung entscheiden der klinische Eindruck und wenige Untersuchungen über die Indikation zur notfallmäßigen Laparotomie. Lediglich bei primär nicht beherrschbarem Schockzustand (<20% der Fälle) oder eindeutigem Peritonismus sollte auch ohne ein Multislice-CT notfallmäßig laparotomiert werden. Dabei kann sich die Indikation zur Laparotomie aus folgenden Konstellationen ergeben:

- Primär nicht beherrschbarer, hämorrhagischer Schock
- Wiederholte Substitutionspflichtigkeit des Patienten innerhalb der ersten Stunden nach Trauma trotz stabilisierter Gerinnungssituation
- Vorfall von Darm- oder Netzanteilen durch die abdominelle Wunde
- Nachweis oder dringender Verdacht einer intestinalen Läsion
- Allmählicher Verfall des Patienten, erkennbar an einer respiratorischen, neurologischen, renalen oder laborchemischen Verschlechterung

Vorbereitung

Abgesehen von der Platzierung großvolumiger Zugänge und der Sicherung ausreichender Mengen an Fremdblut bedarf die Notfalllaparotomie keiner zusätzlichen Vorbereitung im Vergleich zu jedem anderen abdominellen Standardeingriff. Bei zu erwartenden größeren Blutverlusten sollte ein Cell saver eingesetzt werden. Stellt sich intraoperativ eine Kontamination des Bluts durch Darminhalt heraus, muss auf dessen Einsatz verzichtet werden.

Lagerung

Bei Verletzungen im Unterbauchbereich muss präoperativ eine digitale und rektoskopische Untersuchung ebenso erfolgen wie eine vaginale Untersuchung, da diese Bereiche vom transabdominellen Zugang aus nicht primär einsehbar sind. In solchen Fällen sollte dennoch eine Steinschnittlagerung vorgenommen werden, um bei Bedarf einen perinealen Zugang zu ermöglichen. Bei umschriebenen laterodorsalen Verletzungen ist die Seitenlage vorteilhaft.

Antibiose

Intraperitoneale Eingriffe mit der Möglichkeit einer Kontamination des Operationsgebiets mit intestinalem Inhalt müssen vor dem Hautschnitt durch eine Breitbandantibiose abgedeckt werden. Hier hat sich die Kombination eines Cephalosporins der 2. oder 3. Generation mit Metronidazol bewährt. Je nach intraoperativem Situs und Ausmaß der Kontamination sollte die Antibiose einmalig als perioperative Prophylaxe oder für 5–7 Tage zur Therapie eingesetzt werden.

Abdeckung

Eine großzügige Abdeckung des potenziellen Operationsgebiets muss erfolgen, um verschiedene Möglichkeiten der Schnitterweiterung zu haben. Insbesondere bei gravierenden Verletzungen im Oberbauchbereich kann es notwendig werden, den Zugang nach intrathorakal auszudehnen, sodass als Standardabdeckung der Bereich zwischen Jugulum und Symphyse gilt (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Operative Technik

Die Inspektion des Abdomens muss sämtliche Abschnitte erfassen, da gerade beim penetrierenden Abdominaltrauma scheinbar weit entfernt vom Eintrittsort liegende Darmabschnitte erhebliche Verletzungen aufweisen können. Bei Oberbauchverletzungen muss eine orientierende Darstellung des retroperitonealen Duodenalabschnitts und Pankreaskopfs durch ein Kocher-Manöver erfolgen, ebenso wie eine Inspektion des restlichen Pankreas durch Spaltung des Ligamentum gastrocolicum mit Eröffnung der Bursa omentalis. Während retroperitoneale Hämatome im Unterbauch am häufigsten von einer knöchernen Verletzung herrühren und nach Möglichkeit nicht eröffnet werden sollten, müssen im Ober- und Mittelbauch vorliegende retroperitoneale Hämatome genau inspiziert werden, da sie häufig durch eine umschriebene Gefäßverletzung (z.B. Nierenstielverletzung) verursacht werden.

Nach Absaugen von Hämatomen, Darminhalt oder seröser Flüssigkeit sollte gemäß den Prinzipen der Damage Control Surgery vorgegangen werden (s. oben). Arterielle Blutungen werden umstochen, um einen weiteren Blutverlust zu vermeiden. Venöse Blutungen vorwiegend aus Milz und Leber werden zunächst mittels Tamponade gestillt, bevor über die definitive Versorgung entschieden wird. In dieser Phase sollte ein vertretbar niedriger Blutdruck ebenso aufrechterhalten werden wie ein niedriger PEEP, um infolge verringerter Blutungsneigung bzw. verbessertem venösem Rückstrom den weiteren Blutverlust in Grenzen zu

halten. Intestinale Verletzungen werden oftmals zunächst mittels alleinigem Resektionsdébridement ohne Reanastomosierung oder Stomaanlage versorgt.

3.3 Parenchymatöse Organe

3.3.1 Milz

Die Lage der Milz unter dem dorsokaudalen Rippenbogen und die zerreißbare Kapsel in Kombination mit dem unelastischen Parenchym sind dafür verantwortlich, dass die Milz beim Abdominaltrauma das am häufigsten verletzte intraabdominelle Organ ist, mit einer Rate von 15–40% (Crandall 2009). In 80–90% der Fälle handelt es sich um primäre Rupturen.

Die zweizeitige Ruptur ereignet sich entweder Stunden nach dem Trauma, wenn der Kreislauf mittels Volumengabe stabilisiert wurde, oder erst nach mehreren Tagen oder sogar Wochen!

Da die Milz über mehrere Ligamente am oberen und unteren Pol mit dem Magenfundus, der linken Kolonflexur und dem Zwerchfell verbunden ist, führen Traktionsbewegungen dieser Organe häufig zur indirekten Verletzung.

Die Rate an Milzverletzungen, die erfolgreich nach dem NOM-Prinzip behandelt werden können, liegt beim stumpfen Bauchtrauma deutlich niedriger als bei Leberverletzungen mit publizierten Erfolgsraten bei primär geplantem NOM von 67–85% (Velmahos 2003). Bei perforierenden Bauchtraumen wird lediglich bei geringgradigen Milzverletzungen (Grad I bis II) ein erfolgreiches NOM in <10% der Fälle berichtet (Demetriades 2006).

Klinik

Die führenden Symptome bei der ausgedehnten Milzverletzung sind ein progredienter hämorrhagischer Schock und Schmerzen im linken Oberbauch. In Einzelfällen kann infolge einer Irritation des linksseitigen Zwerchfells ein Singultus oder eine Schmerzsensation im Bereich der linken Schulter (Kehr-Zeichen) ausgelöst werden.

Diagnostik

Richtungsweisend sind sichtbare Verletzungen am linken Oberbauch (Prellmarken, Hämatom), eine entsprechend lokalisierte Schmerzangabe oder der Nachweis linksseitiger, basaler Rippenfrakturen.

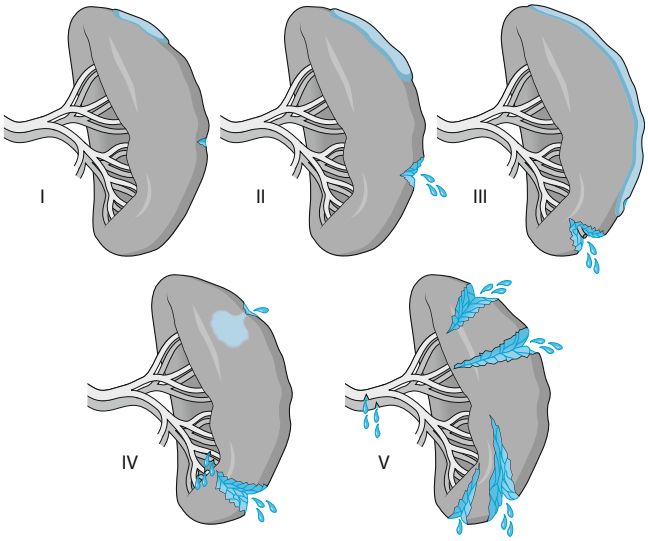
Die Milz ist sonografisch gut darstellbar, sodass mit dieser orientierenden Untersuchung sowohl freie Flüssigkeit im perisplenischen Raum als auch eine direkte Organverletzung erkannt werden können.

Eine Multislice-CT sollte immer bei Verdacht auf komplexe intraabdominelle Verletzungen (höhergradiges Trauma) oder beginnende Kreislaufinstabilität als Goldstandard der umfassenden Diagnostik eingesetzt werden.

Die begleitende Bestimmung von Hämoglobin- und Hämatokritwerten darf nicht als entscheidendes »Kriterium« einer zunehmenden Milzblutung fehlinterpretiert werden; Grund dafür ist der zeitlich versetzte Abfall dieser Werte infolge Flüssigkeitsverschiebung, unterschiedlicher Infusionsstrategien etc. Die jeweils vorliegenden Angaben »hinken der Realität hinterher« bei der aktiven Blutung.

Klassifikation

Die Klassifizierung der Milzverletzungen hat gerade im Zeitalter des NOM neue Bedeutung erlangt. Die klinisch-relevante Einteilung der American Association for the Surgery of trauma (AAST) wurde 1994 überarbeitet (rev. edition 1994) und ermöglicht nicht nur einen Vergleich bezüglich der operativen Ergebnisse und Spätkomplikationen (◘ Abb. 3.12, ◘ Tab. 3.5), sondern die prinzipielle Zuteilung des Patienten in ein konservatives Konzept (bei Läsionen I. und II. Grades oft möglich) oder in ein Konzept mit erhöhter Operationsbereitschaft (bei Läsionen ≥III. Grades).



◘ **Abb. 3.12** Schematische Darstellung der 5 Schweregrade des Milztraumas

◘ **Tab. 3.5** Klassifikation des Milztraumas

Grad	Befund
I	Subkapsuläres Hämatom <10% der Oberfläche, nichtblutende Parenchymdefekte von <1 cm Tiefe
II	Subkapsuläres Hämatom 10–50% der Oberfläche, stationäre intrasplenische Hämatome <2 cm, blutende Kapseleinrisse
III	Subkapsuläres Hämatom >50% der Oberfläche, rupturiertes subkapsuläres Hämatom mit Blutung, intrasplenisches Hämatom >2 cm, Einrisse >3 cm
IV	Rupturiertes intrasplenisches Hämatom, Milzeinrisse mit Segmentgefäßbeteiligung und Devaskularisation
V	Milzberstung, Milzhiluszerstörung

Konservative Therapie

Der Versuch einer konservativen Therapie kann unter folgenden Voraussetzungen unternommen werden:

- Kreislaufstabilität des Patienten nach initialer Volumensubstitution von maximal 20–30 ml/kg KG,
- Transfusionsbedarf (unter Berücksichtigung der initialen Verdünnung) von weniger als 4 Erythrozytenkonzentraten,
- Fehlen weiterer intraabdomineller Verletzungen (Multislice-CT),
- fehlende Koagulopathie,
- jederzeit bestehende Möglichkeit zur Notfallsplenektomie,
- kontinuierliches Monitoring während der ersten 24 h.

In den ersten 24 h werden in regelmäßigen Abständen von 6–8 h Kontrollsonografien und Hämatokritkontrollen durchgeführt. Eine

stationäre Beobachtungsphase von ca. 1 Woche sollte eingehalten werden.

Eine rezente Publikation konnte aufzeigen, dass selbst an einem hochspezialisierten Traumazentrum die Rate an erfolgreichem NOM bei Milzläsionen IV. bis V. Grades, die initial die Kriterien zur Einteilung in das NOM-Konzept erfüllten, lediglich 40% betrug (Velmahos 2010).

Die umgehende Embolisation einzelner Segmentarterien oder im Einzelfall der A. lienalis durch Einsatz der interventionellen Radiologie hat in den vergangenen Jahren zu einem weiteren Paradigmenwechsel in der Therapie des initial kreislaufstabilisierten Patienten mit aktiver Milzblutung geführt.

Operative Therapie

Während in der Kinderchirurgie die Milzerhaltung beim Trauma aufgrund der zentralen Bedeutung des Organs für die Infektabwehr seit langem praktiziert wird (Singer 1973), entwickelt sich in der Erwachsenenchirurgie erst allmählich ein Wandel in der Chirurgie des Milztraumas. Hierfür sind z.T. neue operative Hilfsmittel wie Kollagenvlies, Fibrinkleber oder Vicrylnetz verantwortlich, welche die oftmals zeitraubende und potenziell blutreiche Hämostase an der traumatisierten Milz erheblich erleichtern.

Indikation

Die selten gewordene Operation erfolgt beim Traumapatienten regelhaft mit dem Ziel der Splenektomie. Ein milzerhaltendes Vorgehen (Teilresektion, Klebung, Mesh-wrappping etc.) ist unter den Aspekten relative/absolute Kreislaufinstabilität, intraabdominelle Begleitverletzungen, einsetzende Koagulopathie, Zeitdruck etc. oftmals weder klinisch umsetzbar noch sinnvoll.

Die früher aufgrund des Risikos einer erneuten oder persistierenden Blutung geltende, absolute Indikation bei Milzverletzungen III.–V. Grades ist abgelöst worden. Der manifeste, stadienunabhängige hämorrhagische Schock aufgrund der Milzblutung stellt nunmehr die einzige organbezogene Operationsindikation dar.

In allen Fällen einer vermuteten oder nachgewiesenen synchronen Verletzung eines Hohlorgans muss eine Laparotomie erfolgen, mit dem Ziel des Milzerhalts bei Versorgung der gastrointestinalen Verletzungen (Prinzipien des DCS beachten).

Dringlichkeit

Beim nichtbeherrschbaren hämorrhagischen Schock besteht absolute Priorität für die Splenektomie. Bei persistierender Transfusionspflichtigkeit und darunter stabilen Kreislaufverhältnissen sollte die Splenektomie innerhalb von 2–4 h erfolgen.

Aufklärung

Der Patient wird, sofern möglich, über Organexstirpation, -teilerhaltung und Nachblutungsmöglichkeit aufgeklärt. Ferner müssen Verletzungen der benachbarten Organe Magen (-fundus, -korpus), Pankreas (-schwanz) und Kolon (linke Flexur) erwähnt werden und die Möglichkeit, dass sich im Verlauf ein subphrenischer Verhalt entwickeln könnte. Als Spätfolgen der Splenektomie können eine passagere oder anhaltende Thrombozytose und in extrem seltenen Fällen ein lebensbedrohlicher Infektionszustand, das »Overwhelming post-splenectomy infection Syndrom« (OPSI-Syndrom) auftreten (Hansi 2001).

Lagerung

Die Standardlagerung besteht in einer überstreckten Rückenlage, evtl. unterstützt durch ein Polster im linken Oberbauchbereich. Ein Rippenbogenretraktor sollte angebracht werden, um durch Anheben des linken Rippenbogens die Exposition des Situs zu verbessern.

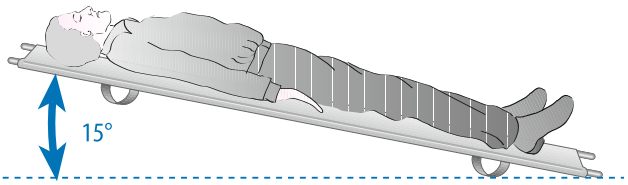


Abb. 3.13 Anti-Trendelenburg-Lagerung (Aus: Ziegenfuß 2007)

Der Operationstisch sollte um 20–40° nach rechts gekippt werden (Patienten nach rechts abstützen) sowie um 15–30° in Anti-Trendelenburg-Lagerung (Oberkörper-Hochlagerung) versetzt werden. Dies erleichtert den Zugang zum linkssubphrenischen Raum (Abb. 3.13).

Milzerhaltende Operation

Entscheidende Voraussetzung für eine milzerhaltende Operation ist die Tatsache, dass die Milz eine segmentale Gefäßversorgung aufweist mit Aufteilung der A. und V. lienalis im Hilus in 3–4 Äste (Abb. 3.14). Intersegmentale Anastomosen innerhalb der Milz sind die Ausnahme, sodass eine segmentbezogene Resektion ohne wesentlichen zusätzlichen Blutverlust in ausgewählten Fällen möglich ist. Der besondere Gefäßverlauf dieser funktionellen Endarterien bedingt, dass Einrisse in der Querachse der Milz weniger bluten als Längsrisse, die mehrere radiär verlaufende Gefäße verletzen können.

Die klinische Realität in der Frage der milzerhaltenden Vorgehensweise beim stumpfen bzw. penetrierenden Bauchtrauma wird am besten wiedergegeben durch eine aktuelle Analyse an >28.000 Patienten mit Milztrauma in den USA. 1987 Patienten wurden splenektomiert, eine milzerhaltende Operation wurde in 48 Fällen durchgeführt (Crandall 2009).

Bei spontan sistierender Blutung im Milzbereich sollten auf keinem Fall sämtliche Koagel entfernt werden, da hierdurch eine erneute Blutung provoziert werden kann. Sofern sich keine völlige Zerstörung des Milzhilus herausstellt, ist eine organerhaltende Vorgehensweise prinzipiell möglich.

Hämostase

Eine anhaltende starke Blutung aus dem Milzgewebe oder der Hilusregion kann, wenn sie venöser Natur ist, durch lokale Kompression, bei arterieller Blutung durch direkte Okklusion der A. lienalis beherrscht werden. Anschließend erfolgt die Auslösung der Milz aus ihrem Bett durch dosierten Zug am gesamten Organ nach mediokaudal. Hierdurch können die splenokolischen und -renalen Bänder ebenso durchtrennt werden wie die phrenikolienalen Bänder. Eine Zerreißung der Vasa gastrica breves, die vom oberen Milzpol zum Magenfundus ziehen, sollte jedoch durch Führung des beweglichen Magenfundus in gleicher Richtung vermieden werden.

Der von dorsal einsehbare Milzhilus kann, je nach Ausmaß der Parenchym- und Gefäßverletzungen, entweder sofort disseziert oder temporär digital bzw. mit atraumatischen Klemmen okkludiert werden.

Bei weniger starken Blutungen kann auch beim Milztrauma mit vertretbarem Zeitaufwand eine zentrale, passagere Unterbindung der arteriellen Zufuhr erfolgen. Zu diesem Zweck wird das Ligamentum gastrocolicum gespalten und die Bursa omentalis dargestellt. Dieser infragastrale Zugang ermöglicht ein rasches Auffin-

den der A. lienalis und verbessert insbesondere unter erschwerten Bedingungen (Adipositas, tiefer Situs) die Sicht.

Grad I und II

Bei Läsionen des Schweregrades I und II, die dennoch zur Operation geführt haben, kann im günstigsten Fall das gesamte Organ erhalten werden. Die Hämostase wird dabei durch direkte Koagulation mittels Elektrokoagulation, Argonlaser oder Infrarotkontaktkoagulation erzielt. Während die beiden erstgenannten Verfahren eine oberflächliche Wirkung entfalten, erreicht die Infrarotkontaktkoagulation eine Eindringtiefe von 7–8 mm (Abb. 3.15). Durch die übertretende Lichtenergie kommt es zur Koagulation des darunter liegenden Gewebes. Nach jedem Energiestoß muss der Applikator von karbonisiertem Gewebe gereinigt werden, da er ansonsten mit dem zerreißbaren Milzparenchym verkleben kann.

Während der verschiedenen Hämostaseverfahren sollte bei persistierender Blutung diese durch passagere Okklusion des Hilus oder der betreffenden Segmentarterie unterbunden werden.

Die erreichte Blutstillung kann durch ein zweites Hämostaseverfahren gesichert werden. Die Fibrinklebung mit humanem Fibrinogen und einem Aktivator kann auf zweierlei Weise erfolgen.

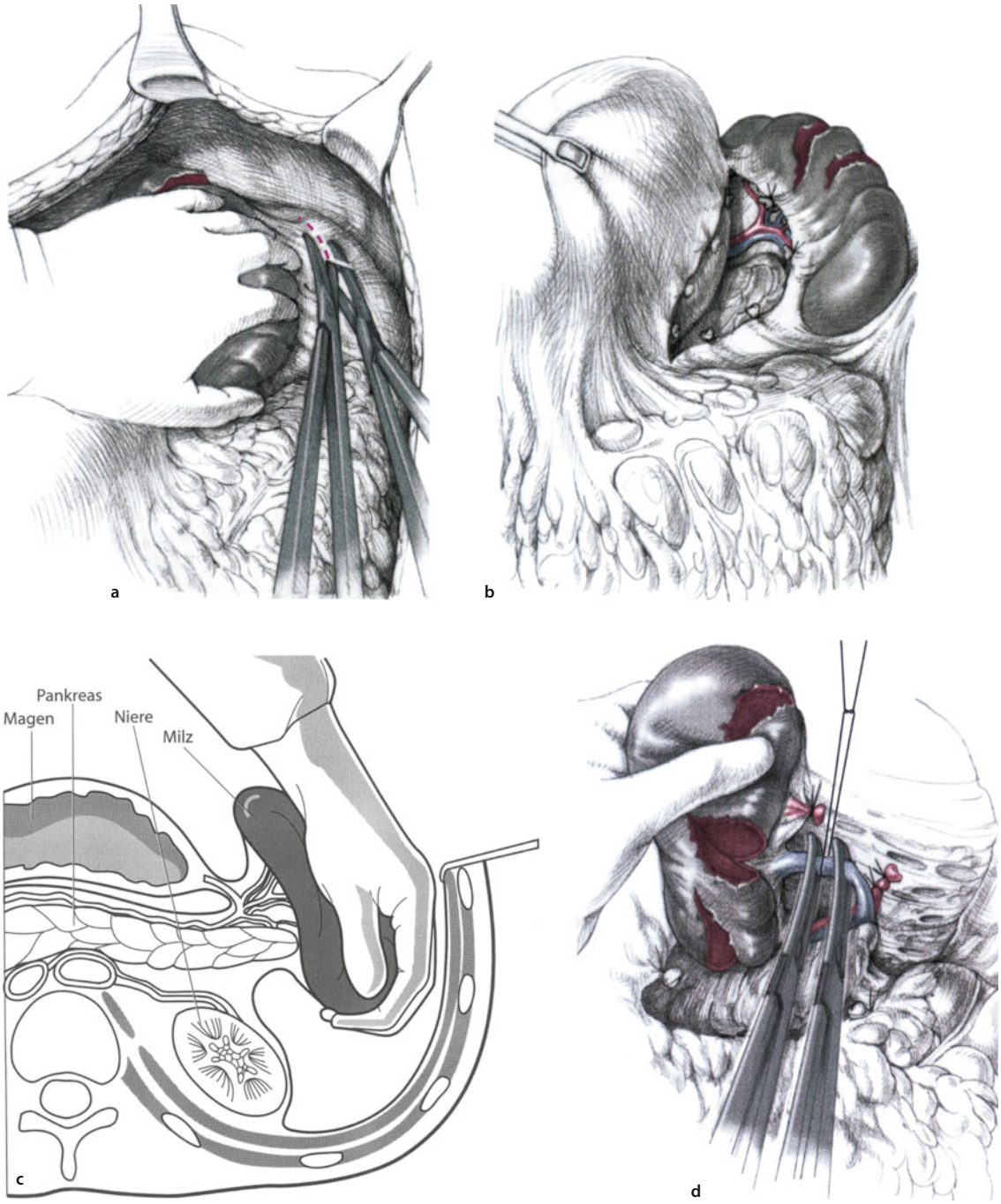


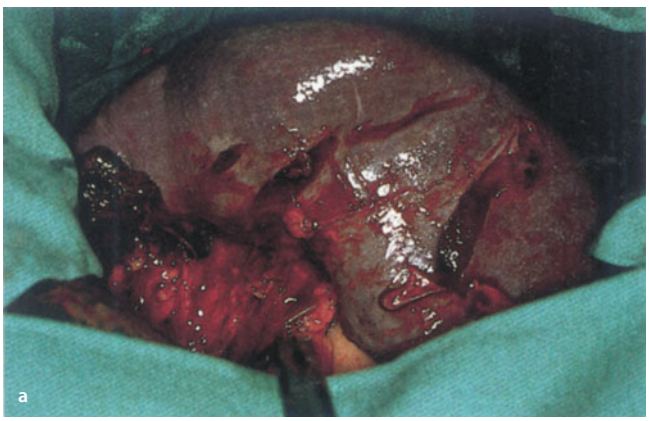
Abb. 3.14a–d Zugang zur Milz und ihren Gefäßen. **a** Lösen der Milz aus dem Ligamentum splenorenale, **b** Blick auf den Milzhilus nach Durchtrennung des Ligamentum gastrolienale, **c** Mobilisierung nach ventral. **d** Darstellung und Ligatur der Milzgefäße. (Aus: Pichlmayr 2000)

Bei tieferen Substanzdefekten kann mittels der beiliegenden Kanüle eine größere Menge »Klebstoff« in einen Riss hineingegeben werden, mit anschließender manueller Kompression über mehrere Minuten. Bei flächigen Kapselläsionen kann alternativ ein Sprühapplikator verwendet werden, der eine gleichmäßige, relativ dünne Bedeckung der Region mit dem Fibrinkleber ermöglicht. Bei tiefer reichenden Defekten mit anhaltender Sickerblutung ist die Anwendung eines beschichteten Kollagenvlieses (z.B. »TachoSil«), Gelatineschwamms oder oxidierter Zellulose zu erwägen. Das Kollagenvlies lässt sich mit leichtem Druck mit nichtklebenden Gegenständen wie einem feuchten Stieltupfer oder langen Pinzetten in die verletzte Region hinein modellieren, wobei beim Wegziehen des Tupfers darauf geachtet werden muss, keine Scherbewegungen durchzuführen. Das Anbringen nimmt mehrere Minuten in Anspruch, um eine optimale Verbindung mit dem darunter liegenden Parenchym zu erzielen.

Beim Einsatz von beschichtetem Kollagenvlies ist Geduld erforderlich.

Grad III

Häufig bestehen Blutungen aus eingerissenen Trabekelgefäßen. Man kann unter wiederholter passagerer Unterbrechung der arteriellen Zufuhr versuchen, diese selektiv darzustellen und mittels Durchstechung zu versorgen, wobei nach Möglichkeit ein gut gleitender, resorbierbarer Faden der Stärke 3/0 oder 4/0 z.B. »Monocryl«, »Maxon«) verwendet werden sollte.



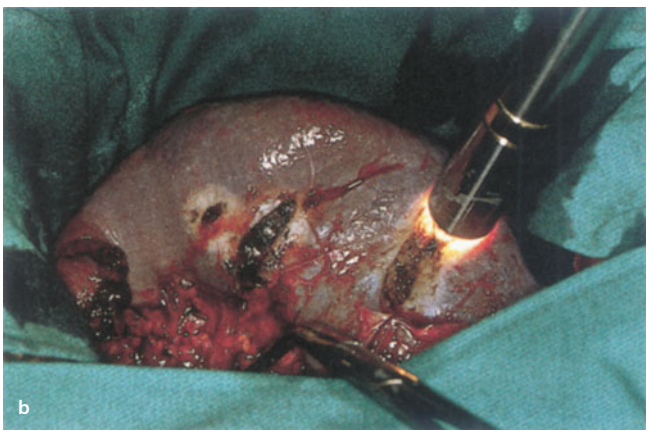


Abb. 3.15a,b Milzruptur nach stumpfem Abdominaltrauma. **a** Oberflächliche Parenchymeinrisse. **b** Versorgung durch eine Infrarotkoagulation. (Aus: Pichlmayr 2000)

Vor allem bei Jugendlichen, die im Vergleich zu älteren Patienten eine deutlich festere Milzkapsel haben, ist – auch in der Erfahrung des Autors – eine direkte Naht möglich. Bei älteren Patienten schneiden Fäden leichter durch und können so die Blutung verstärken. Die Naht sollte als U-förmig gestochene Matratzennaht oder gekreuzte Naht ausgeführt werden, um im Vergleich zur einfachen Durchstechung eine größere Verteilung des Fadenzugs auf das weiche Gewebe zu erzielen. Auch untergelegte Teflonvliesstücke haben diesen Effekt (Abb. 3.16).

Mit der Entwicklung von resorbierbaren Netzen, z.B. aus Vicryl, ist eine neue Methode der indirekten Hämostase von Blutungen aus parenchymatösen Geweben entstanden, das so genannte »mesh-wrapping«. Eine Hülle aus zusammengesetzten Einzelnetzen wird um die traumatisierte und oftmals vliesgeklebte Milz gestülpt und anschließend mit einer am Rand umlaufenden Naht oder Einzelnähten so weit zusammengezogen, dass eine ausreichende Kompression und Blutstillung erreicht wird.

Grad IV

Grad-IV-Verletzungen mit segmentaler Devaskularisation erlauben nur dann eine organteilerhaltende Therapie, wenn der verletzte Bereich ausreichend gut zugänglich ist, sodass in erster Linie Läsionen des unteren Milzpols hierfür infrage kommen. Nach Unterbindung der Segmentgefäße demarkieren sich etwaige noch vitale Anteile des entsprechenden Segments, das nun vollständig abgetragen werden muss, um die spätere Entstehung eines septischen Verhalts zu vermeiden. Die entstandene Resektionsfläche sollte mit Fibrin- oder Kollagenvliesklebung versorgt werden.

Grad V

Bei dieser ausgedehnten Verletzung mit Hiluszerstörung oder Zerberstung des gesamten Organs sollte die Milz rasch entfernt werden, um einen weiteren Blutverlust zu vermeiden.

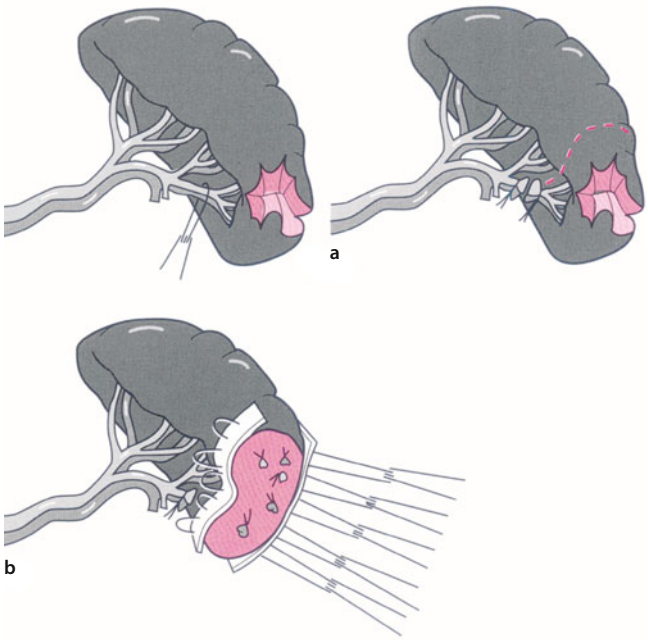


Abb. 3.16a,b Milzruptur am unteren Pol. **a** Polresektion. **b** Versorgung mit Teflon unterfütterten Matratzennähten. (Aus: Pichlmayr 2000)

Generell sollte bei der Splenektomie beachtet werden:

- A. und V. lienalis sollten getrennt mit je einer Durchstechungsligatur (mit einem nichtresorbierbaren Faden) der Stärke 3/0 oder 4/0 abgebunden werden, um einer arteriovenösen Fistel vorzubeugen.
- Die Versorgung des Milzhilus von lateral sollte unter direkter optischer Kontrolle erfolgen, um eine iatrogene Verletzung des unmittelbar benachbarten Pankreasschwanzes zu vermeiden.
- Die oftmals mittels Ligatur abgesetzten Gefäße zum Magenfundus und -korpus (Vasa gastricae breves) haben eine hohe Neigung zur Nachblutung. Deshalb empfiehlt sich vor dem Verschluss des Abdomens die erneute exakte Inspektion der Magenwand.

Der Wert der Milz-Autotransplantation zur Aufrechterhaltung der hämatologischen und immunologischen Funktionen des Organs ist im Tiermodell hervorragend belegt (Fernandes 2010). Untersuchungen am Menschen zu Veränderungen der phagozytären Funktion, Zytokinproduktion, hämatologischen Filterleistung etc, nach Autotransplantation sind in der Ära der überwiegenden NOM-Therapie beim gering- bis mäßiggradigen Milztrauma selten geworden.

In älteren, retrospektiven Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass bei autotransplantierten Patienten die (in vitro) Wiederherstellung der Funktion des retikuloendothelialen Systems (Elimination von antiRh.Ab-markierten ^{51}Cr-radiomarkierten Erythrozyten) signifikant verbessert war gegenüber splenektomierten Patienten, wenngleich nicht auf dem gleichen Niveau wie bei milz-(teil-)erhaltend behandelten Traumapatienten (Traub 1987).

Aktuelle Arbeiten konnten aufzeigen, dass bei erfolgreich nach NOM behandelten Patienten mit Milztrauma die volle hämatologische und immunologische Leistungsfähigkeit der Milz – gemessen an der T-Zell-Zytokinproduktion, Verteilung von lymphozytären Subpopulationen sowie dem Vorhandensein von unreifen erythrozytären Vorstufen (»pitted erythrocytes«) erhalten werden konnte, und zwar unabhängig vom Ausmaß der Verletzung (Pacha-Gonzalez 2007).

In ◘ Tab. 3.6 wird die Versorgung der Milzverletzungen in den einzelnen Stadien zusammengefasst.

Kritische Wertung

Bei allen Versuchen der prinzipiell anzustrebenden milzerhaltenden Therapie muss der Operateur gerade beim Traumapatienten intraoperativ das geeignete Vorgehen kritisch abwägen. Eine unsichere Hämostase, evtl. noch um den Preis einer deutlich erhöhten Morbidität infolge zu hoher Transfusionsmenge, darf nicht das Ergebnis einer organerhaltenden Operation sein.

Am Ende der Operation sollte Bluttrockenheit im Operationsgebiet bestehen. Die Inspektion der umgebenden Strukturen muss Aufschluss darüber geben, ob z.B. eine Verletzung der Magenfunduswand durch zu nahe ausgeführte Ligatur der Vasa gastricae breves erfolgt ist oder eine Läsion im anatomisch eng benachbarten Pankreasschwanzbereich eingetreten ist. Neben einer Blutung kann v.a. eine Pankreasfistel als Folge einer solchen Verletzung resultieren. Am tiefsten Punkt der Milzloge sollte für 1–2 Tage (Infektionsrisiko steigt bei längerem Verweildauer!) eine tief seitlich ausgeleitete großlumige Blutungsdrainage (mindestens 20 Charrière) eingebracht werden.

◘ Tab. 3.6 Synopse der stadiengerechten Versorgung des Milztraumas

Stadium	Versorgung
I und II	Direkte Koagulation, ergänzende Hämostase
III	Gezielte Durchstechung, ergänzende Hämostase, Splenorhaphie oder -ektomie
IV	Teilresektion nach segmentaler Unterbindung, Splenorhaphie oder –ektomie
V	Splenektomie

Komplikationen

Nachblutung

Trotz sorgfältiger Hämostase kann nach eingetretener Kreislaufstabilisierung des Patienten eine arterielle oder venöse Nachblutung eintreten, die bei korrekt liegender Drainage von dieser angezeigt werden sollte. Eine frühzeitige Reoperation sollte erfolgen, da auch bei zwischenzeitlich sistierter Blutung ein subphrenisches Hämatom angenommen werden muss, aus dem sich innerhalb weniger Tage ein Abszess entwickeln kann. Ferner wird oftmals eine therapierefraktäre Gastroparese mit Gefahr der Aspiration bzw. verzögertem enteralem Kostaufbau in Verbindung mit einem magennahen Hämatom beobachtet.

Pankreasfistel

Bei enger anatomischer Nachbarschaft wird eine Pankreasschwanzfistel begünstigt, wenn intraoperativ infolge Einblutung eine schlechte Übersicht vorlag oder der Milzhilus nicht sorgfältig präpariert wurde. Falls die Zieldrainage noch vor Ort liegt, kann sich die Pankreasfistel bzw. -nekrose als flockige, grau-bräunliche Sekretion über die Drainage nach außen entleeren. Eine restitutio ad integrum wird bei korrekt liegender Drainage häufig nach einem Zeitraum von mehreren Wochen bis Monaten beobachtet. Bei persistierender Fistel sollte eine ERCP erfolgen (ERCP: endoskopische retrograde Cholangiopankreatikografie). Durch einen verbesserten Abfluss des Sekrets infolge Stenteinlage in den Ductus wirsungianus über die Papille kann in vielen Fällen die verzögerte spontane Ausheilung einer Pankreasschwanzfistel erreicht werden, insbesondere dann, wenn der Pankreasgang selber im Kaudabereich infolge der iatrogenen Läsion frei liegt und nicht nur eine diffuse Sekretleckage aus dem Parenchym besteht.

Die Stenteinlage in den Ductus wirsungianus mittels ERCP kann durch erleichterten transpapillären Sekretabfluss in das Duodenum zum Ausheilen einer hartknäckigen Pankreasfistel beitragen.

Abszess

Temperaturanstieg, Dyspnoe in Verbindung mit linksseitigen, atemabhängigen Beschwerden, eine neu aufgetretene Gastroparese, Singultus und Schmerzen im linken Oberbauch oder der linken Schulter (Kehr-Zeichen) sind klinische Zeichen, die auf einen pathologischen Prozess im linken Subphrenium hinweisen. Der thorakale Klopfschall ist links basal infolge der »sympathischen« Ergussbildung gedämpft. Eine transiente Leukozytose ist regelhaft nach Splenektomie zu beobachten, sodass sie insbesondere bei fehlendem CRP-Anstieg und normalem Anteil neutrophiler Granulozyten kein klares Indiz für einen frischen Entzündungsvorgang darstellt.

In der Regel ist eine sonografisch gesteuerte Drainagenplatzierung in den Abszessraum nach diagnostischer Punktion möglich. Bei unübersichtlichen Verhältnissen kann CT-gezielt vorgegangen werden. Hierbei ist sorgfältig darauf zu achten, dass die jeweilige

Drainage nicht durch den phrenikokostalen Recessus verlaufen sollte, da ansonsten mit der Gefahr eines Pleuraempyems gerechnet werden muss. Bei einem derartigen Drainageverlauf – der in Einzelfällen nicht vermieden werden kann aufgrund des ausgeprägten Zwerchfellhochstandes bei Phrenikusdysfunktion – sollte synchron eine Pleuradrainage platziert werden.

Die in Einzelfällen unvermeidbare transpleurale Drainage eines subphrenischen Verhalts sollte zur Vermeidung eines Pleuraempyems in Verbindung mit der Anlage einer Thoraxdrainage erfolgen.

Die in den subphrenischen Raum hochgewanderte linke Kolonflexur oder der postoperativ atone Magen können bei ungünstigen Schallbedingungen mit einem subphrenischen Verhalt verwechselt werden. Im Fall eines paralytischen Magens kann durch Legen einer Magensonde bzw. Auffüllen des Magens mit 500 ml Flüssigkeit bei liegender Sonde in aller Regel eine sonografische Unterscheidung erfolgen.

Pleuraerguss

Ein klinisch unauffälliger Pleuraerguss darf nicht »reflexartig« zur Pleuradrainage führen (Infektgefahr, Risiko des iatrogenen Seropneumothorax)!

Bei deutlichen Beschwerden/Infektverdacht sollte der Erguss unter sterilen Kautelen abpunktiert und mikrobiologisch untersucht werden. Erst wenn der Erguss rasch nachläuft und Symptome verursacht, wird eine Drainage platziert. Bei täglichen Fördermengen von weniger als 100–150 ml sollte sie zeitnah entfernt werden, um das Infektionsrisiko möglichst gering zu halten.

Pseudoaneurysma-Bildung

In 10% aller Fälle einer mittels NOM behandelten Milzverletzung muss in der Frühphase mit der Entstehung eines Pseudoaneurysmas gerechnet werden. Regelmäßige posttraumatische Farbdoppler-Sonografien sind daher zu empfehlen, um ein potenziell letales Pseudoaneurysma nachzuweisen. Das radiologisch-interventionelle Einbringen eines beschichteten Stents bzw. Coiling sind, je nach Lokalisation des Gefäßwanddefekts, als minimal-invasive Therapie der Wahl anzusehen (Davis 1998).

Hämatologische Veränderungen

Der Verlust der Speicherfunktion der Milz führt zur passageren Leukozytose, Lymphozytose und Thrombozytose, wobei die Thrombozytenzahl deutlich über 1.000.000/µl ansteigen kann. Hieraus resultiert eine deutliche Zunahme der Viskosität und Gerinnbarkeit des Bluts, sodass eine vorübergehende Antikoagulation, z.B. in Form von Acetylsalicylsäure 100 mg/Tag, bis zur Normalisierung der Thrombozytenzahl erfolgen muss.

Der Verlust von etwa 25% des retikuloendothelialen Systems (RES) führt zur verminderten Filterleistung für pathogene Mikroorganismen. Insbesondere der Wegfall milzspezifischer Opsonine, die in Verbindung mit der langen intrasplenischen Kontaktzeit des Bluts für die Lyse von stark verschleimten Kokken notwendig sind, kann letale Folgen haben. Ferner wird eine verminderte IgM-Produktion nach Splenektomie beobachtet sowie eine Beeinträchtigung der Immunreaktion (Pisters 1994).

Immunologische Veränderungen

Die gefürchteste Spätkomplikation nach Splenektomie ist die Overwhelming Post-Splenectomy Infection (OPSI-Syndrom) – eine oftmals letal verlaufende, foudroyante bakterielle Infektion, die gekennzeichnet ist durch Septikämie, Meningitis, Pneumonie und septischen Schock. Enkapsulierte Kokkenstämme, v.a. Pneumokokken und Meningokokken, lösen es aus, wobei auch Staphylokokken, Escherichia coli und Haemophilus influenzae nachweisbar sein können.

Am häufigsten betroffen sind Kleinkinder, die noch keine eigenen Antikörper bilden können, und chronisch Immungeschwächte. Die Letalität liegt bei diesen Kollektiven über 50% (Hansen 2001).

Dagegen beträgt die lebenslange Wahrscheinlichkeit, dass ein hämatologisch gesunder Patienten mit posttraumatischem Verlust der Milz ein letales OPSI-Syndrom erleidet, unter 0,02% – um diese regelhaft beschriebene Gefahr in Perspektive zu setzen (Galvan 2006). Damit hat ein Erwachsener nach traumatischem Verlust der Milz ein ca. 50- bis 100-fach höheres Sepsisrisiko gegenüber der Normalbevölkerung, wobei diese Form der Sepsis viel häufiger letal verläuft.

Hohe Keimzahlen in Blutkulturen in Verbindung mit einem ungeheuer raschen Krankheitsverlauf (Stunden!) sind pathognomonisch. Die Patienten verfallen zusehends, werden somnolent (Meningitis), atem- und kreislaufinsuffizient. In den Folgestunden entwickelt sich häufig eine komplizierende Verbrauchskoagulopathie. Trotz hochdosierter Katecholamintherapie kommt es zum septischen Kreislaufkollaps mit respiratorischem Versagen.

OPSI-Syndrom-Prophylaxe

Bei allen Patienten nach Splenektomie gilt:

- Perioperative Prophylaxe mit einem Cephalosporin der 2. oder 3. Generation.
- Impfung mit Pneumovax 14 Tage nach erfolgter Splenektomie. Dieser Zwischenraum wird empfohlen, um eine Erholung der natürlichen Immunantwort mit ausreichender Antikörperbildung zu ermöglichen. Eine Auffrischimpfung sollte nach 5–6 Jahren erfolgen. Der Impfstoff erfasst etwa 95% aller bekannten Pneumokokkenstämme.

Bei Patienten mit mäßig eingeschränkter Immunantwort (schweres Trauma, vorbestehende Kachexie, gutartige hämatologische Grunderkrankung) sind indiziert:

- Antibiotikatherapie 5–7 Tage postoperativ
- Impfung mit Pneumovax nach 14 Tagen
- Zusätzliche Haemophilus-B-Impfung mit HIB Vaccinol, womit der am häufigsten vorkommende Serotyp B erfasst wird.

Bei Patienten mit hochgradig eingeschränkter Immunantwort (Immunsuppression nach Transplantation eine Organs, vorbestehender Immundefekt) sind indiziert:

- Prophylaxen wie bei mäßig eingeschränkter Immunantwort
- Zusätzliche Gabe eines IgM-angereicherten Hyperimmunglobulins über einen Zeitraum von 3–5 Tagen in einer Gesamtdosis von 0,8–1,0 g/kg KG

3.3.2 Leber

Ätiologie

Der Anteil von Leberläsionen beim Abdominaltrauma schwankt zwischen 20 und 40% (Velmahos 2003, Crandall 2009). Im westeuropäischen Raum spielen Rasanztraumen mit einem Anteil von 80–90% die Hauptrolle (Pfeifer 2008), sodass multiple Begleitverletzungen mit 70–90% eher die Regel sind (Moore et al. 1989). Vor allem bei höhergradigen Leberläsionen liegen oftmals schwere

Begleitverletzungen vor, die entscheidend sind für den weiteren klinischen Verlauf (Miller 2002).

Aufgrund seiner unmittelbaren Nachbarschaft zum knöchernen Thorax ist der rechte Leberlappen deutlich häufiger betroffen. Insbesondere schwerste Parenchymdefekte mit zentraler Gefäßbeteiligung werden häufiger rechtsseitig beobachtet. Zweizeitige Rupturen sind aufgrund der stabileren Kapsel seltener als bei der Milzverletzung.

Klinik

Ein hämorrhagischer Schock kann bestehen. Wache Patienten klagen über Schmerzen im rechten Oberbauch, zur rechten Schulter hin ausstrahlend. Bei massiver Blutung kann ein Peritonismus bestehen. Prellmarken im rechten Oberbauch (Gurt) können vorhanden sein.

Diagnostik

Das Abdomen wird sonografisch abgeklärt. Ein erfahrener Untersucher kann die Menge freier Flüssigkeit einschätzen, größere Parenchymdefekte erkennen und die benachbarten Bauchorgane beurteilen. Wenn ein Patient trotz standardisierter Volumenersatztherapie kreislaufinstabil bleibt oder wird, sind außer einer Thoraxaufnahme/E-FAST keine weiteren diagnostischen Maßnahmen vor der Notfalllaparotomie indiziert. Im akuten Notfall sind kontrastmittelgestützte Ultraschall-Untersuchungen bislang nicht ausreichend etabliert, um eine Aussage über den möglichen Nutzen derzeit treffen zu können.

Sofern unter Volumen- und Fremdblutsubstitution mit maximal 4 Erythrozytenkonzentraten Kreislauf und Hämatokrit stabilisiert werden können, sollte als Goldstandard eine Multislice-CT angefertigt werden, da mit diesem Verfahren genauere Aussagen zur Morphologie des Traumas und evtl. extrahepatischen Begleitverletzungen gemacht werden können.

Klassifikation

Nach einem Vorschlag von E. Moore (Wilson u. Moorehead 1991) hat die American Association for the Surgery of Trauma eine Einteilung der Leberverletzungen vorgenommen, die 1994 revidiert wurde in Bezug auf das genaue Ausmaß der Parenchymläsion und der intrahepatischen Hämatombildung (rev. ed.) (Abb. 3.17, Tab. 3.7).

Leberverletzungen bestehen zu 70–80% aus Läsionen der Grade I–III, die für den seltenen Fall der operativen Behandlung mit normalen chirurgischen Mitteln zu versorgen sind. Somit ist die Verlegung des Patienten an ein Zentrum hierfür nicht erforderlich.

Die Tatsache, dass vor der breiten Einführung des NOMLI (NOMLI: non-operative management of liver injury) zum Zeitpunkt der nicht indizierten Operation keine aktive Blutung in >50% der Fälle mehr vorlag, spiegelt die früher bestehende Unsicherheit bezüglich der Indikation zur Operation wider.

Konservative Therapie (NOMLI)

Neben der engmaschigen klinischen Untersuchung des Patienten (Peritonismus als erster Hinweis für eine intestinale Begleitverletzung und Zentralisierung als erstes Anzeichen für eine sekundäre Kreislaufinstabilität) muss eine regelmäßige sonografische Kontrolle des Abdomens erfolgen. Das Ausmaß der initialen Blutung ist für die Indikation zur Operation von geringerer Bedeutung als eine feststellbare Progression des Blutverlusts nach zwischenzeitlicher Stabilisierung des Patienten. Bei der Volumensubstitution sollte eine Überkorrektur vermieden werden, um eine erneut einsetzende Blutung aus dem zwischenzeitlich verschlossenen Niederdrucksystem zu vermeiden (»paradoxe Destabilisierung«).

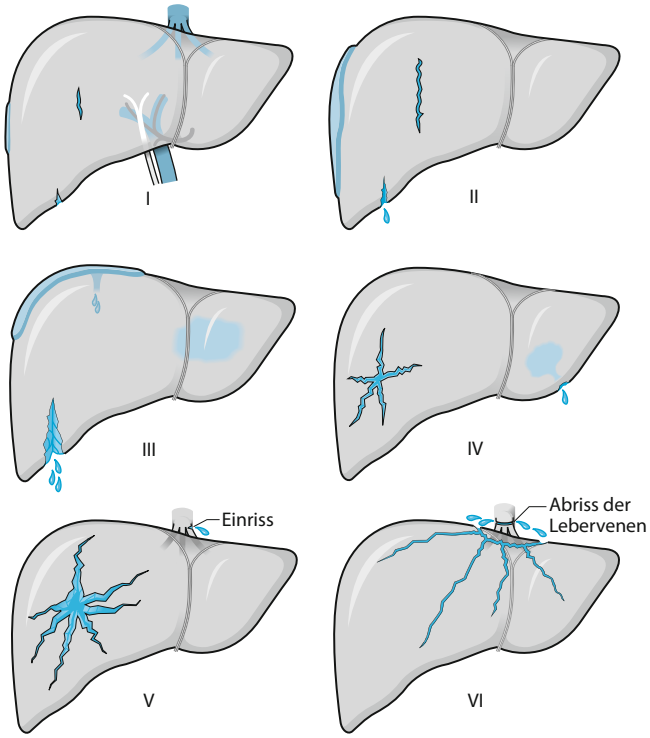


Abb. 3.17 Schematische Darstellung der 6 Schweregrade des Lebertraumas

Tab. 3.7 AAST-Klassifikation der Leberverletzungen nach Moore

Grad	Verletzungsmuster
I	Laceration: Kapselverletzung mit nichtblutendem Parenchymriss bis 1 cm Tiefe, Hämatom: subkapsuläres Hämatom <10% der Oberfläche
II	Laceration: Parenchymläsionen von 1–3 cm Tiefe und <10 cm Länge, Hämatom: stationäres subkapsuläres Hämatom 10–50%, intrahepat. Hämatom <10 cm
III	Laceration: Parenchymriss >3 cm Tiefe, Hämatom: expandierendes Hämatom, subkapsuläres Hämatom >50%, rupturiertes subkapsuläres Hämatom, intrahepat. Hämatom >10 cm oder expandierend
IV	Laceration: 25–75% Parenchymzerstörung oder 1–3 Couinaud-Segmente (unilobär)
V	Laceration: >75% Parenchymzerstörung oder mehr als 3 Couinaud-Segmente (unilobär), Hämatom: Verletzung der großen Lebervenen oder der retrohepatischen Cava
VI	Vollständige Leberberstung (bilobär)

Die Indikation zum konservativen Vorgehen beim Lebertrauma kann unter folgenden Voraussetzungen gestellt werden:

- Kreislaufstabilität bei Eintreffen bzw. nach initialer Volumentherapie mit 30–40 ml/kg KG
- Kein initialer Peritonismus
- Es müssen nicht mehr als 2 Blutkonserven verabreicht werden, um den Hämatokrit nach initialer Verdünnung zu halten.

- Fehlen wesentlicher, insbesondere intestinaler Begleitverletzungen nach Multislice-CT
- Keine Gallenbeimengung bei diagnostischer Punktion des perihepatischen Raums
- Keine größeren devitalisierten Anteile in der Multislice-CT
- 24 h-Option (personell, apparativ) zur notfallmäßigen Laparotomie
- Intensivmedizinische Überwachung des Patienten für mindestens 24 h

NOMLI kann bei strenger Beachtung der Einschlusskriterien in >90% der Fälle einer stumpfen Leberverletzungen erfolgreich umgesetzt werden.

Operative Therapie

Indikation

Indikationen für eine operative Therapie bei Lebertrauma sind:

- Drohender oder manifester Volumenmangelschock
- Peritonismus (klinisch) oder intestinale Begleitverletzungen (Multislice-CT)
- Gallenleck (FAST-Punktion)
- Größere ischämische Leberbezirke (Multislice-CT)

Oftmals führen extrahepatische Zusatzverletzungen beim schweren Lebertrauma zur Laparotomie.

Dringlichkeit

Einzig der nicht beherrschbare hämorrhagische Schock (<5% der Fälle) sowie der ausgeprägter Peritonismus zwingen zur notfallmäßigen Laparotomie.

Operationsvorbereitung

Ein Cell saver und spezielle Apparate zur Blutstillung oder Leberresektion wie Argonlaser, Infrarotbeamer oder Ultraschalldissektor sollten einsatzbereit sein. Eine perioperative Antibiotikaprophylaxe (Cephalosporin der 2./3. Generation, Metronidazol) ist obligat. Bei der Lagerung und Abdeckung des Patienten muss eine Schnitterweiterung nach rechts-thorakal oder über eine Sternotomie einkalkuliert werden.

Operative Technik

Der Patient liegt in überstreckter Rückenlage, in deutlicher »Anti-Trendelenburg«-Position, sofern kreislaufmäßig erlaubt, sowie mit einem geringstmöglichen PEEP, um eine venöse Stauung und damit verbundene verstärkte Blutungsneigung zu verhindern.

Die mediane Oberbauchlaparotomie hat sich als Zugang bewährt (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Sie kann, insbesondere bei Läsionen des rechten Leberlappens, durch eine Inzision in die rechte Flanke auf Höhe des Nabels (umgekehrter L-Schnitt) erweitert werden. Die sehr selten notwendige Verlängerung der Inzision in den 7. oder 8. Interkostalraum ermöglicht einen verbesserten Zugang zum suprahepatischen Raum.

Wenn zum Zeitpunkt der Laparotomie keine aktive Blutung mehr besteht, sollte eine Inspektion der Parenchymdefekte mit Retraktion der Wundränder unterbleiben, da sonst erneut schwer beherrschbare Blutungen einsetzen können.

Die schonende Mobilisation der Leber beginnt mit leichtem Zug nach kaudal, um zunächst das Ligamentum teres hepatis zwischen kräftigen Klemmen zu durchtrennen. Anschließend wird das Ligamentum falciforme mit der Diathermie nach dorsal bis zur Aufzweigung in das rechte und linke Ligamentum coronarium hepatis gespalten. Oftmals müssen am Unterrand des rechten Leberlappens Verwachsungen zur rechten Kolonflexur gelöst werden, um ein Einreißen der Leberkapsel zu vermeiden. Die vollständige Mobilisierung des rechten Leberlappens erfordert das Ablösen des Zwerchfells unter vorsichtiger Retraktion. Hierzu kann im Notfall die scharfe Präparation mittels Schere ebenso wie Diathermie oder bipolare Schere verwendet werden.

Eine vollständige/weitgehende Mobilisierung des rechten Leberlappens ist Grundbedingung für eine optimale chirurgische Versorgung inkl. Packing zur vorübergehenden Parenchymtamponade bei rechtsseitigen Leberläsionen.

Eine mäßige Blutung aus dem schwer zugänglichen posterioren Raum sollte nicht zur maximalen Retraktion des rechten Leberlappens nach links-anterior führen, da schwerste Blutungen aus verletzten Lebervenen oder der V. cava resultieren können.

Blutstillung

Kompression. Die Mehrzahl der Verletzungen lässt sich bereits durch eine suffiziente, 3- bis 5-minütige Kompression definitiv versorgen, evtl. in Kombination mit einer abschließenden Kapselnaht. Während Verletzungen des linken Leberlappens in der Regel problemlos zugänglich sind, muss bei lateralen und posterioren Verletzungen mit persistierender Blutung des rechten Leberlappens eine vorsichtige Mobilisation des Organs erfolgen, um eine Hämostase durch Kompression zu erreichen.

Infrarotkoagulation. Sowohl Blutungen aus kleineren Gefäßen wie auch diffuse Parenchymblutungen lassen sich durch wiederholten Einsatz der Infrarotkoagulation beherrschen. Der mit dem Applikator ausgeübte Druck auf das Gewebe führt zu einer kurzzeitigen Hämostase, welche die Verschorfung durch die einstrahlende Energie begünstigt.

Argonbeamer. Oberflächliche Kapselläsionen und Blutungen aus abgelösten Verwachsungen können mit dem Argonlaser im »non-contact Modus« versorgt werden. Die Eindringtiefe der Energie ist dabei niedriger als die bei Infrarotkoagulation. Dafür können in kurzer Zeit relativ große Flächen versorgt werden.

Fibrinklebung und Kollagenvliese. In Europa werden größere Parenchymdefekte mit Fibrinkleber häufig kombiniert mit einem Kollagenvlies versorgt. Voraussetzung für den Erfolg einer Fibrinapplikation ist eine weitgehende Bluttrockenheit im Operationsgebiet, damit eine sichere Verbindung des Gewebeklebers mit dem parenchymatösen Untergrund stattfinden kann. Leichter Druck mit einem nichthaftenden Gegenstand wie einem feuchten Stieltupfer oder einem Haken mit darunter liegender feuchter Kompresse fördert die Anpassung des gleichzeitig aufgebrachten Kollagenvlieses. Alternativ kann ein vorbeschichtetes Vlies (z.B. Tachosil) mit gutem Erfolg eingesetzt werden.

Naht. Die in der älteren Literatur zur Versorgung von Parenchymdefekten empfohlene »tiefgreifende Naht« ist obsolet! Insbesondere wenn zentrale Lebervenenäste (Abstromunterbrechnung) oder Gallengänge erfasst werden, können Komplikationen durch verstärkte portalvenöse Blutungsneigung, hämorrhagische Infarzierung oder Biliomentstehung eintreten.

Unbestritten ist der Wert einer gezielten Gefäßumstechung nach erfolgloser, mehrminütiger Kompression einer tiefreichenden Parenchymverletzung. Hier sollte durch vorsichtige Retraktion des Gewebes die Blutungsquelle dargestellt und mit einer feinen, monofilen Naht der Stärke 4/0 oder 5/0 oder einem entsprechend

dimensionierten Clip versorgt werden. Beim Nachweis von biliären Leckagen aus einem Parenchymdefekt oder aus der Resektionsfläche wird analog vorgegangen (Abb. 3.20). Die gezielte Umstechung des Lecks mit einem feinen monofilen Faden kann die Ausbildung von hartknäckigen Gallefisteln (hohes Infektionsrisiko bei Persistenz) verhindern. Durch wiederholtes Aufbringen von Kompressen/Tupfern kann die Lokalisation einer Gallenleckage exakt bestimmt werden.

Keinesfalls darf bei einer weiter bestehenden arteriellen Blutung eine dicht schließende oberflächliche Kapselnaht zur vermeintlichen Tamponade der Blutung erfolgen, da sich hieraus ein ausgeprägtes intrahepatisches Hämatom entwickeln kann.

Dagegen kann eine oberflächlich gestochene Kapselnaht eine zuvor durch Kompression weitgehend beherrschte venöse Sickerblutung zum endgültigen Stillstand bringen. Grundsätzlich sollten Kapselnähte als U-Naht oder in fortlaufender Form angebracht werden, um das Einreißen der vulnerablen Kapsel bei der traumatisierten Leber zu verhindern.

Die in der älteren Literatur erwähnte »zentrale Ligatur« der A. hepatica ist kontraindiziert, da gerade nach hämorrhagischem Schock mit eingeschränkter Splanchnikusperfusion das Erholungsvermögen der Leber deutlich eingeschränkt sein kann.

Eine kurzzeitige Inflow-Occlusion (»Pringle-Manöver«) durch Abklemmen des Leberhilus (Arterie, Pfortader, Gallengang) kann bei nicht einstellbarer Blutung die Detektion erheblich erleichtern (Abb. 3.19). Im hämorrhagischen Schock mit bereits vorbestehender Einschränkung der Splanchnikusperfusion sollte ein derartiges Manöver jeweils lediglich für wenige Minuten durchgeführt werden – mit intermittierender Wiederfreigabe der Leberperfusion, sofern erforderlich. Die Extremform der Durchblutungsunterbrechung stellt die (totale) vaskuläre Exklusion dar, die nur in absoluten Notfällen eingesetzt werden sollte (Abb. 3.21).

Die definitive Versorgung einer primär unzugänglichen, zentralen Lebervene oder der V. cava sollte dem hepatobiliären Chirurgen vorbehalten bleiben. Der unerfahrene Chirurg sollte alternativ eine primäre Tamponade (s. unten) durchführen. Der Versuch des Unerfahrenen, eine vollständige vaskuläre Exklusion zu erzielen, könnte mit einem massiven Blutverlust einhergehen.

Die Verletzung eines zentralen Gallengangasts sollte stets übernäht und nicht umstochen werden, um das Entstehen einer akuten Cholestase sowie einer sekundären biliären Zirrhose zu vermeiden. Im Notfall sollte daher eher auf die unsichere Versorgung verzichtet werden und die Verlegung in ein Zentrum frühzeitig erwogen werden. Um die etwaige Naht am linken oder rechten Ductus hepaticus oder Ductus choledochus zu entlasten, sollte eine Choledochotomie mit Einlage einer T-Drainage erfolgen. Bei längerstreckiger Verletzung empfiehlt sich die hohe biliodigestive Anastomose in Form einer Hepatiko- oder Choledochojejunostomie.

Tamponade. Da die Mehrzahl der Blutungen venöser Genese ist, kann mit einer effizienten Tamponade eine wirksame Hämostase erzielt werden. Voraussetzung für das Gelingen ist die richtige Platzierung der Bauchtücher oder Streifen. Die Hauptkompression des meistens betroffenen rechten Leberlappens muss dabei von posterior und kaudal, also von parakaval erfolgen, damit das Organ in das Subphrenium gepresst werden kann. Zwischen Leber und Zwerchfell dagegen sollte nur wenig Material eingebracht werden (Abb. 3.18).

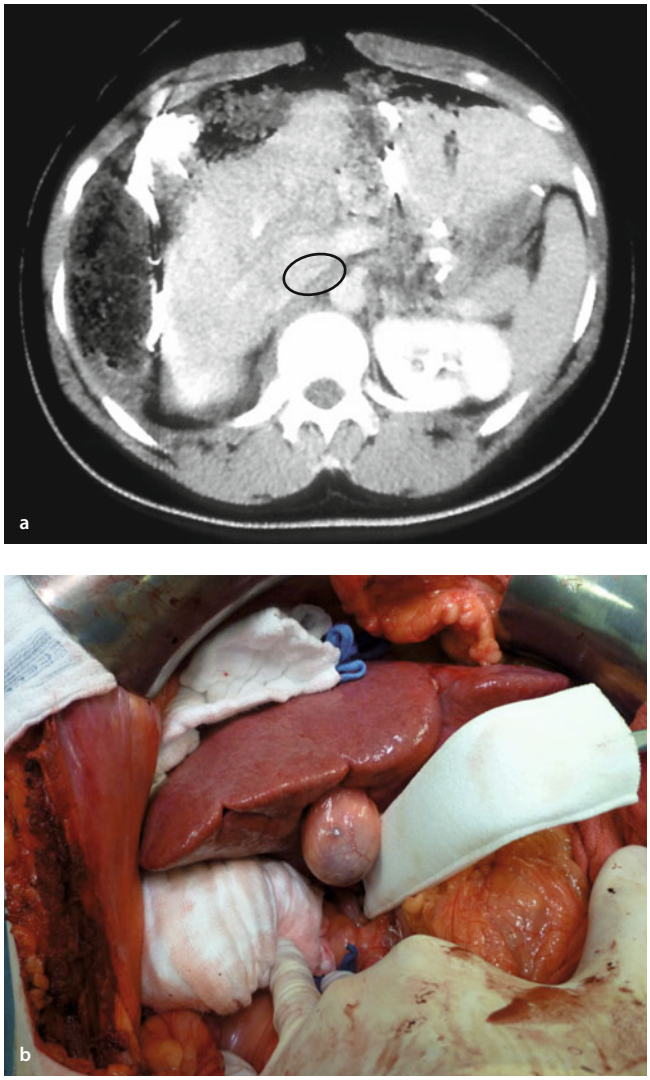


Abb. 3.18a,b **a** Darstellung eines fehlerhaften Packing mit Cava-Kompression (*Kreis*) bei unzureichender Mobilisierung des rechten Leberlappens. **b** Abbildung eines korrekt durchgeführten Packing mit frei liegender V. cava und Kompression des vollständig mobilisierten rechten Leberlappens in das Subphrenium

Gefahren der Tamponade bestehen durch:

- Unzureichende Hämostase bei zu lockerer Kompression,
- Kreislaufinstabilität aufgrund einer Kompression der infra- oder retrohepatischen V. cava durch falsch platzierte Tamponaden,
- venöse Stauung des Organs mit paradoxem Anstieg der Blutungsneigung bzw. Gewebenekrose durch zu nahe an die Lebervenenmündung platzierte Tamponaden.

Deshalb muss der rechte Leberlappen ausreichend mobilisiert werden. Erst dann können in die kritische posteriore Region korrekt sitzende Tamponaden eingebracht werden, ohne die Organperfusion zu beeinträchtigen.

Die Tamponade stellt für den in der Leberchirurgie unerfahrenen Chirurgen das beste Behandlungsverfahren dar, mit dessen Hilfe der Patient in aller Regel in einen transportfähigen Zustand gebracht werden kann. Auch der erfahrene Leberchirurg wird sich bei manifester Koagulopathie, Kreislaufinstabilität oder

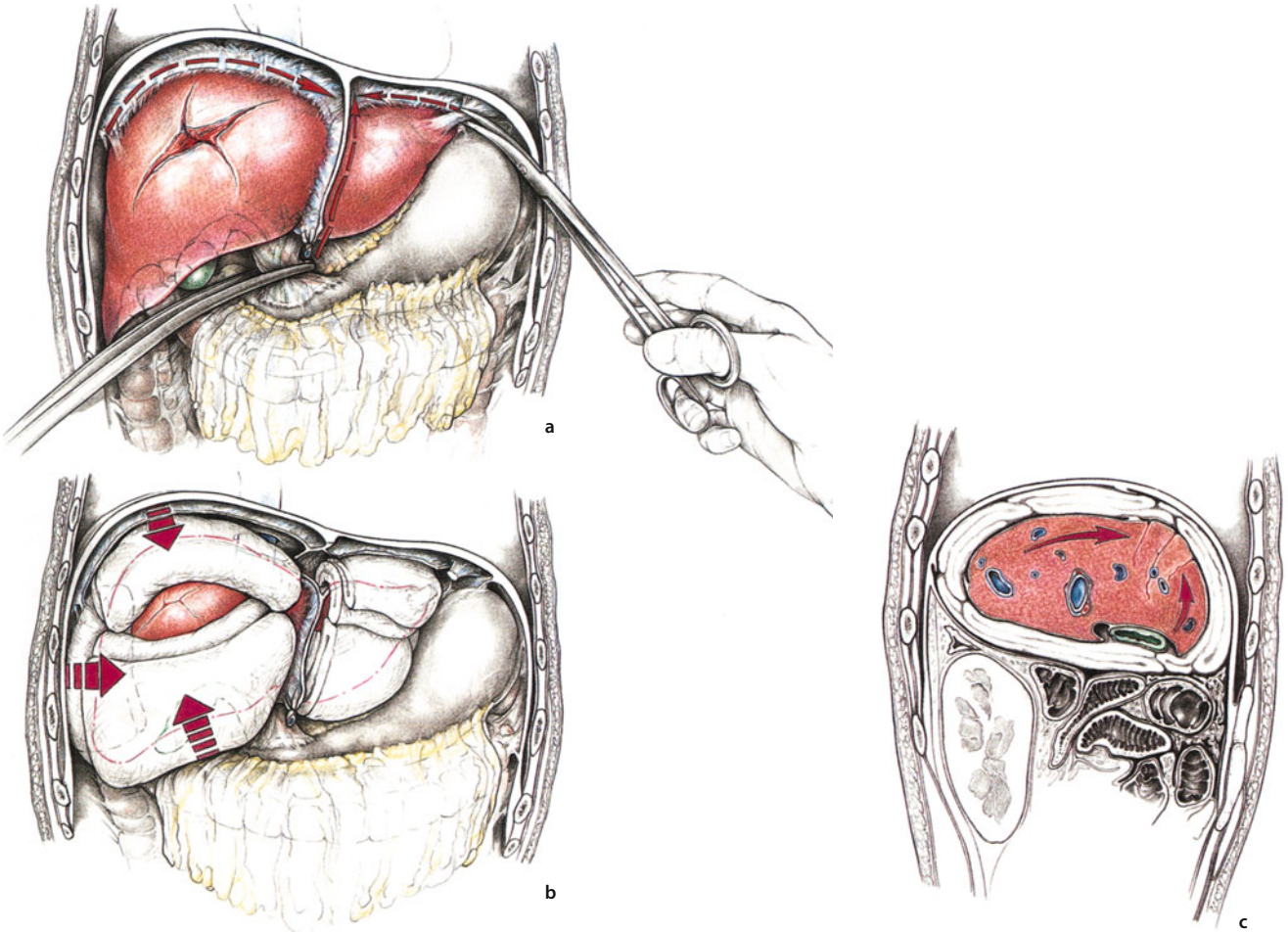


Abb. 3.19a–c Versorgung einer Leberverletzung. **a** Abklemmung des Ligamentum hepatoduodenale (Pringle-Manöver) und Mobilisation beider Leberlappen (*rot gestrichelte Pfeile*). **b** Die Tamponade wirkt durch Kompression der Ruptur. Das gelingt nur dann, wenn in die Rupturstelle selbst keine Tamponade eingelegt wird. **c** Das sagittale Schnittbild zeigt, dass die Tamponaden zirkulär um die Leber herum angebracht werden müssen. (Aus: Pichlmayr 2000)

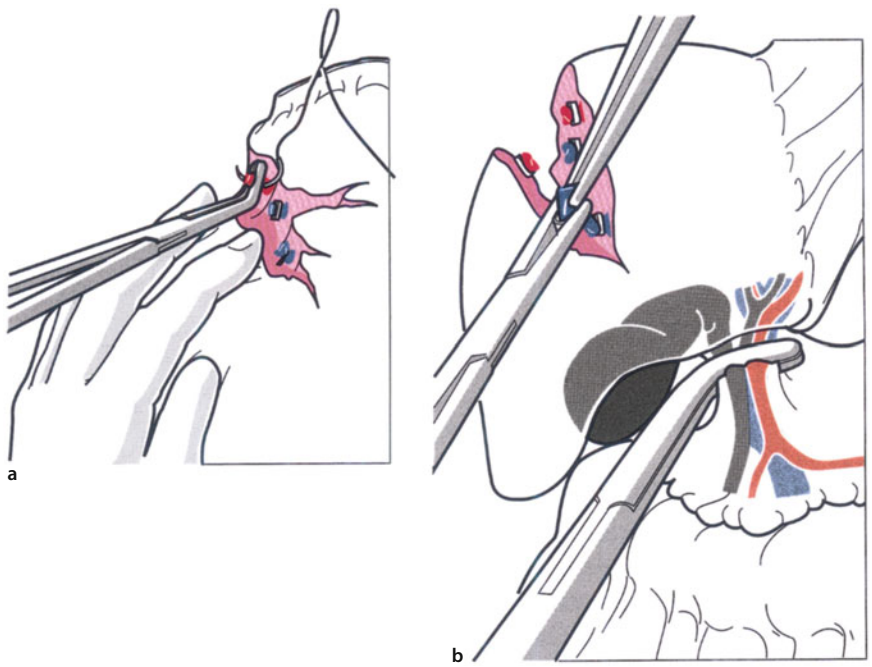


Abb. 3.20a,b Selektive Blutstillung. Durchstechungsligaturen oberflächlicher (**a**) und tiefer (**b**) Blutungsquellen. (Aus: Pichlmayr 2000)

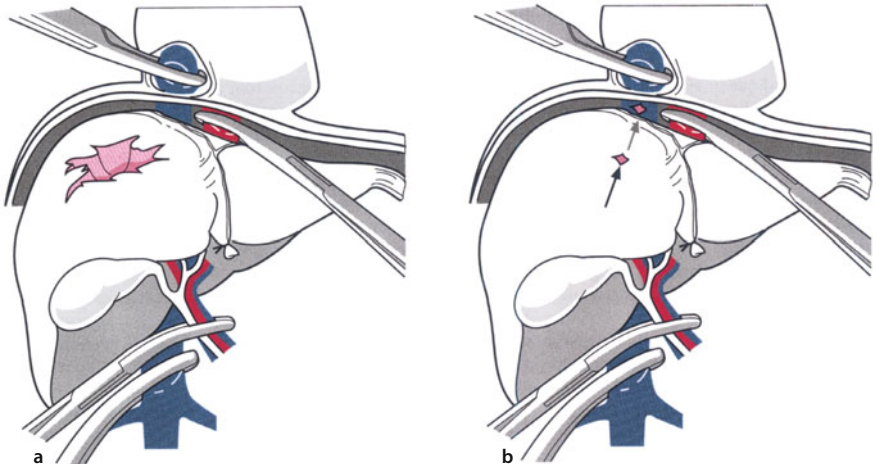


Abb. 3.21a,b Versorgung durch temporäre vaskuläre Isolierung einer stumpfen (**a**) und penetrierenden (**b**) zentralen Leberverletzung. (Aus: Pichlmayr 2000)

Hypothermie zunächst auf eine Tamponade beschränken. Die definitive Versorgung erfolgt erst nach Stabilisierung von Kreislauf und Gerinnung. Ein Wechsel der Tamponade vor Ablauf von 24–48 h erfolgt allenfalls bei Verdacht auf eine akute Infektion (übersehene Begleitverletzungen etc.).

Adjuvante Maßnahmen

Bei der Unterbrechung des Zustroms im Leberhilus, dem »Pringle-Manöver«, wird das Ligamentum hepatoduodenale im Notfall mit 2 Fingern umfahren und A. hepatica und V. portae werden abgedrückt (Abb. 3.23). Anschließend kann mit einer Gefäßklemme, einer weichen Darmklemme oder einem Tourniquet-Band das Ligament temporär okkludiert werden.

Das Pringle-Manöver sollte aufgrund der erheblich eingeschränkten Ischämietoleranz des Schockorgans Leber nur als ultima ratio für jeweils wenige Minuten eingesetzt werden.

Eine persistierende Blutung nach vollständigem Pringle-Manöver ist bedingt durch eine Verletzung der großen Lebervenen oder der V. cava, erkennbar am dunklen Farbton des austretenden Bluts und stellt eine klare Indikation zur Tamponade/Verlegung dar.

Ein niedriger ZVD und PEEP sind zwei weitere entscheidende Faktoren zur Reduktion des intraoperativen Blutverlusts, insbesondere im Notfall.

Versorgung von Parenchymdefekten

Anatomische Resektionen

Die früher gebräuchlichen Standardresektionen bis zur Hemihepatektomie links oder rechts sind den Ausnahmefällen vorbehalten, bei denen das Parenchym auf dieser Höhe traumatisch abgetrennt wurde (Autoamputation) mit partiell verletzten zentralen Gefäßen und Gallengängen.

Nichtanatomische Resektionen

Das Débridement von avitalem Gewebe ohne Rücksicht auf anatomische Grenzen hat sich als Vorgehen der Wahl bei der traumatischen Leberläsion durchgesetzt. Hierbei wird unmittelbar im Verlauf des Defekts das sichtbar devaskularisierte Gewebe unter Versorgung von größeren Gefäß- und Gallengangstrukturen mittels Clip oder Naht an der Resektionsfläche abgesetzt. Dazu kann im Notfall die feine Schere, ein feiner Saugeransatz oder die klassische Klemmchentechnik genutzt werden. Ein Pringle-Manöver oder eine vaskuläre Isolierung (Abb. 3.22) sollte den Resektionen vorbehalten bleiben, wo infolge einer zu starken Blutung keine ausreichende Übersicht bei der Resektion erzielt werden kann.

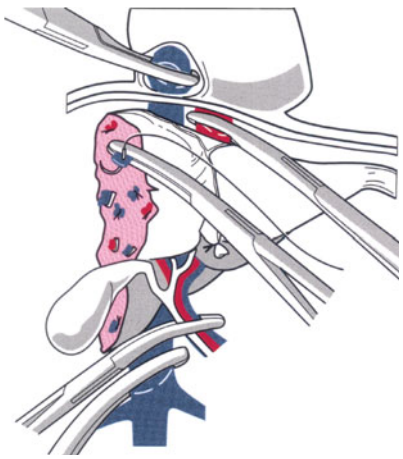


Abb. 3.22 Versorgung durch temporäre vaskuläre Isolierung und Resektionsdébridement von nekrotischem Lebergewebe. (Aus: Pichlmayr 2000)

Ausgedehnte Wundhöhlen oder eine schwach-persistierende Blutung können mit einem rechtsgestieltem Omentumlappen gedeckt werden. Dazu löst man das große Netz vom Querkolon und im Bereich der großen Kurvatur vom Magen unter Schonung der versorgenden gastroepiploischen Gefäße im Antrumbereich. Der so geschaffene Omentumlappen wird in den Defekt hineingeschlagen und mittels Kapselnähten dort fixiert.

Am Ende der Resektion sollten eine ausgiebige Spülung und Drainage der Resektionsfläche durchgeführt werden, wobei sich großlumige Drainagen (28–32 Charrière) bewährt haben.

Tamponade und Wrapping

Ausgedehnte, v.a. rechtsbetonte Berstungsverletzungen der Leber mit primär eingeschränkter Möglichkeit der Geweberesektion sollten möglichst primär mittels Tamponade versorgt werden. Hierbei kann je nach weiter geplantem Verlauf unterschiedlich vorgegangen werden:

Bei beabsichtigter Verlegung des Patienten in ein Schwerpunktzentrum oder geplanter Relaparotomie zur definitiven Nekrosektomie kann eine Standardtamponade bestehend aus Kompressen, Jodoformgaze, Rollen oder Bauchtüchern durchgeführt werden (s. oben). Wichtig sind die Dokumentation der Stückzahlen der

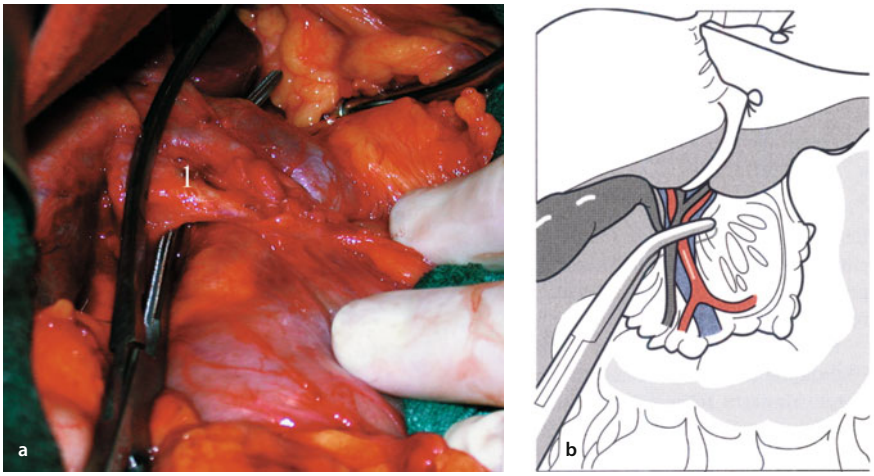


Abb. 3.23a,b Pringle-Manöver. **a** Operationssitus (1 = Ligamentum hepatoduodenale, Foto: H. Bödeker, M. Mayr). **b** Schematische Darstellung. (Aus: Pichlmayr 2000)

im Situs verbliebenen Tamponaden und die Weitergabe einer Kopie dieses Schriftstücks an die Kollegen, welche die Behandlung übernehmen und in den Folgetagen die Tamponaden entfernen werden.

Alternativ kann eine definitive Versorgung durch ein so genanntes Wrapping unternommen werden. Ein ausreichend groß dimensioniertes Netz aus resorbierbarem Material, z.B. Vicryl, wird um die betroffene Leberregion herum gezogen und mit adaptierenden Nähten zusammengezogen (Abb. 3.24). Oftmals sind hierzu mehrere Nahtreihen angezeigt, um einen adäquaten Druck zu erzeugen. Die Kompression darf jedoch nicht so stark sein, dass sie die Gesamtdurchblutung beeinträchtigt. Das Sistieren der sichtbaren Blutung ist der klinische Maßstab für den Grad der Kompression. Keinesfalls darf durch das Wrapping der Leberhilus eingeengt werden (Netzkante oder Faden), um eine zusätzliche Durchblutungsstörung und/oder Cholestase zu vermeiden.

Die einfache Handhabung des mesh-wrapping darf aufgrund der bestehenden Komplikationsmöglichkeiten nicht zum unkritischen Einsatz führen.

Die anhaltende Problematik der Indikationsstellung zur Laparotomie beim Lebertrauma wird unterstrichen durch eine aktuelle Publikation eines der größten Traumazentren der USA (Demetriades 2006). In >30% der Fälle einer Laparotomie wegen Leberbeteiligung bei nachgewiesenem Lebertrauma bei PAI war keine chirurgische Therapie der Läsionen notwendig. Bei weiteren 30% waren lediglich einfache chirurgische Maßnahmen angezeigt. Lediglich beim verbleibenden Drittel der Patienten war eine komplexe »damage control technique« indiziert.

Während 36/51 (71%) Patienten mit einem Lebertrauma >III. Grades beim PAI einer unmittelbaren Laparotomie vorwiegend zur Hämostase unterzogen wurden, mussten 37/58 (64%) Patienten mit einem Lebertrauma I. bis II. Grades und oftmals bestehenden Begleitverletzungen ebenfalls laparotomiert werden.

Nachbehandlung

Laborkontrollen

Die regelmäßige Kontrolle der Leberenzyme, insbesondere der GOT, GPT und GLDH zeigen das Ausmaß des zellulären Schadens an. Die verbliebene Konjugations- und Syntheseleistung des Organs korreliert mit dem Verlauf des Serumbilirubins, Serumalbumins und der Gerinnungsparameter. Serielle Bestimmungen des

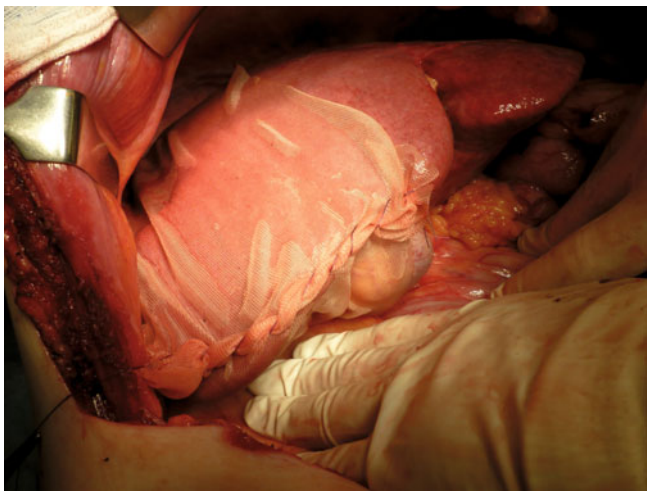


Abb. 3.24 Kompression des rechten Leberlappens mittels Vicrylnetz-wrapping. Beachten Sie das nicht zu streng sitzende Netz, um eine Druckatrophie des Parenchyms zu vermeiden! Das Ziel ist die Kompressionsblutstillung bei ausgedehnten venösen Blutungen aus dem Parenchym (Lebervenenäste!) Eine weitere Nahtreihe kann problemlos zur Hämostase angelegt werden, sollte die initiale Kompression nicht ausreichend sein

Serum-Laktatwerts zeigen u.a. auch das Ausmaß der Gewebsnekrose an sowie die Syntheseleistung der Leber. Die Leber ist unter physiologischen Bedingungen ein Laktatkonsument, kann jedoch im Schadensfall zu einem Laktatproduzenten werden (= signum male ominis).

Bildgebende Diagnostik

Regelmäßige sonografische Kontrollen sollten in den ersten Tagen erfolgen, um perihepatische Flüssigkeitsansammlungen zu erkennen und ggf. diagnostisch punktieren bzw. drainieren zu können. Bei stabiler Nierenfunktion kann eine ergänzende CT-Untersuchung mit Kontrastmittel erfolgen, um evtl. nicht perfundiertes Gewebe bzw. bestehende intrahepatische Hämatome zu entdecken. Beim Verdacht auf eine Gallenabflussbehinderung oder Leckage kann eine endoskopische retrograde Cholangiografie (ERC) sowohl diagnostischen wie auch therapeutischen Charakter haben, in einzelnen Fällen in Kombination mit einer perkutanen transhepatischen Cholangiodrainage (PTCD).

Volumentherapie

Nach ausgedehntem Trauma oder Operation sollte unter entsprechendem Monitoring eine bilanzierte Volumenersatztherapie durchgeführt werden – zentraler Venendruck/ZVD, und »pulmonary capillary wedge pressure«/PCWP sind schlechte Messgrößen in der Akutsituation mit veränderten intrathorakalen Druckverhältnissen, die sich auf ZVD und PCWP auswirken. Dynamische Messungen unter definierter Volumenbelastung geben den tatsächlichen Volumenstatus weitaus exakter wieder.

Enterale Ernährung

Die frühe postoperative, enterale Ernährung steigert die intestinale Perfusion und dadurch die Leberdurchblutung. Deshalb sollte ab dem 2. postoperativen Tag mit dem Kostaufbau begonnen werden. Alternativ sollte beim intubierten Patienten eine Magen- oder (besser) Jejunalsonde verwendet werden, um die oftmals bestehende posttraumatische Gastroparese zu umgehen.

Parenterale Ernährung

Der partielle Verlust von Lebergewebe sowie die verringerte Leistungsfähigkeit des verbliebenen Parenchyms stellen besondere Anforderungen an die postoperative Ernährungstherapie. Die ab dem 3. postoperativen Tag notwendige Versorgung mit ca. 25–30 kcal/kg KG/Tag muss eine u.U. gestörte Glukoseutilisation ebenso berücksichtigen wie die Gefahr einer zerebralen Funktionsstörung durch zu hohe Stickstoffbelastung. Daher sollten Fettlösungen ca. 30–40% der nichtstickstoffhaltigen Ernährung betragen, ergänzt durch 10–20% Glukoselösungen sowie einem Anteil stickstoffhaltiger Aminosäurelösungen von ca. 20% des Gesamtkalorienbedarfs. Regelmäßige Kontrollen der Plasmaspiegel für Cholesterin und Triglyzeride, insbesondere zu Beginn der Therapie, sind ebenso notwendig wie die Überwachung des Blutzuckerverlaufs. Im Fall einer manifesten zerebralen Insuffizienz sollten verzweigtkettige Aminosäuren zum Einsatz kommen, da durch Verzicht auf Tryptophan, Tyrosin und Phenylalanin eine eingetretene Störung der zerebralen Neurotransmitter günstig beeinflusst werden kann.

Beatmung

Der niedrige transhepatische Perfusionsgradient bewirkt, dass eine posthepatische Erhöhung des systemischen Drucks (= intrathorakal) zu einer erheblich verminderten Durchblutung in diesem Stromgebiet führt. Daher sollte bei eingetretener Beatmungspflichtigkeit darauf geachtet werden, dass der intrathorakale Druck möglichst niedrig gehalten wird. Hierzu kann neben der Wahl von Atemfrequenz und Atemzugvolumen ein bewusst niedrig gewähltes PEEP-Niveau entscheidend beitragen. Der PEEP sollte zwischen 3 und 6 cm H_2O liegen.

Postoperative Komplikationen

Neben den bekannten systemischen Folgen eines erlittenen hämorrhagischen Schocks mit einsetzendem Multiorganversagen können leberspezifische Komplikationen in den ersten Tagen nach Trauma auftreten.

Nachblutung

Nach schwerem Trauma kann sich trotz Substitution eine anhaltende Koagulopathie entwickeln, die zur Relaparotomie mit Hämatomausräumung und erneuter Tamponade des Organs zwingt. Besteht bei intakter Gerinnung dennoch eine Nachblutung, sollte vor einer risikobehafteten Relaparotomie eine Angiografie erfolgen, mit der Möglichkeit der selektiven Embolisation eines blutenden Gefäßes.

Abszess

Neben dem immunsuppressiven Effekt eines schweren Traumas spielt die Entwicklung einer Gewebenekrose die zentrale Rolle bei der Entstehung eines Abszesses nach Lebertrauma. Devitalisiertes Gewebe, das u.U. mit kontaminierter Galle infiziert wurde, ist ein idealer Nährboden für Mikroorganismen. Regelmäßige postoperative Kontrollen mittels Ultraschall oder CT lassen Abszesse erkennen. Nach diagnostischer Punktion sollte interventionell drainiert werden.

Biliom

Ein umschriebenes Biliom kann entstehen ausgehend von primär nicht versorgten oder sekundär durch Nekrosenabstoßung frei liegenden Gallengangästen. Solche Formationen sollten ebenfalls mittels Kontroll-CT oder -sonografie erkannt und drainiert werden, wobei es in der Mehrzahl der Fälle zu einem spontanem Verschluss der Fistel innerhalb von 2–4 Wochen kommt. Eine anhaltend hohe Fördermenge (>100 ml) über die eingelegte Drainage lässt auf eine breite Fistel oder ein zentrales Abflusshindernis schließen, wie eine narbige Gallengangstriktur, Koagel im Gallengangsystem oder eine Papillenstenose. Die ERC sollte als primäres diagnostisches Verfahren eingesetzt werden, da oftmals gleichzeitig die definitive Versorgung durch Papillotomie, Stent-Einlage oder nasobiliäre Sonde erfolgen kann. Alternativ kann die hepatobiliäre Sequenzszintigrafie eine Leckage nachweisen. Bei deutlich gestauten peripheren Gängen kann auch eine perkutane Darstellung (PTC) mit Stent-Einlage oder externer Drainage indiziert sein.

Arteriovenöse Fistel

Aufgrund der anatomischen Entfernung stellen posttraumatische Verbindungen zwischen dem arteriellen und lebervenösen System eine Rarität dar, die zudem oftmals einer interventionellen Behandlung zugänglich sind. Arterioportale Fisteln können aus einer spontan abheilenden Nekrosehöhle entstehen oder durch Erfassung der benachbarten Gefäße mit einer Naht hervorgerufen werden. Eine postoperative Angiografie kann den frühen Nachweis einer solchen Fistel ebenso erbringen wie eine farbkodierte Dopplersonografie. Während periphere Fisteln häufig asymptomatisch bleiben bzw. sich spontan verschließen, neigen zentrale arterioportale Fisteln zur raschen Zunahme, wodurch sich ein portaler Hypertonus entwickeln kann mit Aszitesbildung, Tenesmen, hypertensiver Gastropathie oder Enteritis sowie Hepatomegalie. Hieraus ergibt sich die Indikation zur Intervention, die bei peripherer Fistel auf interventionellem Wege geschehen sollte. Zentrale arterioportale Fisteln müssen dagegen häufig operativ versorgt werden.

Arterielles Aneurysma

Etwa 20% der Aneurysmen der A. hepatica sind traumatischer Genese. Neben asymptomatischen Zufallsbefunden können auch symptomatische Aneurysmen bestehen mit einem Druckgefühl im rechten Oberbauch, einer spontanen Ruptur in die Bauchhöhle mit hämorrhagischem Schock, in die Gallenwege mit Hämobilie, in die Leber mit zunehmendem Hämatom, in die Pfortader mit Entstehung einer arterioportalen Fistel. Die primäre Therapie besteht in der angiografischen Embolisation, jedoch muss in Einzelfällen eine operative Revision erfolgen, insbesondere dann, wenn eine große intrahepatische Wundhöhle besteht.

Hämobilie

Die seltene traumatische Verbindung eines intra- oder extrahepatischen arteriellen Asts mit einem Gallengangast kann zum intermittierenden oder seltener kontinuierlichen Blutabgang über die

Tab. 3.8 Letalität in Abhängigkeit von der Schwere des Lebertraumas

Grad	Letalität
I–III	0–10%
IV	25–30%
V und VI	Ca. 50%

Tab. 3.9 Zusammenhang zwischen Richtung der Gewalteinwirkung und dem Verletzungsmuster

Gewaltrichtung	Verletzungsbereich	Begleitläsionen
Ventral	Pankreaskorpus	Mesenterium, Leber
Rechts	Pankreaskopf oder -korpus	Duodenum, Leber, rechte Niere, Kolon
Links	Pankreasschwanz oder -korpus	Milz, linke Niere, Kolon

Papilla Vateri führen. Das klinische Korrelat hierzu besteht in einer Hämatemesis oder Melaena in Verbindung mit einem Ikterus oder Koliken. Die endoskopische retrograde Cholangiopankreatikografie (ERCP) und die Angiografie sollten zur definitiven Diagnostik durchgeführt werden, um den genauen Ort des Blutübertritts festlegen und die entsprechende Therapie einleiten zu können. Prinzipiell kann sowohl die Resektion der fisteltragenden Region oder die Embolisation der zuführenden Arterie als kurative Therapie erfolgen, wobei der nicht operativen Methode der Vorzug gegeben wird.

Bilhämie

Weitaus seltener ist die Bilhämie, bei der posttraumatisch eine Verbindung zwischen Gallengang- und Lebervenensystem entsteht. Aufgrund des Druckgefälles tritt Galle in das Venensystem über; Folge ist die Entwicklung eines Ikterus. Die Ausschaltung des normalen Druckgradienten über die Papille mittels Einlage eines transpapillären Stents oder einer nasobiliären Sonde führt oftmals bereits zur Druckumkehr mit Sistieren des Shunts. In seltenen Fällen, wenn z.B. größere nekrotische Bezirke vorliegen, ist eine operative Revision indiziert. Dabei werden Gallengangast und die arrodierte Vene umstochen und die Zerfallshöhle drainiert.

Prognose

Die Gesamtmortalität aller Patienten mit Leberverletzungen beträgt beim stumpfen Bauchtrauma (BAT) ca. 15–30% (NOMLI versus operative Versorgung), wobei oftmals beim polytraumatisierten Patienten eine definitive Zuordnung der Todesursache nicht möglich ist (Crandall 2009). Isolierte Lebertraumata (stadienunabhängig!) sind nur in Einzelfällen entscheidend für das Überleben eines Patienten, der eine Notfalloperation überstanden hat bzw. für das Konzept NOMLI eingeteilt wurde.

Insbesondere höhergradige Leberverletzungen (>IV. Grades) sind in der Regel mit erheblichen weiteren Verletzungen, wie SHT und/oder Thoraxtrauma, assoziiert, die im weiteren klinischen Verlauf entscheidend für die Prognose sind (Tab. 3.8).

3.3.3 Pankreas

Ätiologie

Pankreasverletzungen sind selten und kommen beim stumpfen Bauchtrauma (BAT) in ca. 0,2% der Fälle vor. Bei perforierenden Traumen (PAI) liegt die Inzidenz aufgrund der unterschiedlichen Verletzungsarten mit 1–12% deutlich höher (Kao 2003). Sie sind in Westeuropa in 75% der Fälle mit stumpfen Oberbauchverletzungen kombiniert. Daneben können Stich- und Schussverletzungen sowie Wirbelsäulenfrakturen im thorakolumbalen Abschnitt ein Pankreastrauma zur Folge haben. Begleitverletzungen werden außerordentlich häufig beobachtet (50–95% der Fälle), sodass die Diagnose oftmals erschwert wird (Tab. 3.9).

Stumpfe Gewalteinwirkung von ventral führt infolge der prävertebralen Fixation des Organs relativ häufig zu einer Transsektion der gesamten Drüse im Korpusbereich, wogegen Verletzungen des Pankreaskopfs und -schwanzes eher ausgedehnte Parenchymläsionen zur Folge haben.

Klinik

Das klinische Bild wird häufig von Begleitverletzungen wie Leber- oder Milztrauma geprägt sowie der Tatsache, dass weitaus häufiger als bei anderen soliden Organen eine penetrierende Verletzung vorliegt. Die Rate an zunächst übersehenen Pankreasverletzungen beim Polytrauma beträgt bis zu 50%. Eine im Intervall auftretende Pankreatitis, intra- und retroperitoneale Abszedierungen sowie unklare (Arrosions-)Blutungen können verzögert auf eine Pankreasverletzung hinweisen.

Bis zu 50% der Pankreasläsionen werden beim Abdominaltrauma initial übersehen.

Diagnostik

Die Multislice-CT mit i.v.-Kontrastierung gilt derzeit als Goldstandard in der Diagnostik beim vermeintlichen Pankreastrauma. Die Rate an initial falsch-negativen Befunden beim geringen/mäßigen Pankreastrauma kann bis 40% betragen (Al-Ahmadi 2008), sodass bei entsprechendem klinischem Verdacht (Verletzungsmechanismus, d.h. Lenkradtrauma beim Erwachsenen, verdächtiger Stich- oder Schusskanal, etc.) eine engmaschige klinische und Multislice-CT-Kontrolle angezeigt ist.

Auf der Röntgenübersichtsaufnahme des Abdomens kann bei kombinierten Verletzungen des Pankreaskopfs und Duodenums eine umschriebene retroperitoneale oder freie intraperitoneale Luftansammlung zu sehen sein. Die ERCP bietet bei Gangläsionen die höchste Genauigkeit, setzt jedoch einen stabilen Zustand des Patienten voraus.

Die Beurteilung der Serumamylase stellt aufgrund einer ungenügenden Sensitivität keinen zuverlässigen Indikator dar, da innerhalb der ersten Stunden nach Trauma lediglich in 65–75% eine pathologische Erhöhung beobachtet wird (Bradley 1998). Dieser Anteil steigt im Verlauf auf über 80%, sodass serielle Untersuchungen angezeigt sind. In 40–60% der Fälle wird die Diagnose intraoperativ gestellt, wenn andere revisionswürdige Befunde zum notfallmäßigen Eingreifen vor Durchführung einer Multislice-CT zwingen.

Klassifikation

Tab. 3.10 gibt die Klassifikation (AAST) der Pankreasläsionen wieder und Abb. 3.25 in einer schematischen Darstellung die Schweregrade des Pankreastraumas.

Tab. 3.10 AAST-Klassifikation der Pankreasläsionen (1990)

Grad	Befund
I	Hämatom: oberflächliche Kontusion ohne Gangbeteiligung Lazeration: oberflächliche Lazeration ohne Gangbeteiligung
II	Hämatom: großflächige Kontusion ohne Gangbeteiligung Lazeration: großflächige Lazeration ohne Gangbeteiligung
III	Distale Durchtrennung, Parenchymverletzung mit Gangbeteiligung
IV	Proximale Durchtrennung, Parenchymverletzung mit Gangbeteiligung
V	Komplexe Pankreaskopfverletzung, oftmals mit Duodenalbeteiligung

Tab. 3.11 Synopse des operativen Vorgehens abhängig vom Schweregrad des Pankreastraumas

Grad	Vorgehen
I/II	Externe Drainage
III	Nekrosektomie, externe Drainage, bei Gangläsion Linksresektion
IV	Nekrosektomie, externe Drainage, bei Gangläsion innere Drainage mit Roux-Y-Schlinge
V	Nekrosektomie, innere Drainage mit Roux-Y-Schlinge, T-Drainage mit oder ohne Duodenalexklusion, Operation nach Whipple als ultima ratio

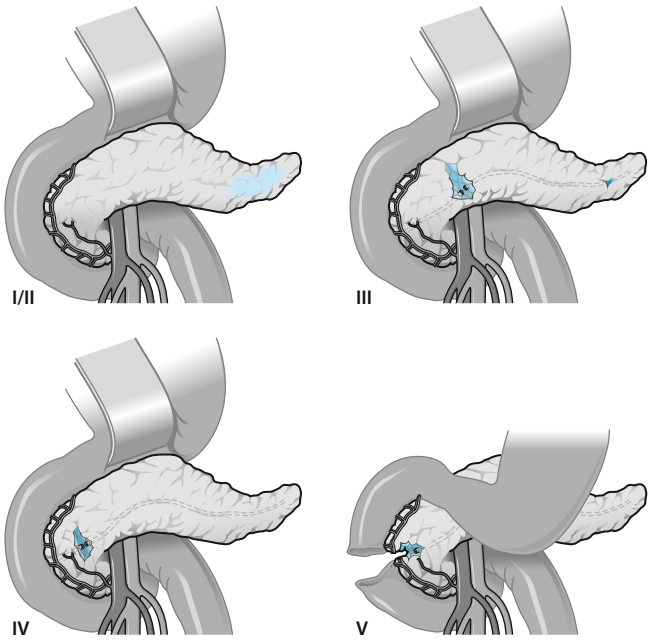


Abb. 3.25 Schematische Darstellung der 5 Schweregrade des Pankreastraumas nach AAST-Klassifikation

Nichtoperative Therapie

Etwa 80% der Pankreasverletzungen entsprechen Läsionen ersten oder zweiten Grades und stellen eine klare Indikation dar für das NOM-Konzept (Fleming 1999). Hierzu sind, neben der engmaschigen klinischen Kontrolle, serielle Multislice-CT-Untersuchungen unerlässlich, um notfalls peripankreatische Flüssigkeitsansammlungen zu detektieren sowie bei Verdacht diagnostisch zu punktieren oder therapeutisch zu drainieren.

Der Routineeinsatz der ERCP wird derzeit nicht empfohlen, sondern ausschließlich bei Verdacht auf eine Gangläsion vorbehalten (hoher Amylase-Gehalt in der Drainage, persistierende Fistel).

Operative Therapie

Pankreastraumata sind ein Paradebeispiel für die Damage Control Surgery (DCS)!

Bei Läsionen I. und II. Grades im Rahmen einer Notfalllaparotomie aufgrund extrapankreatischer Ursachen sollte ausschließlich ein Débridement von nekrotischem Gewebe, lokale Hämostase sowie eine großzügige externe Drainage erfolgen (Jurkovich 2004). Höhergradige Verletzungen mit großem rekonstruktiven Aufwand sollten dagegen erst beim Reeingriff nach erfolgter Stabilisierung, Tamponade und Drainage des Patienten angegangen werden.

Allgemeines Vorgehen

Gesicherte oder vermutete Pankreasläsionen sollten innerhalb von 6 h operativ revidiert werden, um das Ausmaß möglicher postoperativer Komplikationen zu reduzieren. Der Patient befindet sich in leicht überstreckter Position, um eine optimale Exposition des Situs zu ermöglichen. Als Standardzugang wird beim Notfalleingriff die mediane Oberbauchlaparotomie verwendet, während sich beim elektiven Vorgehen auch eine quere Oberbauchlaparotomie eignet (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Zum sicheren Ausschluss einer Pankreasverletzung bei klinischem/radiologischem Verdacht ist eine exakte Exploration des gesamten Drüsenkörpers sowie des Duodenums notwendig. Die Freilegung des Pankreas erfolgt am sichersten durch eine Eröffnung der Bursa omentalis von ventral unter Spaltung des Ligamentum gastrocolicum und zusätzlicher Eröffnung des Retroperitonealraums am Unterrand des Pankreaskorpus bzw. -schwanzes. Bei der Spaltung des Ligamentum gastrocolicum muss auf das darunter liegende Mesocolon transversum geachtet werden. Anschließend werden mit einem Kocher-Manöver (Abb. 3.26) das Duodenum und der Pankreaskopf ausreichend mobilisiert, um die Dorsalseite des Pankreaskopfs mitbeurteilen zu können. Bei Verletzungen im Pankreasschwanzbereich kann die vollständige Mobilisierung der Milz und des Pankreasschwanzes von links notwendig sein.

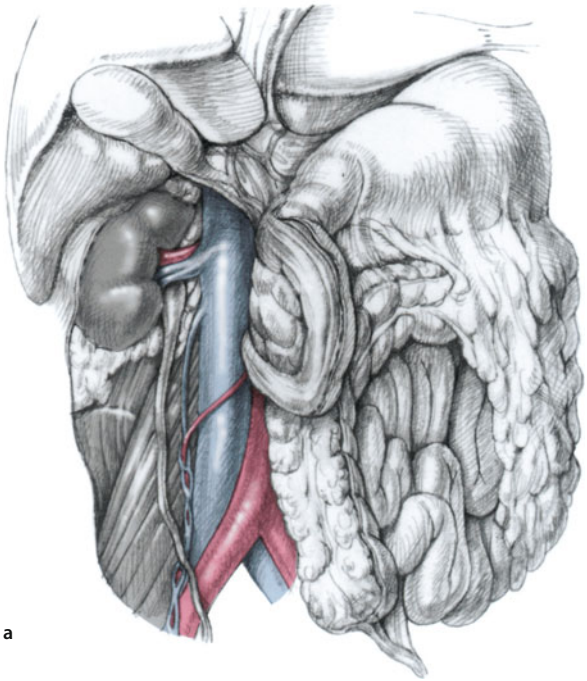
Insbesondere bei tiefreichenden Defekten im Kopf- und Korpusbereich der Drüse kann eine intraoperativ durchgeführte ERCP wertvolle Hinweise für das weitere operative Vorgehen liefern. In Einzelfällen kann auf diesem Weg ein Stent eingelegt, ein etwaiger Gangdefekt geschient und dadurch behandelt werden.

Der intraoperative Nachweis einer Gallenleckage oder retroperitonealer Luft gibt wertvolle Hinweise für die Lokalisation der erlittenen Verletzung.

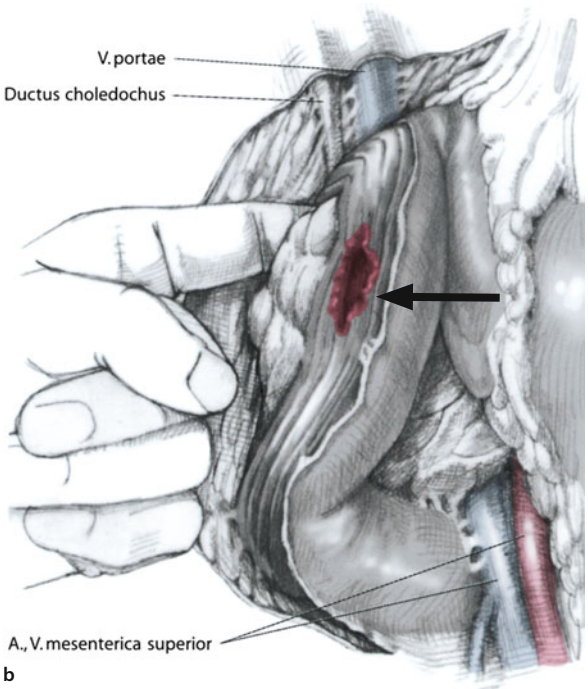
Vorgehen nach Schweregrad

Grundsätzlich gilt, dass bei allen Pankreasverletzungen das lokale Aufbringen von Fibrinkleber die Rate an Fisteln günstig beeinflussen kann, ebenso wie die Verabreichung von Somatostatin zur Reduktion der Sekretproduktion über 7–10 Tage (Tab. 3.11).

Grad-I-Läsionen werden in aller Regel ausschließlich drainiert. Entscheidend ist, dass die Drainage optimal liegt. Die Drainagen,

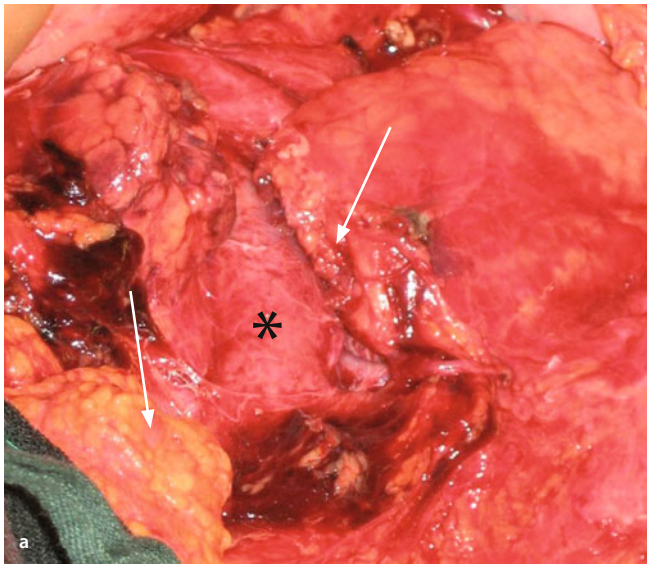


a

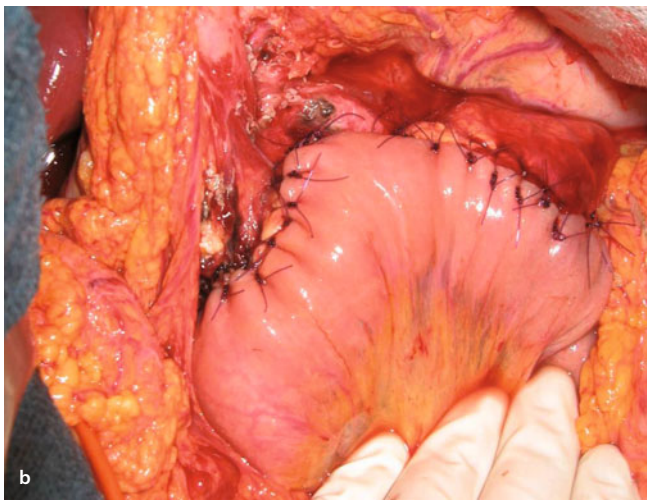


b

Abb. 3.26 Situs beim Kocher-Manöver. **a** Situs zeigt schematisch nach ventral mobilisiertes Duodenum und Pankreaskopf. **b** Darstellung einer Duodenumverletzung im mittleren Drittel (*Pfeil*) (Aus: Pichlmayr 2000)



a



b

Abb. 3.27a,b **a** Situs bei proximal ruptierten Pankreas über der V.-mesenterica-superior-Achse (*Stern*) mit verzögerter Detektion. Die *Pfeile* weisen auf die Pankreasanteile. **b** Situs nach Rekonstruktion. Beide Pankreasstümpfe sind mittels Roux-Y-Jejunumschlinge wieder in die intestinale Kontinuität einbezogen

die z.T. lange belassen bleiben müssen, sollen aus weichem Material sein, um die Arrosionsgefahr zu verringern.

Bei **Grad-II-Läsionen** ist ebenfalls die reine Drainagentherapie ausreichend. Lediglich bei ausgedehnten Lazerationen kann im Einzelfall ein oberflächliches Debridement erfolgen.

Grad-III-Läsionen werden ebenfalls mit lokaler Nekrosektomie und Drainage behandelt. Die Verletzung des Pankreasgangs im Korpus- und Schwanzbereich der Drüse wird am sichersten mit einer Pankreaslinksresektion versorgt. Hierbei wird der Pankreasgang an der chirurgischen Resektionsfläche gezielt umstochen und der entstandene fischmaulartige Parenchymdefekt mit resorbierbaren Nähten versorgt. Alternativ kann die Linksresektion mit einem Stapler durchgeführt werden, wobei hier ebenfalls, je nach Parenchymkonstitution, eine Übernähung erfolgen sollte. Nur in Fällen einer ausreichenden Übersicht und stabilem Zustand des Patienten sollte bei der Linksresektion die unverletzte Milz geschont werden.

Grad-IV-Läsionen. Proximale Gangverletzungen oder hochgradige Parenchymläsionen sollten nicht mit einer subtotalen Resektion behandelt werden, aufgrund der großen Gefahr der resultierenden endo- und exokrinen Insuffizienz. In Einzelfällen ist eine ERCP-gestützte Stentimplantation möglich, ansonsten kann im Notfall zunächst eine optimale Drainagetherapie durchgeführt werden. In Abhängigkeit der Organbeschaffenheit und Stabilisierung des Patienten kann im Intervall eine innere Drainage mittels ausgeschalteter Roux-Y-Schlinge erfolgen (Abb. 3.27). Dieses Vorgehen ist ebenfalls angezeigt in Fällen einer verzögert diagnos-

tizierten Pankreasruptur mit Gangbeteiligung. Je nach Lokalisation der Parenchymdurchtrennung kann eine beidseitige Anastomosierung des Pankreas erfolgen, um die größtmögliche Parenchymerhaltung zu erzielen.

Grad-V-Läsionen stellen eine eindeutige Indikation dar für eine Damage Control Surgery. Die notfallmäßige Kausch-Whipple-Operation ist mit einer immens hohen Letalität von 30–50% belastet (Al-Ahmadi 2008). Die kombinierte Deckung der Läsionen mit einer ausgeschalteten Jejunumschlinge sollte bei vitalem Gewebe das Vorgehen der Wahl sein. Zur Protektion der angelegten Anastomose kann neben der Einlage einer T-Drainage zur externen Gallenableitung noch eine partielle oder vollständige Duodenalexklusion erfolgen. Als einfachstes Vorgehen bietet sich die Anlage einer Gastrojejunostomie an, die durch einen vorübergehenden Verschluss des Pylorus mit resorbierbarer Naht oder einem Staplermagazin (Operation nach Vaughan) ergänzt werden kann. Mit diesem Vorgehen kann neben einer weitgehenden Umleitung der Galle und des Speisestroms auch die Pankreassaftproduktion und -aktivierung deutlich vermindert werden.

Komplikationen

Pankreatitis

Die posttraumatische Pankreatitis, mit oder ohne retro- oder intraperitoneale Abszedierungen und diffuse Peritonitis, ist die häufigste Komplikation der übersehenen Pankreasverletzung, die auch beim vermeintlich optimal drainierten Patienten jederzeit vorkommen kann.

Pankreasfistel

In ca. 25% aller Pankreasläsionen kommt es zur Ausbildung einer chronischen Fistel, die in aller Regel spontan verheilt. Neben einer testgerechten Antibiose bei sekundärer Infizierung unterstützt eine fettarme Formuladiät die Abheilung durch verminderten Speichelfluss. Bei anhaltender Sekretion erleichtern großlumige Drainagen die interventionelle Nekrosektomie. Diese Maßnahme kann mit einer ERCP und Steineinlage kombiniert werden, um den Abfluss über die Papille zu verbessern oder zu versuchen, den inneren Fistelgang zu verschließen.

Abszess

Die in einer Häufigkeit von bis zu 25% auftretenden lokalen Abszedierungen sind eine Domäne der interventionellen Sonografie oder Radiologie und selten eine Indikation zur Relaparotomie.

Blutung

Blutungen nach Pankreastrauma können als Arrosionsblutung bei liegenden Drainagen oder infolge einer anhaltenden Infektion entstanden sein. Die interventionelle Angiografie mit selektiver Embolisation ist das Verfahren der Wahl bei arteriellen Blutungen, da die Notfallrelaparotomie mit einer hohen Letalität behaftet ist.

Pseudozysten

Posttraumatisch entstandene Pseudozysten können durch eine endoskopische, transgastrale Zystendrainage behandelt werden, wenn die Zystenwand der Rückwand des Magens vollständig anliegt. Alternativ kann eine perkutane Zystendrainage erfolgen, wobei zuvor mittels ERCP eine Verbindung der Zyste zum Ductus Wirsungianus ausgeschlossen worden sein sollte, da ansonsten mit einer persistierenden äußeren Fistel gerechnet werden muss. In solchen Fällen sollte nach Ausbildung einer adäquat festen Zystenwand (6–8 Wochen) einem chirurgischen Drainageverfahren (Zysto-Jejunostomie) als definitive Versorgung der Vorzug gegeben werden.

Chronische Pankreatitis

Eine chronische Pankreatitis infolge einer Gangstriktur wird in bis zu 5% angegeben und durch ERCP inkl. Stent bzw. operativen Drainage (Roux-Y) oder Linksresektion behandelt. Eine möglichst frühzeitige operative Freilegung mit organerhaltender Operationstechnik durch den Einsatz von externen Drainagen führt in der Mehrzahl der Fälle einer traumatischen Pankreasläsion zu einer erheblich verringerten Mortalität bei noch akzeptabler Morbidität. Eine Reduktion der Pankreassekretion kann sich prognostisch günstig auswirken. Dies kann durch parenterale Ernährung, fettarme Formuladiät oder initiale Somatostatintherapie über 7–10 Tage erreicht werden. Dadurch lassen sich die posttraumatischen Komplikationen reduzieren.

Prognose

Pankreasverletzungen stellen mit einer Gesamtmorbidität von 30–40% die Organläsion mit der höchsten Komplikationsrate dar (Jurkovich 2004). Neben der oftmals verzögerten Erkennung ist die besondere Beschaffenheit der Bauchspeicheldrüse hierfür verantwortlich. Mit Ausnahme der chronisch-entzündlich veränderten Bauchspeicheldrüse lässt sich das leicht zerreißbare Parenchym außerordentlich schlecht chirurgisch versorgen. Hinzu kommt noch die tryptische Wirkung des Pankreassekrets.

Während die Mortalität bei der isolierten Pankreasläsion zwischen 2 und 17% liegt (Jurkovich 2004), beträgt die Gesamtmortalität aller Pankreasverletzungen zwischen 15 und 34%, als Ausdruck der häufig vorliegenden Begleitverletzungen mit Gefahr der Entwicklung eines septischen Multiorganversagens (Boffard 2000).

Externe Drainageverfahren in Verbindung mit Damage Control Surgery sind einerseits mit einer hohen Morbidität aufgrund der sich oftmals entwickelnden chronischen Fisteln behaftet. Sie zeichnen sich andererseits jedoch durch eine geringe Letalität aus. Dem stehen die bei Gangläsionen indizierten Anastomosenverfahren mit einer Mortalität von bis zu 20% und einer Morbidität von bis zu 50% gegenüber. Die primäre, ausgedehnt-operative Versorgung schwerer Pankreaskopfverletzungen ist mit einer Mortalität von bis zu 50% belastet und sollte nur als ultima ratio zum Einsatz kommen.

3.4 Hohlorgane

S. Rüth, M. Anthuber

3.4.1 Magen

Ätiologie

Verglichen mit der Häufigkeit von Milz- und Leberverletzungen sind traumatische Läsionen des Magens äußerst selten. Insbesondere beim stumpfen Bauchtrauma werden nur in Ausnahmefällen höhergradige versorgungsbedürftige Verletzungen des Magens beobachtet. Die Häufigkeit der Magenperforation im Rahmen des stumpfen Abdominaltraumas wird mit 0,9–1,7% angegeben. Den wesentlichen pathogenetischen Faktor stellt hierbei die pralle Füllung des Magens mit Flüssigkeit und Speisen dar, sodass es nur dann und im Rahmen einer erheblichen, abdominellen Gewalteinwirkung zu einer Magenzerreißung kommen kann. In einer derartigen Situation kann die Magenwand, vergleichbar mit der Hülle eines Luftballons, einem kurzfristigen, maximalen äußeren Druck nicht standhalten, und der transmurale Riss durch alle Wandschichten mit Entleerung von Speiseanteilen ist die Folge. Überwiegend wird diese seltene Verletzung bei Verkehrsunfällen

beobachtet mit maximaler abdomineller Kompression des Fahrzeuglenkers zwischen Sitz und Lenksäule des Pkw.

Die Magenruptur ist eine außerordentlich seltene Folge eines abdominellen Traumas und meist Zufallsbefund bei der operativen Exploration des traumatisierten Abdomens. Beobachtet wird diese Verletzung nahezu immer nur bei praller Füllung des Magens zum Zeitpunkt des Unfalls.

Abzugrenzen von der durch stumpfe Gewalteinwirkung entstehenden Verletzung, die sehr selten ist, ist die perforierende Magenverletzung. Ätiopathogenetisch stehen Messerstichverletzungen an erster Stelle. Bedeutend seltener werden Pfählungsverletzungen unter Beteiligung des Magens beschrieben. Während Messerstichverletzungen in mitteleuropäischen Ländern nur selten sind, findet man sie gehäuft in amerikanischen großstädtischen Ballungszentren sowie südamerikanischen und afrikanischen Ländern.

Klinik

Bewusstseinsklare Patienten mit stumpfem Bauchtrauma klagen über an Intensität zunehmende epigastrische Beschwerden. Bei nicht rechtzeitig einsetzender Therapie entwickelt sich im Verlauf von 4–6 h das klinische Vollbild eines akuten Abdomens als Ausdruck einer fortschreitenden, intraabdominellen Infektion. Die perforierende Magenverletzung ist naturgegeben mit einem akuten Schmerzereignis verbunden, wobei hier jedoch die Schmerzauslösung im Bereich der verletzten Bauchdecke führend ist und erst in der Folge der peritoneale Reizzustand in den Vordergrund rückt (parietaler vs. viszeraler Schmerz, s. unten). Zunächst nachlassende Schmerzen, insbesondere auch bedingt durch erste analgetische Maßnahmen, können zu einer fatalen Fehleinschätzung der Verletzungsschwere führen, da es über den transmuralen Magendefekt zum kontinuierlichen Austritt von kontaminiertem Mageninhalt kommt, mit der unausweichlichen Folge einer zunächst fokalen, überwiegend chemischen, später dann diffusen, bakteriellen Peritonitis.

Verletzungen in unmittelbarer Nähe zur kleinen oder großen Magenkurvatur sind zudem erheblich blutungsgefährdet, da sich hier die Gefäßarkaden der Magendurchblutung befinden, die aus der A. gastrica sinistra und dextra sowie der A. gastroepiploica sinistra und dextra gespeist werden. Sind größere arterielle oder venöse Äste der magenversorgenden Gefäße durchtrennt, kommt es über die Blutung in die freie Bauchhöhle innerhalb von 30–60 min zum hämodynamisch wirksamen Blutverlust mit Schockentwicklung. Bei perforierenden Verletzungen können überdies die epigastrischen Gefäße oder großkalibrige, intraabdominelle und retroperitoneale Gefäße durch die Stichverletzung betroffen sein.

Die Gefahren der Magenverletzung sind Peritonitis und hämorrhagischer Schock.

Diagnostik

Da die Magenzerreißung durch stumpfe Gewalt nahezu ausschließlich bei Mehrfachverletzten beobachtet wird, findet man bei Aufnahme des Patienten in die Klinik meist einen intubierten, nicht kooperationsfähigen Patienten vor. Die anamnestische Datenerhebung kann sich deshalb nur auf die Befragung von denjenigen richten, die Aussagen zum Unfallhergang bzw. zur Situation machen können, in der der Verunfallte geborgen wurde. Nur aus diesen Informationen, ggf. mit zusätzlichen Aussagen kooperationsfähiger Mitverunfallter, können Vermutungen über das Vorliegen einer traumatischen Magenruptur angestellt werden.

Im Falle einer Messerstichverletzung wird meist der Betroffene selbst exakte Angaben zum Unfallhergang machen können, wobei man jedoch aufgrund der unklaren Täter-Opfer-Situation nicht zwingend von der wahrheitsgetreuen Darstellung durch den Betroffenen ausgehen kann. Befindet man sich als erstversorgender Arzt am Ort des Geschehens, sollte man, wenn irgend möglich, die Tatwaffe sicherstellen. Dies ist nicht nur von strafrechtlicher Bedeutung, sondern Größe und Beschaffenheit der Klinge erlauben dem erstbehandelnden Klinikarzt wichtige Rückschlüsse auf das Ausmaß möglicher intraabdomineller Verletzungen.

Nach Möglichkeit sollte die Tatwaffe sichergestellt werden. Ein noch steckendes Messer jedoch sollte nicht herausgezogen, sondern erst während der operativen Versorgung entfernt werden.

Bildgebende Diagnostik

Bei Verdacht auf eine traumatisch bedingte Magenverletzung werden an primärer apparativer Diagnostik lediglich laborchemische Blutanalysen, die Sonografie, eine Röntgenübersichtsaufnahme des Abdomens im Stehen oder Linksseitenlage und in Ausnahmefällen eine CT benötigt. Mit Hilfe der Sonografie lässt sich eine Flüssigkeitsmenge ab 50–100 ml nachweisen (Flüssigkeitssaum im Morison-Pouch, Koller-Pouch), wobei keine sichere Aussage über die Qualität der Flüssigkeit (Blut, Mageninhalt) getroffen werden kann. Die Röntgenübersichtsaufnahme des Abdomens dient allein dem Zweck, freie Luft als Ausdruck der Hohlorganperforation nachzuweisen. Beim stehenden Patienten wird man bei Vorliegen einer transmuralen Magenverletzung mit hoher Wahrscheinlichkeit Luftsicheln unter dem Zwerchfell beobachten können, in Linksseitenlage am höchsten Punkt der rechten Flanke. Vor allem beim kreislaufstabilen Mehrfachverletzten kann die CT des Abdomens in Spiraltechnik schnell Informationen über das intraabdominelle Verletzungsmuster liefern.

Der fehlende Nachweis freier Luft im Röntgenbild des Abdomens ist nicht beweisend dafür, dass keine Hohlorganperforation vorliegt.

Labor

In der Akutdiagnostik spielt von den laborchemischen Methoden die Bestimmung des Blutbildes, der Blutgruppe und die Blutgerinnung die wesentliche Rolle. Liegt das Trauma länger als 4–6 h zurück, so wird man bereits Blutbildveränderungen im Sinne einer Leukozytose als Ausdruck der fortschreitenden Peritonitis erkennen können.

Diagnostisches Procedere

1. Anamnese bzw. Fremdanamnese:
   - Art der Gewalteinwirkung
   - Zeitpunkt
2. Klinischer Untersuchungsbefund:
   - Verletzungsmarken (Bauchdeckenhämatom, Hautverletzung, Stichwunde)
   - Abwehrspannung
   - Auskultatorischer Befund
   - Rektale Untersuchung
   - Vitalparameter (Blutdruck, Herzfrequenz, Atemmechanik- und -frequenz)
3. Apparative Diagnostik:
   - Laborchemische Bestimmungen (Hb, HK, Leukozyten, Thrombozyten, Blutgerinnung, Blutgruppe)

▼

- Sonografie (freie Flüssigkeit?)
- Röntgen des Abdomens im Stehen/Linksseitenlage (freie Luft?)
- CT (freie Flüssigkeit, intraabdominelle Hämatome, Organläsionen?)

Operative Therapie

Die Magenzerreißung des prall gefüllten Magens im Rahmen eines Polytraumas wird meist als Zufallsbefund bei der notfallmäßigen Laparotomie des Patienten wegen Milz- oder Leberzerreißung entdeckt. Nahezu immer sind es die heftig blutenden Leber- und Milzverletzungen und nicht eine vermutete Magenruptur, welche die notfallmäßige Laparotomie des Verunfallten erfordern. Von der operativen Strategie her muss ein Zugang gewählt werden, der alle Optionen für chirurgische Maßnahmen in allen 4 abdominellen Quadranten erlaubt. Ist das Abdomen eröffnet und eine erste Exploration erfolgt, müssen zuerst die lebensbedrohlichen Blutungen versorgt werden, ehe man sich nach Stabilisierung des Patienten der primär nicht vital gefährdenden Magenruptur zuwenden kann.

Die operative Versorgung einer traumatischen Magenruptur besteht in der Ausschneidung der meist im Rupturbereich zerfetzten Magenwandanteile, sodass dann die einreihige, extramuköse Einzelknopfnaht oder auch fortlaufende Naht des Wanddefekts (3/0- oder 4/0-resorbierbares Nahtmaterial) in gut durchbluteten Wandabschnitten erfolgen kann. Unter Umständen müssen längerstreckige Längsrisse quer vernäht werden, damit nahtbedingte Engstellen vermieden werden. Um Rupturen im Bereich der Magenhinterwand nicht zu übersehen, ist es zwingend erforderlich, dass nach Teildurchtrennung des Ligamentum gastrocolicum die Bursa omentalis eröffnet wird, wodurch die gesamte Magenhinterwand inspiziert werden kann. Mit Ausnahme ausgedehnter Magenwandzerstörungen sind resezierende Verfahren (Billroth I oder II, subtotale Gastrektomie) nicht erforderlich. Die Entfernung von ausgetretenem Mageninhalt, die sorgfältige Lavage des Abdomens sowie bedarfsgemäß die Drainage mit dicklumigen Silikondrainagen stellen die wichtigen Voraussetzungen für die suffiziente Prophylaxe bzw. Bekämpfung der verletzungsbedingten Peritonitis dar.

Operatives Vorgehen bei Verdacht auf Magenruptur

- Perioperative Antibiotikaprophylaxe
- Mediane Laparotomie
- Exploration des Abdomens
- Ausschneiden zerfetzter Magenwandteile
- In Ausnahmefällen: sparsame Magenresektion (B I, B II)
- Einreihige, extramuköse Naht mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0 oder 4/0
- Spülung des Abdomens
- Einlegen von Zieldrainagen
- Magensonde

Findet man einen Verletzten oder Verunfallten mit dem noch perforierenden Gegenstand in situ vor, so sollte dieser wie erwähnt bis zur definitiven Versorgung im Operationssaal belassen werden. Die Erstmaßnahmen beschränken sich hier auf die Erhaltung der Vitalfunktionen und eine Lagerung, die zusätzliche Verletzungen durch den noch liegenden Fremdkörper verhindert. Der Rückzug des perforierenden Gegenstandes erfolgt unter Sicht nach medianer Laparotomie, wobei man durch breite Exposition die verletzten Strukturen einsehen und versorgen kann. Die vorzeitige Entfernung eines perforierenden Gegenstandes oder einer Stichwaffe verbietet sich v.a. aus zwei Gründen: Zum einen kann eine nicht kontrollierbare Blutung aus einem verletzten Gefäß ausgelöst werden, zum anderen können Begleitverletzungen im Darmkonvolut bei der späteren Laparotomie unerkannt bleiben. Auch bei der perforierenden Magenverletzung werden die Wundränder am Magen sparsam exzidiert und anschließend der Defekt durch extramuköse Einzelknopfnähte verschlossen. Bei längerstreckigen Läsionen ist darauf zu achten, dass durch die Naht keine Einengung und damit Passagebehinderung in der ösophagogastroduodenalen Passage resultiert.

Operatives Vorgehen bei perforierender Magenläsion

- Perioperative Antibiotikaprophylaxe
- Belassen des perforierenden Gegenstandes
- Mediane Laparotomie
- Exploration des Abdomens
- Entfernung des perforierenden Gegenstandes
- Ausschneiden der Magenwandverletzung
- Einreihige, extramuköse Naht mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0 oder 4/0
- Spülung des Abdomens
- Einlegen von Zieldrainagen
- Magensonde

Bedingt durch die Kontamination der Bauchhöhle durch Austritt von Mageninhalt ist perioperativ eine Antibiotikatherapie indiziert. Üblicherweise kommen Cephalosporine der 2. Generation in Kombination mit Metronidazol und Aminoglykosiden zur Anwendung. Liegt die Verletzung nicht länger als 6 h zurück, und findet sich nicht bereits eine fortgeschrittene Peritonitis, so kann auf die längerfristige Gabe von Antibiotika verzichtet werden.

Laparoskopie

Bedingt durch die rasche Fortentwicklung der minimal-invasiven Chirurgie hat auch die diagnostische wie therapeutische Laparoskopie zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dies gilt weniger für die traumatische Magenruptur als vielmehr für Messerstichverletzungen mit Beteiligung des Magens. In der Hand des Geübten ist es ohne Zweifel möglich, bei Verdacht auf Hohlorganperforation mit ausreichend hoher diagnostischer Sicherheit eine Laparoskopie durchzuführen. Findet sich ein transmuraler Magenwanddefekt, so wird der versierte Laparoskopiker auch in der Lage sein, diesen Wanddefekt durch Naht zu verschließen. Allerdings sollte die laparoskopische Versorgung nicht um den Preis einer risikobehafteten, vom Standard abweichenden Methode erzwungen werden. Insbesondere muss auch hier die Magenhinterwand nach Eröffnen der Bursa omentalis inspiziert sein. Bei versteckten oder multiplen gastrointestinalen Stichverletzungen ist es u.U. nicht möglich, die einzelnen Läsionen in ihrer Ausdehnung und Gesamtheit ausreichend sicher zu erfassen. Der indirekte Hinweis einer Hohlorganperforation durch Nachweis trüber Flüssigkeit intraabdominell sollte dann ohne Zeitverzögerung den Umstieg auf das konventionelle Operationsverfahren durch mediane Laparotomie nach sich ziehen.

Nachbehandlung

Magenverletzungen, ob durch stumpfe oder spitze Gewalt, führen unvermeidbar zu einer oberen gastrointestinalen Funktionsstörung. Durch die Verletzung selbst und die Folgen der Peritonitis entwickelt sich eine Oberbauchatonie, wobei in Abhängigkeit vom

Einzelfall die propulsive Motorik des Magens und angrenzenden Dünndarms eingeschränkt sein kann. Dieser Umstand kann kurzfristig zur parenteralen Ernährung Anlass geben. Ansonsten wird heute auch früh postoperativ bei sicherer Naht am Magen die enterale Ernährung aufgenommen, mit Kostaufbau ab dem ersten postoperativen Tag z.B. durch Tee und flüssige Kost. Unter kritischer Beachtung des Allgemeinzustandes des Patienten und unter Kontrolle der Peristaltik kann rasch mit der Umstellung auf normale Kost begonnen werden. Radiologische Kontrollen zur Überprüfung der Dichtigkeit der Nahtreihe oder gar endoskopische Untersuchungen sind nicht indiziert. Nur im Falle klinischer Verdachtsmomente auf Leckage im Operationsgebiet können diese diagnostischen Maßnahmen sinnvolle Informationen zum weiteren therapeutischen Procedere liefern.

Prognose

Perforierende Magenverletzungen durch stumpfe oder spitze Gewalt haben für sich alleine gesehen eine exzellente Prognose. Bei rechtzeitigem Erkennen und frühestmöglicher, fachgerechter operativer Versorgung werden v.a. die sonstigen begleitenden Verletzungen die frühe Prognose des Patienten beeinflussen. Auch langfristig ist nach traumatischer Magenverletzung eine Einschränkung der oberen gastrointestinalen Funktion nicht zu erwarten.

3.4.2 Dünndarm

Ätiologie

Vergleichbar mit den oben beschriebenen Magenverletzungen kann auch der Dünndarm durch stumpfe oder spitze Gewalt verletzt werden. Verletzungen des Dünn- oder Dickdarms liegen beim stumpfen Abdominaltrauma in 2% der Fälle vor. Oftmals liegen penetrierende Verletzungen vor. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Dünndarmläsionen. Die Verletzungen können den Darmschlauch an sich betreffen; häufiger werden jedoch Läsionen im gefäßführenden Mesenterium beobachtet. Die relativ kurze und breite Mesenterialwurzel kann einer direkten Gewalteinwirkung von außen nicht ausweichen, weswegen Einrisse des peritonealen Überzugs bis tief in die gefäßführende Schicht hinein bei schwerem abdominellem Trauma gehäuft beobachtet werden. Das Verletzungsmuster reicht von punktförmigen, transmuralen Läsionen bis hin zur kompletten Zerreißung mit Unterbrechung der Dünndarmkontinuität.

Klinik

Der bewusstseinsklare Patient klagt über diffuse, nicht lokalisierbare Bauchschmerzen, die im zeitlichen Verlauf an Intensität zunehmen. Durch Austritt von Dünndarminhalt, aber auch Blut aus mesenterialen Gefäßen, kommt es zur Reizung des Peritoneums und über die Leitung der Nn. splanchnici zur Auslösung viszeraler Schmerzen. Je länger das Trauma zurückliegt, desto mehr imponiert die Dünndarmverletzung unter dem Bild des akuten Abdomens. Eine Organzuordnung ist dabei meist weder mit klinischen noch mit apparativen Methoden möglich.

Diagnostik

Eigen- oder fremdanamnestische Angaben sind hilfreich in der Beurteilung, ob eine traumatische Darmverletzung vorliegen kann. Bei der Inspektion des Patienten sind es besonders Gurt- und Prellmarken, die den Verdacht auf eine derartige Verletzung lenken.

Die Diagnostik beschränkt sich auf die Abdomensonografie (s. oben). Der Nachweis freier Flüssigkeit in präformierten, intraabdominellen Nischen kann den Verdacht auf eine Dünndarmläsion lenken. Fast immer sind zusätzliche Läsionen an Leber, Milz und anderen intra- und retroperitonealen Organen vorhanden.

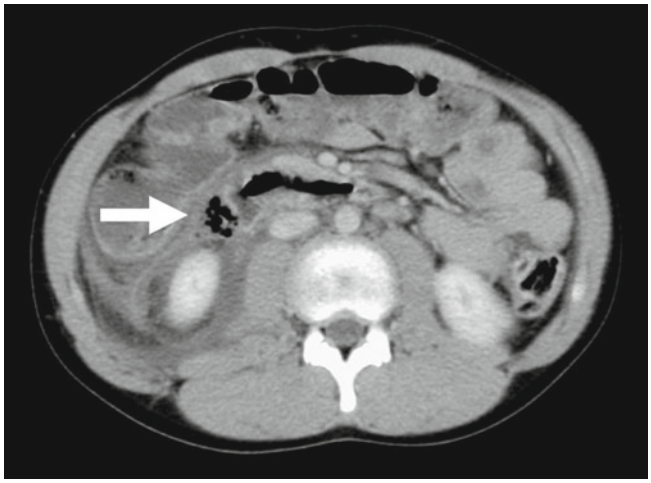


Abb. 3.28 Luft im CT als Hinweis auf eine Hohlorganperforation

Die Röntgenübersichtsaufnahme ist bei Verdacht auf Verletzung des Dünndarms wenig hilfreich, da sich unter normalen Umständen im Dünndarm keine Luft befindet, weswegen dadurch auch kein Nachweis von freier Luft bei Dünndarmperforation zu führen ist. Auch die CT ist nicht in der Lage, bei Vorliegen von freier Flüssigkeit eindeutig eine Zuordnung zu einer Dünndarmverletzung oder einer Mesenterialwurzelverletzung zu erlauben. Die initiale CT aus dem Schockraum zeigt vielfach nur geringfügige Veränderungen, z.B. im Sinne kleinerer mesenterialer Einblutungen, und verleitet zu falscher Sicherheit. Klinische oder bildgebende Verlaufsuntersuchungen müssen dann entsprechend frühzeitig die Hohlorganperforation oder ggf. das akute Abdomen erkennen und die Laparotomie indizieren. Freie intraperitoneale oder retroperitoneale Luft weist dagegen auf eine Hohlorganperforation hin (Abb. 3.28).

Ergänzt werden die wenigen bildgebenden Verfahren durch die Bestimmung des Blutbildes, woraus Rückschlüsse auf eine intraabdominelle Blutung und beginnende Infektion möglich werden.

Operative Therapie

Wie generell beim traumatisierten Abdomen erfolgt der operative Zugang über eine mediane Laparotomie, um alle Abschnitte des Bauchraums zuverlässig einsehen zu können. Wandhämatome, sofern sie nicht die gesamte Zirkumferenz erfassen, bedürfen keiner spezifischen Therapie. Gleiches gilt für nichtblutende Einrisse des Peritonealblatts im Bereich des Mesenteriums. Aktive Blutungen werden durch gezielte Umstechungen versorgt, wobei man im Bereich der Mesenterialwurzel darauf achten muss, keine zu tiefgreifenden Umstechungen vorzunehmen, sonst könnten längerstreckige Darmabschnitte von der nutritiven Blutversorgung ausgeschlossen werden, was sekundär zu Ischämie und Darmnekrose führt. Punktförmige Wandläsionen bis etwa 1 cm Durchmesser können nach Exzision der Wundränder durch Direktnaht versorgt werden (resorbierbares Nahtmaterial der Stärke 3/0 oder 4/0). Höhergradige Wandverletzungen im Sinne von Zerreißungen mit unregelmäßigen Wundrändern erfordern in aller Regel die sparsame Dünndarmsegmentresektion mit Wiederherstellung der Passage durch End-zu-End-Anastomose mit Direktnaht oder Seit-zu-Seit-Anastomose mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0 oder 4/0 (Abb. 3.29, Abb. 3.30).

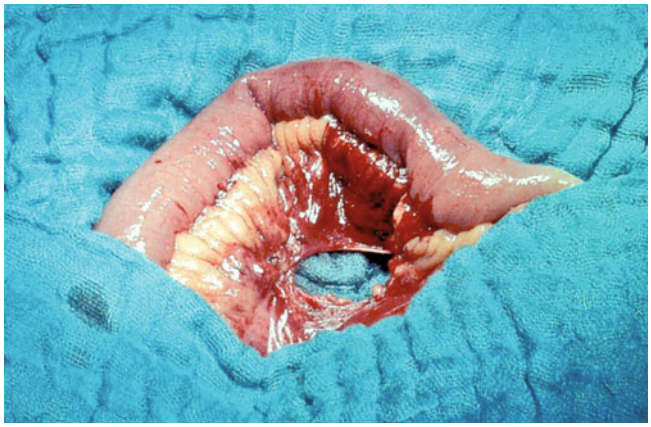


Abb. 3.29 Mesenterialeinriss

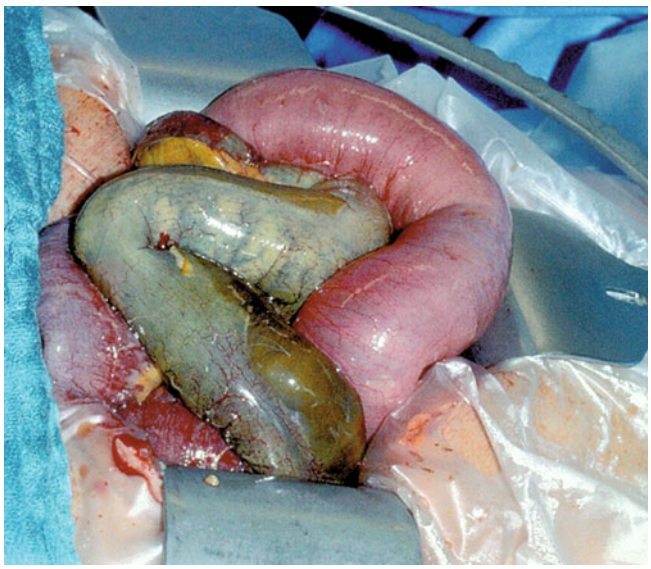


Abb. 3.30 Nekrose einer Dünndarmschlinge

Beim operativen Vorgehen sollte man das gesamte Dünndarmkonvolut vom Treitz-Band bis zum ileozökalen Übergang sorgfältig explorieren, um keine Dünndarmverletzung zu übersehen.

Wenn Darminhalt die Bauchhöhle kontaminiert hat, muss der Bauchraum vor Verschluss sorgfältig lavagiert und drainiert werden (Robinson- oder Jackson-Pratt-Drainagen). Sind mehrere, längerstreckige Dünndarmabschnitte kontusioniert und konnte man sich nicht zu multiplen Dünndarmsegmentresektionen entscheiden, so ist die Indikation zur Second-look-Operation gegeben. Nach einem Zeitintervall von 24–48 h und in Abhängigkeit von Begleitverletzungen und Allgemeinzustand des Patienten wird man relaparotomieren und die Vitalität der verletzten Dünndarmabschnitte erneut prüfen. Finden sich Zeichen einer grenzwertigen Durchblutung oder erste Hinweise für eine Durchwanderung, müssen betroffene Abschnitte sparsam reseziert werden.

Besteht Unsicherheit über den Spontanverlauf primär nicht resezierter, verletzter Dünndarmabschnitte sollte die Indikation zur Second-look-Operation großzügig gestellt werden.

Laparoskopie

Die Laparoskopie hat beim stumpfen Abdominaltrauma keinen gesicherten Stellenwert und ist insbesondere beim kreislaufinstabilen Patienten kontraindiziert. Auch hier müssen sämtliche abdominellen Kompartimente revidiert werden. Der Eingriff kann deshalb in aller Regel allenfalls dem Ausschluss einer operationspflichtigen Verletzung dienen und indiziert im anderen Fall meist die Konversion. Dadurch ist das denkbare Indikationsspektrum bereits erheblich limitiert. Aufgrund der Kreislaufverhältnisse und der präoperativen Diagnostik ist vielfach die Operationsindikation ohnehin gegeben.

Sinnvolle Einsatzmöglichkeiten der Laparoskopie bestehen dagegen bei der abdominellen Stichverletzung. Da in einem Drittel der Fälle keine Perforation des Peritoneums vorliegt, kann die Laparoskopie als Diagnostikum in diesen Fällen eine intraabdominelle Verletzung sicher ausschließen. Bei Penetration des parietalen Peritoneums wird überwiegend zur Laparotomie geraten, da die Sensitivität der Laparoskopie für den Nachweis gastrointestinaler Verletzungen niedrig angegeben wird. Letztendlich kann aber auch hier in individueller Einzelindikation bei bekanntem Stichverlauf und entsprechender Erfahrung des Operateurs eine umschriebene Dünn- oder Dickdarmläsion laparoskopisch (assistiert) versorgt werden.

Damage Control Surgery

Der schwerverletzte kreislaufinstabile Patient stellt besondere Anforderungen an die operative Versorgung. Diese Patienten mit hohem Risikoprofil durch schwere Blutung mit Massentransfusion, Gerinnungsstörung, Hypothermie, Azidose, hohem Injury Severity Score (ISS) und prolongierte Schockphase bedürfen in der initialen Phase einer zügigen Schadensbegrenzung durch Blutstillung, Packing, Wrapping, provisorischem Bauchdeckenverschluss und Unterbindung der abdominellen Kontamination. In Bezug auf verletzte Hohlorgane werden diese unter Vermeidung aufwändiger Rekonstruktionsphasen im Sinne eines Resektionsdébridements versorgt und die Darmenden durch Klammernähte ohne Anastomosierung oder Stomaanlage blind verschlossen. Im Rahmen einer Second-look-Laparotomie nach 24–48 h erfolgen geplant am stabilisierten Patienten die rekonstruktiven Eingriffe bzw. weitere resezierende Maßnahmen.

Prognose

Verletzungen des Dünndarms und des Dünndarmmesenteriums sind für sich allein meist nicht die überlebensbestimmenden Läsionen. Nahezu immer werden derartige Traumen bei abdominellen Mehrfachverletzungen unter Beteiligung von Leber oder Milz beobachtet, und in der Folge wird das Schicksal des Patienten durch diese Verletzungen bzw. deren Auswirkungen bestimmt. Darüber darf jedoch nicht vergessen werden, dass tiefe Mesenterialwurzeleinrisse, wenn sie nicht rechtzeitig versorgt werden, zum hämorrhagischen Schock führen können.

3.4.3 Dickdarm

Ätiologie

Stumpfes Bauchtrauma oder die Bauchwand perforierende Gegenstände können verschiedene Muster von Verletzungen am Dickdarm hinterlassen. Das Spektrum reicht von der Kontusion mit Einblutungen in die Darmwand und das Mesenterium bis hin zu längerstreckigen Darmwandeinrissen und subtotaler Durchtrennung der Dickdarmkontinuität. Je nach Ort der maximalen Krafteinwirkung bzw. Lokalisation einer Stich- oder Schussverletzung werden proxi-

male, mittlere oder distale Dickdarmanteile betroffen. Bei stumpfer Gewalteinwirkung bestehen Ausweichmöglichkeiten im Wesentlichen nur für das Colon transversum und das Colon sigmoideum, da diese beiden Dickdarmabschnitte an längeren Mesenterialansätzen fixiert sind und dadurch eher einer umschriebenen Krafteinwirkung ausweichen können. Colon ascendens und Colon descendens hingegen sind bindegewebig im Retroperitoneum fixiert.

Klinik und Diagnostik

Wie bei allen stumpfen Bauchtraumen, die im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen beobachtet werden, können Prellmarken der Bauchdecke auf eine tiefer liegende Verletzung hinweisen. Die Aussagekraft bildgebender Diagnostik ist v.a. bei Mehrfachverletzten erheblich eingeschränkt. Weder die Sonografie noch die CT müssen bei einer derartigen Verletzung größere Mengen freier Flüssigkeit zeigen. Eine Röntgenübersichtsaufnahme des Abdomens kann u.U. durch Nachweis freier Luft den Verdacht auf eine Kolonperforation erhärten.

Blutbildkontrollen mit Nachweis eines erniedrigten Hämoglobingehalts und möglicherweise einer Leukozytose können ebenfalls nur Verdachtsmomente dafür liefern, dass durch einen Mesenterialeinriss größere Mengen Blut intraabdominell verloren wurden oder dass eine Dickdarmperforation mit beginnender peritonitischer Reaktion vorliegt. Üblicherweise wird aufgrund höhergradiger Verletzungen an Leber oder Milz die dringliche Notwendigkeit zur operativen Exploration gesehen. Monotraumen des Dickdarms sind bei stumpfem Bauchtrauma eine Rarität, bei Schuss- oder Stichverletzungen jedoch durchaus üblich.

Operative Therapie

Die Versorgung traumatischer Dickdarmläsionen wird wesentlich bestimmt vom Ausmaß der Verletzung, der Stuhlverunreinigung des Abdomens und der Gesamtsituation des Patienten. Kleinere Defekte der Darmwand können durch seromuskuläre Einzelknopfnaht versorgt werden. Einrisse, die mehr als 50% der Darmzirkumferenz einnehmen, müssen jedoch durch Segmentresektion behandelt werden (Abb. 3.31).

Zwingend erforderlich sind immer die ausgiebige Lavage des Abdomens und die Platzierung von Zieldrainagen. Bestehen Zweifel bezüglich der primären Heilungschancen von Dickdarmanastomosen oder handelt es sich um einen Schwerstverletzen, so sollte großzügig die Indikation zum protektiven Loop-Ileostoma gestellt werden. Diese einfache und schnell durchzuführende Maßnahme entlastet eine gefährdete Anastomose, minimiert das Letalitätsrisiko von Seiten der abdominellen Verletzungen und erlaubt die frühere enterale Ernährung. Bei ausgiebigen Verletzungen in distalen Kolonabschnitten bzw. dem angrenzenden Rektum ist die Resektion der zerstörten Darmanteile im Sinne einer Diskontinuitätsoperation nach Hartmann zu beenden. Der orale Dickdarmschenkel wird als endständiges Kolostoma ausgeleitet, der aborale Schenkel wird nach Verschluss des Abdomens von rektal her vorsichtig gespült und von Stuhlresten befreit (Abb. 3.32).

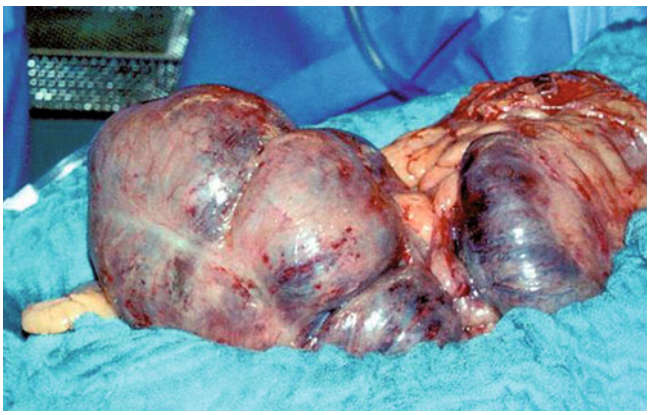


Abb. 3.31 Kontusion des Kolons

Operatives Vorgehen bei traumatischer Kolonläsion

- Perioperative Prophylaxe
- Mediane Laparotomie
- Exploration des Abdomens
- Anfrischen der Wundränder bei Verletzungen <50% der Kolonzirkumferenz
- Einreihige, extramuköse Naht mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0 oder 4/0
- Spülung des Abdomens
- Einlegen von Zieldrainagen
- Magensonde

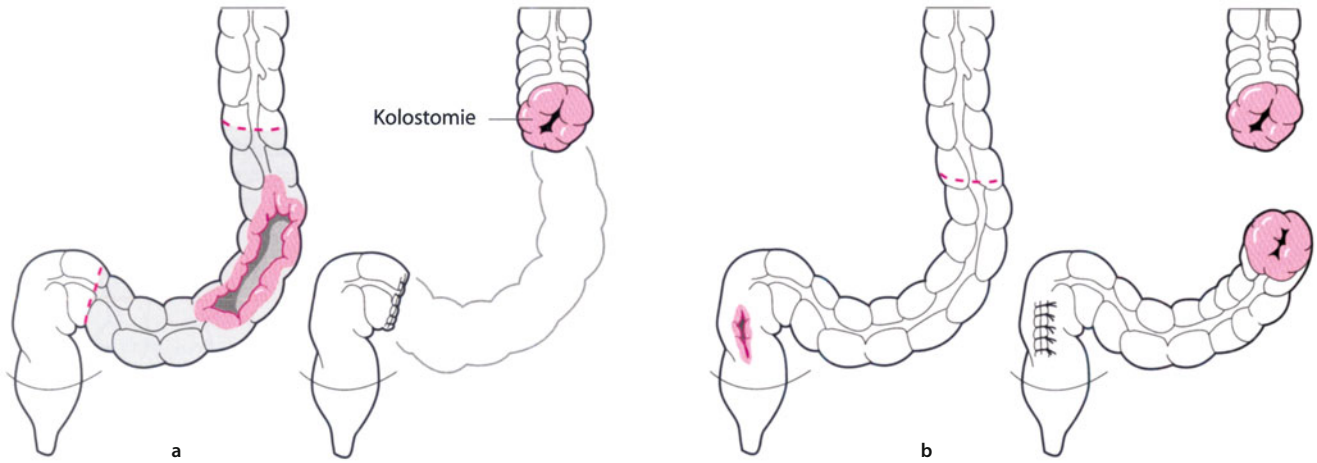


Abb. 3.32a,b Versorgung von Sigma und Rektum. **a** Hartmann-Resektion mit doppelläufigem Stoma. **b** Drainage bei Rektumverletzung. (Aus: Pichlmayr 2000)

3.4.4 Rektum

Ätiologie

Da sich etwa die Hälfte des Rektums extraperitoneal befindet und der intraperitoneal gelegene Anteil durch die umgebenden Knochenstrukturen vor Gewalteinwirkungen v.a. von ventral geschützt ist, werden isolierte Rektumverletzungen im Rahmen stumpfer oder perforierender abdomineller Traumen nur in Ausnahmefällen beobachtet. Ein bedeutend höheres Verletzungsrisiko für das Rektum besteht bei Gewalteinwirkung durch scharfkantige Gegenstände, die von perineal her auf das Becken einwirken – in erster Linie bei Pfählungsverletzungen durch Sturz aus größerer Höhe oder durch ein Beckentrauma beim Motorradfahrer durch den Anprall gegen Tankanteile oder den Motorradlenker. Hier kann es neben der Berstung knöcherner Beckenanteile zu schwersten komplexen Verletzungen der Beckenweichteile unter Einbeziehung distaler Rektumabschnitte und Teilen des Sphinkterapparats kommen.

Klinik

Nach stumpfem Trauma können ausgedehnte Hämatome perineal und gluteal beobachtet werden, beim Mann u.U. begleitet von einem Skrotalhämatom, bei der Frau von ausgeprägten Einblutungen in die großen Labien. Bewusstseinsklare Patienten beschreiben heftige Schmerzen im Dammbereich. Ist der reichlich durchblutete Plexus haemorrhoidalis in die Verletzung mit einbezogen, können erhebliche peranale Blutverluste bis hin zum hämorrhagischen Schock auftreten.

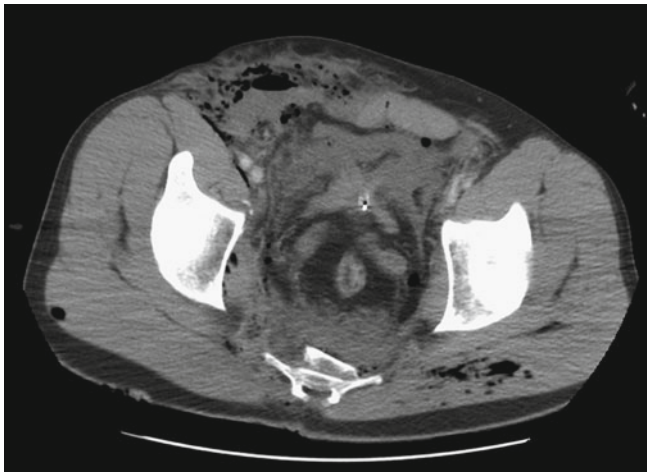
Diagnostik

Im Vordergrund der klinischen Diagnostik steht die sorgfältige Untersuchung des Patienten, wobei dies in aller Regel nur in Narkose möglich ist. Die digitale Untersuchung des Rektums kann wichtige Hinweise über Wanddefekte und Sphinkterzerreißungen geben. Bei weiblichen Patienten muss die Scheide inspiziert werden, um Begleitverletzungen am äußeren Genitale zu erkennen. Generell bedürfen derartige Patienten einer umfassenden urologischen (s. unten) und gynäkologischen Diagnostik, da durch die enge nachbarschaftliche Beziehung der Organe des kleinen Beckens urogenitale Begleitverletzungen nahezu regelhaft gefunden werden. Hinweise für Verletzungen in diesem Bereich kann die Katheterisierung der Harnröhre bringen, wenn primär eine problemlose Passage des Katheters nicht möglich ist oder sich nach erfolgreicher Katheterisierung eine Makrohämaturie zeigt.

Die operative Diagnostik umfasst bei Verletzungen des Anorektums die Prokto- und Rektoskopie. Bildgebende Verfahren wie die CT oder die MRT sind bei der Abklärung komplexer Beckentraumen v.a. zur Beurteilung der Weichteil- und knöchernen Situation unabdingbar (◘ Abb. 3.33).

Für die Einschätzung des lokalen Verletzungsausmaßes am Schließmuskel und Mastdarm sind meist jedoch durch ausgeprägte Einblutungen und unübersichtliche Verhältnisse nur wenig zusätzliche Informationen zu gewinnen. Sofern keine vital bedrohenden Verletzungen die notfallmäßige operative Erstversorgung erfordern, wird man im Operationssaal in Steinschnittlage die Prokto- bzw. Rektoskopie durchführen. Meist gelingt es erst nach Säuberung und Blutstillung im Verletzungsgebiet, das exakte Verletzungsausmaß zu erfassen. Besonderes Augenmerk wird man hierbei auf die Beurteilung der Integrität des Sphinkters richten.

Bei perinealer Verletzung ist das anorektale Kontinenzorgan häufig mitbetroffen.



◘ **Abb. 3.33** Multiple Lufteinschlüsse im gesamten Beckenbereich als Ausdruck einer extraperitonealen Ruptur des Rektums

Operative Therapie

Wie bereits zuvor erwähnt, sind Verletzungen am Rektum bzw. weiter proximal am rektosigmoidalen Übergang selten, da die knöchernen Strukturen hier einen Schutz vor direkter Gewalteinwirkung bieten. Findet sich jedoch bei der notfallmäßigen Laparotomie eine höhergradige Verletzung des proximalen oder mittleren Rektumdrittels, so sollte eine Rektumsegmentresektion mit End-zu-End-Anastomosierung durchgeführt werden. Man muss im Zweifel die Indikation zum protektiven Stoma (doppelläufiges Ileostoma oder Transversostoma) großzügig stellen. Diese Maßnahme ist deshalb von herausragender Bedeutung, da eine durch Anastomosenleckage persistierende Infektion im kleinen Becken zusammen mit den anderen, meist höhergradigen Verletzungen des Patienten die Situation lebensbedrohlich verschlimmern kann.

Findet sich eine so ausgedehnte Zerreißung des Rektums, dass eine Resektion und Reanastomosierung in unverletztem Gebiet nicht möglich erscheint, so muss eine Diskontinuitätsresektion erfolgen. Dabei wird der Rektumstumpf blind verschlossen und von rektal her von Stuhlresten gereinigt und mit verdünnter Polyvidon-Jod-Lösung gespült, das Colon descendens wird im Bereich der linken mediolateralen Bauchwand transrektal als endständiges Kolostoma ausgeleitet.

Eine reine Beckenpfählungsverletzung ohne Nachweis operationsbedürftiger intraabdomineller Läsionen kann man in Steinschnittlage versorgen. Dadurch erreicht man eine breite Exposition der Anorektalregion und kann unter übersichtlichen Verhältnissen die klinische Diagnostik der Beckenweichteilverletzungen und die erforderliche operative Rekonstruktion vornehmen. Einfache Schleimhautrisse können durch Direktnaht mit resorbierbarem Nahtmaterial versorgt werden. Tiefergehende Verletzungen mit Beteiligung des inneren und äußeren Schließmuskels müssen sorgfältig unter Darstellung der einzelnen Abschnitte des Schließmuskelapparats freigelegt werden. Durchtrennte, korrespondierende Schließmuskelanteile werden mit resorbierbaren Nähten wiedervereinigt. Die Schleimhautdeckung derartiger Rekonstruktionen erfolgt nur adaptierend, sodass ein freier Abfluss für Hämatom und postoperatives Wundsekret gewährleistet ist.

Bei höhergradigen Verletzungen des anorektalen Kontinenzorgans ist es unverzichtbar, dass die operativ vorgenommene Rekonstruktion durch ein vorgeschaltetes Stoma geschützt wird. Dies erfordert, dass der Patient im Anschluss an die Sphinkterrekon-

struktion laparotomiert bzw. laparoskopiert wird. Ein doppelläufig angelegtes, nach distal blockierendes Deszendostoma ist die wichtigste Voraussetzung für eine ungestörte Heilung im perinealen Operationsgebiet. Nach einem Zeitraum von 6–12 Wochen kann das Stoma zurückverlegt werden. Wichtig ist, dass vor der geplanten Rückverlegung die Verhältnisse im Anorektum durch einen Röntgenkontrasteinlauf dargestellt werden und dass durch Sphinktermanometrie die Schließmuskelfunktion dokumentiert wird.

Operatives Vorgehen bei anorektalen Verletzungen

- Perioperative Antibiotikaprophylaxe
- Perineale Exploration mit Prokto- und Rektoskopie im Operationssaal
- Rekonstruktion zerrissener Sphinkteranteile durch resorbierbare Naht (2/0 oder 3/0)
- Bei höhergradigen Sphinkterläsionen:
  - Mediane Laparotomie
  - Exploration des Abdomens
  - Anlegen eines protektiven Stomas (endständiges oder doppelläufiges Deszendostoma, doppelläufiges Ileostoma)
  - Spülung des Abdomens
  - Einlegen von Zieldrainagen

Komplikationen und Prognose

Intraperitoneale Rektumverletzungen können durch adäquate operative Maßnahmen meist vollständig und ohne Funktionsverlust zur Abheilung gebracht werden. Dies gilt nicht im gleichen Maße für die extraperitonealen Rektumverletzungen und hier insbesondere dann nicht, wenn es zu einer subtotalen Zerstörung des Sphinkterapparats gekommen ist. Gehäuft werden Symptome analer Inkontinenz verschiedener Schweregrade nach derartigen Verletzungen beobachtet. Sollten physikalisch-medizinische Rehabilitationsmaßnahmen in Form von Beckenbodentraining (Biofeedback) zu keinen messbaren Erfolgen führen, so muss die Indikation zur sekundären Sphinkterrekonstruktion überprüft werden. Dabei haben sich die anale Endosonografie und die MRT mit Analspule als sehr hilfreich erwiesen, das Verletzungsmuster bildgebend darzustellen, um auf dieser Grundlage eine Operationsplanung für einen Reeingriff vornehmen zu können. Führt eine sekundäre Sphinkterrekonstruktion nicht zum gewünschten Erfolg oder stellen sich die lokalen Verhältnisse am Sphinkterapparat als nicht mehr wiederherstellungsfähig dar, so kann als ultima ratio zur Wiedererlangung einer analen Kontinenz eine ein- oder zweiseitige Grazilisplastik vorgenommen werden.

3.5 Urogenitalorgane

W. Rößler, W.F. Wieland

3.5.1 Niere

Ätiologie

Verletzungen des Urogenitalsystems werden v.a. durch stumpfe oder penetrierende Gewalteinwirkungen verursacht. In Deutschland überwiegen stumpfe Urogenitaltraumen, die mit >70% auf Unfälle im Straßenverkehr zurückzuführen sind. Etwa drei Viertel aller Urogenitalverletzungen entstehen im Rahmen von Polytraumen. Im Gegensatz zu Kriegsgebieten oder Ländern mit liberaler Waffengesetzgebung sind penetrierende Schuss- und Stichverletzungen in Deutschland eher selten, während sie in den USA immerhin einen Anteil von 18% erreichen (Zwergel u. Siemer 1996).

Renale Verletzungen treten bei annähernd 10% aller Patienten mit stumpfem Abdominaltrauma auf. Gelegentlich laufen sie auch zweizeitig ab.

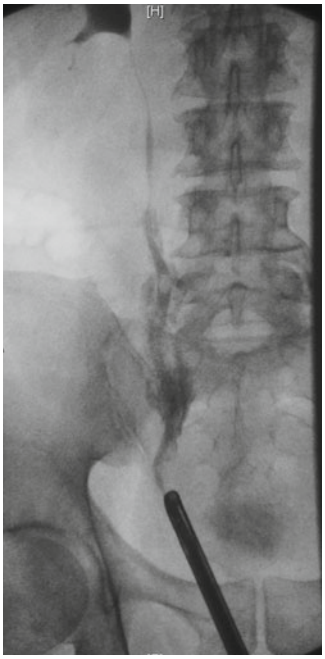


Abb. 3.34 Ureter

Klinik

Die Hämaturie ist zwar der sicherste Indikator für das Vorliegen einer Nierenverletzung, ihr Fehlen schließt allerdings ein schweres Parenchymtrauma nicht sicher aus (McAninch et al. 1991). Im Vordergrund stehen neben einer möglichen Makrohämaturie Prellmarken und Flankenschmerzen. Bei ausgedehnten Verletzungen können eine hämatombedingte Schwellung der Flanke, Peritonismus und Zeichen des Kreislaufversagens bis hin zum Schock auftreten. Die Passage von Blutkoageln über den Ureter verursacht häufig Koliken. Bei komplettem Verschluss des Ureters durch Blutkoagel oder bei Nierengefäßstielabriss fehlt die Makrohämaturie (Abb. 3.34).

Bei bestimmten Verletzungsmustern, z.B. Flankenprellung oder Fraktur der letzten Rippen, sollte unbedingt auch ohne dezidierte Symptomatik nach urologischen Begleitverletzungen gefahndet werden (Bright et al. 1978).

Diagnostik

Einer möglichst exakten Anamnese über Unfallhergang, -zeitpunkt und bisherige medizinische Versorgung folgt die klinische Untersuchung: Flankenschmerzen, Prellmarken, Meteorismus, Blutdruck, Puls sowie Fahndung nach palpatorisch evidenten Hämatomen sowie die Kontrolle von Blutbild und Gerinnung.

Entscheidend für eine exakte Diagnose und Klassifizierung der Nierenverletzung ist jedoch der Einsatz bildgebender Verfahren: Eine sofortige Sonografie als schnelle nichtinvasive Basisuntersuchung orientiert über intraparenchymale Nierenläsionen, ein perirenales Hämatom oder eine Urinextravasation (Abb. 3.35).

Nächster diagnostischer Schritt ist das Ausscheidungsurogramm (AUG), das neben einer Funktionsdiagnostik durch verletzungsbedingte Kontrastmittelextravasate eine Beteiligung der ableitenden Harnwege (Nierenbeckenkelchsystem, Harnleiter) anzeigt.

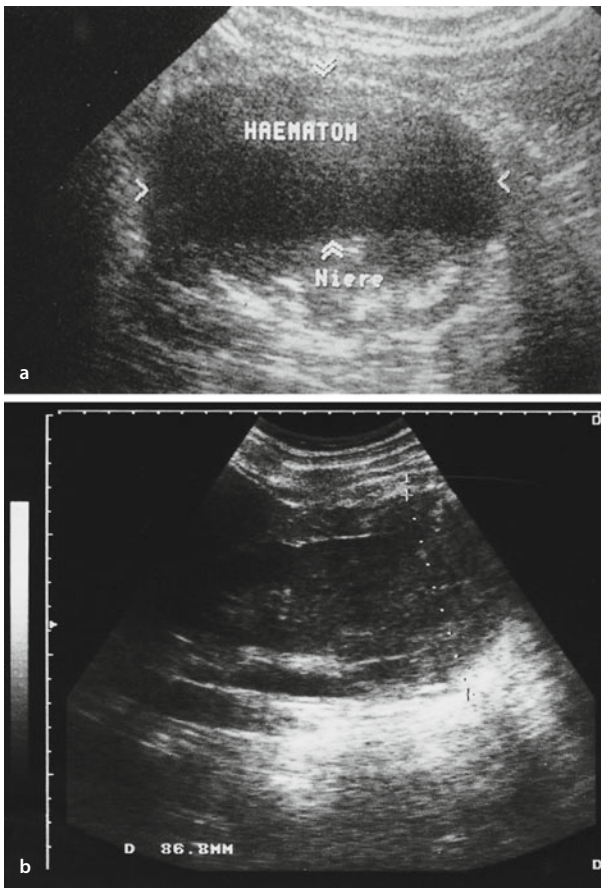


Abb. 3.35 Sonografisches Bild eines subkapsulären (**a**) und perirenalen Hämatoms (**b**)

Handelt es sich aufgrund der Befunde von Sonografie und AUG um ein schweres Nierentrauma, sollte nach Möglichkeit eine CT erfolgen. Damit lassen sich das Ausmaß der Verletzung und die Lokalisation eines etwaigen Kontrastmittelextravasats beurteilen. Außerdem eignet sich die CT in Kombination mit der Sonografie ausgezeichnet zur Verlaufskontrolle bei konservativem Vorgehen.

Die Angiografie hat als Diagnostikum weitgehend an Bedeutung verloren, außer man plant sofort anschließend die selektive Embolisation eines kleinen Nierensegments bei anhaltender Blutung. Ein retrogrades Pyelogramm sollte nur noch bei Verletzungen mit Verdacht auf Harnleiterläsion durchgeführt werden. Abb. 3.36 gibt einen Überblick über das radiologische Staging des Nierentraumas.

Klassifikation

Basierend auf allen modernen diagnostischen Möglichkeiten hat sich eine modifizierte differenzierte Klassifikation des Nierentraumas bewährt (Abb. 3.37, Tab. 3.12).

Bei Nierenverletzung Grad II wird unterschieden

- eine inkomplette Ruptur mit subkapsulärem Extravasat Grad II A,
- die inkomplette Ruptur mit perirenalem Extravasat Grad II B und
- die komplette Ruptur mit oder ohne Parenchymdissektion und retroperitonealem Extravasat Grad II C.

Bis zum Grad II B kann meist primär abwartend konservativ vorgegangen werden. Bei Verletzungen des Schweregrades II C und III ist eine sofortige operative Revision indiziert. Außerdem muss zwischen stumpfem und offenem Nierentrauma differenziert werden, da bei letzterem die Indikation zur sofortigen Operation besteht.

Konservative Therapie

Beim solitären Nierentrauma von Grad I bis Grad II A ist ein abwartend konservatives Vorgehen in 70–80% der Fälle möglich. Das konservative Vorgehen beinhaltet neben Bettruhe und antibiotischer Prophylaxe bei Infekten eine engmaschige Überwachung mit Kontrolle von Puls, Blutdruck, Temperatur, Blutbild und Nierenfunktionsparametern. Die Verlaufsbeobachtung erfolgt mittels Ultraschall und CT. Gleichzeitig sollte die Nierenfunktion

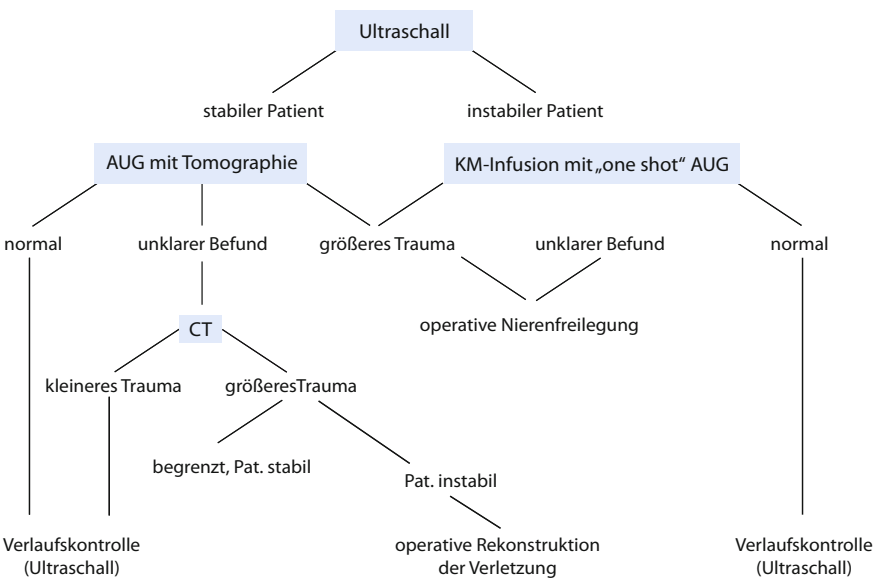


Abb. 3.36 Einsatz der bildgebenden Diagnostik beim Nierentrauma

frühzeitig mittels Isotopennephrogramm und im weiteren Verlauf die Anatomie des Hohlsystems mittels AUG kontrolliert werden. Die Dauer der stationären Überwachung richtet sich nach dem Ausmaß der Verletzung, der Symptomatik und den Kontrollbefunden. Das Vorgehen bei Nierentrauma Grad II wird kontrovers diskutiert. Bei zurückhaltender Indikation zur Freilegung einer Niere entsteht offensichtlich ein erhebliches Risiko einer sekundären Hypertonie nach konservativer Behandlung tiefer Parenchymrisse (Petersen 1989; McAninch u. Carroll 1996). Nach den Erfahrungen von McAninch stellt nur eine anhaltende Blutung die einzige absolute Indikation zur zweizeitigen operativen Behandlung eines Nierentraumas dar.

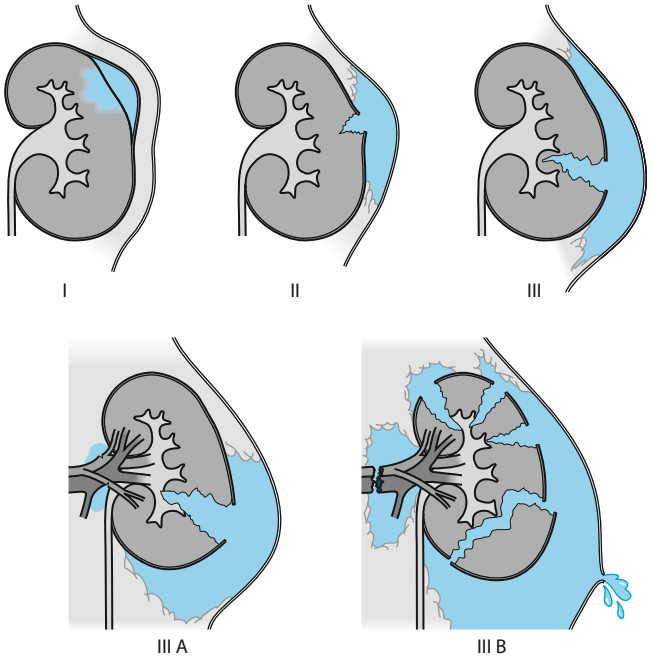


Abb. 3.37 Schematische Darstellung der 5 Schweregrade des Nierentraumas

Tab. 3.12 Klassifikation des Nierentraumas

Schweregrad	Verletzungsmuster	Häufigkeit	Therapie
I	Kleineres Trauma	85%	Konservativ
I A	Kontusion		
I B	Subkapsuläres Hämatom		
I C	Oberflächliche Ruptur		
II	Größeres Trauma	10%	Konservativ
II A	Ruptur oder operativ		
II B	Tiefe Verletzung		
II C	Kelch- und Nierenbeckeneinriss		
III	Kritische Verletzung	5%	Operativ
III A	Nierenzerreißung		
III B	Gefäßstielverletzung		
III B1	Nierenarterienthrombose		
III B2	Gefäßverletzung		
III B3	Nierenbeckenverletzung		

Operative Therapie

Absolute Indikationen

Eine absolute Indikation besteht, wenn 25–30% des Gewebes devitalisiert erscheinen, eine Extravasation oder ein sehr großes Hämatom vorliegen. Ohnehin müssen 90% dieser Patienten wegen intraabdomineller Begleitverletzungen beim Polytrauma laparotomiert werden. Der Vorrang liegt hier auf primärer Kreislaufstabilisierung und der Priorität intrakranieller, intrathorakaler und intraabdomineller Traumaversorgung.

Weitere absolute Indikationen einer operativen Nierenfreilegung bestehen bei Verletzungen vom Grad IIc und III in der Einteilung nach Hodges, also bei kompletter Nierenruptur mit retroperitonealem Hämatom oder Extravasation, Nierenberstung und Nierenstielverletzung sowie persistierender Blutung einer Grad-IIb-Verletzung nach zunächst abwartend konservativem Vorgehen.

Relative Indikationen

Relative Indikationen zur Nierenfreilegung stellen folgende Befundkonstellationen dar:

- Perirenale Urinextravasationen mit der Gefahr einer sekundären Infektion des Urinoms
- Avitale Nierenparenchymsequester mit möglicher sekundärer Abszedierung, Hochdruckentwicklung und Nierenarterienthrombosen
- Inkomplette Diagnostik bei kritischem Zustand des Patienten

Kleinere Urinextravasationen müssen nicht zwingend operativ versorgt werden, vielmehr sollte in diesen Fällen die innere Schienung mit einem »versenkten« Ureterenkatheter (DJ-Katheter) als Erstmaßnahme angestrebt werden (Abb. 3.38).

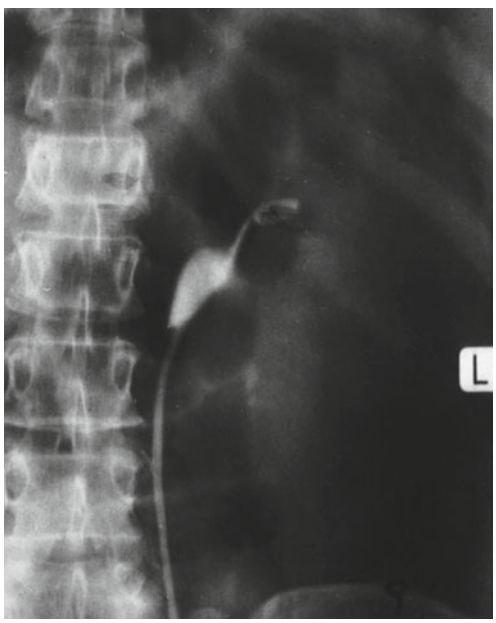


Abb. 3.38 Ausscheidungsurogramm mit Harnleiterparavasat. Kontrollaufnahme nach Harnleiterschienung

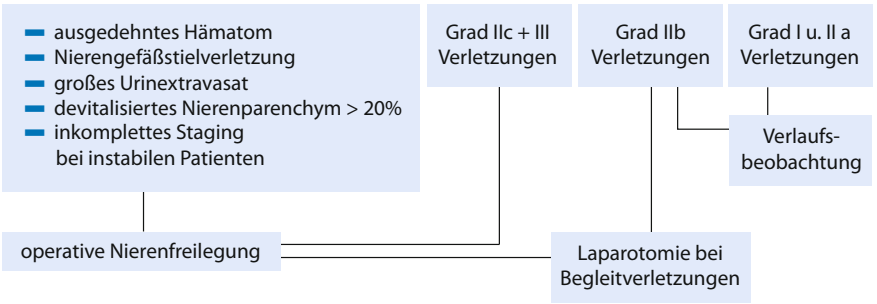


Abb. 3.39 Operatives Management bei Nierenverletzungen

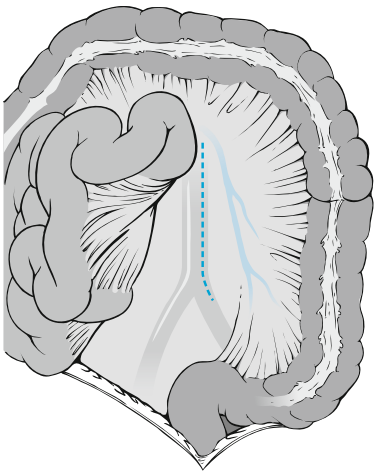


Abb. 3.40 Inzisionslinie des Retroperitoneums über der Aorta abdominalis

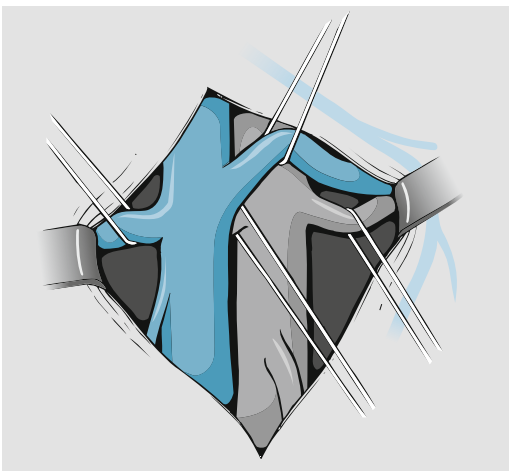


Abb. 3.41 Präparation und Anzügeln der Nierengefäße

Abb. 3.39 zeigt das Flussdiagramm des operativen Managements bei Nierenverletzungen. Aufklärung und Operationsvorbereitung des Patienten entsprechen dem klinischen Zustand sowie den allgemein üblichen chirurgischen Vorgehensweisen. Bei einer kompletten Fragmentierung der Niere bzw. beim Abriss des Gefäßstiels ist die rasche Nephrektomie meist unvermeidbar. Dennoch steht bei jeder operativen Freilegung immer das Ziel der funktionellen Nierenerhaltung im Vordergrund.

Operationstechnik

Der operative Zugang ist die mediane Ober- und Unterbauchlaparotomie (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Bei Verletzungen im Bereich des Oberbauchs mit Milz oder Zwerchfellbeteiligung kann auch ein querer Oberbauchschnitt durchgeführt werden. Beide Zugangswege erlauben eine primäre Freilegung von Aorta und V. cava sowie der Nierengefäße. Somit ist eine frühzeitige Kontrolle der Blutung mit anschließend kontrollierter Freilegung des Hämatoms gesichert. Gleichzeitig ist die Exploration des gesamten Abdomens zum Ausschluss bzw. zur Therapie von Begleitverletzungen wie Milz-, Leber- und Zwerchfellrupturen möglich.

Exzessive renale Blutungen erfordern eine unmittelbare Freilegung der Niere. Bei weniger starken Blutungen sollten andere Organverletzungen zuerst versorgt werden.

Die normalen anatomisch-topografischen Verhältnisse können durch retroperitoneale Hämatome verändert sein. In diesen Fällen erleichtert die retroperitoneale Inzision über der Aorta unmittelbar unterhalb der V. mesenterica inferior innerhalb dieser anatomischen Grenzen die schnelle operative Sanierung (Abb. 3.40, Abb. 3.41).

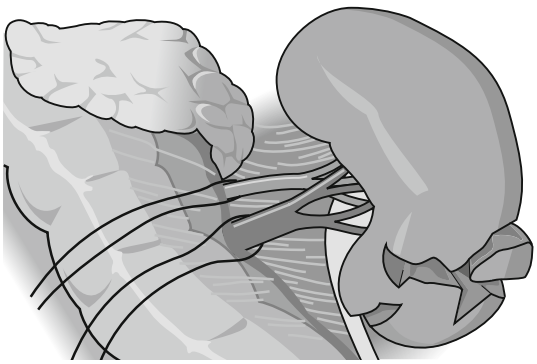


Abb. 3.42 Laterokolischer Zugang zur Niere mit Darstellung des Nierengefäßstiels

Sobald ein großes retroperitoneales Hämatom die Identifikation der Aorta behindert, sollte die Inzision unmittelbar medial der V. mesenterica inferior bzw. des Treitz-Bandes erfolgen. Die weitere Dissektion wird dann die anteriore Oberfläche der Aorta zeigen. Hierauf kann mittels oberflächlicher Dissektion die Kreuzung der linken Nierenvene vor der Aorta lokalisiert werden. Ebenso kann die rechte Nierenvene mit diesem Zugang leicht dargestellt werden. Sowohl arterielle als auch venöse Nierengefäße werden durch Gummibändchen markiert, aber primär nicht verschlossen. Die betroffene Niere muss komplett freigelegt werden, um alle Verletzungen identifizieren zu können. Der chirurgische Zugang zu beiden Nieren erfolgt immer laterokolisch (Abb. 3.42).

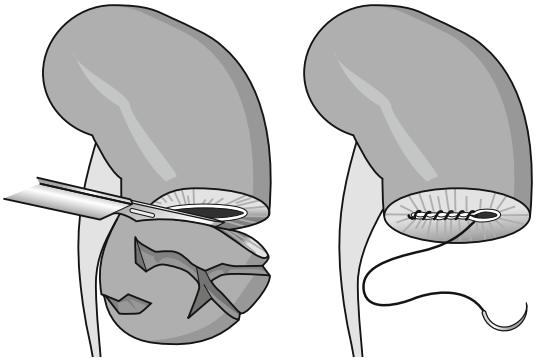


Abb. 3.43 Rekonstruktion des lazerierten unteren Nierenpols

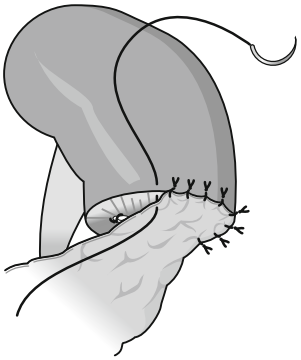


Abb. 3.44 Defektdeckung der Niere: Partielle Exzision des unteren Nierenpols, Verschluss der Nierenkelche, Defektdeckung mit gestieltem Omentum-majus-Lappen

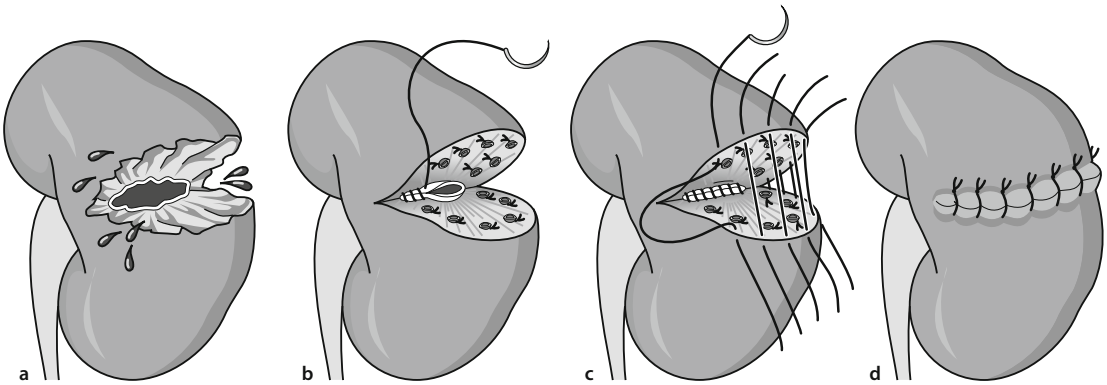


Abb. 3.45a–d Renorrhaphie. **a** Tiefer Einriss des Nierenparenchyms mit Verletzung des Nierenbeckens. **b** Verschluss des Nierenbeckens, blutstillende Nähte. **c** Verschluss des Defekts mit so genannten Matratzennähten. **d** Knoten der Nähte über resorbierbarem Tabotamp, das als Widerlager dient

Rekonstruktionstechniken

Grundregel der wiederherstellenden Nierenchirurgie ist die primäre Kontrolle der Blutstillung. Exzessive Blutungen erfordern ggf. ein Abklemmen der Nierengefäße, dabei muss die warme Ischämiezeit unter 30 min bleiben. Weiterhin erfolgt ein großzügiges Débridement avitalen Gewebes. 30% Restnierengewebe sind ausreichend zur Vermeidung einer Dialysepflicht. Blutgefäße innerhalb des Nierenparenchyms werden mit monofilem resorbierbarem Nahtmaterial (Stärke 4/0) ligiert bzw. umstochen.

Nicht resorbierbares Material sollte nicht verwendet werden, um Inkrustationen bzw. Steinbildung zu vermeiden. Deshalb erfolgt auch die Rekonstruktion des Hohlraumsystems mit resorbierbarem Nahtmaterial (Stärke 4/0). Der temporären Drainage des Hohlraumsystems dienen eingelegte DJ-Katheter oder bei größeren Defekten transparenchymatöse Nephrostomien (Charr 18–20). Die Dichtigkeit des renalen Hohlraumverschlusses kann durch Gabe von Methylenblau in das Nierenbecken überprüft werden.

Die Defektdeckung kann je nach Ausmaß der Läsion mit verschiedenen Techniken erfolgen. Wichtig ist zu diesem Zweck beim Débridement die Erhaltung der Capsula fibrosa. Fehlt die fibröse Nierenkapsel, können Peritoneum oder Omentum majus zur Deckung des Defekts Verwendung finden (Abb. 3.43, Abb. 3.44).

Bei Verletzungen des Mittelgeschosses der Niere und entsprechendem Parenchymverlust werden die Nierenpole durch eine so genannte Renorrhaphie adaptiert (Abb. 3.45).

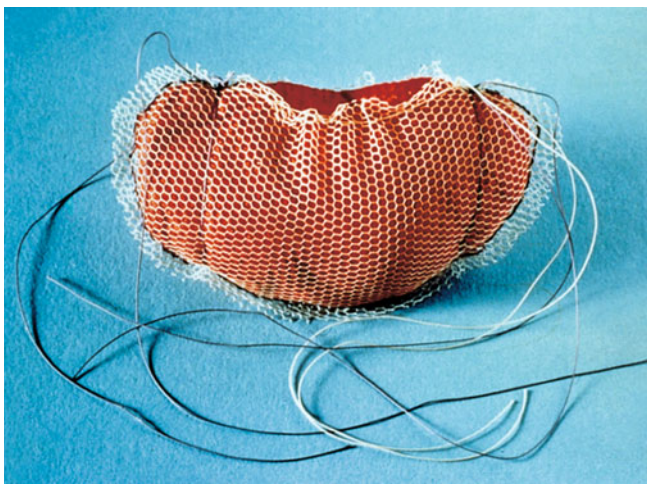


Abb. 3.46 Versorgung einer Nierenverletzung mit Vicrylnetz (Schweineniere)

Weiterhin können Defekte des Nierenparenchyms bei nicht erhaltener Capsula fibrosa durch Kompression mit einem Vicrylnetz beherrscht werden, das über die Niere gestülpt und eng anliegend vernäht wird (Abb. 3.46).

Renale Gefäßverletzung

Verletzungen im Bereich der großen Nierengefäße können zu diagnostischen Problemen führen. Die Ursache hierfür sind arterielle und venöse Thrombosen ohne massive Hämatome. Bei der Versorgung von Gefäßverletzungen werden diese in typischer Weise ausgeklemmt und mit fortlaufenden Nähten (nicht resorbierbare Nähte der Stärke 5/0) versorgt. Kleine blutende Segmentalvenen können problemlos ligiert werden. Wenn hingegen Polarterien unterbunden werden, können Parenchymverluste eintreten. Deshalb sollte man dies nach Möglichkeit vermeiden. Es schließt sich eine ausreichende Drainage des Retroperitonealraums an. Das Retroperitoneum muss nicht unbedingt gesondert verschlossen werden.

Wichtige Regeln bei der Versorgung renaler Gefäßverletzungen

- Nicht resorbierbare fortlaufende Naht der Stärke 5/0
- Segmentalvenen können ligiert werden
- Polarterien nach Möglichkeit nicht unterbinden

Nachbehandlung

Die Therapie umfasst strenge Bettruhe mit Antibiotikaprophylaxe, insbesondere gegen gramnegative Keime. Nach Austestung kann die Antibiose mit dem Ergebnis des Antibiogramms abgestimmt werden. Zur Sicherung des Heilungsverlaufs sind regelmäßige sonografische bzw. computertomografische Kontrollen erforderlich. Die Mobilisierung des Patienten richtet sich nach dem Urinsediment. Erst wenn Makro- bzw. Mikrohämaturie deutlich rückläufig sind, wird der Patient schrittweise mobilisiert.

Komplikationen und Prognose

Zu den **Frühkomplikationen** gehören:

- Perakute Blutung
- Urinphlegmone
- Infiziertes Hämatom

Ursache der häufigsten Komplikationen ist eine Fehleinschätzung mit entsprechendem Missmanagement des Nierentraumas. Neben perakuten Blutungen sind retroperitoneale Urinphlegmonen oder infizierte Hämatome in der frühen posttraumatischen Phase von Bedeutung. Septische Krankheitsbilder treten insbesondere bei polytraumatisierten Patienten mit insuffizienter Urin- und Wunddrainage auf.

Mögliche **Spätkomplikationen** sind:

- Sekundärer Funktionsausfall der verletzten Niere
- Rezidivierender Harnweginfekt
- Harnabflussstörungen mit Harnsteindiathese
- Renale Hypertonie

Sekundäre Funktions- oder Organverluste der Nieren können durch parenchymale Schrumpfungen und Fibrosierungen oder auf dem Boden unterschiedlich ausgedehnter Gefäßläsionen entstehen. Weiterhin führen Vernarbungen im Bereich des Hohlraumsystems zum Urinstau mit konsekutiver Hydronephrose. Auch aufgrund lokaler Abflussstörungen können Harnweginfektionen, Urolithiasis und Spätabszesse entstehen oder unterhalten werden.

Die renale Hypertonie ist meist Folge segmentaler Schrumpfung, entweder aufgrund ischämischer Infarzierung oder inkompletter segmentaler Gefäßläsion (Goldblatt-Effekt). In seltenen Fällen kann eine intraparenchymatöse arteriovenöse Fistel aufgrund der resultierenden segmentalen renalen Ischämie ebenfalls zum Hochdruck führen. Ein Hochdruck kann auch durch subkapsuläre oder perirenale Hämatome verursacht werden, insbesondere dann, wenn sich diese bindegewebig organisiert haben.

Die aufgeführten Komplikationen sind bei einer Gesamthäufigkeit von bis zu 47% Argumente für ein operatives Vorgehen mit exakter Versorgung und Rekonstruktion des Organs. Urinom- und Hämatomdrainagen sind unter diesem Gesichtspunkt auch bei solchen Nierenverletzungen gerechtfertigt, die nur relativ geringe Parenchym- oder Hohlraumläsionen aufweisen.

Nachsorge

Bei der posttraumatischen Langzeitnachsorge müssen die möglichen Komplikationen gezielt durch ein AUG etwa 3 Monate nach dem Unfallereignis ausgeschlossen werden. Diese Untersuchung erlaubt neben einer Erkennung von Abflussstörungen auch die frühzeitige Beurteilung der Nierenfunktion. Urinuntersuchungen mit Bakteriologie sowie Blutdruckkontrollen sind in regelmäßigen Abständen dringend erforderlich. Diese posttraumatische Langzeitnachsorge sollte 2–3 Jahre andauern (Zwergel u. Zwergel 1993, Petersen 1989).

3.5.2 Harnleiter

Stumpfe Harnleiterverletzungen sind selten. Sie treten einerseits auf durch ein Dezelerationstrauma mit extremer Lordosierung; hierbei werden in erster Linie die subpelvinen Ureterabschnitte betroffen. Andererseits kann der Harnleiter am Querfortsatz eines Lendenwirbelkörpers gequetscht werden. Häufiger ist ein Harnleitertrauma bei Schussverletzungen, wobei in 45% das proximale, in 25% das mittlere und in 30% das distale Harnleiterdrittel betroffen sind und in >90% abdominelle Begleitverletzungen vorliegen (Guerriero u. Harrison 1990).

Klinik

Bei meist fehlender Hämaturie verläuft die akute Harnleiterläsion sehr häufig symptomarm und wird oft durch andere Organverletzungen überdeckt. In etwa zwei Dritteln der Fälle wird die Diagnose verspätet gestellt. Hierbei sind Spätzeichen führend, wie zunehmender Druckschmerz, abdominelle Symptomatik mit Subileus, tastbare Raumforderung im Sinne eines Urinoms und Entzündungszeichen.

Diagnostik

Neben genauer Traumaanamnese und klinischer Untersuchung ist die Sonografie wegweisend. Mit dieser Untersuchungsmethode kann man jedoch nicht sicher zwischen einem frischen Hämatom und einem Urinextravasat unterscheiden. Außerdem findet sich anfänglich meist kein ausreichend darstellbares Extravasat. Aus diesen Gründen ist ein AUG zur weiteren Abklärung unbedingt erforderlich. Falls bei unklaren Befunden zur exakten Darstellung der Verletzung eine retrograde Pyelografie vorgesehen ist, sollte diese Untersuchung erst unmittelbar vor der therapeutischen Versorgung der Läsion erfolgen.

Klassifikation

Man unterscheidet die partielle Ruptur des Harnleiters mit erhaltener Kontinuität von der kompletten Ruptur. Für das therapeutische Vorgehen sind Ausmaß der Verletzung und Zeitpunkt der Diagnose bzw. Operation entscheidend.

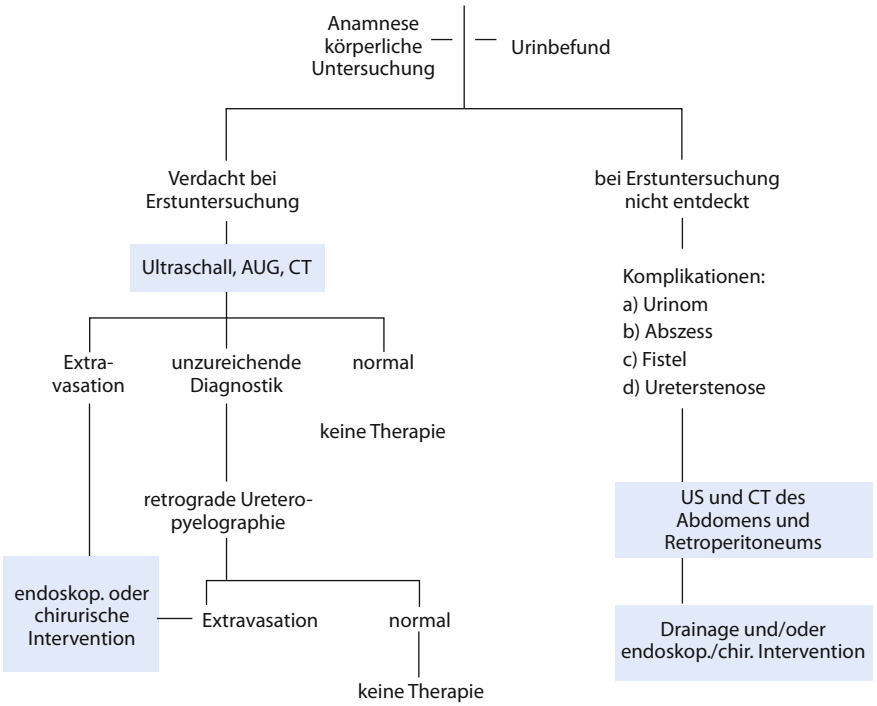


Abb. 3.47 Operatives Management bei Harnleiterverletzungen

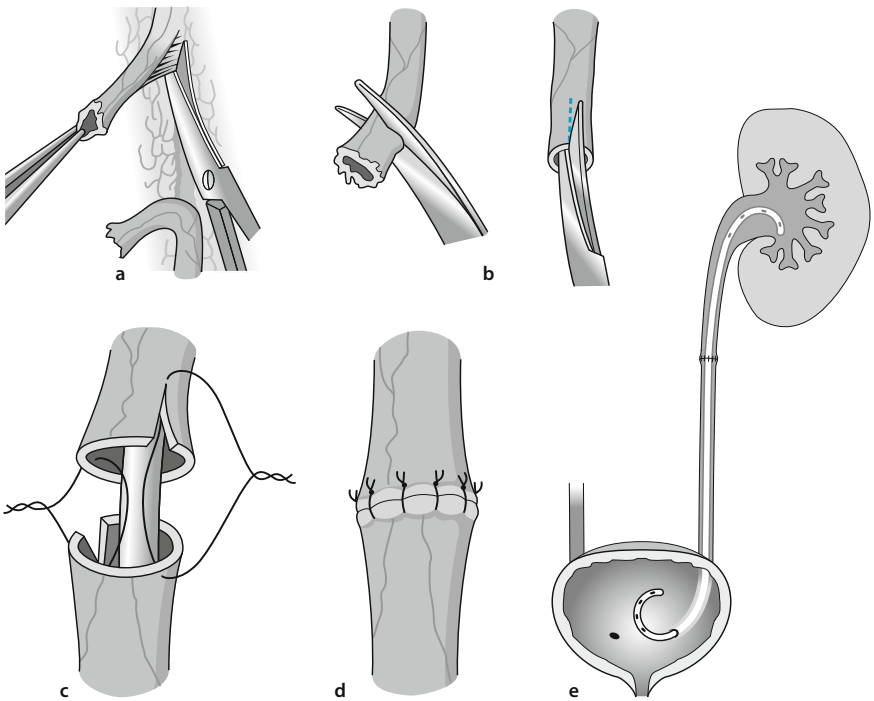


Abb. 3.48a–e End-zu-End-Anastomose des Harnleiters. **a, b** Präparation und Anfrischung sowie Spatulierung der verletzten Enden. **c** Schienung mit DJ-Katheter. **d** Naht der Anastomose mit 5/0er resorbierbaren Einzelknopfnähten. **e** Situation nach Versorgung

Therapie

Bei partieller Ruptur muss der Harnleiter mit einer inneren Schiene (DJ-Katheter) versorgt werden, die über einen Führungsdraht endoskopisch in Nierenbecken und Blase versenkt wird. Diese wird für 10–20 Tage belassen. Gelingt eine innere Schienung nicht, muss der Urinabfluss mittels perkutaner Nephrostomie gesichert werden. Beim Harnleiterabriss hängt die Art der operativen Versorgung von der Lokalisation der Verletzung bzw. Ruptur ab (Abb. 3.47).

Vorgehen

Im pyeloureteralen Teil erfolgt eine Nierenbeckenplastik.

Im mittleren Anteil des Harnleiters wird eine End-zu-End-Anastomosierung mit Anschrägung bzw. Anfrischung der rupturierten Harnleiterenden durchgeführt. Auch hierbei ist eine innere Schienung mittels DJ-Katheter unbedingt erforderlich (Abb. 3.48).

Im distalen Drittel kommen neben einer End-zu-End-Anastomose eine Harnleiterneuimplantation, u.U. mit Psoas-Bladder-

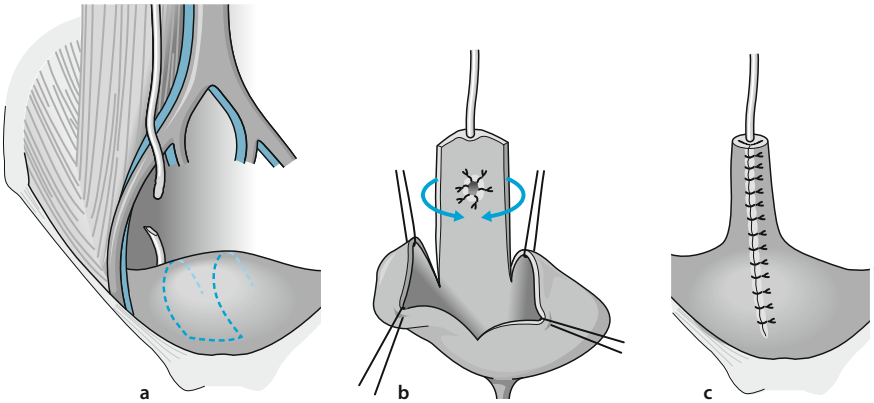


Abb. 3.49a–c Modifizierte Boari-Plastik. **a** Bildung eines gestielten Blasenlappens zur Überbrückung des Ureterdefekts. **b** Antirefluxive Implantation des Ureters. **c** Röhrenförmiger Verschluss des Blasenlappens mit resorbierbaren Einzelknopfnähten der Stärke 4/0

Hitch, oder eine Boari-Plastik infrage. Beide Operationsverfahren erlauben die plastisch-rekonstruktive Überbrückung eines prävesikalen Harnleiterdefekts mit einem Blasenwandabschnitt (Abb. 3.49).

Bestehen größere Harnleiterdefekte, sodass die genannten Verfahren nicht durchgeführt werden können, verbleiben die Autotransplantation der Niere ins kleine Becken, die Interposition einer Dünndarmschlinge oder eine Transureterostomie. Diese Operationstechniken sind jedoch meist erst in 2. Sitzung nach Sicherung der Harnableitung über eine temporäre perkutane Nephrostomie oder eine evtl. passagere Ureterostomie als Notfalleingriff möglich. Ist ein rekonstruktives Verfahren nicht durchzuführen oder erscheint es als nicht sinnvoll, verbleibt nur die Nephrektomie.

Zugang

Lagerung und Zugangsweg richten sich ebenfalls nach Lokalisation der Harnleiterverletzung bzw. der Begleitverletzungen. Beim polytraumatisierten Patienten wird in der Regel ein transperitonealer Zugang in Rückenlagerung erforderlich sein. Bei isolierten Harnleiterverletzungen, die operativ versorgt werden müssen, erfolgt bei Verletzungen im oberen Drittel der Zugang über einen Flankenschnitt streng retroperitoneal. Bei Verletzungen des mittleren bzw. unteren Drittels des Harnleiters erfolgt nach Pararektalschnitt das Abschieben des Peritoneums nach medial und Freilegung des Harnleiters in Steinschnittflachlagerung. Auch hier ist auf möglichst streng retroperitoneales Vorgehen zu achten. Die Drainage des Retroperitoneums muss in jedem Fall ausgiebig durchgeführt werden. Bei akzidentellen Eröffnungen des Peritoneums muss dieses fortlaufend verschlossen werden (Presti et al. 1989).

Nachbehandlung

Die Dauer der Bettruhe nach Versorgung von Harnleiterverletzungen ist abhängig vom Ausmaß der Verletzung und der Strecke der plastischen Deckung. Gelingt es, die jeweiligen Harnleiterenden problemlos zu mobilisieren und zu adaptieren, ist eine Bettruhe von 2 Tagen ausreichend, ansonsten empfiehlt sich eine längere Dauer von 4–5 Tagen unter antibiotischer Abdeckung.

Komplikationen und Prognose

Die häufigste postoperative Komplikation nach Versorgung von Harnleiterverletzungen stellt die Nahtinsuffizienz mit Urinom dar. Weiterhin können periureterale Abszesse mit konsekutiven Harnleiterstenosen oder Harnleiterfisteln auftreten (Kursh 1991). Die Prognose bzw. Komplikationsbreite hängt entscheidend von der verbleibenden nutritiven Durchblutung des Harnleiters und einer spannungsfreien Anastomosentechnik ab.

3.5.3 Blase

Ätiologie

Aufgrund der anatomischen Lage der Blase kann sowohl bei stumpfen als auch bei penetrierenden Verletzungen eine extra- oder intraperitoneale Läsion entstehen. In der Folge von Unterbauchtraumen handelt es sich meist um extraperitoneale Verletzungen. Sehr häufig gehen Blasentraumata mit Harnröhrenverletzungen einher. Solitäre Blasenverletzungen entstehen bei direkter Einwirkung auf die gefüllte Blase mit meist intraperitonealer Rupturierung. Penetrierende Verletzungen weisen häufig kombinierte intra- und extraperitoneale Verletzungen auf.

Klinik

Symptomtrias der Blasenruptur:

- Lokaler Schmerz
- Miktionsunfähigkeit
- Hämaturie

Leitsymptom der Blasenverletzung ist die klassische Trias von suprapubischem bzw. perinealem Schmerz, Unfähigkeit der Miktion und Hämaturie. Klinische Symptome und peritonitische Zeichen sind oft unterschiedlich ausgeprägt. Neben Bauchumfangzunahme durch geblähtes Abdomen und Abnahme der Darmperistaltik besteht häufig ein imperativer Harndrang mit Blutaustritt aus der Urethra, die »blutige« Anurie. Im Falle einer Beckenringfraktur ist grundsätzlich immer an eine Kombinationsverletzung von Harnblase oder Harnröhre zu denken. Eine begleitende Blasenruptur wird bei bis zu 85% der Patienten mit Beckenringfraktur gefunden, 9% sind vergesellschaftet mit Frakturen des proximalen Femurs und nur 6% mit nichtknöchernen Verletzungen (Husmann 1996).

Bis zu 85% der Patienten mit Beckenringfraktur haben eine Blasenruptur.

Diagnostik

Nach erfolgter Inspektion mit Aufsuchen von Prellmarken und Wunden sowie exakter abdomineller Untersuchung (Abwehrspannung!) erfolgt die Sonografie. Sie dient dem Nachweis einer vollen Blase bzw. eines intraabdominellen Extravasats. Entscheidend aber für die Verletzung der unteren Harnwege ist die unter sterilen Bedingungen durchgeführte retrograde Urethrozystografie. Die Untersuchung sollte unter Bildwandlerkontrolle erfolgen, sodass gleichzeitig vorliegende Harnröhrenverletzungen erkannt werden können. Bei Unversehrtheit der Harnröhre wird die Blase vorsichtig einmalkatheterisiert. Es folgt dann ein Zystogramm (idealerweise in a.p. und

Abb. 3.50a,b Blasenruptur extraperitoneal (**a**), intraperitoneal (**b**)

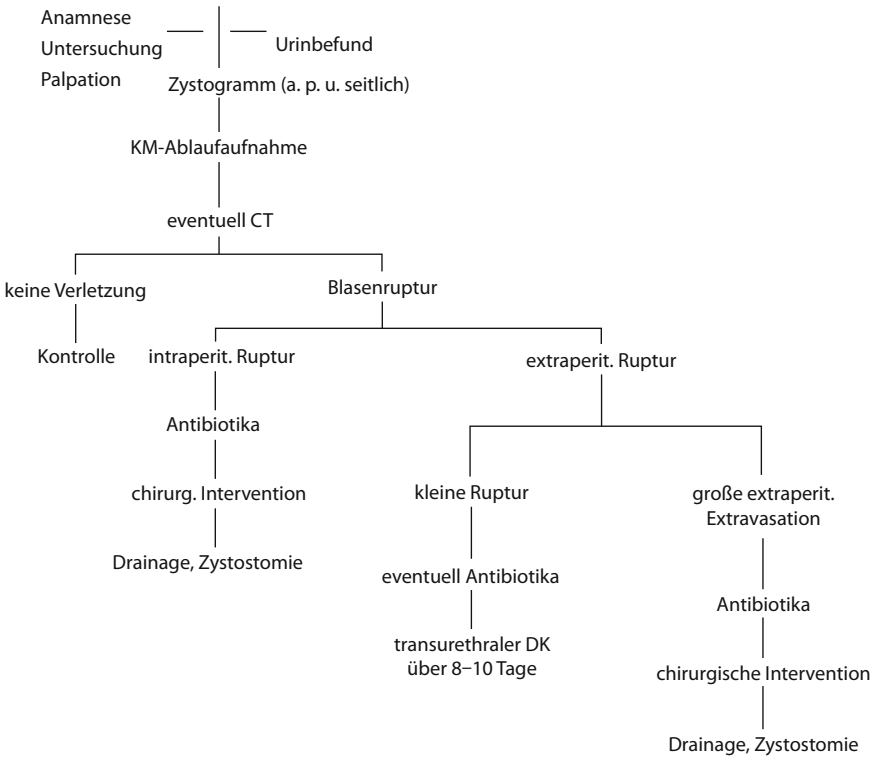


Abb. 3.51 Operatives Management bei Blasenverletzungen

seitlichem Strahlengang) mit Prallfüllung der Blase, d.h. es werden mindestens 250 ml Kontrastmittel dafür verwendet (Abb. 3.50).

Bei der Zystografie ist eine Aufnahme nach Entleerung der Blase von größter Wichtigkeit. Durch die geringere Kontrastmittelüberlagerung lässt sich die Extravasation besser der Blase zuordnen. Im Falle der intraperitonealen Ruptur stellen sich Dünndarmschlingen umflossen von Kontrastmittel mit glatter Begrenzung des Extravasats durch den Peritonealsack dar. Bei der extraperitonealen Ruptur findet sich perivesikal ein unscharfes Kontrastmittelextravasat. Bei unklaren Befunden bzw. knöchernen Verletzungen ist die Durchführung einer CT indiziert. Das AUG spielt bei der Diagnostik der Blasenruptur nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 3.51).

Operative Therapie

Die Versorgung von Blasenverletzungen ist in der Regel durch die zusätzlich bestehenden Verletzungen bestimmt. Kleinere solitäre extraperitoneale Verletzungen können durch transurethrale oder suprapubische Harndrainage versorgt werden und bedürfen dann keiner weiteren operativen Intervention. Größere extraperitoneale bzw. intraperitoneale Verletzungen erfordern jedoch die operative Revision der Blase mit Übernähung der Blasenwand. Abb. 3.51 gibt hierzu einen Überblick.

Die Versorgung erfolgt mit resorbierbarem, monofilem oder polyfilem Nahtmaterial der Stärke 2/0 bzw. 3/0. Der Verschluss der Blasenwand kann einschichtig oder zweischichtig mit getrennter (fortlaufender) Naht der Blasenschleimhaut erfolgen. Grundsätz-

lich empfiehlt sich eine suprapubische Zystostomie zur besseren Harndrainage, insbesondere bei persistierender Makrohämaturie und Verstopfungsgefahr des transurethralen Katheters. Weiterhin sollte eine ausgiebige perivesikale Drainage durchgeführt werden. Bei intraperitonealen Rupturen muss das Peritoneum über der Blase getrennt verschlossen und drainiert werden. Hierbei empfiehlt es sich, die Drainage im tiefsten Punkt des Abdomens, also im Douglas-Raum zu positionieren. Die Zugangswege bei Beckenverletzungen sind abhängig von begleitenden Verletzungen. In der Regel erfolgt der operative Zugang über eine mediane Unterbauchlaparotomie.

Nachbehandlung

Die Urindauerableitung über einen transurethralen oder suprapubischen Katheter sollte je nach Ausmaß der Verletzung über 8–12 Tage erfolgen. Vor Entfernung des Katheters empfiehlt sich ein erneutes Zystogramm zum Nachweis des suffizienten Rupturverschlusses. Falls ein suprapubischer Katheter zusätzlich zum transurethralen Katheter eingelegt wurde, muss die suprapubische Zystostomie bereits 2–3 Tage vorher entfernt werden.

Komplikationen und Prognose

Komplikationen nach adäquat versorgten Blasenrupturen sind sehr selten. Sie resultieren meist aus übersehenen Blasenverletzungen mit konsekutiver Urinphlegmone. Bei infiziertem Urin kann es zum Auftreten einer Peritonitis kommen; dies kann v.a. bei intraperitonealen Blasenrupturen geschehen. Ausgedehnte offene Pfählungsverletzungen und Beckentrümmerfrakturen können durch Begleitverletzungen zu Blasendenervation, Blasendivertikeln und Schrumpfblasenbildung führen.

3.5.4 Harnröhre

Ätiologie

Vor allem bei vorderen Beckenringfrakturen mit Symphysensprengungen wirken Scherkräfte auf die Harnröhre und den Beckenboden ein, mit der Folge einer partiellen oder kompletten Harnröhrenruptur. Fast alle Verletzungen der membranösen Harnröhre werden durch stumpfe Gewalttraumen verursacht (Zwergel 1996). Bei Beckenringfrakturen muss allerdings in bis zu 70–85% mit einer Verletzung der Harnröhre gerechnet werden (Gibson 1974).

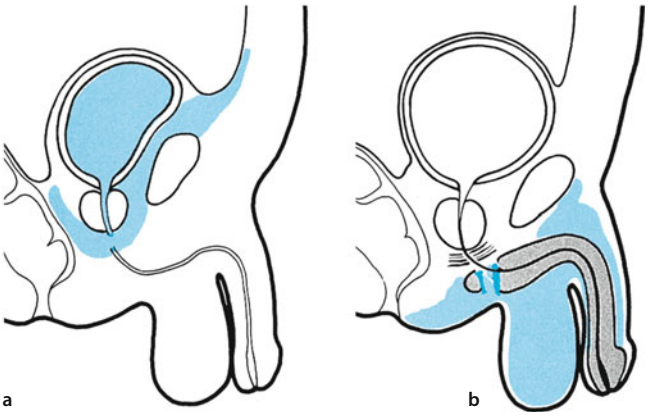
Klinik

Bei Harnröhrenverletzungen stehen immer die Blutung aus der Harnröhre (blutiger Meatus urethrae) und die imperative Miktion bei gleichzeitiger Dysurie oder sogar Harnverhalt im Vordergrund. Weiterhin bestehen starke Schmerzen im Dammbereich sowie ausgeprägte Prellmarken bzw. ein perineales Hämatom. Bei bulbären infradiaphragmalen Harnröhrenverletzungen findet sich eine charakteristische Hämatomausbreitung im Perineum oder Skrotum. Bei supradiaphragmalen Harnröhrenverletzungen oder -abrissen erfolgt die Hämatomausbreitung im kleinen Becken (◘ Abb. 3.52).

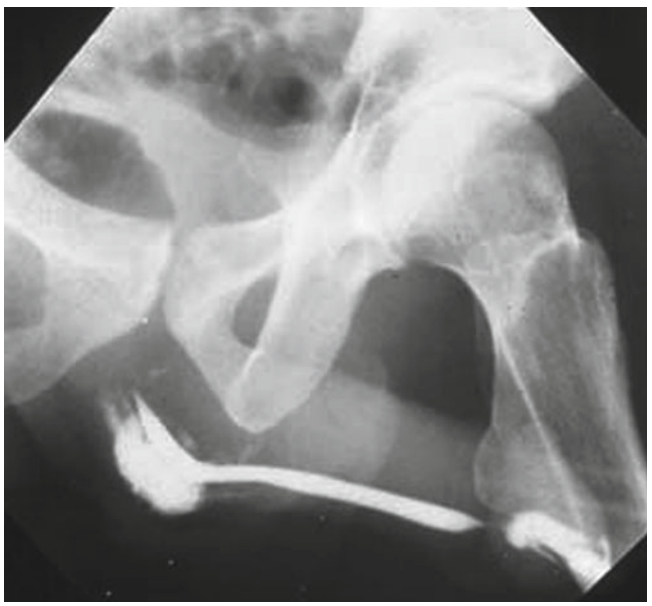
Diagnostik

Bei Verdacht auf eine supradiaphragmale Harnröhrenverletzung ist die rektale Palpation von entscheidender Bedeutung, da es bei der kompletten Ruptur durch Abriss der Ligamenta puboprostatica zu einer Dislokation von Blase und Prostata nach kranial kommt.

Die Anfertigung einer Beckenübersichtsaufnahme stellt meist den ersten Schritt der Diagnostik dar. Hiermit lassen sich Ausmaß und Lokalisation einer möglicherweise vorliegenden Beckenfraktur



◘ **Abb. 3.52** Hämatomausbreitung bei supradiaphragmaler (**a**) und infradiaphragmaler (**b**) Harnröhrenruptur



◘ **Abb. 3.53** Urethrozystogramm bei Harnröhrenruptur

feststellen. Die wichtigste Untersuchung ist jedoch, wie bei der Blasenruptur, das retrograde Urethrozystogramm. Dieses sollte unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt werden, um zu verhindern, dass Kontrastmittel unter Druck in die Samenwege gepresst wird. Exzessive Kontrastmittelparavasate können in die Umgebung der Ruptur mit entsprechendem Infektionsrisiko auftreten (◘ Abb. 3.53).

Das retrograde Urethrozystogramm ermöglicht die exakte Dokumentation der Harnröhrenläsion bezüglich Ausmaß und Lokalisation. Leider wird häufig gleich primär versucht, einen Dauerkatheter als sofortige Harnableitung zu legen. Dies begünstigt jedoch das Risiko, eine inkomplette in eine komplette Harnröhrenruptur umzuwandeln, indem die beiden Harnröhrenstümpfe durch den unsachgemäßen Kathetereinsatz dislociert werden. Eine komplette Via falsa entsteht, außerdem droht durch Keimverschleppung eine Beckenbodenphlegmone bis hin zur Osteomyelitis.

Bei geringstem Verdacht auf eine Verletzung der unteren Harnwege ist ein retrogrades Urethrozystogramm vor jedem Katheterisierungsversuch absolut indiziert (Gibson 1974).

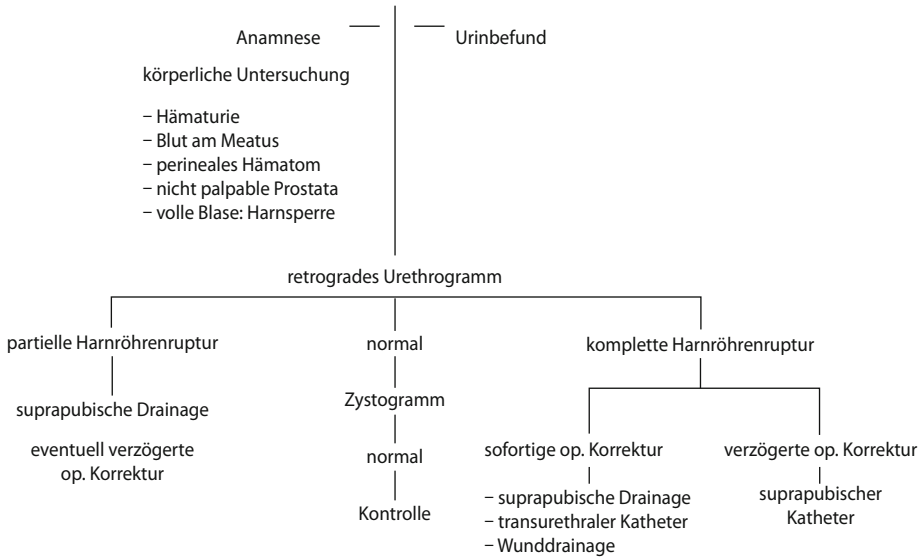


Abb. 3.54 Operatives Management bei Harnröhrenverletzungen

Klassifikation

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einer supradiaphragmalen und einer infradiaphragmalen Harnröhrenverletzung. Bei einer supradiaphragmal auftretenden Harnröhrenruptur (oberhalb der membranösen Harnröhre) breitet sich das Begleithämatom primär im kleinen Becken aus. Erst sekundär entwickelt sich dann u.U. ein skrotales Hämatom (Abb. 3.52), außerdem kann die Harnröhre durch Gewalteinwirkung auf den Damm im Sinne eines »Straddle-Traumas« beschädigt werden, d.h. eine Verletzung der Harnröhre durch ein direktes Trauma auf das Perineum, z.B. bei einer so genannten Rittlingsverletzung. Hierbei wird die bulbäre Harnröhre gegen das Schambein gepresst. Die Verletzung liegt in diesem Fall unterhalb der Pars membranacea, also infradiaphragmal. Hierbei findet sich meist ein perineales oder skrotales Begleithämatom.

Außerdem unterscheidet man zwischen einer partiellen oder kompletten Harnröhrenruptur.

Konservative Therapie

Bei partieller Harnröhrenruptur mit Erhalt der Kontinuität genügt die Einlage einer suprapubischen Zystostomie für etwa 2 Wochen. Vor dem Versuch der Spontanmiktion sollte ein Kontrollurethrozystogramm zum Ausschluss eines persistierenden Extravasats durchgeführt werden.

Operative Therapie

Abb. 3.54 zeigt das Flussdiagramm des operativen Managements von Harnröhrenverletzungen.

Alle kompletten Harnröhrenabrisse müssen operativ versorgt werden. Hierbei ist die Lokalisation der Läsion von großer Bedeutung für das operative Vorgehen.

Supradiaphragmale Ruptur

Die supradiaphragmale Harnröhrenruptur kann auf drei verschiedene Arten behandelt werden.

Die **primäre operative Versorgung der Ruptur mit End-zu-End-Anastomose** nach Anfrischung der Wundränder, Schienung der Harnröhre, begleitet von Hämatomausräumung und Drainage ermöglicht neben einer Hämatomausräumung, Beseitigung von Knochenfragmenten und nekrotischen Weichteilen eine gleichzeitige Versorgung der Beckenfraktur mit Stabilisierung des Diaphragma urogenitale. Als Zugangsweg dient in der Regel die mediane Unterbauchlaparotomie (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Ein perinealer Zugang ist nur in Ausnahmefällen erforderlich. Der Patient wird in Steinschnittlagerung flach gelagert. Hierbei sind beide Zugangswege problemlos möglich. Als Nahtmaterial dient ein resorbierbarer, monofiler Faden der Stärke 3/0. Intraoperativ sollte ein transurethraler Blasenkatheter eingelegt werden. Zur zusätzlichen Sicherung dient immer eine suprapubische Zystostomie (Charr 16–18). Gleichzeitig muss eine ausgiebige Drainage des Beckens erfolgen. Bei diesem Verfahren wird im Fall einer kompletten Ruptur die dislozierte Prostata und abgescherte Blase auf den transurethralen Katheter aufgefädelt (Abb. 3.55). Der Katheter verbleibt mindestens für 2–3 Wochen. Entscheidend wichtig für dieses Therapieverfahren ist die Stabilisierung der Beckenfraktur.

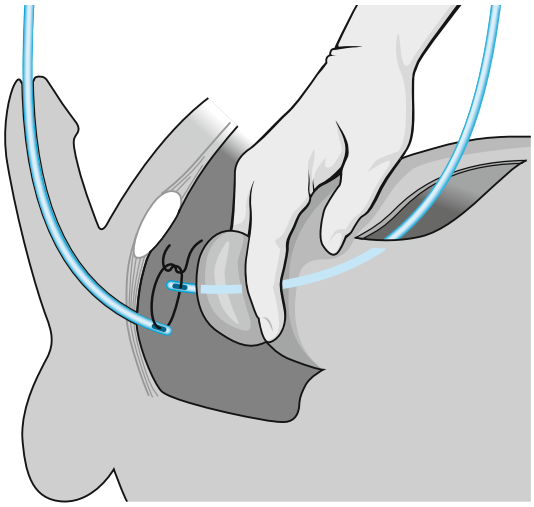


Abb. 3.55 Auffädelung eines transurethral gelegten Katheters mit Hilfe eines transvesikalen Katheters und Wiederherstellung der Harnröhrenkontinuität

Die **endoskopische, primäre Adaptation mittels transurethralem Katheter** unter Röntgendurchleuchtung oder unter manueller Kontrolle im Rahmen der operativen Versorgung der Beckenfraktur stellt das zweite mögliche Verfahren dar.

Bei der **primären suprapubischen Zystostomie und verzögerten operativen Reanastomosierung** nach 4–6 Monaten als dritter Option wird der Urin bis zum Eingriff suprapubisch abgeleitet. Operativ wird der Harnröhrendefekt überbrückt, eine entstandene Striktur reseziert und die Harnröhrenkontinuität wiederhergestellt. Als Zugangsweg empfiehlt sich hierbei grundsätzlich ein perinealer Zugang.

Infradiaphragmale Ruptur

Bei der kompletten infradiaphragmalen Harnröhrenruptur erfolgt immer ein perinealer Zugang zur Harnröhre. Nach Hämatomausräumung wird die End-zu-End-Anastomose mit Spatulierung der Harnröhrenränder, Schienung der Harnröhre durch transurethralen Katheter (Charr 18) und ausgiebiger Drainage des Wundbetts durchgeführt. Als Nahtmaterial dient auch hier ein resorbierbarer monofiler Faden der Stärke 3/0. Einzelknopfnähte werden aus Gründen der besseren Durchblutung der Anastomose und zur Strikturprophylaxe bevorzugt.

Nachbehandlung

Die antibiotische Behandlung muss während der gesamten Dauer der Kathetereinlage erfolgen. Sie erstreckt sich in der Regel über 3–4 Wochen. Vor Entfernen des Dauerkatheters sollte ein Miktionszystourethrogramm durchgeführt werden, um die Harnröhrenkontinuität nachzuweisen. Anschließend kann man die suprapubische Zystostomie entfernen.

Komplikationen und Prognose

Häufige Komplikationen sind rezidivierende Harnröhrenstrikturen, Harninkontinenz und erektile Dysfunktion (Ennomoser et al. 1990). Bei der posttraumatischen Spätmorbidität finden sich Erektions- bzw. Ejakulationsstörungen in bis zu 40% bei einer Harninkontinenzrate von gut 20%. Die Urinphlegmone bzw. die Fournier-Gangrän ist selten (Cass 1988). Es handelt sich hierbei um eine gangränöse Infektion der Weichteile des männlichen Genitales und des Perineums mit rasanter nekrotisierender Ausbreitung in alle Gewebeschichten (meist bei immungeschwächten Patienten mit Dekubitus oder bei chronischem Alkoholabusus).

3.5.5 Penis

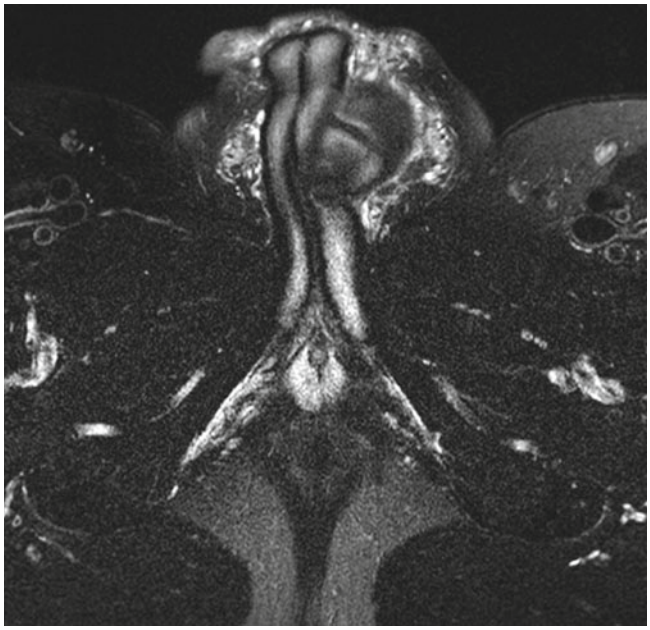
Ätiologie

Äußere Penisverletzungen entstehen meist durch ein stumpfes Trauma wie Sturz oder Tritt.

Den singulären Verletzungen liegen folgende Verletzungsmechanismen zugrunde:

- Ablederungsverletzung mit mehr oder weniger ausgeprägter Hautablederung treten auf, wenn Hautanteile samt Kleidungsstücke beispielsweise in drehende Maschinen geraten.
- Die Penisfraktur mit Zerreißung der Corpora cavernosa, u.U. mit Harnröhrenbeteiligung, entsteht bei gewaltsamer Abknickung des erigierten Gliedes vorwiegend während des Koitus (◘ Abb. 3.56).
- Die Penisamputation mit kompletter Durchtrennung von Harnröhre, Gefäßen und Nervenbündeln kann in Zusammenhang mit Unfällen oder Selbstverstümmelung stehen.

Kombinierte Verletzungen von Penishaut, Corpora cavernosa und Harnröhre können durch Masturbation eintreten, wobei meist einschnürende Ringe oder Bänder und Staubsaugerrohre verwendet werden.



◘ **Abb. 3.56** Penisfraktur

Bei stumpfen perinealen oder penetrierenden penilen Traumen kann es zu Verletzungen der Arterien des Corpus cavernosum kommen. Durch die dadurch hervorgerufene Fistelbildung kann eine persistierende Erektion, der so genannte »High-flow-Priapismus« entstehen.

Klinik

Je nach Art der Verletzung findet man ausgeprägte subkutane Hämatome, Ödeme, eine mehr oder weniger ausgeprägte Ablederung der Penishaut, akute Blutungen aus Penisarterien, unterschiedlich ausgeprägte Penisdeviationen oder sogar die Amputation. Wegweisend sind Inspektions- und Palpationsbefund.

Diagnostik

Bei Verdacht auf eine Penisfraktur muss ein Kavernosogramm, d.h. die Kontrastmitteldarstellung der Schwellkörper durchgeführt werden (◘ Abb. 3.57).

Ist eine Mitverletzung der Harnröhre erkennbar oder wahrscheinlich, ist ein retrogrades Urethrogramm indiziert. In der MRT kann die Rupturstelle exakt lokalisiert werden (Uder et al. 1997). Beim seltenen posttraumatischen High-flow-Priapismus wird die Diagnose angiografisch gesichert. Die Farbdopplersonografie dient zur Differenzierung anderer Formen des Priapismus.

Therapie

Die Therapie von Penisverletzungen beinhaltet Wunddébridement, Blutstillung und ggf. die sekundäre plastische Deckung von Defekten. Bei ausgedehnten Ablederungen kann eine vorübergehende Verlagerung eines denudierten Penis subkutan unter der Bauchdecke oder im Skrotum notwendig werden. Bei plastischer Hautdeckung des Penis sollte bevorzugt Spalthaut eingesetzt werden. Bei stark verschmutzten Wunden darf kein primärer Wundverschluss erfolgen.

Penisfrakturen mit Beteiligung der Corpora cavernosa und der Harnröhre bedürfen der operativen Freilegung. Hierbei erfolgt die Hämatomdrainage und die Rekonstruktion der Corpora cavernosa mit monofilem resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0. Harnröhrenverletzungen werden in der oben beschriebenen Art

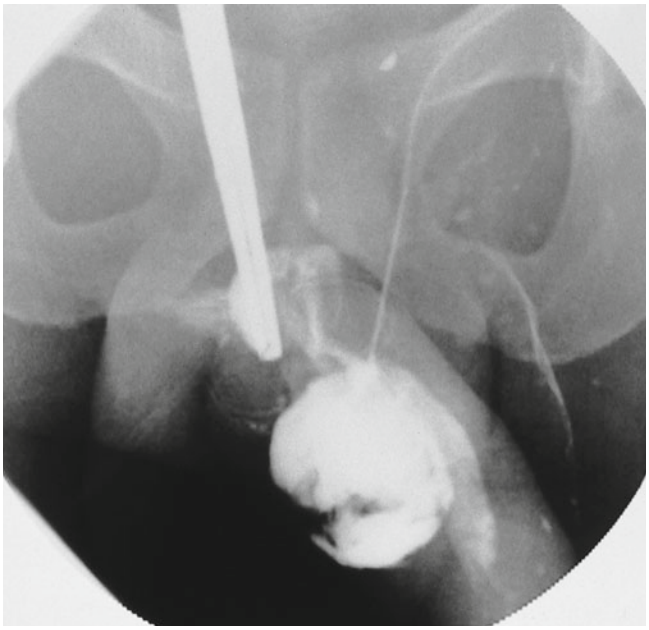


Abb. 3.57 Kavernosografie bei Penisfraktur

und Weise versorgt. Gleichzeitig empfiehlt sich eine suprapubische Harnableitung.

Penisamputationen erfordern die Replantation. Zur Verbesserung der Replantationschance ist eine rasche Revaskularisierung des amputierten Penis notwendig. Mit mikrochirurgischen Techniken wird die Dorsalarterie anastomosiert oder können Gefäßinterponate zwischengeschaltet werden. Auch das dorsale Nervenbündel wird mikrochirurgisch versorgt. Weiterhin müssen Corpora cavernosa und Harnröhre exakt rekonstruiert werden. Eine Penisreplantation sollte grundsätzlich immer versucht werden. Ausgedehnte Verletzungen mit bestehenden oder nachfolgenden Infektionen im Skrotal- bzw. Perinealbereich können jedoch eine direkte Replantation unmöglich machen oder gefährden. Eine nichtinvasive und effektive Therapie des High-flow-Priapismus ist die radiologische superselektive Embolisation der Penisarterie.

Nachbehandlung

Auch die Nachbehandlung folgt den Kriterien der chirurgischen Wundbehandlung. Bis zur Wundheilung sollte eine suprapubische Harnableitung durchgeführt werden. Bei Harnröhrenverletzungen wird vor Spontanmiktion ein Kontrollurethrogramm angefertigt.

Komplikationen und Prognose

Leichte Penisverletzungen heilen in der Regel folgenlos aus. Nach schweren Traumen kann es zu Infektionen und operationsbedingten Gefäß- und Nervenläsionen, Harnröhrenstrikturen und -fisteln sowie Fibrosierung der Corpora cavernosa mit nachfolgender Impotentia coeundi kommen. Die erektile Dysfunktion kann gefäßbedingt, neurogen oder aufgrund der Fibrosierung der Corpora cavernosa entstehen (Cass 1988).

3.5.6 Hoden und Skrotum

Ätiologie

Verletzungen des äußeren Genitale machen 7% aller Traumen im Bereich des Urogenitaltrakts aus (Cass 1988). Skrotalhautablederungen sind häufig bei perinealen Verletzungen, insbesondere bei Zweiradfahrern oder bei Pfählungsverletzungen, zu beobachten. Hoden- und Skrotumverletzungen können auch beim Sport oder durch Tätlichkeiten entstehen. Traumatisch bedingte Dislokationen des Hodens sind seltene Verletzungen. Penetrierende Verletzungen der Hoden sind 10-fach seltener als stumpfe Verletzungen. Sie führen aber in der Regel zu deutlich höheren Komplikationen als dies bei stumpfen Traumen der Fall ist. Die Hodenruptur ist definiert als Berstung der Tunica albuginea, bedingt durch abrupte stumpfe Gewalteinwirkung. Gewalteinwirkungen ab 50 kp sind ausreichend, um eine Hodenruptur herbeizuführen (Cass u. Luxenbery 1988).

Klinik

Bei stumpfen Traumen entsteht im lockeren Skrotalgewebe ein ausgeprägtes Hämatom mit massiver Schwellung des gesamten Skrotums. Eine extreme Schmerzsymptomatik steht im Vordergrund. Neben Anamnese, mit Erfassung von Unfallhergang und Schmerzentwicklung, zeigt die Inspektion das Ausmaß des skrotalen Hämatoms, die Stellung des Hodens und der Hodenachse. Eine Palpation ist häufig wegen massivster Schmerzhaftigkeit nur eingeschränkt möglich. Meist lassen sich jedoch die Resistenz des Hodens, die Abgrenzung vom Nebenhoden sowie die traumatisch bedingte Induration feststellen.

Diagnostik

Erster diagnostischer Schritt beim Hodentrauma ist die Sonografie. Sie zeigt eine peritestikuläre Flüssigkeitsansammlung bzw. ein intratestikuläres Hämatom oder sogar eine Ruptur der Tunica albuginea. Das primäre Ziel der Ultraschalluntersuchung beim Skrotaltrauma ist die Differenzierung zwischen Verletzungen der Tunica albuginea und der Darstellung einer Hämatozele. Hierbei spielt die Echogenität des Parenchyms die entscheidende Rolle. Sonografisch können auch kleine intratestikuläre Hämatome problemlos nachgewiesen werden. Auch in der Verlaufskontrolle nach stumpfen Skrotaltraumen spielt die Sonografie eine entscheidende Rolle. Eine Dopplersonografie der A. spermatica sowie des Hodenparenchyms gibt dem Untersucher exakte Auskunft über die Perfusion des Hodens. Bei unklaren sonografischen Befunden ist zum sicheren Ausschluss einer Hodenruptur ein MRT angezeigt.

Konservative Therapie

Beim leichten Hodentrauma genügt neben evtl. erforderlichem Wunddébridement und Tetanusprophylaxe eine ausreichende Schmerzbehandlung. Der verletzte Hoden sollte hochgelagert und gekühlt werden.

Operative Therapie

Schwere Verletzungen mit Hodentorsion, weitreichende skrotale Ablederungen, Pfählungsverletzungen und Ruptur der Tunica albuginea erfordern die Hodenfreilegung. Auch sie erfolgt nach den Regeln der chirurgischen Wundversorgung mit Hämatomausräumung, Blutstillung und evtl. Naht der Tunica albuginea mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 4/0. Liegen ausgedehnte skrotale Hautverletzungen bzw. -ablederungen vor, können die Hoden temporär subkutan unter die Haut des Oberschenkels verlagert werden. Die Therapie einer Hodendislokation beinhaltet die Freilegung und das Zurückverlagern des Hodens in das Skrotalfach mit anschließender Fixierung an den Hodenhüllen. Eine ausgiebige Skrotaldrainage ist unbedingt erforderlich.

Komplikationen und Prognose

Leichte Hodenverletzungen heilen komplikationslos ab. Typische Spätfolge des schweren Hodentraumas ist eine Hydrocele testis. Schwere Verletzungen können durch begleitende Gefäßkomplikationen zur Hodenatrophie mit möglichen Auswirkungen auf die Fertilität und Hormonproduktion des betroffenen Hodens führen.

3.5.7 Weibliches Genitale

Schwerwiegende Verletzungen im Bereich des unteren Harn- und Genitaltrakts der Frau sind, v.a. im Vergleich zur Inzidenz beim männlichen Geschlecht, deutlich seltener, können aber lebensbedrohliche Komplikationen und persistierende Schäden verursachen.

Ätiologie

Unterschieden wird zwischen stumpfer Gewalteinwirkung gegen den Unterbauch im Rahmen von Verkehrsunfällen sowie perforierenden Verletzungen des Unterbauchs wie Pfählungsverletzungen, Kohabitationsverletzungen und Verletzungen bei Vergewaltigungen.

Klinik

Entsprechend der Schwere der Verletzung steht die Schocksymptomatik im Vordergrund.

Anamnese, Erfassung des Unfallhergangs und der Schmerzentwicklung zeigen neben der Inspektion und Palpation häufig ausgedehnte Hämatome mit Vorwölbung der unteren Bauchdecke sowie Lazerationen und offene Verletzungen im Genitalbereich. Verletzungen des nicht schwangeren Uterus sind extrem selten. Nur bei sehr heftiger Gewalteinwirkung und pathologisch verändertem Uterus (z.B. Uterus myomatosus) kann es zu Quetschungen und Hämatomen in der Gebärmutter bzw. im Bereich der Ligamenta lata kommen (Latal u. Marberger 1996). Kohabitationsverletzungen oder auch Verletzungen durch Vergewaltigung betreffen fast immer die Scheidenwand oder das hintere Scheidengewölbe. Hymenalsaum und Vagina können bei einer Vergewaltigung aber auch durchaus unversehrt bleiben. Es kommt dann zum Einriss des Damms und Eindringen des Penis in das rektovaginale Bindegewebe sowie zur Zerreißung des Sphincter ani (Pfleiderer 1996).

Rupturen der weiblichen Harnröhre sind extrem selten. Ursache hierfür ist die lockere Fixierung der Harnröhre der Frau am Becken. Sie ist sehr straff mit der vorderen Vaginalwand verbunden. Außerdem ist sie durch die glatte Muskulatur und das Bindegewebe über dem Diaphragma urogenitale und der Ligamenta pubourethralia an den Schambeinen und an der Symphyse mobil fixiert (Patil et al. 1982). Die weibliche Harnröhrenverletzung tritt fast nur bei schwerster Gewalteinwirkung mit Zertrümmerung des vorderen Beckenrings auf. Sie kann in jeder Höhe der Harnröhre erfolgen. Am häufigsten betrifft sie den Blasenhals und das proximale Harnröhrendrittel, wobei sie immer mit einer Zerreißung der vorderen Vaginalwand einhergeht. Eine Spontanmiktion ist meist unmöglich; sollte eine Blasenentleerung jedoch möglich sein, besteht immer eine ausgeprägte Makrohämaturie.

Diagnostik

Die diagnostische Abklärung des weiblichen Genitaltrakts folgt den identischen Kriterien und diagnostischen Abläufen, wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben. Auch bei der Frau ist ein primärer Katheterismus bei Verdacht auf Harnröhren- oder Blasenverletzung kontraindiziert. Vielmehr muss als erster diagnostischer Schritt eine Ultraschalluntersuchung erfolgen. Diese zeigt mit hoher Sicherheit Hämatom- bzw. Urinextravasate. Ist die Blase gefüllt, empfiehlt sich die Durchführung eines perkutanen Zystogramms mit seitlicher und a.p.-Darstellung. Weiterhin lässt sich bereits mit einer Beckenübersichtsaufnahme sowie evtl. einer CT eine möglicherweise vorliegende Beckenfraktur nachweisen.

Bei Verletzungen im Bereich des Genitale ohne weitere Verletzungen ist zunächst an eine Vergewaltigung zu denken, da diese Gewaltanwendung von den Betroffenen häufig verschwiegen wird. Hier empfiehlt sich eine sorgfältige Befunderhebung und eine exakte Befunddokumentation. Weiterhin müssen Untersuchungen auf Spermareste und mögliche Erreger einer durch Geschlechtsverkehr übertragenen Infektion und ggf. auch die Einleitung einer polizeilichen Untersuchung erfolgen.

Pfählungsverletzungen führen je nach Ausmaß zum Nachweis von freier Luft im Bauchraum in der Abdomenleeraufnahme. Weitere diagnostische Maßnahmen sind das i.v.-Urogramm, die Vaginoskopie mit vorsichtiger Irrigoskopie mit wasserlöslichem Kontrastmittel und evtl. die Proktoskopie.

Konservative Therapie

Hämatome als Folge einer stumpfen Gewalteinwirkung können in vielen Fällen trotz beeindruckender Größe konservativ behandelt werden. Sollte es, bedingt durch das Hämatom, im Bereich des Meatus urethrae zu Harnverhaltungen kommen, empfiehlt sich die temporäre Harnableitung mit einem Dauerkatheter. Ansonsten wäre eine perkutane ultraschallgesteuerte Blasendrainage angezeigt, auch bei Infektion des Hämatoms.

Operative Therapie

Blasenrupturen erfordern die bereits beschriebene operative Versorgung. Hierbei sollte routinemäßig der Peritonealraum inspiziert werden, um gleichzeitig Verletzungen des Intestinaltrakts zu erfassen. Bei Harnröhrenverletzungen erfolgt die Sicherung der Harnableitung durch eine suprapubische Zystostomie (Charr 15–20). Harnröhrenverletzungen im proximalen Drittel erfordern in der Regel einen suprapubischen Zugang (zur operativen Versorgung der Harnröhre s. unten). Solitäre distale Harnröhrenverletzungen können problemlos über einen vaginalen Zugang revidiert werden. Grundsätzlich empfiehlt sich neben der suprapubischen Harnableitung auch die transurethrale Harndrainage durch einen Dauerkatheter. Bei perforierenden Verletzungen im Unterbauch im Rahmen von Pfählungsverletzungen, insbesondere durch Holz, sollte immer an eine traumabedingte Verschleppung einzelner Holzsplitter gedacht werden. Das entsprechende Wundgebiet muss deshalb genau inspiziert werden. Stark blutende Vaginalwunden müssen umstochen bzw. sorgfältig mit Nähten adaptiert werden. Verwendet wird resorbierbares, polyfiles Nahtmaterial der Stärke 3/0.

Bei perforierenden Verletzungen müssen die Patientinnen antibiotisch abgeschirmt und der Tetanusschutz geprüft werden.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt nach den in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Richtlinien. Bei Gewaltanwendung gegen Frauen oder gegen Kinder sollte frühzeitig ein Psychologe zugezogen werden, damit den Betroffenen bei Verarbeitung der entstandenen psychischen Schäden geholfen werden kann.

Komplikationen und Prognose

Blasenverletzungen heilen folgenlos ab. Bei schweren Harnröhrenverletzungen im proximalen Drittel kommt es zur Zerstörung des Kontinenzmechanismus mit kompletter Urininkontinenz. Distale Harnröhrenverletzungen bzw. Urethrovaginalfisteln ziehen zwar keine Folgen für den Blasenverschluss nach sich, können aber durch eine sekundäre Vaginalstenose zur Urinretention in der Vagina, Scheininkontinenz durch Nachträufeln aus Vagina und zum Hydrometrokolpos durch Urinretention führen (Pfleiderer 1996). Vaginalstenosen und Verlagerung der Vagina, Knochensplitter oder z.B. übersehene Holzsplitter können zur Dyspareunie führen. Bei starker Deformität des Beckens kann eine Geburt per vias naturales problematisch werden. Eine häufige Spätkomplikation der Beckenfraktur mit ausgedehnten Schäden der Beckenbodenmuskulatur, insbesondere des Levator ani, ist häufig die Ursache für einen Prolaps des Uterus und/oder der Vagina (Patil et al. 1982).

3.5.8 Standard für den Einsatz von Blasenkathetern

Transurethrale Harndrainage – Infektionsproblematik

Etwa 40% aller im Krankenhaus erworbenen Infektionen sind Harnweginfektionen. Diese sind in bis zu 70% der Fälle durch transurethrale Dauerkatheter induziert (Daschner 1979). Ursache für diese hohen Infektionsraten ist eine intrakanalikuläre Keimaszension in die Harnröhre, Blase, Prostata, Nebenhoden und den oberen Harntrakt. Weiterhin schafft die Makro- oder bereits Mikrotraumatisierung der Harnröhre Eintrittspforten sowohl für eine örtliche Infektion (Kavernitis oder paraurethraler Abszess) als auch über den hämatogenen oder lymphogenen Weg für eine systemische Infektion. In Einzelfällen wird sogar eine Urosepsis beschrieben. 53% aller Sepsisfälle mit gramnegativen Keimen können auf eine Harnweginfektion zurückgeführt werden.

Jeder Harnröhrenkatheterismus muss daher äußerst vorsichtig und steril erfolgen. Weiterhin darf die Drainage der Blase bei strenger Indikationsstellung nur über einen möglichst kurzen Zeitraum erfolgen. Eine Hauptursache von katheterinduzierten Bakteriurien liegt in der Keimbesiedlung des Katheterlumens. Deshalb sind eine standardisierte Vorgehensweise und eine gute Ausbildung des katheterisierenden Personals sehr wichtig.

Die Indikationsstellung zur Einlage eines Dauerkatheters ist eine wichtige ärztliche Aufgabe. Ein nur einmaliges Katheterisieren der Harnblase führt bei unauffälligem Harntrakt in 0–4%, bei pathologischem Harntrakt in 5–28% zu einer signifikanten Bakteriurie (Brühl u. Daschner 1985). Dauerkatheterträger wiesen früher bei offener Harndrainage bereits nach 4 Tagen in annähernd 100% der Fälle eine Bakteriurie auf. Bei geschlossener Harndrainage wird zwar zunächst die Bakteriurierate signifikant gesenkt, sie steigt jedoch ab dem 1. Tag um durchschnittlich 4–14% täglich an.

Als weitere Komplikation von transurethralen Dauerkathetern, insbesondere bei Männern, muss die Induktion von Harnröhrenstrikturen gesehen werden. Verletzungen der Harnröhre durch unsachgemäßes Einführen des Katheters oder Aufblocken des Katheters in der Harnröhre bewirken Einreißungen derselben, die mit narbiger Ausheilung zur Verengung führt. In Abhängigkeit von der Dicke und Starrheit des Katheters können Drucknekrosen ebenfalls mit entsprechender Strikturgefährdung auftreten. Es sollte deshalb immer möglichst ein dünner Katheter verwendet werden, der auch das Harnröhrensekret ungehinderter abfließen lässt.

Anfang der 1980er Jahre wurde ein geradezu epidemisches Auftreten von Harnröhrenstrikturen nach kurzzeitigem Harnröhrenkatheterismus bei herzchirurgischen Patienten in einer Häufigkeit von 16,6% der Fälle beobachtet (Runnti et al. 1984). Als Ursache wird die Freisetzung zelltoxischer Substanzen aus Latexkathetern angesehen, die allerdings vorwiegend bei gleichzeitiger verminderter Blutzirkulation der Urethra mit verzögerter Auswaschung der Toxine zu ausgeprägten Zelldestruktionen mit leukozytärer Infiltration der Harnröhrenschleimhaut und konsekutiver Strikturbildung führen: Nach neueren Untersuchungen wird ein »rubber elongation factor« (REF) für die durch Latex hervorgerufenen Allergien mit deutlicher Erhöhung von Latexantikörpern verantwortlich gemacht. Die geringste Entzündung der Harnröhrenschleimhaut induzieren dagegen Katheter aus Polyurethan oder reinem Silikon (Talja et al. 1990, Edwards et al. 1983).

Aus den genannten Gründen sollten deshalb grundsätzlich nur transurethrale Dauerkatheter aus Polyurethan oder Silikon eingesetzt werden. Somit ergeben sich folgende Anforderungen an den transurethralen Blasenkatheter: Der Katheter soll gut verträglich, weich und trotzdem formstabil sowie chemisch inaktiv sein. Er sollte durch seine Oberflächenbeschaffenheit wenig Inkrustationen ermöglichen und einen idealen Flow gewährleisten. Weiterhin darf er die maximale Größe nicht überschreiten. Sie beträgt für Frauen 12–14 Charr für Männer16–18 Charr. Dickere Katheter sind nur bei Makrohämaturie und Blasentamponade indiziert.

Indikationen zur transurethralen Harndrainage

- Diagnostischer Katheterismus:
  - Bakteriologische Harndiagnostik bei der Frau, wenn die Mittelstrahltechnik versagt
  - Diagnostik der unteren Harnwege (radiologische Diagnostik, Urodynamik, Harnröhrenkalibrierung, selten Restharnbestimmung)
  - Bilanzierung der Harnausscheidung
- Therapeutischer Katheterismus:
  - Blasentamponadenausräumung (Indikation für dicklumigen Katheter: 22–24 Charr)
  - Intra- und postoperative Harndrainage
  - Spül- bzw. Instillationsbehandlung (selten)
  - Blasenentleerungsstörungen
  - Palliative Behandlung der Inkontinenz (selten)

Bei längeren Operationen, forcierter Diurese oder im postoperativen Verlauf kann eine Harnableitung über Katheter erforderlich sein. Hierzu empfehlen sich Silikonkatheter bis maximal Charr 18. Ein postoperativer Harnverhalt sollte nicht durch Dauerkatheter, sondern durch intermittierenden Einmalkatheterismus behandelt werden.

Ein therapeutischer Einmalkatheterismus ist z.B. zur Rezidivprophylaxe von oberflächlichen Blasentumoren erforderlich. Hierzu empfiehlt sich zur temporären topischen Instillation des Chemotherapeutikums in die Blase der Einsatz von Einmalkathetern.

Blasenentleerungsstörungen verschiedener Ursachen können ebenfalls eine Indikation zum therapeutischen Katheterismus darstellen. Man sollte aber insgesamt eher zurückhaltend sein. In vielen Fällen wird immer der sterile intermittierende Einmalkatheterismus bevorzugt.

Häufig werden aus palliativen Gründen inkontinente Patienten mit einem transurethralen Dauerkatheter versorgt. Auch diese Indikation ist streng zu stellen. Hier empfiehlt sich häufig eine suprapubische Harnableitung.

Grundsätzlich bleibt festzustellen, dass bei transurethraler Einlage eines Dauerkatheters, v.a. bei Männern, ausschließlich Silikonkatheter zum Einsatz kommen sollten. Als Gründe hierfür sind die bessere Verträglichkeit und die geringeren Folgeschäden zu bezeichnen.

Ist vorhersehbar, dass bei Männern eine Harnableitung transurethral über mehr als 5 Tage erforderlich sein wird, empfiehlt sich in jedem Fall unter Beachtung der entsprechenden Kontraindikationen die suprapubische Harndrainage.

Jeder transurethrale Katheter behindert den Sekretabfluss aus den urethralen Anhangdrüsen. Dadurch entsteht die so genannte mukopurulente Membran. Sie ist Leitschiene und Nährboden für Bakterien und fördert, wie bereits beschrieben, eine Katheterurethritis sowie Keimbesiedelung der Harnblase.

Wichtige urologische Regeln zur Harnableitung aus der Blase

- Transurethrale Katheter nur bei zwingender Indikation
- Das Einlegen eines transurethralen Dauerkatheters aus pflegerischen Gründen ist nur in Einzelfällen notwendig und patientengerecht
- Ist erkennbar, dass ein Patient eine Harndrainage der Blase über länger als 4–5 Tage benötigt, sollte unter Beachtung der entsprechenden Kontraindikationen eine suprapubische Harnableitung erfolgen
- In jedem Falle erforderlich ist ein geschlossenes Urindrainagesystem
- Sowohl die Technik der transurethralen als auch der suprapubischen Kathetereinlage sollte allen Ärzten bekannt sein und standardisiert durchgeführt werden

Suprapubische Harndrainage

Die suprapubische Harnableitung wird angesichts der Probleme des transurethralen Dauerkatheters mit Infektionen von Harnröhre, männlichen Adnexen und dem Risiko der Harnröhrenstriktur immer häufiger angewandt. Die gefürchtetste Komplikation ist die Verletzung eines Darmabschnitts bei der Einlage der Fistel mit konsekutiver Peritonitis (Rößler u. Palmtag 1983). Diese Komplikation wird in unter 1% gefunden. In bis zu 4% wird dagegen über eine ausgeprägte Makrohämaturie berichtet. Diese kann in Einzelfällen sogar eine Bluttransfusion erforderlich machen (ebd.). Katheterdislokationen und Materialdefekte werden in bis zu 20% beobachtet, Katheterinkrustationen und Verstopfungen in einer Häufigkeit bis 8% (Lent et al. 1989).

Der suprapubische Katheter hat den Vorteil, dass die Harnröhre frei von Irritationen und der Gefahr einer aufsteigenden Infektion entlang dem einliegenden Fremdkörper bleibt. Die Infektionsgefährdung eines Katheters wird in hohem Maße durch die Beschaffenheit des Kathetermaterials bedingt.

Auch nach Anlage einer suprapubischen Harnableitung besteht allerdings die Gefahr aufsteigender Harnweginfektionen. Mehrere Autoren konnten jedoch zeigen, dass Harnweginfektionen zumindest innerhalb der ersten Woche, deutlich seltener auftreten (Harms et al. 1985). Es fanden sich bereits 12 Tage nach gynäkologischen Eingriffen bei Verwendung eines transurethralen Dauerkatheters in 67% eine signifikante Bakteriurie gegenüber in nur 20% bei Verwendung einer suprapubischen Harndrainage.

Die Möglichkeit der einfachen Restharnbestimmung und Kontrolle der Spontanmiktion sind weitere Vorteile des suprapubischen Katheters. Auch in der Frühbehandlung von Querschnittgelähmten empfiehlt sich die Harnableitung mit einem suprapubischen Katheter, da nach einmonatiger Harnableitung eine nur 40%ige Bakteriurierate bestand (Peatfield et al. 1983). Patienten, die mittels intermittierendem Katheterismus behandelt wurden, wiesen hingegen eine 68%ige Bakteriurierate auf. Auch im Langzeitverlauf querschnittgelähmter Patienten konnte der günstige Effekt einer initialen Harnableitung mittels suprapubischem Katheter belegt werden.

Vor Einlegen einer suprapubischen Harndrainage müssen die Kontraindikationen strengstens beachtet werden. Diese sind in der folgenden Übersicht aufgeführt.

Kontraindikationen für eine suprapubische Harndrainage

- **Relative Kontraindikationen:**
  - Schrumpfblase
  - Prävesikale oder suprasymphysäre Vernarbung oder Verbrennung
  - Ileus, Meteorismus, Darmüberblähung
  - Gravidität
  - Adipositas per magna
- **Absolute Kontraindikationen:**
  - Ungenügend gefüllte oder aufgefüllte Blase (<150 ml)
  - Blasentumor
  - Abdominaltumor mit Verdrängung der Blase
  - Stärkere Makrohämaturie, Blutungsneigung, Marcumarisierung
  - Hauterkrankungen im Punktionsbereich

Harnröhrenkatheter vs. suprapubischen Katheter

Wie bereits erwähnt, bietet die suprapubische perkutane Katheterdrainage der Blase gegenüber dem transurethralen Katheter viele Vorteile. Die Vor- und Nachteile beider Drainagesysteme sind in Tab. 3.13, Tab. 3.14 dargestellt. Die Deutsche Gesellschaft für Urologie hat im Deutschsprachigen Arbeitskreis für Krankenhygiene ausdrücklich bestätigt, dass die suprapubische Harnableitung, wenn möglich, dem transurethralen Verweilkatheter vorgezogen werden sollte. Dieses Postulat wurde zwischenzeitlich in den Vorschlag zur Novellierung der ehemaligen BGA-Richtlinie aufgenommen. Trotz der zahlreichen und wichtigen Vorteile hat sich die suprapubische Blasendrainage noch immer nicht in größerem Umfang durchsetzen können. Obwohl in einem gewöhnlichen Akutkrankenhaus bei ca. 10% und in einem Schwerpunktkrankenhaus bei etwa 30–40% aller aufgenommenen Patienten ein Blasenkatheter zur Anwendung kommt, wird der transurethrale Dauerkatheter immer noch bis zu 10-mal häufiger benutzt als der suprapubische Blasenkatheter (Lent et al. 1989).

Intermittierender Selbstkatheterismus

Die ideale und erfolgreiche Methode zur Behandlung des Restharnproblems bei neurogenen Blasenentleerungsstörungen stellt der intermittierende Selbstkatheterismus dar. Er bezweckt eine saubere Entleerung der Blase in regelmäßigen Intervallen, die Verhinderung einer Überdehnung der Blase und die Eliminierung der bakteriellen Besiedlung des Harntrakts, welche durch einen Dauerkatheter verursacht werden könnte. Voraussetzungen für einen erfolgreichen intermittierenden Katheterismus ist jedoch eine ausreichende Blasenkapazität. Langzeitverlaufsbeobachtungen

Tab. 3.13 Transurethraler Dauerkatheter – Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
– Wenige Kontraindikationen – Durch Assistenzpersonal durchführbar – Keine Zusatzmaßnahmen erforderlich (z.B. Blasenauffüllung, Punktion) – Diverse klein- und großlumige Kathetertypen stehen zur Verfügung – Bei technischen Schwierigkeiten Reinsertion unter gleichen Bedingungen möglich – Limitierte Verletzungsmöglichkeit – Möglichkeit der Dauerspülbehandlung	– Harnröhrenläsionen mit via falsa (Spätfolge: Striktur) – Postinstrumentelle Urethritis (Spätfolge: Striktur) – Infektion des Urogenitaltrakts – Deszendierende Prostatitis und Epididymitis oder aszendierende Polynephritis, »Katheterfieber«, Urosepsis – Hohe Rate nosokomialer Harnweginfektionen – Restharnprüfung bei liegendem Katheter nicht möglich – Stärkere subjektive Patientenbelästigung – Höherer Aufwand im Rahmen der Katheterhygiene

Tab. 3.14 Suprapubische, perkutane Katheterdrainage – Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
– Umgehung der Harnröhre – Keine postinstrumentelle Urethritis, Prostatitis, Epididymitis – Keine Harnröhrenstriktur – Deutliche Reduktion kathetervermittelter problematischer Harnweginfektionen – Keine Probleme bei Verwendung eines geschlossenen Ableitungssystems (z.B. Mono Flow) – Spontanmiktion sowie Restharnbestimmung möglich – Geringer Pflegeaufwand	– Verschiedene Kontraindikationen (vgl. Übersicht »Kontraindikationen für eine suprapubische Harndrainage« – Nicht an Assistenzpersonal delegierbar – Mehr Komplikationsmöglichkeiten – Dauerspülbehandlung nicht möglich

über 10 Jahre zeigten eine intermittierende Bakteriurie in 74% und eine persistierende Bakteriurie in 11%. Bei korrekt ausgewähltem Patientenkollektiv wurde jedoch keinerlei Beeinträchtigung der Nierenfunktion beobachtet (Diokno et al. 1983).

Literatur

Al-Ahmadi K, Ahmed N (2008) Outcomes after pancreatic trauma: experience at a single institution Can J Surg 51: 118–124

Ali J, Al Ahmadi K, Williams JI (2009) Predictors of laparotomy in polytrauma patients with pelvic fractures Can J Surg 52: 271–276

American College of Surgeons (2008) Advanced Trauma Life Support for Doctors: Student Manual. 8th ed. American College of Surgeons; Chicago, Il; 2008

Beal S, Trunkey DD (1993) Splenic injury. In: Blaisdell FW, Trunkey DD (eds) Abdominal trauma. Thieme, New York, pp 230–249

Bivins BA, Sachatello CR, Daugherty ME, Ernst CB, Griffin WO (1978) Diagnostic peritoneal lavage is superior to clininical evaluation in blunt abdominal trauma. Am J Surg 44: 637–641

Blaisdell FW (1993) Implications for and general conduct of the operation. In: Blaisdell FW, Trunkey DD (eds) Abdominal trauma. Thieme, New York, pp 57–71

Boffard KD, Brooks AJ (2000) Pancreatic trauma: injury to the pancreas and pancreatic duct Eur J Surg 166: 4–12

Bradley EL 3rd, Young P, Chang MC (1998) Diagnosis and management of blunt pancreatic trauma Ann Surg 227: 861–869

Burch JM, Moore EE, Moore FA, Franciose R (1996) The abdominal compartment syndrome Surg Clin North Am 76: 833–842

Butt MU, Zacharias N, Velmahos GC (2009) Penetrating abdominal injuries: management controversies Scand J Trauma Resusc Emerg Med 17: 19

Centers for Disease Control and Prevention (2009) [Internet] Atlanta, GA: CDC http://www.cdc.gov/InjuryViolenceSafety/

Champion HR (2004) Epidemiological basis for future improvements in trauma care Semin Hematol 41: 173

Cheatham ML, White MW, Sagraves SG, Johnson JL, Block EF (2000) Abdominal perfusion pressure: a superior parameter in the assessment of intra-abdominal hypertension J Trauma 49: 621–626

Cheatham M (2009) Abdominal compartment syndrome: pathophysiology and definitions Scand J Trauma Resusc Emerg Med 17: 10

Crandall M, Shapiro MB, West MA (2009) Does splenectomy prevent against immune-mediated complications in blunt trauma patients? Mol Med 15: 263–267

Davis KA, Fabian TC, Croce MA, Gavant ML, Flick PA, Minard G (1998) Improved success in nonoperative management of blunt splenic injuries: embolization of splenic artery pseudoaneurysms J Trauma 44: 1008–1013

Demetriades D, Hadjizacharia P, Constantinou C, Brown C, Inaba K, Rhee P, Salim A (2006) Selective nonoperative management of penetrating abdominal solid organ injuries Ann Surg 244: 620–628

Enke A (Hrsg) (1992) Chirurgie des Abdomens III, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München (Breitner Chirurgische Operationslehre, Bd V)

Fernandes BF, Rezende AB, Alves CC, et al. (2010) Splenic autotransplantation restores IL-17 production and antibody response to Streptococcus pneumoniae in splenectomized mice Transpl Immunol 22: 195–197

Fleming WR, Collier N, Banting S, (1999) Pancreatic trauma: Universities of Melbourne HPB group Aust NZ J Surg 69: 357–362

Galvan DA, Peitzman AB (2006) Failure of nonoperative management of abdominal solid organ injuries Curr Opin Crit Care 12: 590–594

Gebhard F, Huber-Lang (2008) Polytrauma- pathophysiology and management principles. Langenbecks Arch Surg 393: 825-831

Gillman LM, Ball CG, Panebianco N, Al-Kadi A, Kirkpatrick AW (2009) Clinician performed resuscitative ultrasonography for the initial evaluation and resuscitation of trauma Scand J Trauma Resusc Emerg Med 17: 34

Gorchynski J, Dean K, Anderson CL (2009) Analysis of urobiliogen and urine bilirubin for intra-abdominal injury in blunt trauma patients West J Emerg Med 10: 85–88

Griffin XL, Pullinger R (2007) Are diagnostic peritoneal lavage or focused abdominal sonography for trauma safe screening investigations for hemodynamically stable patients after blunt abdominal trauma? A review of the literature J Trauma 62: 779–784

Hansen K, Singer DB (2001) Asplenic-hyposplenic overwhelming sepsis: postsplenectomy sepsis revisited Pediatr Dev Pathol 4: 105–121
Hildebrand F, Giannoudis PV, Grievsen M, Zelle B, Ulmer B, Krettek C, Bellamy MC, Pape HC (2005) Management of polytraumatized patients with associated blunt chest trauma: a comparison of two European countries Injury 36: 293–302
Hirshberg A, Mattox KL (1993) Damage control in trauma surgery Br J Surg 80: 1501-1502
Houshian S, Larsern MS, Holm C (2002) Missed injuries in a level 1 trauma center J Trauma 52: 715–719
Janjua KJ, Sugrue M, Deane SA (1998) Prospective evaluation of early missed injuries and the role of tertiary trauma survey J Trauma 44: 1000–1007
Jones C (1985) Management of pancreatic trauma. Am J Surg 150: 698–704
Juhl M, Moller-Madsen B, Jensen J (1990) Missed injuries in an orthopaedic department Injury 21:110–112
Jurkovich G, Bulger EM (2004) Duodenum and Pancreas. In: Mattox KL, Moore ME, Feleciano DV eds. Trauma. New York: McGraw Hill Companies p.709–734
Kao LS, Bulger EM, Parks DL (2003) Predictors of morbidity after traumatic pancreatic injury J Trauma 55: 898–905
Kremli MK (1996) Missed musculoskeletal injuries in a University Hospital in Riyadh: Types of missed injuries and responsible factors Injury 27:503–506
Malbrain ML, Chiumello D, Pelosi P, Wilmer A, Brienza N, Malcangi V (2004) Prevalence of intra-abdominal hypertension in critically ill patients: a multicentre epidemiological study Intensive Care Med 30: 822–829
Manka M, Moscati R, Raghavendran K, Priya A (2010) Sonographic scoring for operating room triage in trauma West J Emerg Med 11: 138–143
Mathers CD, Loncar D (2006) Projections of global mortality and burden od disease from 2002 to 2030 PLoS Med 3: e442
Matsubara TK, Fong HMT, Burns CM (1990) Computer tomography of abdomen (CTA) in management of blunt abdominal trauma. J Trauma 30: 410–414
Mele TS, Stewart K, Marokus B, O'Keefe GE (1999) Evaluation of a diagnostic protocol using screening diagnostic peritoneal lavage with selective use of abdominal computed tomography in blunt abdominal trauma J Trauma 46: 847–852
Miller PR, Croce MA, Bee TK, Malhotra AK, Fabian TC (2002) Associated injuries in blunt solid organ trauma: implications for missed injury in nonoperative management J Trauma 53: 238-244
Moore EE, Shackford SR, Pacher HL (1989) Organ injury scaling: Spleen, liver and kidney. J Trauma 29: 1664–1666
Moylan M, Newgard C, Ma O, Sabbaj A, Rogers T, Douglass R (2007) Association between a positive ED FAST examination and therapeutic laparotomy in normotensive blunt trauma patientsJ Emerg Med 33: 265–271
Nast-Kolb D, Bail HJ, Taeger G (2005) Current diagnostics for intra-abdominal trauma Chirurg 76: 919–926
Natarajan B, Gupta PK, Cemaj S, Dorensen M, Hatzoudis GI, Forse RA (2010) FAST scan: is it worth doing in hemodynamically stable blunt trauma patients? 148: 695–701
Pacha-Gonzalez MA, Oller-Sales B, Feliu E, et al. (2007) Evaluation of splenic function by dynamic gammagraphy, study of pitted erythrocytes and submembranous vacuoles in patients with slight and severe splenic trauma receiving conservative treatment or splenectomy Med Clin (Barc) 128: 161–167
Peiper HJ, Peitsch W (1976) Das stumpfe Oberbauchtrauma. Unfallheilkunde 79: 341–347
Pfeifer R, Pape HC (2008) Missed injuries in trauma patients: aliterature review Pat. Safety in Surgery 2: 20
Pisters PWT, Pachter HL (1994) Autologous splenic transplantation for splenic trauma Ann Surg 219: 225-235
Pohlemann T (1998) Chirurgische Anatomie in Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg.) Tscherne Unfallchirugie Becken und Azetabulum, Springer Berlin Heidelberg New York: 5–33
Pohlemann T, Lange U, Uder M, Schilling M, Kramann B (2001) Diagnostisches Vorgehen beim Abdominaltrauma. Viszeralchirurgie 36: 297-302
Robertson R, Mattox R, Collins T, Parks-Miller C, Eidt J, Cone J (1996) Missed injuries in a rural area trauma center Am J Surg 172: 564–568
Rose JS, Richards JR, Battistella F, Bair AE, McGahan JP, Kuppermann N (2005) The fast is positive, now what? Derivation of a clinical decision rule to determine the need for therapeutic laparotomy in adults with blunt torso trauma and a positive trauma ultrasound J Emerg Med 29: 15-21
Ross SE, Dragon GM, O'Malley KF, Rehm CG (1995) Morbidity of negative coeliotomy in trauma Injury 26: 393-394
Rozycki GS, Ochsner MG, Feliciano DV, et al. (1998) Early detection of hemoperitoneum by ultrasound examination of the right upper quadrant: a multicenter study J Trauma 45: 878-883
Singer DB (1973) Postsplenectomy sepsis Perspect Pediatr Pathol 1: 285–311
Sutton E, BochiccioGV, Bochiccio K, Rodriguez ED, Henry S, Joshi M, Scolea TM (2006) Long term impact of damage control surgery: a preliminary prospective study J Trauma 61: 831–836
Tien HC, Spencer F, Tremblay LN, Rizoli SB, Brenneman FD (2007) Preventable deaths from hemorrhage at a level 1 Canadian trauma center J Trauma 62: 142-146
Tillmann B (2009) Atlas der Anatomie. Springer Berlin Heidelberg New York
Traub A, Gieink GS, Smith C (1987) Splenic reticuloendothelial function after splenectomy, spleen repair and spleen autotransplantation N Engl J Med 298: 1389–1392
Tsui CL, Fung HT, Chung KL, Kam CW (2008) Focused abdominal ultrasound for trauma in the emergency department for blunt abdominal trauma Int J Emerg Med 1:183–187
Velmahos GC, Demetriades D, Toutouzas KG, et al. (2001) Selective nonoperative management in 1,856 patients with abdominal gunshot wounds: should routine laparotomy still be the standard of care Ann Surg 234: 395–403
Velmahos GC, Toutouzas KG, Radin R, Chan L, Demetriades D (2003) Nonoperative treatment of blunt injury to solid abdominal organs Arch Surg 138: 844–851
Vles WJ, Veen EJ, Roukema JA, Meeuwis JD, Leenen LPH (2003) Consequences of delayed diagnoses in trauma patients: a prospective trial J Am Coll Surg 197: 596–602
Wening JV (1989) Evaluation of ultrasound, lavage and computed tomography in blunt abdominal trauma. Surg Endosc 3: 152–158
Wherrett LJ, Boulanger BR, McLellan BA, Brenneman FD, Rizoli SB, Culhane J, Hamilton P (1996) Hypotension after blunt abdominal trauma: the role of emergent abdominal sonography in surgical triage J Trauma 41: 815–820
Wilson RH, Moorehead RJ (1991) Current management of trauma to the pancreas. Br J Surg 78: 1196–1202
Ziegenfuß T (2007) Notfallmedizin. Springer Berlin Heidelberg New York
Zilles K, Tillmann B (2010) Anatomie. Springer Berlin Heidelberg New York

Literatur zu Abschn. 3.5

Bright TC, White K, Peters PC (1978) Significance of hematuria after trauma. J Uro 120: 455–457
Cass AS (1988) Mail genital injury from external traum. In: Cass AS (ed) Genitourinary trauma. Blackwell, Boston, pp 215–227
Cass AS, Luxenbery M (1988) Value of early operation in blunt testicular contusion with hematocele. J Urol 139: 746–748
Dixon CDM (1996) Diagnosis and acute management of posterior urethra disruptions. In: Mc Aninch JW (ed) Traumatic and reconstructive urology. WB Saunders, Philadelphia, pp 347–357
Ennemoser O, Colleselli K, Dolatti B, Bartsch G (1990) Late results of surgery for strictures of the posterior urethra. World J Urol 7: 197–199
Gibson GR (1974) Urological management and complications of fractured pelvis and ruptured urethra. J Urol 111: 353–355
Guerriero WG, Harrison CB (1990) Ureteral injur due to external violence: 49 cases over 5 years. World J Urol 7: 214–217
Husmann DA (1996) Diagnostic techniques in suspected bladder injuries. In: Mc Aninch JW (ed) Traumatic and reconstructive urology. WB Saunders, Philadelphia, pp 261–269
Kursh ED (1991) Ureteral injury from external violence. In: Resnick MI, Caldamone AA, Spirnak P (eds) Decision making urology. Decker, Philadelphia Hamilton, pp 90–92
Latal D, Marberger M (1996) Verletzungen des Genital- und unteren Harntraktes. In: Petri E (Hrsg) Gynäkologische Urologie. Thieme, Stuttgart New York, S 181–184

Lee JJ, Cass AS (1996) Renal injuries in Children. In: Mc Aninch JW (ed) Traumatic and reconstructive urology. WB Saunders, Philadelphia, pp 127–135
Mc Aninch JW, Carroll PR (1996) Renal exploration after trauma: Indications and reconstructive techniques. In: Mc Aninch JW (ed) Traumatic and reconstructive urology. WB Saunders, Philadelphia, pp 105–113
Mc Aninch JW, Carroll PR, Klostermann PW (1991) Renal reconstruction after injury. J Urol 145: 932–935
Mutschler W, Marzi J (1996) Polytraumamanagement. Zentralbl Chir 121: 895–902
Patil U, Nesbitt R, Mayer R (1982) Genitourinary tract injuries due to fracture of the pelvis in females: Sequelae. Br J Urol 54: 32–35
Persky L, Forsythe WE (1962) Renal trauma in Childhood. JAMA 182: 709–712
Petersen NE (1989) Complications of renal trauma. Urol Clin North Am 16: 221–224
Pfleiderer A (1996) Akute Notfallsituationen. In: Martins G, Breckwoldt M, Pfleiderer A (Hrsg) Lehrbuch der Gynäkologie und Geburtshilfe. Thieme, Stuttgart New York, S 569–583
Pichlmayr R, Platz A, Trentz O (2000) Abdominalverletzungen. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. S. 273–351. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie)
Presti JC, Carroll PR, Mc Aninch JW (1989) Ureteral and renal pelvic injuries from external trauma: Diagnosis and management. Trauma 29: 73–76
Rassweiler J (1994) Urologische Traumatologie. In: Jocham D, Miller K (Hrsg) Praxis der Urologie. Thieme, Stuttgart New York, S 495–520
Stein JP, Kaj DM, Eastham J, Freeman JA, Ersig D, Hardy BE (1994) Blunt renal trauma in the pediatric population: Indications for radiologic evalution. Urology 44: 406–409
Uder M, Deronet H,Humke U, Siemer S, Schneider G, Ziegler M, Kramann B (1997) Penisfraktur: Diagnose und Therapiekontrolle mit der Kernspintomographie. Fortschritt Röntgenstr 166: 203–206
Zwergel T, Siemer S (1996) Verletzungen. In: Hautmann R, Huland H (Hrsg) Urologie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 314–341
Zwergel T, Zwergel U (1993) Traumata in der Urologie. Urologe A 32: 437–441

Literatur zu Abschn. 3.5.8

Brühl, Daschner F (1985) Infektionsprophylaxe durch standardisierte Katheterisierungs-Sets. Klinikarzt 14: 546–549
Daschner F (1979) Epidemiologie krankenhauserworbener Harnwegsinfektionen. Münchn Med Wochenschr 121: 1359–1361
Diokno V, Sounda V, Hollander JB, Lapides J (1983) Fate of patients started on clean intermittent self-catheterization therapy 10 years ago. J Urol 129: 1120–1124
Edwards E, Lode R, Powell C, Jones P (1983) Post-catheterisation urethral strictures. A clinical and experimental study. Br J Urol 55: 53–55
Folex EB (1937) A self-retaining bag catheter for use as indwelling catheter for constant drainage of the bladder. J Urol 38: 140–141
Harms V, Christmann V, Klöck FK (1985) Die suprapubische Harnableitung nach gynäkologischen Operationen. Geburtsh Frauenheilk 45: 245–260
Lent V, Troidl V, Rhebaum V, Langen V (1989) Zur Leistungsfähigkeit suprapubischer Harnblasendrainagen in der klinischen Praxis. Urologe B 29: 166–170
Peatfield RC, Burt A, Smith PH (1983) Suprapubic catheterisation after spinal cord injury: A follow up report. Paraplegia 21: 220–226
Rößler W, Palmtag H (1983) Die suprapubische Harnableitung mit dünnlumigen Kathetersystemen Cystofix-Charriere 10/Cystofix Charriere 15. Urologe B 23: 249–252
Ruunti A, Alfthan O, Heikkinen L et al. (1984) Unexpected urethral strictures after short-term catheterization in open-heart surgery. Scan J Urol Nephrol 18: 9–12
Talja M, Korpela A, Järvi K (1990) Comparison of urethral reaction to full silicone, hydrogel-coated and siliconised latex catheters. Br J Urol 66: 652–654
Thalheim K (1995) Der Katheter in der Medizingeschichte. In: Bach D, Brühl P (Hrsg) Nosokomiale Harnwegsinfektionen. Jungjohann, Neckarsulm Lübeck Ulm, S 6–7

Wirbelsäule

B. Weigel, C. Neumann

4.1 Basiswissen – 158
4.2 Querschnittslähmung – 168
4.3 Verletzungen der Halswirbelsäule – 172
4.4 Verletzungen der Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule – 200
4.5 Spezielle Instabilitäten – 220
Literatur – 228

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_4,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

4.1 Basiswissen

4.1.1 Anatomie und Biomechanik

Wirbelsäule

Aufbau

Die Wirbelsäule besteht aus 33 Wirbeln und gliedert sich folgendermaßen:

- Die Halswirbelsäule (HWS) zählt insgesamt 7 Wirbel (C1–C7). Der 1. Halswirbel wird als Atlas (C1), der 2. Halswirbel als Axis (C2) bezeichnet. Die HWS weist in aufrechter Stellung eine Lordose auf. Das Hinterhaupt ist entwicklungsgeschichtlich auch ein Halswirbel und wird deshalb auch mit C0 bezeichnet.
- Die Brustwirbelsäule (BWS) bildet zusammen mit den Rippen und dem Sternum den knöchernen Thorax. Sie besteht aus 12 Wirbeln (T1–T12) und bildet physiologisch eine Kyphose.
- Der lumbosakrale Wirbelsäulenabschnitt umfasst 5 Lumbal- (L1–L5) und 5 Kreuzwirbel (S1–S5), letztere verschmelzen zwischen dem 20. und 25. Lebensjahr miteinander. Den kaudalen Abschluss bilden 4 Steißwirbel, die ebenfalls miteinander knöchern verschmelzen. Die Lendenwirbelsäule (LWS) ist lordotisch, das Steißbein kyphotisch gekrümmt.

Die einzelnen Wirbel artikulieren miteinander durch die paarig angelegten Zwischenwirbelgelenke. Die nach kaudal gerichtete Gelenkfläche ist jeweils konvex, die nach kranial gerichtete konkav geformt. Die Gelenke sind über Gelenkkapseln, die mit Synovia ausgekleidet sind, verbunden. Ventral werden sie durch das Ligamentum flavum verstärkt. Zwischen den Wirbelkörpern liegen die Disci intervertebrales, deren Nucleus pulposus von dem besonders derben Anulus fibrosus umgeben ist. Der Anulus fibrosus wird ventral und dorsal von Ligamenten verstärkt, dem Ligamentum longitudinale anterius bzw. posterius. Die Sakroiliakalgelenke bestehen aus den Facies articulares am Sakrum und den Beckenschaufeln. Sie sind von einer derben Kapsel umgeben, die von zahlreichen Ligamenten stabilisiert wird. An der Statik der Wirbelsäule ganz wesentlich mitbeteiligt ist die autochthone Rückenmuskulatur (Abb. 4.1).

Säulenmodelle

Es gibt verschiedene Modelle, die entwickelt wurden, um die tragenden Funktionen der Wirbelsäule besser zu verstehen und in Hinblick auf therapeutische Strategien klassifizieren zu können. **Withesides** (1997) unterschied eine ventrale Säule bestehend aus den Wirbelkörpern und den Bandscheiben von einer dorsalen aus Wirbelbögen, -fortsätzen und den Ligamenten. Die ventrale Säule wird hauptsächlich auf Druck, die dorsale auf Zug belastet. Dieses Modell reicht aus, um die gängige Klassifikation der Wirbelsäulenverletzungen zu begreifen (Abb. 4.48).

Das Dreisäulenmodell von **Denis** (1983) geht von einer dritten, zwischen ventraler und dorsaler Säule liegenden aus. Sie besteht aus der Wirbelkörperhinterwand bzw. dem dorsalen Anteil des Anulus fibrosus und dem hinteren Längsband. Das wenig bekannte Dreisäulenmodell von Louis (1985) besteht dagegen aus den Wirbelkörpern einerseits und der rechten und linken Reihe der Zwischenwirbelgelenke andererseits.

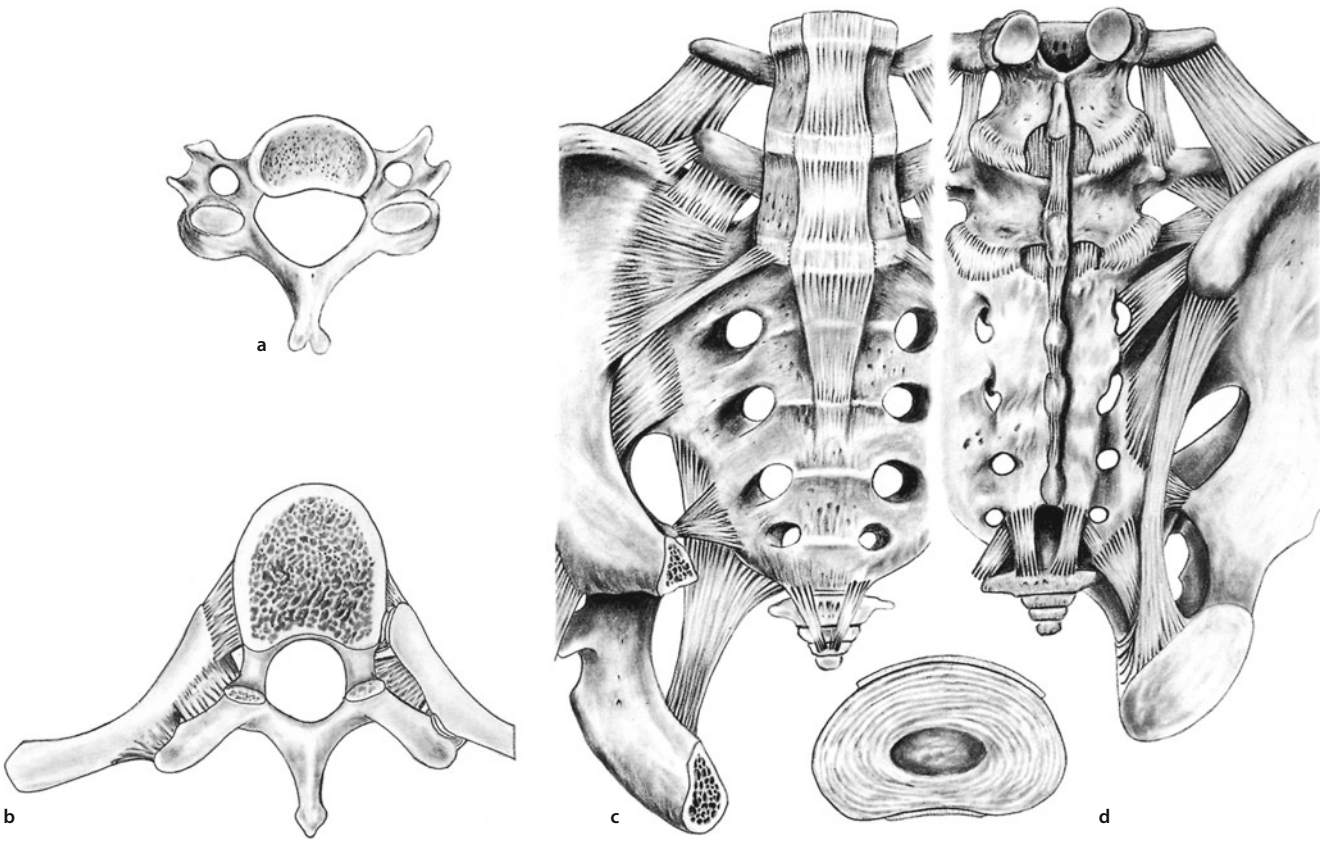


Abb. 4.1 Querschnitt durch einen Hals- (**a**) und einen Brustwirbelkörper (**b**). **c,d** Ventral- und Dorsalansicht der lumbosakralen und sakroiliakalen Gelenke. (Aus: Louis 1985)

Instabilität

Ob eine Wirbelsäulenverletzung als stabil oder instabil eingestuft wird, ist von entscheidender Bedeutung für die Therapie. Gemäß der Einteilung von Denis liegt eine stabile Verletzung vor, wenn nur eine, meist die ventrale, Säule verletzt ist. Hier ist keine wesentliche Veränderung der Stellung der Wirbelsäule in Ruhe und bei Belastung zu erwarten. Diese Frakturen können in aller Regel konservativ behandelt werden. Dazu gehören alle Impaktionsfrakturen vom Typ A1, außer dem Typ A1.3 der osteoporotischen Wirbelimpaktion, dem so genannten Fischwirbel, der stabil oder instabil sein kann. Außerdem gehört der wenig verschobene frontale Spaltbruch, die A2.2-Fraktur, dazu (▶ Abschnitt 4.3.8, Klassifikation).

Eine Verletzung von 2 Säulen hingegen ist als gering bis deutlich instabil anzusehen, abhängig vom Ausmaß des eingetretenen knöchernen oder auch ligamentären Schadens. Danach richtet sich die Art der Behandlung. Während man den wenig verschobenen sagittalen Spaltbruch, Typ A2.1, konservativ behandeln kann, muss z.B. der Kneifzangenbruch, Typ A2.3, operativ versorgt werden. Ähnliches gilt für inkomplette, Typ A3.1, bzw. komplette Berstungsbrüche, Typ A3.3.

Eine Verletzung aller 3 Säulen ist hochgradig instabil und muss operativ versorgt werden. Alle B- und C-Verletzungen gehören hierher.

Häufig findet sich ventral eine Kompressionskomponente. Dies darf nicht zum Schluss führen, dass es sich um einen reinen Kompressionsbruch handelt. Von einem Kompressionsbruch darf man nur sprechen, wenn eine Rotations- und/oder Distraktionsverletzung sicher ausgeschlossen ist. Jeder pathologische Schmerz über der Dornfortsatzreihe ist hinweisend auf eine höhergradige Verletzung. Notfalls muss die Diagnose durch weitere Untersuchungen (Funktionsaufnahmen, MRT) erzwungen werden.

Bei der Einschätzung der Instabilität spielt auch eine Rolle, in welcher Höhe die Verletzung liegt. Funktionell unterscheidet man die thorakale Säule, die von T1–T9 reicht, von der thorakolumbalen zwischen T10 und L4. Dies hängt damit zusammen, dass die Wirbelsäule thorakal durch den knöchernen Rippenthorax stabilisiert ist, während thorakolumbal keine zusätzliche Stütze vorhanden ist. Für die Rotation zeigt die thorakale Säule aber einen deutlich größeren Bewegungsumfang. Die Therapiekonzepte tragen diesen Umständen Rechnung.

Chirurgische Anatomie

Von besonderer Bedeutung für den Chirurgen ist das Wissen um die unterschiedliche Weite des knöchernen Spinalkanals abhängig von der jeweiligen Höhe. Dort wo die Wirbelsäule am beweglichsten ist, nämlich im Bereich des okzipitozervikalen, zervikothorakalen und lumbosakralen Übergangs, ist auch der Querschnitt des Spinalkanals am größten, sodass hier das Rückenmark bei Bewegung eine gewisse Ausweichmöglichkeit hat, im Gegensatz zu den Engstellen im thorakalen und sakralen Bereich, bei denen im Fall einer Raumforderung kaum Ausweichmöglichkeit für die nervalen Strukturen verbleibt. Damit hängt zusammen, dass insbesondere Frakturen im Bereich der thorakalen Wirbelsäule häufig von neurologischen Ausfällen begleitet werden. Dass hingegen instabile Frakturen im lumbalen Bereich seltener zu neurologischen Ausfällen führen, liegt nicht nur an der größeren Weite des Spinalkanals, sondern auch daran, dass das Rückenmark meist in Höhe des Zwischenwirbelraums L1/L2 endet und die peripheren Nerven der Cauda equina gegenüber Kompression weniger empfindlich sind als das Rückenmark.

Die Pedikel sind für den Chirurgen die wichtigste anatomische Struktur der Wirbelkörper. Viele instabile Frakturen der Wirbelsäule mit und ohne Neurologie werden von dorsal instrumentiert, sodass die eingehende Kenntnis der exakten topografischen Lagebeziehung der Pedikel über Scheitern oder Gelingen eines operativen Eingriffs entscheidet. Sich mit den anatomischen Verhältnissen an der Wirbelsäule zurechtzufinden ist jedoch aus 2 Gründen nicht immer einfach. Zum einen sieht man beim Operieren nur einen begrenzten Ausschnitt der dorsalen knöchernen Strukturen, an denen man sich orientieren kann, und nicht den Pedikel und dessen räumliche Ausrichtung selbst (▶ Abschnitt 4.6 unter »Pedikeleintrittspunkte und -richtung«). Zum anderen variiert diese Ausrichtung je nach Wirbelsäulenabschnitt, sodass jeweils andere Winkel für das Einbringen der Schrauben gewählt werden müssen. Deshalb spielen für diese Indikation Navigationssysteme eine Rolle.

Rückenmark

Aufbau

Das Rückenmark wird ventral von den Wirbelkörpern und dem hinteren Längsband, dorsal von den Wirbelbögen und dem Ligamentum flavum geschützt. Es hat die Form eines Strangs, der am zervikothorakalen und am thorakolumbalen Übergang jeweils eine Verdickung aufweist, die den größeren Versorgungsgebieten für die obere und untere Extremität entspricht. In Höhe L1/L2 geht es in die Cauda equina über mit einer individuellen Streuung von einer Zwischenwirbeletage nach kranial oder kaudal (Louis 1985).

Das Myelon ist von den Hirnhäuten umkleidet. Die weiche Hirnhaut (Leptomeninx) setzt sich aus Pia mater und Arachnoidea zusammen. Sie enthält Liquor. Die äußere Schicht besteht aus der harten Hirnhaut (Dura mater). Die Lage des Rückenmarks im Spinalkanal wird durch die Ligamenta denticulata gehalten, die vom Rückenmark zur Dura ziehen. Die Dura umkleidet die Nervenwurzeln bis in Höhe der Foramina; weiter peripher geht sie in das Epineurium über. Der Duralsack beginnt am Foramen magnum und erstreckt sich bis zum Sakrum, wo er auf unterschiedlicher Höhe (S1–S4) endet.

Das Rückenmark gibt jeweils nach beiden Seiten 8 zervikale, 12 thorakale, 5 lumbale, 5 sakrale und einen kokzygealen Nerv ab, also insgesamt 31 Nervenpaare. Diese Spinalnerven haben je eine dorsale (sensible) und ventrale (motorische) Wurzel. In der dorsalen Wurzel ist das Spinalganglion eingeschaltet. Die Medulla besteht aus der außen liegenden weißen und der innen liegenden im Querschnitt H-förmigen grauen Substanz. Die weiße Substanz besteht aus Nervenfasern, Dendriten und Axonen, die graue aus Nervenzellen. Die Hinterhörner sind sensible, die Vorderhörner motorische Areale. Die Substantia intermedialis centralis vermittelt die viszerale Sensibilität und Motorik. Die Fasern für die oberen Extremitäten liegen zentral, die für die unteren peripher, was verdeutlicht, warum bei zentralen Schädigungen vorwiegend die Arme betroffen sein können.

Im Bereich der gesamten Wirbelsäule verlassen die Nervenwurzeln immer unterhalb der jeweiligen Wirbelbögen den Spinalkanal. Wegen der unterschiedlichen Zählweise (C0–C7 knöchern, C1–C8 für die Nervenwurzeln) verlässt das Nervenwurzelpaar C1 den Spinalkanal oberhalb des Atlas (C1), entsprechend liegt das Wurzelpaar C8 unterhalb des 7. Halswirbels.

Verschaltung

Jedes Segment verfügt über Eigenreflexe. Der Eigenreflex wird über das sensible und motorische Neuron geschaltet. Beim Fremdreflex werden ein oder mehrere Neurone zwischengeschaltet. Die Reflexe steuern den Muskeltonus (propriozeptive Reflexe) oder Abwehrreflexe. Der Ausfall eines Reflexes deutet auf einen Schaden im entsprechenden Segment hin. Die gesamten Reflexbögen wer-

den durch vertikale Assoziationsfasern verbunden und schaffen so eine anatomische und funktionelle Einheit.

Die aufsteigenden Projektionsfasern zum Gehirn sind sensibler Natur, die absteigenden motorischer. Die aufsteigenden Fasern vermitteln 3 Formen der Sensibilität:

- Die Oberflächensensibilität kommt insbesondere von der Haut. Übermittelte Sinneseindrücke sind Temperatur, Schmerz, Berührung und Druck,
- die Tiefensensibilität kommt aus den Knochen, Gelenken, Muskeln und Sehnen,
- die Eingeweidesensibilität aus Brust- und Bauchraum.

Die absteigenden Projektionsfasern sind motorische Bahnen aus dem Gehirn, welche die willkürliche (aus dem Gyrus praecentralis) und unwillkürliche Motorik (extrapyramidal) vermitteln. Sie kreuzen auf unterschiedlichem Niveau zur Gegenseite und enden alle in den Vorderhörnern der grauen Substanz.

Den Rückenmarksegmenten lassen sich Dermatome (sensibel) und Myotome (motorisch) zuordnen (Tab. 4.1 und Tab. 4.2). Jedes Haut- und Muskelgebiet wird aber von mindestens 3 Segmenten innerviert, sodass die isolierte Schädigung eines Spinalnervs nur eine partielle Anästhesie oder Lähmung im zugehörigen Dermatom oder Myotom hervorruft.

Tab. 4.1 Einzelne Dermatome zur groben Orientierung

Segment	Dermatom
C2	Oberer Halsteil und Nacken
C4	Schultergürtel
C6	Daumen
C7	Zeige- und Mittelfinger
C8	Ring- und Kleinfinger
T6	Processus xiphoideus
T10	Nabel
L1	Leiste
L3, L4	Oberschenkel und Knie
L5	Großzehe
S1	Ferse und Kleinzehe
S3, S4, S5	Perianalgebiet

Tab. 4.2 Einzelne Myotome zur groben Orientierung

Segment	Myotom
C4	Diaphragma
C5	Schultermuskeln
C6	Muskeln des Oberarms beugeseitig
C7	Muskeln des Ober- und Unterarms streckseitig
C8	Muskeln des Unterarms beugeseitig und Thenar
T1	Hypothenar
T6–T12	Bauchmuskeln
L1, L2, L3	Hüftbeuger und Adduktoren
L4, L5, S1	Glutäen
L5	Extensoren des Fußes, der Großzehe und Peronealmuskulatur
S1	Wade

Blutgefäße

Die Wirbelsäule hat tragende Funktion für das Herz und die großen Gefäße, die zwischen T4 und L4 an ihr ventral fixiert sind. In diesem Bereich können ventrale Eingriffe nur von den Seiten durchgeführt werden, während man kranial zwischen C1 und T3 sowie kaudal zwischen L5 und dem Os coccygis von ventromedial zugeht (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Zu beachten ist die A. Adamkiewicz, eine thorakale Spinalarterie. Sie versorgt die A. spinalis anterior. Ihre Lokalisation ist häufig linksseitig und ihre Höhe variabel, am häufigsten zwischen T6–T10. Eine Verletzung kann zu einem vorderen Rückenmarksyndrom führen.

4.1.2 Leitsymptome

Die Leitsymptome ergeben sich aus den involvierten Dermatomen und Myotomen, die in Tab. 4.1 und Tab. 4.2 aufgelistet und in Abb. 4.2 dargestellt sind.

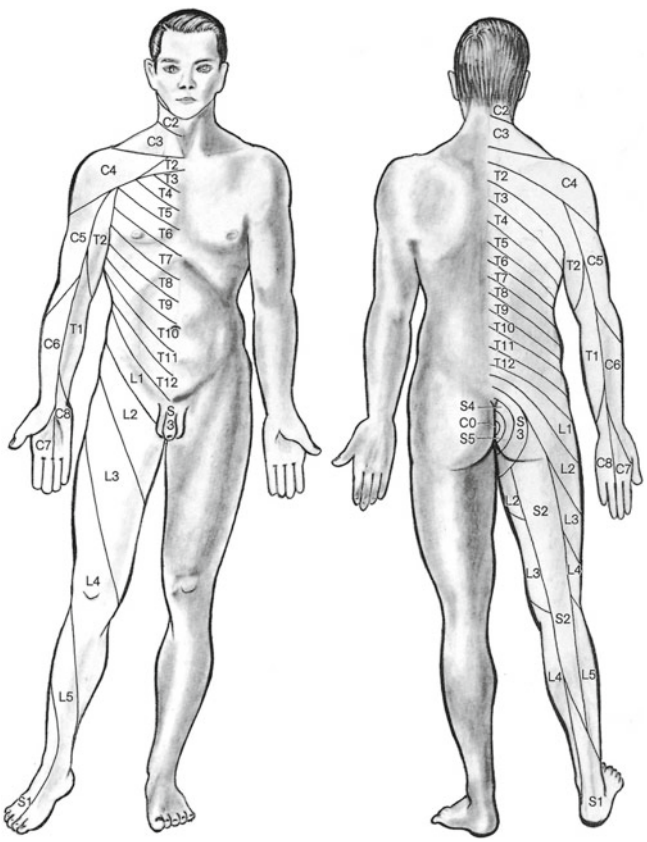


Abb. 4.2 Dermatome von ventral und dorsal. (Aus: Louis 1985)

4.1.3 Diagnostik

Risikofaktoren

Die Gefahr, dass eine begleitende Verletzung der Wirbelsäule vorliegt, ist besonders groß bei folgenden Konstellationen (Blauth 1998 a):

In der **Anamnese** finden sich:
- stumpfes Bauchtrauma,
- mehrfache Frakturen,
- direkte Verletzungen der Hals- und Nackenregion,
- Sprung in unbekanntes, flaches Gewässer oder
- Fall aus großer Höhe.

Die **Untersuchung** ergibt:
- Nackenschmerzen,
- prävertebrales Hämatom,
- signifikante Kopf- oder Gesichtsverletzungen,
- Symptome einer Vergiftung, besonders des Drogenmissbrauchs,
- eingeschränkte und/oder veränderte Bewusstseinslage,
- Morbus Bechterew oder idiopathische Hyperostose,
- andere stark schmerzhafte Verletzungen und/oder
- neurologische Symptome.

Klinische Diagnostik

Die gesamte Wirbelsäule eines potenziell Wirbelsäulenverletzten muss palpiert und auf druckschmerzhafte Areale hin abgetastet werden. Dabei kann der Verletzte auf dem Rücken liegen bleiben. Die Hand des Untersuchers fährt unter dessen Körper und beginnt mit der Palpation im Nackenbereich und endet über dem Sakrum. Wenn der Patient starke Schmerzen hat oder bewusstlos ist, empfiehlt sich, dass möglichst mehrere Helfer – beim Bewusstlosen unter axialem Zug am Kopf – den Verletzten en bloc, um ca. 20–30°, zu sich drehen. Dadurch werden für den untersuchenden Arzt alle Wirbelsäulenabschnitte zugänglich. Bei Distraktions- und/oder Rotationsverletzungen lassen sich bei exakter Palpation ggf. ein Klaffen zwischen 2 Dornfortsätzen oder eine sagittale Stufe tasten. Eine pathologische Schmerzangabe über den Dornfortsätzen ist hinweisend auf eine Distraktions- oder Rotationsverletzung.

Der neurologische Befund sollte möglichst genau erfasst und dokumentiert werden. Man fordert dazu den Patienten auf, Arme und Beine zu bewegen (zur groben Höhenlokalisation: ▶ Abschnitt 4.1.2, Leitsymptome). Für die Verlaufsdokumentation empfiehlt es sich, die Sensibilitätsgrenzen mit einem Stift auf der Haut zu markieren. Insbesondere sollte auch nach einer Reithosenanästhesie gefahndet werden. Dazu gehört eine rektale Untersuchung mit Prüfung des Sphinktertonus und der anschließenden Dokumentation der Befunde.

Einteilung der Muskelkraft in 6 Stufen (British Medical Research Council)

- 0: Paralyse
- 1: Tast- oder sichtbare Kontraktion ohne Bewegungserfolg
- 2: Bewegung bei neutralisierter Schwerkraft möglich
- 3: Bewegung gegen Schwerkraft möglich
- 4: Bewegung gegen Widerstand möglich
- 5: Normale Kraft

▼

Hinweise für eine Querschnittslähmung beim Bewusstlosen (nach Müller-Vahl 1998)

- Schlaffer Muskeltonus
- Fehlende oder abgeschwächte Abwehrreaktion auf Schmerzreize
- Bauchatmung
- Priapismus

Hinweise auf eine instabile Verletzung

- Äußerlich sichtbare Achsabweichung
- Äußerlich sichtbare Schwellung
- Deutliche Schmerzen über den Dornfortsätzen
- Krampfhaft fixierter Kopf
- Großflächige Prellmarken im Rumpfbereich
- Neurologische Ausfälle
- Zeichen des spinalen Schocks

Radiologische Diagnostik

Standardaufnahmen des jeweils verdächtigen Wirbelsäulenabschnitts in 2 Ebenen stehen am Anfang der bildgebenden Diagnostik. Man beurteilt folgende Kriterien:
- die Stellung der einzelnen Wirbel und Zwischenwirbelgelenke zueinander,
- Frakturlinien bzw. Deformierungen der Wirbelkörper und
- prävertebrale Weichteilvermehrung.

Auf eine Röntgenuntersuchung kann nur bei fehlender Klinik verzichtet werden, wenn der Patient
- wach ist,
- nicht unter Einfluss von Drogen, Alkohol oder starken Schmerzmitteln steht und
- keine schweren Begleitverletzungen hat, die von einer Wirbelsäulenverletzung ablenken könnten.

Da relativ häufig nicht nur eine Etage betroffen ist, muss bei einer nachgewiesenen Verletzung immer die restliche Wirbelsäule mitgeröntgt werden.

Halswirbelsäule

Standardaufnahmen

Diese umfassen:
- HWS seitlich bis einschließlich der Deckplatte des 1. Brustwirbelkörpers (BWK) unter axialem Zug an beiden Armen,
  - bei (trotz Zug) ungenügender Darstellung werden Schwimmer- oder Fechteraufnahmen angefertigt, durch Lagerung eines Arms über dem Kopf,
  - bei immer noch ungenügender Darstellung, was bei Adipositas oder kräftig entwickelter Muskulatur vorkommen kann, helfen so genannte Traumaschrägaufnahmen in 2 Ebenen weiter, mit 30–40° geneigtem und 15° nach kranial gekipptem Zentralstrahl,
  - wenn immer noch keine klare Aussage getroffen werden kann, ist eine CT angezeigt,
- HWS a.p.,
- Zielaufnahme von Atlas und Axis transoral (nur beim kooperativen Patienten möglich).

Zusatzaufnahmen

30°- oder 45°-Schrägaufnahmen in 2 Ebenen zur Beurteilung der Neuroforamina und Gelenkfortsätze, z.B. bei der einseitig verhakten Luxation sind zusätzlich möglich.

Am zervikothorakalen Übergang finden sich gehäuft knöcherne und ligamentäre Verletzungen, die nicht selten durch Überlagerung der Schultern übersehen werden. Das oben angeführte Schema hilft, solche Verletzungen auszuschließen.

Aktive Funktionsaufnahmen

Insbesondere im Bereich der HWS sind reine diskoligamentäre Instabilitäten häufig. Man sieht dann u.U. auf den Übersichtsaufnahmen keinerlei Auffälligkeiten und kann die vorhandene Instabilität nur mit Funktionsaufnahmen erkennen. Dazu röntgt man die HWS jeweils in maximaler Inklination und Reklination. Doch auch dabei kann eine vorhandene Instabilität durch Muskelanspannung maskiert bleiben, deshalb kann sogar eine Untersuchung in Narkose angezeigt sein. Bei entsprechendem klinischem Verdacht sollten die Funktionsaufnahmen nach 2–3 Wochen wiederholt werden.

Passive Funktionsaufnahmen

Bei bewusstlosen Patienten können passive Funktionsaufnahmen diagnostisch weiterhelfen, wenn der Verdacht auf eine diskoligamentäre Verletzung besteht oder das Ausmaß einer Instabilität festgestellt werden soll. Die Aufnahmen werden unter Bildwandlereinsatz im seitlichen Strahlengang angefertigt. Der Untersucher hält den Kopf des Verletzten und bewegt die HWS unter Sicht in die Re- bzw. Inklination. Bei Verletzungen im Bereich der oberen HWS soll auch die dorsoventrale Translation geprüft werden. Die Stabilität der Bandscheiben kann auch durch einen kontrollierten axialen Zug bewertet werden.

Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule

Es werden die jeweiligen klinisch verdächtigten Abschnitte in 2 Ebenen geröntgt, wobei man zunächst Übersichtsaufnahmen der BWS oder LWS anfertigen lässt. Zeigt sich eine Fraktur, die nicht vom Zentralstrahl erfasst ist, sondern am Bildrand liegt, sollten zusätzlich Zielaufnahmen in 2 Ebenen angefertigt werden. Die obere BWS lässt sich auf den Standardaufnahmen meist nicht ausreichend beurteilen. Bei Frakturverdacht braucht man Zusatzaufnahmen wie Schwimmer- oder Schrägaufnahmen und meist auch eine CT mit Rekonstruktionen.

Computertomografie

Die CT hat sich längst als Standarddiagnostikum verletzter Wirbelsäulenabschnitte durchgesetzt und ist inzwischen unverzichtbar geworden. Sie ist indiziert, wenn:

- eine Verletzung auf konventionellen Bildern oder Funktionsaufnahmen nachgewiesen wurde,
- ein Wirbelsäulenabschnitt auf konventionelle Weise nicht ausreichend beurteilbar ist (okzipitozervikaler Übergang),
- anhaltende unklare Beschwerden vorliegen oder
- ein segmentales neurologisches Defizit besteht.

Die CT ermöglicht die Beurteilung folgender wichtiger Strukturen, die für eine richtige Therapiewahl von ausschlaggebender Bedeutung sind:

- die Weite des Spinalkanals und der Neuroforamina,
- Frakturen der Wirbelkörperhinterkante:
  - der Pedikel,
  - der Wirbelbögen,
  - der Gelenkfortsätze.

Durch die Möglichkeit, sekundär Rekonstruktionen auszurechnen, lässt sich ein etwaiger Versatz verletzter Wirbelsäulenabschnitte sichtbar machen, die im konventionellen Übersichtsbild oft wegen Überlagerung anderer Körperpartien nicht ausreichend erkennbar werden, wie am zervikothorakalen Übergang und im Bereich der oberen BWS.

Weil manche Frakturen der Okzipitalkondylen oder des Atlasbogens auf konventionellen Aufnahmen nicht zur Darstellung kommen, sollte bei schweren Kopf- oder Gesichtsschädelverletzungen der kraniozervikale Übergang immer mitgeschichtet werden. Von solchen Patienten wird ohnehin eine CT des Schädels angefertigt. Die Ausdehnung der Untersuchung auf den kraniozervikalen Übergang bedeutet deshalb keinen wesentlichen Zeit- und Kostenmehraufwand (Blauth 1998 a). Da auch Gefäßverletzungen häufig sind, empfiehlt sich die Untersuchung in geeigneter Schichtung mit Kontrastmittel, um auch Dissektionen der Karotiden und der Vertebralarterien ausschließen zu können.

Magnetresonanztomografie

Die MRT eignet sich besonders gut zur Beurteilung der Weichteile, weniger des Knochens. Folgende Läsionen sind durch sie am besten sichtbar zu machen:

- Rückenmarkschäden,
- Ligamentäre Verletzungen
- Verletzungen der Aa. vertebrales
- Weichteil- und Knochenmetastasen

Es empfiehlt sich bei jeder Querschnittslähmung und insbesondere jeder Verschlechterung des neurologischen Ausgangsbefundes, eine MRT durchzuführen (Blauth 1998 a).

4.1.4 Präklinische Versorgung

Bergung

Bei Verdacht auf eine instabile Verletzung im Bereich der HWS muss dem Unfallopfer eine steife Halsstütze (z.B. Stiffneck) angelegt werden. Dazu wird der Kopf unter leichtem axialem Zug in Neutralstellung gebracht. Neutralstellung heißt, dass der Kopf um wenige Zentimeter von der Unterlage gehoben ist. Eine Hyperflexion soll vermieden werden, weil sie zu einer Verlegung des Spinalkanals führen kann, wenn instabile Frakturen vorliegen.

Auf die Anlage einer steifen Halsstütze soll verzichtet werden, wenn ein Spasmus der Nackenmuskulatur besteht oder eine Schmerzverstärkung bzw. Zunahme neurologischer Ausfälle während des Immobilisationsversuchs eintreten (Blauth 1998 a). Unter diesen Umständen wird der Patient mit der vorgegebenen Kopfhaltung auf einer Vakuummatratze gelagert und transportiert.

Steife Halskrawatten können Druckstellen verursachen und dürfen daher nicht länger als 24 h angelegt bleiben.

Wenn eine Instabilität weiter kaudal vermutet wird, muss der Patient für den Transport sehr vorsichtig auf einer Vakuummatratze gelagert werden. Dazu benutzt man am besten eine Schaufeltrage, die in 2 Längshälften geteilt werden kann. Man schiebt zunächst die eine, dann die andere Längshälfte unter den Patienten. Um die-

sen Vorgang zu erleichtern, kippen 2 oder 3 Helfer den Verletzten en bloc gerade so weit zu sich, dass dessen eine Körperhälfte genug Bodenfreiheit bekommt, um eine Hälfte der Trage darunter schieben zu können. Dann verfährt man auf der anderen Seite genauso und vereint die beiden Hälften. Nach Lagerung auf der Vakuummatratze wird die Schaufeltrage entriegelt und entfernt. Dann wird die Matratze anmodelliert und entlüftet. Nun ist der Verletzte für den Transport stabil gelagert.

Der Einsatz der Schaufeltrage ist auf sehr unebenem Gelände nicht möglich. Alternativ kann der Verletzte nach dem »Gabelstaplerprinzip« oder dem Brückengriff geborgen werden. Beim Gabelstaplerprinzip hocken sich 3 Helfer auf einer Seite des Unfallopfers nieder, schieben ihre Hände unter dessen Körper und heben ihn auf Kommando an. Gleichzeitig nimmt ein 4. Helfer den Kopf unter axialem Zug. So lässt sich der Verletzte auf eine Trage heben, die zuvor neben ihm bereitgestellt wurde. Der Brückengriff funktioniert nach demselben Prinzip, nur dass die 3 Helfer in Grätschstellung über dem Verletzten stehen mit Blickrichtung zu dessen Kopf, der vom 4. Helfer wiederum unter axialem Zug gefasst wird, während ein 5. Helfer eine Trage von vorne unterschiebt.

Wirbelsäulenverletzte dürfen nur en bloc gedreht und auf keinen Fall in sich verdreht werden.

Intubation

Bei der Intubation besteht bei instabilen Verletzungen der HWS die Gefahr, dass zusätzliche Rückenmarkkompressionen ausgeübt werden, wenn die HWS flektiert wird, während die leichte bis mäßige Reklination des Kopfs unter axialem Zug ungefährlich ist. Nach erfolgter Intubation wird die HWS wieder mit einer steifen Halskrawatte ruhiggestellt.

Transport

Wirbelsäulenverletzte sollten nach Möglichkeit primär in ein Traumazentrum gebracht werden, in dem diese Verletzung einschließlich einer etwaigen operativen Stabilisierung behandelt werden kann. Der Transport sollte nach Möglichkeit auf dem Luftweg erfolgen, da dieser erschütterungsfreier als der bodengebundene Transport ist. Dabei ist die Schnelligkeit weniger bedeutsam als ein schonender Transport.

Bei zusätzlicher abdomineller oder thorakaler Blutung steht die Stillung solcher potenziell lebensbedrohlicher Blutungen im Vordergrund, weshalb die nächstgelegene chirurgische Fachabteilung angelaufen wird.

Bei begleitendem Schädel-Hirn-Trauma mit Zeichen des intrakraniellen Druckanstiegs muss der Verletzte möglichst rasch einer neurochirurgischen Behandlung zugeführt werden.

4.1.5 Klinische Versorgung

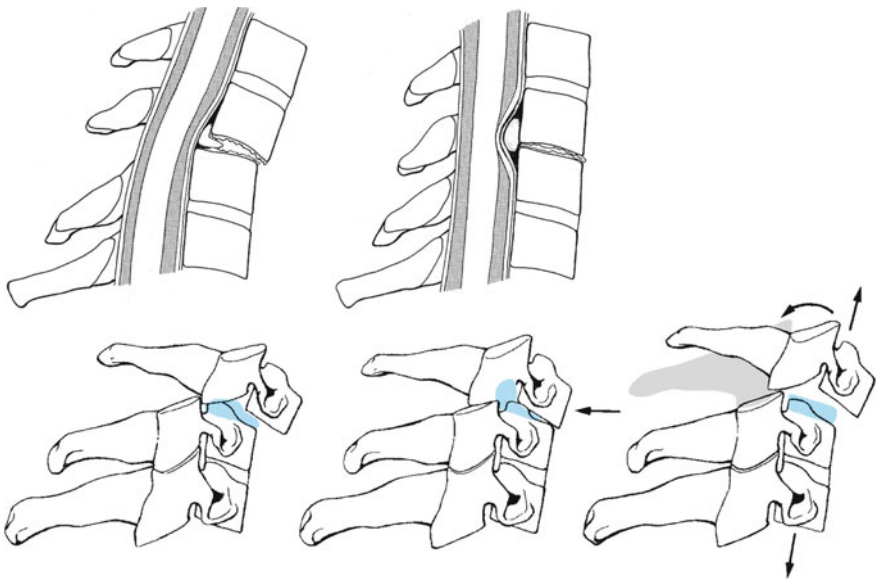
Reposition

Halswirbelsäule

Im Gegensatz zu Extremitätenverletzungen darf an der Wirbelsäule erst nach Durchführung der bildgebenden Diagnostik reponiert werden. Wenn neurologische Ausfälle bestehen, müssen etwaige Dislokationen möglichst schnell reponiert werden. Insbesondere dann, wenn eine sofortige Versorgung im Operationssaal aus organisatorischen Gründen nicht möglich ist, sollte zunächst geschlossen eingerichtet werden (◘ Abb. 4.3).

Eine Ausnahme dazu stellt die verhakte Verrenkung im Bereich der HWS mit verlagertem Diskusgewebe dar. Ein Hinweis für eine Diskushernie ist ein verschmälerter Zwischenwirbelraum. Die Häufigkeit dieser Komplikation bei Verrenkungen der HWS schwankt in der Literatur stark zwischen 0 und 50% (Blauth 1998 a).

An der HWS empfiehlt sich folgendes Vorgehen. Der Patient wird in Rückenlage so positioniert, dass HWS und Kopf die Unterlage überragen, sodass der Kopf frei beweglich ist und die HWS seitlich durchleuchtet werden kann. Dazu lagert der am Kopfende sitzende Untersucher den Kopf des Patienten am besten auf seinen Knien. Durch Gegenzug an beiden Armen erhält man meist genügend Überblick über den verletzten Abschnitt der HWS. Viele Fehlstellungen im Bereich des okzipitozervikalen Übergangs und kyphotische Knickbildungen bei Luxationsfrakturen der unteren HWS lassen sich gut reponieren und je nach Verletzungstyp ggf. auch anschließend im Halofixateur weiterbehandeln (▶ Abschnitt 4.1.5.3). Ein eigentliches Repositionsmanöver ist nur bei reitenden und verhakten Luxationen nötig.



◘ **Abb. 4.3a,b** Reposition an der HWS. **a** Nach dorsal luxiertes Diskusgewebe, das nach Reposition das Rückenmark komprimiert, muss vor einer Reposition ausgeräumt werden, sonst droht eine Tetraplegie. **b** Eine verhakte Verrenkung, die ohne ausreichenden Längszug reponiert wird (z.B. offenes Vorgehen von dorsal), verursacht zwangsläufig eine Diskushernie, die unter Einsatz eines suffizienten axialen Zugs vermieden werden kann. (Aus: Blauth 1998)

Reitende Verrenkung

Die Reposition gelingt durch Reklination. Da das betroffene Bewegungssegment ohnehin distrahiert steht, braucht man keine wesentlichen Zugkräfte aufwenden.

Einseitig verhakte Verrenkung

Der Kopf des Verletzten wird unter Längszug zur Gegenseite der Verhakung geneigt, um sie zu lösen, und anschließend zur vorher verhakten Seite gedreht, um sie zu reponieren.

Beidseitig verhakte Verrenkung

Die Verhakung wird zunächst durch Längszug unter leichter Inklination gelöst und in eine reitende Luxation überführt und anschließend durch Reklination reponiert. Ausnahmsweise kann es auch nötig sein, die doppelseitige Verrenkung zunächst durch Zug, Seitneigung und Rotation in eine einseitige zu überführen und anschließend durch Wiederholung dieses Manövers in die entgegengesetzte Richtung die noch verbliebene Verhakung zu lösen (Blauth 1998 a).

Wegen der Gefahr der Verlagerung von Diskusgewebe nach dorsal mit konsekutiven neurologischen Ausfällen soll eine beidseitig verhakte Verrenkung der HWS nach Möglichkeit am wachen Patienten reponiert werden. Dadurch ist gewährleistet, dass nicht unbemerkt Diskusgewebe nach dorsal verlagert wird, da dies zu starken Schmerzen und neurologischen Ausfällen führen würde, sodass man den Repositionsversuch rechtzeitig abbrechen kann.

Blauth (1998 a) empfiehlt folgendes Vorgehen:

- Vor einer Reposition sollte immer dann eine MRT angefertigt werden, wenn
  - der Patient bewusstlos oder nicht kooperativ ist und deshalb nicht am wachen Patienten reponiert werden kann,
  - bereits ein neurologisches Defizit besteht oder
  - bei einem Repositionsversuch ein neurologisches Defizit aufgetreten ist;
- wird ein Bandscheibenvorfall entdeckt, sollte dieser vor Reposition zunächst von ventral ausgeräumt werden;
- eine ein- oder beidseitige Verrenkung sollte niemals von dorsal eingerichtet werden.

Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule

Frakturen und Luxationen im thorakalen und lumbalen Bereich sollten ebenfalls nur am wachen Patienten reponiert werden. Die Patienten werden dazu unter Bildwandlerkontrolle unter Längszug gebracht, indem am besten durch 4 Helfer gleichzeitig an allen 4 Extremitäten gezogen wird. Bei Kompressionsfrakturen im LWS-Bereich wird zusätzlich eine Lordosierung mit einem breiten Gurt vorgenommen. Über Ligamentotaxis können dabei sogar in den Spinalkanal prolabierte Hinterkantenfragmente reponiert werden.

Zervikalstützen

Weiche Zervikalstütze

Die weiche Halskrawatte, auch Schanz-Halskrawatte genannt, besteht aus einer Schaumgummistütze mit Baumwollüberzug, die mit einem Klettverschluss versehen ist. Sie sorgt für eine gewisse Entlastung der Muskulatur, was insbesondere bei schmerzhaft erhöhtem Tonus angenehm empfunden wird. Nachteil ist, dass nach längerer Tragzeit die Muskulatur atrophiert und dann reaktiv schmerzhafte Kontrakturen durch Überlastung der nun insuffizient gewordenen Muskulatur auftreten können. Die weiche Halskrawatte wird vorwiegend zur Ruhigstellung bei Distorsion eingesetzt.

Harte Zervikalstütze

Die Schalenkrawatte gibt es von zahlreichen Anbietern in verschiedenen Ausführungen. Sie besteht aus 2 flexiblen Kunststoffhälften, die ebenfalls mit Klettverschlüssen miteinander verbunden werden, sodass sie eine relativ stabile Stütze für den Hals ergeben, die insbesondere Flexion und Extension der oberen HWS einschränken. Sie wird daher zur Ruhigstellung stabiler bzw. operativ stabilisierter Frakturen eingesetzt.

Steife Zervikalstütze

Der Stiffneck besteht aus einem steiferen Material als die harte Zervikalstütze. Er dient zur Bergung und vorübergehenden Ruhigstellung verunfallter Patienten, bei denen der Verdacht auf eine instabile Verletzung im HWS-Bereich besteht. Der Stiffneck darf nur während der Primärversorgung und Notfalldiagnostik angelegt bleiben und muss spätestens nach 24 h durch eine andere Art der Ruhigstellung oder die operative Versorgung ersetzt werden, weil seine harten Ränder Druckstellen verursachen können.

Minerva-Verband

In ganz wenigen Ausnahmefällen, bei denen eine Zervikalstütze nicht ausreicht und ein Halofixateur nicht geeignet ist, was z.B. bei Kindern der Fall sein kann, besteht die Indikation zur Ruhigstellung im Minerva-Verband, den man früher aus Gips angefertigt hat. Inzwischen gibt es semirigides Material als Alternative zum Gips. Die Flexibilität von semirigidem Kunststoff bietet bei den alltäglichen Lageänderungen wie Liegen, Stehen, Sitzen – und insbesondere auch beim Atmen – mehr Tragekomfort. Folgende Grundmateriali-

Abb. 4.4 Aufbau eines Minerva-Verbandes aus semirigidem Kunststoff mit steifen Scotchcast-Longuetten zur Verstärkung.

en zur Anfertigung eines Minerva-Verbandes aus flexiblem Material werden für einen Erwachsenen bereitgelegt (Abb. 4.4):

- 50 cm Trikotschlauch 10 cm,
- 100 cm Trikotschlauch 20 cm,
- 2 Streifen Klebefilz oder -schwamm zum Polstern 2,5×10 cm,
- eine starre Kunststoff-Longuette 10×90 cm,
- 2 Rollen semirigider Kunststoffverband 5 cm,
- 2 Rollen semirigider Kunststoffverband 7,5 cm,
- 2 Rollen semirigider Kunststoffverband 12,5 cm.

Die Trikotschläuche werden doppelt gelegt. Dazwischen werden die Polsterstreifen zu beiden Seiten des Kehlkopfs geklebt. Mit der 5 cm breiten Binde werden Stirn, Unterkiefer und Nacken umwickelt, mit der 7,5 cm breiten Rolle die Schultern in Achtertour und mit der 12,5 cm breiten der Rumpf abgedeckt. Um die einzelnen Lagen des Verbandes miteinander gut verkleben zu können, wird dieser nun mit nassen Baumwollbinden eingewickelt. Nach 2 min können die Baumwollbinden wieder entfernt werden. Anschließend zeichnet man sich die Grenzen des Verbandes ein und schneidet sie mit einer Schere zu. Den überstehenden, äußeren Trikotschlauch schneidet man ab, den inneren schlägt man daraufhin an den Rändern um und fixiert ihn mit Pflasterstreifen.

Nun werden die verstärkenden rigiden Kunststoff-Longuetten angebracht. Dazu wird die 90 cm lange Longuette in 2 Hälften zerschnitten; dann wird die eine dorsal, die andere ventral angelegt. Die Longuetten sollen sowohl okzipital als auch mandibulär etwa 1 cm unterhalb der Oberkante des bereits angewickelten Verbandes angesetzt, nach kaudal anmodelliert und schließlich schrittweise mit den verbleibenden Rollen fixiert werden. Beim Anlegen der ventralen Longuette muss der Mund des Patienten leicht geöffnet sein. Zum Schluss werden wiederum feuchte Baumwollbinden angewickelt, um einen innigen Verbund zwischen den einzelnen Lagen des Kunststoffverbandes zu schaffen. Beim Abbinden muss man den Cast am Sternum und insbesondere zwischen den Schulterblättern anmodellieren, um für einen exakten Sitz zu sorgen.

Halofixateur externe

Indikationen

Der Halofixateur externe dient der äußeren Stabilisierung instabiler Verletzungen des okzipitozervikalen Übergangs, der HWS und des zervikothorakalen Übergangs. Bei intakten Bandverhältnissen liegt die Hauptindikation in einer notwendigen Distraktion.

Kontraindikationen

Begleitende Schädelfraktur oder Thoraxtrauma, Adipositas per magna sind Kontraindikationen. Bei hochgradig instabilen Verletzungen der HWS kann man mit dem Halofixateur keine ausreichende Ruhigstellung erreichen. In diesen Fällen ist er den Zervikalstützen nicht überlegen.

Montage

Zur Montage sind insgesamt 3 Personen erforderlich; eine hält den Kopf, die anderen beiden montieren den Fixateur. Die Montage kann am sitzenden oder in Rückenlage befindlichen Patienten vorgenommen werden. Das hängt vom Ausmaß der Beschwerden und der Instabilität ab. Wenn der Patient sitzt, sollte so lange eine steife Zervikalstütze angelegt bleiben, bis der Haloring samt Haloweste komplett angelegt ist. In liegender Position kann der Kopf des Patienten auf dem schmalen Ausläufer eines Bretts, auf dem der Patient liegt, gelagert werden.

Zunächst rasiert man die Kopfhaut an den Stellen, an denen später die Schrauben zur Befestigung des Halorings eingedreht werden sollen. Dabei muss man auf folgende Strukturen bzw. Gegebenheiten achten (Abb. 4.5):

- In der Horizontalebene sollte der Ring knapp kaudal der größten Schädelzirkumferenz zu liegen kommen, weil er sonst nach kranial ausweichen kann. Deshalb soll der Abstand vom Unterrand des Halorings zu den Augenbrauen bzw. zum Oberrand der Ohrmuscheln 1 cm nicht überschreiten.
- Andererseits muss man oberhalb des Orbitarandes bleiben, damit der Ring nicht in die Orbita abweichen kann.
- In der Frontalebene werden die frontal gelegenen Schrauben zwischen den supraorbital austretenden Trigeminusästen einerseits und der A. temporalis andererseits, etwa in Höhe der lateralen Drittelgrenze der Augenbrauen, eingedreht. Zu weit medial liegende Schrauben können nicht nur Nerven, sondern auch die Stirnhöhle, zu weit lateral liegende den Kaumuskel irritieren.
- Die okzipital liegenden Schrauben werden etwa bei 4 bzw. 8 Uhr, in Höhe der Tangenten der Hinterränder der Ohrmuscheln eingedreht.

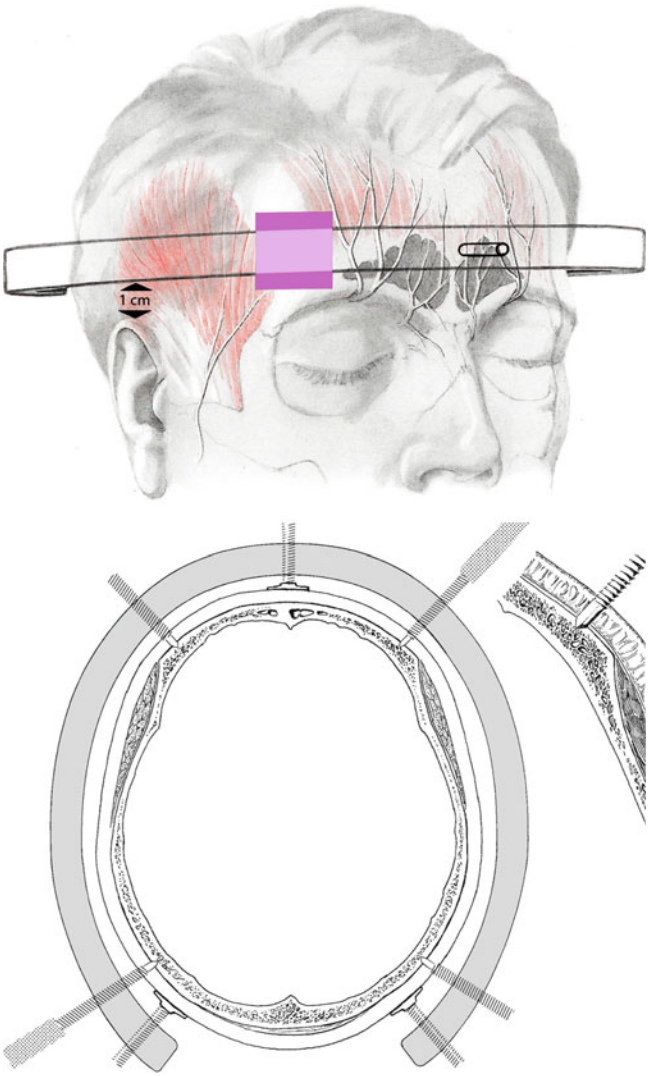


Abb. 4.5 Bei der Montage des Halorings werden insgesamt 4 Schrauben in der Tabula externa verankert. Beidseits je eine Schraube in Höhe der lateralen Drittelgrenze der Augenbrauen 1 cm kranial davon und eine oberhalb und 2 cm okzipital des oberen, hinteren Randes der Ohrmuschel. (Aus: Blauth 1998 b)

Man wählt einen Haloring passender Größe. Dorsal offene Halbringe sind weniger stabil und werden nur in Ausnahmefällen benutzt. Zwischen Kopf und Ring sollen 1–2 cm Platz sein. Dann fixiert man den Ring provisorisch mit 3 Schrauben, deren Enden mit Saugnäpfen bewehrt sind. Nun wird an den oben beschriebenen Stellen Haut und Periost mit einem 1- oder 2%igen Lokalanästhetikum infiltriert. Nach Wirkungseintritt werden die 4 Schrauben über den Haloring durch Haut und Periost in die Tabula externa der Schädelkalotte unter Zuhilfenahme eines Drehmomentschlüssels mit einer dosierten Belastung von 6–8 pound-force inches eingedreht. Das entspricht etwa 0,7–0,9 Nm. Die Schraubenenden sind so spitz, dass man keine Hautinzisionen vorlegen muss. Die spitzen Enden sind aber kurz und laufen in breiten Schultern aus, damit sie nicht zu tief in die Schädelkalotte eindringen können. Unter diesen Schultern kann sich beim Eindrehen der Schrauben Haut verklemmen, was den Patienten anhaltende Schmerzen bereiten kann. Verklemmte Hautanteile sollten deshalb vor dem definitiven Festziehen der Schrauben gelöst werden. Beim Eindrehen der frontalen Stifte soll der Patient die Augen geschlossen halten, dadurch lassen sich Spannungen im Oberlidbereich verhindern.

Beim Festdrehen der Schrauben müssen 2 Dinge beachtet werden: Zum einen sollten jeweils nur die beiden gegenüber liegenden Schrauben im Wechsel angezogen werden, damit der Haloring während der Montage rundherum den gewählten Abstand zum Schädel beibehält. Zum anderen muss man darauf achten, dass der Ring nicht an schrägen Kalottenflächen nach kranial abweicht, denn dann treffen die Schrauben die Schädelkalotte tangential, finden keinen richtigen Halt und könnten ausreißen, wenn die Konstruktion belastet wird.

Wenn alle Schrauben in der gewünschten Position liegen, werden sie mit je einer Schraubenmutter an der Innen- und Außenfläche des Halorings gekontert. Die Positionierungsstifte können im Ring belassen bleiben. Sie sollen im Falle eines Sturzes eine Kalottenperforation durch Kopfstifte verhindern. Deshalb werden sie lediglich gelöst, damit keine Druckstellen entstehen.

Nach Anlegen des Halorings oder schon vorher wird eine passende Weste ausgesucht und samt Polsterung dem Patienten angezogen. Die passende Größe wird durch Messung des Brustumfangs ermittelt. Mit Karbonfaserstäben wird eine stabile Verbindung zwischen Haloring und Weste hergestellt (Abb. 4.6). Nun wird eine etwaige Fehlstellung unter Bildwandlersicht reponiert. Nach erreichter Reposition werden alle Schrauben, die die Karbonfaserstangen fixieren, festgezogen und die HWS in 2 Ebenen geröntgt.

Nachbehandlung

Tägliche Pinpflege ist obligat. Die Stifte sollten 1–2 Tage nach der Montage und darüber hinaus in zweiwöchigen Abständen nachgezogen werden. Gelockerte Pins werden nur dann umgesetzt, wenn sie beim Nachziehen nach wenigen Umdrehungen keinen angemessenen Widerstand in der Schädelkalotte finden.

Begleitende isometrische Übungen helfen, die Atrophie der Nackenmuskulatur einzuschränken. Durch regelmäßige Röntgenkontrollen lassen sich sekundäre Dislokationen erkennen.

Wiederholtes Nachziehen der Schrauben kann dazu führen, dass die Pins die Tabula interna durchdringen, was man daran erkennen kann, dass beim Eindrehen plötzlich kein adäquater Widerstand mehr gegeben ist. Dann muss die Schraube umgesetzt werden.

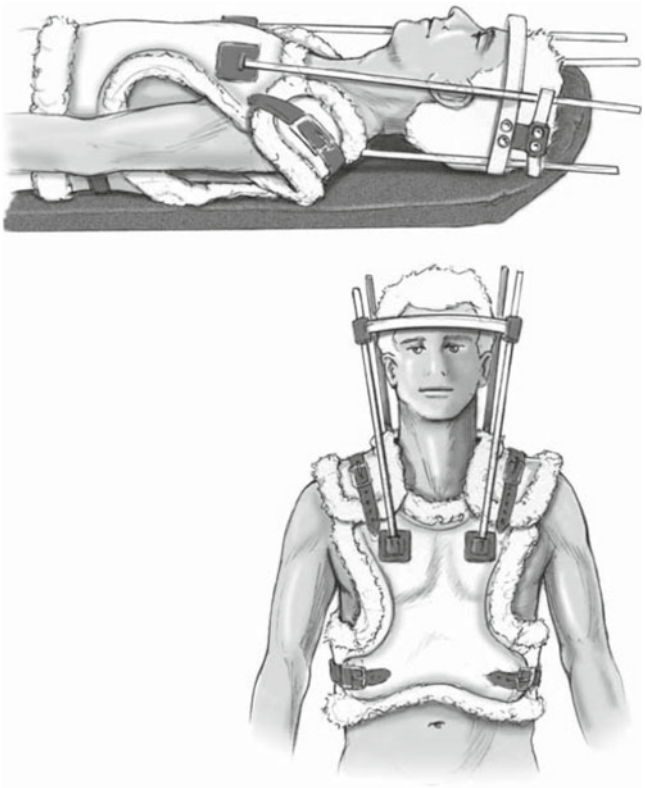


Abb. 4.6 Halo-Weste. (Aus: Schmolke u. Gossé 2008)

Korsetts

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die thorakolumbale Wirbelsäule von außen zu schienen, wenngleich die Indikation dazu mehr und mehr umstritten ist. Die Indikation zur äußeren Stabilisation besteht im Wesentlichen in der Schmerzreduktion bei Bewegung.

Rahmenstützkorsett

Das Rahmenstützkorsett wird zur Behandlung konservativ oder operativ versorgter Wirbelfrakturen vereinzelt eingesetzt. Es hat einen Rahmen, an dem 3 Abstützungen montiert sind, eine für das Brustbein, die zweite für die LWS-Lordose, die dritte für die Symphyse. Das Korsett hindert den Patienten, unbewusst den thorakolumbalen Übergang zu flektieren. Das soll dazu beitragen, dass der in Ausheilung begriffene Wirbelkörper während der Ausheilungsphase nicht übermäßig belastet wird und weiter an Höhe verliert. Andererseits hat laut Plaue (1972) ein gering komprimierter Wirbelkörper nur einen Teil und ein um 50% höhengeminderter nichts seiner ursprünglichen Stabilität eingebüßt, sodass umstritten ist, ob eine äußere Stabilisierung den Sinterungsprozess während der Frakturheilung zu beeinflussen vermag.

Gips- oder Kunststoffkorsett

Mieder aus Gips oder Kunststoffe werden heute ebenfalls nur noch in seltenen Fällen verwendet. Gipsmieder kommen nach Reposition von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs im dorsalen Durchhang zum Einsatz. Dagegen sind Korsetts aus semirigidem Material, die mehr Tragekomfort bieten, eine Alternative zum Rahmenstützkorsett. Man kann sie bei Patienten einsetzen, von denen man annimmt, dass sie ein abnehmbares Rahmenstützkorsett nicht konsequent tragen würden. Bei Frakturen mit nur geringer Instabilität können sie am stehenden Patienten angelegt werden.

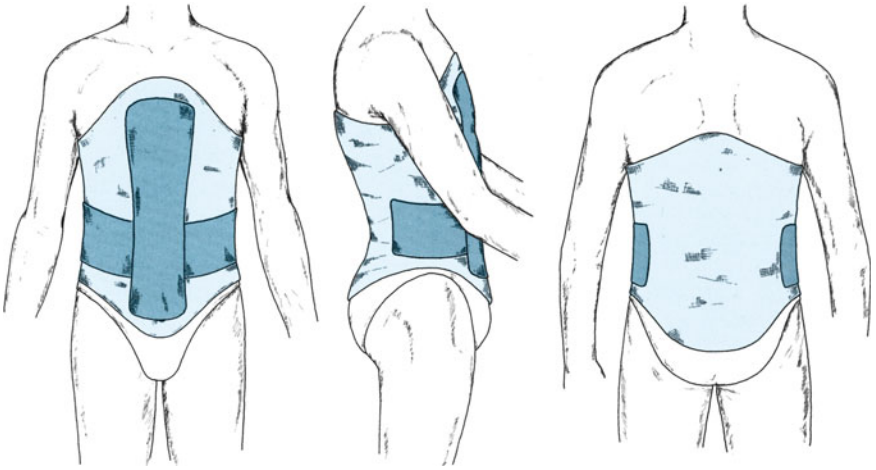


Abb. 4.7 Aufbau eines Korsetts aus semirigidem Kunststoff mit steifen Longuetten zur Verstärkung.

Folgende Grundmaterialien werden zur Anfertigung eines Korsetts aus Kunststoff benötigt (Größenangaben für einen Erwachsenen; Schuren 1994, Abb. 4.7):

- 100 cm Trikotschlauch 20 cm,
- 4 Rollen semirigider Kunststoffverband 12,5 cm,
- eine starre Kunststoff-Longuette 12,5 cm.

Der Trikotschlauch wird doppelt angelegt; dann werden 2 Rollen Soft Cast so angewickelt, dass Größe und Form des Korsetts vorgegeben werden. Nun wird eine Hälfte der Longuette zwischen Sternum und Symphyse, die andere von einer Crista iliaca zur anderen gelegt. Anschließend werden die verbleibenden 2 Rollen semirigiden Kunststoffverbandes darüber gewickelt. Damit die verschiedenen Lagen sich gut miteinander verbinden, werden sie nun durch Wickelung mit nassen Baumwollbinden aufeinander gepresst. Bis das Material abgebunden hat, was ungefähr 20 min dauert, muss der Patient im dorsalen Durchhang bleiben oder während dieses Zeitraums stehen. Alternativ kann man ihn auf einer Halbrolle lagern, die der LWS-Lordose untergelegt wird.

Lagerung im Operationssaal

Halswirbelsäule

Rückenlage

Für die operative Versorgung muss der Patient zunächst intubiert werden. Der Operateur muss entscheiden, ob dies bronchoskopisch erfolgen muss, denn er hat die meiste Erfahrung, kennt den Patienten, Anamnese und Röntgenbilder. In der Regel kann auf ein bronchoskopisches Vorgehen verzichtet werden, da die meisten Frakturen und Luxationen nicht so instabil sind, dass mit Komplikationen gerechnet werden muss, wenn der Anästhesist bei der Intubation vorsichtig ist und die HWS nur mäßig streckt und beugt. Es gibt jedoch Situationen, in denen sich ein bronchoskopisches Vorgehen generell empfiehlt.

Bei Instabilitäten im Bereich einer versteiften HWS (Morbus Bechterew) und Extensionsfrakturen des Dens axis sollte grundsätzlich bronchoskopisch intubiert werden (Blauth 1998 a).

Bei dislozierten Verletzungen der Wirbelsäule ist die Lagerung insbesondere der HWS von größter Bedeutung. In Narkose kann man eine Feinreposition durch verschiedene Maßnahmen erreichen. Die meisten Verletzungen der HWS lassen sich in einer Kopfschale mit Unterpolsterung des Nackens zur Herstellung der natürlichen HWS-Lordose anatomisch stellen. Dabei sollen alle Maßnahmen unter Bildwandlersicht vorgenommen werden, weil am narkotisierten Patienten etwaige Schmerzverstärkung und neurologische Defizite nicht erkennbar sind. Der Kopf wird nach erreichter Reposition mit einem zirkulären Pflasterstreifen gesichert, der um die Kopfstütze einerseits und über die Stirn andererseits geklebt wird. Der Tisch wird etwas in Kopfhochlage gekippt, um den venösen Abstrom aus dem Operationsgebiet zu verbessern.

Damit die HWS bei der prä- und intraoperativen Durchleuchtung nicht von den Schultern überlagert wird, werden diese durch breite Pflasterstreifen nach kaudal gezogen. Man klebt die Streifen von der Schulterhöhe angefangen über die Außenflächen der ganzen Armlänge und befestigt sie unter Zug am Tischrand. Außerdem sollte man beim Lagern darauf achten, alle Überwachungskabel, Infusionsschläuche etc., die beim Durchleuchten Kontrast geben, außerhalb des Strahlengangs zu verlegen, da sie intraoperativ bei der Beurteilung der Frakturstellung und Implantatlage erheblich stören können. Beim Abwaschen und Abdecken muss eingeplant werden, ob evtl. Knochen aus dem Beckenkamm gebraucht wird.

Bauchlage

Selten werden Instabilitäten im HWS-Bereich von dorsal stabilisiert. Dann werden die Patienten nach den unten beschriebenen Kautelen in Bauchlage gebracht und Kopf und Schultern wie beim ventralen Vorgehen unter Bildwandlereinsatz gelagert.

Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule

Bauchlage

Frakturen im thorakalen oder lumbalen Bereich werden in der Regel von dorsal in Bauchlage versorgt. Wenn der Verletzte in Bauchlage gebracht wird, muss man darauf achten, ihn en bloc und nicht in sich zu drehen, damit keine torquierenden Kräfte auf das Rückenmark einwirken können.

Der Thorax wird in Schulterhöhe und das Becken in Höhe der Beckenkämme auf voluminösen weichen Rollen gelagert, damit der Brust- und Bauchraum nicht komprimiert wird. Dies ermöglicht eine Beatmung ohne übermäßige Druckerhöhung und wirkt einem Stau im venösen Schenkel, der eine vermehrte intraoperative Blutung verursachen könnte, entgegen. Außerdem stellt sich dadurch eine ausreichende Lordose im Bereich der LWS her, was die Reposition der Fraktur begünstigt.

Beide Arme werden, nach kranial gerichtet, auf gepolsterten Armstützen gelagert, die Knie auf einem rechteckigen Polster und

die Füße auf einer quer untergeschobenen Schaumstoffrolle. Man muss bei der Tischwahl darauf achten, dass die zu versorgende Wirbelsäulenetage geröntgt werden kann, sonst ist u.U. die zentrale Säule im Weg. Der Bildwandler wird so eingestellt, dass die Kamera möglichst nahe am Patienten und die Röhre möglichst weit weg ist, dadurch werden der Bildausschnitt größer, die Bildqualität schärfer und die Strahlenbelastung geringer. Nach Einstellung des Bildwandlers wird die verletzte Etage unter Längszug reponiert. Dann können Hautdesinfektion und Abdeckung erfolgen.

Wenn ein noch unerfahrener Assistent die beiden letzten Schritte vornimmt, gerät das desinfizierte Hautareal meist zu klein. Man muss einberechnen, dass Knochen aus dem dorsalen Beckenkamm gehoben werden wird und dass die Redon-Drainagen später zu beiden Seiten möglichst so weit lateral ausgeleitet werden können, dass der Patient nicht auf den Ausleitungsstellen liegen muss.

Seitenlage

Ventrale Eingriffe am thorakolumbalen Übergang werden in Seitenlage vorgenommen. Dazu lagert man den Patienten auf eine Vakuummatratze. Ggf. »klappt« man ihn etwas auf, indem der Tisch an beiden Enden abgesenkt wird, vor der definitiven Spondylodese sollte die Wirbelsäule aber wieder in ihre lotrechte Position gebracht werden. Der Arm auf der Seite der Unterlage wird in einer Armstütze, der kontralaterale in einem gynäkologischen Beinhalter gelagert. Wieder muss darauf geachtet werden, dass die Tischsäule nicht beim Röntgen stört. Falls man einen ungeeigneten Tisch gewählt haben sollte, besteht eine gewisse Ausweichmöglichkeit durch Verschieben des Patienten mit der bereits entlüfteten, also starren, Vakuummatratze nach oben oder unten.

Therapie der Darmatonie

Eine Darmatonie kann allein durch ein retroperitoneales Hämatom eintreten, unabhängig von begleitenden neurologischen Ausfällen. Bei Wirbelkörperfrakturen etwa ab Höhe der mittleren BWS bis einschließlich LWS ist Vorsicht geboten. Dies gilt auch für Operationen bei Wirbelkörpermetastasen, denn insbesondere nach solchen Eingriffen sind große postoperative Hämatome mit daraus resultierender Nervenkompression zu erwarten.

Behandlungsstrategie

Während der ersten Tage nach Trauma oder nach einer Operation nur Tee, Suppe, Zwieback geben und keine feste Nahrung. Bei stark geblähtem Bauch und Übelkeit kurzzeitige parenterale Flüssigkeitszufuhr (z.B. 2500 ml Elektrolytlösung/24 h).

Die Peristaltik wird engmaschig auskultatorisch kontrolliert. Erst wenn sie lebhaft, der Bauch nicht gebläht und der Patient von Seiten des Abdomens beschwerdefrei ist, wird auf ballaststoffreiche Kost umgestellt. Ballaststoffreiche Kost ist anderer Kost vorzuziehen, weil frisch Wirbelsäulenverletzte in ihrer körperlichen Aktivität zunächst eingeschränkt sind, egal ob sie operativ oder konservativ versorgt werden und daher zur Obstipation neigen.

Wenn sich die Darmtätigkeit nicht innerhalb von 4 Tagen wieder einstellt oder die Darmatonie ausgeprägte Beschwerden verursacht, kommen Klistiere und Medikamente zum Einsatz. Neostigmin eignet sich am besten, weil es einfach zu applizieren ist. Man kann es ampullenweise alle 4–6 h intravenös oder subkutan applizieren, unter Einhaltung der Anwendungsbeschränkungen: Bradykardie, Hypotonie, Herzinsuffizienz, frischer Myokardinfarkt, Ulcus ventriculi, Schwangerschaft (▶ Abschnitt 4.2 unter Therapie).

4.2 Querschnittslähmung

Terminologie

Die Angabe der Läsionshöhe richtet sich nach dem untersten intakten Segment, also Tetraplegie unterhalb C4 oder Paraplegie unterhalb T12 etc. Es gibt vorübergehende Querschnittslähmungen auf dem Boden einer Commotio oder Contusio spinalis. Die Wahl der Bezeichnung ist dabei nicht von Bedeutung, denn diese Form von Lähmung bildet sich innerhalb von Stunden bis wenigen Tagen vollständig zurück. Sie hinterlässt keine Restzustände, die eine histologische Differenzierung zwischen Commotio oder Contusio zuließen (von Meinecke 1994).

Ätiologie

Die Querschnittslähmung entsteht meist durch Kompression infolge einer mechanischen Einengung durch dislozierte Wirbelanteile oder einer Blutung, sehr selten auch durch eine Zerreißung des Rückenmarks. Durchtrennte Nervenfasern sprossen sofort nach dem Trauma aus, doch nach 10–14 Tagen kommt dieser Vorgang aus noch ungeklärten Gründen zum Stillstand. Die umfangreichsten Schäden entstehen in der grauen Substanz, die weiße ist weniger verletzlich.

Epidemiologie

In der Bundesrepublik Deutschland ereignen sich jährlich ca. 1000 neue Fälle von Querschnittslähmungen. Das sind 17 pro 1 Mio. Einwohner pro Jahr. Dabei werden 78% durch Unfälle und nur 22% durch Erkrankungen verursacht. Dementsprechend findet sich eine Häufung bei jungen Patienten. Unter den Unfallverletzten sind über 50% zwischen 15 und 39 Jahre alt (von Meinecke 1994).

Klinik

Unmittelbar nach einer Verletzung liegen in 80% der Fälle Zeichen des spinalen Schocks vor:

- Sensibilitätsverlust,
- schlaffer Lähmung der Muskulatur,
- Atonie von Blase und Darm,
- fehlenden Eigen- und Fremdreflexen,
- fehlender Gefäßkontrolle und Wärmeregulation,
- Hypotonie, Bradykardie,
- Harnretention.

Ist der Konus, von dem die Sakralwurzeln abgehen, nicht geschädigt, stellen sich Analreflex und Bulbus-cavernosus-Reflex als erste innerhalb von 1–2 Tagen wieder ein. Die Symptome des spinalen Schocks jedoch klingen erst innerhalb von Tagen bis etwa 8 Wochen nach dem akuten Ereignis allmählich ab. Erst dann zeigen sich die typischen Symptome einer zentralen Lähmung mit gesteigertem Muskeltonus, gesteigerten Muskeldehnungsreflexen und einem positiven Babinski-Zeichen. Deshalb kann während des spinalen Schocks das Ausmaß des eingetretenen Schadens nicht genau bestimmt, sondern nur vermutet werden (Abb. 4.8).

Der Babinski-Reflex ist ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der neurologischen Situation des Patienten. Er weist auf eine Störung im Bereich bestimmter Nervenbahnen hin, die vom Großhirn durch den Hirnstamm in das Rückenmark ziehen, den so genannten Pyramidenbahnen. Der Babinski-Reflex wird durch druckvolles Bestreichen des äußeren Fußsohlenrandes ausgelöst. Er ist positiv, wenn dieses Bestreichen eine anhaltende Überstreckung der Großzehe bewirkt. Bei Gesunden ist der Test negativ.

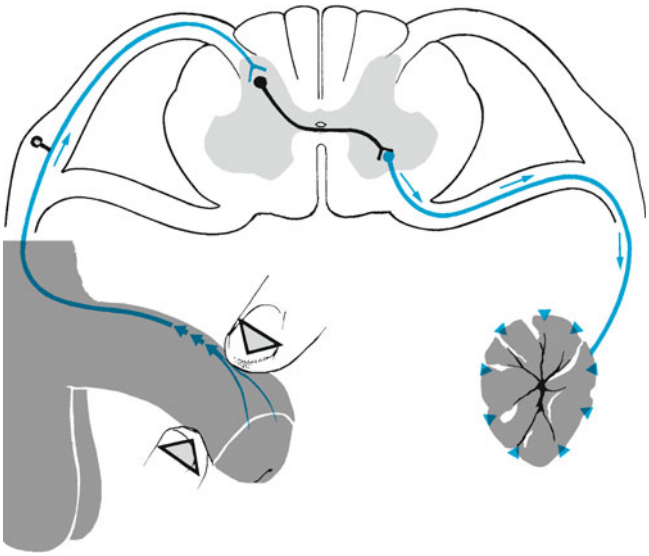


Abb. 4.8 Bulbus-cavernosus-Reflex. Kneifen am Penisschaft oder kurzer Zug am Blasenkatheter führt, wenn die Sakralwurzeln intakt sind, zu einer Kontraktion des M. sphincter ani externus. (Aus: Blauth 1998 a)

Dort löst kraftvolles Bestreichen des äußeren Fußsohlenrandes eine Beugung aus. Diese ist ein Überbleibsel des Fußgreifreflexes, der bei Neugeborenen immer lebhaft und kräftig ist, aber später bis auf dieses Residuum gehemmt wird. Das Bestreichen des äußeren Fußsohlenrandes muss mehrmals wiederholt werden. Wenn man nur einmal flüchtig über die Fußsohle gestrichen hat, kann man nicht behaupten, der Babinski sei negativ. Die Kontraktion der Großzehenstrecker muss solange anhalten, wie der Reiz ausgelöst wird. Ein flüchtiges Auf und Ab der Zehen bei empfindlichen Patienten sagt nichts aus.

Tetraplegie

Die Interkostalmuskulatur ist ganz oder teilweise gelähmt und damit das Atmen erschwert. Die Betroffenen sind auf die Bauchatmung durch das Zwerchfell und die Atemhilfsmuskulatur angewiesen. Diese Atmung funktioniert noch bei Läsionen unterhalb C4. Aus diesem Segment kommt der N. phrenicus, der das Zwerchfell innerviert. Verletzte mit Läsionen in Höhe von C4 und darüber überleben deshalb nur, wenn unmittelbar nach dem Unfallereignis mit einer suffizienten Beatmung begonnen werden kann. Sie bedürfen der Dauerbeatmung.

Die Schultern sind hochgezogen. Dies entsteht u.a. durch Zug der Mm. trapezii, sternocleidomastoidei und des Platysmas: Muskeln die von Hirnnerven versorgt werden. Das Horner-Syndrom mit der Trias Ptosis, Miosis und Enophthalmus entsteht durch Lähmung der vom Sympathikus innervierten glatten Augenmuskulatur. Die periphere Form zeigt im Gegensatz zur zentralen keine Mydriasis auf Kokain. Ebenfalls auf dem Boden einer Sympathikusschädigung schwillt die Nasenschleimhaut an und erschwert die Nasenatmung (Guttmann-Zeichen).

Paraplegie

Ab Brustmarkhöhe sind die Arme nicht mehr betroffen. Je mehr Interkostalnerven erhalten sind, umso weniger ist die Atmung beeinträchtigt, und umso besser kann der Rumpf im Sitzen stabilisiert werden. Zwischen T5 und T12 geht die Versorgung für die Bauchmuskulatur ab, im lumbosakralen Bereich die für Becken- und Beinmuskulatur. Die tiefen Sakralwurzeln vermitteln Kontinenz und Sexualfunktion.

Blasenfunktion

Das neurologische Blasenzentrum liegt in Höhe S2–S4. Ist der Ort der Schädigung kranial davon, sind reflektorische, automatische Entleerungen möglich. Man spricht von automatischer Reflex- oder Rückenmarkblase. Sind die zuführenden Nervenbahnen oder das Blasenzentrum selbst betroffen, wird die Funktion nur noch über das intramurale Nervensystem reguliert, und es entsteht eine autonome, areflektorische oder Überlaufblase. Blasenlähmungen vom erstgenannten Typ sind meist spastisch, letztere überwiegend schlaff (von Meinecke 1994).

Sexualfunktion

Die penile und klitorale Erektion ist ein vaskuläres Phänomen, das über das parasympathische und sympathische System geregelt wird, wobei der Sympathikus eine wichtige Rolle bei der Abschwellung spielt. Die Erektion wird zum einen psychogen durch akustische, visuelle, taktile Reize sowie erotische Gedanken und Geruchsempfindungen ausgelöst, zum anderen durch Reizung des genitalen Bereichs selbst. Letzteres läuft auf Rückenmarkebene ab.

Bei Läsionen oberhalb von T6 kann eine Erektion reflektorisch ausgelöst werden. Sie ist von guter Qualität und dauert, solange der Reiz anhält. Eine Ejakulation kann manuell oder mit einem Vibrator provoziert werden. Ein Orgasmus geht mit Symptomen der autonomen Dysreflexie einher und wird von den meisten Patienten als unangenehm erlebt. Wegen der Gefahr der autonomen Dysreflexie müssen diese Patienten klinisch überwacht werden.

Bei Läsionen zwischen T6 und T11 besteht neben der Möglichkeit einer Reflexerektion die der intrathekalen Applikation von Neostigmin oder der subkutanen Gabe von Physiostigmin. Auch wenn keine Dysreflexie ausgelöst wird, wird der Orgasmus als unangenehm erlebt.

Paraplegiker mit Läsionen im Konusbereich sind dann impotent, wenn die sakralen Segmente mitgeschädigt sind.

Bei Schäden unterhalb von L1 und Aussparung der sakralen Segmente kann die Sexualfunktion weitgehend erhalten sein. Sind die sakralen Segmente mitbetroffen, kann die Erektion nur durch psychogene Mechanismen ausgelöst werden und ist von schlechter Qualität. Die ebenfalls nur psychogen vermittelte Ejakulation kommt vorzeitig und schwach. In beiden Fällen wird der Orgasmus entweder als normal oder weniger intensiv erlebt (Schurch 1996).

Die Einpflanzung von Prothesen ist nur indiziert, wenn die Möglichkeiten der medikamentösen Therapie ausgeschöpft wurden. Sie besteht aus der Schwellkörperautoinjektionstherapie (SKAT) und der lokalen Applikation von Nitratderivaten.

Es wird gemeinhin angenommen, Querschnittsgelähmte seien zeugungsunfähig. Dies ist bei weitem nicht so. Nikas et al. (1990) sahen bei knapp der Hälfte der von ihnen nachuntersuchten Betroffenen Kinder, die nach Eintritt der Querschnittslähmung gezeugt worden waren.

Therapie

Pharmakotherapie

Die Kortisontherapie ist derzeit evidenzbasiert weder als Standard noch als Leitlinie empfohlen. Sie ist lediglich eine Option, welche unter dem Wissen angeboten werden kann, dass das Auftreten von Nebenwirkungen wahrscheinlicher ist als ein positiver Effekt auf die Querschnittslähmung (Leitlinie der amerikanische Neurologen und Neurochirurgen 2002) (Übersicht).

Schema für Kortisontherapie bei Querschnittsymptomatik

Innerhalb der ersten 8 h nach Trauma kann eine Kortisontherapie nach folgendem Schema begonnen werden (Bracken et al. 1990):

- In der ersten Stunde werden 30 mg Methylprednisolon intravenös pro kg KG als Bolus verabreicht (z.B. Urbason).
- Anschließend werden 5,4 mg Methylprednisolon pro kg KG/h während der folgenden 23 h über Perfusor verabreicht.
- Kontraindikationen sind septische Komplikationen, Polytrauma und Schädel-Hirn-Trauma (Edwards et al. 2005)

Es gibt verschiedene neurogene Blasenfunktionsstörungen, die unterschiedlich behandelt werden. Zunächst liegt immer eine Blasenareflexie vor. Wenn sich das Rückenmark vom spinalen Schock erholt hat, wird der Patient, wenn seine Hände gebrauchsfähig sind, angeleitet, sich intermittierend selbst zu katheterisieren.
In 20% der Fälle besteht ein Volumenmangelschock, der mit entsprechender Volumensubstitution behandelt wird. Dieser Zustand kann leicht mit dem spinalen Schock verwechselt werden. In diesem Fall wären jedoch hochdosierte Flüssigkeitsmengen kontraindiziert und könnten zum Lungenödem führen. Ähnlich der Schocktherapie beim Schädel-Hirn-Trauma ist auch bei einer neurologischen Symptomatik darauf zu achten, dass ein ausreichender Perfusionsdruck am Rückenmark herrscht. Eine rasche Blutdruckstabilisation ist wichtiger als z.B. der Gedanke an eine Kortisontherapie.

Insofern erscheint auch eine rasche Dekompression des Spinalkanals medizinisch sinnvoll, evidenzbasierte Daten für die Notwendigkeit einer sofortigen Dekompression liegen aber nicht vor.

Wegen der Gefahr einer Stressulkusblutung sollten frühzeitig H_2-Rezeptorenblocker gegeben werden.

Bei hohem Querschnitt führt die eingeschränkte Spontanatmung zu Sekretstau und Atelektasen. Häufig erschöpft sich die Spontanatmung in den ersten Tagen nach dem Querschnitt so sehr, dass eine Tracheotomie unumgänglich wird. Bei Läsionen über C4 kann ein Zwerchfellstimulator weiterhelfen.

Die primäre Darmatonie rührt nicht unbedingt nur vom spinalen Schock, sondern ggf. auch von einem retroperitonealen Hämatom. Eine Sonde schützt den Magen vor Überdehnung. Medikamentös kommen Dexpanthenol intravenös bis zu 4-mal 1 g/24 h (z.B. Bepanthen) und Neostigmin intravenös oder subkutan bis zu 6-mal 0,5 mg/24 h (z.B. Prostigmin) zum Einsatz. Später helfen schlackenreiche Kost, Quellmittel und Bewegung weiter.

Thrombosen und Embolien treten nach Eintritt einer Querschnittslähmung relativ häufig auf, bis der Patient im Rahmen seiner Möglichkeiten wieder mobilisiert ist. Das Thromboserisiko lässt sich durch Kompressionsstrümpfe und gleichzeitige Gabe von niedermolekularem Heparin deutlich senken. Das Heparin wird vom 1. posttraumatischen Tag bis mindestens 6 Wochen nach der ersten Vollmobilisierung gegeben. Das Embolierisiko wird jedoch nur durch den Einsatz von Kumarinderivaten gesenkt (Müller-Vahl 1998).

Ergotherapie

Die Therapieziele für einen querschnittsgelähmten Patienten sind, die größtmögliche Selbstständigkeit wiederzuerlangen, sein Leben im Rahmen der verbliebenen motorischen Funktionen zu gestalten und den Alltag soweit möglich unabhängig von Dritten zu bewältigen (Römer 2008). Bereits auf der Intensivstation werden die Finger von Tetraplegikern in Funktionshandstellung fixiert (Abb. 4.9). Dies bewirkt eine gewünschte Verkürzung der Flexoren und vermeidet gleichzeitig die Verkürzung der Extensoren und der Kollateralbänder der Gelenke der Hand und der Finger. Daraus resultiert ein Tenodeseneffekt, der später für das Greifen genutzt werden kann. Bei einer Läsionshöhe unterhalb von C6 ist dies möglich. Man spricht dann von einer aktiven Funktionshand. Diese kann durch die willentliche Beugung des Handgelenks geöffnet und durch Streckung geschlossen werden. Bei einer Läsionshöhe unterhalb von C5 liegt eine passive Funktionshand vor, die sich durch die Umkehrbewegung im Unterarm bewegen lässt. Sie öffnet sich bei Pronation und schließt sich in Supination.

Wenn die Lagerungsmaßnahmen unterbleiben, entsteht eine funktionslose Krallhand (Abb. 4.10).

Um Kontrakturen zu vermeiden, werden die Gelenke der Hand und der Finger mindestens 2-mal täglich mobilisiert. Dabei muss man darauf achten, dass die MC-, PIP- und DIP-Gelenke nur bei gleichzeitiger Handgelenkflexion extendiert und nur in Handgelenkstreckung gebeugt werden, damit die Entwicklung des gewünschten Tenodeseneffekts, also die allmähliche Verkürzung der Beuger nicht unterbrochen wird.

Für die Stützfunktion ist eine gute Streckung im Ellenbogengelenk wichtig. Dies muss bei der Lagerung des Patienten während der Liegephase berücksichtigt werden. Der Einsatz von Lagerungsschienen zur Kontrakturprophylaxe ist hilfreich. Nach der Liegephase wird der Einsatz der Funktionshand trainiert. Für

Abb. 4.10 Funktionslose Krallhand. (Aus: Römer 2008)

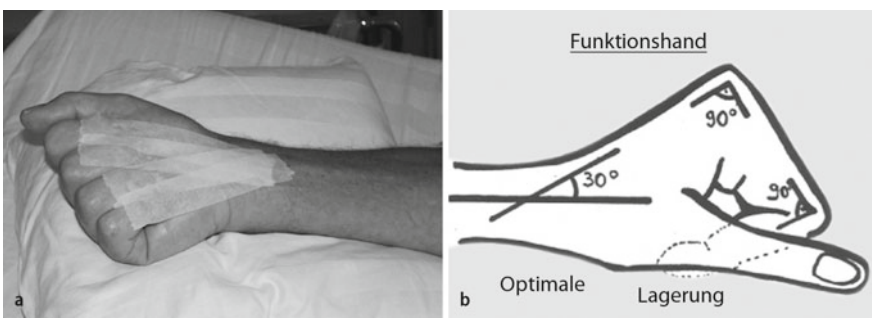


Abb. 4.9a,b Maßnahmen zur Ausbildung einer Funktionshand eines Tetraplegikers. **a** in Funktionshandstellung fixierte Finger. **b** Stellung der Gelenke an Hand und Fingern. (Aus: Römer 2008)

Patienten ohne jegliche Armfunktion besteht die Möglichkeit der »Mundstabarbeit«. Die Halteplattform wird nach einem Gebissabdruck gefertigt. Daran können beispielsweise Stifte oder Pinsel zum Schreiben und Malen befestigt werden. Bei diesen Tätigkeiten trainiert der Patient überdies seine Hals- und damit seine Atemhilfsmuskulatur.

Je nach Läsionshöhe erfolgt eine entsprechende Anpassung der Steuerung des Elektrostuhls durch die Hand, das Kinn oder den Mund des Patienten. Besonders wichtig ist vielen Patienten die Mobilität im eigenen Auto. Fahrzeugumrüster haben dafür einige Möglichkeiten entwickelt, und spezielle Fahrschulen bieten Kurse auf adaptierten Fahrzeugen an.

Um als Rollstuhlfahrer in die frühere Wohnung zurückkehren zu können, bedarf es meist umfangreicher Umbauten. Der Zugang zum Haus muss barrierefrei sein. Treppen im Haus können mit Treppenraupen oder Liftern überwunden werden. Die Türen brauchen eine ausreichende Breite, damit man mit einem Rollstuhl durchfahren kann. Der Zugang zum Bad, zur Dusche und Toilette muss ebenerdig und barrierefrei sein. Im Schlafzimmer sollte es ausreichend Platz für einen Rollstuhl geben. In der Küche müssen Herd und Arbeitsflächen unterfahrbar sein und die Schränke in Greifhöhe.

Zum Training der **activities of daily living** (ADL) gehören viele Fähigkeiten, die mit dem Patienten trainiert werden müssen:

- Körperpflege: Zähne putzen, Rasieren, Kämmen
- An- und Ausziehen: im Bett, im Rollstuhl, ggf. mit adaptierten Kleidungsverschlüssen, Greifzangen, Strumpfanziehhilfen
- Essen: Aufschneiden, Bestreichen, Greifen und zum Mund Führen eines Brötchens, ggf. mit Hilfe einer Mittelhandspange zur Aufnahme von Besteck, Eingießen von Getränken, zum Mund Führen eines Bechers oder Glases
- Transfer: vom Rollstuhl ins Auto und zurück, mit oder ohne Rutschbrett, Ein- und Ausladen des Rollstuhls; vom Rollstuhl in die Badewanne und zurück ggf. mit Anleitung der Angehörigen
- Öffentliches Leben: z.B. Öffnen der Geldbörse, Herausnehmen von Scheinen und Münzen, Umgang mit Kassen- oder Geldautomaten, Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel etc.
- Bei Bedarf Küchen- oder Haushaltstraining
- Schreibtraining, v.a. auch der eigenen Unterschrift, ggf. mit einem Stifthalter bei fehlender Fingerfunktion
- Telefonieren ggf. mit speziellen Halterungen am Telefonhörer oder Handy
- Umblättern von Buchseiten und Zeitschriften evtl. mit elektrischen Blätterhilfen
- PC-Training mit Tipphämmerchen oder individuell adaptierter Maus, Mundmaus, Sprachsteuerung, Bildschirmtastatur etc.
- Erprobung von Umfeldkontrollsystemen zur Steuerung von Notruf, Licht, Türen, Telefon, TV, Radio und anderem.

Für Patienten, die nicht sprechen können, gibt es einen PC mit Augensteuerung. Sensoren werden auf den Augenabstand kalibriert. Dann kann auf dem Bildschirm ein bestimmtes Symbol, ein Wort oder ein Buchstabe angesteuert und durch Augenzwinkern bestätigt werden. Über das Symbol »Sprechen« kann der PC vor- oder selbst formulierte Sätze verlautbaren, z.B.: Ich habe Durst, ich brauche einen Arzt, ich habe Schmerzen etc.

Nachbehandlung

Kaps und Mitarbeiter (2000) haben das Tübinger Nachbehandlungskonzept von operativ versorgten Wirbelfrakturen mit Rückenmarkverletzung vorgestellt.

Tübinger Nachbehandlungskonzept von operativ versorgten Wirbelfrakturen mit Rückenmarkverletzung

- **5. postoperativer Tag:** Bei stabilen Kreislaufverhältnissen Mobilisation im Rollstuhl (ggf. mit Mieder, Krawatte, Bauchgurt) bei Bedarf Stehbrett
- **2. postoperative Woche:** Duschen auf Duschliege
- **3. postoperative Woche:** Rollstuhlsport ohne Rotationsbewegung, Abführen auf WC bei gesicherter Wirbelsäule und stabilen Kreislaufverhältnissen
- **7. postoperative Woche:** ggf. Abtrainieren der Halskrawatte, Rollstuhlsport ohne Einschränkungen, Rollstuhl-Hindernistraining, Schwimmen, Benutzung eines Duschrollstuhls
- **13. postoperative Woche:** ggf. Abtrainieren eines Mieders, Absetzen des niedermolekularen Heparinpräparats nach vorausgegangener Bestimmung des Fibrinogenwerts
- **7. postoperativer Monat:** Abtrainieren von Unterschenkelkompressionsstrümpfen

Komplikationen

Druckgeschwüre lassen sich durch konsequente Wechsellagerung, Kontrakturen durch regelmäßige physiotherapeutische Betreuung vermeiden.

Kontrakturen entstehen durch die Spastik, die wenige Tage nach Erholung des Rückenmarks einsetzt. Die Kraft der Beuger überwiegt die der Strecker und verursacht Beugekontrakturen, wenn der Patient nicht konsequent passiv durchbewegt wird.

Eine Spastik stellt sich ein bei Lähmungen oberhalb von L2. Sie kann mehr oder weniger ausgeprägt sein. Ihre Behandlung ist schwierig.

Inaktivität führt zu Osteoporose insbesondere bei fehlender Spastik. Frakturen ohne adäquates Trauma sind die Folge. Diese werden am besten nach den gängigen Prinzipien der Osteosynthese und nicht konservativ behandelt werden (Meinecke 1994), da damit Komplikationen durch lange Bettruhe, Druckschäden, Kontrakturen und Versteifungen vermieden werden (Müller-Vahl 1998).

Degenerative Zysten des Rückenmarks treten nach Monaten oder Jahren auf und können durch Kompression bis dahin noch intakter Rückenmarkabschnitte zu aufsteigenden sensiblen oder motorischen Lähmungen führen. Die Veränderungen sind am frühesten in einer MRT zu sehen (Müller-Vahl 1998). Solche aufsteigenden Läsionen stellen sich insbesondere dann ein, wenn Spinalkanalkompressionen nicht behoben wurden. Deshalb ist auch bei komplettem primärem Querschnitt eine Dekompression sinnvoll.

Dysreflexie

Eine tödlich verlaufende, autonome Dysreflexie kann bei Läsionen oberhalb von T6 durch Überdehnung von Hohlorganen des Bauchraums wie Blase, Darm oder Uterus ausgelöst werden. Dementsprechend können eine Zystoskopie, Meteorismus oder Gravidität aber auch bloßes Absaugen der Atemwege, eine Intubation oder Tracheotomie folgende gefährliche Symptome auslösen:

- plötzlichen Hochdruck,
- Tachykardie,
- Flush,
- Temperaturanstieg,
- inselförmigen Schweißausbruch,
- unerträgliche Kopfschmerzen,
- Abgeschlagenheit,
- hirnorganischen Krampfanfall.

Therapeutisch muss in erster Linie die Überdehnung beseitigt werden, z.B. durch Legen eines Blasenkatheters oder eines Darmrohrs.

Prognose

Bei primär kompletter Querschnittslähmung sind die Aussichten, dass sich einzelne Lähmungen zurückbilden, äußerst gering. Bei primär unvollständiger Lähmung liegen sie jedoch bei 50–60% (von Meinecke 1994). Tritt eine Remission ein, verläuft sie zunächst rasch und flacht dann ab. Nach einem Jahr ist meist ein Endstadium erreicht. Durch eine operative Dekompression wird die Rückbildung von Funktionsstörungen in den obersten gelähmten Segmenten gefördert, was insbesondere im Bereich des Halsmarks von großer Bedeutung ist (Müller-Vahl 1998).

Die Letalität während der ersten 2 Jahre betrug Mitte des vorigen Jahrhunderts für Tetraplegiker noch 100%, für Paraplegiker 60%. Heute ist sie auf 10 bzw. 5% zurückgegangen. Viele der Betroffenen erreichen durch moderne Hilfsmittel einen relativ hohen Aktivitätslevel, was deutlich wird bei der Einschätzung der Lebensqualität durch die Betroffenen selbst. Sie wird von der Mehrheit als gut bezeichnet (Müller-Vahl 1998).

Schwab et al. (1991) wiesen nach, dass die fehlende Regeneration des Rückenmarks nicht nur auf einen Mangel an Wachstumsfaktoren zurückzuführen ist, sondern auch durch aktive Hemmung eines von Stützzellen (Oligodendrozyten) des Rückenmarks produzierten Proteins zustande kommt. Die Gruppe entwickelte Antikörper gegen dieses Protein und konnte damit eine teilweise Regeneration von Nervenfasern am Rückenmark der Ratte erzielen.

4.3 Verletzungen der Halswirbelsäule

4.3.1 Distorsion

Terminologie

Synonym wird fälschlicherweise häufig der Begriff »HWS-Schleudertrauma« verwendet. Dieser Begriff ist jedoch eine Beschreibung des Unfallmechanismus und keine Diagnose. Deshalb sollte man nur von HWS-Distorsion sprechen.

Ätiologie

Meist sind Auffahrunfälle die Ursache. Dabei werden Kopf und Nacken abrupt beschleunigt und anschließend übergangslos abgebremst. In Studien (Cesarani et al. 1996) fand man, dass durch diese, einem Peitschenschlag ähnliche Bewegung das Gehirn abnorm gedehnt und gleichzeitig einer plötzlichen Drucksteigerung des Liquors ausgesetzt wird, was möglicherweise zur Commotio bestimmter Hirnareale und den damit verbunden typischen neuropsychologischen Symptomen führt.

Auf Basis der Versicherungsstatistik rechnet man mit einer jährlichen Inzidenz von ca. 200.000 HWS-Distorsionen nach Heckkollisionen mit einem Schadensersatzvolumen in der Größenordnung von 1 Mrd. € (Hell u. Langwieder 1998). In Deutschland ereignen sich bei etwa 81% der Pkw-Unfälle Verletzungen der HWS (Münker 1995).

Klinik

Das Vollbild der Beschwerden entsteht mit einer Latenz von 6–24 h, selten auch von bis zu 3 Tagen, verbunden mit einer zunehmenden Verspannung der Nackenmuskeln. Der stärksten mechanischen Belastung ist der Bereich von C6–C8 ausgesetzt. Verletzungen dieses Abschnitts erklären aber nicht die meist im Vordergrund stehende Symptomatik mit Schwindel, Schmerz und Hörstörungen. Es wird diskutiert, dass die Besonderheiten der Innervation der oberen Spinalnerven für diese sensorisch geprägten Beschwerden verantwortlich sind. Für die Kontrolle der Kopf-, Körper-, Extremitäten- und Augenstellung sind die Halspropriorezeptoren von entscheidender Bedeutung.

Folgende Symptome werden beobachtet (Cesarani et al. 1996, Meani et al. 1996):

- Nackenschmerzen verbunden mit Bewegungseinschränkungen entstehen durch die stattgehabte Überdehnung von Muskeln und Bändern.
- Okzipitale Kopfschmerzen entwickeln sich auf dem Boden muskulärer Verspannung im Nackenbereich.
- Schmerzen und Parästhesien im Bereich der oberen Extremitäten entstehen durch denselben Mechanismus.
- Selten werden Bandscheiben mitverletzt. Dann sieht man prolongierte Verläufe und am Ende degenerative Veränderungen im Zwischenwirbelraum.
- Schwindel tritt auf, wenn das Labyrinth mitgeschädigt wurde. Er führt zu einer abnormen Kopfhaltung, verstärkt die muskulären Kontrakturen und unterhält auf diese Weise einen circulus vitiosus.

Weitere Symptome sind: Übelkeit, Müdigkeit, Ängstlichkeit, Konzentrationsstörungen, Tinnitus und Hypakusis, Dysphagie und Dysphonie, Schmerzen im Kiefergelenk und Okklusionsstörungen.

Diagnostik

Neben der typischen Anamnese und dem Faktum, dass das Vollbild der Beschwerden erst nach Stunden oder Tagen einsetzt, sieht man radiologisch häufig eine mehr oder weniger ausgeprägte Steilstellung der HWS-Lordose. Diese Steilstellung ist jedoch nicht regelhaft vorhanden. Insbesondere im frühen Stadium kann sie fehlen. Sie rührt von einer schmerzbedingten muskulären Verspannung her, denn die Verletzten versuchen krampfhaft, durch eine Erhöhung des Muskeltonus die bewegungsschmerzhafte HWS ruhigzustellen.

Hinsichtlich späterer versicherungsrechtlicher Fragen ist von großer Bedeutung, Standardaufnahmen der HWS in 2 Ebenen anzufertigen. Sollten im weiteren Verlauf degenerative Veränderungen auftreten, lassen sie sich gegenüber einem Vorschaden nur dann sicher abgrenzen, wenn ein Ausgangsbefund zum Vergleich herangezogen werden kann.

Differenzialdiagnostisch kommen diskoligamentäre Instabilitäten in Betracht, die auf den Übersichtsaufnahmen durch ein unterbrochenes alignment, also eine Gefügestörung, auffallen würde. Dabei kann es sich um einen sagittalen oder rotatorischen Versatz handeln oder um eine Erweiterung des Zwischenwirbelraums im Vergleich zu den benachbarten Etagen. Solche Befunde sind im MRT am besten zu sehen. Allerdings können Instabilitäten auch verborgen bleiben. Meani et al. (1996) empfehlen, wenn heftige Beschwerden bestehen, primär, oder die Beschwerden nach einer Woche unverändert stark sind, sekundär, Funktionsaufnahmen anzufertigen. Bei neurologischen Ausfällen sollte die Weite der Neuroforamina durch Schrägaufnahmen abgeklärt werden. In letzter Zeit hat aber die MRT die Funktionsaufnahmen weitgehend abgelöst.

Schröter und Mitarbeiter (2002) haben bei mehr als 30% symptomatischer Patienten, die eine HWS-Distorsion erlitten haben, im Dünnschicht-MRT als morphologisches Korrelat pathologische

Veränderungen der Ligamenta alaria gefunden. Die Veränderungen imponierten als asymmetrische Signalerhöhungen nur innerhalb eines Ligamentum alare bei seitendifferentem Kaliber der Bänder. Sie wurden als Ausdruck einer stattgehabten Teilruptur gewertet und zeigten sich nur in der Gruppe der Patienten mit HWS-Distorsion, nicht jedoch in einer Kontrollgruppe.

Therapie

Initial empfinden die Betroffenen die stützende und ruhigstellende Funktion einer weichen Halskrawatte meist als angenehm. Die HWS braucht dann nicht mehr allein muskulär stabilisiert zu werden, sodass die überanstrengten Nackenmuskeln entspannt werden können. Dies birgt jedoch auch eine Gefahr: Wird die Halskrawatte zu lange getragen, atrophiert der aktive Halteapparat und ist dann seiner Aufgabe nicht mehr gewachsen. Schmerzhafte Verspannungen der geschwächten und nun überanstrengten Muskulatur sind die Folge.

Über diesen circulus vitiosus muss man die Patienten aufklären und empfehlen, die Halskrawatte nur fakultativ zu tragen. Die HWS-Distorsion ist ja eine stabile Verletzung, sodass die Krawatte eine rein schmerzlindernde Funktion hat und bedenkenlos abgenommen werden kann. Das ist den Patienten natürlich nicht bewusst. Viele trauen sich nicht, die Krawatte abzunehmen, auch dann nicht, wenn sie als lästig empfunden wird. Dazu kommt, dass dem weiterbehandelnden Arzt, wenn er anderer fachlicher Provenienz ist, dieser Zusammenhang u.U. nicht präsent ist. Dann kommt es vor, dass Patienten die Krawatte wochenlang tragen, wodurch sich die Dauer der Beschwerden zwangsläufig verlängert. Die muskuläre Atrophie beginnt.

Man sollte die Patienten über die Kausalkette zwischen andauernder Ruhigstellung und daraus resultierender Zunahme muskulärer Verspannung hinweisen, ihnen empfehlen, die Krawatte nur fakultativ zu tragen und dies auch als Therapievorschlag im Hausarztbrief darlegen.

Wenn die Beschwerden rückläufig sind, kann mit Krankengymnastik begonnen werden, in Form von detonisierenden Maßnahmen, kombiniert mit muskelkräftigenden Übungen. Massagen dürfen jedoch nicht zu früh in den Behandlungsplan aufgenommen werden, da sie innerhalb der ersten Wochen nach Trauma, solange noch Schwellungen bestehen, häufig zu einer Zunahme der Beschwerden führen.

Neben den physikalischen Maßnahmen wird in der Regel begleitend medikamentös behandelt. Dazu gibt es im Wesentlichen zwei verschiedene Ansatzpunkte. Die nichtsteroidalen Antiphlogistika wirken schmerzstillend und abschwellend, Muskelrelaxanzien (z.B. Chlormezanon) helfen, den circulus vitiosus der Schmerzverstärkung durch Zunahme muskulärer Verspannungen zu unterbrechen. Autofahrer müssen darauf hingewiesen werden, dass Muskelrelaxanzien das Reaktionsvermögen beeinträchtigen.

Begutachtung

Das häufig fehlende morphologische Korrelat der stattgehabten Verletzung einerseits und die andererseits vorhandenen, glaubhaften Beschwerden der Betroffenen machen in zahlreichen gerichtlichen Verfahren Probleme bei der Beurteilung der Kausalität. Rechtsschutzversicherungen fördern Entschädigungsbegehren und damit auch die Aggravation. Es resultieren zahlreiche, häufig Jahre andauernde Verfahren. Der Sachverständige steht dabei im Spannungsfeld zwischen den geäußerten Beschwerden der Verunfallten und der juristischen Forderung des Vollbeweises einer erlittenen Körperverletzung gemäß § 286 ZPO (Lemke 1996).

Bei der Beurteilung der Kausalität werden unfallanalytische und biomechanische Gutachten herangezogen. Grundlage dieser Gutachten sind Berechnungen anhand der stattgehabten Fahrzeugdeformation. Deformation und Anstoßkonfiguration ermöglichen die Berechnung der Relativgeschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge zum Unfallzeitpunkt. Als Maß für die Unfallschwere wird δv verwendet. Freiwilligenversuche sind Grundlage für die Festsetzung eines Grenzwerts von δv = 10–15 km/h, ab dem die Kausalität von Beschwerden nach Heckkollisionen anerkannt wird (DeRosia u. Yoganandan 2000).

Hartwig und Mitarbeiter (2004) haben anhand unfallanalytischer Auswertungen der DEKRA an Unfallfahrzeugen von Patienten, bei denen strukturelle Schäden der HWS vorlagen, diesen Grenzwert bei seitlicher Krafteinleitung bestätigt gefunden. Pathomechanisch ursächlich hierfür sind die konstruktionsbedingt fehlenden Deformationszonen der Fahrzeuge, was bei Kollisionen kurzzeitig hohe Beschleunigungsanstiege impliziert. Eine durch die Steifigkeit des Fahrzeugs bedingte erhebliche Beschleunigung von 6,6 g trat in einem Fall bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von nur δv = 9,9 km/h auf und führte zu einer Facettenfraktur mit kontralateraler ligamentärer Instabilität. Rückhaltesysteme vermitteln in einer solchen Situation nur bedingt Schutz und ohne Seitenairbags können durch einen Kopfanprall Abknickverletzungen entstehen.

Bei 2 Patienten, die eine Frontalkollision mit erheblichen Geschwindigkeitsdifferenzen (δv = 52 bzw. 59 km/h) erlitten hatten, fanden sich knöcherne Ausrisse der Ligamenta alaria.

Strukturelle Verletzungen der HWS traten dagegen nach alleinigen Heckkollisionen nicht auf, was auf die passiven Sicherheitssysteme des modernen Fahrzeugsbaus zurückzuführen ist. Dieser Umstand muss bei einer Begutachtung berücksichtigt werden.

Die für die HWS kritische Krafteinleitung ist die seitliche Kollision (Hartwig et al. 2004). Eine Kausalitätsbeurteilung allein auf den Boden anamnestischer Angaben der Patienten sollte nicht erfolgen, sondern die Geschwindigkeitsdifferenz unfallanalytisch ermittelt und berücksichtigt werden.

Dennoch ist es für eine spätere gutachterliche Bewertung von Bedeutung, das Ausmaß der stattgehabten Gewalteinwirkung bei der Anamnese festzuhalten. Davon kann abhängen, ob spätere Beschwerden als Unfallfolgen anerkannt werden. Ein Aufprall mit weniger als 30 km/h ist selbstverständlich anders zu bewerten als einer mit 50 km/h. Folgende Fragen sollten daher bei der Anamneseerstellung mit abgeklärt werden:

- Wie schnell ist das auffahrende Fahrzeug ungefähr gewesen?
- Wie stark wurden die beteiligten Fahrzeuge deformiert?
- Hat der Verletzte den herannahenden Pkw z.B. im Rückspiegel kommen sehen oder wurde er vom Aufprall überrascht?

HWS-Distorsionen bereiten Probleme bei der Begutachtung, wenn sie ohne morphologisch fassbares Korrelat Folgebeschwerden hinterlassen. Die Patienten geraten häufig in den unberechtigten Verdacht, zu simulieren (Mollowitz 1993).

4.3.2 Traumatischer Diskusprolaps

Ätiologie

Durch einen Sturz auf den Kopf oder das Gesicht kann ein akuter Bandscheibenvorfall entstehen. Dabei gibt es isolierte oder mit einer diskoligamentären Instabilität (s. unten) kombinierte Verletzungen. Degenerative Vorschäden sind häufig zwischen C5/C6

und C6/C7 lokalisiert. Sie begünstigen die Genese. Nach dorsal verlagertes Bandscheibengewebe kann das Rückenmark auf zwei verschiedenen Wegen schädigen: direkt durch Kompression und indirekt durch Beeinträchtigung des arteriellen Zuflusses und des venösen Abflusses.

Klinik

Die Symptomatik ist schillernd, was das Erkennen der zugrunde liegenden Ursache erschweren kann. Das Spektrum reicht von passageren neurologischen Ausfällen bis hin zur manifesten Querschnittslähmung. Die Symptome können sich u.U., z.B. lagerungsbedingt, sehr rasch zurückbilden, sodass sie bei Aufnahme des Patienten bereits wieder verschwunden sind. Wenn man dann den Fehler macht und die Angaben des Patienten oder des einweisenden Arztes nicht ernst nimmt, kann die zugrunde liegende Verletzung übersehen werden.

Schmerzen und Sensibilitätsstörungen entsprechen oft nicht dem betroffenen Segment, sondern können höher oder tiefer liegen. Überdies müssen sie nicht rein segmental begrenzt sein, sie treten auch in Form von Paraspastik (Gliederstarre) oder strumpfförmigen Gefühlsstörungen auf (Poeck 1992).

Diagnostik

Zunächst werden Standardaufnahmen der HWS angefertigt. Degenerative Veränderungen und die Verschmälerung eines Zwischenwirbelraums weisen auf die Lokalisation hin. Der Prolaps selbst zeigt sich hingegen nur im CT und noch deutlicher im MRT. Die MRT hat überdies den Vorteil, dass sie ligamentäre Zusatzverletzungen sichtbar macht. Das Ausmaß einer etwaigen Instabilität des betroffenen Segments lässt sich durch eine Funktionsprüfung unter Durchleuchtung beurteilen (Abb. 4.11).

Therapie

Bei manifester Kompression wird notfallmäßig eingegriffen und das prolabierte Gewebe von ventral entfernt. Der ausgeräumte Zwischenwirbelraum wird durch eine interkorporelle Spondylodese mit Knochenspan fusioniert und bei zusätzlicher diskoligamentärer Instabilität mit einer ventralen Verriegelungsplatte stabilisiert (s. unten).

Abb. 4.11 MRT-Bild eines 47-jährigen Mannes, der gestolpert war und vornüber der Länge nach am Boden aufschlug. Initial bestand nach Angaben des Notarztes eine komplette, hohe Querschnittslähmung. Bei Aufnahme hatten sich die neurologischen Ausfälle bis auf eine Minderung der Kraft in Armen und Beinen zurückgebildet. Im MRT zeigte sich ein medialer Diskusprolaps zwischen C3 und 4

4.3.3 Frakturen der Okzipitalkondylen

Pathomechanismus

Frakturen der Okzipitalkondylen entstehen meist durch Rasanztraumen mit Verkippung in der Frontalebene mit resultierender übermäßiger Zug- oder Druckbelastung. Frakturen, die durch Einstauchung der Schädelbasis auf die obere HWS entstehen, werden nicht überlebt und sind nur aus Obduktionen von Verkehrstoten bekannt (Blauth et al. 1998 b).

Klinik

Patienten mit Frakturen der Okzipitalkondylen galten als extrem selten und waren nahezu ausschließlich bei polytraumatisierten Patienten zu finden. Bis 1994 wurden nur 35 überlebende Patienten in der Literatur dokumentiert (Young et al. 1994). An Begleitverletzungen werden v.a. Hirn- und Gesichtsschädelverletzungen gefunden, in ca. 20% ist mit einer weiteren HWS-Verletzungen zu rechnen (Moskopp et al. 1998). An eine Fraktur in diesem Bereich sollte bei Schmerzen in der okzipitozervikalen Region, einem prävertebralen Hämatom und Ausfällen der Hirnnerven IX–XII gedacht werden. Der neurologische Status kann aber auch intakt sein. Es muss betont werden, dass durch den klinischen Befund eine Diagnose nicht ermöglicht wird und Hirnnervenläsionen in nahezu 40% der Fälle mit einer zeitlichen Latenz von Tagen bis Monaten auftreten können (Tuli et al. 1997). Hochauflösende CT-Bilder haben jedoch gezeigt, dass gering dislozierte Frakturen an den Kondylen C0 sehr viel häufiger sind als bisher angenommen wurde. Diese Frakturen gehen in aller Regel nicht mit neurologischen Ausfällen einher und heilen unter einer Ruhigstellung in einer Zervikalstütze meist folgenarm aus.

Diagnostik

Frakturen und Instabilitäten im Bereich des atlantookzipitalen Übergangs entgehen durch Überlagerung oder spontane Reposition regelmäßig der konventionellen radiologischen Diagnostik (Blauth et al. 1998 b). In den meisten Fällen werden sie erst mit Hilfe der Röntgenverwischtomografie, hochauflösenden Dünnschicht-CT, der MRT oder Knochenszintigrafie entdeckt.

Klassifikation

Anderson u. Montesano (1988) teilen die Frakturen der Okzipitalkondylen in 3 Typen ein (Abb. 4.12):

- **Typ I:** Isolierte Kompressionsfraktur der Kondyle mit keiner oder nur geringer Dislokation der Fragmente in das Foramen ovale
- **Typ II:** Schädelbasisfraktur mit Ausbreitung bis an die Kondyle heran
- **Typ III:** Abscherfraktur einer oder beider Kondylen

Jeanneret (1994) fügte als weiteren Typ die unmittelbar fast immer letal verlaufende Schädelbasisringfraktur hinzu.

Prognose

Über Langzeitergebnisse, inklusive des Risikos einer sekundären Spinalkanalstenose oder Pseudarthrosebildung liegen in der Literatur wenige Daten vor. Moskopp et al. (1998), der Patienten mit Frakturen der Okzipitalkondylen nachuntersuchte, fand z.B. unter konservativer Behandlung mit Orthese keine Pseudarthose.

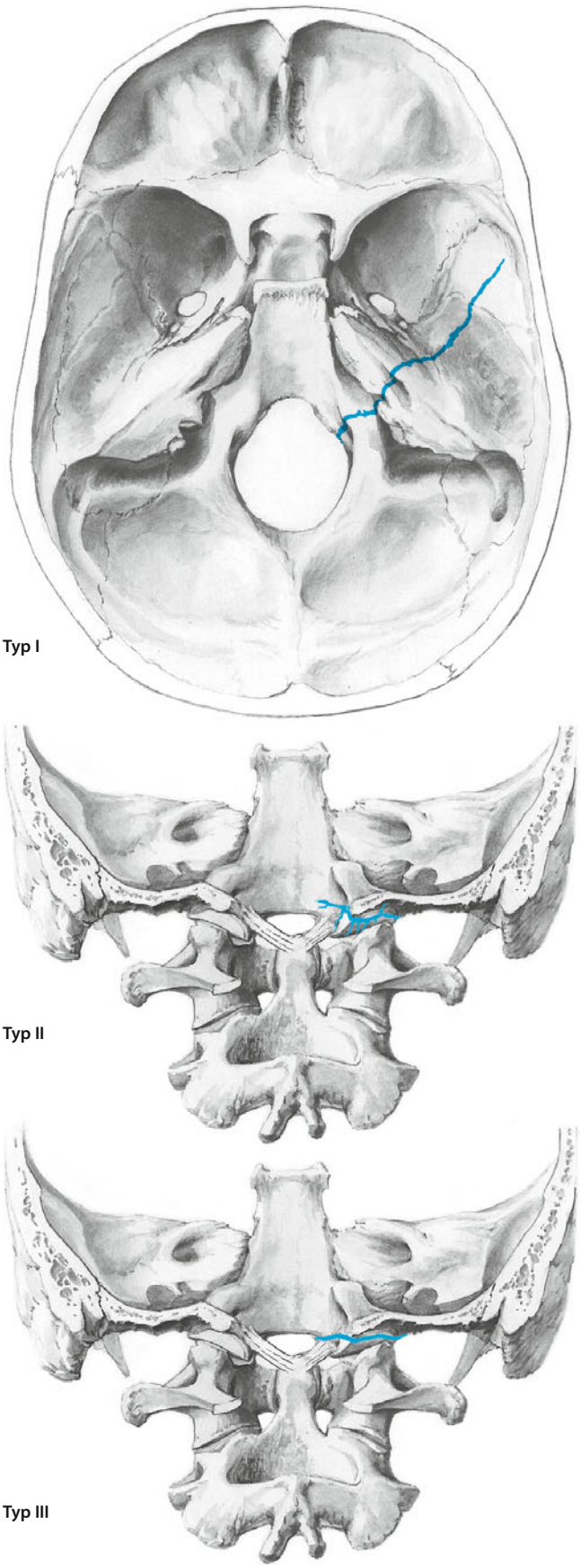


Abb. 4.12 Klassifikation der Frakturen der Okzipitalkondylen Typ I–III nach Anderson und Montesano. (Aus: Blauth 1998)

Gutachterlich sollte berücksichtigt werden, dass chronische Dehnungen der Bänder und Gelenkkapseln des kraniozervikalen Übergangs bleibende Schmerzen verursachen können, deren morphologisches Korrelat erfahrungsgemäß bildgebend nur schwer erfassbar ist. Moskopp et al. (1998) berichten über 7 von 16 Patienten mit verbliebenen belastungsabhängigen, lokalen Schmerzen in den oberen Kopfgelenken. Diese Zahlen erscheinen aber relativ hoch zu sein, wenn gleich valide Daten bzw. entsprechende Studien dazu bisher fehlen.

Therapie

Für das therapeutische Procedere entscheidend ist die Einteilung in stabile bzw. instabile Frakturen. Hierfür verantwortlich sind Ligamenta alaria und Membrana tectoria, die beide am Foramen magnum inserieren.

Kriterien für die Instabilität einer Fraktur der Okzipitalkondylen sind nach White u. Panjabi (1978) im Röntgen bzw. in der CT:

- Rotationsabweichung C0–C2 auf einer Seite >8°,
- Translationsabweichung C0–C1 >1 mm.

Die Therapie von Frakturen der Okzipitalkondylen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Tuli et al. (1997) empfehlen folgendes Vorgehen:

- Stabile Frakturen benötigen routinemäßig keine Immobilisation.
- Instabile Frakturen sollten entweder konservativ mit Halofixateur für 12 Wochen oder operativ mit dorsaler Stabilisation von C0 auf C2 versorgt werden.

Im eigenen Vorgehen verordnen wir eine Zervikalstütze, bis Beschwerdefreiheit eintritt. Wird das Rückenmark durch Knochenfragmente komprimiert, empfiehlt sich nur dann eine operative Dekompression mit Stabilisierung, wenn ein neurologisches Defizit vorliegt.

Okzipitozervikale Fusion

Die Operation wird über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) in Bauchlage vorgenommen. Hierfür stehen verschiedene Implantate zur Verfügung. Die Y-Platte nach Grob (1996) bietet den Vorteil, dass die okzipital gelegenen Schrauben in der Mittellinie des Hinterhaupts eingebracht werden, wo der Knochen mehr als doppelt so dick ist wie paramedian und dadurch stabiler zu verankern sind. Der Knochenspan für die Spondylodese muss dann aber unter und evtl. auch über der Platte angelagert werden (Abb. 4.13).

Bei anderen Verfahrensweisen, z.B. den kombinierten dorsalen Stab-Platten-Fixateuren, bleibt die Mittellinie frei für die Knochenanlagerung. Hierbei wird das Hinterhaupt mit Platten, die HWS mit den typischen Stabfixateuren versorgt. Unterschiedliche Produkte von verschiedenen Herstellern stehen zur Auswahl.

Aufklärung über mögliche Komplikationen

Neben den allgemeinen Risiken (Nachblutung, Infektion, Thrombose, Embolie) sind zu nennen:

- Einschränkung der Kopfbeweglichkeit,
- Schwächung der Nackenmuskulatur,
- Ermüdbarkeit und Verspannungsschmerzen,
- Verletzung des N. occipitalis major mit Taubheitsgefühl, Dysästhesien und neuralgischen Schmerzen im Hinterhauptbereich,
- Verletzung der A. vertebralis,

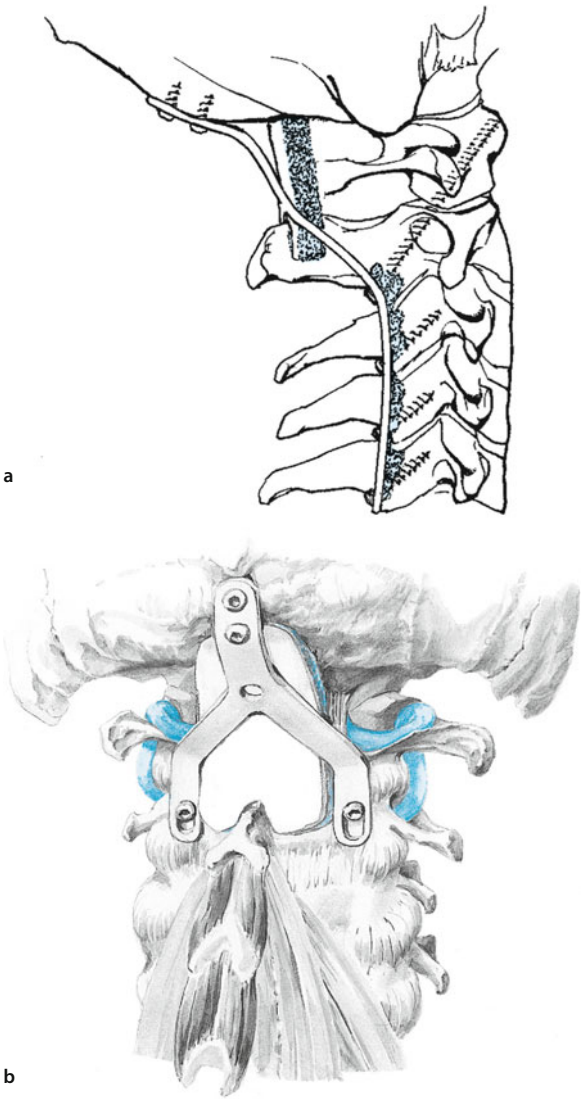


Abb. 4.13a,b Y-Platte nach Grob. **a** Seitliche Ansicht. **b** Aufsicht. (Aus: Blauth 1998 b)

- Implantatversagen,
- Instabilität,
- neurologische Komplikationen (z.B. durch Duraverletzung),
- Fixierung des Kopfs in Fehlstellung,
- Reeingriff.

Operationstechnik

Bei der Lagerung muss exakt reponiert und die angestrebte Fusionsposition genau eingestellt werden. Die Verwendung eines Halorings kann die Einstellung der Kopfposition erleichtern. Alternativ kann die Lagerung auf der Kopfschale und Fixation des Kopfs mit breiten Heftpflasterstreifen von beiden Unterkieferästen kreuzförmig über das Hinterhaupt zur Außenseite der Kopfschale erfolgen. Die Schultern werden ebenfalls mit breiten Pflasterstreifen nach unten gezogen.

Die Fusionstrecke reicht bis C2 und bei Bedarf auch tiefer, sollte aber so kurz wie möglich gehalten werden. Der Zugang reicht vom Hinterhaupt bis zur Vertebra prominens; bei Wahl eines kleineren Zugangs müsste perkutan oszillierend gebohrt werden. Die Muskelansätze am Dornfortsatz von C2 werden beidseits mit einer oszillierenden Säge abgelöst und nach beiden Seiten mobilisiert. Die Cortices im Bereich des Okziput und des Atlasbogen, die später mit dem Span in Berührung kommen, werden subperiostal exponiert und mit einer Kugelfräse oder einem Meißel angefrischt. Am Hinterhaupt muss die so genannte »Schlagbohrtechnik« angewendet werden, damit man beim Bohren nicht versehentlich die Dura verletzt.

Nach Möglichkeit wird eine atlantoaxiale Verschraubung nach Magerl (s. unten) integriert. Die Schraubenlöcher werden nicht über die liegende Platte gesetzt, sondern vorgebohrt. Anschließend wird das Implantat den anatomischen Gegebenheiten angepasst. Die Schraubenlöcher ab C3 und darunter werden in der Technik nach Roy-Camille u. Saillant (1984) gebohrt (Massa lateralis Schrauben, s. unten). Unter Einsatz der Navigation können mit entsprechender Erfahrung auch Pedikelschrauben gesetzt werden.

Ein monokortikaler Knochenspan wird aus dem dorsalen Beckenkamm entnommen und zwischen Okziput und dem Dornfortsatz von C2 verkeilt. An seiner kaudalen Basis schafft man mit dem Luer eine flache Kerbe, damit der Span vom Dornfortsatz nicht abrutscht. Die Kontaktflächen zwischen Span einerseits, Okziput und den Laminae von C1 und C2 andererseits werden zuvor angefrischt. Weiter distal werden Spongiosachips entlang den Plattenschenkeln angelegt. In neuerer Zeit wird zusätzlich ein Knochenspan zwischen Okziput und C2 über die Platte in ein sorgfältig angefrischtes Spanbett angelagert.

Es gibt alternative Methoden (Blauth 1998 b), z.B. mit 2 Rekonstruktionsplatten und einer Drahtcerclage zur Sicherung des kortikospongiösen Spans. In letzter Zeit setzen sich aber die winkelstabilen Implantate mit Stäben an der HWS und integrierten Platten für das Hinterhaupt zunehmend durch.

Management intraoperativer Komplikationen

Bei einer Verletzung der A. vertebralis empfiehlt Grob (1996), die ossären Anteile der Lamina abzutragen und die Arterie mikrochirurgisch zu ligieren, wenn die Verletzung durch Tamponade nicht zu stillen ist. Eine Verletzung des Duralsacks wird mit Tamponade, Naht oder aufgeklebtem Muskellappen verschlossen.

Nachbehandlung

Über die Art der Nachbehandlung nach dorsaler okzipitozervikaler Fusion gibt es bisher keine größeren Studien. Es liegen deshalb nur Erfahrungswerte vor:

Wegen eines möglichen retropharyngealen Hämatoms empfiehlt Grob (1996) zunächst eine postoperative intensive Überwachung von 12 h. Ab dem 1. postoperativen Tag kann der Patient mit einer harten Zervikalstütze mobilisiert werden. Bis zur knöchernen Konsolidierung beschränkt sich die Physiotherapie nach Abschluss der Wundheilung auf eine Kräftigung der Muskulatur im Verbund von Kopf, HWS, Schultergürtel und oberer Extremität. Zur täglichen Hygiene sowie im Liegen kann die Orthese, die für 8–10 Wochen postoperativ getragen wird, abgenommen werden (Grob 1996; Müller u. Muhr 1997). Manche Autoren empfehlen eine zusätzliche postoperative Ruhigstellung im Halofixateur für ca. 6 Wochen.

4.3.4 Atlantookzipitale Dislokationen

Pathomechanismus

Es muss davon ausgegangen werden, dass die einwirkende Kraft bei einer atlantookzipitalen Dislokation in erster Linie eine Scherwirkung des Kopfs in der Sagittalebene bewirkt, sodass die Bandverbindungen zwischen C0 und oberer HWS den einwirkenden

Kräften nicht standhalten und eine Kontusion bzw. eine tödliche quere Durchtrennung des Rückenmarks bewirken. Ein Hyperextensionsmechanismus als Unfallhergang wird v.a. bei Kindern aufgrund des noch wenig suffizienten ligamentären Bandapparats diskutiert.

Klinik

Atlantookzipitale Dislokationen sind in der Klinik eine absolute Rarität, weil sie bereits am Unfallort nahezu immer tödlich verlaufen. Sie finden sich deshalb nur in knapp 1% aller Fälle akuter HWS-Verletzungen (Jarrett u. Whitesides 1992). Die Verletzten klagen über Kopf- und Nackenschmerzen; aber auch neurologische Ausfälle unterschiedlichster Art bis hin zu Hirnstammsymptomen können vorkommen, z.B. eine Schnappatmung. Weichteilschwellungen in der Kopf- und Halsregion sind besonders typisch bei ausgeprägter Instabilität und richtungsweisend für eine atlantookzipitale Dislokation.

Diagnostik

Auf den Röntgenübersichtsaufnahmen der HWS kann ein prävertebrales Weichteilhämatom indirekt zur Diagnose führen. Zum röntgenologischen Ausschluss bzw. zur Sicherung einer atlantookzipitalen Dislokation werden v.a. folgende Messmethoden herangezogen:

Powers et al. (1979) sprechen von einer ventralen atlantookzipitalen Dislokation, wenn der Quotient aus den Abständen zwischen dem Vorderrand des Foramen magnum (so genanntes Basion) und Innenrand des hinteren Atlasbogens einerseits und zwischen dem Hinterrand des Foramen magnum und dem Innenrand des vorderen Atlasbogens andererseits einen Wert >1 annimmt. Der Quotient beträgt normalerweise bei Erwachsenen <0,77. Dieser Wert ist dimensionslos und deshalb unabhängig von der Positionierung der Röntgenröhre. Die Methode nach Powers ist jedoch nicht anwendbar bei kongenitalen Abnormalitäten des Foramen magnum, dorsaler atlantookzipitaler Dislokation oder Atlasbogenfrakturen.

Harris et al. (1994) beschrieben eine Methode, die unabhängig von der Neigung des Klivus, von Abnormalitäten der hinteren Wirbelelemente C1 und C2 und der Inklination des Dens ist. Sie wird nicht durch Funktionsaufnahmen beeinflusst. Die hintere Wirbelkörperlinie von C2 wird nach kranial verlängert und darf vom Basion nicht weniger als 6 mm und nicht mehr als 12 mm entfernt sein.

Für eine axiale Dislokation ist der vertikale Abstand zwischen Densspitze und Basion entscheidend. Der Abstand darf bei Erwachsenen nicht mehr als 12 mm betragen (Harris et al. 1994, Abb. 4.14).

Besteht aufgrund der Messungen der geringste Verdacht auf eine atlantookzipitale Dislokation, sollten sich auf jeden Fall eine CT, evtl. mit dreidimensionaler Rekonstruktion oder Funktionsaufnahmen anschließen.

Klassifikation

Nach Traynelis et al. (1986) werden 3 Formen der atlantookzipitalen Dislokation unterschieden. Allen gemeinsam ist die Instabilität.

- **Typ I:** Ventrale Dislokation des Kopfs gegenüber der HWS. Sie ist die häufigste Form und oft mit einer axialen Dislokation kombiniert.
- **Typ II:** Die dorsale Dislokation des Kopfs ist sehr selten.
- **Typ III:** Bei der axialen Dislokation besteht im Prinzip eine subtotale Abtrennung des Kopfs von der HWS.

Typ-III-Verletzungen dürfen nicht distrahiert werden.

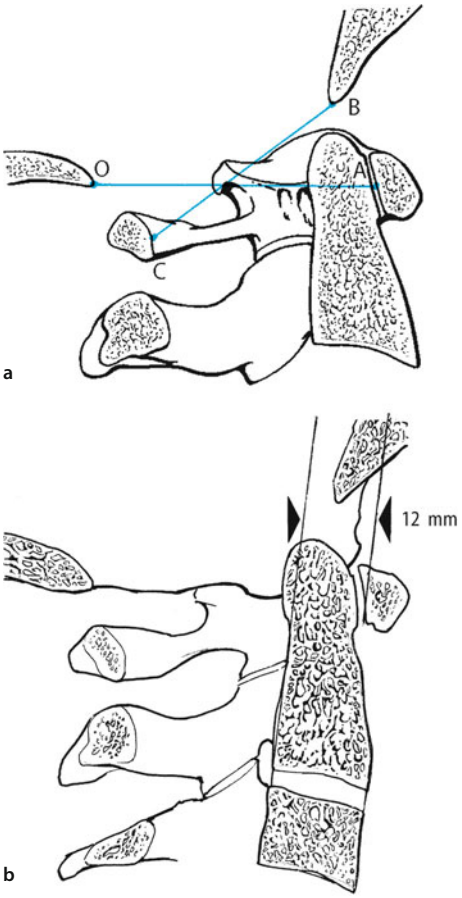


Abb. 4.14a,b Erfassung von atlantookzipitalen Dislokationen. **a** Ratio nach Powers. **b** Methode nach Harris. Powers et al. (1979) errechneten den Koeffizienten aus BC/OA. Normalwert <0,77/Ventrale Dislokation >1 (dazwischen Grauzone). Harris et al. (1994) orientieren sich an der Verlängerung der Hinterkante von C2. Diese Linie darf von der vorderen Begrenzung des Foramen nicht weniger als 6 mm und nicht mehr als 12 mm entfernt sein. (Aus: Blauth 1998 b)

Therapie

Bei der atlantookzipitalen Dislokation vom Typ III nach Traynelis muss ein Längszug absolut vermieden werden, während diese Maßnahme bei Typ-I- und -II-Verletzungen indiziert sein kann, wenn knöcherne Begleitverletzungen den Spinalkanal komprimieren und neurologische Ausfälle hervorrufen.

Einige Autoren sind der Ansicht, dass ein axialer Längszug wegen der Gefahr der Überdistraktion grundsätzlich immer kontraindiziert ist und empfehlen deshalb eine initiale Behandlung mit Halofixateur externe mit früher interner Stabilisierung (▶ Abschnitt 4.3.3, Okzipitozervikale Fusion).

Eine stabile Ausheilung von ligamentären Verletzungen der Wirbelsäule ist unter konservativen Maßnahmen grundsätzlich nicht gewährleistet.

Die atlantookzipitale Dislokation stellt eine ligamentäre Verletzung dar, die bei Erwachsenen nur unter operativen Maßnahmen ausreichend zu stabilisieren ist (Tuli et al. 1997, Müller u. Muhr 1997, Traynelis 1998).

Kinder können allerdings konservativ mit Haloring und Weste weiterbehandelt werden, wenn die Verletzung durch alleinige externe Stabilisierung retinierbar ist. Im Unterschied zu Erwach-

senen soll hier eine bindegewebige stabile Heilung möglich sein. Die Ruhigstellungsdauer beträgt 8–10 Wochen. Vor Abschluss der Behandlung sollten Funktionsaufnahmen durchgeführt werden, um verbleibende Instabilitäten auszuschließen.

Prognose

Ausführliche Langzeitresultate über Restbeschwerden, sekundäre Instabilitäten oder Arthrosebildung liegen bisher nicht vor.

4.3.5 Frakturen des Atlas

Ätiologie

Frakturen des Atlas entstehen meist durch vertikale Kompression bei einer Hyperextensionsbewegung des Schädels. Dabei drückt die Okzipitalschuppe gegen den hinteren Atlasbogen und frakturiert ihn (Jarrett u. Whitesides 1992). Die Atlasfrakturen machen 2–13% aller Wirbelfrakturen aus (Schären u. Jeanneret 1999). Mit kombinierte Verletzungen der HWS ist in 30–70% zu rechnen (Blauth 1998b).

Klinik

5–12% aller Verletzungen an der HWS sind Atlasfrakturen. Sie gehen in 30–70% mit anderen Läsionen, besonders häufig mit C2-Frakturen, einher. Wie bei anderen Verletzungen der oberen HWS ist der subokzipitale Kopfschmerz mit Ausstrahlung in den Hinterkopf und die Nackengegend wegweisend. Neurologische Ausfälle sind bei isolierten Atlasfrakturen eher nicht zu erwarten (Levine u. Edwards 1991).

Diagnostik

Die Diagnose einer Atlasfraktur gelingt in der Regel mittels konventioneller Seitaufnahme oder – bei kooperativen Patienten – mittels transoraler a.p.-Aufnahme bei weit geöffnetem Mund. Auch auf eine Verbreiterung des prävertebralen Weichteilschattens sollte geachtet werden. Durch eine CT lässt sich das Ausmaß der knöchernen Verletzung weiter beurteilen. Begleitende ligamentäre Verletzungen können durch Funktionsaufnahmen in Flexion und Extension indirekt oder durch eine MRT direkt gesehen werden (Abb. 4.15).

Differenzialdiagnostisch sollte an angeborene Spaltbildungen des hinteren Atlasbogen gedacht werden, die sich fast immer median und nur in Ausnahmefällen lateral befinden.

Klassifikation

Nach Gehweiler et al. (1980) werden 5 Frakturtypen unterschieden:

- **Typ I:** Fraktur des vorderen Atlasbogens
- **Typ II:** Fraktur des hinteren Atlasbogens
- **Typ III:** Fraktur des vorderen und hinteren Bogens (Jefferson-Fraktur)
- **Typ IV:** Fraktur der Massa lateralis
- **Typ V:** Fraktur des Processus transversus

Therapie

Die Einteilung nach Gehweiler ist lediglich für das Verständnis der möglichen Verletzungen von Interesse. Für die Therapiewahl ist die Einteilung in stabile oder instabile Frakturen entscheidend; diese orientiert sich an der Integrität des Ligamentum transversum atlantis. Die Annahme einer Instabilität im konventionellen Röntgenbild ist jedoch nicht hinreichend geklärt.

Spence et al. (1970) nahmen eine Ruptur des Ligamentum transversum atlantis an, wenn die Distanz zwischen den lateralen

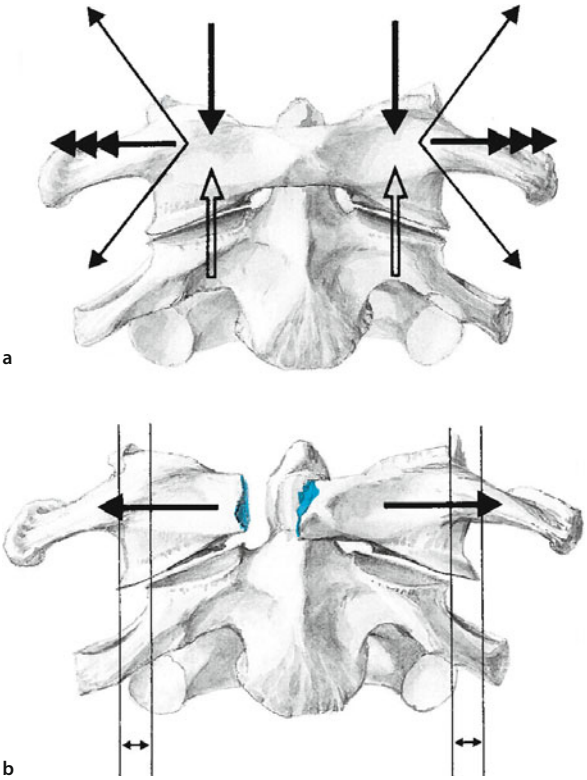


Abb. 4.15 Entstehung instabiler Berstungsbrüche des Atlas. **a** Axiale Gewalteinwirkung lässt die Massae laterales auseinanderweichen (**b**). (Aus: Blauth 1998 b)

Begrenzungen der Massae laterales des Atlas die der Gelenkmassive des Axis um mehr als 7 mm überragt. Bei Heller et al. (1993) lag dieser Wert bei mehr als 8 mm, Blauth (1998 b) sah eine Ruptur allerdings schon bei wesentlich geringeren Dislokationen.

Es fehlen überzeugende Studien zur Behandlung von Atlasfrakturen, die einen Konsens in die Vielzahl der Therapien bringen könnten. In Übereinstimmung mit Tuli et al. (1997) empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- Stabile Frakturen mit einer Frakturdislokation von <2 mm können symptomatisch mit einer weichen oder harten Zervikalstütze für 6 Wochen behandelt werden.
- Stabile Frakturen mit einer Frakturdislokation von >2 mm benötigen für 12 Wochen eine Immobilisation mit Halofixateur externe oder Minerva-Gips.
- Bei instabilen Frakturen (v.a. Jefferson-Fraktur) sollte initial eine Extensionsbehandlung zur Remodellierung des Atlas durchgeführt werden, wenn eine Subluxation oder eine höhergradige knöcherne Inkongruenz besteht. Anschließend wird eine okzipitozervikale Fusion von C0 auf C1 bzw. C1 auf C2 oder eine direkte transorale Reposition mit Verschraubung dringend empfohlen, weil eine Ausheilung des rupturierten Ligamentum transversum atlantis unter konservativen Maßnahmen selten möglich bzw. insuffizient ist.

Die Ruptur des Ligamentum transversum atlantis stellt grundsätzlich eine absolute Kontraindikation für ein konservatives Vorgehen dar (Blauth 1998 b).

Diese allgemein anerkannte Doktrin widerspricht allerdings den Erfahrungen von Seiler et al. (1993), die instabile Atlasfrakturen für 12 Wochen mit Haloweste erfolgreich behandelten und ledig-

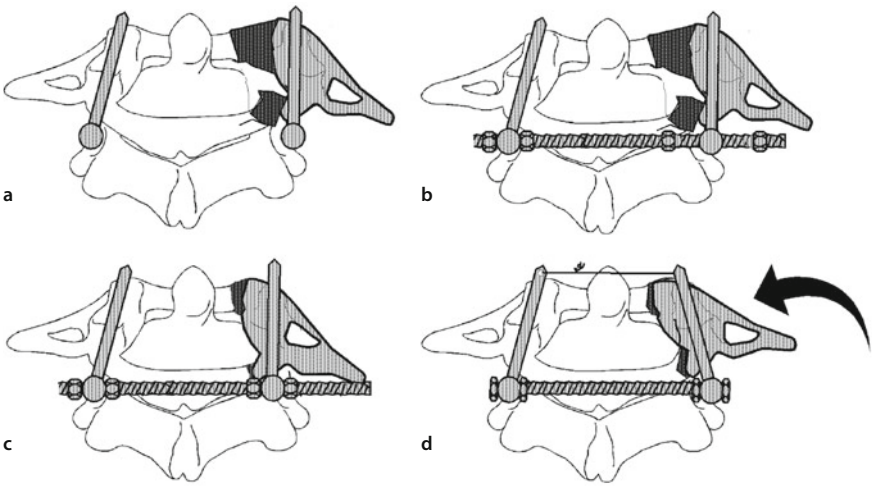


Abb. 4.16a–d Osteosynthese einer Atlasberstungsfraktur vom Typ Gehweiler III. **a** Die Schraubenlänge wird so gewählt, dass sie das Kortikalisniveau ventral leicht überragen. **b** In die Schraubenköpfe wird ein Verbindungsstab mit Gewinde eingebracht. **c** Die dorsale Reposition der Fraktur erfolgt über Schraubenmuttern, die auf den Gewindestab gedreht werden. **d** Anschließend werden die das Knochenniveau überragenden Schraubenspitzen mit einer Drahtcerclage verbunden (ausführliche Beschreibung im Text). (Aus: Böhm et al. 2006)

lich bei persistierenden Beschwerden, Gelenkinkongruenz oder Instabilität sekundär auf eine atlantoaxiale Fusion zurückgreifen.

Böhm und Mitarbeiter (2006) haben eine interessante Alternative zu den bisher gebräuchlichen versteifenden Verfahren veröffentlicht. Die Autoren haben bei 8 Patienten mit instabilen Atlasfrakturen vom Typ Gehweiler III mit Ruptur des Ligamentum transversum und resultierender Dislokation der Massa lateralis den Atlas einzeitig osteosynthetisch stabilisiert. Die Operation beginnt in Bauchlage des Patienten. Über einen dorsalen Zugang wird die obere HWS von C0–C3 dargestellt. Nach bildwandlerkontrollierter Reposition der Fraktur werden die Eintrittspunkte für die C1-Schrauben bestimmt. Dazu wird der unter dem hinteren Atlasbogen befindliche Teil der dislozierten Massa lateralis dargestellt, indem die Nervenwurzel mit dem umgebenden Weichgewebe vorsichtig mit dem Dissektor nach kaudal abgeschoben wird. Die mediale und laterale Begrenzung der Massa lateralis wird mit einem weiteren Dissektor ertastet, um deren Mitte als auch die Lage des Hirnstamms (medial) und der A. vertebralis (lateral) zu erfassen. Dann wird die kraniokaudale Distanz bis zum Gelenk C1/2 ausgetastet, um mit der Bestimmung des Mittelpunkts dieser Linie eine zweite gedachte Hilfslinie für den Eintrittspunkt zu erhalten. Nach vorsichtigem Ankörnen werden die Schraubenkanäle vorgebohrt. Wenn sich die Massa lateralis gut reponieren lässt, kann man die beiden Kanäle bis annähernd 5° konvergierend bohren. Bei ungenügender Reposition folgt der Bohrkanal hingegen der dislozierten Lage der abgesprengten Massa lateralis. Im seitlichen Strahlengang orientiert man sich beim Bohrvorgang u.a. am Unterrand des Atlasbogens. Nach Austasten der Bohrkanäle mit einem dünnen K-Draht werden diese bei korrekter Bohrrichtung auf 3,2 mm Durchmesser erweitert und dann mit 4 mm starken Pedikelschrauben mit stumpfen Spitzen besetzt. Die Schraubenlänge wird so gewählt, dass sie das Kortikalisniveau ventral leicht überragen (Abb. 4.16a). In die Schraubenköpfe wird ein Verbindungsstab mit Gewinde eingebracht (Abb. 4.16b).

Die dorsale Reposition der Fraktur erfolgt über Schraubenmuttern, die auf den Gewindestab gedreht werden (Abb. 4.16c). Anschließend wird der Patient umgelagert. Transoral wird die Hinterwand des Pharynx median inzidiert. Der M. longus colli wird längs gespalten und nach beiden Seiten mobilisiert. Die das Knochenniveau überragenden Schraubenspitzen werden zu beiden Seiten des Atlasbogens aufgesucht und mit einer Drahtcerclage verbunden. Die Cerclage wird gespannt und verdrillt. Dadurch lässt sich der Atlasbogen nun auch ventral komprimieren (Abb. 4.16d).

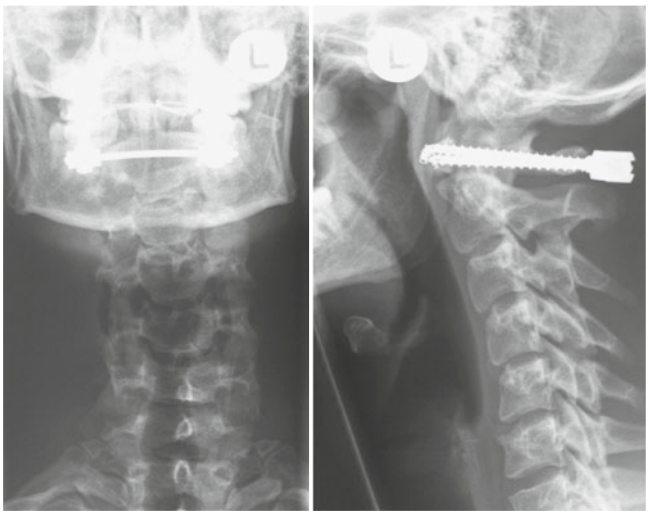


Abb. 4.17 Röntgenaufnahme in 2 Ebenen 6 Monate nach dorsoventraler Osteosynthese des Atlas. Die Fraktur ist konsolidiert. (Aus: Böhm et al. 2006)

Die Nachbehandlung erfolgt 1 Woche in einer semirigiden Halskrawatte. Die Weiterbehandlung ist orthesenfrei und frühfunktionell (Abb. 4.17).

Komplikationen und Prognose

Landells u. Van Peteghem (1988), die 23 Patienten mit Atlasfrakturen im Mittel nach 3,5 Jahren (1–9 Jahre) nachuntersuchten, fanden unabhängig vom Therapieschema bei 56% der Patienten Beschwerden wie Bewegungseinschränkung, Schmerzen oder Dysästhesien. Unter den 8 osteosynthetisch versorgten Patienten von Böhm et al. (2006) zeigte sich in allen Fällen eine knöcherne Heilung, wobei in einem Fall eine sekundäre Spongiosaplastik erforderlich geworden war. Die funktionellen Ergebnisse waren in allen Fällen gut, es bestand kein Schmerzmittelbedarf und alle operierten Patienten konnten beruflich reintegriert werden.

Sekundäre Verschiebungen ursprünglich als stabil eingestufter Brüche sind bisher nicht beschrieben worden.

Über einen Sonderfall einer ausgedehnten Destruktion der HWS berichten Frangen und Mitarbeiter (2007). Aneurysmatische Knochenzysten werden nicht zu den bösartigen Tumoren gezählt,

Abb. 4.18 Nahezu vollständige Destruktion des Atlas (schwarzer Pfeil). Große Raumforderung mit dorsaler Vorwölbung (weiße Pfeile). (Aus: Frangen et al. 2007)

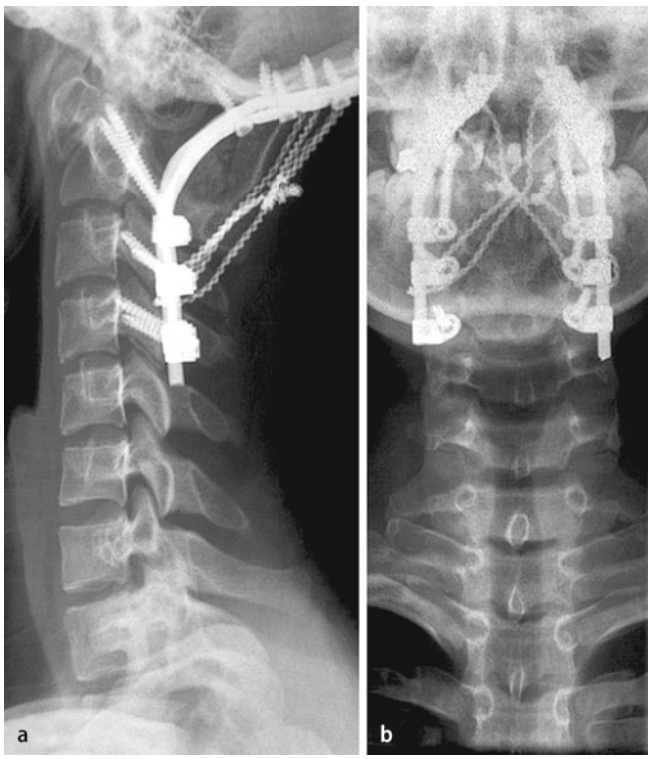


Abb. 4.19a,b Röntgenkontrolle 6 Wochen postoperativ nach Tumorresektion (Abb. 4.18), okzipitozervikaler Fusion C0-C4, Beckenspananlage und dorsaler Cerclage. Seitlicher (**a**) und a.p.-Strahlengang (**b**). (Aus: Frangen et al. 2007)

obwohl sie lokal destruierend wachsen können. Man findet sie häufig in den Metaphysen langer Röhrenknochen, aber auch an der Wirbelsäule und hierbei meist dorsal. 75% treten bei Jugendlichen auf. Die Autoren berichten über eine 16-jährige Patientin mit progredienten, therapieresistenten Nackenschmerzen ohne Trauma in der Vorgeschichte. 5 Monate nach Auftreten der ersten Beschwerden zeigte sich radiologisch eine nahezu vollständige Destruktion des Atlas (Abb. 4.18). Klinisch imponierte eine deutliche Schwellung im oberen HWS-Bereich. Im MRT wurde sichtbar, dass der Tumor die spinale Dura zirkulär umgriff, was sich intraperativ bestätigte. Die Autoren resezierten den Tumor von dorsal und führten eine okzipitozervikale Spondylodese von C0–C4 durch. Die verbliebenen ventralen Tumoranteile wurden postoperativ bestrahlt. Dieses kombinierte Verfahren wurde gewählt, um Pharynx, Hirnnerven und Gefäße nicht zu verletzen. Die Patientin wurde beschwerdefrei.

Wenn sie rechtzeitig erkannt werden, genügt es, solche Tumoren zu kürretieren. Im geschilderten Fall bestand jedoch bereits eine massive Instabilität mit drohender Hirnstammquetschung (Abb. 4.19).

4.3.6 Atlantoaxiale Dislokationen

Pathomechanismus, Klinik und Diagnostik

Pathomechanismus

Die Stabilität des atlantoaxialen Übergangs wird maßgeblich durch das Ligamentum transversum und die Ligamenta alaria vermittelt (Dvorak et al. 1988). Das Ligamentum transversum verbindet die Massae laterales miteinander und sichert den Atlas gegen eine Dislokation in sagittaler Richtung. Die Ligamenta alaria ziehen von der Densspitze zu den okzipitalen Kondylen und zu den Massae laterales atlantis und begrenzen die Rotationsbewegung in diesem Segment. Eine Instabilität entsteht durch einen Flexionsmechanismus wie er beim Rasanztrauma oder einem Sturz auf den Hinterkopf auftreten kann. Atlantoaxiale Dislokationen können aber auch nichttraumatischer Natur sein; man beobachtet sie im Rahmen degenerativer Erkrankungen wie der rheumatoiden Arthritis, Psoriasis und Missbildungen. Man vermutet, dass bei Patienten mit Trisomie 21 eine angeborene Laxität des Ligamentum transversum besteht, denn sie erleiden häufig atlantoaxiale Instabilitäten mit tödlicher Hirnstammkompression nach Bagatelltraumen. Bei diesen Patienten wird die Inzidenz mit 9–40% angegeben (Briem et al. 2001).

Klinik

Neben Nackenschmerzen imponieren mehr oder weniger ausgeprägte neurologische Ausfälle bis hin zur Tetraplegie. Eine Kompression der Medulla oblongata ist jedoch selten, weil aufgrund des anatomischen Aufbaus nur ca. zwei Drittel des Ringdurchmessers von Dens und Rückenmark ausgefüllt werden und so ausreichend Platz für eine Ausweichbewegung vorhanden ist (Steel 1968). Bei der rotatorischen Dislokation fällt der Schiefhals besonders auf. Der Kopf ist zu einer Seite geneigt und gleichzeitig zur anderen gedreht, eine Mittelstellung kann meist nicht erreicht werden.

Diagnostik

Atlantoaxiale Dislokationen werden in translatorische Verschiebung des Atlas im Verhältnis zu Axis und rotatorische Fehlstellung unterteilt, Kombinationen sind möglich.

Translatorische Verschiebung

Auf den seitlichen nativen Röntgenbildern der oberen HWS, aber auch auf den Funktionsaufnahmen, darf der sagittale atlantodentale Abstand bei Erwachsenen nicht >3 mm, bei Kindern durch die vermehrte Dehnbarkeit des Ligamentum transversum atlantis nicht >4 mm betragen (Jeanneret 1994). Bei der Beurteilung des Abstandes ist jedoch Vorsicht geboten, denn in Neutralstellung ist der atlantodentale Abstand auf beiden Seiten gleich groß, jedoch werden bei leichter Drehung des Kopfs die Abstände asymmetrisch und bleiben somit ohne Krankheitswert (Abb. 4.20).

Ein Abstand zwischen Dens und Massa lateralis von bis zu 4 mm bei einer asymmetrischen Einstellung der Massae laterales hat keinen Krankheitswert (Iannacone et al. 1990) mit Ausnahme der Trisomie-21-Patienten, bei denen dieses Intervall >5 mm weit sein kann (Rizzolo et al. 1995).

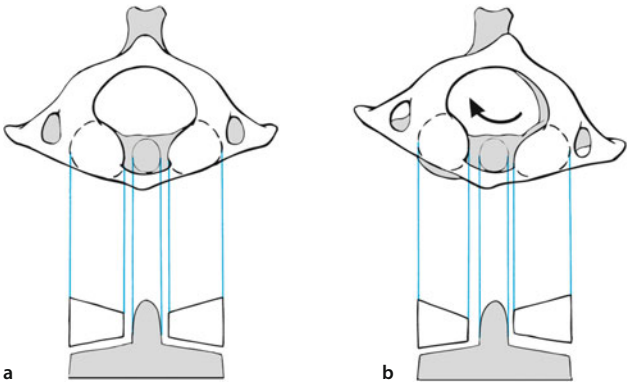


Abb. 4.20 Eine asymmetrische Einstellung der Massae laterales als isolierter Befund ist noch kein Zeichen für eine Subluxation oder Luxation. **a** Bei deckungsgleicher Rotation von Atlas und Axis projizieren sich die Massae laterales symmetrisch. **b** Dies ist bei ungleicher Rotation nicht der Fall (Aus: Blauth 1998 b)

Als weitere Normgrenze gilt ein Abstand von der Hinterkante des Dens zum vorderen Rand des hinteren Atlasbogens. Der Abstand darf nicht >15 mm betragen (Blauth 1998 b).

Bei unklarem Befund hilft eine Untersuchung unter Durchleuchtung weiter. Bei der Beurteilung der Bilder muss berücksichtigt werden, dass sich der Raum zwischen Axis und Dens oft nach kranial V-förmig erweitert, seltener auch nach kaudal. Ob es sich hierbei um eine ligamentäre Teilläsion oder um Normvarianten handelt, bleibt umstritten (Blauth 1998 b).

Es muss betont werden, dass alle Abstandsmessungen im Widerstreit konträrer Auffassungen divergieren. Deshalb sollten eine MRT und eine CT in Funktionsstellung als weitere Untersuchungen frühzeitig zur Abklärung herangezogen werden. Nur hierdurch können morphologische Folgen einer Verletzung mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Rotatorische Fehlstellung

Die Abgrenzung akuter rotatorischer Fehlstellungen kann Probleme bereiten. Zum einen gibt es Formen, die nicht traumatisch entstehen (z.B. beim kongenitalen Schiefhals), zum anderen ist die Interpretation der Röntgenbefunde oft schwierig. Ein akuter Beginn bei adäquatem Trauma ist oft richtungsweisend. Röntgenologisch fällt in der transoralen Aufnahme ein asymmetrisch eingestellter Dens axis auf. Dies ist jedoch noch kein sicheres Zeichen.

Bleibt die Asymmetrie des Dens bei der transoralen Röntgenaufnahme in 15°-Rotationsstellung des Kopfs oder der funktionellen CT mit maximaler Drehung des Kopfs bestehen, handelt es sich um eine fixierte Dislokation (Blauth 1998 b).

Folgende Differenzen werden bei Erwachsenen als pathologisch angesehen (Blauth 1998 b):

- Rotation zwischen Okziput und Atlas >9°,
- Rotation zwischen Atlas und Axis >49°,
- Seitendifferenz im Segment C0/C1 >5°,
- Seitendifferenz im Segment C1/C2 >5°,
- Seitendifferenz in den Segmenten C0 bis C2 >8°.

Klassifikation und Therapie

In therapeutischer Hinsicht werden 4 Instabilitäten voneinander unterschieden:

1. Ventrale oder dorsale translatorische Instabilität
2. frische Rotationssubluxationen ohne Ruptur des Ligamentum transversum atlantis
3. veraltete Rotationssubluxationen ohne Ruptur des Ligamentum transversum atlantis
4. Rotationsinstabilitäten mit Ruptur des Ligamentum transversum atlantis

Zu 1: Translatorische Instabilitäten müssen von dorsal reponiert, fusioniert und transartikulär verschraubt werden (s. unten).

Zu 2: Frische Rotationssubluxationen ohne begleitende Ruptur des Ligamentum transversum atlantis werden zunächst reponiert, was in der Regel leicht gelingt. Die Reposition wird am wachen Patienten unter Bildwandlerkontrolle vorgenommen. Zunächst löst man die Verhakung, indem man am Kopf zieht und in die Richtung der Fehlstellung dreht. Manchmal spürt oder hört man, wenn sich die Verhakung löst. Anschließend lässt sich der Kopf in Normalstellung bringen. Eine 8-wöchige Ruhigstellung im Halofixateur schließt sich an. Allerdings ist der Einsatz von Halofixateuren bei alten Patienten komplikationsträchtig (Glaser 1986, Tashijan 2006). Bei Beschwerden oder verbleibender Instabilität wird eine dorsale Fusion von C2 auf C1 mit transartikulärer Verschraubung empfohlen (Blauth 1998 b). Kaminski und Mitarbeiter (2008) empfehlen dafür eine modifizierte Technik der Verschraubung nach Magerl (s. unten).

Zu 3: Bei veralteten Rotationssubluxationen ohne Bandruptur wird zunächst versucht, sie in Allgemeinnarkose besser zu stellen; manchmal ist dazu jedoch eine länger dauernde Extensionsbehandlung nötig. Die Reposition wird operativ vervollständigt und durch eine transartikuläre Verschraubung zwischen C2 und C1 mit oder ohne Fusion fixiert. Alternativ kann transoral reponiert und fusioniert werden (Blauth 1998 b).

Zu 4: Rotationsinstabilitäten mit begleitender Ruptur des Ligamentum transversum atlantis werden von dorsal reponiert, fusioniert und transartikulär verschraubt (Blauth 1998 b).

Atlantoaxiale Fusion

Die Operation wird über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) in Bauchlage vorgenommen. Es gibt 4 gängige Verfahren, und zwar nach

- Brooks-Southwick,
- Gallie,
- Magerl oder
- Harms.

Die Methode nach Brooks-Southwick ist rotationsstabil, die nach Gallie einfacher ausführbar, aber weniger rotationsstabil, weshalb sie häufig mit einer transartikulären Verschraubung nach Magerl kombiniert wird, welche die größte Stabilität bringt, aber wesentlich schwieriger und risikoreicher als die erstgenannten Techniken ist. Für die Reposition wird eine leichte Extensionsstellung mit einem Winkel von 25° zwischen der Unterkante des Atlasbogens und der des Axiswirbelkörpers empfohlen, damit die horizontale Blickrichtung nicht gestört wird. Die Patienten müssen darüber aufgeklärt werden, dass durch eine Fusion zwischen C1 und C2 die Kopfdrehung wesentlich eingeschränkt wird.

Methode nach Brooks-Southwick

Nach Deperiostierung der dorsalen Aspekte der Wirbelbögen von C1 und C2 werden die Laminae anschließend auch an ihren, dem Spinalkanal zugewandten Vorderflächen subperiostal nach beiden Seiten, etwa 1 cm weit, frei präpariert. Dann werden mit einem Deschamps 4 Fadenschlingen unter beiden Bögen durchgezogen. Jede Schlinge ist mit einem etwa 30 cm langen Draht armiert. Die Drähte werden nun der Reihe nach jeweils in ihrer halben Länge unter

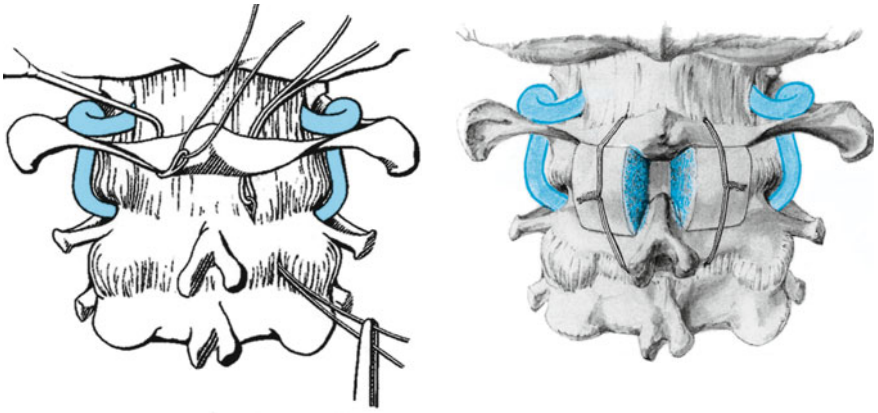


Abb. 4.21 Atlantoaxiale Fusion nach Brooks mit nur einem Draht pro Seite. (Aus: Blauth 1998 b)

beiden Bögen durchgezogen, sodass diese angeschlungen sind. Dann werden sie mit Klemmen gefasst und vom Rückenmark weg gehoben, damit dieses nicht versehentlich durch den Druck einsinkender Drahtschlingen komprimiert wird. Nun wird zu beiden Seiten je ein monokortikaler Span, entnommen aus dem dorsalen Beckenkamm (▶ Kap. 21, Standardzugänge), auf und zwischen beiden Wirbelbögen eingekeilt und dann mit je zwei Drahtschlingen befestigt. Damit die Späne einheilen, müssen die dorsalen Aspekte der Laminae zuvor angefrischt werden. Bei hartem Knochenmaterial empfiehlt es sich, in die Späne kleine Kerben zur sicheren Führung der Drähte einzuarbeiten, damit die Cerclagen nicht abrutschen. Bei weichem Knochen ist dies nicht erforderlich, weil die Drähte beim Spannen ohnehin in die kortikalen Kanten der Knochenblöcke einsinken (Abb. 4.21).

Kerschbaumer (1991) empfiehlt Drähte der Stärke 0,8 mm. Blauth (1998 b) zieht nicht 4 Drähte ein, sondern verwendet pro Seite je einen gedoppelten Draht der Stärke 1,25 mm. Dadurch braucht pro Seite nur eine Schlinge eingezogen zu werden.

Die **Nachbehandlung** umfasst (s. Tübinger Nachbehandlungskonzept, ▶ Abschnitt 4.3.10):

- Ruhigstellung in Abhängigkeit von der erreichten Stabilität mit weicher oder harter Zervikalstütze für 6–12 Wochen. Bei verbleibender Instabilität Halofixateur,
- begleitend isometrische Übungen.

Mögliche **Komplikationen** sind:

- Einem Korrekturverlust in sagittaler Richtung kann am besten mit einer gleichzeitigen transartikulären Verschraubung nach Magerl vorgebeugt werden;
- beim Durchziehen der Drähte kann die Dura verletzt werden und ein Liquorleck entstehen, das vor dem Wundverschluss mit einem Muskellappen abgedichtet werden muss;
- Fraktur des Atlasbogens beim Verdrillen der Drahtschlingen;

Das Verfahren ist nicht geeignet bei frakturiertem oder massiv osteoporotischem Atlasbogen.

Methode nach Gallie

Vorteil der Methode ist, dass die zeitaufwändige sublaminäre Präparation des Axis entfällt. Zunächst wird eine Schlinge aus 1,0 oder 1,25 mm dickem Stahldraht, abhängig von der Knochenqualität, unter dem Atlasbogen von kaudal nach kranial durchgezogen. Dazu benutzt man am besten eine vorgelegte Schlinge aus kräftigem Fadenmaterial. Dann wird aus dem dorsalen Beckenkamm ein monokortikaler Span gehoben und an seiner Basis mit einer flachen Kerbe versehen. Der Span wird zwischen Axis- und Atlasbogen eingekeilt, nachdem die Kontaktflächen der Bögen von C1 und C2 angefrischt wurden. Die Kerbe verhindert, dass der Span vom Dornfortsatz gleitet. Nun wird der Span mit der Cerclage verklemmt. Die unter dem Atlasbogen durchgezogene Drahtschlinge wird am Dornfortsatz des Axis eingehängt. Dann zieht man an den Drahtenden, damit sich der Draht spannt, und verdrillt sie auf der Rückfläche des Knochenspans. Nur bei sehr harten Knochenblöcken müssen Kerben zur Sicherung der Drahtführung geschaffen werden. Bei weichem Knochen würde man durch das Einkerben nur die Stabilität des Blocks schwächen (Abb. 4.22). Ein zu großer Knochenblock kann am Hinterhaupt anstoßen und die Reklination behindern.

Die Nachbehandlung verläuft wie für die Methode nach Brooks-Southwick beschrieben.

Transartikuläre Verschraubung nach Magerl

Blauth (1998 b) empfiehlt den Kopf in ein Haltegerät einzuspannen, ihn im Atlantookzipitalgelenk maximal zu beugen und die untere HWS gleichzeitig zu extendieren, weil dies das korrekte Einbringen der Schrauben erleichtert. Der Zugang reicht vom Hinterhaupt bis zum zervikothorakalen Übergang, damit die Weichteile den Bohrer nicht ablenken. Ein Cerclagedraht wird für die spätere Gallie-Fusion in oben beschriebener Technik vorgelegt.

Nun erfolgt die Feinreposition. Eine Verschiebung in sagittaler Richtung kann auf verschiedene Weise korrigiert werden, z.B. durch Zug an der vorgelegten Cerclage am Atlas oder durch Fassen des Dornfortsatzes des Axis mit einer Tuchklemme bzw. durch Druck auf die jeweiligen Wirbelbögen. Die Angulation zwischen C1 und C2 lässt sich mit einem Arthrodesenspreizer beeinflussen, den man zwischen die benachbarten Laminae setzt.

Der empfohlene Schraubeneintrittspunkt liegt im unteren medialen Quadranten der Rückfläche des Gelenkfortsatzes C2. Am besten verwendet man einen oszillierenden Bohrer der Stärke 2,5 mm. Die Bohrrichtung zielt zum vorderen Atlasbogen. In der Sagittalebene lässt sie sich leicht kontrollieren durch Einsatz des in der Abdeckung integrierten seitlich eingestellten Bildwandlers. Problematischer ist, die Bohrrichtung in der Transversalebene exakt zu treffen. Man kann zwar die mediale Begrenzung der Lamina mit dem Dissektor darstellen und so einen Eindruck von der groben Richtung bekommen. Dennoch kann man unbemerkt nach lateral oder medial abweichen und die A. vertebralis bzw. das Rückenmark verletzen. Am sichersten ist es deshalb, für diesen Schritt der Operation einen zweiten Bildwandler im a.p.-Strahlengang einzusetzen, der nicht primär mit in die Abdeckung integriert wird, sondern nur während dieser Operationsphase vom Kopfende des Patienten hereingefahren wird.

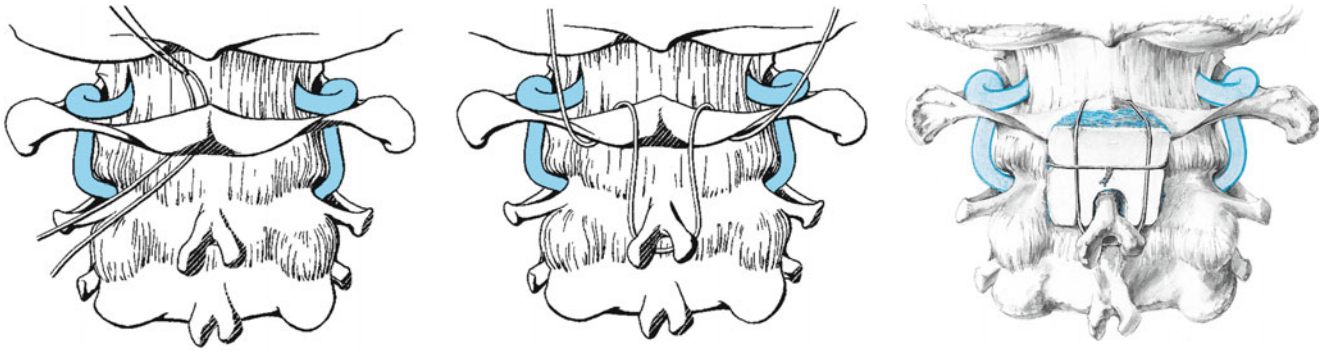


Abb. 4.22 Atlantoaxiale Fusion nach Gallie. (Aus: Blauth 1998 b)

Wegen möglicher Varianten des Verlaufs der A. vertebralis empfiehlt Blauth (1998 b), sich die CT-Bilder vor dem Eingriff auch bezüglich Form und Größe des Foramen processus transversi noch einmal anzuschauen.

Die einbrachten Schrauben werden in Stellschraubentechnik eingebracht, also nicht angezogen, sondern nur auf Anschlag eingedreht. Man muss durchgehende Gewinde schneiden und dabei im Bildwandler darauf achten, dass man in das Bohrloch im Atlas hineintrifft und diesen nicht unbemerkt »vor sich herschiebt«. Der Eingriff wird mit einer Gallie-Fusion abgeschlossen.

Dieses Verfahren ist, biomechnisch gesehen, das stabilste und wird daher insbesondere bei osteoporotisch geschwächtem Knochen empfohlen (Schinkel et al. 2006).

Die Zwischenwirbelgelenke müssen bei einer Verschraubung nach Magerl nur dann zusätzlich fusioniert werden, wenn der Atlasbogen frakturiert und deshalb die Gallie-Fusion unmöglich ist. In diesem Fall wird die hintere Hälfte der Zwischenwirbelgelenke entknorpelt und mit Spongiosa aufgefüllt.

Die Nachbehandlung erfolgt mit einer harten Zervikalstütze für 6 Wochen (s. Tübinger Nachbehandlungskonzept, ▶ Abschn. 4.3.10).

Als **Komplikation** kann die A. vertebralis verletzt werden; in diesem Fall lässt sich die Blutung durch Einbringen der Schraube oder durch Knochenwachs stillen. Wenn dies nicht gelingt, kann es notwendig werden, den Knochen so weit abzutragen, bis die Arterie ligiert werden kann. Auf das Bohren der Gegenseite sollte in diesem Fall verzichtet werden (Blauth 1998 b).

Modifizierte Technik der Verschraubung nach Magerl

Kaminski und Mitarbeiter (2008) favorisieren eine modifizierte Technik nach Magerl. Bei dem Verfahren werden die Schrauben perkutan eingebracht, deshalb kann in einer Art »Mini-open-Technik« operiert werden. Die Autoren haben 28 Densfrakturen und 8 Pseudarthrosen bei geriatrischen Patienten (Durchschnittsalter 70 Jahre) auf diese Weise versorgt. Der Zugang beginnt an der Protuberantia occipitalis externa und reicht bis zum Processus spinosus C3. Anschließend werden die dorsalen Anteile der Wirbelbögen von Atlas und Axis dargestellt. Die tiefe Nackenmuskulatur wird dafür subperiostal zu beiden Seiten etwa 1–1,5 cm weit nach lateral abgeschoben, sodass der Eintrittspunkt für die transartikulären Schrauben am Übergang der Laminae zu den Gelenkmassiven sichtbar wird. Anschließend wird ein Cerclagendraht oder ein kräftiger nicht resorbierbarer Faden mit einem Deschamp um den Atlasbogen vorgelegt. Damit wird später der Knochenblock für die Fusion befestigt. Unter Röntgenkontrolle werden nun in Höhe von T2–T3 über Stichinzisionen perkutan zu beiden Seiten 2 mm starke K-Drähte eingebracht und die Zwischenwirbelgelenke C1/C2 transfixiert. Für eine optimale Reposition kann der Axisbogen mit einer Repositionszange gefasst und unter Bildwandlerkontrolle entsprechend verschoben werden. Anschließend werden die Drähte nacheinander gegen 2,7 oder 3,5 mm starke, selbstschneidende Titanschrauben mit durchgehendem Gewinde ersetzt. Die Schrauben können mit einer Klemme über den »Mini-open«-Zugang eingebracht und in Richtung des Bohrkanals auf das Bohrloch des soeben herausgedrehten K-Drahts gesetzt werden, während der Schraubendreher durch den perkutanen Zugang geführt wird. Die Operation wird mit einer modifizierten Gallie-Fusion mit einem H-förmigen Span aus dem Beckenkamm vervollständigt (Abb. 4.23).

Komplikationen und Prognose. Die Operationsdauer betrug im Kollektiv von Kaminski und Mitarbeiter (2008) durchschnittlich 96 min (82–121 min). Intraoperative Komplikationen traten nicht auf. Bei allen Patienten konnte eine bilaterale Verschraubung realisiert werden. Die Rate der Schraubenfehllagen war mit 2,8% minimal. Durch die Operation wurden in keinem Fall neurovaskuläre Verletzungen und Wundheilungsstörungen verursacht. Es wurden auch keine Folgeoperationen erforderlich. Blauth et al. (1999) und Schmidt et al. (2006) beschrieben kürzere Operationszeiten und weniger Blutverluste beim perkutanen Vorgehen im Vergleich zum offenen.

Die Operationsindikation bei einer atlantoaxialen Subluxation bei Patienten mit Trisomie 21 wird überaus kontrovers diskutiert, weil die Stabilisierung bei diesen Patienten mit hohen Komplikationsraten und eher mäßigen Resultaten belastet ist. Außerdem ist die Inzidenz kardiorespiratorischer Zwischenfälle durch mechanische Stimuli mit dem Laryngoskop oder Absaugkatheter erhöht. Einige Autoren operieren daher nur bei neurologischen Ausfällen. Briem et al. (2001) halten aber bei radiologischen Zeichen einer schwerwiegenden atlantoaxialen Instabilität ein operatives Vorgehen für grundsätzlich angezeigt, um einer unkontrollierten Dislokation des Dens mit Kompromittierung der Medulla oblongata vorzubeugen.

C1/2 Fusion nach Harms

Insbesondere wenn die Verschraubung nach Magerl aufgrund der gegebenen Anatomie mit einer weit nach kranial reichenden A. vertebralis nicht möglich ist, bietet sich dieses Verfahren an. Hierzu werden winkelstabile Schrauben oberhalb der Wurzeln C2 in den Wirbelkörper C1 eingebracht und die Massae laterales an C2 besetzt. Die Schrauben werden winkelstabil verbunden und für die knöcherne Spondylodese Knochenmaterial angelagert.

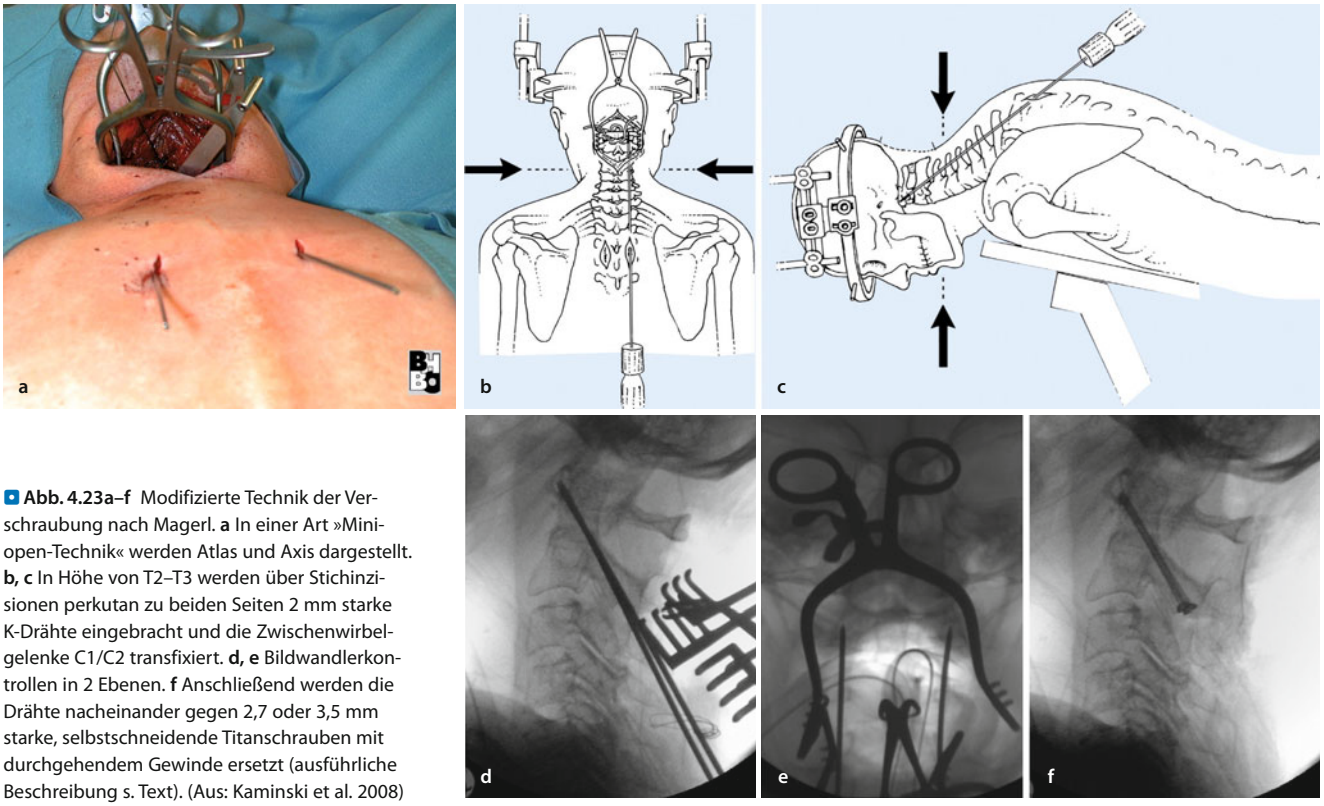


Abb. 4.23a–f Modifizierte Technik der Verschraubung nach Magerl. **a** In einer Art »Mini-open-Technik« werden Atlas und Axis dargestellt. **b, c** In Höhe von T2–T3 werden über Stichinzisionen perkutan zu beiden Seiten 2 mm starke K-Drähte eingebracht und die Zwischenwirbelgelenke C1/C2 transfixiert. **d, e** Bildwandlerkontrollen in 2 Ebenen. **f** Anschließend werden die Drähte nacheinander gegen 2,7 oder 3,5 mm starke, selbstschneidende Titanschrauben mit durchgehendem Gewinde ersetzt (ausführliche Beschreibung s. Text). (Aus: Kaminski et al. 2008)

4.3.7 Frakturen des Axis

Axisfrakturen werden unterteilt in Dens-, Bogen- und Komplexfrakturen.

Frakturen des Dens axis

Pathomechanismus, Klinik und Diagnostik

Pathomechanismus

Frakturen des Dens axis treten bevorzugt im Rahmen von Verkehrsunfällen und Sturzverletzungen auf und betreffen alle Altersgruppen. Allerdings zeigen sie eine bimodale Verteilung. Bei jüngeren Patienten sind sie häufig Folge von Hochrasanztraumen wie Motorradunfällen, bei älteren handelt es sich eher um Niedrigenergietraumen, z.B. einem Sturz aus dem Stand auf das Hinterhaupt. Pathomechanisch spielen vertikale Kompression, Hyperflexion und Hyperextension eine Rolle.

Klinik

Traumatische Frakturen des 2. Halswirbels repräsentieren ca. 20% aller akuten HWS-Verletzungen, 60% davon betreffen allein den Dens axis (Greene et al. 1997). Sie werden häufig von weiteren Verletzungen wie Frakturen angrenzender Wirbel, Schädeltraumen und neurologischen Ausfällen bis hin zur Tetraplegie begleitet. Andererseits können Symptome wie Kopf- und Nackenschmerzen relativ unspezifisch sein und deshalb die Diagnose einer Densfraktur verzögern. Aufgrund fehlender Erstsymptomatik stellen sich Patienten sogar oft erst Jahre nach einem Unfallereignis wegen Symptomen wie Nackenschmerzen zur weiteren Abklärung vor (Müller et al. 1998).

Differenzialdiagnostisch sollte bei Frakturen des Dens axis immer an ein Os odontoideum gedacht werden, das hypoplastisch und kleiner als der normale Dens ausgebildet ist.

Diagnostik

Die Diagnose einer Densfraktur gelingt in vielen Fällen bereits auf der HWS-Übersichtsaufnahme in 2 Ebenen. Mitunter ist aber ein prävertebral gelegener Weichteilschatten, der dem Frakturhämatom entspricht, neben dem klinischen Bild der einzige Hinweis. Bei Unzulänglichkeiten wird die Diagnose deshalb durch die transorale Dens-Zielaufnahme, CT-gestützte Rekonstruktionen des kraniozervikalen Übergangs und der oberen HWS oder eine MRT komplettiert. Dadurch lässt sich der Bruchverlauf exakter beurteilen, und knöcherne sowie ligamentäre Begleitverletzungen v.a. des Ligamentum transversum atlantis können ausgeschlossen werden. Bei neurologischen Ausfällen sollte die MRT zur Dokumentation von möglichen Einblutungen ebenfalls herangezogen werden.

Entwicklungsgeschichtlich wird der Axis aus 4 Knochenkernen gebildet. Die Knochenkerne des Odontoids werden von denen des Corpus axis durch die so genannte subdentale Synchondrose getrennt. Während der weiteren Entwicklung können Anteile der subdentalen Synchondrose auch im adulten Axis persistieren. Dies könnte laut Gebauer et al. (2007) sowohl die Häufigkeit von Densbasisfrakturen als auch die der Pseudarthrosen in diesem Bereich erklären – neben der unstrittigen Bedeutung der hier einwirkenden Hebelkräfte.

Klassifikation und Therapieplanung/Indikation

Klassifikation

Die Einteilung der Densfrakturen erfolgt nach der Klassifikation von Anderson und D'Alonzo (1974) in 3 Typen (Abb. 4.24, Abb. 4.25):

- **Typ I:** Fraktur der Densspitze
- **Typ II:** Fraktur oberhalb der Basis des Dens axis
- **Typ III:** Fraktur durch den Wirbelkörper

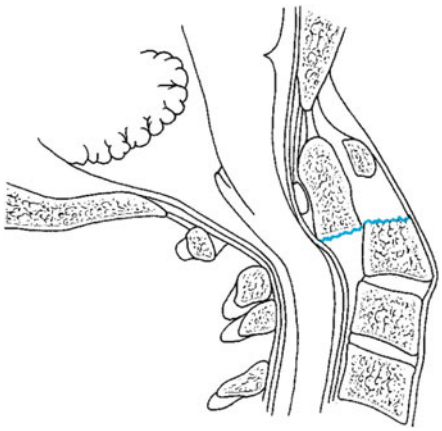


Abb. 4.24 Die Dislokation des frakturierten Dens nach dorsal engt das Rückenmark in der Regel mehr ein als eine Dislokation nach ventral. (Aus: Blauth 1998 b)

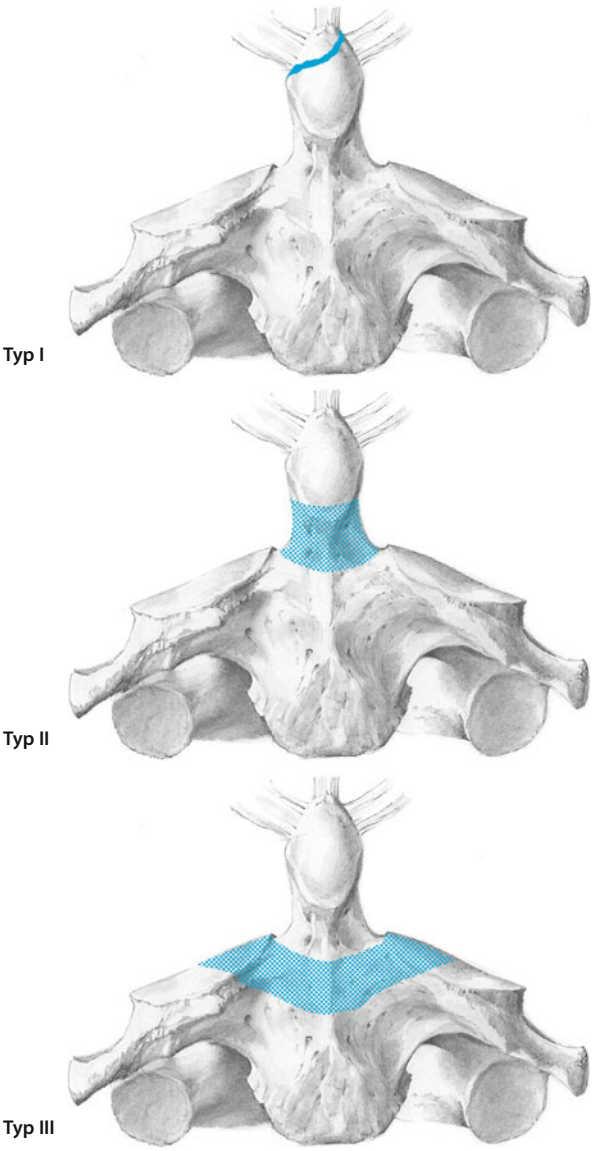


Abb. 4.25 Einteilung der Densfrakturen nach Anderson und D'Alonzo in 3 Typen. (Aus: Blauth 1998 b)

Therapieplanung

Für das erfolgreiche Management von Densfrakturen stehen 4 unterschiedliche Optionen zur Auswahl, deren Anwendung Gegenstand zahlreicher kontrovers geführter Diskussionen ist:

1. Extensionsbehandlung und nachfolgende Immobilisation mit Zervikalstütze (Anderson u. D'Alonzo 1974)
2. Immobilisation mit Halofixateur externe oder Minerva-Weste (Traynelis 1998)
3. Dorsale Fusion (z.B. Gallie-Fusion, Magerl, Harms) (Traynelis 1998)
4. Ventrale Densverschraubung (Böhler et al. 1990)

Die folgenden Kriterien sollen eine Entscheidungshilfe für ein konservatives oder operatives Vorgehen bei Densfrakturen sein:

Typ-I-Frakturen

Typ-I-Frakturen sind extrem selten. Greene et al. (1997) sahen lediglich bei 2 von 199 Densfrakturen diesen Frakturtyp. Beide Patienten wurden erfolgreich mit Halofixateur externe für 11–12 Wochen behandelt. Bei vorhandener Patienten-Compliance kann aber auch eine harte Zervikalstütze ausreichend sein.

Vorsicht ist jedoch geboten bei zusätzlicher atlantoaxialer Luxation (s. oben). Mit dem Ausriss der Ligamenta alaria ist dieser Frakturtyp dann als instabil zu bewerten und bedarf einer operativen Fusion.

Typ-II-Frakturen

Typ-II-Frakturen stellen mit 60% aller Densfrakturen die häufigste Form dar. Dislozierte Densfrakturen werden zunächst immer unter Röntgenbildwandler einzurichten versucht, um sekundäre neurologische Ausfälle zu verhindern. Das weitere Therapieregime sollte folgende Kriterien berücksichtigen:

Greene et al. (1997) sahen bei einer Densverschiebung ab 6 mm oder mehr eine Pseudarthroserate von 86%, wenn die Patienten konservativ mit Haloweste oder harter Zervikalstütze für 12 Wochen behandelt wurden. War die Dislokation kleiner als 6 mm, lag die Pseudarthroserate unter konservativer Therapie lediglich bei 18%. Dieser Unterschied war statistisch signifikant.

Clark u. White (1985) sahen unter konservativer Behandlung eine signifikant höhere Pseudarthroserate bei einer Densabkippung von 10° oder mehr.

Weitere Studien zeigten, dass höheres Alter, dorsale Dislokation, verzögerter Behandlungsbeginn oder Diastase im Frakturbereich ebenfalls eine Pseudarthrose unter konservativer Behandlung begünstigen (Schinkel et al. 2006).

Wird durch die MRT eine Ruptur des Ligamentum transversum atlantis nachgewiesen, ist eine Densfraktur unabhängig von den oben genannten Kriterien als instabil anzusehen. Weil eine Ausheilung dieses rupturierten Bandes aber unter konservativen Maßnahmen selten möglich bzw. insuffizient sein wird, sollte initial eine operative Versorgung angestrebt werden.

Typ-III-Frakturen

Typ-III-Frakturen sind mit 40% aller Densfrakturen relativ häufig. Ohne Behandlung entwickeln nahezu alle Patienten eine Pseudarthrose (Anderson u. D'Alonzo 1974). Häufig wird deshalb eine 10- bis 12-wöchige Immobilisation mit einem Halofixateur externe empfohlen (Tuli et al. 1997, Seiler et al. 1993, Greene et al. 1997). Mit dieser Maßnahme liegt die Pseudarthroserate unter 2% (Greene et al. 1997), eine operative Fusion ist deshalb bei diesem Frakturtyp routinemäßig nicht erforderlich.

Verlaufsbeobachtung

Bei konservativen Maßnahmen sind für alle Frakturtypen engmaschige Röntgenkontrollen unbedingt erforderlich, um sekundäre Dislokationen rechtzeitig zu erkennen. Während der ersten 4 Wochen muss mindestens wöchentlich, dann in größeren Abständen geröntgt werden. Vor Abschluss der Behandlung sind Schichtaufnahmen und Funktionsaufnahmen zu fordern (Blauth et al. 1998 b).

Prognose

Im Gegensatz zu Pseudarthroseraten liegen bisher keine Daten von größeren Patientenkollektiven vor, die über Restbeschwerden, z.B. Nackenschmerzen oder Bewegungseinschränkungen, nach operativer oder konservativer Behandlung von Densfrakturen Auskunft geben.

Verschraubung des Dens axis

Die operative Verschraubung der Densfraktur vom Typ II, oder seltener Typ III, nach Anderson und D'Alonzo (1974) gilt heute als Standardverfahren, wenn die oben genannten Kriterien erfüllt sind. Die von Böhler et al. (1990) entwickelte Operation ist anspruchsvoll; es gibt aber bestimmte Techniken, die den Eingriff erleichtern. Kann eine ventrale Verschraubung nicht durchgeführt werden, muss man auf eine dorsale atlantodentale Fusion (s. oben) ausweichen.

Kontraindikationen

Absolute Kontraindikationen sind:

- Frakturverlauf in der Frontalebene, also entlang der geplanten Schraubenlage
- Ausgedehnte Trümmerzone
- Irreponibilität mit ausgeprägter Dislokation
- Ausgeprägte, hoch sitzende thorakale Kyphose, die verhindert, den richtigen Eingangswinkel für die Verschraubung zu justieren
- Ausgeprägte, degenerative Spinalkanaleinengung, weil durch diese bei der notwendigen Hyperlordosierung das Rückenmark komprimiert werden kann
- Pathologische Fraktur

Relative Kontraindikationen sind:

- Osteoporose
- Pseudarthrose des Dens
- Schmaler Dens axis
- Gleichzeitige intraartikuläre Trümmerfrakturen eines oder beider C1/C2-Gelenke
- Atlasberstungsfraktur

Auch bei Typ-III-Verletzungen wird nach Möglichkeit ein ventraler Zugangsweg gewählt, weil dieser wesentlich schonender für den Patienten ist. Allerdings eignen sich nicht alle Frakturen. Bei folgenden Fällen sollte man auf eine dorsale Fusion oder konservative Therapie ausweichen:

- instabile oder dislozierte Typ-III-Verletzung,
- sekundäre Dislokation.

Aufklärung

Neben den allgemeinen Risiken (Nachblutung, Infektion, Thrombose, Embolie) sind folgende mögliche Komplikationen zu nennen:

- passagere postoperative Schluckstörungen durch Ödem oder Hämatom,
- Verletzung des N. laryngeus superior und N. hypoglossus,
- Verletzung der A. carotis,
- Verletzung des Pharynx oder des Ösophagus,
- Verletzung der Bandscheibe,
- Schraubenwanderungen,
- Implantatversagen,
- Pseudarthrosenbildung,
- Reeingriff evtl. von dorsal.

Operationstechnik

Der Kopf wird mit einem Haloring oder in einer Kopfschale stabil gelagert. Der Einsatz von 2 Bildwandlern, a.p. und seitlich, ist unerlässlich. Die Sicht im a.p.-Strahlengang wird verbessert, wenn der Tubus seitlich liegt. Damit der Dens nicht von Zähnen überlagert wird, empfiehlt es sich, eine Mullbinde zwischen die Zahnreihen zu stecken. Dadurch bleibt der Mund leicht geöffnet, und der Dens lässt sich besser darstellen. Bei der Narkoseeinleitung sollte eine Magensonde gelegt werden, um intraoperativ den Ösophagus sicher identifizieren zu können.

Über einen ventralen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge), Rechtshänder von rechts, Linkshänder von links, geht man auf Höhe von C5/C6 auf die HWS vor.

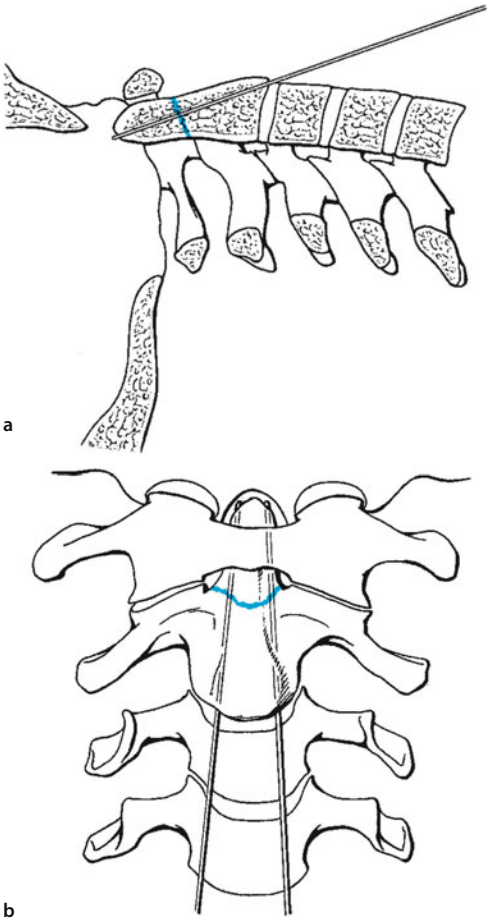
Es empfiehlt sich, einen oszillierenden Bohrer zu verwenden, damit nicht Halsweichteile unbeabsichtigt aufgewickelt werden. Böhler et al. (1990) verwenden zum Vorbohren einen 1,8 mm dicken Kirschner-Draht, weil dieser biegsam ist und sich besser führen lässt als ein starrer Bohrer. Der Bohrkanal beginnt an der Unterseite der vorderen unteren Kante des Axis und reicht bis zur Densspitze, wo er die Kortikalis perforieren soll (Abb. 4.26). Wenn man ein kanüliertes Schraubensystem verwendet, werden die dünnen Führungsdrähte ohne Vorbohren eingebracht und anschließend mit selbstschneidenden Schrauben beschickt.

Es ist wichtig, den Eintrittspunkt ausreichend weit vom Vorderrand des Axis entfernt zu wählen, damit die Schraube nicht ausbricht.

Zunächst wird der Draht eingebracht, der weiter entfernt ist vom Operateur, dann der nähere. Anschließend werden die Drähte in umgekehrter Reihenfolge nach Längenmessen und Gewindeschneiden durch 4,0er Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde und Beilagscheiben ersetzt.

In seltenen Fällen lässt sich die Fraktur nur in Beugestellung reponieren. Dann ist es meist nicht möglich, den Zielbohrdraht in der richtigen Richtung einzubringen, weil man vom Thorax abgelenkt wird. In diesem Fall wird zunächst ein 1,4 mm starker Hilfsdraht, der die Reposition hält, temporär mittig eingebracht. Nun lässt sich die HWS überstrecken, ohne dass die Fraktur abrutscht, und die Operation kann in der oben beschriebenen Weise zu Ende gebracht werden (Abb. 4.27).

Alternativ können bei relativ flektierter Stellung der HWS die dünnen, biegsamen Drähte eines kanülierten Schraubensystems in die gewünschte Richtung umgelenkt werden, wenn man sie auf das vordere Längsband des 3. Halswirbelkörpers mit einem Finger andrückt. Der Führungsdraht bekommt dadurch eine Vorbiegung, mit der die Zielrichtung des Drahts der Achse des Dens in beiden Bildwandlerebenen exakt angepasst werden kann. Anschließend wird der Draht mit dem oszillierenden Modus vorgebohrt. Dadurch ist gewährleistet, dass der Handschuh des Führungsfingers nicht vom Draht erfasst und eingerollt wird. Auf diese Weise



a

b

Abb. 4.26a,b Osteosynthese von Densfrakturen. **a** Vorbohren mit einem Kirschner-Draht. **b** Vorlegen von 2 Führungsdrähten beim Einsatz kanülierter Schrauben. (Aus: Blauth 1998 b)

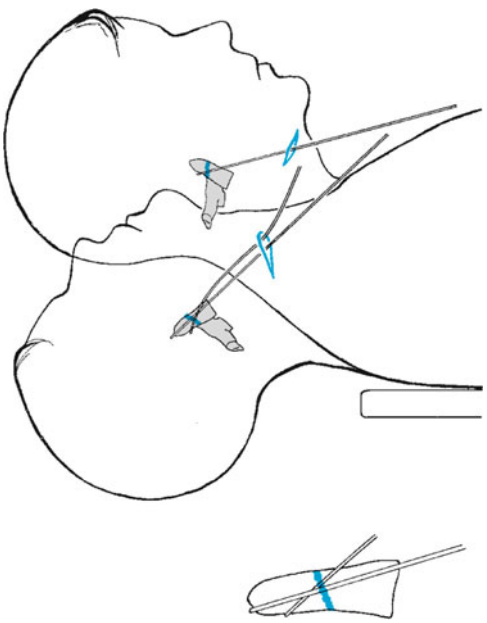


Abb. 4.27 Wenn sich die Fraktur nur in Beugestellung reponieren lässt, wird temporär ein Hilfsdraht eingebracht. Dann erst wird die HWS extendiert und die Fraktur verschraubt. (Aus: Blauth 1998 b)

lassen sich auch Frakturen bei kyphotisch fixiertem zervikothorakalem Übergang verschrauben, die ansonsten aufgrund der verstellten Eingangsebene nicht mehr von ventral versorgt werden könnten.

Beim Wundverschluss wird eine Redon-Drainage eingebracht. Die tiefen Schichten legen sich von selbst aneinander. Lediglich das Platysma wird adaptiert.

Alternative Methoden

Knöringer (1990) verwendet Doppelgewindeschrauben, weil sich diese bündig mit der vorderen Unterkante des Axis versenken lassen und dadurch den Zwischenwirbelraum C2/C3 nicht irritieren. Überdies sind die Schrauben dünner und finden dadurch leichter im räumlich eng begrenzten Dens Platz. Nachteilig ist, dass die Führungsdrähte für diese Implantate mit 1 mm Durchmesser sehr dünn sind und sich entsprechend schlecht lenken lassen. Außerdem sind die Schraubenköpfe schwerer wiederzufinden, falls eine Implantatentfernung notwendig werden sollte (Abb. 4.28).

Neugebauer (1991) berichtet über ein endoskopisch kontrolliertes, gewebeschonendes Verfahren zur Densverschraubung.

Bei schmalem Dens axis oder intraoperativen Schwierigkeiten kann es günstiger sein, nur eine statt 2 Schrauben stabil zu verankern. Bisher steht der eindeutige Beweis noch aus, dass 2 Schrauben mehr Stabilität erzeugen (Blauth 1998 b).

Nachbehandlung

Postoperativ werden Übersichtsaufnahmen und eine CT angefertigt, um die Frakturstellung und Schraubenlage exakt beurteilen zu können und einen Ausgangsbefund zu haben. Je nach erreichter Stabilität legt am besten der Operateur selbst das Intervall weiterer Kontrollen fest. Eine harte Halskrawatte ist für 6–8 Wochen zu tragen; begleitend sollten isometrische Übungen für die Hals- und Nackenmuskulatur erfolgen (s.a. Tübinger Nachbehandlungskonzept, ▶ Abschnitt 4.3.10). Bei fraglicher Stabilität 3 Monate postoperativ sollten erneut Schicht- und Funktionsaufnahmen angefertigt werden. Bei manifester Instabilität ist eine dorsale Fusion indiziert.

Komplikationen und Prognose

Beim direkten Vergleich der Schraubenosteosynthese des Dens von ventral mit der Transfixierung von C1/C2 von dorsal fanden Andersson und Mitarbeiter (2000) bei 8 von 11 Patienten, die von ventral versorgt worden waren, schwerwiegende verfahrensassoziierte Komplikationen, während nach dorsaler Verschraubung die Heilung bei allen Patienten ungestört war. Der Erhalt der Rotation im C1-C2-Gelenk spricht für eine Versorgung von ventral, wobei ältere Patienten eine Einschränkung der Rotierbarkeit besser tolerieren werden als jüngere (Bednar 1995).

Frakturen des Axisbogens

Dabei handelt es sich um eine traumatische Spondylolisthese von C2, die so genannte Hanged man's fracture.

Pathomechanismus

Die Verletzung entsteht v.a. durch Hyperextension. Diese ist beim Erhängen von einer Distraktion, beim Aufprall an der Windschutzscheibe oder im flachen Gewässer hingegen von einem Kompressionsmoment begleitet. Deshalb ist die Bezeichnung »traumatische Spondylolisthese des Axis« treffender als Hanged man's fracture (Jarrett u. Whitesides 1992).

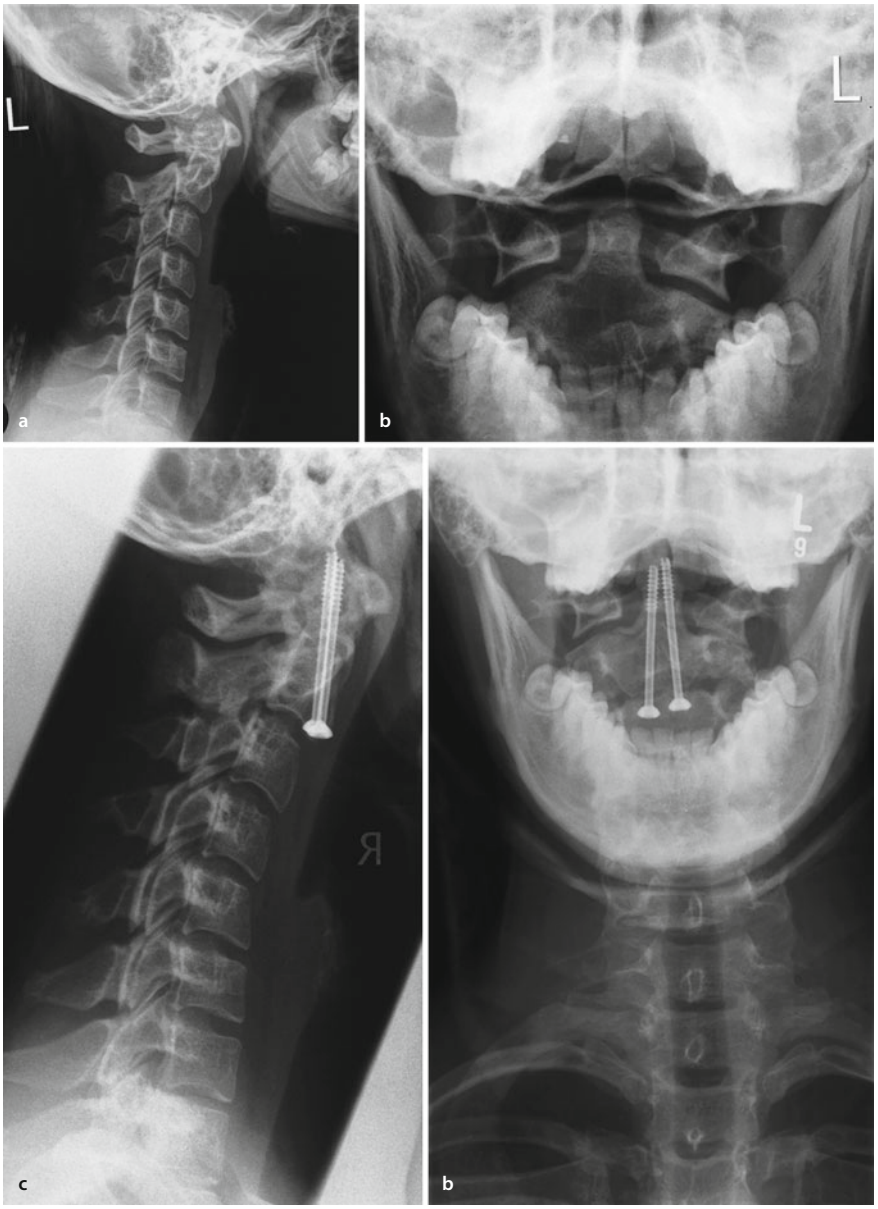


Abb. 4.28a–d Densfraktur vom Typ Anderson II einer 19-jährigen Patientin. **a,b** Unfallbilder mit deutlicher sagittaler Dislokation. **c,d** Röntgenkontrolle nach Stabilisierung mit kanülierten Schrauben

Klinik

Traumatische Bogenfrakturen machen 20% aller Frakturen des 2. Halswirbels aus (Greene et al. 1997). Die klinischen Symptome können denen der Densfraktur ähneln und müssen nicht ausgeprägt sein. Schluckstörungen und Dyspnoe sind Hinweise auf ein prävertebrales Hämatom. Neurologische Defizite werden selten beobachtet, weil die meisten Frakturen durch den Hyperextensions-Kompressionsmechanismus entstehen; dabei wird der Spinalkanal, anders als beim Distraktionsmechanismus, erweitert (Jeanneret 1994).

Diagnostik

- Standardaufnahmen der HWS in 2 Ebenen,
- Zielaufnahmen der oberen HWS in 2 Ebenen,
- Funktionsaufnahmen zur Einschätzung der Instabilität,
- CT,
- MRT bei neurologischen Ausfällen und zur Abklärung vorderer Längsbandrupturen,
- evtl. Angio-MRT zum Nachweis von Läsionen der A. vertebralis.

Klassifikation

Die Einteilung der Bogenfrakturen erfolgt v.a. nach der Klassifikation von Effendi et al. (1981, Abb. 4.29):

- **Typ I:** Bogenfraktur ohne oder mit wenig Dislokation (Listhesis von C2 <3,5 mm nach ventral, Knickung C2/C3 <11°),
- **Typ II:** Bogenfraktur mit mäßiger Dislokation (Listhesis von C2 >3,5 mm nach ventral, Knickung C2/C3 >11°),
- **Typ III:** Bogenfraktur mit massiver Dislokation (Listhesis von C2 >50% des Wirbelkörpers).

Weitere Frakturklassifikationen wurden beschrieben (Benzel et al. 1994, Francis et al. 1981, Levine u. Edwards 1985).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Terminus Bogenfraktur noch nicht klar definiert wurde. Nach Coric et al. (1996) sollte nur dann von einer C2-Bogenfraktur gesprochen werden, wenn es sich um eine bilaterale Fraktur der Pars interarticularis bzw. des Isthmus, ohne Beteiligung der Pedikel, handelt.

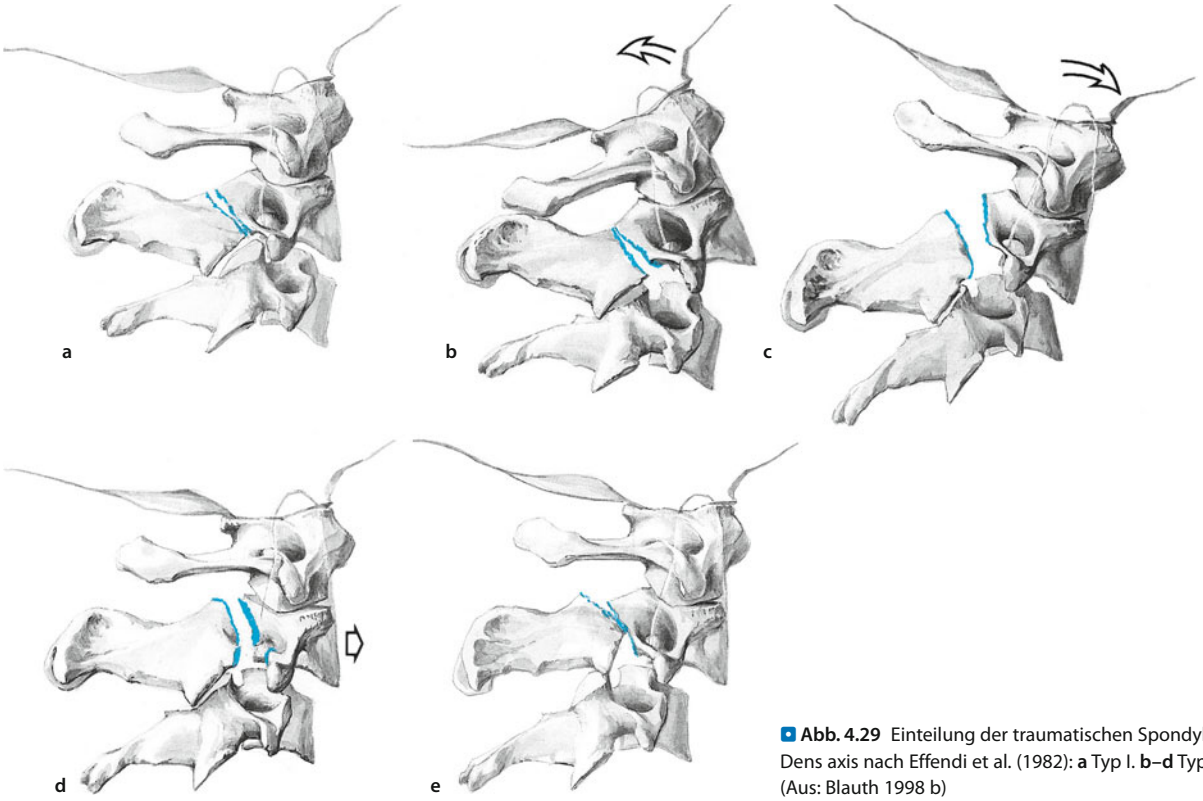


Abb. 4.29 Einteilung der traumatischen Spondylolisthese des Dens axis nach Effendi et al. (1982): **a** Typ I. **b–d** Typ II. **e** Typ III. (Aus: Blauth 1998 b)

Therapieplanung/-optionen

Die Klassifikation nach Effendi beurteilt primär die Diastase der Bogenfraktur sowie den Grad der Knickung zwischen C2 und C3, lässt jedoch Stabilitätsmerkmale teilweise unberücksichtigt. Für die Therapie ist aber die Einteilung in stabile oder instabile Frakturen entscheidend.

Coric et al. (1996) die 64 Patienten mit traumatischer Spondylodese nachuntersuchten, empfehlen deshalb folgendes erfolgreiches Therapieregime: Wird unter seitlicher Standardaufnahme eine solitäre Frakturdislokation von ≥6 mm von C2 auf C3 gesehen, muss von einer Ruptur des vorderen/hinteren Längsbandes der Wirbelsäule ausgegangen werden und/oder der Bandscheibenraum ist mitverletzt. Hier empfiehlt sich ein **Halofixateur externe** bis zur knöchernen Konsolidierung.

Wenn das vordere Längsband gerissen ist, kann im Halofixateur eine gefährliche Distraktion im Bereich des instabilen Zwischenwirbelraums auftreten, deshalb sollte man dies bei entsprechendem Verdacht durch eine MRT abklären.

Wird unter seitlicher Standardaufnahme eine solitäre Frakturdislokation von <6 mm von C2 auf C3 gesehen, unter Funktionsaufnahmen aber eine Bewegung von >2 mm, wird ebenfalls ein Halofixateur externe empfohlen.

Wird unter seitlicher Standardaufnahme eine solitäre Frakturdislokation von <6 mm von C2 auf C3 gesehen und unter Funktionsaufnahmen eine Bewegung von ≤2 mm, reicht lediglich eine harte Zervikalstütze für 10–14 Wochen zur Behandlung aus.

Es muss jedoch betont werden, dass es bisher keine Studien gibt, die das maximale Ausmaß einer Frakturdislokation bzw. Instabilität definieren, mit der eine erfolgreiche konservative Behandlung möglich ist (Blauth 1998 b).

Ein **operatives Verfahren** sollte Patienten vorbehalten sein, bei denen nach >12 Wochen keine knöcherne Konsolidierung nachweisbar ist oder bei denen begleitende zervikale Wirbelsäulenverletzungen vorliegen, die eine Spinalkanaldekompression oder Stabilisierung erforderlich machen.

Ein operatives Vorgehen ist ebenfalls indiziert, wenn:

- sich ein Repositionsergebnis im Halofixateur nicht halten lässt,
- der Patient den Halofixateur nicht toleriert,
- der Patient polytraumatisiert ist.

Hier geht man nach Möglichkeit von ventral vor und führt eine interkorporelle Spondylodese zwischen C2 und C3 mit Knochenspan und Platte (s. unten) durch (Blauth 1998 b).

Alternativ kann auch ein dorsales Vorgehen (s. unten) bei Irreponibilität oder Tracheostoma indiziert sein.

Verschraubung C2

Die von Judet et al. (1970) angegebene Methode ist technisch anspruchsvoll.

Vorgehen

Über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird die obere HWS dargestellt. Die Muskelansätze am Dornfortsatz von C2 bleiben belassen. Die Schrauben werden etwas medial und kranial zum Mittelpunkt der Rückfläche des Gelenkmassivs versetzt 25° nach anteromedial konvergierend und gleichzeitig 25° ansteigend, parallel zur oberen Gelenkfläche von C2, kranial des Foramen processus transversi eingebracht. Die Schraubenkanäle werden mit einem oszillierenden Bohrer unter Bildwandlerkontrolle geschaffen. Die Implantate müssen als Zugschrauben eingesetzt werden, weshalb der diesseits der Fraktur gelegene ossäre Anteil mit einem Gleitloch versehen wird (Abb. 4.30).

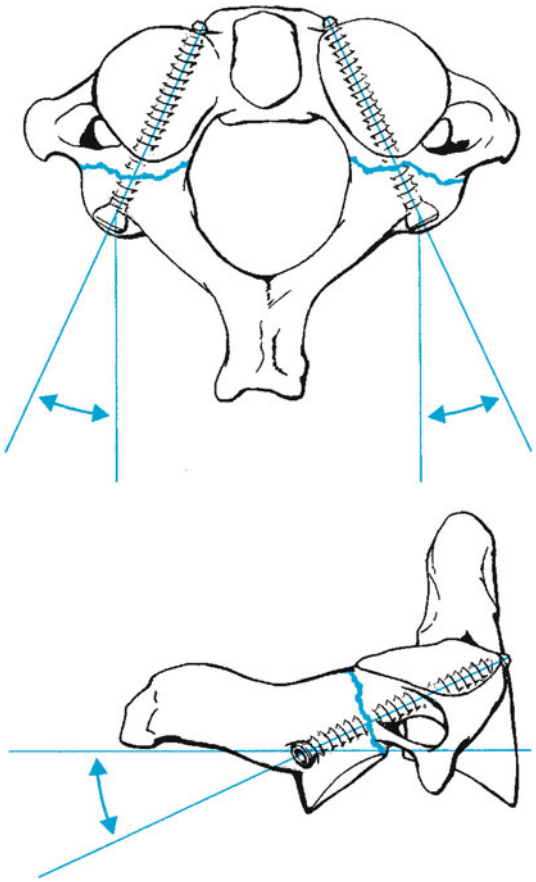


Abb. 4.30 Schraubenrichtung bei der Stabilisierung der traumatischen Spondylolisthese des Axis nach Judet et al. (1970). (Aus: Blauth 1998 b)

Aufgeklärt wird der Patient über eine mögliche Verletzung der A. vertebralis, der Dura und des Rückenmarks.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt mit einer harten Zervikalstütze für 6 Wochen unter begleitenden isometrischen Übungen der Nackenmuskulatur und des Schultergürtels (s.a. Tübinger Nachbehandlungskonzept, ▶ Abschnitt 4.3.8).

Komplexfrakturen C2

Definition

Im Gegensatz zur reinen Bogen- oder Densfraktur sollten hier auch die Pedikel von der Fraktur betroffen sein, wobei eine klare Definition bisher aussteht. Nach der derzeit gültigen AO-Klassifikation werden diesem Frakturtyp lediglich alle Kombinationsverletzungen von Bogen und Dens zugeteilt. Greene et al. (1997) bezeichnen diesen Frakturtyp dagegen als Non-Dens-Non-Hanged man's-Fraktur. Die Autoren sahen diesen Frakturtyp immerhin bei 67 von 340 Axisfrakturen (20%).

Klinik und Diagnostik

Die klinischen Symptome ähneln denen der Densfraktur oder traumatischen Spondylolisthesis und müssen nicht ausgeprägt sein, denn auch durch diesen Frakturtyp kann der Spinalkanal erweitert werden und somit primär ohne neurologische Symptomatik bleiben. Für die Diagnostik gelten die gleichen Anforderungen wie bei den oben genannten Axisfrakturen.

Therapie

Über Komplexfrakturen des 2. Halswirbels liegen nur wenige Daten vor. Auch hier gilt für die Therapie das Prinzip der Einteilung in stabile oder instabile Frakturen. Greene et al. (1997) behandelten diesen Frakturtyp fast ausschließlich mit Halofixateur externe für 7–17 Wochen und sahen lediglich bei einem Patienten keine knöcherne Konsolidierung. Nähere Angaben zu Stabilitätskriterien oder Ausmaß der initialen Frakturdislokation wurden nicht geliefert. Langzeitresultate mit Halofixateur-externe-Behandlung sind aus Publikationen bisher nicht ersichtlich.

4.3.8 Spezielle Verletzungen der unteren Halswirbelsäule

Epidemiologie

In diesem Bereich sind 80% aller HWS-Verletzungen lokalisiert, am häufigsten in Höhe C5/C6. Weil die Weite des Spinalkanals in der oberen HWS deutlich größer als in den tiefer gelegenen Abschnitten ist, gehen Verletzungen der mittleren und unteren HWS vermehrt mit neurologischen Ausfällen einher.

Klinik

Bewusstseinsklare Patienten, die im Gegensatz zu bewusstlosen ihre Beschwerden angeben können, klagen über Bewegungs-, Klopf- und Erschütterungsschmerzen. Bei diesen Patienten kann man sich überdies leicht ein Bild von der neurologischen Gesamtsituation machen. Diese Hinweise sind bei primär Bewusstlosen nicht verfügbar, was zu einer akribischen bildgebenden Diagnostik zwingt.

Diagnostik

Bei den Standardaufnahmen der HWS in 2 Ebenen muss der 7. Halswirbel mit dargestellt werden und beurteilbar sein. Gegebenenfalls müssen Schwimmeraufnahmen zur Beurteilung des zervikothorakalen Übergangs angefertigt werden. Eine transorale Aufnahme der oberen HWS ergänzt den Standard. Auf der a.p.-Projektion erkennt man Spaltbrüche, einseitige Höhenminderungen und Rotationsverletzungen am Versatz der Dornfortsatzlinie. Auf der seitlichen Projektion sucht man nach knöchernen Läsionen und Unterbrechungen der in Abb. 4.31 gezeigten Hilfslinien. Jede Dornfortsatzfraktur gilt als Instabilitätskriterium, bis das Gegenteil bewiesen ist.

Immer wieder werden knöcherne oder diskoligamentäre Verletzungen der unteren HWS übersehen, weil dieser Abschnitt auf den Übersichtsaufnahmen durch Überlagerung der Schultern nicht mit dargestellt wurde.

Bei Verdacht auf eine diskoligamentäre Instabilität werden Funktionsaufnahmen angefertigt. Dabei muss der Patient nicht, wie es im amerikanischen Schrifttum gefordert wird, wach und kooperativ sein; laut Blauth u. Tscherne (1998) kann die Funktionsprüfung auch am Bewusstlosen durchgeführt werden. **Instabilitätskriterien** sind:

- die segmentale sagittale Verschiebung, die sich als treppenförmiger Versatz der Wirbelkörpervorder- und -hinterwand von 2 benachbarten Wirbeln zeigt und die physiologischerweise harmonisch verlaufende spinolaminäre Linie unterbricht (Abb. 4.32),
- die segmentale Kyphosierung, die sich in einem negativen Winkelmaß zwischen den Grundplatten der an ein instabiles Segment angrenzenden Wirbelkörper niederschlägt (Abb. 4.32),
- Erweiterung eines Bandscheibenraums,

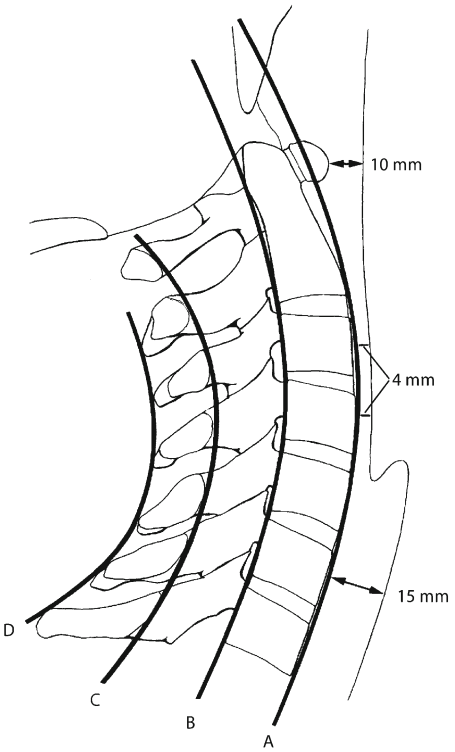


Abb. 4.31 Hilfslinien zur Beurteilung der HWS im seitlichen Strahlengang. A: vordere Wirbelkörperlinie, B: hintere Wirbelkörperlinie, C: spinolaminäre Linie, D: Verbindungslinie der Dornfortsätze. (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

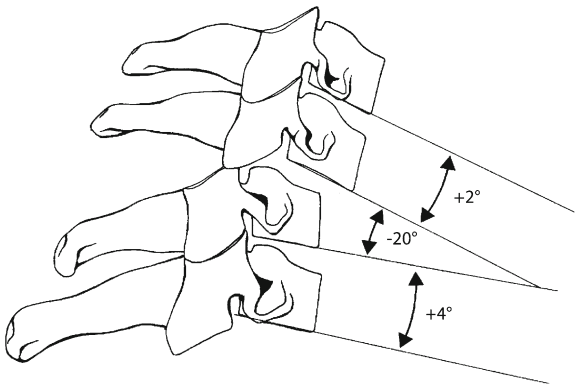


Abb. 4.32 Treppenförmiger segmentaler Versatz bei diskoligamentärer Instabilität und negativer Winkel zwischen den Grundplatten zweier Wirbelkörper, die an ein instabiles Segment angrenzen, als Ausdruck einer segmentalen Kyphosierung. (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

- subluxierte Facettengelenke,
- unterschiedliche Konfiguration der kranial bzw. kaudal einer Läsion angrenzenden Gelenkfortsätze können ein Hinweis auf eine rotatorische Fehlstellung bei einseitig verhakter Luxation sein,
- vermehrter Abstand zwischen 2 Dornfortsätzen,
- Ausbruch eines vorderen Kantenfragments (tear drop).

Bei Verdacht auf eine einseitig verhakte Luxation sind 30°- oder 45°-Schrägaufnahmen indiziert. Richtungsweisend sind eine abrupte Änderung der Weite des so genannten laminar space auf der seitlichen Projektion. Die Weite dieses Raums wird definiert durch die spinolaminäre Linie einerseits und den dorsalen Rand des Gelenkfortsatzmassivs andererseits. Sie darf sich von kranial nach kaudal nur kontinuierlich ändern. Wenn dies sprunghaft geschieht, ist das Vorliegen einer einseitig verhakten Luxation sehr wahrscheinlich. Typisch ist auch eine Anterolisthese des verrenkten Wirbels um durchschnittlich ein Drittel der Wirbelkörpertiefe. Im a.p.-Strahlengang sieht man meist einen Versatz der Dornfortsatzreihe mit Rotation des verletzten Segments zur Seite der Verrenkung. Am einfachsten jedoch lässt sich die Fehlstellung durch sagittale CT-Rekonstruktionen durch die Gelenkfortsatzreihen nachweisen. Auf den Schrägaufnahmen lassen sich außerdem die Foramina intervertebralia beurteilen.

Zu den Indikationen für CT und MRT s. oben, ▶ Abschnitt 4.1.3.

Klassifikation

Die in der Übersicht dargestellte Einteilung erfolgt nach Müller et al. (1990) und Magerl et al. (1991).

Klassifikation

Typ A: Kompressionsfrakturen ohne Zerreißung der dorsalen Ligamente:

- A1: Impaktion (Hinterwand intakt)
  - A1.1 Deckplatteneinbruch
  - A1.2 Keilwirbelbildung
  - A1.3 Kollaps des Wirbelkörpers (Osteoporose)
- A2 Spaltbildung
  - A2.1 Spaltung in der Frontalebene ohne Dislokation (»tear drop«)
  - A2.2 Spaltung in der Frontalebene mit Dislokation (»tear drop«)
  - A2.3 Spaltung in der Sagittalebene ohne oder mit zusätzlicher Spaltung in der Frontalebene
- A3 Berstung (Hinterkantenbeteiligung)
  - A3.1 Inkompletter Berstungsbruch
  - A3.2 Kompletter Berstungsbruch

Typ B: Verletzungen hinterer und/oder vorderer Elemente durch Distraktion. Diese Instabilitäten können mit Typ-A-Verletzungen kombiniert sein. Die Retrolisthesis des oberen gegenüber unteren Wirbelkörpers von 1–2 mm weist immer auf eine massive Instabilität hin (Blauth u. Tscherne 1998):

- B1: Vorwiegend ossäre Verletzung der hinteren Elemente
  - B1.1 Querfraktur durch den Bogen
  - B1.2 Fraktur durch die Facettengelenke beidseits
  - B1.3 Fraktur durch die Pedikel
- B2: Vorwiegend ligamentäre Verletzung der hinteren Elemente
  - B2.1 Zerreißung der dorsalen Ligamente mit reitender Verrenkung
  - B2.2 Zerreißung der dorsalen Ligamente mit verhakter Verrenkung
  - B2.3 Zerreißung der dorsalen Ligamente mit Luxation und/oder Fraktur der kleinen Wirbelgelenke
- B3: Verletzung durch die Bandscheibe mit Extension
  - B3.1 Zerreißung der Bandscheibe mit knöcherner Beteiligung der Grund- oder Deckplatten
  - B3.2 Reine Zerreißung der Bandscheibe
  - B3.3 Zerreißung der Bandscheibe mit Isthmusfraktur und dorsaler Dislokation

▼

Typ C: Verletzungen hinterer und vorderer Elemente durch Rotation:
- C1 Mit Typ-A-Verletzung kombinierte Luxationsfraktur
- C2 Mit Typ-B-Verletzung kombinierte einseitige Verrenkung
  - C2.1 Unifacettale Fraktur
  - C2.2 Unifacettale Subluxation
  - C2.3 Unifacettale Luxation mit Verhakung
- C3 Spezielle Läsionen mit Separation eines Gelenkmassivs
  - C3.1 Unilaterale Frakturdislokation der Massa lateralis
  - C3.2 »Slice fracture«
  - C3.3 Trennung der Wirbelkörper über mehrere Segmente

Konservative Therapie

Weitgehend stabile Verletzungen vom Typ A ohne begleitende neurologische Ausfälle werden konservativ behandelt.

Operative Therapie

Die wichtigste und dringlichste Maßnahme bei einer HWS-Verletzung mit begleitenden neurologischen Ausfällen ist die geschlossene Reposition. Die Reposition verbessert die lokale Durchblutung.

Absolute Indikationen und deren Dringlichkeit nach Blauth u. Tscherne (1998) sind:
- Eine Notfallindikation besteht bei fortdauernder Kompression des Myelons trotz Reposition oder bei hochgradiger Instabilität. Durch die operative Dekompression bzw. Stabilisierung können weitere Schäden am Rückenmark vermieden und möglichst früh mit der Rehabilitation begonnen werden. Das gilt auch dann, wenn sich primär bestehende neurologische Ausfälle sekundär verschlechtern oder in Rückbildung begriffene neurologische Ausfälle plötzlich nicht mehr weiter abklingen.
- Der Eingriff kann verzögert unter besten Bedingungen einige Tage nach dem Unfall erfolgen, wenn nach Reposition keine manifeste Kompression mehr vorliegt oder neurologische Defizite sich rasch bessern.

Relative Indikationen nach Blauth u. Tscherne (1998) sind:
- Einengung des Spinalkanals ohne neurologisches Defizit.
- Gering instabile Verletzungen vom Typ A: Diese Läsionen lassen sich zu einem hohen Prozentsatz im Halofixateur ausbehandeln. Wegen eines Restanteils verbleibender Instabilitäten besteht für diese Verletzung eine relative Operationsindikation, die im Einzelfall unter Abwägung der Nutzen-Risiko-Relation entschieden werden muss.
- Ähnliches gilt für kyphotische Knickbildungen bei Typ-B-Verletzungen.
- Alten oder polytraumatisierten Patienten kann eine Behandlung im Minerva-Verband oder Halofixateur in der Regel nicht zugemutet werden.

Zugang

Der **ventrale Zugang** (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird aus vielerlei Gründen bevorzugt:
- Die Lagerung des Patienten ist weniger aufwändig und dauert nicht so lange, was die Narkosezeit verkürzt. Das nicht ungefährliche Umlagern des Patienten in Narkose entfällt. Patienten mit reduzierten Vitalparametern tolerieren die Rückenlage besser. Die Reposition fällt leichter.
- Das ventrale Vorgehen ist von wesentlich geringen Blutverlusten begleitet als das dorsale. Die Muskulatur wird kaum geschädigt. Der Zugang ist schneller durchführbar, was wiederum die Narkosedauer verkürzt.
- Der Bandscheibenraum lässt sich von ventral einfach débridieren und das Rückenmark entlasten.
- Die Implantate lassen sich im Wirbelkörper relativ sicher und technisch unproblematisch verankern, während beim Einbringen der Schrauben von dorsal die Pedikel leicht verfehlt werden können. Dies korreliert mit zahlreichen Nachuntersuchungen, bei denen sehr hohe, meist 100%ige Fusionsraten nach ventraler Spondylodese gefunden wurden (Blauth u. Tscherne 1998).
- Der posteriore Zugang geht mit einer erhöhten Zugangsmorbidität einher (Shapiro et al. 1999).

Insgesamt gilt der Grundsatz, dass wenn möglich, von vorne zugegangen wird.

In Ausnahmefällen kann jedoch der **dorsale Zugang** (▶ Kap. 21, Standardzugänge) indiziert sein (Blauth u. Tscherne 1998), bei:
- Einengung des Spinalkanals von dorsal (Bogenstückbruch),
- Einengung der Foramina intervertebralia (Gelenkfortsatz) mit radikulären Ausfallerscheinungen,
- geschlossen nicht reponierbarer, verhakter Luxation und
- deutlicher Restinstabilität nach ventraler Spondylodese; dies kann durch Funktionsprüfung unter Bildwandler noch intraoperativ ermittelt werden.

Alternativ zu einer zusätzlichen Stabilisierung von dorsal kann bei unzureichender Stabilität eine postoperative Ruhigstellung im Halofixateur für einige Wochen erfolgen.

Zusammenfassung des therapeutischen Vorgehens

In Abhängigkeit vom Verletzungstyp empfehlen Blauth u. Tscherne (1998) folgendes therapeutisches Vorgehen:

A 1

Bei geringfügiger Kyphosierung harte Zervikalstütze. Bei Kyphosierung >15–20° offene Reposition und Fusionierung von ventral.

A 2

Sagittale Spaltbrüche konservativ behandeln. Frontale Spaltbrüche (Tear-drop-Läsion) sollten bei begleitender Neurologie, dislozierter Hinterkante oder Kyphosierung von ventral fusioniert werden.

A 3

Konservative Therapie im Halofixateur für 3 Monate. Ventrale Spondylodese, wenn neurologische Ausfälle, eine deutliche Einengung des Spinalkanals oder eine signifikante dorsale Instabilität bestehen. Bei bisegmentaler Bandscheibenläsion müssen beide Segmente versteift werden. Kriterium des inkompletten Berstungsbruchs ist ein intakter kaudaler Wirbelkörperanteil mit einer Mindesthöhe von 1 cm; dann reicht die monosegmentale Spondylodese des kranialen Bandscheibenraums aus.

B 1

Bei unkomplizierten Frakturen harte Zervikalstütze. Bei neurologischen Ausfällen oder signifikanter Instabilität ventrale interkorporelle Spondylodese.

B 2

Vor der Reposition einer reitenden oder verhakten Luxation sollte mittels MRT nach einem Bandscheibenprolaps gefahndet werden. Insbesondere wenn ein dorsales Vorgehen geplant ist, muss dies

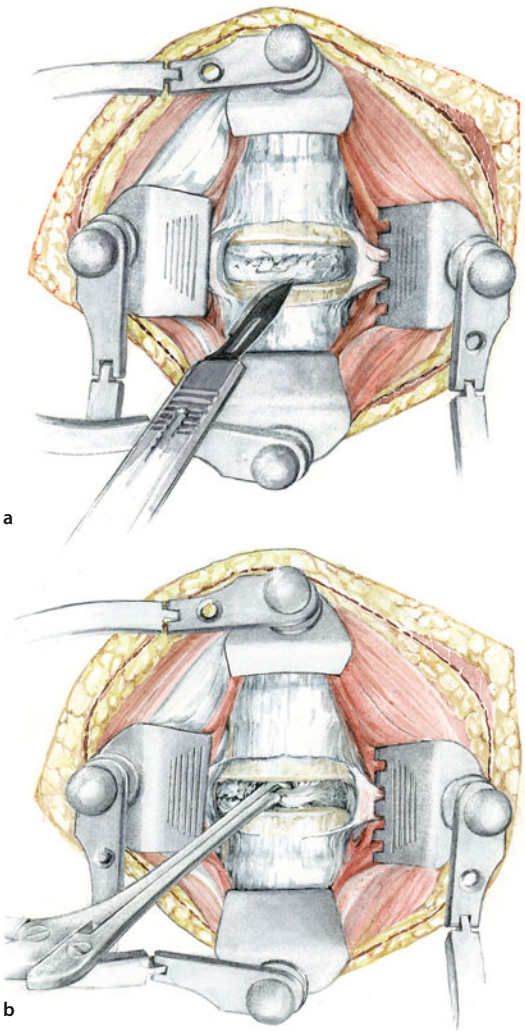


Abb. 4.33 Resektion der Bandscheibe mit Skalpell (**a**) und Stanze (**b**). (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

vorher abgeklärt sein. Die Reposition am wachen Patienten hat den Vorteil, dass dessen neurologischer Zustand beurteilbar bleibt. Wenn dies schmerzbedingt oder aus anderen Gründen nicht möglich ist, wird in Narkose unter Relaxierung vorgegangen. Wichtigster Faktor, einem Bandscheibenprolaps entgegenzuwirken, ist der axiale Längszug, den man wiederum nur unter Bildwandlerkontrolle ausüben kann, da sonst bei ausgeprägter ligamentärer Instabilität unbemerkt eine übermäßige Distraktion verursacht werden könnte, die zu Nervenschäden führen kann. Bei Irreponibilität wird bei Verletzungen des Typs B 2.1 und B 2.2 von ventral, bei B 2.3-Verletzung mit Luxationsfrakturen der Gelenkfortsätze als Repositionshindernis von dorsal vorgegangen. Beim ventralen Vorgehen muss ein zerrissener, prolabierter Diskus zuerst entfernt werden, bevor man die Fehlstellung reponiert (Abb. 4.33). Anschließend wird eine monosegmentale interkorporelle Spondylodese durchgeführt. Gelingt die Reposition nicht, muss der Patient intraoperativ gedreht und von dorsal eingerichtet werden; erst im Anschluss daran kann die ventrale Spondylodese erfolgen.

B 3

Bei dieser Verletzung ist eine ventrale, interkorporelle Spondylodese indiziert.

C 1

Luxationsfrakturen werden meist mit einer mono- oder bisegmentalen, ventralen, interkorporellen Spondylodese versorgt.

C 2

Das Vorgehen entspricht dem bei Verletzungen vom Typ B 2.

C 3

Die Entscheidung hängt vom Ausmaß der Instabilität und Neurologie ab.

4.3.9 Weitere Operationsverfahren an der Halswirbelsäule

Ventrale interkorporelle Spondylodese an der Halswirbelsäule

Indikationen und Aufklärung

Indikationen sind:

- Frakturen,
- diskoligamentäre Instabilitäten,
- Rückenmark- und Wurzelkompressionssyndrome.

Der Patient muss aufgeklärt werden über die Gefahr von Läsionen des N. laryngeus recurrens, des N. laryngeus superior oder auch des N. hypoglossus sowie eine verbleibende Instabilität.

Operationstechnik

Die Operation wird über einen ventralen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) in Rückenlage vorgenommen.

Nach Höhenlokalisation im seitlichen Strahlengang mit dem in der Abdeckung integrierten Bildwandler wird das Segment dargestellt, das fusioniert werden soll. Dabei kann es sich lediglich um einen instabilen Zwischenwirbelraum oder um einen geborstenen Wirbelkörper mit angrenzenden Bandscheiben handeln oder aber um mehrere Etagen z.B. im Rahmen der Tumorchirurgie.

Im Bereich der Resektionsebene wird zunächst das vordere Längsband scharf exzidiert, dann erfolgt eine Inzision im Anulus fibrosus entlang der Grund- bzw. Deckplatte der angrenzenden Wirbelkörper.

Das derbe Bandscheibengewebe wird nun mit Rongeuren oder Stanzen exstirpiert. Um bessere Übersicht zu erlangen, kann man einen Spreizer alternierend rechts und links einsetzen. Dorsal gelegene Reste lassen sich am besten mit einer kleinen Kürette auskratzen. Dorsale Spondylophyten werden abgefräst. Wenn das dorsale Längsband gerissen ist, sollte man mit einem rechtwinkligen Tasthäkchen unter Bildwandlerkontrolle nach versprengtem Bandscheibengewebe hinter den Hinterkanten der angrenzenden Wirbelkörper suchen (Abb. 4.33).

Ein geborstener Wirbelkörper wird mit Luer und Rongeuren entfernt. In Rückenmarknähe muss man mit Instrumenten arbeiten, die weniger hebeln. Deshalb wird der verbleibende Hinterkantenanteil zunächst mit einer Kugelfräse ausgedünnt, bis er mit einer Kürette oder einem Tasthäkchen stückweise abgetragen werden kann. Abhängig vom Grundleiden und der Weite des Spinalkanals kann die Hinterkante auch belassen werden (Abb. 4.34).

Die Reposition einer verhakten Verrenkung erfolgt unter Längszug oder durch Einsetzen eines Spreizers. Dabei empfehlen Blauth u. Tscherne (1998), den Spreizer unter Bildwandlersicht bündig mit der Hinterkante des verrenkten Wirbelkörpers einzusetzen, um eine axiale Distraktion ausüben zu können. Würde man den Spreizer zu weit ventral platzieren, verhindert man durch die

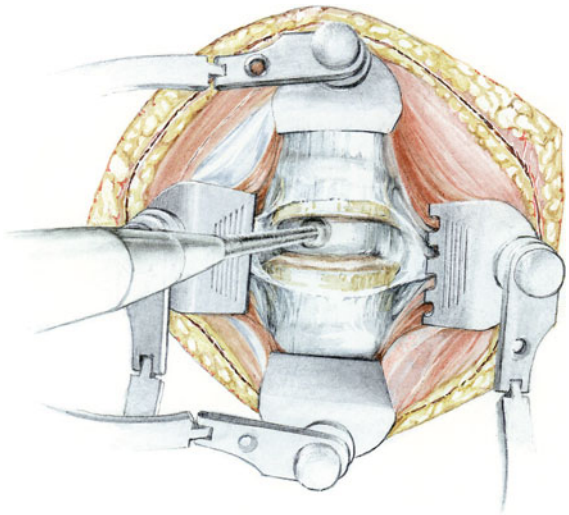


Abb. 4.34 Ausdünnung der Hinterkante mit der Kugelfräse. (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

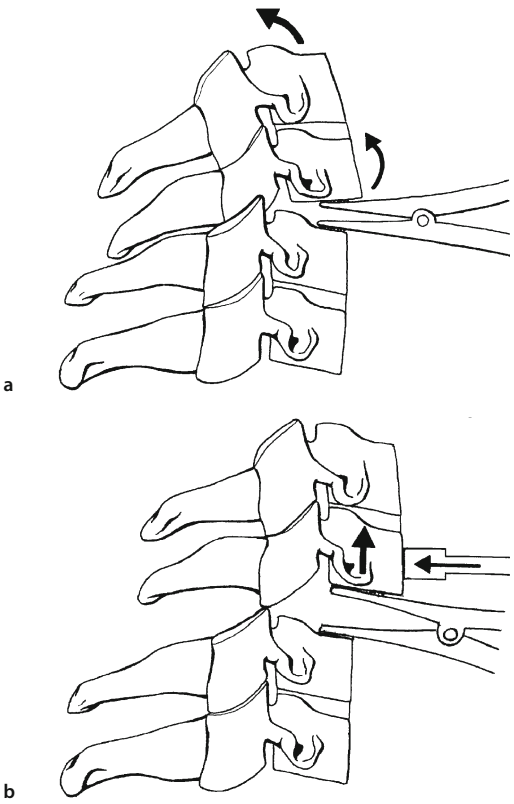


Abb. 4.35 Einsatz des Spreizers zur Reposition einer verhakten Luxation; falsch (**a**), richtig (**b**). (Aus Blauth u. Tscherne 1998

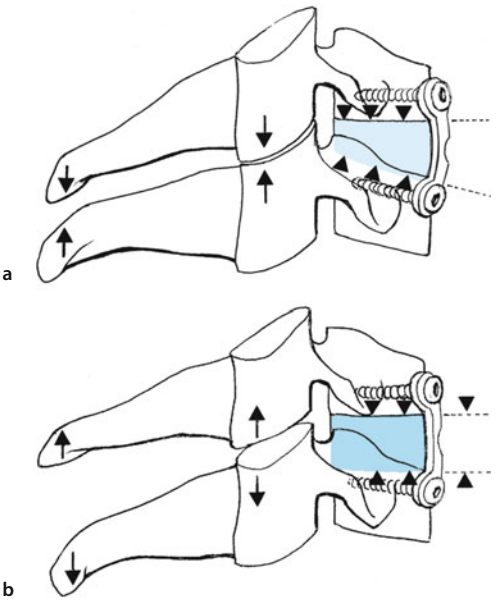


Abb. 4.36a,b Spondylodese an der HWS. Ein leicht keilförmiger Span führt nicht zur Distraktion der Zwischenwirbelgelenke (**a**) – im Gegensatz zu einem rechteckigen (**b**). (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

resultierende verstärkte Lordosierung der HWS u.U. die Reposition (Abb. 4.35).

Zur Aufnahme des Knochenspans werden Grund- und Deckplatten mit der Fräse oder einem scharfen Meißel entknorpelt, bis einzelne Blutungen aus der Spongiosa sichtbar werden. Dies ist Voraussetzung für das Einheilen des Spans. Dabei soll die Stabilität der Grund- und Deckplatte nicht geschwächt werden, damit der Span stabil verkeilt und durch diesen das Repositionsergebnis sicher gehalten werden kann.

Der Knochenspan wird aus dem vorderen Beckenkamm entnommen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Zur Verblockung lediglich eines Zwischenwirbelraums reicht ein etwa 0,5–1 cm hoher Block aus, der trikortikal sein darf. Müssen hingegen größere Defekte überbrückt werden, empfiehlt es sich, lediglich einen bikortikalen Span zu heben.

Der trikortikale Block sollte drei Viertel der Wirbelkörpertiefe ausfüllen, die man mit dem Längenmessgerät leicht ermitteln kann. Seine Breite, welche der des Beckenkamms entspricht, braucht in aller Regel nicht zugerichtet zu werden. Die Höhe des Spans sollte leicht keilförmig sein und zur Hinterkante hin etwas abnehmen. Dadurch fügt sich der Span besser in die physiologische, lordotische Form der HWS ein. Ähnliches gilt für die Formgebung der größeren bikortikalen Späne. Vor Einsetzen des Spans müssen die Wirbelkörperabschlussplatten plan zugerichtet werden (Abb. 4.36).

Um für ausreichende Stabilität im verletzten Segment zu sorgen und damit die Durchbauung der Spondylodese zu gewährleisten, werden die eingebrachten Knochenblöcke schließlich mit einer Verriegelungsplatte nach Stoll u. Morscher (1995) gegen Dislokation gesichert. Dieses System hat gegenüber anderen Implantaten den Vorteil, dass zwischen Schrauben und Platten eine winkelstabile Verbindung besteht, welche die Stabilität deutlich erhöht. Die Schrauben werden bündig mit der Plattenoberfläche bis zu einem endständigen Anschlag ins jeweilige Plattenloch eingedreht und können anschließend darin winkelstabil verspreizt werden. Dies geschieht durch eine konische Spreizschraube, die zum Schluss in die längs geschlitzten Schraubenköpfe eingedreht wird, was zu einer Aufdehnung des Schraubenkopfs im Plattenloch und damit zur winkelstabilen Verkeilung führt. Es sind auch Hohlschrauben im Handel, deren Oberfläche multipel perforiert ist. In die Löcher wächst rasch Spongiosa ein, was einen dauerhaft festen Sitz der Schrauben gewährleistet. Manche Autoren raten von deren Einsatz ab, weil sie brechen können (Abb. 4.37). Eine Vielzahl ähnlicher Systeme ist auf dem Markt erhältlich.

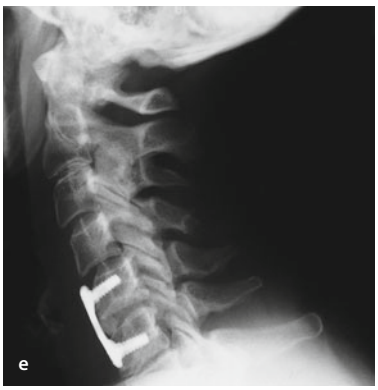


Abb. 4.37a–e Röntgenbilder einer 62-jährigen Patientin mit diskoligamentärer Instabilität zwischen C5 und C6. **a,b** Auf den Unfallbildern wurde die Verletzung zunächst übersehen, weil versäumt wurde, die gesamte HWS einschließlich des 7. HWK auch im seitlichen Strahlengang darzustellen. Allerdings hätte man sie bei genauer Betrachtung auch schon am unteren Rand der seitlichen Projektion sehen können. **c** Als die Patientin einen Tag später sensible Störungen im Arm entwickelte, wurde u.a. eine Schrägaufnahme angefertigt, auf der die reitende Luxation im verletzten Segment zu erkennen war. **d,e** Postoperative Röntgenkontrollaufnahmen nach Bandscheibenresektion, monosegmentaler Spondylodese mit trikortikalem Beckenkammspan und Stabilisierung mit ventraler Verriegelungsplatte nach Morscher

Vorteil des Verriegelungssystems ist, dass die Schrauben die dorsale Kortikalis nicht zu fassen brauchen. Bohrer und Gewindeschneider sind mit einer Tiefenbegrenzung ausgestattet. Die Schrauben haben eine einheitliche Länge von 16 mm. Bei der Auswahl der Plattenlänge muss man darauf achten, dass die angrenzenden (intakten) Bandscheiben später nicht vom jeweiligen Plattenrand tangiert werden, sonst werden sie minderdurchblutet und degenerieren. Nach Wahl der geeigneten Platte muss diese der lordotischen Krümmung der HWS angepasst werden. Dabei darf die Platte nur zwischen den Schraubenlöchern gebogen werden, sonst kann die winkelstabile Verspreizung der Schraubenköpfe beeinträchtigt werden. Um zu gewährleisten, dass die Platte breit aufliegt, müssen zuvor etwaige, ventral gelegene Osteophyten abgetragen werden. Beim Einbringen der Platte muss man auf das mit dem Pfeil markierte Plattenende achten. Hier divergieren die Schraubenlöcher um 12° zur lotrechten Richtung nach kranial bzw. kaudal, was beim Planen der späteren Schraubenlage einberechnet werden muss. Meist bietet sich an, die angulierten Schrauben nach kranial auszurichten (Abb. 4.38).

Neben diesen starren Systemen gibt es auch dynamische. Der biomechanische Hintergrund dazu ist, dass starre Systeme die Last vom Knochenspan nehmen und damit die Einheilung verzögern. Dynamische Systeme beschleunigen dagegen die Einheilung, können aber dennoch winkelstabil sein und ein backout der Schrauben verhindern.

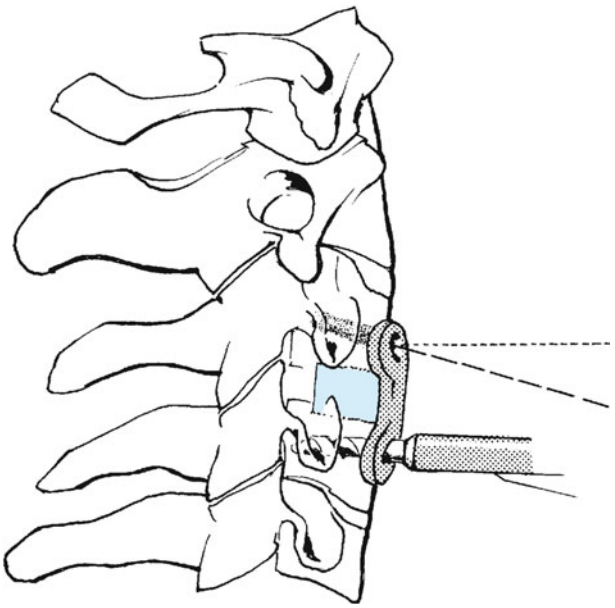


Abb. 4.38 Halswirbel-Verriegelungsplatte nach Morscher. Die Plattenlöcher für die beiden kranialen Schrauben sind um 12° ansteigend ausgerichtet. (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

Es ist schwierig, die Platte in der Frontalebene mittig einzustellen, da man in der Regel nur seitlich röntgt. Durch die angrenzenden Weichteile und den seitlichen Zugang ist die Orientierung erschwert. Man kann sich aber zum einen an der Anatomie des Situs orientieren, zum anderen daran, dass sich das Implantat bei genauer seitlicher Einstellung des Bildwandlers ebenso exakt seitlich darstellen muss.

Die Schrauben schräg auszurichten, ist jedoch dann von Vorteil, wenn Weichteile stören oder Frakturverlauf bzw. Plattenlage dies erfordern. In diesem Fall kann man auf herkömmliche H-Platten und Kleinfragmentschrauben umsteigen, muss jedoch die Schrauben auch in der dorsalen Kortikalis, also der Wirbelkörperhinterkante, mit verankern. Dabei gibt es wegen der besonderen topografischen Lage Einiges zu beachten. Für die **Bohrtechnik in der Nähe des Rückenmarks** gilt:

- Beim Bohren sollte man die Hand, welche die Bohrmaschine führt, mit der anderen abstützen, um nicht, wenn der Widerstand der Hinterwand plötzlich nachlässt, ins Rückenmark einzudringen.
- Wenn man sich nicht sicher ist, wie weit man bereits vorgebohrt hat, kann dies mittels Bildwandler überprüft werden.
- Außerdem unterbricht man den Bohrvorgang immer wieder, sondiert mit dem nicht rotierenden Bohrer die bereits geschaffene Tiefe des Bohrlochs und prüft, ob am Ende des Kanals noch ein knöcherner Anschlag besteht und bohrt dann erst weiter. Dieses Verfahren wird als »Schlagbohrtechnik« bezeichnet. Alternativ dazu kann der Geübte auch bei schnell drehendem Bohrer den Anschlag intermittierend prüfen. Diese Technik ist aber nur bei harter Knochenqualität durchführbar.
- Wenn Weichteile irritieren, empfiehlt es sich, einen oszillierenden Bohrer zu verwenden.
- Die Schrauben müssen die dorsale Kortikalis um einen Gewindegang überragen. Beim Bestimmen der richtigen Schraubenlänge muss man einberechnen, dass die Platte beim festen Anziehen der Schrauben in ihr Lager gepresst wird und man letztlich kürzere Schrauben braucht als beim initialen Längenmessen ermittelt.

Die 2 Kortikales fassenden Kleinfragmentschrauben haben meist einen sehr guten Halt und können, wenn ein Gewindegang einmal weniger stabil sein sollte, gegen eine Spongiosaschraube ausgewechselt werden. Der Knochenblock kann, muss aber nicht, eigens mit einer Schraube gefasst werden.

Nachbehandlung

Empfohlen wird eine harte Zervikalstütze für 6–12 Wochen, abhängig von der erreichten Stabilität. Begleitende isometrische Übungen der Nackenmuskulatur helfen, die muskuläre Atrophie im Rahmen zu halten. Röntgenkontrollen postoperativ sind nach 6 und 12 Wochen angezeigt (s.a. Tübinger Nachbehandlungskonzept, ▶ Abschnitt 4.3.10).

Komplikationen

Wenn durch den Span keine ausreichende Abstützung erreicht wird, können die Schrauben brechen oder auslockern. Vorstehende Implantate führen u.U. zu Schluckstörungen und auf längere Sicht zur Ösophagusperforation. Zu lang gewählte Implantate können die angrenzenden Bandscheibenräume irritieren und spangenförmige Verknöcherungen verursachen.

Dorsale Spondylodese an der Halswirbelsäule

Für eine dorsale Zuggurtung der HWS stehen mehrere Implantate zur Verfügung:

- Hakenplatte nach Magerl
- Spezielle Platten für die dorsale HWS mit unterschiedlich engen Lochabständen von 8, 12 und 16 mm Abstand oder Kleinfragment-Drittelrohr- bzw. Rekonstruktionsplatten
- Dorsale winkelstabile Schrauben-Stabsyteme für die HWS (fixateur interne)
- In Ausnahmefällen werden Cerclagen verwendet

Die Operation wird über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) in Bauchlage vorgenommen. Um intraoperativ im seitlich Strahlengang eine gute Übersicht zu haben, zügelt man die Arme mit einem breiten Pflasterzügel nach unten.

Hakenplatte nach Magerl

Der Patient muss über eine mögliche Einschränkung der Beweglichkeit sowie Nervenläsionen aufgeklärt werden.

Hakenplatten nach Jeanneret u. Magerl (1994) zur Fusionierung von 2 oder 3 Wirbeln werden bilateral nach Formanpassung mit einer Flachzange im Bogen des kaudalen Wirbels eingehängt und im Gelenkmassiv des kranialen Wirbels verschraubt. Der optimale Eintrittspunkt beim Aufbohren liegt knapp oberhalb des Mittelpunkts der medialen Hälfte der Rückfläche des Gelenkmassivs. Die Bohrrichtung ist ca. 30–45° nach kranial und 25° nach lateral geneigt. Dadurch werden weder Spinalnerven noch die A. vertebralis tangiert (Abb. 4.39).

Vor dem Aufbohren muss die Kortikalis angekörnt werden, damit der Bohrer nicht abrutscht. Man verwendet einen langen Bohrer mit 2,0 oder 2,5 mm Durchmesser, abhängig davon, ob man später 2,7er oder 3,5er Schrauben einbringt. Wenn ein Dornfortsatz die Bohrrichtung beeinträchtigt, kann dieser gekürzt werden. Ob die gewählte kraniale Neigung des Bohrers stimmt, lässt sich einfach durch Bildwandlereinsatz prüfen oder indem man einen Dissektor in den Spalt des Zwischenwirbelgelenks schiebt, um dessen räumliche Ausrichtung erfassen zu können.

Bevor man die Hakenplatte an der Lamina des kaudalen Wirbels einhängt, muss medial des Zwischenwirbelgelenks eine Nut ausgemeißelt werden, damit der Haken nicht ins Gelenk auswandert und dieses irritiert (Abb. 4.40). Der Haken der Platte muss so vorgebogen werden, dass beim Anziehen der Schraube Kompression auf das gefasste Segment ausgeübt wird. Außerdem muss die Platte geschränkt werden, damit sie einerseits der medial abfallenden Rückfläche des Gelenkmassivs, andererseits der ansteigenden Laminakante anliegt (Abb. 4.41).

Bevor die Platte fest montiert wird, setzt man einen monokortikalen Span aus dem dorsalen Beckenkamm ein. Die Entnahmetechnik ist in ▶ Kap. 21, Standardzugänge, beschrieben. Der Span wird kranial und kaudal mit einer flachen Nut versehen und anschließend zwischen den beiden Dornfortsätzen verkeilt. Dazu muss die kraniale Fläche des kaudalen Dornfortsatzes treppenförmig zugerichtet werden, um einen guten Sitz des Spans zu gewährleisten. Beim Zurichten muss vorsichtig vorgegangen werden, denn der Dornfortsatz kann leicht brechen oder man kann zu weit in Richtung Spinalkanal geraten (Abb. 4.42).

Wenn 2 Segmente fusioniert werden sollen, wird der Dornfortsatz des mittleren Wirbels ganz entfernt und die Gelenkmassive jeweils mit einer Schraube besetzt. Nun werden die Implantate angeschraubt und der eingebrachte Span dadurch fest verkeilt. Zum Schluss wird beidseits Spongiosa angelagert. Die Zwischenwirbelgelenke brauchen übrigens nicht entknorpelt zu werden (Abb. 4.41).

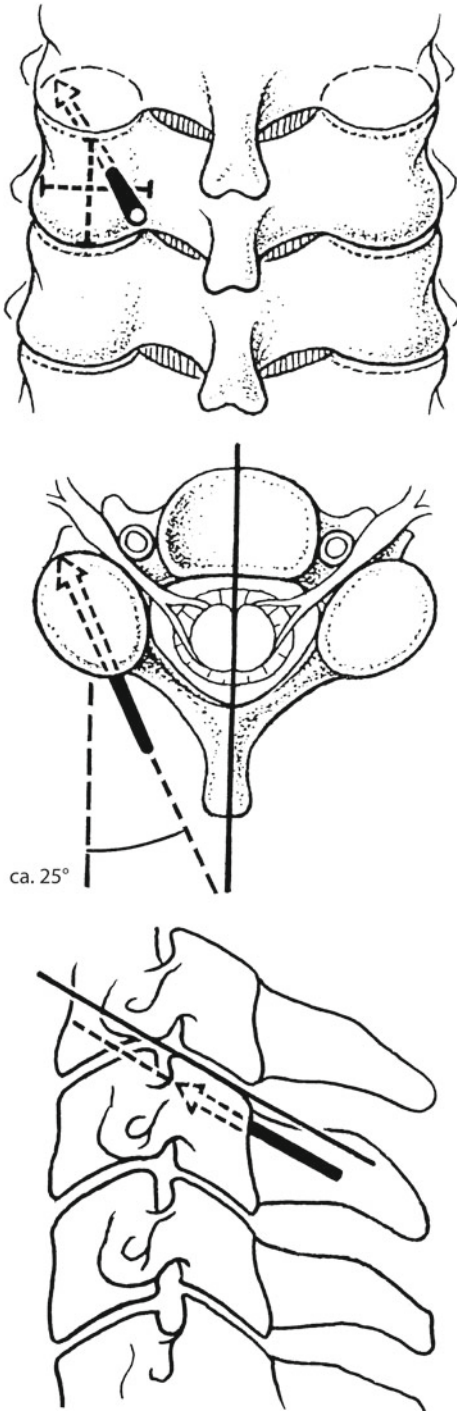


Abb. 4.39 Eintrittspunkt und Bohrrichtung für die Schrauben der Hakenplatte nach Magerl. (Aus: Aebi et al. 1998)

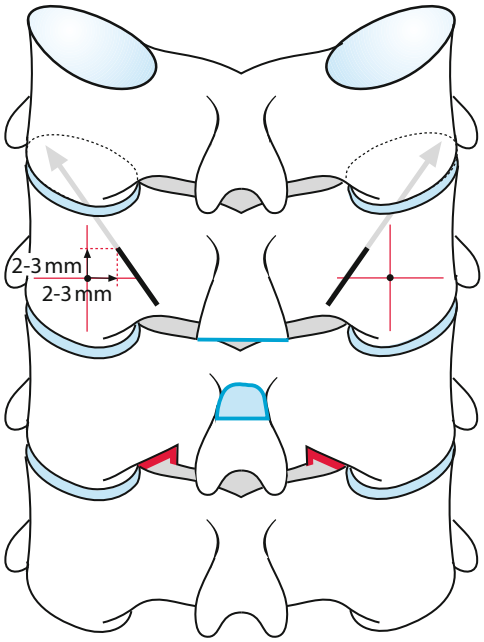


Abb. 4.40 Um den Halt der Hakenplatte zu verbessern, wird in die Laminae des kaudalen Wirbels pro Seite jeweils eine Nut gemeißelt.

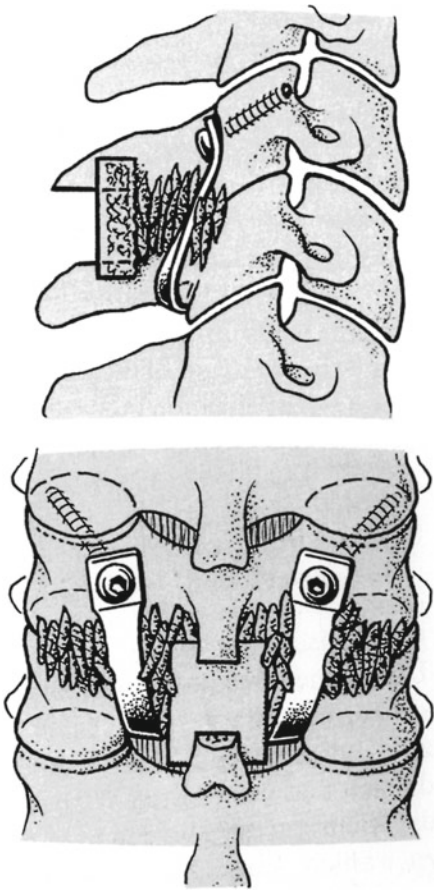


Abb. 4.41 Monosegmentale dorsale Fusion mit Hakenplatten nach Magerl und Anlagerung eines monokortikalen Spans und von Spongiosachips. (Aus: Müller et al. 1992)

Der große Vorteil der Methode ist, dass es sich um eine bereits primär sehr stabile Konstruktion handelt, weil zwischen den beiden zuggurtenden Hakenplatten ein Knochenspan verkeilt wird. Während die Platten Zugkräfte aufnehmen, wirkt der Knochenspan axialer Kompression entgegen, sodass die Haken nicht dislozieren können. Der Knochenspan ist somit wesentlicher Bestandteil der Konstruktion, weil allein dessen stabiler Sitz gewährleistet, dass die Implantate nicht aushaken können.

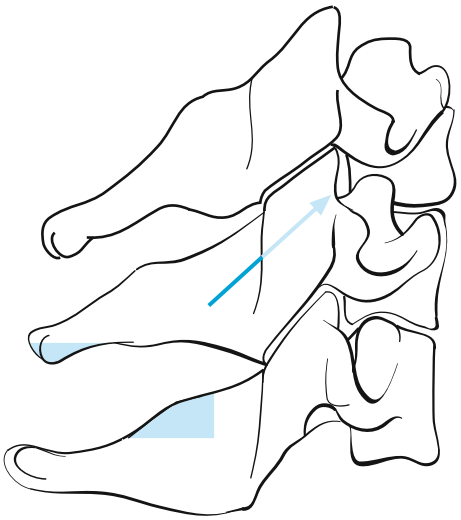


Abb. 4.42 Treppenförmiges Zurichten des kaudalen Dornfortsatzes zur Aufnahme des Knochenspans.

Komplikationen und Prognose. Bei zu lateraler Lage des Bohrkanals kann die Wand des Gelenkmassivs ausbrechen. Wenn eine sichere Schraubenverankerung nicht mehr möglich ist, wird Spongiosa angelagert, eine Platte auf der Gegenseite montiert und die angrenzenden Dornfortsätze mit einer Cerclage gegurtet. Implantatlockerungen und Aushängen des Hakens sind möglich. Der Dornfortsatz kann beim Zurichten brechen.

Lebensbedrohliche Komplikation: Trachealstenose

Dudda und Mitarbeiter (2009) erinnern an eine seltene, aber lebensbedrohliche Komplikation einer komplexen HWS-Verletzung, die Trachealstenose. In der Literatur werden tracheobronchiale Verletzungen nach stumpfem Trauma mit einer Häufigkeit zwischen 0,1 und 0,7% angegeben. Sie treten insbesondere bei Kindern und Jugendlichen auf. Auch retropharyngeale Hämatome sind gefürchtet. Die Autoren berichten über eine 25-jährige Patientin mit komplexen HWK-Frakturen, die bereits nach dem Unfall einen Stridor zeigte. 3 Wochen nach dem Unfall, als die Patientin nach Stabilisierung der Frakturen aus der stationären Behandlung bereits entlassen war, trat erneut ein inspiratorischer Stridor auf. Bei der Bronchoskopie zeigte sich eine zirkuläre Schwellung mit subtotaler Verlegung der Atemwege. Die Patientin wurde tracheotomiert und temporär mit einem Stoma versorgt. Bioptisch fand man als Ursache der Stenose einen zirkulär gewachsenen Granulationspolypen. Die endgültige Therapie der Stenose wurde 6 Monate nach dem initialen Trauma durchgeführt. Der stenosierte, 4,5 cm lange Trachealabschnitt wurde reseziert und End-zu-End anastomosiert.
Kommt es bei einer Trachealstenose zu einer Verlegung der Atemwege, kann in der Regel nur noch durch eine Notfalltracheotomie der Tod durch Ersticken abgewendet werden.

Spezielle Platten

Spezielle Platten werden ebenfalls in den Gelenkmassiven der Zwischenwirbelgelenke verankert. Bezüglich der Schraubenrichtung gibt es zur oben beschriebenen Methode nach Magerl die Alternative von Roy-Camille u. Saillant (1984), bei der die Richtung mehr

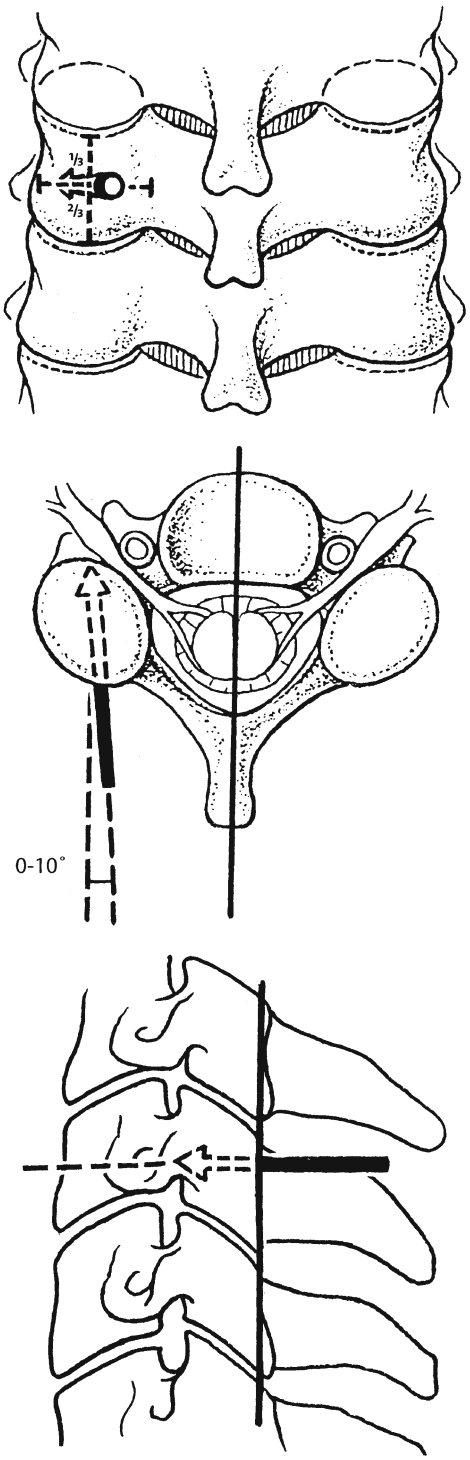


Abb. 4.43 Schraubenrichtung nach Roy-Camille. (Aus: Aebi et al. 1998)

horizontal geneigt ist. Dies hat den Vorteil, dass sich die Schraubenköpfe gut in die Plattenlöcher versenken lassen. Allerdings bietet die Ausrichtung nach Magerl insbesondere im osteoporotischen Knochen mehr Halt. Der Eintrittspunkt bei der Technik nach Roy-Camille u. Saillant liegt 1 mm an der medialen Drittelgrenze einer gedachten Mittellinie auf der Rückfläche des Gelenkmassivs. Man bohrt in horizontaler Richtung und 10° nach lateral geneigt wie in Abb. 4.43 dargestellt.

Die Schraubrichtung im 2. Halswirbel unterscheidet sich von der Richtung in den darunter liegenden aufgrund der hier beidseits nach lateral ziehenden Aa. vertebrales. Der Eintrittspunkt liegt im Mittelpunkt der Rückfläche des Gelenkmassivs, die Richtung zeigt 15° nach kranial und 25° nach medial in den Isthmus von C2. Die Schrauben sollen bis subchondral reichen.

Beim Bohren muss man sicherstellen, dass zwar die gegenüber liegende Kortikalis erfasst, aber wegen der Nähe zur Spinalwurzel keinesfalls darüber hinaus gebohrt wird. Dafür eignet sich ein 2 mm dicker Kirschner-Draht, der so in der Maschine eingespannt wird, dass er die Gewebeschutzhülse nur um 15 mm überragt. Die Form und Lage der Platte kann mit einer Schablone ermittelt werden. Die Schraubenlöcher sollen nicht bei liegender Platte gebohrt werden. Die Zwischenwirbelgelenke, die fusioniert werden sollen, werden in ihrer hinteren Hälfte mit Meißel und Rongeur entknorpelt und mit Spongiosachips aufgefüllt.

Wichtige Vorteile der Methode sind:

- Im Unterschied zur Methode nach Magerl, mit der maximal 2 Segmente stabilisierbar sind, können auch längere Fusionsstrecken gewählt werden, und zwar nicht nur im Bereich der HWS, sondern auch der oberen BWS.
- Wenn Wirbelbögen frakturiert sind, lässt sich die Hakenplatte nicht stabil verankern. Sind Dornfortsätze beteiligt, kann der Knochenspan nicht verklemmt werden. Beim Einsatz der dorsalen HWS-Platten ist man hingegen nicht auf die Intaktheit dieser Strukturen angewiesen, denn die Platten werden durchweg an den Gelenkmassiven unter gleichzeitiger Fusion der Zwischenwirbelgelenke festgeschraubt.

Nachbehandlung und Komplikationen entsprechen denen bei Hakenplatte nach Magerl (Ausnahme: Dornfortsatzabbruch).

Systeme für die proximale HWS

CerviFix

Der CerviFix wurde von Jeanneret (1996) entwickelt. Es hat gegenüber den speziellen dorsalen Platten für die HWS den Vorteil, dass es keine Schraubenlöcher im vorgegebenen Abstand gibt, sondern diese durch verschiebbare Backen je nach Anatomie am idealen Ort platziert werden können. Auf diese Weise kann man die HWS langstreckig fusionieren und das Implantat den jeweiligen individuellen Gegebenheiten anpassen. Für die unterschiedlichen Eintrittswinkel der Schrauben in Höhe C2 bzw. C3 bis C7 gibt es verschiedene Backen. Die Längsstäbe können mit einer Biegezange der lordotischen Krümmung der HWS angepasst werden. Es sind Stäbe verfügbar, deren proximale Enden die Form einer Rekonstruktionsplatte haben, die am Hinterhaupt zur okzipitozervikalen Fusionierung stabil verankert werden kann.

Ergebnisse. Im Gegensatz zu den etablierten Systemen gibt es bisher nur wenige Nachuntersuchungen an Patienten, bei denen der CerviFix zum Einsatz kam. Jeanneret (1998) berichtet über 22 Patienten mit CerviFix, bei denen in 20 Fällen die Fusion 5–24 Monate postoperativ knöchern verheilt war. Die verbleibenden 2 Fälle waren Patienten mit metastasierendem Tumorleiden, die 2 bzw. 8 Wochen postoperativ verstorben sind, sodass die zeitgerechte Durchbauung der Fusionierung nicht kontrollierbar war.

Inzwischen ist der CerviFix weiterentwickelt worden in Form des Synapse-Systems (Fa. Synthese). Es ist einfacher zu installieren, weil es sich um ein top-loading-System handelt mit polyaxialen top-loading-Schrauben und Haken, Transverskonnektoren und Parallelverbindern (Abb. 4.44).

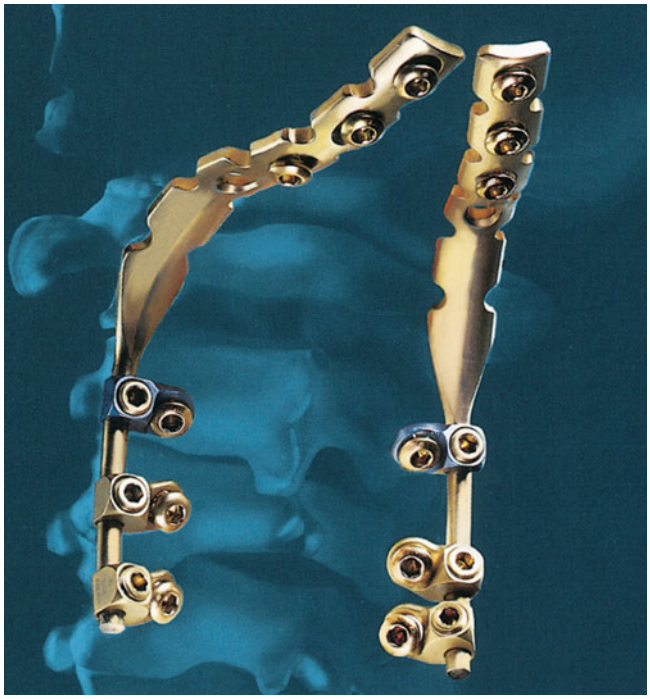


Abb. 4.44 Synapse-System zur Stabilisierung der posterioren HWS mit polyaxialen top-loading-Schrauben und Haken, Transverskonnektoren und Parallelverbindern (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

Cerclagen

Cerclagen können als Ausweichmethode eingesetzt werden, z.B. bei Kindern oder wenn Schrauben ausgerissen sind und eine suffiziente Verankerung im Gelenkmassiv nicht mehr möglich ist. Die Drähte (Durchmesser 1,25 mm) werden in Achtertour oder rahmenförmig durch Bohrlöcher, die man mit einer Tuchklemme in die Basis der Dornfortsätze der zu fusionierenden Wirbel setzt, gezogen und verdrillt. Durch Einsetzen eines Span kann die Stabilität erhöht werden. Eine gute Beschreibung der verschiedenen Möglichkeiten findet sich bei Kerschbaumer (1991).

4.3.10 Tübinger Nachbehandlungskonzept

Für die Nachbehandlung von operativ versorgten Wirbelfrakturen ohne neurologische Ausfälle der Halswirbelsäule und oberen Brustwirbelsäule haben Kaps und Mitarbeiter (2000) eine Übersicht vorgestellt. Nach der operativen Versorgung mit z.B. einer ventralen Spondylodese oder einer Densverschraubung oder einer dorsalen Stabilisierung und anschließender Versorgung mit einer halbstarren Krawatte für 6 Wochen läuft gleichzeitig das in der Übersicht dargestellte Therapieschema ab.

Tübinger Nachbehandlungskonzept von operativ versorgten Wirbelfrakturen der HWS und oberen BWS

- **1. postoperative Woche:** Bewegungstraining von Rückenlage in Seitenlage in sitzende Position, Mobilisation mit Krawatte, keine Bauchlage wegen der dafür nötigen Rotation der HWS.
- **2. postoperative Woche:** Gruppengymnastik für Wirbelsäulenpatienten, Bücktraining, Duschen ohne Krawatte bei

▼

gesicherter Wundheilung, Heben und Tragen von Lasten bis zu 5 kg Gewicht, Eigentraining am Pullingtrainer mit einer symmetrischen Belastung bis 2,5 kg beiderseits, nach der Entlassung aus der stationären Behandlung ambulante Physiotherapie zur Kräftigung der Halsmuskulatur und zur Kontrolle 1- bis 2-mal pro Woche.

- **7. postoperative Woche:** Röntgenkontrolle, Abtrainieren der Krawatte, Verstärkung der Physiotherapie ggf. mit medizinischem Aufbautraining (MAT) für Schultergürtel und Rumpf oder erweiterter ambulanter Physiotherapie (EAP).
- **13. postoperative Woche:** Schwimmen, Rad fahren, Joggen sind erlaubt, Kontaktsportarten aber erst nach sicherer knöcherner Konsolidierung.

4.4 Verletzungen der Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule

4.4.1 Epidemiologie, Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Epidemiologie

Die Inzidenz von Wirbelfrakturen in der Gesamtbevölkerung beträgt 64 pro 100.000 Einwohner (Hu et al. 1996). Während der Abschnitt von T1–T10 durch die anhängenden Rippen relativ starr ist, findet sich im thorakolumbalen Übergang, also zwischen T11 und L2 eine deutlich ausgeprägtere Beweglichkeit. Dazu kommt, dass axial einwirkende Kräfte im Bereich des thorakolumbalen Übergangs auf einen gerade ausgerichteten Säulenabschnitt treffen, während darüber und darunter die kyphotische bzw. lordotische Krümmung hilft, einwirkende Kräfte abzudämpfen. Dies macht verständlich, warum Frakturen im thorakolumbalen Bereich gehäuft auftreten (Abb. 4.45).

So fand die Arbeitsgemeinschaft »Wirbelsäule« (AG WS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie in ihrer 2. multizentrischen Sammelstudie an 865 Patienten in 18% der Fälle eine Lokalisation der Frakturen zwischen T1 und T10, in 68% zwischen T11 und L2 und wiederum in 18% zwischen L3 und L5, da einige Patienten mehr als einen Bruch erlitten hatten. In 63% der Fälle wurden Kompressionsverletzungen (Typ A) gefunden, in 21% Distraktions- (Typ B) und in 16% Rotationsverletzungen (Typ C) (Abb. 4.46). In der überwiegenden Mehrzahl handelte es sich um A3-Frakturen. Distraktions- und Rotationsverletzungen sind mit einem höheren Risiko von Begleitverletzungen, neurologischen Ausfällen und zusätzlichen Wirbelfrakturen verbunden (Reinhold et al. 2009).

Ätiologie

Meist sind Sport-, Arbeits- und Verkehrsunfälle die Ursachen. In der Sammelstudie der Arbeitsgemeinschaft »Wirbelsäule« fand sich in 32% ein Sturz aus der Höhe, in 28% ein Verkehrsunfall und in 22,5% ein banaler Sturz in der Vorgeschichte (Reinhold et al. 2009a). Der Rest entfällt auf pathologische Frakturen meist aufgrund einer Osteoporose (s. unten), seltener auf Metastasen (s. unten), auf eine ankylosierende Spondylitis (s. unten), bei der die unelastisch gewordene Wirbelsäule schon bei mäßiger Gewalteinwirkung brechen kann, oder auf entzündliche Prozesse (s. unten).

Aber man muss bei der Ursachenabklärung auch an einen stattgehabten Krampfanfall denken.

Ausgeprägte tonisch-klonische Muskelkrämpfe bei generalisierten epileptischen Anfällen können zu Frakturen insbesondere im Be-

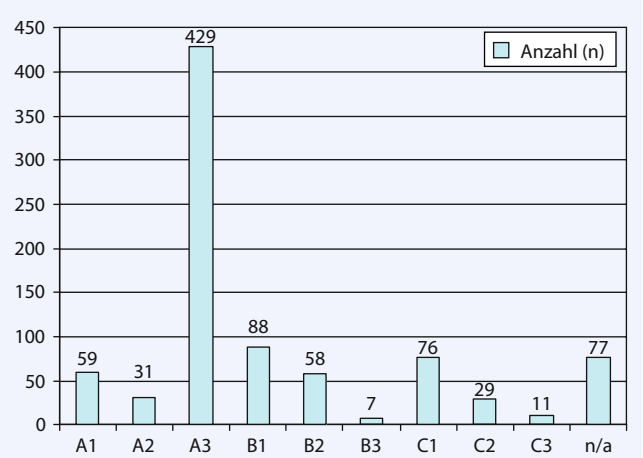


Abb. 4.46 Häufigkeit der verschiedenen Verletzungstypen (n=865) in der Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule. (Aus: Reinhold et al. 2009)

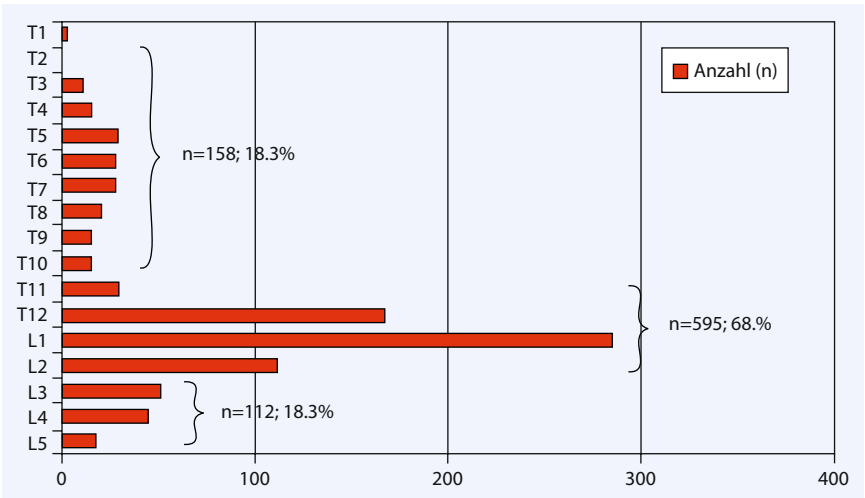


Abb. 4.45 Lokalisation der Wirbelsäulenverletzungen (n=865) in der Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule. (Aus: Reinhold et al. 2009)

reich des rumpfnahen Skeletts führen und zwar auf 2 Wegen: Zum einen kann durch den initialen Verlust des Bewusstseins und des Muskeltonus mit nachfolgendem Sturz, der ohne Schutzreflexe ungebremst erfolgt, eine Fraktur eintreten, zum andern können in der sich anschließenden tonisch-klonischen Phase durch maximale Kontraktionen der Rumpfmuskeln Kompressionsfrakturen der Wirbelsäule, Humerusfrakturen oder Schulterluxationen entstehen. Laut Vernay et al. (1990) sind bei 2,5% der Wirbelfrakturen Krampfanfälle die alleinige Ursache.

Klinik

Bewegungs-, Druck- und Klopfschmerz korrelieren mit der Höhe der Läsion. Tastbare Stufen oder Dehiszenzen im Verlauf der Dornfortsätze sind Ausdruck ausgeprägter Instabilität. Prellmarken geben Aufschluss über den Ort der stattgehabten Gewalteinwirkung, neurologische Ausfälle über die Schwere der Verletzung. Bei polytraumatisierten Patienten sind nur ein Teil der klinischen Zeichen prüfbar, deshalb muss bei diesen Patienten u.a. immer auch die gesamte Wirbelsäule radiologisch abgeklärt werden.

Diagnostik

Konventionelles Röntgen

Standard ist, den klinisch auffälligen Wirbelsäulenabschnitt in 2 Ebenen, a.p. und seitlich, zu röntgen und dann den gefundenen, verletzten Abschnitt mit den angrenzenden gesunden Wirbelkörpern zusammen computertomografisch zu schichten und ggf. zu rekonstruieren. Dies ermöglicht, die Verletzung zu klassifizieren. Die Übersichtsaufnahmen werden nach folgenden Kriterien beurteilt (◘ Abb. 4.47):

Allgemein gilt: Die Höhe des Intervertebralraums nimmt von kranial nach kaudal zu. Die Hinterkanten liegen normalerweise in einer Flucht. Ausbuchtungen des paravertebralen Weichteilschattens können sich in Frakturhöhe finden. Ein vergrößerter Abstand zwischen den Pedikeln gilt als sicherer Hinweis für eine Fraktur des Wirbelkörpers und -bogens.

Typ-A-Verletzung: Wenn die Hinterkante 15% niedriger als die der benachbarten Wirbelkörper ist, liegt eine Fraktur vor. Die Hinterkante ist meist in Richtung Spinalkanal verlagert, kann aber auch zum Inneren des Wirbelkörpers hin eingebrochen sein (»Chapeau-claque-Mechanismus«).

Typ-B-Verletzung: Ein auffälliger kyphotischer Knick mit Vergrößerung der Distanz zwischen den Dornfortsätzen ist immer verdächtig auf eine eingetretene Flexions-Distraktions-Verletzung. Beidseitige Subluxationen oder Luxationen der Intervertebralgelenke, beidseitige Gelenkfortsatzfrakturen und translatorische Fehlstellungen nach ventral oder dorsal erhärten den Verdacht. Hinterkantenfragmente sind nicht nur nach dorsal, sondern auch nach kranial verlagert. Knöcherne Abrisse an den Dornfortsätzen oder den Vorder- und Hinterkanten weisen auf die eingetretene Bandverletzung hin.

Folgende radiologische Kriterien sprechen für eine B-Verletzung (Schnake et al. 2008) (◘ Abb. 4.66):

- Vergrößerter relativer und absoluter (>7 mm) Abstand der Dornfortsätze im Vergleich zu den Anschlusssegmenten,
- Segmentwinkel >15° gemessen von der Grundplatte des betroffenen Wirbels zur Grundplatte des kranial anschließenden,
- Reduktion der Höhe der Wirbelkörpervorderkante >50%,
- erhebliche Kompression der Wirbelkörperspongiosa, auch wenn die Wirbelkörpervorderkante nicht >50% höhengemindert ist,
- verlängerte Wirbelkörperhinterkante,
- erweiterte Facettengelenke mit Malalignment und/oder Kontaktverlust.

Typ-C-Verletzung: Translatorische Fehlstellungen nach ventral, dorsal oder lateral. Das Alignment der Dornfortsatzreihe ist unterbrochen.

Posttraumatische Fehlstellungen werden im Wesentlichen durch 2 Indizes erfasst. Der sagittale bzw. frontale Index misst das Verhältnis zwischen Wirbelvorder- und -hinterkantenhöhe bzw. zwischen den beiden Seitenwänden. Der Grund-Deckplatten-Winkel erfasst das Ausmaß der Angulation zwischen der Endplatte eines definierten kranialen und kaudalen Wirbels. Kyphotische Verformungen werden mit einem Minuszeichen, lordotische mit einem Pluszeichen gekennzeichnet.

Computertomografie

Die CT ist die leistungsfähigste Untersuchungsmethode bei der Beurteilung frakturierter Wirbelkörper.

Die Hinterkante lässt sich exakt beurteilen. Die Weite des Spinalkanals wird erfasst; eine etwaige Einengung wird sagittal und quer vermessen und mit den entsprechenden Durchmessern der angrenzenden Wirbelbögen verglichen.

Abschnitte, die mit konventionellen Röntgenaufnahmen oft nicht ausreichend beurteilbar sind, können sicher abgeklärt werden. Translatorische Dislokationen lassen sich mittlerweile mit Hilfe von Rekonstruktionen exakt sichtbar machen.

Szintigrafie

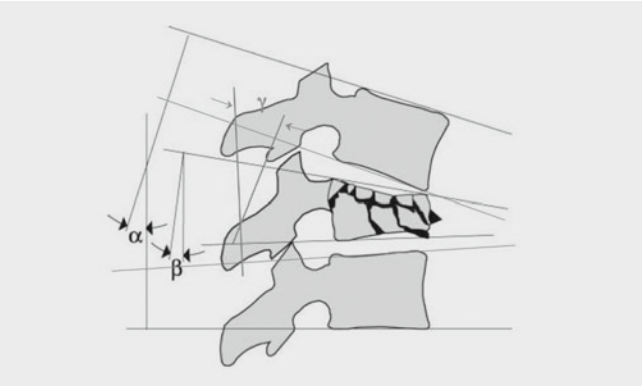
Bei unklarem Befund können die in Gang gekommenen Umbauvorgänge szintigrafisch nachgewiesen werden. Allerdings ist ein sicherer Ein- oder Ausschluss erst nach 8 Tagen möglich.

Magnetresonanztomografie

Die MRT ist dagegen bei der Beurteilung des Rückenmarks überlegen. Sie ist indiziert bei inkompletter Para- oder Tetraplegie und Contusio spinalis. Außerdem lassen sich damit Hämatome oder ligamentäre Läsionen u.a. im Bereich der dorsalen Säule nachweisen.

Myelografie

Magerl u. Engelhardt (1994) nutzen die Myelografie intraoperativ, um das Repositionsergebnis zu beurteilen. Eine weitere Indikation ist der postoperativ auftretende chronische Schmerz unklarer Genese.



◘ **Abb. 4.47** Schematische Darstellung zur Messung der vertebralen (β), bisegmentalen (α) und monosegmentalen (γ) Kyphosewinkel (GDW), modifiziert nach Eysel et al. (2001). (Aus: Rusu et al. 2007)

Sonografie

Die Sonografie kann ebenfalls zur intraoperativen Beurteilung verbliebener Einengungen des Spinalkanals genutzt werden. Man braucht dazu ein Schallfenster in der Lamina. Beim Schallen füllt man den Situs mit Spülflüssigkeit auf.

Funktionsaufnahmen, Diskografie

Eine im Moment der Aufnahme reponierte Flexionsverletzung vom Typ B 1.1.1 oder Hyperextensionverletzung vom Typ B 3.1.1 ist wegen fehlender knöcherner Beteiligung nicht erkennbar. Bei entsprechendem klinischem Verdacht empfiehlt es sich, unter Bildwandler eine vorsichtige Funktionsprüfung oder eine Diskografie durchzuführen.

Klassifikation

Die Einteilung der Verletzungen von Brust- und Lendenwirbelsäule zeigt ◘ Abb. 4.48.

Die Klassifikation nach Magerl et al. (1994) integriert alle denkbaren Bruchformen und ist daher entsprechend umfangreich. Dies sollte jedoch nicht daran hindern, sie zu nutzen, um die einzelnen Verletzungsmechanismen und deren resultierende Bruchtypen zu begreifen. Im klinischen Alltag reicht für eine erste Orientierung eine Grobeinteilung in A-, B- oder C-Verletzung meist aus, denn damit lässt sich die Stabilität der jeweiligen Fraktur einschätzen und deren Behandlung in die richtigen Bahnen lenken. Die Feineinteilung wird genutzt, um die jeweilige Therapie definitiv festlegen und vergleichende Untersuchungen anstellen zu können.

Isolierte Verletzungen der Quer- und Dornfortsätze sind nicht berücksichtigt. Als Verständnisgrundlage dient das Zweisäulenmodell von Whitesides (1977), das besagt, dass die Wirbelsäule mechanisch gesehen aus einer von den Wirbelkörpern und Bandscheiben gebildeten druckfesten ventralen und einer aus den dorsalen Wirbelelementen und dem Ligamentkomplex bestehenden, zugfesten dorsalen Säule zusammengesetzt ist.

Die Beurteilung der Stabilität richtet sich nicht nur nach dem Bruchverlauf, sondern auch nach den ligamentären Verletzungen. Das Kriterium der »intakten Hinterkante« hat bei der Beurteilung von Kompressionsfrakturen (Typ A) Bedeutung. Kompressionsfrakturen ohne Hinterkantenbeteiligung gelten als stabil. Einzige Ausnahme ist die Fraktur vom Typ A 2.3, die trotz intakter Hinterkante instabil ist. Dagegen sind alle B- und C-Verletzungen allein aufgrund der immer vorhandenen ligamentären Rupturen unabhängig vom knöchernen Befund als instabil anzusehen.

Typ A: Kompressionsverletzungen

Bei diesen Verletzungen ist nur die ventrale Säule betroffen (Übersicht). Laut Magerl u. Engelhardt (1994) »hat die bei einigen Berstungsbrüchen vorkommende Längsspaltung der Lamina keine wesentliche Bedeutung und der dorsale Bandkomplex ist höchstens gedehnt, aber nie zerrissen«. Der verletzte Wirbelsäulenabschnitt ist daher zwar klopfschmerzhaft, dorsale Schwellung und Hämatombildung fehlen jedoch.

Typ A: Kompressionsverletzungen

A1: Impaktionsbrüche

- A1.1: Deckplattenimpression (meist jugendliche Bruchform)
- A1.2: Keilbruch
  - A1.2.1: Kranial
  - A1.2.2: Seitlich
  - A1.2.3: Kaudal
- A1.3: Wirbelkörperimpaktion (meist osteoporotische Bruchform: »Fischwirbel«, kann stabil oder instabil sein)

A2: Spaltbrüche

- A2.1: Sagittaler Spaltbruch
- A2.2: Frontaler Spaltbruch
- A2.3: Kneifzangenbruch

A3: Berstungsbrüche

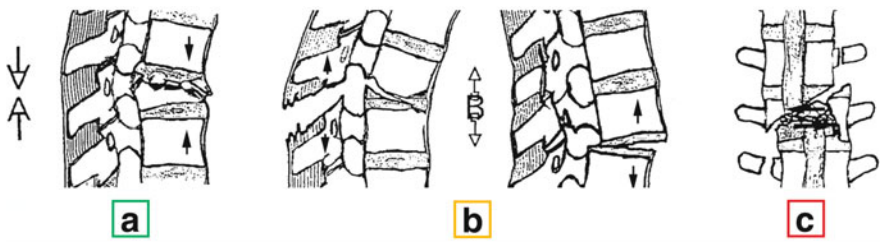
- A3.1: Inkompletter Berstungsbruch
  - A3.1.1: Kranial
  - A3.1.2: Seitlich
  - A3.1.3: Kaudal
- A3.2: Berstungsspaltbruch
  - A3.2.1: Kranial
  - A3.2.2: Seitlich
  - A3.2.3: Kaudal
- A3.3: Kompletter Berstungsbruch
  - A3.3.1: Kneifzangenberstungsbruch
  - A3.3.2: Kompletter Flexionsberstungsbruch
  - A3.3.3: Kompletter axialer Berstungsbruch

Typ B: Distraktionsverletzungen

Mit Ausnahme der B 3.1.1-Verletzung werden immer beide Säulen horizontal zerrissen und bleiben in der Regel chronisch instabil. Alle Flexions-Distraktions-Verletzungen vom Typ B 1 und B 2 sind gegenüber Flexion und manche überdies translatorisch völlig instabil. Bei der Flexions-Distraktions-Verletzung mit gleichzeitiger Wirbelkörperkompression ist der Grad der Instabilität gegenüber axialer Belastung abhängig vom Ausmaß der eingetretenen knöchernen Deformierung. Ob eine Kompressionsverletzung vom Typ A in eine Flexions-Distraktions-Verletzung vom Typ B übergeht, hängt vom Ausmaß der kyphotischen Knickung ab. Der kritische Wert soll zwischen 15 und 20° liegen (Neumann et al. 1992, Steffen et al. 1993).

B 2-Verletzungen entstehen häufig durch Beckengurte, während die Hyperextensionsverletzungen vom Typ B 3 z.B. beim dorsalen Aufprall auf ein Hypomochlion (Geländer) auftreten.

Aufgrund der dorsalen Zerreißung findet man neben einem häufig vorhandenen kyphotischen Knick und einer Schwellung als Besonderheit auch eine Diastase oder gar eine Stufe innerhalb der Dornfortsatzreihe. Dass fast ein Drittel dieser Verletzungen



◘ **Abb. 4.48a–c** AO-Klassifikation der Wirbelsäulenverletzungen. **a** Verletzung des Wirbelkörpers mit Kompression. **b,c** Verletzung der anterioren und posterioren Strukturen mit Distraktion (**b**) mit Rotation (**c**)

mit neurologischen Ausfällen einhergeht, erscheint aufgrund des Verletzungsmechanismus nicht weiter verwunderlich. Im BWS-Bereich gelegene Frakturen sind häufig von Rippen- oder Sternumbrüchen begleitet.

Typ B: Distraktionsverletzungen

B 1: Dorsale Zerreißung durch die Intervertebralgelenke (Flexionsdistraktion)

- B 1.1: Mit Zerreißung der Bandscheibe
  - B 1.1.1: Flexionssubluxation
  - B 1.1.2: Vordere Luxation
  - B 1.1.3: Flexionssubluxation oder vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze
- B 1.2: Mit Wirbelkörperfraktur vom Typ A
  - B 1.2.1: Flexionssubluxation
  - B 1.2.2: Vordere Luxation
  - B 1.2.3: Flexionssubluxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze

B 2: Dorsale Zerreißung durch den Wirbelbogen (Flexionsdistraktion)

- B 2.1: Horizontale Zerreißung des Wirbels
- B 2.2: Flexionsspondylolyse mit Zerreißung der Bandscheibe
- B 2.3: Flexionsspondylolyse mit Wirbelkörperfraktur

B 3: Ventrale Zerreißung durch die Bandscheibe (Hyperextensions-Scher-Verletzung)

- B 3.1: Hyperextensionssubluxation
  - B 3.1.1: Ohne Gelenkfortsatzbruch
  - B 3.1.2: Mit Gelenkfortsatzbruch oder Fraktur der Bogenwurzeln
- B 3.2: Hyperextensionsspondylolyse
- B 3.3: Hintere Luxation

Typ C: Rotationsverletzungen

Diese Verletzungsform ist die instabilsten. Beide Säulen sind betroffen. Alle längs verlaufenden Bänder, und oft auch die Bandscheiben, sind zerrissen. Anamnestisch lassen sich erste Rückschlüsse aus der Art des Traumas ziehen. Verletzte, die aus einem Fahrzeug geschleudert wurden oder mit einem Zweirad verunfallten, erleiden häufiger diese schwerste Form eines Wirbelsäulentraumas. Klinisch finden sich einseitige Verletzungen an Schulter, Thorax oder Becken. Über der dorsalen Säule zeigen sich Schwellung, Druckschmerz, palpable Stufen und Dehiszenzen. Rund 55% der Verletzten weisen neurologische Ausfälle auf (Magerl u. Engelhardt 1994).

Radiologisch zeigen sich eine Rotationsfehlstellung, Querfortsatzfrakturen, Rippenfrakturen oder -luxationen und Wirbelkantenabrisse. Fast regelmäßig bleibt die der Rotationsrichtung abgewandte Seitenwand des frakturierten Wirbelkörpers intakt. Deshalb ist in der seitlichen Projektion trotz der eingetretenen Zerstörung eine normale Wirbelkörperkontur zu sehen. Man spricht dann von einem »Phantomwirbel«.

Typ C: Rotationsverletzungen

C 1: Typ A mit Rotation

- C 1.1: Rotationskeilbruch
- C 1.2: Rotationsspaltburch
  - C 1.2.1: Sagittal
  - C 1.2.2: Frontal
  - C 1.2.3: Rotationskneifzangenbruch
  - C 1.2.4: Wirbelkörperseparation
- C 1.3: Rotationsberstungsbruch
  - C 1.3.1: Inkomplett
  - C 1.3.2: Rotationsberstungsspaltbruch
  - C 1.3.3: Komplett

C 2: Typ B mit Rotation

- C 2.1: Typ B 1 mit Rotation
  - C 2.1.1: Rotation-Flexion-Subluxation
  - C 2.1.2: Rotation-Flexion-Subluxation mit Gelenkfortsatzfraktur
  - C 2.1.3: Einseitige Luxation
  - C 2.1.4: Vordere Rotationsluxation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur
  - C 2.1.5: Rotation-Flexion-Subluxation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur mit Wirbelkörperbruch
  - C 2.1.6: Einseitige Luxation mit Wirbelkörperbruch
  - C 2.1.7: Vordere Rotationsluxation ohne/mit Gelenkfortsatzfraktur mit Wirbelkörperbruch
- C 2.2: Typ B 2 mit Rotation
  - C 2.2.1: Horizontale Zerreißung des Wirbelkörpers mit Rotation
  - C 2.2.2: Einseitige Rotations-Flexions-Spondylolyse mit Zerreißung der Bandscheibe
  - C 2.2.3: Einseitige Rotations-Flexions-Spondylolyse mit Wirbelkörperfraktur
- C 2.3: Typ B 3 mit Rotation
  - C 2.3.1: Hyperextensionssubluxation ohne/mit Gelenkfortsatz- oder Bogenwurzelfraktur
  - C 2.3.2: Einseitige Hyperextensionsspondylolyse
  - C 2.3.3: Hintere Rotationsluxation
- C3: Rotationsscherbrüche
  - C 3.1: Slice fracture (Holdsworth)
  - C 3.2: Rotationsschrägbruch

4.4.2 Therapie

Konservative Therapie

Für die konservative Therapie stehen prinzipiell 3 Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Primär funktionelle Behandlung mit oder ohne Rahmenstützkorsett
2. Reposition und Mobilisierung im Gipskorsett
3. Mehrwöchige Bettruhe, anschließend funktionelle Weiterbehandlung

Das moderne unfallchirurgische Therapiekonzept enthält als wesentliches Standbein die frühfunktionelle Behandlung, um Immobilisationsschäden zu vermeiden. Die früher häufig praktizierte mehrwöchige Bettruhe als Therapie von Wirbelkörperfrakturen, die oben an 3. Stelle aufgeführt ist, wurde daher weitgehend verlassen. Sie bleibt Ausnahmefällen vorbehalten, wenn z.B. das Operationsrisiko oder das biologische Alter zu hoch sind oder der Patient noncompliant ist.

Primär funktionelle Therapie

Nach einer kurzen Phase der Bettruhe, die in Abhängigkeit vom Beschwerdeausmaß ein bis wenige Tage dauern kann, wird der Patient

mobilisiert. Während der initialen Bettruhe sollte eine Thromboseprophylaxe durchgeführt werden (Antithrombosestrümpfe, niedermolekulares Heparin, Krankengymnastik). Außerdem soll der Patient unter krankengymnastischer Anleitung lernen, sich richtig, nämlich en bloc, zu drehen. Patienten mit Frakturen im thorakolumbalen Übergang und tiefer bekommen durch die sich entwickelnden retroperitonealen Hämatome häufig Darmatonien, die sich mit initialer Nahrungskarenz, anschließendem Kostaufbau und medikamentöser Anregung der Peristaltik gut beherrschen lassen (s. oben ▶ Abschnitt 4.1 Basiswissen »Therapie der Darmatonie«).

Wenn die akuten Beschwerden abgeklungen sind, lernt der Patient wiederum unter Anleitung eines Physiotherapeuten, über den Vierfüßerstand aufzustehen. Ob er dazu ein Rahmenstützkorsett trägt oder nicht, ist schulenabhängig. Das Rahmenstützkorsett soll einerseits die Schmerzen lindern, andererseits den Patienten erinnern, sich aufrecht zu halten, damit die Frakturen möglichst axial belastet werden.

Reposition und Mobilisierung im Gipskorsett

Beck (1980) legt als Kriterium für die Notwendigkeit einer Reposition den sagittalen bzw. frontalen Index zugrunde, der 0,8 nicht unterschreiten soll. Bei der jeweiligen Entscheidungsfindung muss berücksichtigt werden, dass eine keilförmige Deformierung im Bereich der physiologischen BWS-Kyphose weniger Krankheitswert hat als eine im Bereich der LWS-Lordose.

Die Reposition für Frakturen unterhalb von T6 wird im so genannten dorsalen Durchhang vorgenommen. Sie wird durch Hyperlordosierung des thorakolumbalen Übergangs erreicht. Dazu kann eine Rolle verwendet werden oder ein breiter Gurt, der an einem Flaschenzug befestigt ist. Die Reposition erfolgt unter Bildwandlerkontrolle. Ein zusätzlicher Längszug kann das Repositionsergebnis verbessern. Der ventrale Durchhang, bei dem sich der Patient in unbequemer Bauchlage befindet, wird kaum noch eingesetzt.

Wenn die Fraktur eingerichtet ist, wird ein Gipskorsett angelegt. Frakturen zwischen T6 und T8 brauchen zusätzlich einen Minerva-Aufsatz. Ungeeignet für eine Gipsruhigstellung sind Patienten mit

- Adipositas,
- einem Lebensalter über 60 Jahren,
- reduziertem Allgemeinzustand.

Das Gipskorsett sollte alle 4 Wochen gewechselt werden. Die durchschnittliche Ruhigstellungsdauer beträgt 12–16 Wochen.

Fazit

Bis in die späten 1970er Jahre war die konservative Therapie thorakolumbaler Berstungsfrakturen weltweit Standard, und für stabile und wenig instabile Verletzungen gilt dies bis heute. Uneinigkeit besteht lediglich darin, ob eine orthesenfreie Mobilisierung ohne Reposition nach Magnus (1930) oder die Reposition und Fixierung im Gipsmieder nach Böhler (1977) zu bevorzugen ist. Reinhold und Mitarbeiter (2003) haben in einer retrospektiven Studie beide Verfahren miteinander verglichen und gefunden, dass die radiologischen Spätergebnisse in beiden Gruppen gleich waren. Innerhalb von durchschnittlich 16 Jahren hatte die unfallbedingte Kyphose um weitere 5° zugenommen.

Katscher und Josten (2007) z.B. mobilisieren ihre Patienten, die sie konservativ behandeln, nach Rückgang der Akutschmerzen durch adäquate Analgetikagabe bereits am 1. Tag nach dem Unfall. Die Patienten werden dabei von Physiotherapeuten angeleitet. In der Regel wird auf Orthesen oder eine Korsettanlage verzichtet. Aufgrund der bekannten Problematik, so die Autoren, dass hinter einem Teil der A-Frakturen letztlich unerkannte B-Verletzungen stecken, empfehlen sie 3–4 Tage nach Mobilisierungsbeginn eine Röntgenkontrollaufnahme in beiden Ebenen im Stehen durchzuführen. Wenn die Kyphosierung im Vergleich zu den Unfallaufnahmen nicht zugenommen hat, kann die funktionelle Behandlung fortgesetzt werden, andernfalls besteht die Indikation zur operativen Stabilisierung. Obsolet sind langwöchige Ruhigstellungen im Gipskorsett oder im Bett.

Stabile Frakturen des thorakolumbalen Übergangs mit intakter Hinterkante (A1.2) und ohne wesentliche Kyphosierung (<15°) werden laut Katscher und Josten (2007) heutzutage frühfunktionell behandelt. Instabile Läsionen dagegen erfordern eine operative Therapie (s. unten).

Operative Therapie

In den vergangenen 10 Jahren haben sich die Operationsmethoden entscheidend weiterentwickelt. Endoskopische Techniken, Wirbelkörperersatzimplantate und computerassistierte Verfahren haben die Morbidität verringert und die Effektivität der operativen Therapie erhöht. Außerdem wurde immer mehr Augenmerk auf die vordere Säule gelegt. Kombinierte dorsoventrale bzw. rein ventrale Eingriffe haben das isolierte dorsale Vorgehen quantitativ überholt (Blattert et al. 2008), weil nach alleiniger dorsaler Instrumentierung erhebliche Korrekturverluste auftreten können (Knop et al. 2000, Wälchli et al. 2001). Dies hängt mit der Zerstörung der angrenzenden Bandscheiben zusammen. Häufig herniert Nukleusgewebe in die frakturierte Deckplatte. Dann geht nach Entfernung oder bei Versagen der dorsalen Implantate die Aufrichtung verloren. In welchem Ausmaß dies geschehen wird, lässt sich für die so häufige A3.1-Verletzung nicht vorhersagen. Der zu erwartende Korrekturverlust bei alleiniger dorsaler Instrumentierung ist das Hauptargument für eine zusätzliche ventrale Stabilisierung mit Fusion des verletzten Wirbelsäulenabschnitts. Dabei sollten insbesondere im thorakolumbalen Übergang und an der LWS so wenige Segmente wie möglich versteift werden, da die Entwicklung von Anschlussdegenerationen droht.

Während bei den B- und C-Verletzungen die Zerstörung der betroffenen Bewegungssegmente eine Spondylodese erfordert, stellt sich bei der dorsal instrumentierten A3.1-Fraktur die Frage, ob nicht auch ohne zusätzliche ventrale Fusion ein gutes funktionelles Ergebnis entsteht. Diese Frage lässt sich am besten im Ausschlussverfahren beantworten. Folgende postoperative CT-morphologische Kriterien nach dorsaler Instrumentierung sprechen für eine **additive ventrale Spondylodese** des kranialen Bewegungssegments (Badke 2008):

- persistierende Spinalkanalstenose durch dorsal verlagerte Hinterkantenfragmente,
- in den Wirbelkörper herniertes Bandscheibengewebe,
- Vakuumphänomen in der angrenzenden Bandscheibenetage,
- Ungenügende Aufrichtung des Wirbelkörpers.

Indikationen

Absolute Indikationen mit der Notwendigkeit einer dringlichen operativen Versorgung bestehen bei:

- verzögert einsetzenden neurologischen Ausfällen,
- inkompletter Querschnittsymptomatik,
- offener Fraktur.

Die **Indikation zur frühen Versorgung** besteht bei

- kompletter Querschnittsymptomatik zur Erleichterung der Pflege und Beschleunigung der Rehabilitation,

- ausgeprägter Deformierung; die Beseitigung der Fehlstellung, meist eines kyphotischen Knicks, kann insbesondere im thorakolumbalen Bereich chronischen Beschwerden vorbeugen. Je früher die Reposition, umso günstiger (s. unten),
- irreponiblen Frakturen sowie
- drohender verbleibender Instabilität.

Eine **relative Indikation** ist die Spinalkanalstenose (s. unten).

Therapieprinzipien

Wichtigste Maßnahme, um neurologische Ausfälle günstig zu beeinflussen, ist die Dekompression des Rückenmarks. Dies kann auf zweierlei Weise erfolgen: entweder indirekt, indem ein geborstener Wirbelkörper über Ligamentotaxis aufgerichtet wird, oder direkt durch Erweiterung des Spinalkanals von dorsal oder ventral. Allerdings gibt es keine sichere Aussage darüber, ob ein operatives Vorgehen dem konservativen wirklich überlegen ist (Übersicht). Man weiß aber aus Tierversuchen, dass sich nach einer früh durchgeführten Dekompression neurologische Ausfälle zurückbilden. Die in der Übersicht genannten Erkenntnisse, die Art und Weise des operativen Vorgehens steuern, gelten als gesichert (von Aebi 1994).

Wichtige therapeutische Prinzipien bei Operationen der BWS und LWS

- Eine Laminektomie ist nur indiziert, um nervale Strukturen zu dekomprimieren. Eine alleinige Laminektomie erhöht die Instabilität im verletzten Segment und ist dadurch eher geeignet neurologische Ausfälle zu begünstigen.
- Knöcherne Einengungen des Spinalkanals müssen, wenn keine neurologischen Ausfälle bestehen, nicht unbedingt operiert werden, da man von konservativ behandelten Patienten, die initial eine Spinalkanalstenose hatten, weiß, dass die prolabierten Fragmente im Laufe von Jahren häufig resorbiert werden (von Aebi 1994, Blauth et al. 1998). Der Mechanismus dieser Resorption ist nicht geklärt. Bei der Indikationsstellung zur Dekompression kann die räumliche Enge im Bereich der BWS eine Rolle spielen.
- Bei kompletter Querschnittsymptomatik sollte eine etwaige Kompression oder Instabilität der entsprechenden Etage notfallmäßig, möglichst innerhalb der ersten 2–6 h, angegangen werden, weil sich unmittelbar nach einer Rückenmarkverletzung nicht entscheiden lässt, ob der Querschnitt reversibler oder irreversibler Natur ist. Prinzipiell besteht immer die Möglichkeit, dass lediglich eine spinale Kontusion vorliegt. Erst wenn der spinale Schock abgeklungen ist, was am Wiedereinsetzen der Reflexe zu erkennen ist (Bulbuskavernosusreflex), kann man darüber Gewissheit erlangen.
- Unabhängig vom neurologischen Befund sollten dislozierte Kompressionsfrakturen möglichst früh aufgerichtet werden, weil sie sich umso besser entfalten lassen, je weniger das Frakturhämatom organisiert ist.

Vorgehen – Grundsätzliches

Dislozierte, instabile Frakturen sollten möglichst frühzeitig unter Bildwandlerkontrolle reponiert werden, insbesondere dann, wenn eine sofortige operative Versorgung aus organisatorischen Gründen nicht möglich ist. Bis auf wenige Ausnahmen bei speziellen Bruchtypen (verhakte Form) kann man im Allgemeinen durch dosierten Längszug und Unterstützung der LWS-Lordose die Bruchstellung verbessern.

Meist wird von dorsal vorgegangen. Die Reposition erfolgt indirekt über eine dorsale Instrumentierung, die mit einem Stabsystem oder einem Fixateur interne vorgenommen wird. Die Systeme werden in den Pedikeln und den Wirbelkörpern verankert (s. unten). Die Reposition erfolgt durch Ligamentotaxis, die bei intakten Bändern durch Distraktion entstehen kann.

Das Repositionsergebnis und die Weite des Spinalkanals werden mit dem Bildwandler durch Beurteilung des Alignments der Hinterkanten geprüft. Dabei können insbesondere bei adipösen Patienten und im Bereich der BWS die Sicht und damit auch die Beurteilbarkeit durch Überlagerung beeinträchtigt sein. Bei unklarem Befund gibt es 3 Möglichkeiten (in der Reihenfolge der Häufigkeit ihrer Anwendung geordnet):

- Anfertigen einer CT postoperativ
- Blauth et al. (1998) empfehlen die sonografische Beurteilung des Spinalkanals über ein kleines Fenster in der Lamina.
- Von Aebi (1994) bevorzugt die intraoperative Myelografie mit wasserlöslichem Kontrastmittel: Das Kontrastmittel kann bereits vor der Reposition intrathekal gespritzt werden. Dann wird das Alignment des knöchernen Spinalkanals durch Distraktion wiederhergestellt und erneut geröntgt. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass okkulte Duralecks sichtbar werden. Nachteilig ist, dass man a.p., seitlich und schräg röntgen muss, damit man umspülte prolabierte Fragmente nicht übersieht.

Wenn nach der Reposition immer noch eine signifikante Einengung des Spinalkanals besteht, kann man diese durch eine partielle oder komplette Hemilaminektomie bis hin zur Laminektomie durch Zurückstößeln der Fragmente beseitigen. Während man im Bereich der Cauda equina den Duralsack etwa bis zur Mittellinie beiseite halten kann und dadurch einen guten Zugang zu den prolabierten Hinterkantenfragmenten hat, darf im Bereich der BWS und des Conus medullaris der Duralsack nicht verschoben werden. Man muss in diesem Bereich die Laminektomie nach lateral erweitern bzw. ein- oder zweizeitig von ventral dekomprimieren (s. unten).

Alternativ kann zweizeitig und seltener auch primär von ventral vorgegangen und dekomprimiert werden. Eine Fusion des entsprechenden Abschnitts mit oder ohne zusätzliche Stabilisierung schließt sich an. Bei dorsal liegendem Stabsystem oder Fixateur interne und ventral fest verkeiltem Knochenblock herrscht in der Regel so viel Stabilität, dass auf ein zusätzliches, von ventrolateral eingebrachtes Implantat verzichtet werden kann. Nur bei verbleibender Instabilität wird zusätzlich ein rotations- und winkelstabiles Schrauben-Stab-System eingesetzt (s. unten).

Wir bevorzugen die ventrale Fusion statt der transpedunkulären Spongiosaplastik nach Daniaux (1986), für die überdies zwischenzeitlich nachgewiesen wurde, dass sie eine fortschreitende Kyphosierung nicht verhindern kann.

Besonderheiten bei BWS-Verletzungen

Da die BWS zwischen T1 und T10 in den knöchernen Thorax eingebunden ist, bietet sich in diesem Bereich die funktionelle Behandlung an. Von Aebi (1994) hält (zwischen T1 und T9) den Einsatz des Korsetts für verzichtbar und empfiehlt die paravertebrale und die abdominelle Muskulatur isometrisch zu stärken, denn in den meisten Fällen sintern komprimierte Wirbel nicht nach, da sie relativ stabil sind. Zur Festigkeit frakturierter Wirbel hat Plaue (1972) interessante Versuchsreihen unternommen und gefunden, dass bei Erwachsenen bis zum 50. Lebensjahr BWK und LWK mit frischen Kompressionsfrakturen in der Regel noch mindestens 60–70% ihrer

ursprünglichen Tragfähigkeit besitzen und dass Wirbelkörper, die so stark komprimiert wurden, dass sie nur noch die Hälfte ihrer Ausgangshöhe haben, sogar genauso tragfähig wie im unversehrten Zustand sind.

Ein lokaler kyphotischer Knick der BWS ab 30–40° und mehr kann jedoch zu einer sekundären Dekompensation im Bereich der lumbalen und zervikalen Lordose und damit zu hartnäckigen Beschwerden führen. Deshalb wird empfohlen (von Aebi 1994), solche Fehlstellungen zu reponieren. Laut Blauth et al. (1998) sollten A2-Frakturen mit einer Höhenminderung der Vorderwand von >50% wie inkomplette Berstungsbrüche (A3.1) operativ stabilisiert werden, da im Bereich der thorakalen Wirbelsäule ein Gipskorsett mit einem Minerva-Aufsatz kombinieren müsste, um das Repositionsergebnis halten zu können, und dies über einen langen Zeitraum von 12–16 Wochen.

Wenn die dorsale Säule beteiligt ist, kann sich ein ausgeprägter Gibbus entwickeln. B-Frakturen müssen deshalb auch in dieser Etage häufig stabilisiert werden. Die maximal instabilen C-Verletzungen, bei denen alle vertikal verlaufenden Bänder gerissen sind, werden inzwischen fast grundsätzlich operativ versorgt.

Dorsales Vorgehen

Dekompression

Die posterioren knöchernen Strukturen des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts werden zunächst über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) exponiert. Wenn Fragmente aus den posterioren ossären Elementen das Rückenmark von dorsal komprimieren, was in seltenen Fällen vorkommt, werden diese entfernt.

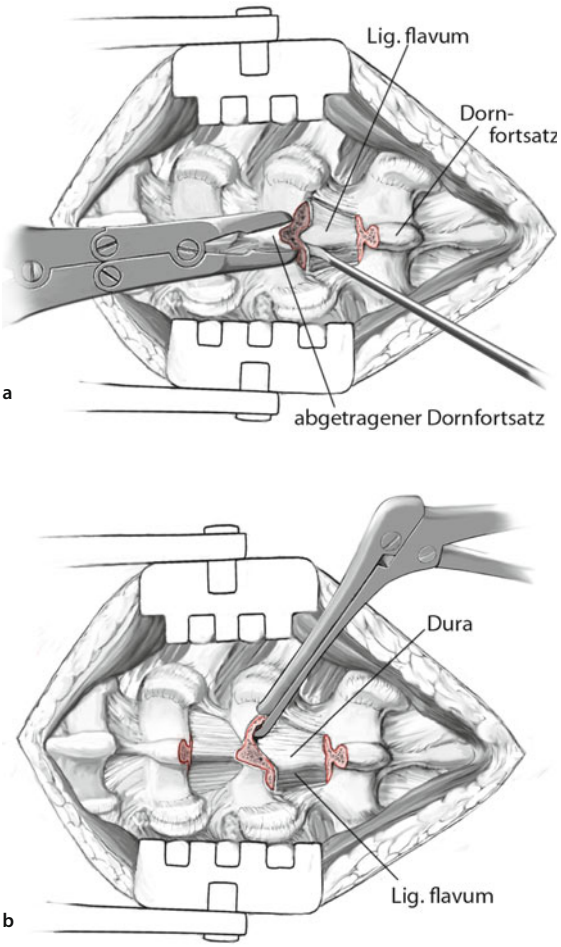
Über eine rechts- oder linksseitige Hemilaminektomie gelangt man zum Spinalkanal und kann prolabierte Hinterkantenfragmente nach vorne stößeln. Dazu wird die Lamina bis auf eine dünne kortikale Lamelle mit dem Luer oder einer Kugelfräse ausgedünnt und dann an einer Stelle vorsichtig perforiert. Nun lässt sie sich leicht mit Stanzen schrittweise abtragen. Man kann aber auch nur mit Luer und Stanzen arbeiten, ohne die Lamina vorher auszudünnen. Lumbal kann der Spinalkanal über eine Flavektomie eröffnet werden. Der geschaffene Zugang wird dann wiederum mit Stanzen erweitert (◘ Abb. 4.49 a, b).

Bis einschließlich der Höhe des Konus darf man den Duralsack nicht zur Seite halten, was distal von L1 im Bereich der Kauda schon möglich ist. Deshalb muss man kranial davon ggf. den Zugang über eine Kostotransversektomie (▶ Kap. 21, Standardzugänge) erweitern, um prolabierte Hinterkantenfragmente zurückzustößeln (◘ Abb. 4.50). Die Hinterkantenfragmente lassen sich nur dann reponieren, wenn zuvor der komprimierte Wirbelkörper aufgerichtet wurde. Dies erreicht man zum einen durch die Reposition, die vor dem Eingriff bei der Lagerung des Patienten durchgeführt wird, und zum andern durch Instrumentierung der Gegenseite.

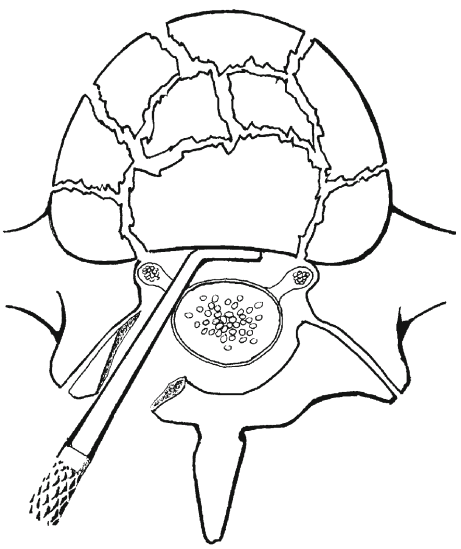
Dorsale Instrumentierung

Für die Versorgung von dorsal eignet sich am besten ein Stabsystem oder ein Fixateur interne. Vorteil dieser Systeme ist, dass man kurzstreckig fusionieren kann und dadurch nur einen geringen Teil der beweglichen Säule versteift. Im besten Fall genügt eine monosegmentale Montage zwischen dem verletzten und dem darüber liegenden Wirbel. Meist ist jedoch eine bisegmentale Montage nötig, wenn die Schrauben im frakturierten Wirbel keinen sicheren Halt finden (◘ Abb. 4.51).

Nur selten müssen mehr als 2 Segmente einbezogen werden, und zwar bei hochgradig instabilen Frakturen vom Typ C, insbe-



◘ **Abb. 4.49a,b** Laminektomie. **a** Entfernung des Dornfortsatzes und Ausdünnung der Lamina mit dem Luer. Mit dem Dissektor wird das Ligamentum flavum abgeschoben. **b** Durch Einsatz einer Knochenstanze kann die Laminektomie erweitert werden. (Aus: Kohn u. Pohlemann 2010)



◘ **Abb. 4.50** Dekompression eines prolabierten Hinterkantenfragments mit Hilfe eines L-förmigen Stößels über ein Laminafenster. (Aus: Blauth et al. 1998)

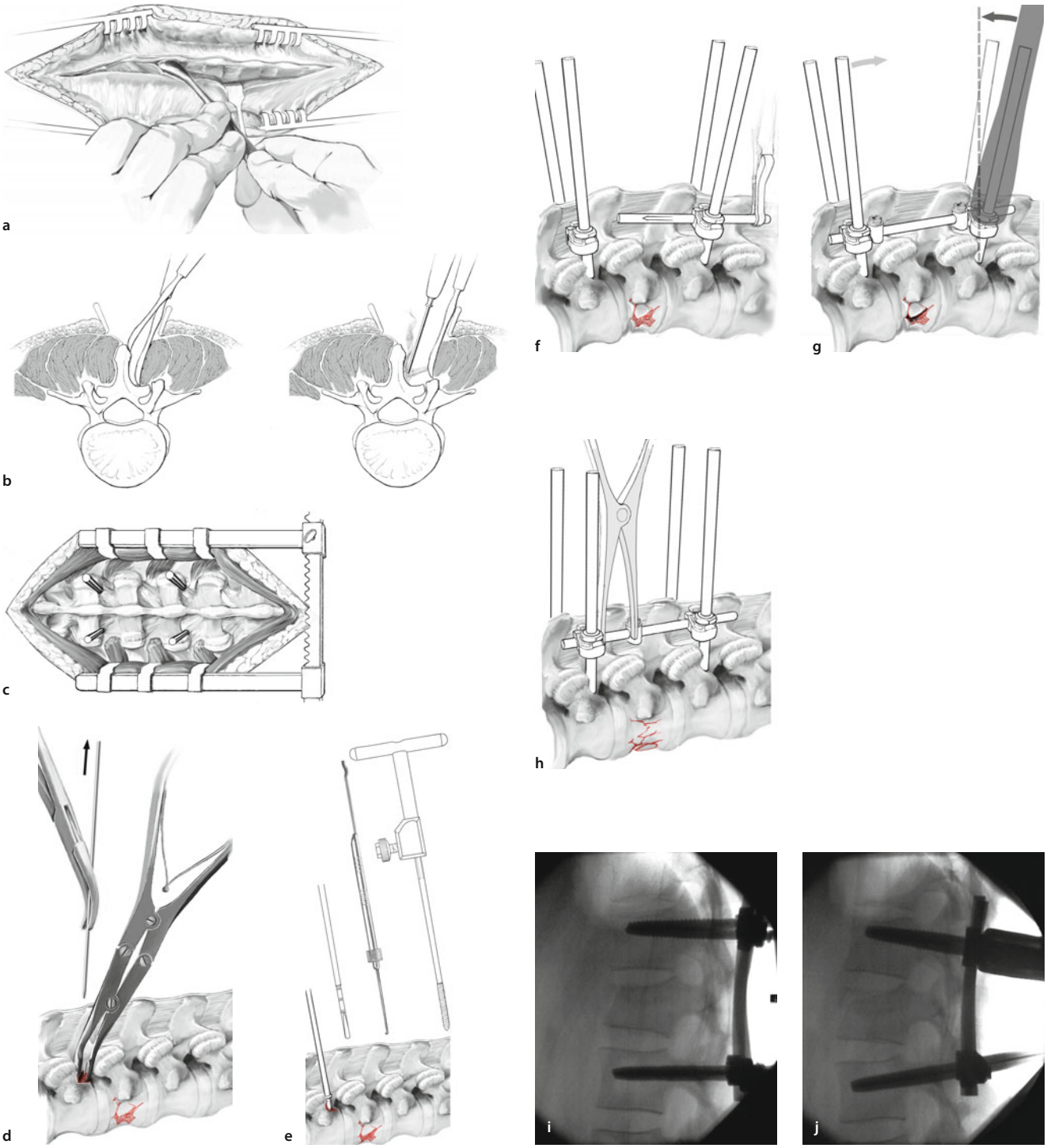


Abb. 4.51a–j Dorsale Instrumentierung. **a,b** Nach Ablösung der Fascia thoracolumbalis von den Dornfortsätzen wird die autochthone Rückenmuskulatur subperiostal mobilisiert. **c** Sehnige Ursprünge werden mit dem Elektrokauther durchtrennt. Zur Blutstillung wird die entstandene Wundhöhle vorübergehend mit Streifen tamponiert und später selektiv elektrokoaguliert. Anschließend wird ein Wundspreizer gesetzt. **d,e** Für das Einbringen von Schanz-Schrauben unter Bildwandler wird zunächst der Markierungs-K-Draht entfernt, dann die Eintrittsstelle mit dem Luer dekortiziert. Anschließend wird mit einem kurzen Pfriem und einer Ahle der Kanal für die Pedikelschraube vorgeformt. Dann erfolgt einer Längenmessung. Die Schraubenlänge wird so gewählt, dass ihre Spitze die ventrale Kortikalis nicht erreicht. Mit dem Messgerät wird der geschaffene Kanal nach allen Seiten ausgetastet, indem man mit seiner gebogenen Spitze an den Wänden entlangkratzt. Auf diese Weise kann man prüfen, ob der Kanal vollständig innerhalb des Knochens verläuft. Durch Setzen eines leichten Schlags auf das Instrument, spürt man spüren, ob der Kanalboden aus Knochen besteht. **f** Dann werden die Pedikelschrauben eingedreht. **g** Setzen eines moderat lordotisch vorgebogenen Längsstabs zu beiden Seiten. Reposition durch Lordosierung der verletzten Etage unter Bildwandlerkontrolle. Ein Kompressionseffekt kann durch vorheriges Setzen von Fixationsschellen verhindert werden. Damit der Sitz der einzelnen Schrauben nicht überlastet wird, nimmt man die Lordosierung auf beiden Seiten gleichzeitig vor. **h** Nach dem Festziehen der Verbindungsmuttern an den Pedikelschrauben können die Fixationsschellen neu positioniert werden. Anschließend kann man durch Einsatz einer Spreizzange die verletzte Etage ggf. noch weiter distrahieren. **i** Komprimierter Wirbelkörper vor der Distraktion des Fixateurs, **j** deutliche Aufrichtung danach. (Aus: Kohn u. Pohlemann 2010)

sondere im BWS-Bereich, weil hier größere Hebelkräfte wirken. Gleiches gilt für die komplett eingesteifte Wirbelsäule des Bechterew-Patienten (s. unten). Stabsysteme und Fixateure tragen etwas auf, weshalb sie sich im Bereich der oberen BWS (T1 bis etwa T4) oder bei Patienten mit dünnem Weichteilmantel nicht eignen. Hier muss man auf schlankere Implantate ausweichen.

Zunächst sucht man die Pedikel der angrenzenden Wirbel auf und bestückt sie mit Pedikelschrauben. Die Orientierung erleichtert ein Wirbelsäulenmodell. Man kann daran die Eintrittspunkte für die Schrauben und die Lokalisation der Knochenanlagerung für die dorsale Spondylodese überprüfen.

Pedikeleintrittspunkte und -richtung

An entsprechender Stelle wird nun der Knochen mit einer Pedikeleröffnungsahle punktuell aufgebrochen. Dabei wird die korrekte Lage mit dem seitlich eingestellten, in die Abdeckung integrierten Bildwandler überprüft. Dann wird der Kanal für die Pedikelschraube mit der Pedikelvertiefungsahle ebenfalls unter Bildwandlerkontrolle präformiert. Der Operateur treibt die Ahle in den spongiösen Knochen des Pedikels durch leicht rotierende Bewegungen unter Druck vor. Dabei stützt man die Arbeitshand mit der Gegenhand ab, um nicht abzurutschen, falls man eine Via falsa schafft. An der Art des Widerstandes spürt der Operateur, ob er sich im spongiösen Knochen bewegt, kortikalen Widerstand hat oder sich in den Weichteilen befindet. Der richtige Eintrittspunkt und die räumliche Ausrichtung von Pedikelschrauben variieren in Abhängigkeit von der Etage (◘ Tab. 4.3, ◘ Abb. 4.52).

T1–T11. An der thorakalen Säule wird der Eintrittspunkt am leicht palpablen Oberrand des Querfortsatzes gewählt. Die Kortikalis eröffnet man in Höhe seiner Basis etwa 0,5 cm lateral des Übergangs zur Lamina, dem tiefsten Punkt einer hier gelegenen knöchernen Mulde entsprechend (Blauth et al. 1998). Dieser Punkt ist bewusst etwas lateral versetzt zur Pedikelachse gewählt, um die Schraubenlage konvergierender ausrichten zu können als es durch die anatomischen Verhältnisse vorgegeben ist. Eine konvergierende Schraubenlage bringt mehr Stabilität, weil der Weg der Schraube im Knochen länger ist und dadurch mehr Halt bietet, und weil die Gesamtkonstruktion bei konvergierender Schraubenlage gegenüber Scher- und Rotationskräften stabiler ist als bei sagittaler. Die Gefahr, dass man die Pedikelkortikalis medial durchbricht und in den Spinalkanal gerät, ist gering, weil die Kortikalis medial 2- bis 3-mal dicker ist als lateral. Deshalb ist eher damit zu rechnen, dass die Schraube lateral ausbricht als medial perforiert (Blauth et al. 1998).

T12. Der 12. BWK hat einen besonders großen Processus mamillaris an der Basis des oberen Gelenkfortsatzes. Der richtige Eintrittspunkt liegt in der Mitte des vertikal ausgerichteten knöchernen Grades. An dieser Stelle eröffnet man die Kortikalis entweder mit dem Luer oder der Ahle. Dann sucht man sich mit der Vertiefungsahle unter Bildwandlerkontrolle den Weg in den Pedikel hinein. Die Richtung entspricht der an den darüber liegenden Wirbeln.

L1–L5. Der Eintrittspunkt liegt am äußeren, kaudalen Aspekt des Processus articularis superior in etwa über der Mitte der Querfortsatzbasis. Die sagittale Ausrichtung wird unter Bildwandler kontrolliert.

S1. In dieser Etage können die Pedikelschrauben sowohl konvergierend als auch divergierend ausgerichtet werden. Bei konvergierender Lage liegt der Eintrittspunkt in einer knöchernen Grube an der lateralen Basis des oberen Gelenkfortsatzes von S1, bei divergierender etwas weiter medial (Blauth et al. 1998).

Nachdem die Schraubenkanäle mit der Ahle präformiert sind, überprüft man, ob der Kanal im Pedikel verläuft. Dazu eignet sich das Längenmessgerät, mit dessen Haken man Perforationen der Kortikalis aufspüren kann. Zugleich wird die benötigte Schraubenlänge gemessen. Die Schraubenspitzen sollen im Wirbelkörper enden und dessen ventrale Kortikalis nicht überragen, damit keine vasalen Strukturen arrodiert werden. Die Schraubendicke richtet sich nach der Etage. Für die thorakale Säule verwendet man 5 mm, ab dem 12. Brustwirbel 6 mm dicke Schrauben.

Reposition

Beim Universal-Spine-System werden die Längsstäbe in seitlich liegende, halbkreisförmige Ausschnitte der Pedikelschraubenköpfe eingefügt und mit einer übergestülpten Hülse, die mit einer Mutter fixiert wird, in 90°-Stellung miteinander winkelstabil arretiert. Weil der Winkel zwischen Pedikelschraube und Längsstab vorgegeben ist, müssen die Stäbe durch Vorbiegen den anatomischen Gegebenheiten angepasst und die gewünschte Korrektur bei der Formgebung mitbedacht werden. Mitunter ist es schwierig, die Stäbe in die vorgegebene Schraubenöffnung zu schieben. Dafür gibt es spezielle Zangen, die die Montage, bei der ja indirekt reponiert wird, erleichtern.

◘ **Tab. 4.3** Synopse der Eintrittspunkte und räumlichen Ausrichtung von Pedikelschrauben in Abhängigkeit zur Etage

Etage	Eintrittspunkt	Räumliche Ausrichtung
T1–T11	3 mm unter der Mitte der oberen Gelenkfläche (Louis 1987) bzw. am Oberrand des Querfortsatzes lateral der gedachten Mittellinie des Gelenks (Blauth et al. 1998)	10–20° konvergierend 5–10° kaudal geneigt
T12	Mitte des Processus mamillaris	10–20° konvergierend 5–10° kaudal geneigt
L1–L5	Schnittpunkt zwischen senkrechter und S-förmiger Hilfslinie; die Senkrechte liegt zwischen lateralem Rand der oberen Gelenkfortsätze und der lateralen Begrenzung der Laminae; das S verläuft entlang dem lateralen Rand des Gelenkfortsatzes nach kaudal zur Begrenzung der Lamina	10–20° konvergierend 5–10° kaudal geneigt
S1	Konvergierende Schraubenlage: knöcherne Grube lateral der Basis des oberen Gelenkfortsatzes von S1	20–30° konvergierend oder 45° divergierend
	Divergierende Schraubenlage: etwas medial dieser Grube	45° kaudal geneigt

Indem man die Längsstäbe lordotisch vorformt, richtet man den komprimierten Wirbelkörper auf und gleicht damit auch den kypotischen Knick aus. Ob man zusätzlich distrahiert, hängt davon ab, wie stark der verletzte Wirbelkörper komprimiert ist und ob ein skoliotischer Knick besteht. Grundsätzlich sollte man jedoch mit der Distraktion zurückhaltend sein, weil man u.U. nur Hohlräume schafft, die nach der Implantatentfernung wieder nachsintern würden (Blauth et al. 1998).

Die Montage eines Querverbinders erhöht die Stabilität des Systems. Bei mono- und bisegmentaler Montage wird einer, bei längerstreckigerer werden 2 Querverbinder verwendet (Abb. 4.53).

Der Eingriff wird mit einer dorsalen Spondylodese abgeschlossen. Dazu entknorpelt man die Zwischenwirbelgelenke mit einem kleinem Meißel oder Luer, deperiostiert die Laminae und raut deren Kortikalis auf. Anschließend werden Spongiosachips aus dem dorsalen Beckenkamm entnommen (▶ Kap. 21, Standardzugänge)

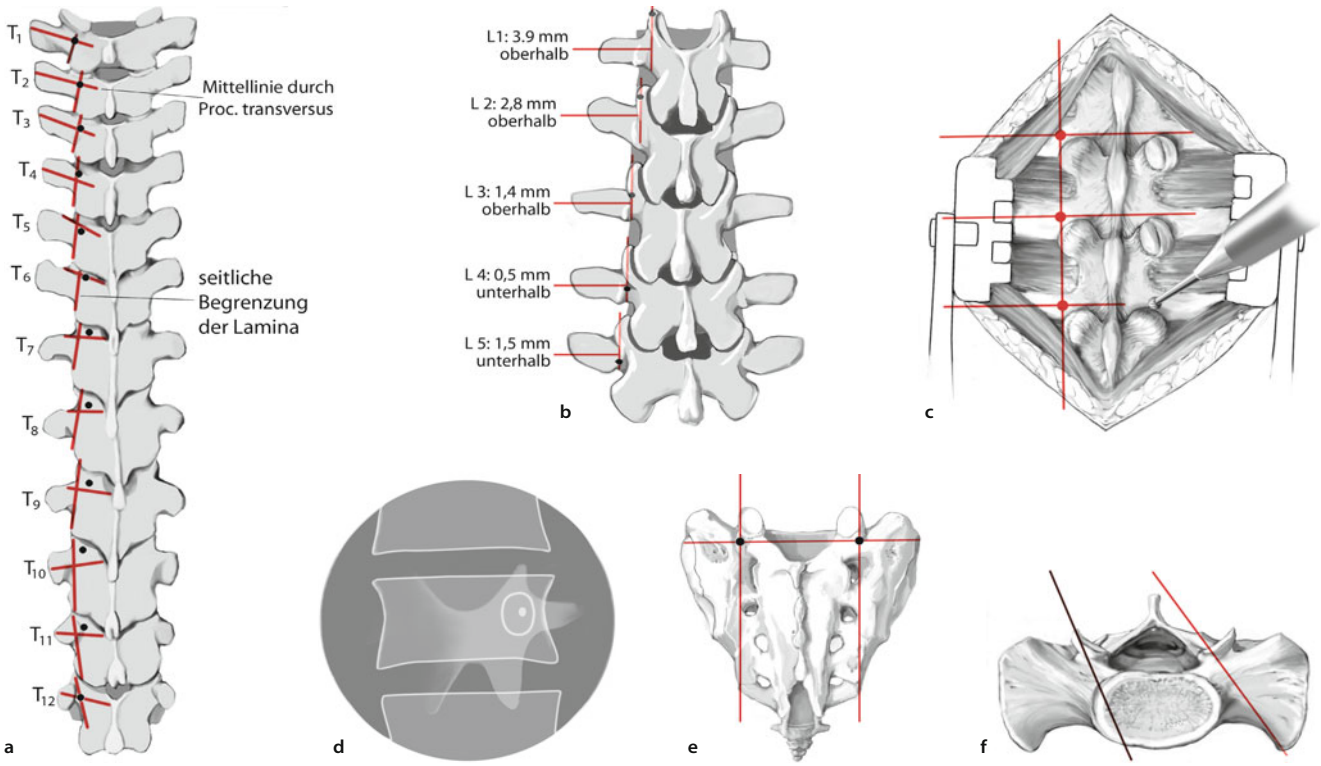


Abb. 4.52a–f Die Eintrittspunkte für die Pedikelschrauben. **a** An der BWS. **b** An der LWS. **c** Das Eröffnen mit der Fräse verhindert ein Abrutschen des Pfriems. **d** Die orthograde Einstellung des Bidwandlers führt zur punktförmigen Abbildung des K-Drahts im Zentrum des Pedikelquerschnitts. **e,f** Am Sakrum; mögliche Ausrichtungen der Pedikelschrauben im Sakrum. (Aus: Kohn u. Pohlemann 2010)

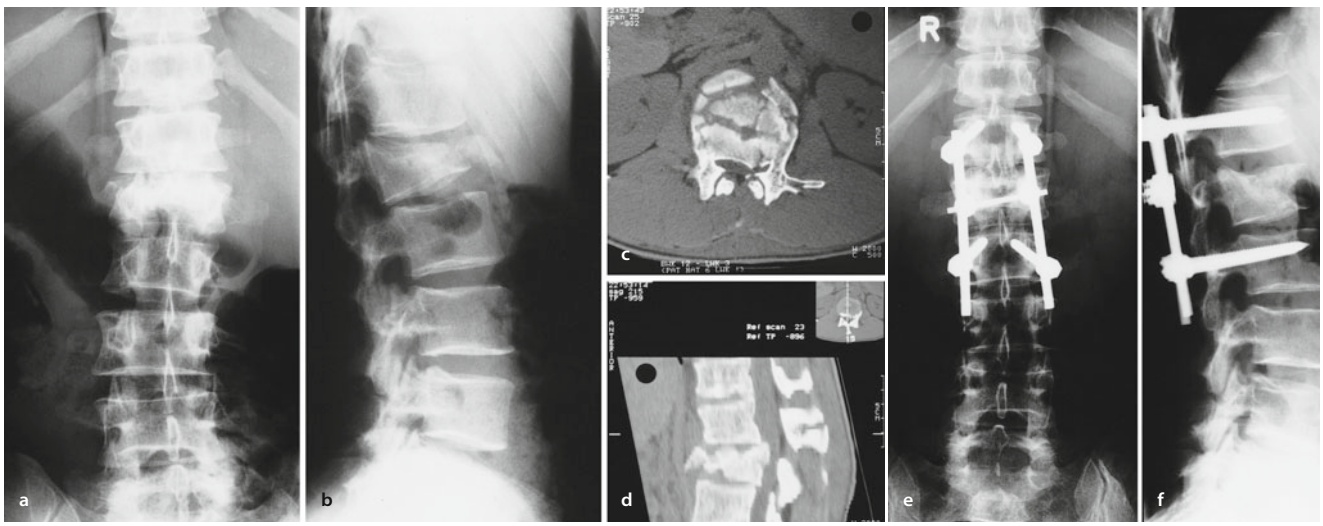


Abb. 4.53a–f 35-jähriger Patient mit Rotationsberstungsbruch (Typ C1.3) an LWK-2-Fraktur. **a, b** Unfallbilder. **c, d** Schnittbilder. **e, f** Röntgenkontrolle nach dorsaler Instrumentierung

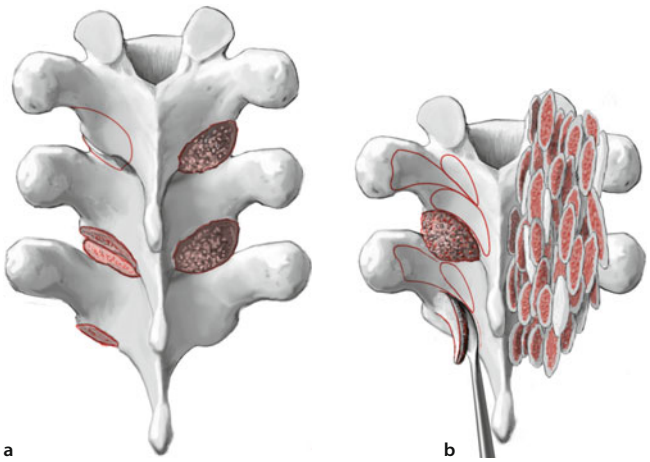


Abb. 4.54a,b Technik der dorsalen Spondylodese. **a** Die Zwischenwirbelgelenke werden mit dem Luer aufgebrochen und die Kortikalis der Laminae aufgeraut. **b** Anschließend werden Spongiosachips aus dem Beckenkamm angelagert. (Aus: Kohn und Pohlemann 2010)

und in die entknorpelten Gelenke und an die vorbereiteten Laminae angelagert (Abb. 4.54). Katscher und Josten (2007) beschränken sich darauf, die Facettengelenke der Segmente, die definitiv versteifen sollen, mit dem Luer aufzubrechen, um eine sekundäre Verknöcherung und Spondylodese anzuregen. Die Autoren verweisen dabei darauf, dass die Wirksamkeit der zusätzlichen Spongiosaanlagerung umstritten ist.

Alle herkömmlichen internen Fixateure erfordern einen dorsalen Zugang mit Ablösung und Verdrängung der Rückenmuskulatur zu beiden Seiten. Dies führt zu Blutungen und Störungen der muskulären Innervation. Grass und Mitarbeiter (2006) berichten über einen prospektiven Vergleich zwischen offenem und perkutanem Vorgehen. Die Autoren fanden in der Gruppe der offen operierten Patienten einen wesentlich höheren Blutverlust von durchschnittlich 870 ml im Vergleich zu 43 ml in der Gruppe der perkutan versorgten. Außerdem zeigte sich bei den offen Operierten elektrophysiologisch eine Schädigung der Rückenmuskulatur. Letzteres steht in Einklang mit den ausgedehnten Vernarbungen, die man im Rahmen von Implantatentfernungen häufig vorfindet (Park, Ha 2007). Große Schnitte über den Dornfortsätzen sind schmerzhaft und kosmetisch beeinträchtigend.

Perkutanes Vorgehen

Inzwischen gibt es modifizierte interne Fixateure, die eine perkutane Instrumentation über kleine Hautinzisionen ermöglichen und dadurch die Schädigung der Muskulatur minimieren. Auf diese Weise lassen sich mono- bis mehrsegmentale Fusionen realisieren. Die Fusionen werden mit Anlagerung von Knochen oder Ersatzmaterial kombiniert. Man spricht in Abhängigkeit vom Zugangsweg in diesem Zusammenhang von ALIF (anterior lumbar interbody fusion), TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) oder PLIF (posterior lumbar interbody fusion). Die Vorteile bestehen im geringeren Blutverlust und im geringeren Schmerzmittelverbrauch als beim offenen Verfahren, die Nachteile in höheren Implantatkosten (Wimmer 2008).

Beispiel Expedium LIS (DePuy Spine Johnson & Johnson, USA). C. Wimmer (2008) hat das **Vorgehen** detailliert beschrieben. Für den Eingriff wird der Patient am besten unter Einsatz von 2 Bildwandlern gelagert (Abb. 4.55a). Mit Hilfe der beiden Bildwandler werden die geplanten Inzisionsstellen für das spätere Einbringen der Pedikelschrauben unter Berücksichtigung der konvergierenden Schraubenrichtung auf der Haut markiert (Abb. 4.55b). Dann werden Haut und Faszie in Längsrichtung etwa 1,5 cm weit inzidiert und eine Jamshidi-Nadel unter Bildwandlerkontrolle in beiden Ebenen in den Pedikel bis in das hintere Drittel des Wirbelkörpers eingebracht (Abb. 4.55c). Der Mandrin der Jamshidi-Nadel wird gegen einen Führungsdraht getauscht und über das Nadelende so weit vorgeschoben, dass dessen Spitze etwa 1,5 cm tiefer als das Nadelende im Knochen zu liegen kommt und damit sicher verankert ist. Dann wird die Jamshidi-Nadel entfernt und ein 7-mm-Dilatator eingebracht und darüber ein Trokar für die spätere Pedikelpräparation positioniert. Dann kann der 7-mm-Dilatator unter Sicherung des Führungsdrahts und des Trokars wieder entfernt werden (Abb. 4.55d). Nun wird ein selbstbohrender kanülierter Gewindeschneider über den Führungsdraht in den Trokar gesteckt und unter Bildwandlerkontrolle der Kanal für die Pedikelschraube präfomiert. Dabei hält man wiederum einen Sicherheitsabstand zur Spitze des Führungsdrahtes von 10–15 mm ein, um dessen stabilen Sitz nicht zu lockern. Die benötigte Länge der Pedikelschraube lässt sich am Gewindeschneider ablesen. Abhängig davon, ob später eine 6 mm oder 7 mm starke Schraube verwendet werden soll, kommt ein jeweils 1 mm dünnerer Gewindeschneider zum Einsatz (Abb. 4.55e).

Nun werden Schraubenverlängerungen montiert. Beim perkutanen Verfahren über ein Segment werden eine offene und eine geschlossene Schraubenverlängerung als Standard verwendet, die offene kaudal, die geschlossene kranial. Kurze offene Verlängerungen empfehlen sich für bis zu 60 mm dünne Weichteilmäntel, lange für dickere >60 mm. Die Schrauben werden mit Hilfe eines speziellen Blocks mit ihren Verlängerungen und anschließend mit dem Schraubendreher verbunden (Abb. 4.55f). Dann wird die Schraubeneinheit über den Führungsdraht unter Bildwandlerkontrolle eingedreht und der Führungsdraht entfernt (Abb. 4.55g). Die Pedikelschraube darf nicht zu weit eingedreht werden, damit der Schraubenkopf noch so viel Bewegungsfreiheit hat, um seine Polyaxialität nutzen zu können. Außerdem sollten die Schraubenenden im gleichen Niveau mit ausreichendem Abstand zum Knochen liegen, damit später die Längsstäbe ungehindert eingesetzt werden können. Der Schraubendreher wird gegen den Uhrzeigersinn entfernt und der Trokar dabei mit der Gegenhand abgestützt. Mit Messzirkel und Messblock wird die Stablänge bestimmt. Der Messzirkel wird in die kraniale und kaudale Schraubenverlängerung eingeführt und dessen Weite mit der oben am Zirkel angebrachten Schraube markiert (Abb. 4.55h). Dann wird der Zirkel in den Messblock gestellt und die benötigte Größe des Längsstabs ermittelt. Nun montiert man den Längsstab auf den Stabeinbringer. Die Linie des Stabs muss dabei exakt auf die des Setzinstruments zentriert werden. Wenn das Anzuginstrument zu fest angezogen wird, kann der Stab brechen. Beim Setzen des Längsstabs müssen die Öffnungen der Schraubenverlängerungen in einer Flucht ausgerichtet werden. Der Pfeil auf der geschlossenen Schraubenverlängerung muss zur offenen zeigen. Der Längsstab wird dann in die geschlossene Schraubenverlängerung gesteckt. Anschließend wird der Griff des Stabeinbringers über die Verlängerung der kaudalen Pedikelschraube bis zur Verlängerung der kranialen geführt. Liegt die Tiefenmarkierung des Stabeinbringers mit der 0-Markierung der Oberkante der offenen Schraubenverlängerung an, sitzt der Stab vollständig im proximalen Schraubenkopf (Abb. 4.55i).

Nun wird eine Madenschraube, mit der die Polyaxialität der Verlängerungsstücke der Pedikelschrauben blockiert werden soll, mit einem Setzinstrument eingebracht. Dabei werden die Maden-

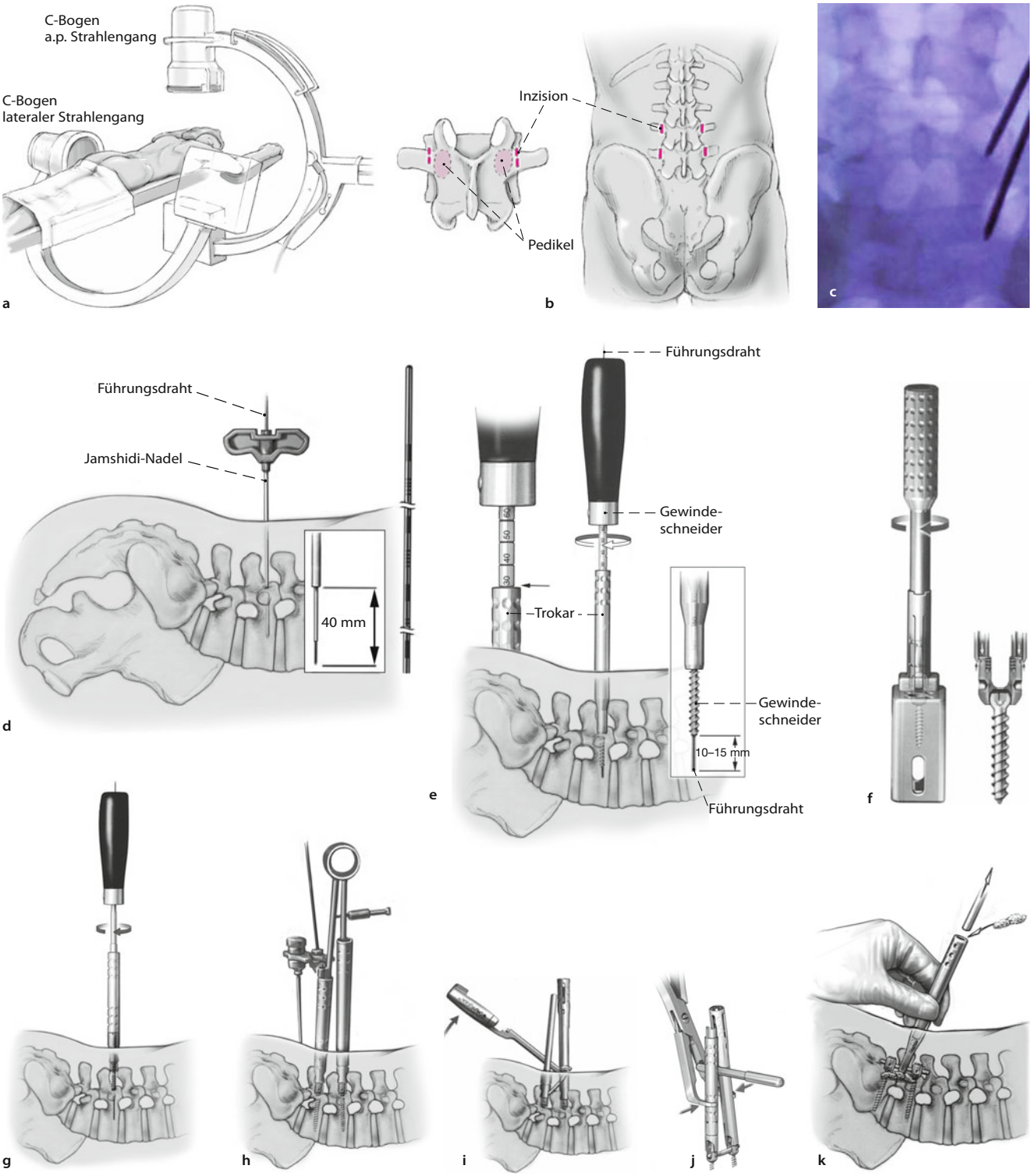


Abb. 4.55a–k Perkutane dorsale Instrumentierung (Einzelheiten im Text). **a** Lagerung des Patienten mit 2 Bildwandlern. **b** Markierung der Haut. **c** Einbringen einer Jamshidi-Nadel unter Bildwandlerkontrolle. **d** Der Mandrin der Jamshidi-Nadel wird gegen einen Führungsdraht getauscht. **e** Die benötigte Länge der Pedikelschraube lässt sich am Gewindeschneider ablesen. **f** Die Schrauben werden mit Hilfe eines speziellen Blocks mit ihren Verlängerungen und dem Schraubendreher verbunden. **g** Die Pedikelschraube wird eingedreht. **h** Mit dem Messzirkel wird die Stablänge bestimmt. **i** Der Stab wird in die Verlängerung der kaudalen Pedikelschraube eingeführt. **j** Kompression unter Anwendung des so genannten T-Bars. **k** Spongiosaplastik über den Trokar. (Aus: Wimmer 2008)

schrauben zunächst nur locker angedreht, um vor dem definitiven Festziehen ggf. noch die Reposition verbessern zu können. Nach Entfernung der Stabeinbringer wird unter Verwendung einer großen Zange, die an den Schraubenverlängerungen angesetzt wird, reponiert. Dabei kommt ein Hypomochlion zum Einsatz, der so genannte T-Bar. Wenn er oberhalb der Zange positioniert wird, kann man komprimieren und im umgekehrten Fall distrahieren (Abb. 4.55j). Zuletzt werden die Madenschrauben unter Einsatz eines Gegenhalters mit einem Drehmomentschlüssel blockiert. Dann werden die Schraubenverlängerungen entfernt und der Eingriff mit einer Spongiosaplastik in Form einer ALIF (anterior lumbar interbody fusion) oder PLIF (posterior lumbar interbody fusion) abgeschlossen (Abb. 4.55k).

Beispiel Sextant (Fa. Medtronic Sofamor Danek). Die Schwierigkeit beim rein perkutanen Vorgehen besteht häufig darin, die Längsträger zielgenau in die Halterungen der Pedikelschrauben einzuführen. Dieses Problem wurde laut Prokop und Mitarbeiter (2009) z.B. mit dem Sextant gelöst. Die Pedikelschrauben sind kanüliert und werden über Zieldrähte eingedreht. Die beiden Längsträger können anschließend über einen kreisbogenförmigen Zielbügel, der mit den Pedikelschrauben fest verbunden ist, schnell und zielsicher perkutan in die Halterungen der Pedikelschrauben vorgeschoben werden (Abb. 4.56).

Abb. 4.56 Sextant, montiert an Pedikelschrauben, dadurch lässt sich der Längsstab zielsicher einführen. (Aus: Prokop et al. 2009)

Prokop und Mitarbeiter (2009) haben einen herkömmlichen internen Fixateur (USS II Fa. Synthes) mit dem Sextanten verglichen. Die mittlere Schnitt-Naht-Zeit betrug bei der herkömmlichen Operationstechnik 91 min gegenüber 42 min bei der minimalinvasiven. Die Dauer des stationären Aufenthalts betrug 15 gegenüber 11 Tage. Und auch die Schmerzsituation, bemessen anhand der visuellen Analogskala, ließ sich von präoperativ 6,1 Punkten auf 1,4 Punkte postoperativ eindrucksvoll senken.

Die Autoren kommen aufgrund ihrer Erfahrungen zu folgendem Schluss: Die perkutane Instrumentierung der Pedikel unter Röntgenkontrolle über einen Zieldraht erlaubt eine sichere und schonende Applikation kanülierter Schrauben ohne relevanten Blutverlust mit drastischer Verkürzung der Operationszeit. Die Implantate sind zwar teuer, amortisieren sich aber durch kürzere Operationszeiten und stationäre Aufenthalte (Abb. 4.57).

Die Reposition wird durch die Lagerung des Patienten im ventralen Durchhang und durch die Möglichkeit einer begrenzten Distraktion durch das Festziehen der Schrauben mit gleichzeitiger Aufhebung der Polyaxialität erreicht. Allerdings besteht hierbei nur ein geringes Ausmaß an Repositionsumfang. Dies ist der Nachteil im Vergleich zu den nichtpolyaxialen Systemen. In solchen Fällen kann man, laut Prokop et al. (2006) auf einen Longitude-Fixateur (Fa. Medtronic) umsteigen, mit dem die Längsträger ebenfalls perkutan eingeschoben werden. Von extern kann die verletzte Etage über die Schraubendreher oder über Spanner distrahiert werden. Bei einer Kyphose über 30° oder wenn sich die Fraktur bei der Lagerung zur Operation nicht ausreichend reponiert, verwenden die Autoren das Sextant-System nicht. Neben der eingeschränkten Möglichkeit zur Distraktion fehlt auch die Nutzung einer Querstange zur Stabilisierung einer Rotationsverletzung (Typ C). Eine weitere Grenze des Systems ist durch die maximal zu überbrückende Länge von 110 mm vorgegeben. Somit lassen sich bis zu 3 Bewegungssegmente mit 4 Wirbeln überbrücken.

Auch die Implantatentfernung ist über die perkutanen kurzen Zugänge möglich. Allerdings sollten die Deckelschrauben immer erst beide gelöst, aber nicht entfernt werden, um einen

Abb. 4.57a–e 23-jähriger Dachdecker nach Gerüststurz. **a** L1-Fraktur. **b** Kontrollaufnahme nach zweizeitiger perkutaner dorsaler Instrumentierung und endoskopischer ventraler Spondylodese. **c** Wundverhältnisse 5 Tage nach dem Eingriff von dorsal und 2 Tage nach dem von ventral. **d** Bewegungsausmaß zum selben Zeitpunkt. **e** Kontrollaufnahme nach Entfernung des Sextants 6 Monate nach dem Unfall. (Aus: Prokop et al. 2009)

Helikoptereffekt der Längsstange zu vermeiden. Der Eingriff wird erleichtert, wenn man die Führungsdrähte vor dem Einsetzen des Schraubendrehers in die kanülierten Pedikelschrauben steckt, weil man dann den korrekten Einstiegswinkel des Schraubendrehers besser trifft.

Ventrales offenes Vorgehen

Von ventral sind bei einem offenen Zugang folgende Zugänge geeignet (▶ Kap. 21, Standardzugänge):

- T1–T2: Rückenlage, linksseitiger Zugang zum zervikothorakalen Übergang
- T2–T6: Rückenlage, rechtsthorakaler Zugang
- T7–T11: Rechtsseitenlage, linksthorakaler Zugang
- T12–L2: Rechtsseitenlage, linksseitige Thorakophrenolumbotomie
- L2–L4: Rechtsseitenlage, linksseitige Lumbotomie
- L5–S1: Rückenlage, transperitonealer Zugang

Minimal-invasive Verfahren

Das Ziel der minimal-invasiven Verfahren ist, das iatrogene Zugangstrauma zu minimieren.

Dorsal lässt sich perkutan über geeignete Instrumentarien eine Zuggurtung mit einem Fixateur interne herstellen. Bei einer rein knöchernen Verletzung, z.B. einer Chance-fracture (B2.1 nach AO), vermittelt ein solches Verfahren ausreichend Stabilität. Das Gleiche gilt für die dorsale perkutane Instrumentation, wenn eine zusätzliche Spondylodese von ventral durchgeführt wird.

Im Rahmen einer notfallmäßig notwendigen Dekompression haben diese Verfahren derzeit aber keine Indikation.

Ventral kann über eine Minilumbotomie oder -thorakotomie unter Nutzung von Mikroskopen oder Endoskopen die Wirbelsäule ebenfalls stabilisiert werden. Dadurch kann die für den Rumpf so wichtige Haltemuskulatur (im Wesentlichen des M. transversus abdominis) geschont werden. Der Einsatz dieser Verfahren erfordert aber auch die Kenntnis der herkömmlichen ventralen Zugänge, da der Chirurg zu jeder Zeit in der Lage sein muss, Komplikationen offen anzugehen. Bei der Abdeckung und Lagerung des Patienten muss man auch für ein etwaiges offenes Vorgehen rüsten.

Der Einsatz der Navigation beim Setzen der Pedikelschrauben hat sich bei endoskopisch assistierter Operationstechnik bewährt und zudem die intraoperative Durchleuchtungszeit verkürzt (Katscher u. Josten 2007).

Im eigenen Vorgehen führen wir die ventralen Verfahren in Seitenlagerung durch, teilweise auch in Kombination mit einer perkutanen dorsalen Stabilisierung.

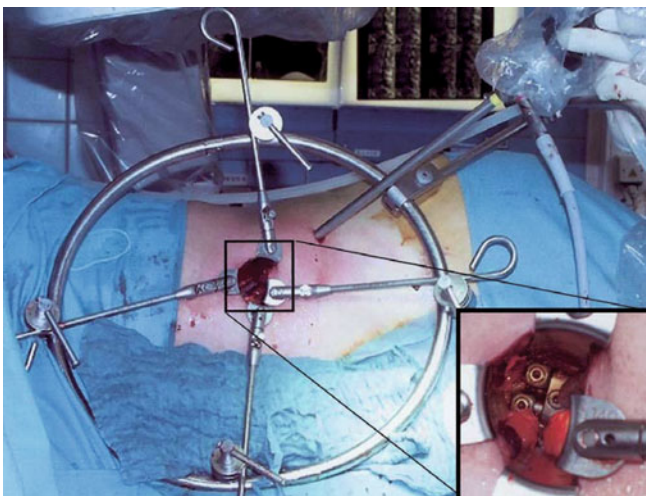
Die Zugänge sind derzeit einem nachhaltigen Wandel unterworfen, denn insbesondere die ausgedehnte Thorakophrenolumbotomie ist mit einer erheblichen Zugangsmorbidität verbunden. Faciszewski et al. (1995) fanden in einem Kollektiv von 1223 Patienten in 11,5% der Fälle Komplikationen und Baker et al. (1993) unter 102 Patienten, die über einen Flankenschnitt oder transrektal operiert worden waren, in 15% Gefäßverletzungen. Endoskopische Vorgehensweisen sind wesentlich schonender. Landreneau et al. (1993) wies für thorakoskopische Eingriffe nach, dass der Schmerzmittelverbrauch geringer war als beim konventionellen Vorgehen. Bühren et al. (1997) fanden eine Reduktion des postoperativen Schmerzes und eine kürzere Hospitalisierungszeit. Die endoskopischen Verfahren haben sich deshalb in den letzten Jahren in allen Etagen der BWS und LWS mehr und mehr durchgesetzt.

Retraktorsystem. So berichtete Verheyden et al. (2002) über die dorsoventrale, endoskopisch assistierte Rekonstruktion der thorakolumbalen Wirbelsäule in Bauchlage, ein Verfahren, bei dem auf die zeitaufwändige Umlagerung von der Bauch- in die Seitenlage verzichtet wird. Dadurch lassen sich 40 min Narkosezeit einsparen. Der größte Vorteil liegt darin, gleichzeitig von dorsal und ventral auf die Wirbelsäule eingehen und damit simultan reponieren zu können. Bei ausschließlich ventraler Instrumentation in Seitenlage besteht zudem die Gefahr, eine skoliotische Fehlstellung zu fixieren. Die Reposition ist im ventralen Durchhang in Bauchlage viel besser. Der Zugang lässt sich mit Hilfe eines selbsthaltenden Retraktorsystems von T4–L4 realisieren (■ Abb. 4.58). Intraoperative Komplikation wurden bei 42 Patienten, die auf diese Weise versorgt wurden, nicht beobachtet. Die Operationszeit entspricht der, die in der Literatur für offene Verfahren angegeben wird. Die direkte Visualisierung des Situs über die Minimalinzision in Verbindung mit dem Retraktor erleichtert die Orientierung und beugt Komplikationen vor. Das Endoskop verbessert die Detailansicht. Der Retraktor ermöglicht die Anwendung von konventionellen Instrumenten und Implantaten und macht die endoskopisch gestützte Operation dadurch kostengünstiger.

Dekompression

An der ventralen Säule muss ein komprimierter Wirbelkörper, der sich in den Spinalkanal vorwölbt und auf das Rückenmark drückt, teilweise oder ganz entfernt und anschließend stabil ersetzt werden. Außerdem wurde die Indikation zur ventralen Spondylodese, seitdem endoskopische Zugänge die Belastung für die Patienten merklich reduziert haben, nachhaltig erweitert. Viele Autoren kombinieren ein dorsales Vorgehen grundsätzlich mit einer ventralen Abstützung, weil Nachuntersuchungen gezeigt haben, dass das Repositionsergebnis durch die alleinige dorsale Stabilisierung nicht zu halten ist.

Knop et al. (2001) fanden in der ersten multizentrischen Studie der Arbeitsgemeinschaft »Wirbelsäule« an 682 Patienten, dass der Fixateur interne am besten geeignet ist, eine vollständige Reposition zu erreichen. »Mit dem kombiniert dorso-ventralen Vorgehen ist das beste röntgenologische Ergebnis zu erzielen. Nur durch direkte Abstützung der vorderen Säule ist der Korrekturverlust zu verringern und ein Repositionsgewinn gegenüber der präoperati-



■ **Abb. 4.58** Dorsoventrale Versorgung einer BWK-12-Fraktur in Bauchlage. (Aus: Verheyden et al. 2002)

ven Fehlstellung zu erzielen. …. Eine transpedunkuläre Spongiosaplastik kann weder zur sicheren ventralen Fusion noch für die Minderung des Korrekturverlusts empfohlen werden.«

Partielle Korporektomie

Wenn nur der kraniale Teil der Hinterkante in den Spinalkanal prolabiert, genügt es u.U., lediglich diesen zu entfernen. Dadurch kann die Größe des benötigten Spans und damit auch der Hebedefekt am Beckenkamm kleiner gehalten werden. Zunächst wird der posteriore Bandscheibenanteil ausgeräumt, dann der frakturierte Wirbelkörperanteil. Anschließend falzt man einen bi- oder trikortikalen Span ein, der aus dem Beckenkamm gehoben wird (◘ Abb. 4.59).

Komplette Korporektomie

Meist muss jedoch der gesamte Wirbelkörper entfernt werden. Dazu werden zunächst die angrenzenden Bandscheiben exzidiert, dann die ventralen Anteile des Wirbelkörpers mit kräftigen Instrumenten entfernt. Teile der Vorder- und jenseitigen Seitenwand können stehen gelassen werden. Sie begünstigen als gut durchblutetes, knöchernes Bett das Einheilen eines transplantierten Spans. Gleichzeitig reduziert man auf diese Weise das Risiko, den perikorporellen Gesäßen und Nerven gefährlich nahe zu kommen. Entscheidend ist aber, alle prolabierten Hinterwandanteile komplett zu entfernen. Beim monosegmentalen Vorgehen muss der durch Berstung zerstörte, meist kraniale Anteil des Wirbelkörpers zwar entfernt, die benachbarte intakte Spongiosa sollte jedoch soweit wie möglich geschont werden. Falls eine Plattenaugmentation geplant ist, muss man darauf achten, dass ausreichend Platz für eine sichere Schraubenverankerung bleibt.

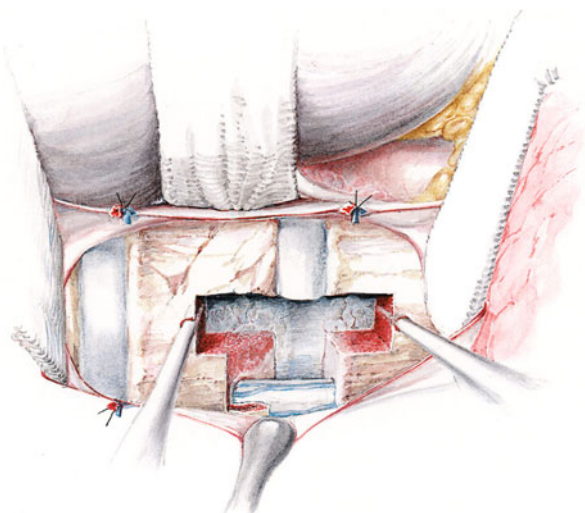
Spaninterposition

Wenn ausschließlich von ventral vorgegangen und die axiale Belastung der vorderen Säule später allein durch den eingebrachten Span abgestützt werden wird, muss man darauf achten, die Grund- bzw. Deckplatte der angrenzenden Wirbelkörper beim Anfrischen der Kortikalis nicht zu schwächen. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass der Span unter Belastung allmählich in die weichere Spongiosa einsinkt. Dafür belässt man knöcherne Randleisten im Bereich der Vorder- und Hinterkanten dieser Wirbel. Dadurch entsteht eine Art Nut für den Span, die ein Abrutschen in sagittaler Richtung verhindert. Lange Späne können im Heilungsverlauf brechen, wenn die Knochensubstanz ermüdet, bevor die Etage fusioniert ist. Alternativ zum Beckenkammspan können auch Knochenstücke aus den Rippen oder der Fibula verwendet werden. Allerdings sind Rippen weniger stabil und die Entnahme eines Fibulastücks ist mit einer nicht unerheblichen Hebemorbidität verknüpft (Blauth et al. 1998).

Lowery u. Harms (1996) verwenden ein Titankörbchen, das mit dem bei der Korporektomie entnommenen Knochen aufgefüllt werden kann, sodass der Beckenkamm bzw. andere mögliche Entnahmestellen unbehelligt bleiben (◘ Abb. 4.60). Das Verfahren bietet überdies eine hohe Primärstabilität. Die ventrale Abstützung mit autogenen kortikospongiösen Spänen verringert den Korrekturverlust (Knop et al. 2001), führt aber oft zu einer hohen Entnahmemorbidität am Becken (Wippermann et al. 1997).

Bei Verwendung von autologen Transplantaten ist das Infektionsrisiko erhöht und bei xenogenen sind die Fusionsraten unbefriedigend (Schultheiss et al. 2005). Aber auch autogene Späne können nicht einheilen oder brechen. So berichteten Briem und Mitarbeiter (2004), dass 1 Jahr nach dorsaler Instrumentierung und Abstützung der ventralen Säule mit endoskopisch eingebrachten Beckenkammspänen 35% der Transplantate nicht oder nur teilweise eingeheilt und 10% gebrochen waren.

Dies führte zur Entwicklung von höhenverstellbaren Wirbelkörperersatzimplantaten aus Titan, die aufgrund ihrer geringen Größe auch endoskopisch eingebracht werden können. Das Synex-System (Fa. STRATEC Medical, Oberdorf, Schweiz) ist ein solches Implantat, das sich für den Ersatz von Brust- oder Lendenwirbeln eignet. Es kann bei Verletzungen, posttraumatischen Fehlstellungen oder zur Defektüberbrückung nach Tumorresektionen verwendet werden, wobei es durch ein zusätzliches stabilisierendes, übergreifendes Implantat ergänzt werden muss, wie Knop et al. (2001) in einer dreidimensionalen Bewegungsanalyse an instrumentierten humanen Wirbelsäulenpräparaten gezeigt haben. Das Implantat wird erst in situ aufgespreizt und im Defektbereich der ventralen Säule zwischen den benachbarten intakten Wirbelkörpern verklemmt (◘ Abb. 4.60). Vorteilhaft ist, dass kein Hebedefekt



◘ **Abb. 4.59** Operationssitus nach partieller Korporektomie am thorakolumbalen Übergang mit vorbereitetem Lager zur Aufnahme eines Beckenkammspans. (Aus: Blauth et al. 1998)

◘ **Abb. 4.60** Wirbelkörperersatzimplantate MOSS (Harmskorb) und Synex. (Aus: Knop et al. 2001)

entsteht und kein Ermüdungsbruch droht wie beim Knochenspan. Der postoperative Korrekturverlust liegt bei 2°.

Dadurch, dass das Implantat erst in situ aufgespreizt wird, kann es auch mit Hilfe einer speziellen Haltezange über minimalinvasive Zugänge eingebracht werden. Wenn keine tragfähigen Wirbelkörperanteile erhalten sind, wird das Implantat zwischen den Endplatten der angrenzenden Wirbelkörper verklemmt. Für Ausnahmesituationen wie bei einem Tumorbefall stehen auch längere Implantate bis zur trisegmentalen Interposition zur Verfügung. Wenn das System exakt zwischen den Endplatten eingepasst ist, wird es mit einer speziellen Spreizzange distrahiert. Ein »Ratschenmechanismus« hält die gewünschte Höhe und verhindert ein Zusammenrutschen der beiden ineinander steckenden Säulen, aus denen es zusammengesetzt ist. Durch die Möglichkeit die Synex-Säule in situ nach bereits erfolgter dorsaler Instrumentierung aufspreizen zu können und in Hinblick auf die erforderlich Vorspannung an die erforderliche Weite der Etage optimal anpassen zu können, lässt es sich auf einfache Weise sehr stabil verspannen (Abb. 4.61). Als Widerlager dient dabei das vordere Längsband, das bei Verletzungen in der Regel erhalten ist und geschont wird. Laut Knop et al. (2001) wird durch diese Verspannung dem Fixateur interne der potenzielle Federweg genommen.

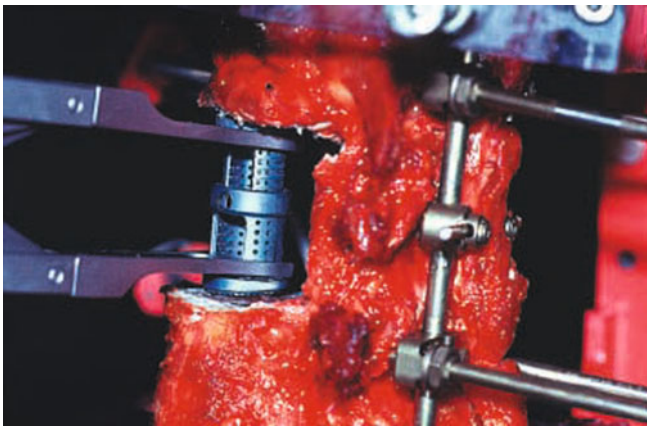


Abb. 4.61 Stabilitätsprüfung in vitro: Nach Korporektomie von L1 und dorsaler Instrumentierung mit einem USS-System wird das Synex-System mit der Spreizzange interkorporell distrahiert. (Aus: Knop et al. 2001)

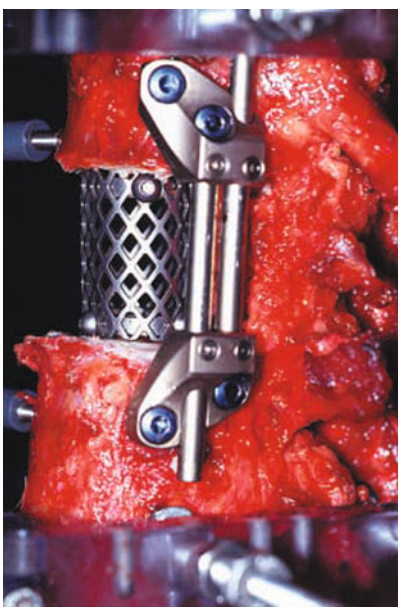


Abb. 4.62 Präparat im Simulator mit einer Implantatkombination aus Ventrofix und MOSS. (Aus: Knop et al. 2001)

Das ist ein Vorteil gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen mit dem MOSS-System, auch »Harmskorb« genannt (Fa. DePuy, Sulzbach, Deutschland, Abb. 4.62). Bei Verwendung des Harmskorbs ist eine Verklemmung nur durch einen weiteren Operationsschritt möglich, bei dem der zuvor dorsal eingebrachte Fixateur interne nachgespannt wird. Die Ergebnisse von Knop et al. (2001) zeigten aber, dass diese Maßnahme auch bei sorgfältiger Durchführung kaum zu einem vergleichbaren Effekt führte. Die höhere interkorporelle Verspannung sehen die Autoren als Grund für die höhere Stabilität der Konstruktionen mit Synex an. Der Wirbelkörperersatz wird durch eine ausgedehnte Spongiosaplastik ergänzt, um dadurch auf die Länge der Sicht eine knöcherne Fusion der Etage zu erzielen.

Im eigenen Vorgehen verwenden wir bei monosegmentalem Span in der Regel einen Beckenkammspan, für bisegmentale Spondylodesen dagegen einen Wirbelkörperersatz aus Titian.

Zusätzliche Stabilisierung

Wenn ohnehin von dorsal stabilisiert wurde, genügt die alleinige Spaninterposition von ventral. Geht man jedoch ausschließlich von ventral vor, muss ein Implantat zur zusätzlichen Stabilisierung eingebracht werden, da der Span ja lediglich Stabilität gegenüber Kompression bewirkt, nicht jedoch gegenüber Distraktion und Rotation. Man kann dazu eine Klammer aus 2 Pedikelschrauben und einem Längsstab verwenden oder ein winkel- oder rotationsstabiles Schraubensystem.

Korrektur posttraumatischer Kyphosen

Insbesondere osteoporotisch bedingte Wirbelkörperfrakturen können in ausgeprägten posttraumatischen Kyphosen mit Vertebra plana enden. Als Folge kommt es zu einer Dekompensation der Rückenstrecker und einer kompensatorischen Hyperlordose. Eine Vertebro- oder Kyphoplastie kommt in solchen Fällen zu spät, damit würde man die Fehlstellung lediglich »festzementieren« (Klostermann et al. 2008). Die einzige kausale Therapie besteht in der Korrektur der Deformität. Dafür stehen prinzipiell zwei Verfahren zur Auswahl, die dorsoventrale Korrekturspondylodese oder ein rein dorsales Vorgehen mit Pedikelsubtraktionsosteotomie, dorsaler Wedge-Osteotomie und langstreckiger Instrumentierung.

Bei der **dorsoventralen Korrekturspondylodese** wird zunächst ein dorsales Release durchgeführt, anschließend werden die kranial und kaudal der Deformität liegenden Wirbelsäulenabschnitte instrumentiert und zuletzt die ventrale Säule zusätzlich mit einem Cage fusioniert. Man kann dabei versuchen, die Reposition durch den Einsatz distrahierbarer Systeme zu verbessern. Allerdings wird dieser Effekt durch die osteoporotisch geschwächten Endplatten stark begrenzt. Die Gefahr, dass die Endplatten beim Aufspreizen des Cage einbrechen, ist groß.

Klostermann und Mitarbeiter (2008) bevorzugen deshalb das **rein dorsale Vorgehen** mit einer Pedikelsubtraktionsosteotomie und dorsaler Wedge-Osteotomie. Das Verfahren wurde initial von Thomasen el al. (1985) beschrieben. Dafür wird die dorsale Säule langstreckig dargestellt. Dann werden in Abhängigkeit von der Knochenqualität mindestens je 2 Wirbelkörper kranial und kaudal der kyphotischen Deformität transpedikulär instrumentiert. Im Bereich der Fehlstellung wird laminektomiert. Die Laminektomie wird zu den angrenzenden Wirbeln als Undercutting fortgeführt. Über die Laminektomie gelangt man zum Spinalkanal. Die Nervenwurzelabgänge und der Dursalsack müssen sauber dargestellt

werden. Unter vorsichtigem Beiseitehalten des Duralsacks gelangt man auf die Hinterkante, die auch bei ausgeprägten Deformitäten meist erhalten ist. Eine keilförmig konvergierende Osteotomie, die mit einem Meißel vorgenommen wird, schließt sich an. Die Knochenfragmente werden mit Kürette und Rangeur unter sorgfältiger Schonung des Duralsacks über beide Seiten entfernt. Dabei soll man darauf achten, dass die Osteotomie nicht zu weit nach ventral geführt wird, um keine sagittale Instabilität zu provozieren. Wenn der gesinterte Wirbel komplett reseziert ist, lässt sich die Etage durch den Einsatz der Längsstäbe zuklappen. Dafür werden die Längsstäbe moderat vorgebogen und zunächst an den proximalen Pedikelschrauben befestigt. Dann erfolgt die Reposition über Ausgradung des Operationstischs oder durch Aufblasen eines vor dem Eingriff thorakal untergelegten Luftkissens. Anschließend werden die Längsstangen in die distal der Deformität gesetzten Pedikelschrauben eingebracht und fixiert. Dies sollte rasch und simultan erfolgen, um eine übermäßige Belastung einzelner Schrauben zu vermeiden.

Anschließend wird der Spinalkanal in Höhe der Osteotomie nochmals inspiziert um sicherzustellen, dass bei der Reposition nicht unbemerkt knöcherne Fragmente in den Spinalkanal verlagert wurden. Außerdem wird geprüft, ob durch das Zuklappen der osteotomierten Etage sich zwischen den Wirbelbögen nervale Strukturen verklemmt haben. In diesem Fall würde man dann die Laminektomie auf die angrenzenden Etagen erweitern. Zur Erhöhung der Stabilität werden zum Abschluss des Eingriffs Querverbinder montiert und eine dorsale Spongiosastraße entlang der Instrumentierung angelagert (Abb. 4.63, Abb. 4.64). Die Nachbehandlung erfolgt im Korsett für 8 Wochen.

Die Autoren haben bei 28 Patienten 32 Wirbelkörper nach Frakturen oder Spondylodiszitis der mittleren und unteren BWS mit einem Kyphosewinkel von ≥30° und einem Höhenverlust von 80% auf diese Weise versorgt. Sie konnten die Schmerzen der Patienten dadurch signifikant reduzieren und den Kyphosewinkel durchschnittlich um 28° korrigieren, wobei im Verlauf des 1. postoperativen Jahrs durchschnittlich 7° der Korrektur wieder verloren gingen. Nur in 2 Fällen traten Schraubenlockerungen auf, die zu einer Revision zwangen und in 1 Fall ein Infekt.

Die Autoren halten das Verfahren für sicher und gut geeignet, fixierte kyphotische Deformitäten zu korrigieren. Dafür sprechen auch die Erfahrungen von Chen et al. (2001) an 78 Patienten im LWS-Bereich mit Kyphosewinkeln von bis zu mehr als 100°, die dann allerdings über eine Doppelosteotomie aufgerichtet wurden, vorzugsweise in Höhe L2/3, um das Risiko neurologischer Komplikationen zu minimieren und einen besseren Halt für die Pedikelschrauben zu haben.

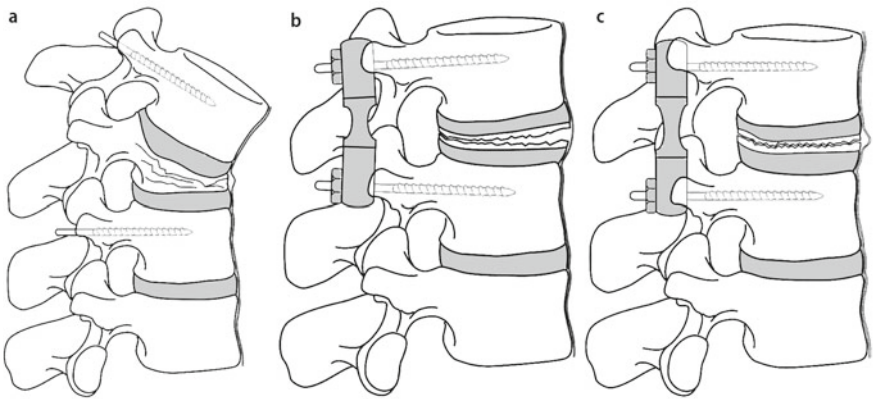


Abb. 4.63a–c Schematische Darstellung einer Pedikelsubtraktionsosteotomie. **a** Präoperative Situation. **b** Nach Wedge-Osteotomie, Reposition und dorsaler Instrumentierung. **c** Nach anschließender Kompression (Einzelheiten im Text). (Aus: Klostermann et al. 2009)

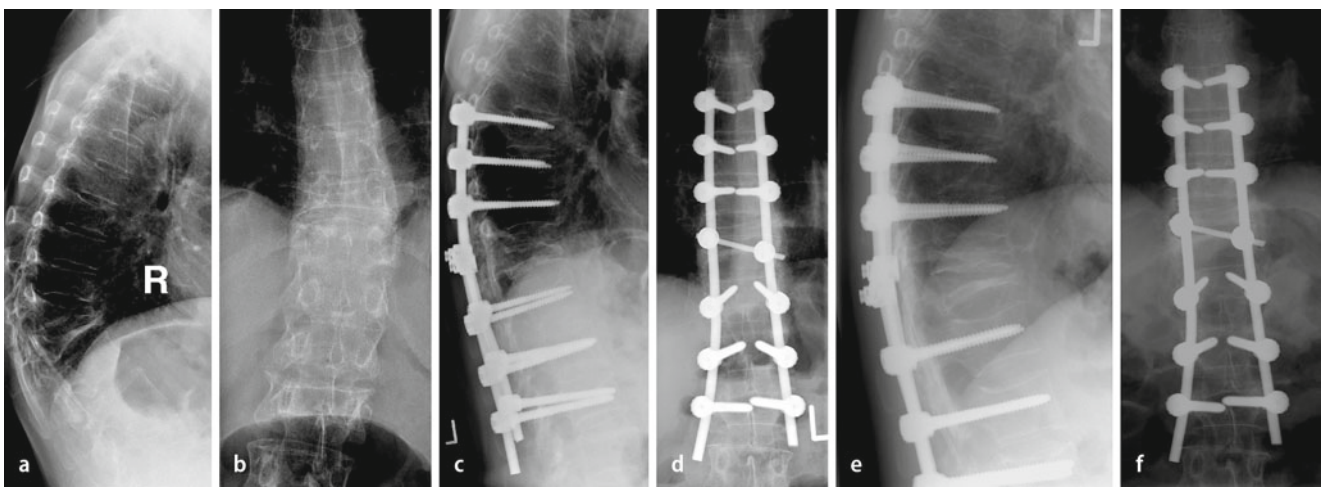


Abb. 4.64a–f Pedikelsubtraktionsosteotomie bei fehlverheilter T9- und -10-Sinterung nach Spondylodiszitis. **a,b** Präoperative Röntgenbilder. **c,d** Postoperativ. **e,f** Nach 1 Jahr. (Aus: Klostermann et al. 2009)

Zusammenfassung

In den einschlägigen Werken sucht man vergebens nach einem therapeutischen Standard für die Versorgung von BWS- und LWS-Verletzungen. Blauth et al. (1998) kommen am Ende einer ausführlichen Literaturübersicht und kritischen Wertung fremder und eigener Ergebnisse zu dem Schluss, dass man noch weit davon entfernt sei, eine allgemein gültige Therapieempfehlung geben zu können. Dies gilt auch 10 Jahre später unverändert. Andererseits gebührt dieser Arbeitsgruppe das Verdienst, eine erste Übersicht erstellt zu haben. ◘ Tab. 4.4 ist an diese angelehnt und berücksichtigt überdies auch die Erkenntnisse und Neuerungen der vergangenen Jahre.

Katscher und Josten (2007) geben eine gute Übersicht der operativen Therapie instabiler Verletzungen des thorakolumbalen

◘ **Tab. 4.4** Synopsis denkbarer Therapieempfehlungen

AO-Typ und Bezeichnung	Weniger dislozierte	Stärker dislozierte
A1.1 Deckplattenimpression	Frühfunktionelle Therapie	Frühfunktionelle Therapie
A1.2 Keilförmige Impaktion	Frühfunktionelle Therapie. Nach Abklingen des Akutschmerzes unter Analgetikagabe ggf. ab 1. posttraumatischen Tag Mobilisierung mit oder ohne Orthese. 3–4 Tage nach Beginn der Mobilisation Röntgenverlaufskontrolle im Stehen zum Ausschluss einer okkulten B-Verletzung.	Bei keilförmiger Deformierung mit Höhenminderung der Vorderkante >50% oder Kyphosewinkel >15° operative Versorgung mit dorsaler mono- oder bisegmentaler Instrumentierung, bei ungenügender Aufrichtung additive ventrale Spondylodese mit Knochenspan oder Cage.
A1.3 Zusammenbruch des Wirbelkörpers (bei Osteoporose)	Frühfunktionelle Therapie evtl. mit Korsett bei wenig höhengemindertem Wirbel und fehlender Neurologie. Engmaschige Röntgenkontrolle wegen Sinterungsgefahr.	Bei ausgeprägten Beschwerden Kyphoplastie. Bei neurologischen Ausfällen oder starker Dislokation evtl. auch Kyphoplastie plus augmentierte dorsale Instrumentierung.
A2.1 Sagittaler Spaltbruch A2.2 Frontaler Spaltbruch	Frühfunktionelle Therapie wie bei A1.2-Fraktur	Operative Versorgung mit dorsaler bisegmentaler Instrumentierung, bei ungenügender Remodellierung additive ventrale Spondylodese mit Knochenspan oder Cage, alternativ auch alleiniges Vorgehen von ventral möglich mit Platzhalter plus winkelstabilem Implantat.
A2.3 »Kneifzangenbruch«	–	Operativ wie bei A2.1- und A2.2-Frakturen
A3.1 Unvollständiger Berstungsbruch A.3.2 Berstungsspaltbruch	Frühfunktionelle Therapie wie bei A1.2-Fraktur	Operativ wie bei A2.1- und A2.2-Frakturen
A3.3 Vollständiger Berstungsbruch	–	Operativ wie bei A2.1- und A2.2-Frakturen
B2.1 Anteriore Distraktion mit querer Zerreißung des Wirbelkörpers B2.2 mit Kompressionsfraktur des Wirbelkörpers	Dorsale Stabilisierung mit Versorgung der ventralen Säule nach den für die A-Verletzungen beschriebenen Kriterien	
B3.1 Posteriore Distraktion mit hinterer Sublokation B3.2 mit hinterer Dislokation	Dorsale Stabilisierung mit Fusion der Intervertebralgelenke	
B3.3 Posteriore Distraktion mit beidseitiger Hyperextension und Fraktur des Isthmus	Dorsale Stabilisierung mit Versorgung der ventralen Säule nach den für die A-Verletzungen beschriebenen Kriterien	
C1.1 Rotationsimpaktionsbruch	Dorsale monosegmentale bei großer Instabilität auch mehrsegmentale Instrumentierung, bei ungenügender Remodellierung additive ventrale Spondylodese mit Knochenspan oder Cage	
C1.2 Rotationsspaltbruch C.1.3 Rotationsberstungsbruch	Dorsale bisegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung, ggf. additive ventrale Spondylodese	
C2.1 Distraktion + Rotation + Wirbelkörper intakt	Dorsale monosegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung	
C2.2 Distraktion + Rotation + Wirbelkörperzerreißung	Dorsale bisegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung, ggf. additive ventrale Spondylodese	
C2.3 Distraktion + Rotation + Bandscheibenzerreißung	Dorsale monosegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung, ggf. additive ventrale Spondylodese	
C3.1 Rotationschrägbruch C3.2 Rotationsquerbruch	Dorsale bisegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung	
C3.3 Rotation mit rein ligamentärer Verletzung	Dorsale monosegmentale, ggf. mehrsegmentale Instrumentierung, ggf. additive ventrale Spondylodese	

Übergangs. Sie betonen die Wichtigkeit der frühen Versorgung möglichst noch am Tag der Aufnahme, »da kurz nach dem Trauma die Wahrscheinlichkeit einer optimalen Reposition am höchsten ist. Eine lordosierende Lagerung mit guter Unterpolsterung von Thorax und Becken ist hierbei hilfreich und verbessert gleichzeitig durch Vermeidung einer Kompression der V. cava den Blutrückstrom zum Herzen.« Bei den meisten instabilen Verletzungen ist der Wirbel-Bandscheiben-Komplex irreversibel geschädigt. Dies bedingt die Notwendigkeit einer dorsoventralen Instrumentierung, die mehr und mehr perkutan und minimal-invasiv vorgenommen wird, um die Zugangsmorbidität zu senken. Die Fragen »nach dem dauerhaft sichersten ventralen Spacer Knochen versus Cage oder perspektivischem Einsatz von Knochenersatzstoffen oder einer ‚Frakturbandscheibe'« sind noch offen. »Weiterhin bleibt abzuwarten, ob radiologisch erfassbare geringere Korrekturverluste langfristig zu besseren klinischen Ergebnissen führen und somit kostenintensive operative Rekonstruktionen rechtfertigen.«

Die endoskopische Technik ermöglicht bei kalkulierbarem Risiko eine gute Spinalkanalclearance (Beisse et al. 2005). Katscher und Josten entfernen aber die Hinterkante nur bei neurologischen Ausfällen, weil dabei Venen und die Dura verletzt werden können (◘ Abb. 4.65a–h). Diese Risiken braucht man bei intakter Neurologie nicht einzugehen, da es im weiteren Verlauf ohnehin häufig zu einem spontanen Remodeling des Spinalkanals kommt (Dai 2001).

Nachbehandlung, Prognose und Komplikationen

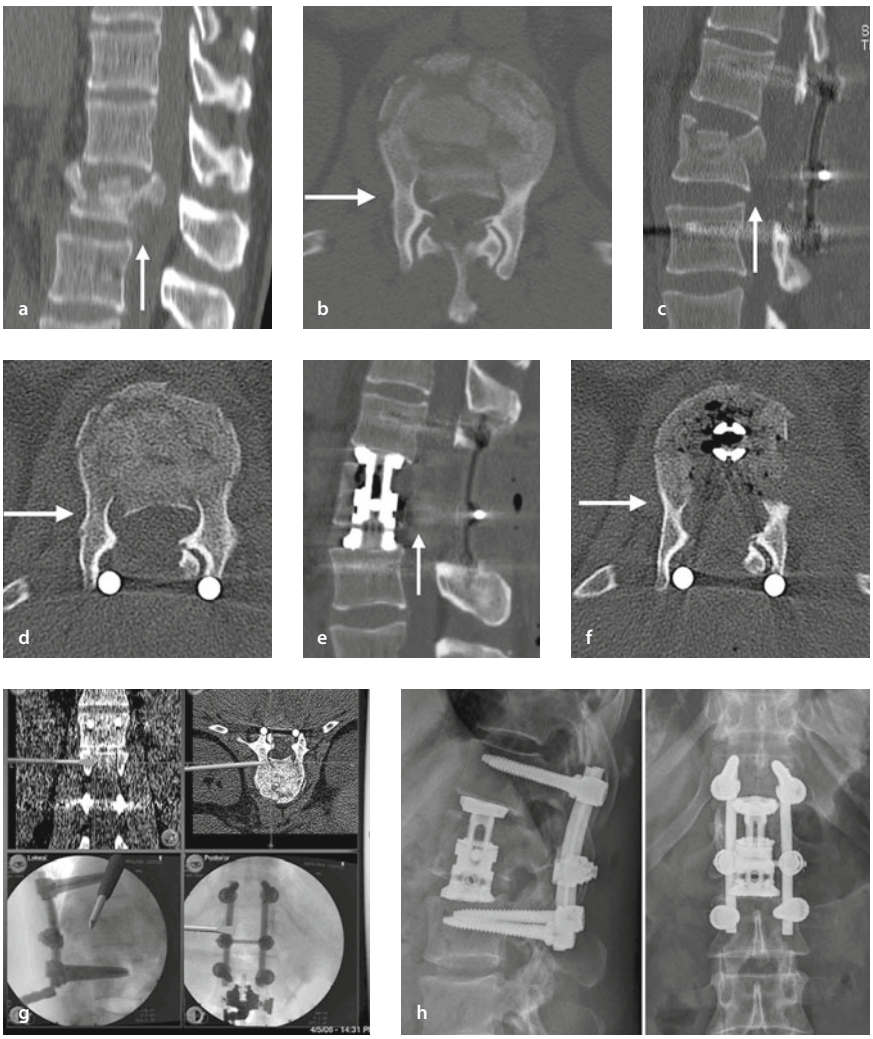
Nachbehandlung

Bei stabiler Versorgung kann auf eine zusätzliche Stütze durch ein Rahmenstützkorsett verzichtet werden; eine Thromboseprophylaxe wird durch Krankengymnastik, Antithrombosestrümpfe und Monoheparin gewährleistet. Nach Redon-Entfernung erfolgen Standardröntgenaufnahmen der operierten Etage, fakultativ auch eine CT-Kontrolle, z.B. bei verbliebenen oder neu hinzugekommenen neurologischen Ausfällen.

Die Mobilisierung der Patienten nach erfolgter Röntgenkontrolle sollte in der Regel nicht vor dem 2. postoperativen Tag erfolgen; Physiotherapie dient der Kräftigung der Rückenmuskulatur und Haltungsschulung (s. unten). Die nächste Röntgenkontrolle sollte nach 12 Wochen und vor der Implantatentfernung stattfinden. Das Implantat wird nach 1 Jahr entfernt, wenn dadurch ein Bewegungssegment wieder freigegeben werden kann. Bei kombiniert dorsoventral bisegmental Vorgehen und komplikationslosem Verlauf können die Implantate aufgrund des geschlossenen Kraftkreises aber in situ verbleiben (Katscher und Josten 2007).

Physiotherapie (Belzl 2008)

Am Anfang muss dem Patienten vermittelt werden, wie er sich seiner eigenen Körperhaltung bewusst wird. Dies kann z.B. vor einem Spiegel geschehen. Distanzpunkte wie Symphyse, Bauchnabel, Sternum- und Kinnspitze helfen, eine korrekte Sitz- und Standhaltung auch



◘ **Abb. 4.65a–h** 39-jähriger Patient mit Konus-Kauda-Syndrom durch ein großes Hinterkantenfragment nach Gerüststurz. **a,b** Unfallaufnahmen. **c,d** Nach dorsaler Instrumentierung. **e,f** Nach ventraler Fusion. **g** Thorakoskopisch assistierte, navigierte Hinterkantenresektion. **h** Röntgenkontrolle nach Mobilisierung des Patienten. (Aus: Katscher u. Josten 2007)

ohne Therapeut eigenständig einnehmen zu können. Für das Drehen im Bett wird gezeigt, wie dies bei stabilem Rumpf mit den Extremitäten en bloc erfolgen kann. Auch beim Aufsitzen soll der Rumpf nicht gebeugt werden. Dafür dreht sich der Patient zunächst mit gestrecktem Rumpf en bloc zur Seite. Dann zieht er seine Beine an, schiebt die Unterschenkel über die Bettkante hinaus und drückt sich gleichzeitig mit den Armen von der Unterlage ab, wodurch er in eine aufrechte Position gelangt, ohne dabei die gestreckte Haltung im Rumpf aufgeben zu müssen. Die Höhe des Betts wird dafür so eingestellt, dass beim Sitz an der Bettkante die Beugung in den Hüftgelenken 70° nicht übersteigt, damit kein Flexionsmoment für die Wirbelsäule entsteht. Aus diesem Grund werden Stühle mit Keilkissen ausgestattet.

Der Patient soll sich auch nicht horizontal bücken, sondern vertikal, sodass die Höhendifferenz durch die Flexion der Beingelenke überwunden wird und die Wirbelsäule aufrecht bleibt. Für das Aufheben von Lasten vom Boden soll sich der Patient zunächst in den Einbein-Knie-Stand begeben und bevor er sich erhebt, die Last zu sich heranziehen und sie möglichst rumpfnah tragen.

Kaps und Mitarbeiter (2000) haben ihr sogenanntes Tübinger Nachbehandlungskonzept für operativ stabilisierte Frakturen ab der mittleren BWS bis zur LWS vorgestellt (Übersicht).

Tübinger Nachbehandlungskonzept für operativ stabilisierte Frakturen ab der mittleren BWS bis zur LWS

- **1. postoperative Woche:** Aus Rückenlage en bloc Drehung in 90° Seitenlage mit Übungen in Seitenlage, später auch in Bauchlage, Mobilisation über Bauchlage (mit Mieder), Gehen mit Stützen oder im Gehwagen, 3 Tage Bettruhe nach Beckenkammspanentnahme, 5 Tage nach Lumbotomie, nach Thorakotomie oberhalb des 9. ICR sollen die Arme 14 Tage nur bis zur Horizontalen abduziert werden.
- **2. postoperative Woche:** Hoher Sitz über Seitenlage, Gruppengymnastik für Wirbelsäulenpatienten, Bücktraining, Abbau von Gehhilfen, Treppensteigen, Wirbelbad, kurzfristiges tiefes Sitzen (z.B. im Auto oder auf der Toilette) erlaubt, Heben und Tragen bis 5 kg erlaubt, Eigentraining am Pullingtrainer mit einer symmetrischen Belastung bis 2,5 kg beidseits, nach der Entlassung aus der stationären Behandlung ambulante Physiotherapie zur Kräftigung der Rumpfmuskulatur.
- **7. postoperative Woche:** Rumpfdrehung und -neigung erlaubt, tiefer Sitz erlaubt, ggf. medizinisches Aufbautraining (MAT) für Rumpfmuskulatur.
- **13. postoperative Woche:** Röntgenkontrolle (ggf. Abtrainieren des Mieders) Heben und Tragen von größeren Lasten als 5 kg erlaubt, Rückengerätetraining nach individueller Anpassung, Rad fahren, Joggen, Schulsport erlaubt, aber Kontaktsportarten erst nach sicherer knöcherner Konsolidierung.

Komplikationen und Prognose

Wenn postoperativ neurologische Ausfälle erstmals bestehen oder vorbestehende sich verstärkt haben, muss die Ursache eruiert und nach Möglichkeit beseitigt werden. Schraubenfehllagen können zu Beschwerden, Korrekturverlust und neurologischen Ausfällen führen und müssen ggf. korrigiert werden.

Postoperativ kann eine Darmatonie auftreten. Sie erfordert spezielle Maßnahmen.

Verletzungen des Ductus thoracicus können, wenn sie intraoperativ unerkannt bleiben, postoperativ einen Chylothorax verursachen. Wenn die Sekretion im weiteren Verlauf nicht abnimmt, muss revidiert werden.

Duralecks können zur anhaltenden Sekretion aus der Wunde führen und müssen dann abgedichtet werden. Sie lassen sich meist mit einem Muskellappen, der mit Fibrinkleber fixiert wird, suffizient verschließen.

Große Gefäße können beim ventralen Vorgehen verletzt werden. Insbesondere bei Eingriffen im lumbosakralen Bereich ist die V. iliaca communis gefährdet. Die entstehende heftige Blutung macht den Situs schlagartig unübersichtlich. Blauth et al. (1998) empfehlen, ggf. die Vene proximal und distal des Operationsgebiets prophylaktisch mit Gummizügeln zu versehen, um eine etwaige Blutung sofort zum Stillstand bringen zu können und das entstandene Leck nähen zu können. Meist handelt es sich um Risse an der Unterseite des Gefäßes, die dazu zwingen, das Gefäß längerstreckig zu mobilisieren, um es für die Naht drehen zu können.

Bei der Präparation an den großen Gefäßen kann der Plexus hypogastricus superior verletzt werden, was eine retrograde Ejakulation zur Folge hat.

Der Harnleiter kann verletzt werden und sollte, wenn kein Urologe für eine definitive Versorgung greifbar ist, zumindest mit einem Katheter geschient werden (Blauth et al. 1998).

Je länger die Muskulatur beim offenen dorsalen Zugehen retrahiert wird, desto schlechter ist die postoperative Muskelfunktion. Gejo und Mitarbeiter (1999) haben nach dorsaler Instrumentation im MRT der Muskulatur signifikant mehr Einblutungen und Vernarbungen gefunden, wenn die Operationsdauer mehr als 80 min betragen hatte, und bei kinematischen Messungen war die Funktion deutlich beeinträchtigt. Sihvonen und Mitarbeiter (1993) wiesen nach, dass offene dorsale Zugänge zu Innervationsstörungen der Muskulatur mit Substanzverlust und messbaren Funktionseinbußen führen können. Grass und Mitarbeiter (2006) fanden bei perkutan operierten Patienten postoperativ elektrophysiologisch keine pathologischen Veränderungen, im Gegensatz zu den offen Operierten, die fast ausschließlich pathologische EMG-Signale boten.

Die Arbeitsgemeinschaft »Wirbelsäule« berichtet in ihrer zweiten Sammelstudie u.a. über die Ergebnisse von 733 operativ versorgten Patienten, 69 kypho- oder vertebroplastierten und 52 konservativ behandelten: 51,8% der operative versorgten Patienten wurden isoliert von dorsal operiert, 4,6% von ventral und 43,5% kombiniert von dorsoventral. In der Regel kamen winkelstabile Fixateure oder ventrale Platten zum Einsatz. Cages wurden überwiegend endoskopisch implantiert. Durchschnittliche Operationsdauer und Blutverlust betrugen für das dorsale Vorgehen 152 min und 650 ml, für das ventrale 208 min und 534 ml sowie für das kombinierte Vorgehen 298 min und 959 ml. Bei mehr als der Hälfte der Patienten (58,7%) lag präoperativ eine unfallbedingte Spinalkanaleinengung vor. Während der stationären Behandlung verbesserten sich 44,7% der Patienten mit initialer neurologischer Begleitverletzung um mindestens eine Frankel-Stufe. Die höchste Rate kompletter Querschnittslähmungen wurde als Folge von Verletzungen der Brustwirbelsäule beobachtet. Zur Art und Häufigkeit intra- und postoperativer Komplikationen der Behandlungsgruppe »OP« siehe ◘ Tab. 4.5. Mit allen operativen Verfahren konnte eine Korrektur der unfallbedingten Fehlstellung erreicht werden. Die konservative Therapie erfolgte am häufigsten mit einem Drei-Punkt-Korsett, das zwischen 6 und 12 Wochen getragen werden sollte (Reinhold et al. 2009b).

Im Verlauf der Nachuntersuchung der Sammelstudie wurden nach Operationen bei 8,8% der Patienten Komplikationen beobachtet. Am häufigsten fanden sich Infektionen, Korrekturverluste und Fehlstellungen oder implantatassoziierte Probleme. Raucher hatten im Vergleich zu Nichtrauchern ein 2,9-mal höheres relatives Risiko für Wundheilungsstörungen. Neurologische Ausfälle besserten sich bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 60% der Patienten.

Tab. 4.5 Art und Häufigkeit intra- und postoperativer Komplikationen der Behandlungsgruppe OP (Aus Reinhold et al. 2009)

Zeitpunkt	Komplikation	Anzahl
Intraoperativ (n=56, 7,7%)	Blutung	35
	Schraubenfehllage	18
	Konversion endoskopisch auf offenes Vorgehen	8
	Sonstige	8
Postoperativ (n=69, 9,4%)	Tod	6
	Infekt	10
	Wundheilungsstörung	14
	Thrombose/Embolie	7
	Implantatfehllage/Korrekturverlust	8
	Sonstige	24

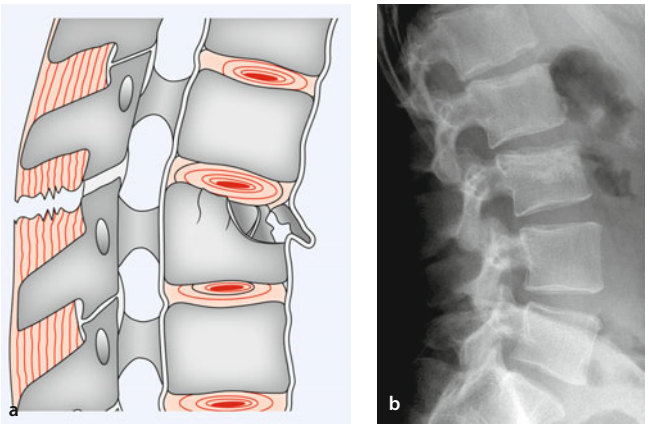


Abb. 4.66a,b B-Verletzung. **a** Schemazeichnung. **b** Erhebliche Kompression der Wirbelkörperspongiosa an L3 trotz erhaltener Höhe der Vorderkante >50% bei einer primär nicht erkannten B1-Verletzung. (Aus: Schnake et al. 2008)

Die Besserungsrate bei kompletter Querschnittsläsion im Bereich der BWS betrug nur 9%, am thorakolumbalen Übergang dagegen 59%. Patientenalter, Geschlecht und neurologische Defizite hatten einen signifikanten Einfluss auf den Finger-Boden-Abstand nicht jedoch die Art der Behandlung. Von dorsal in PLIF-Technik (posterior lumbar interbody fusion) operierte Patienten zeigten weniger Korrekturverlust als Patienten, die von dorsal ohne ventrale Abstützung versorgt worden waren. Der Korrekturverlust ist bei Verwendung von Wirbelkörperersatzimplantaten geringer als bei Verwendung von Knochenspänen. Eine zusätzliche ventrale Platte hat keinen Einfluss auf das radiologische Ergebnis. Isoliert ventrale und kombiniert dorsoventrale Versorgungen von Kompressionsfrakturen des Typs A enden in vergleichbaren subjektiven und funktionellen Ergebnissen, aber das sagittale Profil wird durch die kombinierte Versorgung besser wiederhergestellt (Reinhold et al. 2009c).

Bei Verwendung von Wirbelkörperersatzimplantaten können mechanische Komplikationen auftreten mit Einbruch in die angrenzenden Grund- oder Deckplatten. Über revisionspflichtige Sekundärdislokationen haben Karches und Friedl (2002) berichtet.

Im direkten Vergleich operativ und konservativ behandelter inkompletter Berstungsbrüche (Typ A3.1) und von Berstungsspaltbrüchen (Typ A3.2) ergaben sich eine doppelt so lange Arbeitsunfähigkeitsdauer und signifikant schlechtere radiologische Ergebnisse nach konservativer Therapie. Die stationäre Rehabilitation, die durchschnittlich 3–4 Wochen dauert, und die ambulante mit etwa 4 Monaten, sind heute wesentlich kürzer als sie es Mitte der 1990er Jahre waren (Reinhold et al. 2009c).

Fehleinschätzung der Verletzungsschwere

Thorakolumbale Distraktionsverletzungen vom Typ B stellen eine Operationsindikation dar. B1-Verletzungen werden von einer Ruptur des posterioren Ligamentkomplexes begleitet, die sich radiologisch nicht darstellt (Abb. 4.66). Schnake et al. (2008) haben retrospektiv Bildmaterial und Operationsberichte von 361 Wirbelfrakturen ausgewertet und gefunden, dass von den darin enthaltenen 93 evaluierten B-Verletzungen 42% initial nicht als solche erkannt worden waren. Sämtliche Frakturen wurden als A-Frakturen unterschätzt. Erst intraoperativ wurde die korrekte Diagnose gestellt. Im thorakolumbalen Übergang sind B1-Verletzungen häufiger als B2-Verletzungen. Da bei 29% der B1-Verletzungen keinerlei diagnostische Hinweise im Röntgen und CT vorliegen, ist im Zweifelsfall eine weiterführende Diagnostik durch ein MRT indiziert.

4.5 Spezielle Instabilitäten

4.5.1 Wirbelsäulenmetastasen

Ätiologie

Verschiedene Primärtumoren stehen über venöse Abflüsse mit der Wirbelsäule in direkter Verbindung. Das erklärt, warum man häufig Metastasen von Karzinomen der Schilddrüse, Bronchien, Mamma, Niere, des Magen-Darm-Trakts und der Prostata sieht. Ebenfalls häufig findet man Plasmozytome, die eine eigenständige Entität darstellen, während Primärtumoren der Wirbelsäule sehr selten sind. Die Inzidenz spinaler Metastasen ist im Zeitalter zunehmender Überlebenszeiten vieler Tumorleiden sehr hoch. Sie liegt zwischen 30 und 70%, wobei jedoch nur ein Teil dieser Metastasen symptomatisch wird.

Klinik

Prinzipiell kann das tumoröse Wachstum zur Querschnittslähmung führen. Häufig sind Spontanschmerzen der erste Hinweis auf die sich entwickelnde Raumforderung im Wirbel. Die Schmerzen können so ausgeprägt sein, dass sie auch durch Opioide nicht mehr zu stillen sind. Neurologische Ausfälle entstehen, wenn eine Metastase Spinalnerven oder Rückenmark komprimiert. Durch Osteolysen geschwächte Wirbel können ohne adäquates Trauma zusammenbrechen. Man hat es dann mit einer pathologischen Fraktur zu tun. Die Wirbelkörper werden wesentlich häufiger befallen als die posterior gelegenen ossären Elemente.

Diagnostik

Zum **Standard** gehören:

- Röntgenaufnahmen des jeweiligen Wirbelsäulenabschnitts in 2 Ebenen,
- CT der betroffenen Etage,
- Szintigrafie zum Staging, um etwaige weitere Wirbelsäulenmetastasen nicht zu übersehen, weil dies Konsequenzen für das operative Vorgehen hat.

Fakultativ können hinzukommen:

- CT-gezielte Punktion zur Gewinnung einer Gewebeprobe bei
  - unbekanntem Primärtumor,
  - Prozess unklarer Dignität,
  - zur Differenzialdiagnose zwischen tumorösem und entzündlichem Prozess (Spondylodiszitis);
- MRT zur Beurteilung des Weichteilanteils und bei multiplem Befall, um etwaige weitere Orte drohender Rückenmarkkompression zu erkennen;
- bei Schilddrüsen- und Nierenkarzinomen Angiografie und ggf. Embolisation, da Metastasen dieser Primärtumoren äußerst stark vaskularisiert sein und intraoperativ exzessiv bluten können. Die Operation sollte innerhalb von 24–72 h nach Embolisation erfolgen, abhängig vom jeweiligen Embolisat. Das Vorgehen muss im Einzelfall mit dem Radiologen abgesprochen werden.

Postoperativ ist es wichtig, bei Mammakarzinomen nicht zu vergessen, bei der histologischen Untersuchung den Rezeptorstatus ermitteln zu lassen, weil dies über die Indikation einer Hormontherapie entscheidet.

Strahlentherapie

Tumoren, die gut auf eine Radiatio ansprechen, sind z.B. das Mammakarzinom oder das Plasmozytom. Wenig strahlensensibel sind dagegen Karzinome der Niere und des Gastrointestinaltrakts. Das jeweilige Vorgehen wird in Absprache mit dem Nuklearmediziner geplant.

Operative Therapie

An **Indikationen** sind zu nennen:

- Opioidresistenter Schmerz,
- drohende oder manifeste Nervenkompression,
- Instabilität.

Die palliative Resektion der Metastasen ist in vielen Fällen die einzige Möglichkeit, die Patienten schmerzfrei oder wenigstens schmerzarm zu bekommen und neurologische Ausfälle zu behandeln, denn eine Resektion im Gesunden ist wegen der Nähe zum Rückenmark in den meisten Fällen nicht möglich. Es gilt, dem Patienten ein erträgliches Leben zu ermöglichen: Besonders wichtig für die Patienten ist es, eine drohende Querschnittsymptomatik abzuwenden: »All I care about is walking and living my life« (Abraham et al. 2008).

Früher hat man häufig prophylaktisch von dorsal laminektomiert, um eine gewisse Entlastung für das Rückenmark zu schaffen. Heute weiß man aus zahlreichen Nachuntersuchungen, dass mit dieser Vorgehensweise den Patienten nur dann geholfen werden kann, wenn die Kompression auch tatsächlich dorsal liegt. Grundsätzlich sollte, wenn es der Allgemeinzustand des Patienten zulässt, jeweils am Ort des Geschehens eingegriffen werden, also in der Regel von ventral, denn der Ort der Metastasierung liegt 7-mal häufiger ventral als dorsal.

Die wesentlichen Schritte des chirurgischen Vorgehens sind, beeinträchtigte nervale Strukturen zu dekomprimieren und damit etwaige Ausfälle und Schmerzen günstig zu beeinflussen sowie die Wirbelsäule zu stabilisieren. Die Dekompression von ventral wird in der Regel durch eine Korporektomie geschaffen. Dazu werden zunächst die angrenzenden Bandscheiben von der Grund- bzw. Deckplatte der benachbarten Wirbelkörper scharf abgetrennt, wobei man die räumliche Beziehung zur Dura bedenken muss. Dann werden die Diski und der Wirbelkörper mit Luer und Rongeur entfernt. Die Hinterwand lässt sich am besten mit einer Kürette heraushebeln. Sie wird komplett entfernt. Zwischen Hinterwand und Dura liegt ein venöser Plexus, aus dem es stark bluten kann. Die Blutungen lassen sich jedoch meist gut mit Einlage gerinnungsaktiver Kollagenvliese beherrschen.

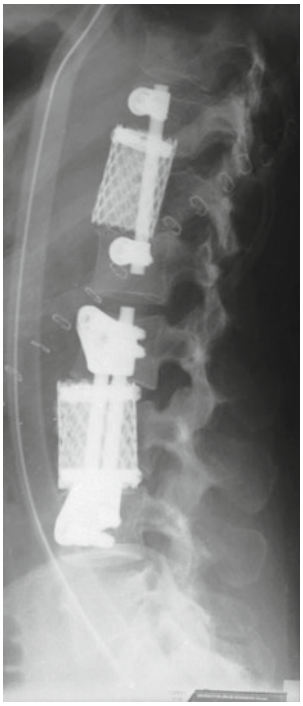


Abb. 4.67 Postoperatives Röntgenbild eines 54-jährigen Patienten mit pathologischer Fraktur von T12 und Osteolyse von L3 bei Prostatakarzinom

In aller Regel werden für den Wirbelkörperersatz Metallimplantate verwendet, während autologe Knochenblöcke nur in den seltenen Fällen gutartiger Tumoren zum Einsatz kommen. Mit Refobacin-Palacos gefüllte Harms-Körbchen oder distrahierbare Wirbelkörperersätze kommen zum Einsatz. Sie fungieren als Platzhalter und erhalten die Stabilität der vorderen Säule. Refobacinpalacos kann als Schutzwall gegen erneutes Tumorwachstum dienen und eine Kompression des Rückenmarks verhindern. Zusätzlich wird im Bereich der HWS evtl. eine Morscher-Platte (s. oben) zur Stabilisierung eingesetzt. Während im Bereich der oberen und mittleren BWS wegen der vorhandenen Schienung durch den Brustkorb der alleinige Wirbelkörperersatz ausreichend Stabilität bringt, wird zwischen T10 und L5 zusätzlich ein Schraubenstabsystem eingesetzt. Das Harms-Körbchen vermittelt Stabilität gegenüber Kompression, das Schraubenstabsystem neutralisiert Distraktion und Rotation (Abb. 4.67).

In den seltenen Fällen, bei denen die Tumormassen dorsal liegen, wird hier eingegangen und dekomprimiert. Zum Teil ummauert der Tumor das Rückenmark. Dann kann es notwendig sein, ihn nach Laminektomie zwischen den einzelnen Spinalnerven hindurch mit Stanzen, scharfen Löffeln oder Rongeuren auszuräumen. Die verbleibenden knöchernen Defekte werden mit Palacos aufgefüllt. Dadurch lässt sich nicht nur die Blutung stillen, sondern auch die Stabilität im operierten Segment erhöhen und Rezidiven vorbeugen. Wenn eine ausgedehntere Laminektomie notwendig war und die Stabilität beeinträchtigt ist, wird ein Schraubenstabsystem eingebracht.

Gelegentlich ist auch ein kombiniertes Vorgehen von ventral und dorsal notwendig.

Die Eingriffe sind häufig mit starken Blutungen verbunden und ziehen die Notwendigkeit von Fremdblutgaben nach sich.

Fremdblut wirkt jedoch immunsupprimierend, was insbesondere bei Tumorpatienten ungünstig ist, weil die geschwächte Abwehr einer Tumorprogression Vorschub leistet. Um Fremdblut zu sparen, kann man einen Cell saver benutzen. Damit aber eine Aussaat von Tumorzellen durch das retransfundierte Blut verhindert wird, wird es mit 50 Gy bestrahlt. Hansen und Mitarbeiter (1997) haben nachgewiesen, dass dadurch eine Tumoraussaat mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit verhindert wird. Das bestätigte sich indirekt in einer eigenen Nachuntersuchung, denn die Überlebenszeiten entsprachen denen anderer Autoren (Weigel et al. 1999).

Krüger und Mitarbeiter (2009) haben den interessanten Fall eines Patienten mit metastasierenden Prostatakarzinom und pathologischer Fraktur des Axiskörpers beschrieben, den sie im Rahmen einer Palliation mit einer transoralen Vertebroplastie versorgten. Dazu wurde der Patient orotracheal intubiert, der Kopf mittels Mayfield-Extension stabil gelagert, ein Mundsperrer gesetzt, und die Uvula mit einem Haltefaden angeschlungen. Mit Hilfe einer Magensonde wurde der Haltefaden transnasal ausgeleitet und die Uvula damit unter leichtem Zug nach kranial gehalten. Anschließend wurde unter Bildwandlerkontrolle über eine 0,5 cm kurze Stichinzision eine Yamshidi-Nadel in die Metastase eingebracht und über einen K-Draht gegen eine Kanüle getauscht. Nach einer Phlebografie, die eine gute Verteilung des Kontrastmittels im Wirbelkörper zeigte, wurde der instabile Wirbelkörper mit einem Zementapplikator (Fa. Kyphon) aufgefüllt. Der Schnitt in der Rachenschleimhaut wurde mit einem resorbierbaren Faden dicht verschlossen. Auf diese einfache Weise ließ sich der Wirbel so weit stabilisieren, dass eine weitere Sinterung vermieden werden konnte und postoperativ Schmerzfreiheit bestand.

Nachbehandlung

Die Patienten werden in der Regel nach Entfernung der Redon-Drainagen, also meist ab dem 2. postoperativen Tag mobilisiert. Die Mobilisierung erfolgt in aller Regel allein in Hinblick auf die verbleibende Lebensqualität der Patienten ohne Korsetts.

Die Weiterbetreuung wird mit dem Onkologen abgesprochen; die Planung der Nachbehandlung (Radiatio, Chemotherapie) ist abhängig vom Primärtumor.

Komplikationen und Prognose

Im eigenen Krankengut haben wir in einem Vierjahreszeitraum 76 Patienten mit symptomatischen spinalen Metastasen operativ behandelt und nachuntersucht (Weigel et al. 1999). Die Behandlung spinaler Metastasen ist palliativer Natur und korreliert, abhängig vom Primärtumor, mit mehr oder weniger kurzen Überlebenszeiten. In unserem Kollektiv lag sie bei 13 Monaten. Die besten Überlebenszeiten hatten Patienten mit Plasmozytom (35 Monate), Mamma- (21 Monate) und Nierenkarzinom (13 Monate und in einer Folgestudie aus dem Jahr 2009 sogar 20 Monate), die schlechtesten Patienten mit Bronchialkarzinom (2 Monate) und malignem Melanom (1,5 Monate). Diese Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen anderer Autoren, sodass man bei spinalen Metastasen des Bronchialkarzinoms und des malignen Melanoms die Indikation für einen operativen Eingriff besonders streng stellen muss.

Die postoperative 30-Tage-Mortalität betrug 7% (in der Literatur 7–16%) und korrelierte mit dem schlechten Allgemeinzustand der Tumorpatienten. Neurologische Ausfälle waren postoperativ in mehr als der Hälfte der Fälle signifikant gebessert und zwar um mindestens einen Frankel-Grad (Frankel et al. 1969). Von 19 präoperativ nicht mehr gehfähigen Patienten waren 13 postoperativ wieder mobil, von 10 präoperativ inkontinenten Patienten 7 postoperativ kontinent. Die Schmerzsymptomatik verbesserte sich in 65% ausgeprägt und in 24% mäßig, nur in 11% blieb sie unverändert. Im weiteren Verlauf entwickelten insgesamt 17% eine Paraplegie auf der Höhe des operierten spinalen Niveaus. Lokalrezidive sahen wir in 26% der Fälle, und zwar bei mehr als der Hälfte verbunden mit einer Querschnittsymptomatik. Wenn initial von ventral dekomprimiert worden war, wuchsen die Rezidive dorsal und umgekehrt.

4.5.2 Instabilität bei Morbus Bechterew

Ätiologie

Die HLA-B27 assoziierte ankylosierende Spondylitis, auch Morbus Bechterew genannt, ist eine chronische, entzündlich-degenerative, wahrscheinlich rheumatische Erkrankung der Wirbelsäulen- und wirbelsäulennahen Gelenke, die letztlich zu deren vollständigen Verknöcherung führt. Meist sind Männer mittleren Alters betroffen mit einem Erkrankungsgipfel zwischen dem 15. und 40. Lebensjahr. Am Ende des Krankheitsverlaufs ist die Wirbelsäule zu einem starren, osteopenen Stab geworden (»Bambusstab-Wirbelsäule«). Aufgrund des Flexibilitätsverlusts sind die Kompensationsmöglichkeiten der angrenzenden Wirbelsäulensegmente, Bewegungsenergie abzufangen, aufgehoben. Über die dadurch entstandenen langen Hebelarme wirken biomechanisch schon bei Bagatelltraumen große Kräfte auf die Wirbelsäule ein. Wenn die starre Säule bricht, geht dies meist mit einer kompletten Zerreißung eines Wirbelkörpers oder eines verknöcherten Bandscheibenraums einher, sodass hochgradig instabile Verletzungen entstehen bei gleichzeitig herabgesetzter muskulärer Kompensationskraft aufgrund einer durch die Einsteifung bedingten Atrophie der Muskulatur. Die Instabilität ermöglicht translatorische Verschiebungen, die für die nervalen Strukturen sehr gefährlich sind.

Klinik

Oft liegt nur ein Bagatelltrauma vor, was dazu führen kann, dass die Verletzung unterschätzt wird, z.B. ein Auffahrunfall oder ein Sturz aus geringer Höhe. Mitunter berichten die Patienten, dass sie nach dem Sturz eine Instabilität im Bereich der zuvor völlig eingesteiften Wirbelsäule verspürt hätten. Beispielsweise bemerkte ein Patient, dass er, nachdem er von der Leiter gestürzt war, plötzlich wieder mit dem Kopf nicken konnte, was bis dahin seit Jahren nicht mehr möglich gewesen war. Neurologische Ausfälle sind relativ häufig. Eine seltene, aber typische Begleitverletzung ist die epidurale Blutung aus Venen, die im verknöcherten umgebenden Weichgewebe verlaufen.

Diagnostik

Indiziert sind:

- Standardröntgenaufnahmen in 2 Ebenen,
- CT von der verletzten Etage,
- bei neurologischen Ausfällen MRT, um die Ursache nachweisen und ggf. behandeln zu können.

Häufig ist das Segment C7/T1 betroffen. Die Verletzung kann leicht übersehen werden, weil die wenig beweglichen Schultern der Patienten nicht ausreichend weit nach kaudal gezogen werden können. Im Zweifelsfall sollte eine CT durchgeführt werden (Blauth u. Schmidt 1998). Aber generell sind die undislozierten Frakturen auf konventionellen Bildern und auch in der CT oft schwer zu erkennen und werden häufig erst sekundär gesehen, wenn sie dislozieren oder neurologische Komplikationen verursachen.

Therapie

Entscheidend ist, den Patienten bereits beim Transport vom Unfallort in die Klinik, aber natürlich auch bei der weiteren Betreuung richtig zu lagern. Richtig heißt in diesem speziellen Fall, dass die Lagerung der Form der Wirbelsäulenkyphose, wie sie vor dem Unfall bestanden hat, entsprechen soll. Dazu muss man den Patienten befragen.

Operative Versorgung

Indikationen sind:

- Frakturen im Bereich der HWS,
- Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs,
- Kompression des Rückenmarks insbesondere bei zunehmenden neurologischen Ausfällen und bei komplettem Querschnittsyndrom.

Die Aufklärung muss die mögliche Implantatlockerung, Wundheilungsstörungen sowie Gefahr der Nervenausfälle beinhalten.

Versorgungsprinzipien. Entscheidend bei der Versorgung solcher Frakturen ist, dass man möglichst langstreckig stabilisiert, um die ansetzenden Hebelkräfte neutralisieren zu können. Mindestens je 2 Bewegungssegmente kranial und kaudal der Instabilität müssen erfasst werden, wenn immer möglich jedoch mehr als 2 (May et al, 2002). Da die Wirbelsäule ohnehin eingesteift ist, erwachsen dem Patienten daraus keine Nachteile.

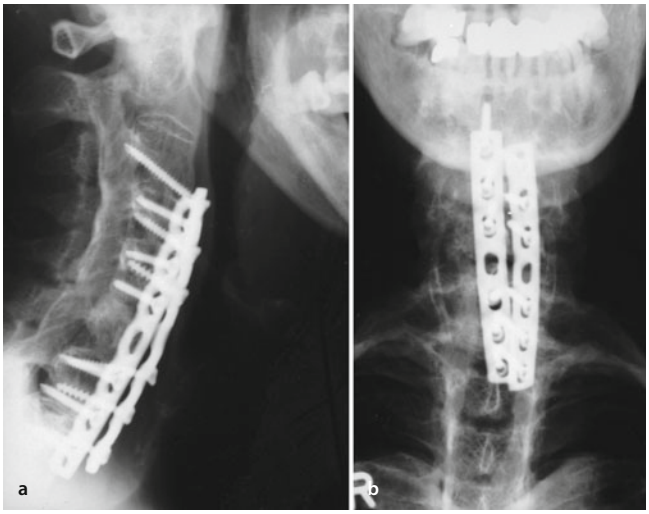
Bechterew-Patienten müssen der vorgegebenen Fehlstellung entsprechend gelagert werden. Bei Instabilität im Bereich der HWS muss eine bronchoskopische Intubation erfolgen.

Bei der Fusionierung geht man im HWS-Bereich von ventral vor, am thorakolumbalen Übergang von dorsal. Nach Möglichkeit werden mindestens jeweils 3 Etagen kranial und kaudal der Fraktur zur Verankerung der Schrauben genutzt. Eine zusätzliche Stabilisierung der Gegenseite bleibt als Option, wenn man sich nicht sicher ist, ob die erfolgte ventrale oder dorsale Osteosynthese ausreicht.

An der HWS verwenden wir Kleinfragment-LCP-Platten. Die Platten werden ventral der vorgegebenen Wirbelsäulenkrümmung angepasst und festgeschraubt. Beim Anpassen der Platten kann man eine gewisse Korrektur der kyphotischen Wirbelsäulenverkrümmung durchführen. Dabei muss man jedoch im Auge behalten, dass die verletzte Etage nicht überdehnt wird, denn dadurch können neurologische Ausfälle entstehen. Außerdem führt eine solche Korrektur zum Klaffen des Bruchspalts, der dann mit einem Knochenspan aus dem Beckenkamm geschlossen werden muss. Das Gleiche gilt bei einer Trümmer- oder Defektzone.

Damit ein fester Sitz der Schrauben gewährleistet ist, sollten diese die dorsale Kortikalis der Wirbelkörper mit fassen. Man muss mit der Schlagbohrtechnik (s. oben ▶ Abschnitt 4.3.9) arbeiten, um sicherzustellen, dass man die im Spinalkanal gelegenen Strukturen nicht verletzt (◘ Abb. 4.68). Bei nicht ausreichender Stabilität wird zusätzlich von dorsal mit einem winkelstabilen Schrauben-Stabsystem fusioniert. Auch die primäre alleinige dorsale Versorgung wird empfohlen.

Frakturen des thorakolumbalen Übergangs stabilisiert man langstreckig von dorsal mit einem Schraubensystem. Wegen der vorbestehenden chronischen Einsteifung der Wirbelsäule ist die autochthone Rückenmuskulatur meist völlig atrophiert. Dadurch ist die Weichteildeckung der Implantate schlecht und das Risiko für Wundheilungsstörungen erhöht.



◘ **Abb. 4.68** 56-jähriger Bechterew-Patient mit HWK-5/6-Luxationsfraktur ohne neurologische Ausfälle. Postoperative Kontrolle nach Spondylodese mit Beckenkammspan, Plattenosteosynthese mit zwei parallelen Kleinfragment-LCDC-Platten von C3 bis T1. Seitliche (**a**), a.p.-Projektion (**b**)

Nachbehandlung

Die HWS wird je nach erreichter Stabilität mit einer harten Zervikalstütze oder im Halofixateur ruhiggestellt, die LWS im Rahmenstütz- oder Kunststoff-Korsett. Bei sehr stabiler Osteosynthese kann auch auf diese Orthesen verzichten werden.

Die Dauer der Ruhigstellung beträgt etwa 12 Wochen. Da die Wirbelsäule ohnehin eingesteift ist, schadet man den Patienten mit einer langwierigen Immobilisation nicht.

Komplikationen und Prognose

Die Gefahr neurologischer Komplikationen ist relativ hoch. Das hängt damit zusammen, dass durch die Verknöcherung der Wirbelsäule bei Frakturen zum einen epidurale Hämatome, zum anderen gefährliche translatorische Kräfte auftreten können.

Die Mortalität von Bechterew-Patienten mit Wirbelsäulenverletzungen ist hoch. Sie liegt zwischen 30 und 57% (Bernd et al. 1992).

Andererseits ist die Prognose hinsichtlich der Bruchheilung gut. Die Frakturen durchbauen in der Regel relativ rasch.

4.5.3 Spondylitis, Spondylodiszitis

Ätiologie

Die Spondylodiszitis ist eine bakteriell verursachte, destruktiv-entzündlich verlaufende Erkrankung der Wirbelsäule. Sie macht etwa 2–7% aller Osteomyelitiden aus. Man unterscheidet zwischen einer unspezifischen Form, die hauptsächlich durch Staphylokokken und Streptokokken verursacht wird, und einer durch Mykobakterium tuberculosis ausgelösten spezifischen Form. Die jährliche Inzidenz beträgt 1:250.000 Einwohner. Männer sind häufiger betroffen als Frauen. Der Altersgipfel liegt in der 6. Dekade (Frangen et al. 2006).

Bei Erwachsenen beginnt die Entzündung immer im Wirbelkörper (Spondylitis) und greift sekundär auf den Bandscheibenraum (Spondylodiszitis) und von hier auch auf den nächsten angrenzenden Wirbelkörper über. Im weiteren Verlauf wird der Knochen mehr oder weniger destruiert bis hin zur kompletten

Auflösung von Wirbelkörpern, was in einer kyphotischen Fehlstellung mündet (Härle 1991). Spondylodiszitiden entstehen meist durch hämatogene Streuung. Alte, abwehrgeschwächte Patienten sind am häufigsten betroffen (Neumann et al. 1998).

Klinik

Die Erkrankung verläuft in den meisten Fällen chronisch mit schleichendem Beginn und uncharakteristischen Beschwerden. Belastungsunabhängige, nächtliche Rückenschmerzen mit pseudoradikulären oder radikulären Beschwerden können ein Hinweis sein. Weitere Symptome sind allgemeine Infektzeichen mit Abgeschlagenheit, Fieber, nächtlichem Schwitzen, Leukozytose, erhöhter BSG und erhöhtem CRP. Typisch ist eine lange Schmerzanamnese. Die Ursache der langwierigen, anhaltenden und meist therapieresistenten Rückenschmerzen wird in aller Regel nicht erkannt, weil radiologisch sichtbare Veränderungen zunächst fehlen. Erst wenn die angrenzenden Wirbelkörper einschmelzen und an Höhe verlieren, ändert sich das. Die befallene Etage ist klopfschmerzhaft. Neurologische Ausfälle treten auf, wenn die Abszessformation raumfordernd wirkt.

Es gibt auch akute, foudroyante Verläufe mit sepsistypischen Temperaturen und heftigen Schmerzen im befallenen Wirbelsäulensegment.

Diagnostik

Aufnahmen des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts in 2 Ebenen sind nur bei bereits eingetretener Destruktion knöcherner Strukturen richtungsweisend, gehören aber zum diagnostischen Standard, allein um einen Ausgangsbefund zu haben, aber auch um den weiteren Krankheitsverlauf beurteilen zu können. Bei unklarem Befund kann eine Szintigrafie den entscheidenden Hinweis liefern.

Die CT hilft, das Ausmaß des Knochenbefalls einzuschätzen. Darüber hinaus kann CT-gezielt eine Probe zur mikrobiologischen Untersuchung abpunktiert werden. In der MRT ist der Weichteilanteil des Abszesses besonders gut sichtbar. Sonografisch lassen sich dorsal und paravertebral gelegene Abszessformationen aufspüren und punktieren.

Konservative Therapie

Das uncharakteristische klinische Bild der Erkrankung führt zur verspäteten Diagnosestellung, weshalb eine effektive Therapie fast immer erst mehr oder weniger verzögert einsetzt (Frangen et al. 2006).

Konservativ behandeln kann man Spondylodiszitiden, die zu keiner wesentlichen Kyphosierung der Wirbelsäule geführt haben, bei denen die angrenzenden Wirbelkörper noch intakt sind und kein entlastungsbedürftiger Weichteilanteil vorliegt. Es wird eine gezielte Langzeitantibiose nach Antibiogramm für mindestens 6 Wochen eingeleitet. Dazu ist eine CT-gezielte Punktion und Anzüchtung des Keims notwendig. Man unterstützt die Antibiose durch ruhigstellende Maßnahmen. In Abhängigkeit von den Beschwerden und dem Allgemeinzustand der vielfach multimorbiden Patienten reicht das Spektrum von der absoluten Bettruhe über die Korsettversorgung zur bloßen körperlichen Schonung. Ob das Antibiotikum länger gegeben werden muss, wird davon abhängig gemacht, wie sich klinisches Bild, Entzündungsparameter und Röntgenbefund entwickeln.

Alternativ zum operativen Vorgehen kann man bei sehr hinfälligen Patienten, die ein stark erhöhtes Operationsrisiko aufweisen, auch interventionell eingreifen durch CT-gezielte Drainage der Abszessformationen.

Operative Therapie

Indikationen sind:

- Neurologische Ausfälle,
- septische Komplikationen,
- pathologische Fraktur,
- therapierefraktäre Schmerzen.

Der **Zugang** wird in ▶ Kap. 21, Standardzugänge beschrieben. Häufig ist die Pleura visceralis der Lunge mit dem befallenen Wirbelsäulenabschnitt verklebt. Man muss sie vorsichtig, teils stumpf teils scharf, ablösen. Dann wird die den Wirbelkörpern und Zwischenwirbelräumen anhaftende Pleura visceralis längs gespalten, um an die segmentalen Gefäße zu gelangen. Wenn vom Lokalbefund her nicht klar ist, welche Wirbelkörper befallen sind, muss intraoperativ geröntgt werden. Nach Bestimmung der richtigen Etage wird nun der entzündliche Tumor von lateral exzidiert. Am besten schickt man nicht nur eine, sondern mehrere Proben zur mikrobiologischen Aufarbeitung. Je nach Konsistenz des Materials eignen sich für die Ausräumung des entzündlichen Materials Rongeur, Luer oder scharfer Löffel. Die befallene Bandscheibe muss komplett ausgeräumt werden und darüber hinaus das kranial und kaudal angrenzende nekrotische, knöcherne Material, bis man auf vitalen Knochen stößt. Bei stärkerer Blutung werden hämostyptische Vliese eingelegt. Knochenwachs ist bei entzündlichen Prozessen kontraindiziert, da das nicht resorbierbare Fremdmaterial Nischen für Mikroorganismen bietet, die dort für die körpereigene Abwehr nicht erreichbar wären und den Infekt unterhalten würden.

Wenn alles entzündliche Material entfernt ist, wird eine interkorporelle Fusion mit autologem Beckenkammspan vorgenommen. Die angrenzenden Wirbelkörperreste sollten am besten mit einer Nut versehen werden, damit der Span nicht abrutschen kann. An der HWS wird eine ventrale Verriegelungsplatte als zusätzliche Stabilisierung eines Beckenkammspans verwendet. Zwischen T1 und T9 kann man auf eine zusätzliche Stabilisierung verzichten, weil der knöcherne Brustkorb genug Stütze vermittelt. Ab dem thorakolumbalen Übergang und darunter muss man zusätzlich distrahierende und rotatorische Kräfte durch ein winkelstabiles Implantat neutralisieren. Antibiotikahaltige Kollagenvliese bekämpfen die Mikroorganismen auch lokal. Der Rückzug erfolgt unter Einlage von Pleura- oder Redon-Drainagen, die in Abhängigkeit der geförderten Sekretmenge meist innerhalb der ersten postoperativen Tage entfernt werden (◘ Abb. 4.69).

Das Ziel der operativen Therapie muss eine stabile Versorgung sein, da Instabilität den Infekt unterhält. Wenn Stabilität herrscht, kann sogar in der Infektsituation ein Beckenkammspan durch ein Titanimplantat ersetzt werden (Liljenquist et al. 2003).

Michael et al. (2007) berichten über den Einsatz eines gefäßgestielten gedoppelten Fibulatransplantats zur Überbrückung und operativen Stabilisierung eines sehr großen knöchernen Defekts zwischen L1 und L4 nach tuberkulöser Spondylodiszitis. Der Gefäßanschluss ermöglichte eine stabile und schnelle knöcherne Einheilung, sodass die Autoren auf eine zusätzliche dorsale Instrumentierung verzichten konnten.

Aber nicht nur ein Vorgehen von ventral direkt auf das befallene Segment ist denkbar, sondern auch ein Vorgehen von dorsal. Dabei wird der befallene Wirbelsäulenabschnitt nicht ausgeräumt, sondern nur stabilisiert. Frangen und Mitarbeiter (2006) haben zu dieser Thematik wichtige Erkenntnisse aus einer Analyse an 78 Patienten mit Spondylodiszitis gewonnen. 24 dieser Patienten waren ausschließlich von ventral operiert worden, 20 kombiniert von dorsal und ventral und 34 ausschließlich von dorsal. Unter den 34 von dorsal stabilisierten befanden sich mehr als 20, die für eine spätere

Abb. 4.69 81-jährige Patientin mit Spondylitis C4 und -diszitis C4/5. **a, b** Präoperativ. **c, d** Postoperative Kontrollen nach Korporektomie C4 mit angrenzenden Bandscheiben, Interposition eines Beckenkammspans und Spondylodese mit ventraler Verriegelungsplatte

ventrale Herdsanierung vorgesehen gewesen waren, bei denen es aber nicht mehr dazu kam, weil diese Herde nach der dorsalen Stabilisierung unter gleichzeitiger Antibiose ausheilten. Die Autoren befürworten deshalb eine optionale zweizeitige Operationstaktik mit dorsaler Stabilisierung, ggf. Laminektomie und perkutaner Abszessdrainage. Lässt sich der Infekt sanieren und konsolidiert das betroffene Segment knöchern, kann auf den komplikationsträchtigen Zweiteingriff von ventral ganz verzichtet werden. Die Autoren geben das in der Übersicht dargestellte Fazit für die Praxis.

Therapie-Strategie bei operationsbedürftiger Spondylodiszitis nach Frangen et al. (2006)

- Bei unklaren Rückenschmerzen und Infektzeichen muss insbesondere bei multimorbiden und immunsupprimierten Patienten an eine Spondylodiszitis gedacht werden.
- Bei einer akuten Infektion sollte grundsätzlich vor dem Einsetzen der antibiotischen Therapie, wann immer möglich, Gewebe zur bakteriologischen und histopathologischen Untersuchung gewonnen werden. Nach Vorliegen des Resistogramms kann dann keimspezifisch therapiert werden.
- Bei komplikationslosem und subaktutem Verlauf ist ein zeitlich begrenzter konservativer Therapieversuch mit initialer Immobilisierung und testgerechter Antibiose Standard.
- Sollte sich jedoch nach 4–6 Wochen kein deutlicher Therapieerfolg einstellen oder kommt es zur Progredienz mit Komplikationen wie Sepsis, Wirbelkörperdestruktion oder neurologischen Ausfällen, ist eine umgehende operative Therapie indiziert.
- Ein operatives Standardverfahren gibt es nicht. Die Autoren favorisieren ein optionales zweizeitiges Vorgehen mit primärer dorsaler Stabilisierung mittels Fixateur interne und testgerechter Antibiose. Abszesse werden perkutan drainiert. Bei Ausheilung ist ein Zweiteingriff häufig nicht notwendig. Die Ausheilungsrate ist bei diesem Vorgehen hoch.
- Persistiert die Entzündung, ist ein Zweiteingriff mit ventraler Herdsanierung und zusätzlicher ventraler Instrumentierung indiziert, um die mechanische Stabilität zu erhöhen und damit die Spondylodiszitis zur Ausheilung zu bringen.

Epidurales Empyem

Epidurale Empyeme können durch paraspinale oder systemische Infektionen entstehen. Nicht selten sind schmerztherapeutische Infiltrationen im ambulanten Bereich die Ursache. Die Häufigkeit solcher Empyeme wird immerhin auf 2 Fälle pro 10.000 Krankenhauseinweisungen geschätzt, und jeder vierte Patient stirbt daran (Hlavin et al. 1990). Rückenschmerzen in Kombination mit Fieber müssen insbesondere bei immungeschwächten Patienten an ein solches Geschehen denken lassen. Das Diagnostikum der Wahl ist das MRT (Abb. 4.70).

Mauer und Kunz (2007), die über 12 eigene Patienten berichten, empfehlen zum Ausschluss weiterer Entzündungsherde des Körperstamms ein CT des Thorax und Abdomens einschließlich Beckens sowie ein MRT der gesamten Neuroachse vom Schädel bis zum Sakrum. Wenn kein meningitisches Bild vorliegt, sollte keine Myelografie oder diagnostische Lumbalpunktion erfolgen, um eine intradurale Verschleppung der Erreger zu vermeiden. Die Erreger werden erst intraoperativ für eine mikrobiologische Untersuchung asserviert, auch deshalb muss die Versorgung notfallmäßig stattfinden. Nach Entnahme von Abstrichen und Pus zur Beimpfung je einer aeroben und einer anaeroben Blutkultur wird mit einer kalkulierten Dreifachantibiose begonnen, bestehend aus einem Cephalosporin, einem Aminoglykosid und Metronidazol. Die Abstriche müssen auch auf Pilze untersucht werden. Das Aminoglykosid wird bei fehlendem Antibiogramm 5 Tage gegeben, die beiden anderen Antibiotika 2 Wochen i.v.. Später wird testungsgerecht für weitere 4 Wochen auf ein orales Präparat umgestellt.

Mauer und Kunz (2007) behandeln ihre Patienten mit einer kontinuierlichen Spüldrainage mit Zusatz von Antibiotika. Sie wählen dafür den kleinstmöglichen unilateralen Zugang und führen meist eine erweiterte interlaminäre Fensterung in mikrochirurgischer Technik durch. Langstreckige Herde gehen sie über zwei oder mehr solcher Zugänge an, sodass alle 15 cm ein Fenster entsteht, in das ein Silikonkatheter eingelegt werden kann. Bei langstreckigen Empyemen mit mehreren Fenstern wird der epidurale Raum solange sondiert, bis die Spüllösung frei von einem zum andern Fenster fließt. Membranen entfernen die Autoren prinzipiell nicht. Es werden lediglich Proben für die mikrobiologische Un-

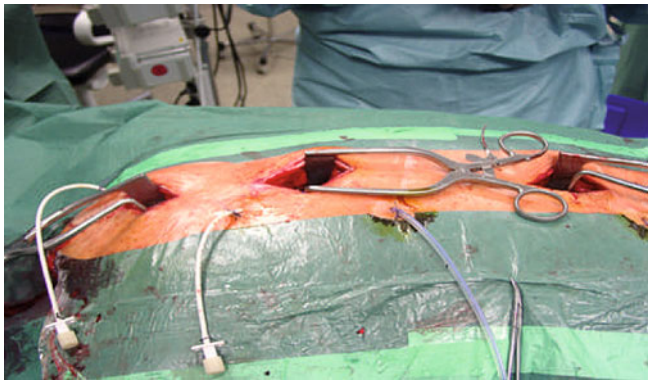


Abb. 4.70 Epidurales Empyem, das sich über 13 Wirbelkörperetagen ausdehnt. (Aus: Mauer u. Kunz 2007)

tersuchung gewonnen. Als Ablauf wird auf den Fensterdefekt eine Robinsondrainage, zwischen 8 und 12 Charr dick, gelegt. Am 1. und 2. Tag wird mit 2000 ml Ringer-Laktatlösung gespült und für weitere 1–2 Tage mit 1000 ml. Der Lösung werden pro Liter 25.000 IE Bacitracin und 500.000 IE Neomycin zugesetzt (Baneocin pro instillatione). Zu- und Ablaufmengen der Spülflüssigkeit werden bilanziert. Ein Verlust von bis zu 100 ml/12 h ist unbedenklich. Die zuführenden Katheter werden 3–4 Tage belassen, die Abläufe einen Tag länger.

Komplikationen und Prognose

Besonders bei reduziertem Allgemeinzustand, Multimorbidität und Immunsuppression kann die Spondylodiszitis vital bedrohlich verlaufen (Isenberg et al. 2005). Weitere Komplikationen können die Bildung eines intraspinalen Abszesses mit Myelonkompression und daraus resultierenden neurologischen Ausfällen, die Entwicklung einer Meningitis oder eine Abszedierung in der Umgebung sein.

In einem eigenen Kollektiv (Neumann et al. 1998) sahen wir unter 42 Patienten 37 Ausheilungen nach einzeitiger Sanierung des Herds. 2 Patienten verstarben postoperativ (ein Myokardinfarkt, eine Sepsis). Bei 3 Patienten musste mehrzeitig vorgegangen werden, um die Ausheilung zu erreichen. Wichtig ist, dass neben einem radikalen Débridement eine sichere Stabilisierung der Wirbelsäule erzielt wird.

4.5.4 Osteoporose

Ätiologie

Die osteporotische Fraktur tritt ohne relevantes Trauma auf. Die hohe Prävalenz der Osteoporose mit bundesweit ca. 8 Mio. Patienten führt dazu, dass sich in Deutschland jährlich mehr als 300.000 dieser Patienten eine Fraktur zuziehen. Darunter befinden sich 40.000 behandlungsbedürftiger Wirbelfrakturen (Häussler 2006). Die Kosten allein für die primäre stationäre Behandlung aller Osteoporosepatienten werden für die Europäische Union auf 400 Mio. € pro Jahr geschätzt (Johnell 2003). Die Bedeutung dieser systemischen Erkrankung für das Skelettsystem und insbesondere die Wirbelsäule ist evident. Ohne Behandlung der Grundkrankheit liegt die Wahrscheinlichkeit einer weiteren Wirbelkörperfraktur im ersten Jahr nach einer osteoporotischen Sinterungsfraktur bei 13–17%.

Klinik

Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen führen häufig zu immobilisierenden Rückenschmerzen (Bliuc et al. 2009). Durch die Sinterungen entstehen zunehmende Kyphosierungen der Wirbelsäule, wodurch das Risiko für sogenannte Anschlussfrakturen steigt. Außerdem schränkt die Kyphose die Vitalkapazität der Lunge ein.

Diagnostik

Bei der Anamnese werden Lebensalter, Eintritt der Menopause, stattgehabte Spontanfrakturen und eine etwaige familiäre Häufung als Hinweise für das Vorliegen einer Osteoporose abgefragt. Der Unfallhergang ist ebenfalls bedeutend. Wenn die Schmerzen ohne adäquates Trauma aufgetreten sind, wäre dies ein Zeichen für eine geschwächte Knochensubstanz. Trifft aber den osteoporotischen Knochen ein adäquates Trauma, muss man gewahr sein, dass auch diskoligamentäre Begleitverletzungen vorliegen können.

Die Wirbelsäule wird von der HWS bis zum Sakrum auf Klopfschmerzhaftigkeit geprüft und die entsprechende Etage anschließend in 2 Ebenen geröntgt. Diese Übersichtsaufnahmen werden in der Regel zur exakteren Einschätzung des Frakturtyps durch eine CT ergänzt. Fragliche Spinalkanalstenosen, Wurzelkompressionen oder diskoligamentäre Verletzungen lassen sich am besten mittels MRT darstellen und beurteilen.

Therapie

Es handelt sich typischerweise um A1,1-Frakturen nach der AO-Klassifikation. Diskoligamentäre Strukturen sind dann nicht verletzt. Die Therapie hat die Sicherung der anatomischen Form der Wirbelsäule als Ziel. Aber auch die osteoporotische Wirbelsäule kann ein adäquates Trauma treffen. In solchen Fällen entstehen neben den knöchernen Veränderungen auch diskoligamentäre Läsionen. Deshalb hat man es bei Osteoporose nicht zwangsläufig nur mit A-Verletzungen zu tun, sondern auch mit B- und C-Verletzung nach AO.

Die Therapie der osteoporotischen Spontanfraktur ist zunächst eine konservative. Der Patient soll möglichst schnell mobilisiert werden, damit Komplikationen durch die Immobilisierung vermieden werden. Ist unter einer konservativen Therapie keine ausreichend schmerzfreie Mobilisation innerhalb eines gewissen Zeitraums möglich, muss die Indikation einer operativen Therapie geprüft werden. Die aktuelle Leitlinie fordert einen Zeitraum für die konservative Therapie von 4–6 Wochen.

Im eigenen Vorgehen bevorzugen wir derzeit folgendes Regime: Bei Nachweis einer osteoporotischen Fraktur im nativen Röntgenbild in 2 Ebenen erhält der Patient eine Schmerzmedikation und wird mobilisiert. Die Osteoporosetherapie wird gemäß Leitlinie überprüft und ggf. eingeleitet. Über das geplante Vorgehen wird der Patient aufgeklärt.

Eine Röntgenkontrolle erfolgt nach 7 Tagen. Zeigt sich keine relevante weitere Sinterung und ist der Patient innerhalb von 2 Wochen schmerzarm (VAS <4) wird ihm die Fortsetzung der konservativen Therapie unter regelmäßiger Kontrolle empfohlen.

Augmentierende Verfahren bei der osteoporotischen Fraktur

Bei signifikanter Sinterung oder Schmerzen (VAS >6) wird eine Augmentation empfohlen, denn die perkutane Zementapplikation in frakturierte bzw. gesinterte osteoporotische Wirbelkörper ist eine mittlerweile anerkannte Methode zur Schmerzbekämpfung. Vor der Augmentation soll eine Kernspintomografie durchgeführt werden. Damit lassen sich alle frischen Frakturen erkennen und degenerative Veränderungen, die ebenfalls Schmerzauslöser sein können, ausschließen, z.B. Stenosen oder Wurzelkompressionen.

Eine Empfehlung, ob eine Vertebro- oder Kyphoplastie anzuraten ist, besteht nicht, wobei die Kyphoplastie Vorteile bietet, wenn es darum geht, den Wirbelkörper aufzurichten. Als Zement wird PMMA (mit Kontrastmittel) verwendet.

Bei der Therapie von Frakturen durch ein adäquates Trauma, das auf eine osteoporotisch geschwächte Wirbelsäule trifft, gilt es die ligamentäre Instabilität zu behandeln. Es kommen also die gleichen Verfahren und Prinzipien zur Anwendung wie bei Patienten ohne Osteoporose. Allerdings müssen die verwendeten Implantate und die Fusionslänge dem weicheren Knochen angepasst werden, um ausreichende Stabilität erzielen zu können. Dazu können auch Schrauben durch Palacos augmentiert werden, um einen ausreichenden Halt im Knochen zu erreichen. Eine langstreckige Instrumentation sorgt durch die günstigere Verteilung von Hebelkräften für einen größeren Halt. Diese Verfahren können mit einer Vertebroplastie oder Kyphoplastie kombiniert werden, um auch die ventrale Säule abzustützen.

Die Injektion von Knochenzement erhöht die Steifigkeit und Festigkeit des Wirbelkörpers und reduziert auf diese Weise Mikrobewegungen innerhalb des Wirbelkörpers. Dabei reichen etwa 3,5 ml Zement aus, entsprechend 15% des Wirbelkörpervolumens, um die prätraumatische Steifigkeit wiederherzustellen (Liebschner et al 2001). Die Steifigkeitszunahme erklärt die deutliche Schmerzreduktion dieses Verfahrens in klinischen Studien. Die subjektiven Schmerzangaben sanken auf der VAS (Schmerzangabe von 0 bis 10) von etwa 7 auf etwa 3.

Im Wesentlichen kommen 2 Verfahren zur Anwendung die Vertebroplastie und die Kyphoplastie. Die Vertebroplastie wurde von Galibert und Mitarbeitern (1987) zunächst zur Behandlung symptomatischer Wirbelkörperhämangiome eingeführt und später zunehmend auch zur Behandlung osteoporotischer Frakturen eingesetzt. Ende der 1990er Jahre wurde die Ballonkyphoplastie entwickelt, bei der vor der Zementapplikation der Wirbelkörper mit einem Ballon aufgedehnt wird (Liebermann 2001).

Vertebroplastie

Bei der Lagerung des Patienten für die Operation ist es entscheidend wichtig, den geborstenen Wirbelkörper aufzurichten, denn die Reposition findet ausschließlich durch diese Maßnahme statt nicht durch das spätere Einspritzen des Zements. Bei der anschließenden Vertebroplastie wird perkutan eine Kanüle trans- oder extrapedikulär in den Wirbelkörper eingebracht. Über diese Kanüle werden dann etwa 3–7 ml kontrastmittelhaltigen Zements eingespritzt. Dies geschieht unter ständiger Durchleuchtung, damit ein unkontrollierter Abfluss des Zements rechtzeitig erkannt wird, denn Zementaustritt kann zu neurologischen Störungen oder Embolien führen.

Kyphoplastie

Bei der Kyphoplastie (Fa. Medtronic, Fa. Synthes, Fa. Athrovision) wird der Wirbelkörper in gleicher Weise mit einer Kanüle punktiert. Auch bei diesem Verfahren ist die indirekte Reposition des kyphosierten Wirbelsäulenabschnitts in Bauchlage von zentraler Bedeutung. Im Anschluss daran wird über die Kanüle zunächst ein Ballon in den Bruchbereich eingebracht und anschließend aufgeweitet. Durch das Aufweiten des Ballons in reponierter Position der Wirbelsäule lässt sich der Wirbelkörper aufrichten. Anschließend wird der Hohlraum mit Zement ausgegossen. Die Ergebnisse der Kyphoplastie bezüglich der entstandenen Schmerzreduktion sind ähnlich wie bei der Vertebroplastie. Ein signifikant besseres outcome gegenüber einer rein konservativen Therapie haben Wardlaw und Mitarbeiter (2009) belegt. Bei Fragmentdislokation der Hinterkante sollte zuerst dorsal instrumentiert und erst dann kyphoplastiert werden (Matschke et al. 2008). Eine zweizeitige Versorgung vermindert hierbei das Risiko von Zementaustritt. Besondere Vorsicht ist laut Prokop und Mitarbeiter (2010) bei hohen Brustwirbelfrakturen mit Hinterkantenbeteiligung geboten. Durch die Kyphoplastie kann sogar eine über die rein lagerungsbedingte spontane Aufrichtung des Wirbelkörpers hinausgehende Reposition und Reduktion der Kyphose erreicht werden (Voggenreiter 2005).

Briem und Mitarbeiter (2007) berichten über eine weitere Einsatzmöglichkeit der Kyphoplastie. Sie kann zur Augmentation von Pedikelschrauben im osteoporotischen Knochen bei dorsaler Instrumentierung verwendet werden. Dazu wird zunächst mit 4,0 mm dicken Arbeitstrokaren transpedikulär in die Wirbelkörper eingegangen. Dann werden bilateral, deckplattenparallel Ballone insuffliert, ohne die Deckplatte zu brechen. Anschließend bringt man Zement in noch relativ wenig vorgehärteter Konsistenz ein, damit genügend Zeit bleibt, um nach Entfernung der Arbeitstrokare die Pedikelschrauben einzudrehen. Das Vorgehen ist allerdings durch hohe Materialkosten für die Kyphoplastieballons belastet. Kostengünstiger ist es, den Zement ohne Balloneinsatz über kanülierte Pedikelschrauben zu applizieren (Yazu et al. 2005)

Sakroplastie

Neben den Wirbelkörpern können auch schmerzhafte Insuffizienzfrakturen des Beckenrings durch eine perkutane Zementapplikation behandelt werden. Hess et al. (2006) haben diese Therapieoption vorgestellt. Der Zement wird dabei wie bei der Vertebroplastie fluoroskopisch oder CT-gesteuert über eine dicklumige Kanüle in das Sakrum appliziert. Allerdings besteht bei einem Zementaustritt nach ventral ein hohes Risiko für eine Hitzeschädigung der Nervenwurzel von L5. Außerdem sind die Fragen der richtigen Indikation, der analgetischen Wirksamkeit und der Wahl der Zemente noch nicht geklärt (Briem et al. 2008).

Komplikationen und Prognose

Im Jahr 2009 wurden im New England Journal of Medicine zwei randomisierte plazebokontrollierte Studien (Buchbinder et al. 2009, Kallmes et al. 2009) veröffentlicht, die Zweifel an der Wirksamkeit der Vertebroplastie aufkommen ließen (Böcker et al. 2010). Die Studien haben aber Grenzen in der Methodik. Deshalb könne man aus ihnen nicht schließen, die Vertebroplastie sei bei frischen osteoporotischen Frakturen, die weniger als 3 Monate alt sind, unwirksam. Gerade für diese Indikation wurde in offenen randomisierten Studien eine Wirksamkeit nachgewiesen (Rousing et al. 2009, Diamond et al. 2003).

Böcker und Mitarbeiter (2010) betonen aber, dass aufgrund der derzeit noch unsicheren Datenlage in Hinblick auf Evidenz und Wirksamkeit der Vertebroplastie eine ausführliche Aufklärung des Patienten über den aktuellen Stand des Wissens entscheidend sei. Bei der Vertebroplastie kann Zement austreten und über den venösen Schenkel embolisieren. Über einen Todesfall *in tabula* berichtete JC Childers (2003), über eine (paradoxe) zerebral-arterielle Embolie Scroop et al (2002), über intraduralen Zementaustritt Shapiro et al. (2003), über Rückenmarkkompression Ratliff et al. (2001), über einen kompletten Querschnitt Lee et al. (2002) und über pulmonalarterielle Embolien gibt es einige Veröffentlichungen (Pleser et al. 2004). Anschlussfrakturen ereignen sich relativ häufig. Das Risiko wird zwischen 2% und 23% eingeschätzt (Bohndorf, Fessl 2006). Deshalb muss die Entscheidung für oder gegen

eine Vertebroplastie im gemeinsamen Gespräch zwischen Arzt und Patient getroffen werden.

Ein nachweisbarer Zementaustritt ist bei der Kyphoplastie signifikant seltener, wobei die Zementaustritte insgesamt meist klinisch stumm verlaufen. Voggenreiter et al. (2008) haben 87 Patienten mit 148 kyphoplastierten Wirbelkörpern computertomografisch nachuntersucht und in 19,3% der Fälle asymptomatische Zementaustritte festgestellt. Die Aufrichtung des Wirbelkörpers ist bei der Kyphoplastie gegeben, die gemessene Aufrichtung korreliert aber nicht direkt mit der Schmerzreduktion. In der Studie von Voggenreiter et al. (2008) wurde der Kyphosewinkel im Mittel um 5,7° aufgerichtet. 95% der Patienten erfuhren eine deutliche Schmerzreduktion. Die Aufrichtung des Kyphosewinkels und die Schmerzreduktion waren auch nach 13 Monaten unverändert gegeben. 26% der Patienten erlitten Anschlussfrakturen, die aber in 50% der Fälle asymptomatisch waren (Abb. 4.49).

Die Kyphoplastie gilt als sicheres Verfahren zur Behandlung schmerzhafter osteoporotischer Wirbelsäulenfrakturen (Prokop et al. 2010). Bei minimal-invasivem Zugang können osteoporotische Sinterungen ohne Spinalkanalkompression aufgerichtet werden und zu einer deutlichen Schmerzreduktion führen. Der Vorteil besteht in der besseren Wiederaufrichtung der begleitenden Kyphose (Rohlmann et al. 2006). In einer Metaanalyse hatte die Kyphoplastie bessere Ergebnisse im Vergleich zur konservativen Therapie (Taylor et al. 2007). Bei ausreichender Erfahrung führen in der Regel beide Verfahren zu einer für den Patienten relevanten Schmerzlinderung. Die Eingriffe sind für die Patienten wenig belastend.

Literatur

Abraham JL, Banffy MB, Harris MB, (2008) Spinal Cord Compression in Patients With Advanced Metastatic Cancer. JAMA 299(8): 937–946

Aebi M v (1994) Therapie (der Brust- und Lendenwirbelsäulenfrakturen). In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orthopädie in Praxis und Klinik, Spezielle Orthopädie (Wirbelsäule – Thorax – Becken) Bd V/ Teil 2. Thieme, Stuttgart New York, 3.133–3.168

Aebi M, Thalgott JS, Webb JK (1998) AO ASIF principles in spine surgery. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Anderson PA, Montesano PX (1988) Morphology and treatment of occipital condyle fractures. Spine 13: 731–736

Anderson LD, D'Alonzo RT (1974) Fractures of the odontoid process of the axis. J Bone Joint Surg Am 56: 1663–1674

Andersson S, Rodrgues M, Olerud C (2000) Odontoid fractures: high complication rate associated with anterior screw fixation in the elderly. Eur Spine J 9: 56–60

Badke A (2008) Ventrale Stabilisierung der unteren BWS/LWS. Trauma Berufskrankheit 10 [Supp 3]: 399–401

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S (Hrsg) (1991) Orthopädische Operationslehre, Bd I, Wirbelsäule. Thieme, Stuttgart New York

Beck E (1980) Konservative Behandlung von Frakturen und Luxationen von Thorax- und Lendenwirbelsäule. H Unfallheilk 149: 119–128

Bednar DA, Parikh J, Hummel J (1995) Management of type II odontoid process fractures in geriatric patients. J Spinal Disord 8: 166–169

Beisse R, Mückley T, Schmidt MH et al (2005) Surgical technique and results of endoscopic anterior spinal canal decompression. J Neurosurg Spine 2: 128–136

Belzl H (2008) Physiotherapie nach operativer Stabilisierung von Wirbelsäulenverletzungen. Trauma Berufskrankh 10 [Supp 3]: 408–410

Benzel EC, Hart BL, Ball PA et al. (1994) Fractures of the C-2 vertebral body. J Neurosurg 81: 206–212

Bernd L, Bläsius K, Lukoschek M (1992) Wirbelsäulenfrakturen bei der ankylosierenden Spondylitis. Z Orthop 130: 59–63

Blattert TR, Springwald J, Glasmacher S, Siekmann H, Josten C (2008) navigationsgestützte Rekonstruktion der vorderen Säule bei Verletzungen im Brustwirbel- und thorakolumbalen Übergangsbereich. Unfallchirurg 11: 878–885

Blauth M (1998 a) Grundlagen der Wirbelsäulentraumatologie. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 1–24 und S 36–59 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M (1998 b) Obere Halswirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 61–151 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Dick W (Hrsg) (1996) Operationen an der Wirbelsäule. Medizin & Wissen, Urban & Vogel, München

Blauth M, Schmidt U (1998) Frakturen bei ankylosierender Spondylitis. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 373–381 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Tscherne H (1998) Untere Halswirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 153–239 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Knop C, Bastian L (1998) Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 241–372 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Richter M, Lange U (1999) Transartikuläre Verschraubung C1/C2 bei atlanto-axialer Instabilität. Orthopäde 28: 651–661

Bliuc D, Nguyen ND, Milch VE et al (2009) Mortality risk associated with low-trauma osteoporotic fracture and subsequent fracture in men and women. JAMA 301: 513–521

Böcker W, Schieker M, Stengel D, et al. (2010) Kann die Vertebroplastie zur Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen noch verantwortet werden? Unfallchirurg 113: 65–68

Böhler L (1977) Die Technik der Knochenbruchbehandlung 12./13. Auflage, Maudrich, Wien

Böhler J, Poigenfürst J, Gaudernak T, Hintringer W (1990) Die Schraubenosteosynthese des Dens axis. Operat Orthop Traumatol 2: 75–83

Böhm H, Kayser R, El Saghir H, Heyde CE (2006) Die direkte Osteosynthese instabiler Atlasfrakturen Gehweiler Typ III. Unfallchirurg 109: 754–760

Bohndorf K, Fessl R (2006) Vertebroplastie und Kyphoplastie bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Gesicherte Erkenntnisse, offene Fragen. Radiologie 46(10): 881–892

Bracken MB, Shepard MJ, Collins WF, et al. (1990) A randomized, controlled trial of methylprednisolone or naloxone in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Second National Acute Spinal Cord Injury Study. N Engl J Med 322: 1405–1411

Briem D, Grossterlinden L, Begemann PG, et al. (2008) CT-gesteuerte Sakroplastie unter Verwendung insufflierbarer Ballons. Unfallchirurg 111: 381–386

Briem D, Linhart W, v. Kroge H, Meenen NM, Rueger JM (2001) HWS-Trauma bei Patienten mit Trisomie 21. Unfallchirurg 104: 687–691

Briem D, Petersen JP, Begemann PG, Rueger JM (2007) Ballonassistierte Zementaugmentation zur stabilen Pedikelschrauubenverankerung bei Osteoporose. Unfallchirurg 110: 648–650

Briem D, Windolf J, Lehmann W, Begemann PGC, Meenen NM, Rueger JM, Linhart W (2004) Endoskopische Kncohentransplantation an der Wirbelsäule. Ergebnisse der anterioren Fusion und therapeutische Konsequenzen. Unfallchirurg 107: 1152–1160

Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, et al. (2009) A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. N Engl J Med 361: 557– 568

Bühren V, Beisse R, Potulski M (1997) Minimalinvasive ventrale Spondylodesen bei Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Chirurg 11: 1076–1084

Cesarani A, Claussen CF, Alpini D (1996) Whiplash: An interdisciplinary challenge. In: Cesarani A, Alpini D, Boniver R et al. (eds) Whiplash Injuries. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 3–12

Childers JC Jr (2003) Cardiovascular collapse and death during vertebroplasty. Radiology 228:902; author reply 903

Chen IH, CHien JT, Yu TC (2001) Transpedicular wedge osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis. Spine 16: 354–360

Clark CR, White AA III (1985) Fractures of the dens: A multicenter study. J Bone Joint Surg Am 67: 1340–1348

Coric D, Wilson JA, Kelly DL (1996) Treatment of traumatic spondylolisthesis of the axis with nonrigid immobilization. A review of 64 cases. J Neurosurg 85: 550–554
Dai LY (2001) Remodelling of the spinal canal after thoracolumbar burst fractures. Clin Orthop 2001: 119–123
Daniaux H (1986) Transpedikuläre Reposition und Spongiosaplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg 89: 197–213
Denis F (1983) The three column spine and ist significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8: 817–831
DeRosia J, Yoganandan N (2000) Lessons from Staged Rear – End collisions using human volenteers. IOS Press, Amsterdam, pp 265-294
Diamond TH, Champion B, Clark WA (2003) Management of acute osteoporotic vertebral fractures: a nonrondomized trial comparing percutaneous vertebroplasty with conservative therapy. Am J Med 114: 257–265
Dudda M, Frangen TM, Muhr G, Schinkel C (2009) Posttraumatische Trachealstenose nach komplexer HWS-Fraktur. Unfallchirurg 112: 734–737
Dvorak J, Schneider E, Saldinger P, Rahn B (1988) Biomechanics of the craniocervical region: The alar and transverse ligaments. J Orthop Res 6: 452–461
Edwards P, Arango M, Balica I et al. (2005) CRASH trial collaborators. Final results of MRC CRASH, a randomised placebo-controlled trial of intravenous corticosteroid in adults with head injury-outcomes at 6 months. Lancet 365: 1957–1959
Effendi B, Roy D, Cornish B, Dussault RG, Lauring CA (1981) Fractures of the ring of the axis: A classification based on the analysis of 131 cases. J Bone Joint Surg Br 63: 319–327
Eysel P, Hopf C, Fürderer S (2001) Kyphotische Deformierungen bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Orthopäde 30:955-964
Faciszewski T, Winter RB, Lonstein JE, Denis F, Johnson L (1995) The surgical and medical perioperative complications of anterior spinal fusion surgery in the thoracic and lumbar spine in adults. A review of 1223 procedures. Spine 20: 1592–1599
Francis WR, Fiedling JW, Hawkins RJ et al. (1981) Traumatic spondylolisthesis of the axis. J Bone Joint Surg Br 63: 313–318
Frangen TM, Pennekamp W, Kuhnen C, Kiriyanthan G, Muhr G, Nicolas V, Schinkel C (2007) Aneurysmatische Knochenzyste. Erstbeschreibung einer ausgedehnten Knochenzyste an der oberen HWS. Unfallchirurg 110: 640–644
Frangen TM, Kälicke T, Gottwald M, Andereya S, Andress HJ, Russe OJ, Müller EJ, Muhr G, Schinkel C (2006) Die operative Therapie der Spondyloodizitis. Unfallchirurg 109: 743–753
Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G et al. (1969) The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. Paraplegia 7: 179–192
Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D (1987) Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutanneous acrylic vertebroplasty. Neurochirurgie 33: 166–168
Gebauer M, Barvencik F, Beil FT, et al. (2007) Die subdentale Synchondrose. Eine computertomographische und histologische Untersuchung zu morphologischen Aspekten der Densbasisfraktur an 36 humanen Axispräparaten. Unfallchirurg 110: 97–103
Gehweiler JA Jr, Osborne RL Jr, Becker RF (1980) The radiology of vertebral trauma. WB Saunders, Philadelphia Tokyo
Gejo R, Matsui H, Kawaguchi Y et al (1999) Serial changes in trunc muscle performance after posterior lumbar surgery. Psine 24: 1023–1028
Glaser JA, Whitehill R, Stamp WG, Jane JA (1986) Complications associated with the halo-vest. A review of 245 cases. J neurosurg 65: 762–769
Grass R, Biewener A, Dickopf A (2006) Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. Unfallchirurg 109: 297–305
Greene KA, Dickman CA, Marciano FF, Drabier JB, Hadley MN, Sonntag VKH (1997) Acute axis fractures. Analysis of management and outcome in 340 consecutive cases. Spine 22: 1843–1852
Grob D (1996) Dorsale Fixation des okzipitozervikalen Übergangs. In: Blauth M, Dick W (Hrsg) Operationen an der Wirbelsäule. Medizin & Wissen, Urban & Vogel, München, S 6–16
Härle A (1991) Spondylitis. In: Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S (Hrsg) Orthopädische Operationslehre, Bd I, Wirbelsäule. Thieme, Stuttgart New York, S 377–390
Häussler B, Gothe H, Mangiapane S et al. (2006) Versorgung von Osteoporse-Patienten in Deutschland. Ergebnisse der BoneEVA-Studie. Dtsch Ärztebl 103: A2542–A2548
Hansen E, Altmeppen J, Taeger K (1997) Autologous haemotherapy in malignant diseases. Clin Anaesthesiology 11: 335–350
Harris JH Jr, Carson GC, Wagner LK (1994) Radiologic diagnosis of traumatic occipitovertebral dissociation, 1st and 2nd part. AJR Am J Roentgenol 162: 881–886, 887–892
Hartwig E, Elbel M, Schultheiss M, Kettler A, Kinzl L, Kramer M (2004) Unfallanalytik bei strukturellen Verletzuungen der Halswirbelsäule. Unfallchirurg 107: 1135–1141
Hell W, Langwieder K (1998) Epidemiologische Daten zur HWS-Beschleunigungsverletzung. Die Notwendigkeit eines verbesserten Diagnosestandards und bessere Prävention bei Auffahrunfällen. Hefte zu »Der Unfallchirurg« 272:80-82
Heller JG, Viroslav S, Hudson T (1993) Jefferson fractures: The role of magnification artifact in assessing transverse ligament integrity. J Spinal Disord 6: 392–396
Hess GM (2006) Sakroplastie zur Behandlung von Insuffizienzfrakturen des Sakrums. Unfallchirurg 109: 681–686
Hlavin ML, Kaminski HJ, Ross JS, Ganz E (1990) Spinal epidural abscess: a ten-year perspective. Neurosurgery 27:177-184
Hu R, Mustard CA, Burns C (1996) Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population. Spine 21(4): 492–499
Iannacone WM, De Long WG Jr, Born CT, Bednar JM, Ross SE (1990) Dynamic computerized tomography of the occiput-atlas-axis complex in trauma patients with odontoid lateral mass asymmetry. J Trauma 30: 1501–1505
Isenberg J, Jubel A, Hahn U et al. (2005) Die mehrzeitige Spondylodese – Behandlungskonzept der destruierenden Spondylodiszitis bei kritisch reduziertem Allgemeinzustand. Orthopäde 34: 159–166
Jarrett PJ, Whitesides TE (1992) Injuries of the cervicocranium. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trfton PG (eds) Skeletal trauma, vol 1. WB Saunders, Philadelphia Tokyo, pp 665–697
Jeanneret B (1994) Obere Halswirbelsäule. In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orothopädie in Praxis und Klinik, Spezielle Orthopädie (Wirbelsäule – Thorax – Becken) Band V, Teil 2. Thieme, Stuttgart New York, 3.1–3.37
Jeanneret B (1996) Posterior rod system of the cervical spine: A new implant allowing optimal screw insertion. Eur Spine J 5: 350–356
Jeanneret B (1998) CerviFix. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 232–233 (Tscherne Unfallchirurgie)
Jeanneret B, Magerl F (1994) Die Hakenplattenspondylodese an der Halswirbelsäule. Operat Orthop Traumatol 6: 71–83
Johnell O (2003) Economic implication of osteoporotic soine disease: cost to society. Eur Spine J 12(Suppl 2): 168–169
Judet R, Roy-Camille R, Joillant G (1970) Actualités de chirurgie irthopédique de l'Hôpital Raymond Pioncarré, No VIII: Fractures du rachis cervicale. Masson, Paris, pp 174–195
Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, et al. (2009) A randomized trial of vertebroplasty, for osteoporotic spinal fractures. N Engl J Med 361: 569–579
Kaminski A, Gstrein A, Muhr G, Müller EJ (2008) Die transartikuläre C1-C2-Verschraubung. Unfallchirurg 111: 167–172
Kaps HP, Schreiner M. Badke A (2000) Spezielle Probleme der begleit- und Nachbehandlung bei Wirbelsäulenverletzungen und Verletzungsfolgezuständen nach operativer Versorgung instabiler Wirbelfrakturen. Trauma Berufskrankh 2[Suppl 4]: S493–S499
Karches C, Friedl W (2002) Sekundärdislokationen nach Synex-Cage-Implantation. Unfallchirurg 105: 744–747
Katscher S, Josten C (2007) Wirbelsäulenverletzungen des throakolumbalen Übergangs. Trauma Berufskrankh 9 [Supp 2]: S237–2344
Kerschbaumer F (1991) Rheumatische Instabilität der Halswirbelsäule. In: Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S (Hrsg) Orthopädische Operationslehre, Bd I, Wirbelsäule. Thieme, Stuttgart New York, S 347–360

Klostermann CK, Hette K, Pflumacher R (2008) Pedikelsubtraktionsosteotomie mit dorsaler Wedge-Osteotomie. Unfallchirurg 112: 1041–1046
Knöringer P (1990) Die Osteosynthese der Densfraktur mit Doppelgewindeschrauben. Operat Orthop Traumatol 2: 178–192
Knop C, Blauth M, Bühren V, et al. (2000) Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs, Teil 2: Operationen und röntgenologische Befunde. Unfallchirurg 103: 1032–1047
Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdorfer O (2001) Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs, Teil 3: Nachuntersuchung. Unfallchirurg 104: 583–600
Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M (2001) Biomechanische Stabilität mit einem neuen Wirbelkörperersatzimplantat. Unfallchirurg 104: 984–997
Kohn D, Pohlemann T (2010) Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung, Springer Berlin Heidelberg
Krüger A, Schnabel M, hegele A, Ruchholtz S, Stiletto R (2009) Die transorale Vertebroplastie. Unfallchirurg 112: 426–432
Landells CD, Van Peteghem K (1988) Fractures of the atlas: Classification, treatment and morbidity. Spine 13: 450–453
Landreneau RJ, Hazelrigg SR, Mack MJ, et al. (1993) Postoperative painrelated morbidity: video-assisted thoracic surgery versus thoracotomy. Ann Thorac Surg 56: 1285–1289
Lee BJ, Lee SR, Yoo TY (2002) Paraplegia as a complication of percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. A case report. Spine 27: 419–422
Lemke H (1996) Das HWS Schleudertrauma aus juristischer Sicht. Neue Z Verkehrsrechte 9: 337–384
Levine AM, Edwards CC (1985) The management of traumatic spondylolisthesis of the axis. J Bone Joint Surg Am 67: 217–226
Levine AM, Edwards CC (1991) Fractures of the atlas. J Bone Joint Surg Am 73: 680–691
Leitline der amerikanische Neurologen und Neurochirurgen (2002) Neurosurgery, Vol. 50, No. 3, Supplement
Lieberman ICH, Dudeney S, Reinhardt MK, Bell G (2001) Initial outcome and efficiacy of kyphoplasty in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. Spine 26: 1631–1638
Liebschner MA, Rosenberg WS, Keaveny TM (2001) Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty. Spine 26: 1547–1554
Liljenquist U, Lerner T, Bulmann V et al. (2003) Titanium cages in the surgical treatment of severe vertebral osteomyelitis. Eur Spine J 12: 606–612
Louis R (1985) Die Chirurgie der Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 50–128
Lowery GL, Harms J (1996) Titanium surgical mesh for vertebral defect replacement and intervertebral spacers. In: Thalgott JS, Aebi M (eds) Manual of internal fixation of the spine. Lippincott & Raven, Philadelphia, pp 127–146
Magerl F, Engelhardt P (1994) Brust- und Lendenwirbelsäule – Verlaufsformen. In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orothopädie in Praxis und Klinik, Spezielle Orthopädie (Wirbelsäule – Thorax – Becken). Thieme, Stuttgart New York, 3.82–3.132
Magerl F, Harms H, Gertzbein SD, Aebi M, Nazarian S (1991) A new classification of spinal fractures. Transactions of the 25th Scoliosis Research Society Meeting, Minneapolis, Sept 24–27
Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. Eur Spine J 3: 184–201
Magnus F (1930) Die Behandlung und Begutachtung des Wirbelbruchs. Arch Orthop Unfallchir 29: 277
Matschke S, Wagner C, Wentzensen A (2008) Kyphoplastie und Vertebroplastie in der Behandlung von Wirbelkörperfrakturen. Trauma und Berufskrankheiten 10(3): 402–407
Mauer UM, Kunz U (2007) Spinales epidurales Empyem. Limitierte operative Behandlung kombiniert mit kontiunierlicher Spüldrainage. Unfallchirurg 110: 250–254
May PJ, Raunest J, Herdmann J, Jonas M (2002) Behandlung der Wirbelsäulenfraktur bei ankylosierender Spondylitis. Unfallchirurg 105: 165–169
Meani E, Brambilla S, Mondini A, Romanò CL (1996) Whiplash lesions: Orthopaedic considerations. In: Cesarani A, Alpini D, Boniver R et al. (eds) Whiplash injuries. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 30–37
Meinecke FW v (1994) Querschnittlähmungen. In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orothopädie in Praxis und Klinik, Spezielle Orthopädie (Wirbelsäule – Thorax – Becken) Band V/ Teil 2. Thieme, Stuttgart New York, 4.1–4.34
Michael JW-P, Brunkwall J, Fätkenheuer G, Seifert H, Winnekendonk G, Zöller JE, Eysel P (2007) Ein gefäßgestieltes gedoppeltes Fibulatransplantat zur Behandlung der lumbalen Instabilität nach tuberkulöser Spondylodiszitis. Unfallchirurg 110: 86–88
Mollowitz GG (1993) Der Unfallmann, 11. überarbeitete Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Moskopp D, Horch C, Wassmann H (1998) Frakturen okzipitaler Kondylen. In: Hülse M, Neuhuber WL, Wolff HD (Hrsg) Der kraniozervikale Übergang. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 129–144
Müller EJ, Muhr G (Hrsg) (1997) Wirbelsäulenverletzungen. Thieme, Stuttgart
Müller EJ, Wick M, Russe O, Muhr G (1998) Unfallbedingte Pseudarthrosen des Dens axis. Unfallchirurgie 101: 750–754
Müller ME, Nazarian P, Koch J, Schatzker J (1990) The AO-classification of fractures of long bones. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller-Vahl H (1998) Läsionen des Rückenmarks und der Nervenwurzeln. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 25–35 (Tscherne Unfallchirurgie)
Münker H, Langwieder K, Chen E, Hell W (1995) Verletzungen der Halswirbelsäule bei PKW-Unfällen. Versicherungsmedizin 47: 26–32
Neugebauer R (1991) Gewebeschonende ventrale Kompressionsosteosynthese von Dens-Frakturen mit endoskopischer Hilfe und speziellem Instrumentarium. Unfallchirurg 94: 313–31631
Neumann C, Maghsudi M, Nerlich M (1998) Infektionen der Wirbelsäule. Vortrag auf der 75. Tagung der Vereinigung der Bayerischen Chirurgen, Erlangen 23.–25. Juli
Neumann P, Osvalder A-L, Nordwall A, Lövsund P, Hansson T (1992) The mechanism of initial felxion-distraction injury in the lumbar spine. Spine 17: 1083–1090
Nikas V, Fleischmann P, Burton P (1990) Sexual and marital adjustment of world war II spinal cord injured veterans. Paraplegia 28: 164–171
Park Y, Ha JW (2007) Comparison of one level posterior lumbar interbody fusion performed with a minimally invasive approach or a traditional open approach. Spine 32: 537–543
Plaue R (1972) Das Frakturverhalten von Brust- und Lendenwirbelkörpern. Z Orthop 110: 159–166
Pleser M, Roth R, Wörsdorfer O, Manke C (2004) Lungenembolie durch PMMA bei perkutaner Vertebroplastie. Unfallchirurg 107: 807–811
Poeck K (1992) Neurologie, 8. Auf. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Powers B, Miller MD, Kramer RS, Martinez S, Gehweiler JA Jr (1979) Traumatic anterior atlanto-occipital dislocation. Neurosurgery 4: 12–17
Prokop A, Löhlein F, Chmielnicki M, Volbracht J (2009) Minimal-invasive perkutane Instrumentation bei Wirbelsäulenfrakturen. Unfallchirurg 112: 621–628
Prokop A, Löhlein F, Chmielnicki M, Volbracht J, Manner M (2010) Kyphoplastie bei osteoporotischen Wirbelfrakturen. Unfallchirurg 113: 127–132
Ratliff J, Nguyen T, Heiss J (2001) Root and spinal cord compression from methylmethacrylate vertebroplasty. Spine 26: 300–301
Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M (2009a) Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil I: Epidemiologie. Unfallchirurg 112: 33–45
Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. (2009b) Operative Gehandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil II: Operation und röntgenologische Befunde. Unfallchirurg 112: 149–167
Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. (2009c) Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil III: Nachuntersuchung. Unfallchirurg 112: 294–316
Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M (2003) Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Unfallchirurg 106: 565–576
Rizzolo S, Lemos MJ, Mason DE (1995) Porsterior spinal arthrodesis for atlantoaxial instability in Down syndrome. J Pediatr Orthop 15: 543–548

Römer U (2008) Ergotherapie bei Querschnittlähmung. Trauma Berufskrankh 10 [Supp 3]: 411–415
Rohlmann A, Zander T, Bergmann G (2006) Spinal loads after osteoporotic vertebral fractures treated by vertebroplasty or kyphoplasty. Eur Spine J 15: 1255–1264
Rousing R, Andersen MO, Jespersen SM et al (2009) Percutaneous vertebroplasty compared to conservative treatment in patients with painful acute or subacute osteoporotic vertebral fractures: three-months follow-up in a clinical randimized study. Spine 34: 1349–1354
Roy-Camille R, Saillant G (1984) Spinal injuries without neurologic complications. Int Orthop 8: 155–162
Rusu C, Herold L, Voigt C, Lill H (2007) Thorakolumbaler Übergang der Wirbelsäule. Behandlung posttraumatischer Fehlstellungen. Trauma Berufskrankh 9[Suppl 2]: S249–256
Schären S, Jeanneret B (1999) Atlasfrakturen. Orthopäde 28: 358–393
Schinkel C, Frangen TM, Kmetic A, Andress HJ, Muhr G (2006) Timing of thoracic spine stabilization in traumapatients: impact on clinical course and outcome. J Trauma 61: 156 –160
Schmidt R, Richter M, Gleichsner F et al (2006) Posterior atlantoaxial three-point fixation: comparison of intraoperative performance between open and percutaneous techniques. Arch orthop Trauma Surg 126: 150–156
Schmolke S, Gossé F (2008) Der Halo-Fixateur. Oper Orthop Traumatol 20: 3–12
Schnake KJ, von Scotti F, Haas NP, Kandziora F (2008) Typ-B-Distraktionsverletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Fehleinschätzungen des posterioren Ligamentkomplexes bei der radiologischen Diagnostik. Unfallchirurg 111: 977–984
Schröter T, Paris S, Arndt H, Ernst A, Mutze S (2002) MRT der Ligg. alaria symtpomatischer Patienten nach HWS-Distorsionstrauma. Trauma Berufskrankh 4[Suppl 3]: S224–229
Schultheiss M, Sarkar M, Arand M et al. (2005) Solvent-preserved, bovine cancellous bone blocks used for reconstruction of throacolumbar fractures in minimally invasive spinal frfacture surgery – first clinical results. Eur Spine J 14: 192–196
Schurch B (1996) Sexualfunktion. In: Dietz V (Hrsg) Querschnittlähmung. Kohlhammer, Stuttgart Berlin Köln, S 169–175
Schuren J (1994) Arbeiten mit Softcast, 2. Aufl. einer Broschüre der Firma §M (Minnesota Mining & Manufactering), S 160–172
Scroop R, Eskridge J, Britz GW (2002) Paradoxical cerebral arterial embolization of cement during intraoperative vertebroplasty: case report. AJNR 23: 868–870
Seiler H, Hackstein W, Graf LP (1993) Frakturen der oberen Halswirbelsäule – Hinweise zur Behandlung. Unfallchirurg 96: 410–415
Shapiro S, Abel T, Purvines S (2003) Surgical removal of epidural and intradural polymethylacrylate extravasation complicating percutaneous vertebroplasty for an osteoporotic lumbar compression fracture. Case report. J Neurosurg 98 (Suppl 1): 90–92
Shapiro S, Snyder W, Kaufman K, Abel T (1999) Outcome of 51 cases of unilateral locked cervical facets: interspinous braided cable for lateral mass plate fusion compared with interspinous wire and facet wiring with iliac crest. J Neurosurg 91(1 Suppl): 19–24
Shivonen T, Herno A, Paljarvi L et al (1993) Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postoperative failed back syndrome. Spine 18: 575–581
Simmons EH, Bernstein AJ (1993) Fractures of the spine in ankylosing spondylitis. In: Floman Y, Farcy JPC, Argenson C (eds) Thoracolumbar spine fractures. Raven, New York, pp 385–408
Spence KF, Decker S, Sell KW (1970) Bursting atlantal fracture associated with rupture of the transverse ligament. J Bone Joint Surg Am 52: 543–549
Steel HH (1968) Anatomical and mechanical considerations of the atlantoaxial articulations. J Bone Joint Surg Am 50: 1481–1482
Steffen R, Nolte L, Jergas M, Krämer J (1993) Einfluß von Weichteilverletzungen auf die Biomechanik sagittal symmetrischer thorakolumbaler Wirbelkompressionsfrakturen. Aktuelle Traumatol 23: 90–96
Stoll TM, Morscher EW (1995) Die zervikale interkorporelle Spondylodese mit der Titan-Verriegelungsplatte. Operat Orthop Traumatol 7: 75–87
Tashjian RZ, Majercik S, Biffl WL et al. (2006) Halo-vest immobilization increases early morbidity and mortality in elderly odontoid fractures. J Trauma 60: 199–203
Taylor RS, Fritzell P, Taylor RJ (2007) Balloon kyphopplasty in the management of vertebral compression fractures: an update, systemativ review and meta-analysis. Eur Spine J 16(8): 1085–1100
Thomasen E (1985) Vertebral osteotomy for corerection of kyphosis in ankylosing spondylitis. Clin Orthop 194: 142–151
Traynelis VC (1998) Current treatment of upper cervical spine fractures and dislocations. In: Traynelis VC (ed) Current techniques in Neurosurgery. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 85–96
Traynelis VC, Marano GD, Dunker RO, Kaufmann HH (1986) Traumatic atlantooccipital dislocation. Case report. J Neurosurg 65: 863–870
Tuli S, Tator CH, Fehlings MG, et al. (1997) Occipital condyle fractures. Neurosurgery 41: 368–377
Verheyden AP, Katscher S, Gonschorek O, Lill H, Josten C (2002) Endoskopisch assistierte Rekonstruktion der thorakolumbalen Wirbelsäule in Bauchlage. Unfallchirurg 105: 873–880
Vernay D, Dubost JJ, Dorbain G, Sauvezie B (1990) Seizures and compression fracture. Neurology 40:725-726
Voggenreiter G (2005) Balloon kyphoplasty is effective in deformity correction of osteoporotic vertebral compression fractures. Spine 30: 1806–1812
Voggenreiter G, Brocker K, Röhrl B et al (2008) Ergebnisse der Ballonkyphoplastie in der Behandlung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Unfallchirurg 111(6):403-413
Wälchli B, Heini P, Berlemann U (2001) Korrekturverlust nach dorsaler Stabilisierung von Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. Die Rolle der transpedikulären Sponngiosaplastik. Unfallchirurg 104: 742–747
Wardlaw D, Cummings SR, Van Meirhaeghe J, et al. (2009) Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE): a randomised controlled trial. Lancet 373: 1016–1024
Weigel B, Maghsudi M, Neumann C, Kretschmer R, Müller FM, Nerlich M (1999) Surgical treatment of symptomatic spinal metastases. Postoperative outcome and quality of life. Spine 24: 2240–2246
White AA III, Panjabi MM (1978) The clinical biomechanics of the occipitoatlantoaxial complex. Orthop Clin North Am 9: 867–878
Whitesides TE Jr (1977) Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. Clin Orthop 128: 78–92
Wimmer C (2008) Perkutane dorsale Stabilisierung an der Brust- und Lendenwirbelsäule mit dem Expedium LIS. Oper Orthop Traumatol 20:511-524
Wippermann BW, Schratt HE, Steeg S, Tscherne H (1997) Komplikationen der Spongiosaentnahme am Beckenkamm. Eine retrospektive Analyse von 1191 Fällen. Chirurg 68:1286-1291
Yazu M, Kin A, Kosaka R et al (2005) Efficacy of novelconcept pedicle screw fixation augmented with calcium posphate cement in the osteoporotic spine. J Orthop Sci 10:56-61
Young WF, Rosenwasser RH, Getch C, Jallo J (1994) Diagnosis and management of occipital condyle fractures. Neurosurgery 34: 257–261

Schulter

F. Hoffmann, B. Weigel, S. Coenen

5.1 Basiswissen – 234
5.2 Verletzungen der Klavikula – 239
5.3 Skapulaverletzungen – 257
5.4 Kapsel-Band-Läsionen – 262
5.5 Humeruskopffrakturen – 281
5.6 Plexusläsionen – 295
Literatur – 299

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_5,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

5.1 Basiswissen

5.1.1 Anatomie

Gelenke

Der Schultergürtel setzt sich aus drei echten Gelenken, einem Nebengelenk und einem unechten Gelenk zusammen. Die echten Gelenke sind das Glenohumeralgelenk – als Hauptgelenk – , das Akromioklavikulargelenk und das Sternoklavikulargelenk. Zusammen mit dem subakromialen Nebengelenk und der skapulothorakalen Verschiebeschicht, ermöglichen sie das außerordentlich große Bewegungsausmaß des Schultergürtels (Abb. 5.1).

Glenohumeralgelenk

Das Hauptgelenk wird vom Oberarmkopf und der Gelenkpfanne gebildet. Die Gelenkpfanne ist tellerförmig flach und bei 75% der Bevölkerung durchschnittlich 7,4° zur Skapulaebene retrovertiert. In der Aufsicht ist sie birnenförmig, kranial schmal, kaudal breiter mit einem mittleren Durchmesser von 25 mm in der Sagittal- und von 35 mm in der Frontalebene. Der Durchmesser des Humeruskopfs beträgt dagegen 45 bzw. 48 mm. Deshalb befinden sich in allen Rotationsstellungen nur etwa 25–30% des Humeruskopfs in Kontakt mit dem Glenoid. Der proximale Humerus hat einen Kopf-Schaft-Winkel von 130–150° und weist in Bezug zur transversalen epikondylären Achse des Ellenbogens eine Retroversion von 20–30° auf.

Die Gelenkfläche des Glenoids wird durch einen fibrokartilaginären Ring, das Labrum glenoidale, vergrößert. Das Labrum dient außerdem der Verankerung der glenohumeralen Ligamente und der langen Bizepssehne. Es vertieft die glenoidale Gelenkfläche. Von den glenohumeralen Ligamenten ist das inferiore glenohumerale Ligament das funktionell bedeutsamste. Es spannt sich als Verstärkung von der ventrokaudalen bis zur dorsokaudalen Kapsel wie eine Hängematte aus und stabilisiert den Humeruskopf insbesondere in der Abduktion und Außenrotation (Abb. 5.2, O'Brien et al. 1990).

Akromioklavikulargelenk

Das Akromioklavikulargelenk verbindet das Schlüsselbein mit dem Schulterblatt über das Akromion. Im Gelenk findet sich als Dämpfer ein fibröser Discus articularis, der mit der Kapsel und dem Ligamentum acromioclaviculare verwachsen ist. Das Ligamentum

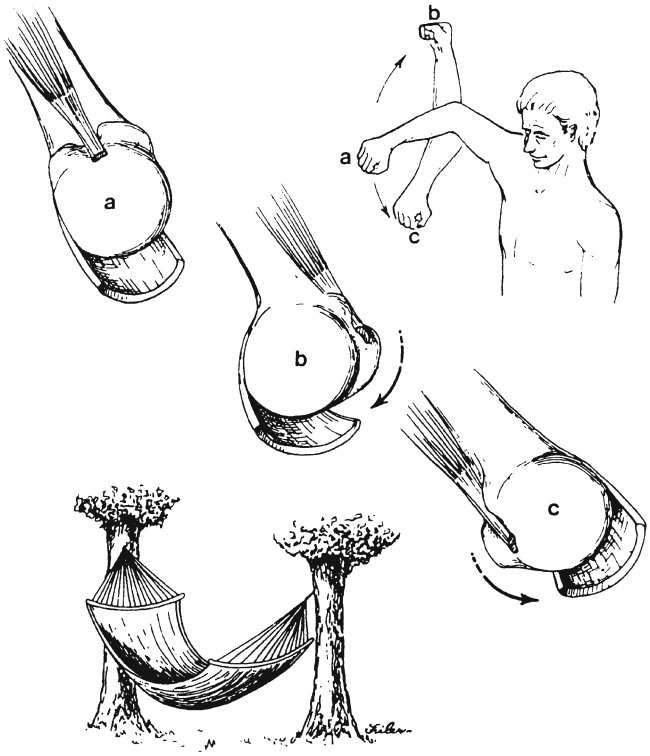


Abb. 5.2 Prinzip der Hängematte. Stabilisation des Humeruskopfs durch den inferioren glenohumeralen Ligamentkomplex in verschiedenen Rotationsstellungen

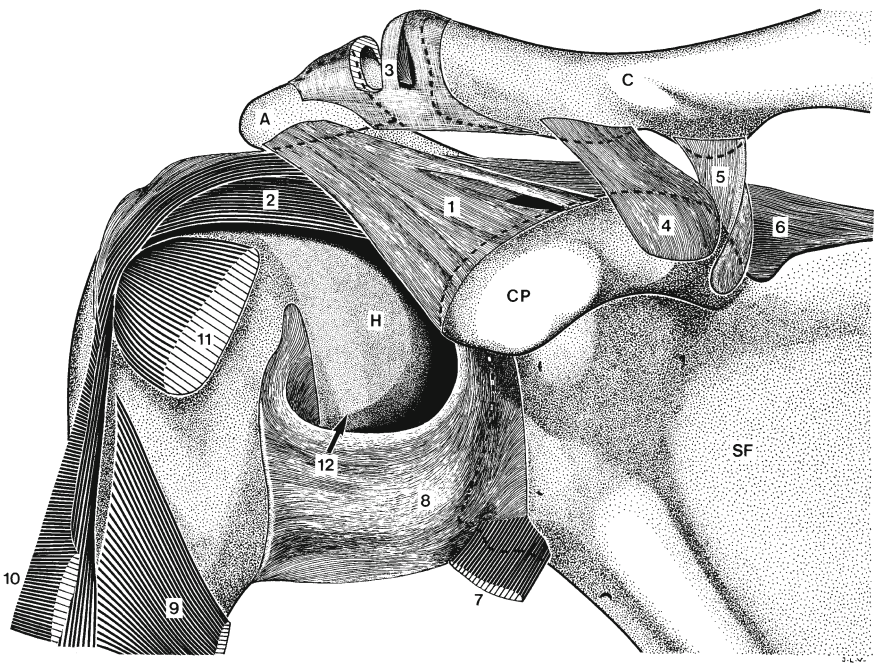


Abb. 5.1 Die Anatomie des Schultergürtels. Auf der Abbildung sind 4 der 5 Gelenke dargestellt. Im Einzelnen handelt es sich um das Glenohumeralgelenk, Akromioklavikulargelenk, Sternoklavikulargelenk, subakromiale Nebengelenk und die skapulothorakale Verschiebeschicht. *A* Akromion, *C* Klavikula, *CP* Korakoid, *H* Humeruskopf, *SF* Fossa subscapularis, *1* Ligamentum coracoacromialis, *2* lange Bizepssehne, *3* Discus articularis, *4* Ligamentum trapezoideum, *5* Ligamentum conoideum, *6* M. supraspinatus, *7* Sehne des M. triceps caput longum, *8* vordere Gelenkkapsel, *9* Sehne des M. latissimus dorsi, *10* Sehne des M. pectoralis major, *11* Sehne des M. subscapularis, *12* Kapselausschnitt. (Aus: Guyot 1990)

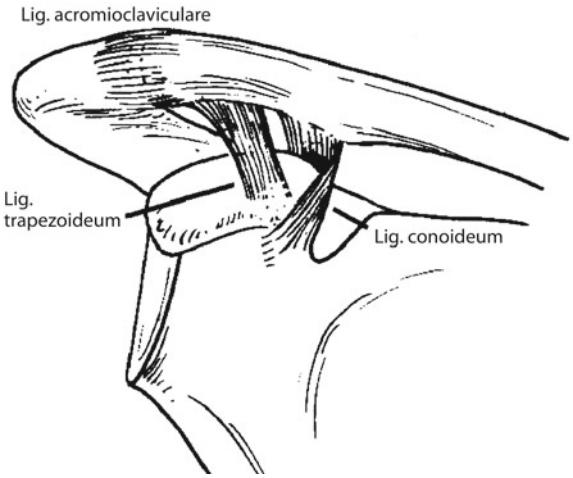


Abb. 5.3 Der Aufbau des Akromioklavikulargelenks

coracoclaviculare mit seinen beiden Bandanteilen, dem Ligamentum conoideum und Ligamentum trapezoideum, stellt über den Processus coracoideus eine weitere Bandverbindung zwischen Klavikula und Skapula her (Abb. 5.3).

Sternoklavikulargelenk

Auch im Sternoklavikulargelenk ist ein Discus articularis enthalten. Mehrere Bänder sichern die Verbindung zwischen Brustbein und Klavikula.

Subakromiales Nebengelenk

Das subakromiale Nebengelenk ist eine Verschiebeschicht zwischen dem Schulterdach und der Rotatorenmanschette. Nach ventral wird dieser Raum durch ein stabiles Band, das Ligamentum coracoacromiale, begrenzt. Dieses Band zieht vom Processus coracoideus zum Vorderrand und zur Unterfläche des Akromions. Processus coracoideus, Ligamentum coracoacromiale und Akromion bilden die so genannte Fornix humeri. Die meist kommunizierenden Bursae subacromialis und subdeltoidea kleiden diese Verschiebeschicht aus.

Thorakoskapulargelenk

Beim Thorakoskapulargelenk handelt es um ein unechtes Gelenk, eine Verschiebeschicht zwischen Thoraxwand und Schulterblatt. Das Schulterblatt ist muskulär an der Thoraxwand fixiert und im Mittel 30° zur Frontalebene verkippt.

Muskeln

Rotatorenmanschette

Die Rotatorenmanschette ist eine Muskel-Sehnen-Kappe, die mit der darunter liegenden Gelenkkapsel verbunden ist. Sie wird aus den 4 Sehnen der gleichnamigen Muskeln gebildet. Der M. subscapularis liegt ventral und ist ein wichtiger Innenrotator. Er entspringt an der Innenfläche der Skapula und setzt am Tuberculum minus humeri an. Der M. supraspinatus ist der wichtigste Startermuskel für die Armabduktion. Er zieht kranial des Humeruskopfs von der Fossa supraspinata scapulae zum Tuberculum majus humeri. Nach dorsal schließen sich die Außenrotatoren, der M. infraspinatus und der M. teres minor an. Ersterer enspringt in der Fossa infraspinata scapulae, letzterer am lateralen Skapularand. Beide inserieren am Tuberculum majus humeri. Zwischen der Subskapularis- und der Supraspinatussehne bedeckt das so genannte Rotatorenmanschettenintervall die lange Bizepssehne, die das Gelenk durch den Sulcus intertubercularis verlässt. Ein Dach aus fibrösen Fasern fixiert die Sehne in ihrem Sulkus. In das Rotatorenmanschettenintervall strahlen auch Fasern des Ligamentum coracohumerale mit ein.

Der N. suprascapularis innerviert die Mm. supraspinatus und infraspinatus, die Nn. subscapulares den M. subscapularis und der N. axillaris den M. teres minor.

Weitere Muskeln

Es sind noch eine ganze Reihe weiterer Muskeln an der Führung des Schultergürtels beteiligt. Wichtig ist der M. deltoideus mit seinen 3 Teilen, Pars clavicularis, acromialis und spinalis. Er gibt der Schulterkontur ihre Form und ist an der Anteflexion, Abduktion und Retroflexion maßgeblich beteiligt. Er wird vom N. axillaris innerviert, der durch die laterale Achsellücke von dorsal in den Muskel eintritt und sich an der Innenfläche des Muskels in seine Endäste aufteilt. Er verläuft etwa 6–7 cm distal der lateralen Akromionkante nach ventral.

Die Gefäßversorgung des Humeruskopfs erfolgt durch die Aa. circumflexae humeri anterior und posterior, die beide aus der A. axillaris entspringen.

5.1.2 Leitsymptome

Die Leitsymptome am Schultergürtel sind in Tab. 5.1 aufgeführt.

Bei fast allen Verletzungen und Erkrankungen des Schultergürtels resultiert zunächst eine uniforme schmerzhafte Bewegungseinschränkung. Die verletzte obere Extremität wird meist mit Hilfe des gesunden Arms am Körper angelegt in Innenrotation gehalten. Eine Dellenbildung unter dem Akromion in Verbindung mit einer federnd fixierten Fehlstellung spricht für eine vordere Oberarmkopfluxation, eine fixierte Innenrotationsstellung für eine hintere Luxation. Bei der vollständigen Akromioklavikulargelenkluxation kommt es durch das Herabsinken der Skapula (Gewicht des Arms) und durch das Höhertreten der Klavikula (Zug des M. sternocleidomastoideus) zu einem relativen Hochstand der lateralen Klavikula (▶ Abschnitt 5.2.2.2, Abb. 5.21, Klaviertastenphänomen).

Bei Verletzungen und Erkrankungen der Rotatorenmanschette umgreift der Patient zur Schmerzlokalisation mit der gesunden Hand den Deltoideusbereich der betroffenen Schulter. Man spricht dann vom so genannten Handflächenzeichen. Bei Läsionen des Akromioklavikulargelenks zeigt er dagegen mit dem Finger direkt auf das schmerzhafte Gelenk (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Ein Riss der langen Bizepssehne ist am charakteristischen Tiefertreten des Muskelbauchs erkennbar (Popeye-Zeichen). Ein schmerzhafter Bogen bei Abduktion zwischen 60 und 120° ist verdächtig auf eine Läsion der Rotatorenmanschette oder ein Engpasssyndrom, während Schmerzen zwischen 120 und 180° eher für eine Läsion des Akromioklavikulargelenks sprechen.

5.1.3 Diagnostik

Am Anfang der eigentlichen klinischen Untersuchung steht die Anamnese. Es muss abgeklärt werden, ob ein direktes Anpralltrauma oder ein indirektes fortgeleitetes Trauma zu der Schulterverletzung geführt hat. Auch die Stellung des Arms in Relation zum Schultergürtel hat beim indirekten Translationstrauma insofern eine Bedeutung, als bestimmte Verletzungsmuster vermutet und durch spätere zielgerichtete Untersuchungsmethoden verifiziert werden können. Die Seitendominanz muss erfragt werden. Bei der

Tab. 5.1 Charakteristische Symptome, die teilweise direkt auf die Art der eingetretenen Verletzung schließen lassen

Leitsymptom	Zusatzbefund	Verdachtsdiagnose
Dellenbildung subakromial	Schmerzbedingte leichte Abduktion und Außenrotation	Vordere Schulterluxation
Dellenbildung subakromial	Fixierte Innenrotationsstellung	Hintere Schulterluxation
Klaviertastenphänomen	Fingerzeichen Schmerzhafter Bogen zwischen 120 und 180°	AC-Gelenksprengung
Pseudoparalyse	Handflächenzeichen	Rotatorenmanschettenruptur
Painful arc	Subakromiales Reibegeräusch	Rotatorenmanschettenläsion
Abgesunkener Bizeps (Popeye-Zeichen)	Kraftverlust bei Armbeugung und Supination	Ruptur der proximalen Bizepssehne

Schmerzanamnese sind in die Schulter ausstrahlende Schmerzen von lokal entstandenen Schmerzen zu unterscheiden.

Es gibt eine Reihe krankhafter Veränderungen, die zu einer Schmerzprojektion in die Schulter hinein führen können, z.B. degenerative oder traumatische Veränderungen an der Halswirbelsäule, insbesondere wenn sie von Muskelverhärtungen begleitet sind, sowie Angina pectoris, ein Pancoast-Tumor oder Erkrankungen des rechten Oberbauchs (Head-Zone).

Lokal entstehende Schmerzen dagegen können nicht nur von Frakturen, Luxationen und Weichteilverletzungen ausgelöst werden, die der Unfallchirurg häufig sieht; differenzialdiagnostisch müssen auch seltenere Ursachen erwogen werden wie Entzündungen, posttraumatische Schmerzzustände, Tumoren oder Nervenengpasssyndrome.

Inspektion

Hämatome, Exkoriationen, Kontusionsmarken und Schwellungen sind Hinweise auf stattgehabte Traumen. Eine leere Pfanne ist beweisend für die Schulterluxation. Man spricht bei leerer Pfanne auch vom Epauletten-Phänomen, weil das Schulterdach dann von der Konvexität der Schulter wie eine Schulterklappe absteht. Ein Klavikulahochstand deutet auf eine Akromioklavikulargelenkluxation hin. Bei der proximalen Ruptur der langen Bizepssehne sinkt der Muskelbauch des M. biceps nach distal.

Palpation

Das Sternoklavikular- und Akromioklavikulargelenk werden auf Druckschmerzhaftigkeit und Stabilität hin untersucht. Weitere gut palpable Strukturen sind das Tuberculum majus und minus, der dazwischen gelegene Sulcus bicipitalis mit der langen Bizepssehne, der Processus coracoideus, das Akromion und die Spina scapulae. Besonders geeignet zur Palpation des Schultergelenks ist der Schultergriff nach Codman (Abb. 5.4). Der Untersucher steht dabei hinter dem Patienten. Die Langfinger umgreifen die Klavikula. Der Zeigefinger liegt in Höhe des Tuberculum majus, während der Daumen die Spina scapulae fixiert. Die zweite, freie Hand des Untersuchers bewegt passiv den Arm des Patienten. Schnappphänomene beim Verschieben einer verdickten Bursa unter der Fornix humeri oder Krepitationen etwa bei Rupturen der Rotatorenmanschette sind damit gut zu ertasten. Ein frühes Mitbewegen der Skapula weist auf eine Bewegungseinschränkung im Glenohumeralgelenk hin.

Beweglichkeitsprüfung

Das Ausmaß der Beweglichkeit wird anhand der Neutral-Null-Methode erfasst. Beurteilt wird das aktive wie auch passive Bewegungsausmaß in Extension/Flexion, Abduktion/Adduktion und Außenrotation/Innenrotation. Eine rasche, grobe Orientierung über die Schulterbeweglichkeit erlaubt die Durchführung des Schürzen- und Nackengriffs. Bei frischen Traumen ist häufig die aktive Beweglichkeit stark eingeschränkt. Will man ausschließlich die Beweglichkeit im Glenohumeralgelenk messen, muss die Skapula manuell fixiert werden. Die Armabduktion ist dann bis maximal 90° möglich.

Abb. 5.4 Schultergriff nach Codman

Funktionstests

In ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests, sind die wichtigsten Tests beschrieben und abgebildet.

Röntgendiagnostik

Obwohl die Kapsel-Band-Strukturen eine große Rolle bei den verschiedenen Pathologien im Schulterbereich spielen, werden für die primäre Diagnostik immer Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen angefertigt: Die erste Aufnahme erfolgt in a.p.-Projektion, die zweite abhängig von der Fragestellung und dem Zustand des Patienten in verschiedenen Projektionen.

Bei akuten Schmerzzuständen an der Schulter darf aufgrund der schmerzbedingten Bewegungseinschränkung bei der Primärdiagnostik keinesfalls auf die zweite Röntgenebene verzichtet werden, denn dann könnte man vorhandene Verletzungen leicht übersehen.

Bei starken Schulterschmerzen wird am besten eine Skapula-Y-Aufnahme angefertigt. Bei dieser Einstelltechnik kann der Patient seinen Arm genauso wie bei der a.p.-Projektion innenrotiert am Körper halten und braucht ihn für die 2. Ebene nicht in der Schulter zu bewegen.

Anteroposteriore Aufnahme

Diese Standardprojektion wird am stehenden Patienten durchgeführt. Das Schulterblatt, das ja am Thorax anliegt und 30° verkippt zur Frontalebene steht, soll dabei der Röntgenkassette flach aufliegen. Dadurch trifft der auf die Korakoidspitze gerichtete Zentralstrahl das Gelenk etwa 30° verkippt zur Sagittalebene. Außerdem wird der Zentralstrahl um 20° nach kaudal geneigt. Bei dieser Einstelltechnik bildet sich das Gelenk orthograd ab, d.h. der vordere und hintere Pfannenrand überschneiden sich und der Gelenkspalt wird einsehbar. Man spricht deshalb auch von der »true«-a.p.-Projektion. Das Tuberculum majus wird profilgebend, wenn der Patient den gestreckten Arm außenrotiert und die Handinnenfläche nach vorne zeigt. Anders rotierte Aufnahmen sind speziellen Fragestellungen vorbehalten. Bei 60°-Innenrotation lässt sich die Tiefe einer Hill-Sachs-Läsion beurteilen. In Neutralrotation kann der akromiohumerale Abstand als prognostischer Faktor zur Rekonstruierbarkeit der Rotatorenmanschette herangezogen werden (Golser u. Resch 1996, Abb. 5.5).

Abb. 5.5 Anteroposteriore Projektion der Schulter

Axiale Aufnahme

Der Patient sitzt seitlich am Röntgentisch und lagert den gebeugten Arm abduziert über die Kassette. Der Zentralstrahl wird kraniokaudal auf die Mitte des Gelenks gerichtet. Auf dieser Aufnahme lassen sich die Stellung des Akromioklavikulargelenks in der Transversalebene (Rockwood-IV-Luxation) und Tuberculum-minus-Frakturen gut beurteilen. Außerdem wären Luxationen besonders gut erkennbar, allerdings ist die dafür notwendige Armabduktion schmerzbedingt meist nicht möglich (Abb. 5.6).

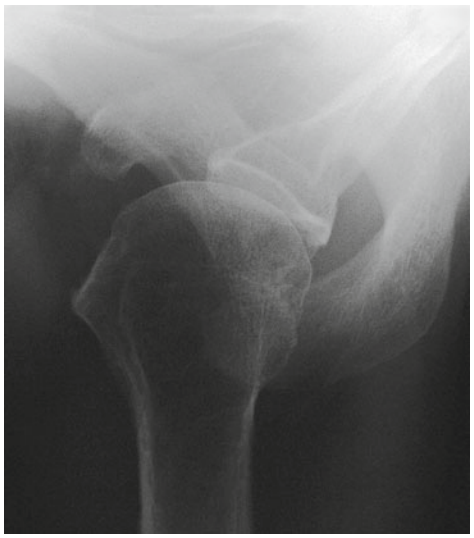


Abb. 5.6 Axiale Projektion der Schulter

Skapula-Y-Aufnahme

Bei starker schmerzhafter Bewegungseinschränkung oder wenn die Schulter in einem Verband ruhiggestellt ist, kann man bei der 2. Ebene von der axialen auf die Skapula-Y-Aufnahme ausweichen. Der Patient sitzt oder steht vor der Röntgenkassette mit dem Rücken zur Strahlenquelle. Die gesunde Schulter wird so weit von der Kassette weggedreht, bis die Skapula der verletzten Seite exakt tangential getroffen wird. Dies ist etwa bei 60°-Oberkörperdrehung der Fall. Der Arm befindet sich in Nullrotation oder, was bei angelegtem Verband unvermeidlich ist, in Innenrotation. Diese Einstellung zeigt die Stellung des Humeruskopfs zur Pfanne. Die Skapula bildet sich Y-förmig ab. Der untere Schenkel entspricht dem Schulterblatt, der dem Thorax zugewandte dem Korakoid, der dem Thorax abgewandte dem Akromion. Im Zentrum befindet sich das Glenoid. Bei gelenkgerechter Stellung und korrekter Aufnahmetechnik projiziert sich der Oberarmkopf direkt über das Glenoid. Nicht nur Luxationen lassen sich beurteilen, sondern auch Frakturen an Humeruskopf und Skapula (Abb. 5.7).

Abb. 5.7 Skapula-Y-Aufnahme

Velpeau-Aufnahme

Die Velpeau-Aufnahme ist eine Alternative zur Skapula-Y-Aufnahme. Der Patient sitzt dafür auf dem Röntgentisch und lehnt seinen Oberkörper etwa 30° zurück. Die Röntgenkassette liegt flach auf dem Tisch unter dem Schultergelenk, das nun in kraniokaudaler Richtung aufgenommen wird. Man kann auf den Bildern die Stellung des Kopfs zur Pfanne und die Tuberkula weitgehend überlagerungsfrei und damit besonders gut beurteilen (Abb. 5.8).

Abb. 5.8 Velpeau-Aufnahme

Outlet-view-Aufnahme

Diese Aufnahme dient der Beurteilung des Subakromialraums. Der Patient sitzt oder steht wie bei der Skapula-Y-Aufnahme mit etwa 60° gedrehtem Oberkörper vor dem Röntgenschirm, sodass der Zentralstrahl das Schulterblatt tangential trifft. Im Unterschied zur Y-Aufnahme wird der Zentralstrahl aber 15° nach kaudal geneigt und in den Subakromialraum zentriert. Auf der Aufnahme kann man die Krümmung des Akromions, Sehnenverkalkungen und Osteophyten an dessen Spitze oder am Akromioklavikulargelenk erkennen. Es wird auch zur postoperativen Kontrolle nach arthroskopischer oder offener Akromioplastik empfohlen (Golser u. Resch 1996, Abb. 5.9).

Klavikula anteroposterior

Die a.p.-Aufnahme der Klavikula kann bei Frakturen zur besseren Beurteilung durch eine zweite um 45° gekippte, von kaudal nach kranial zielende Ebene ergänzt werden (Abb. 5.10).

Anteroposteriore Aufnahme nach Rockwood

Mit dieser Aufnahme werden Osteophyten am Vorderrand des Akromions dargestellt. Sie wird wie die a.p.-Standardaufnahme der Schulter durchgeführt mit dem Unterschied, dass der Zentralstrahl nicht 20° nach kaudal auf das Glenohumeralgelenk, sondern 30° auf die Akromionspitze gerichtet ist. Dadurch kommen Osteophyten am Vorderrand des Akromions und an der Unterfläche der lateralen Klavikula besonders gut zur Darstellung. Deshalb sollte beim Impingement-Syndrom die Outlet-view-Projektion durch diese Aufnahme ergänzt werden (Abb. 5.11).

Sulcus-intertubercularis-Aufnahme

Sie dient der Beurteilung des Sulkus der Bizepssehne und von Tuberculum-majus-Frakturen. Die Aufnahme wird am liegenden Patienten vorgenommen. Die Kassette wird kranial der Schulterebene angestellt. Der gestreckte Arm liegt außenrotiert etwa 10° abduziert. Der Zentralstrahl kommt von kaudal und zielt der Armrichtung folgend tangential auf den Sulcus intertubercularis. Degenerative Veränderungen des Sulkus in Form von Zysten oder Sklerosierungen werden sichtbar. Außerdem kann das Ausmaß der Dorsalversetzung eines frakturierten Tuberculum majus exakt, ggf. auch im Seitenvergleich, erfasst werden (Abb. 5.12).

Abb. 5.9 Outlet-view-Aufnahme

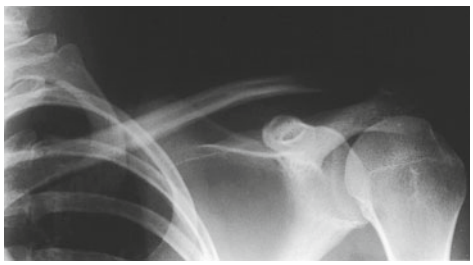


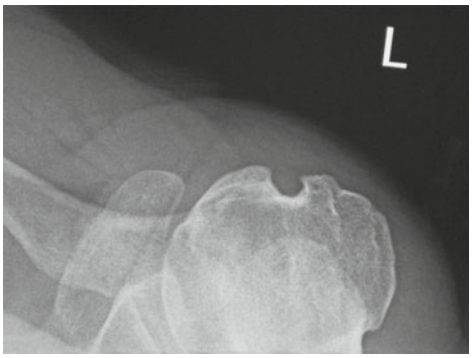
Abb. 5.10 Klavikula a.p.

Abb. 5.11 A.p.-Aufnahme nach Rockwood

Akromioklavikulargelenk-Zielaufnahme

Das Akromioklavikulargelenk ist in der a.p.-Standardprojektion von der Spina überlagert und kann nur auf einer speziellen Ziel-

aufnahme richtig beurteilt werden. Der Patient sitzt oder steht. Der Rücken liegt der Kassette flach an. Der Zentralstrahl ist 10–15° nach kranial und auf das Akromioklavikulargelenk gerichtet. Die Aufnahme kann auch unter Belastung im Seitenvergleich durchgeführt werden (◘ Abb. 5.13, ◘ Tab. 5.2).



◘ **Abb. 5.12** Sulcus-intertubercularis-Aufnahme

◘ **Abb. 5.13** Akromioklavikulargelenk-Zielaufnahme

Krankengymnastik

Die Patienten sollten auf die Besonderheiten der Krankengymnastik des gesamten Schultergelenks, die vielfach der wichtigste Pfeiler des Behandlungsplans ist, hingewiesen werden. Das kann im Einzelfall helfen, die Compliance und damit das Behandlungsergebnis entscheidend zu verbessern, denn kein Gelenk reagiert so empfindlich auf Schmerz wie das Schultergelenk. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass seine Stabilität hauptsächlich durch muskuläre, kapsuläre und ligamentäre Strukturen vermittelt wird. Auf Schmerzreize reagiert die Schulter mit Einsteifung. Deshalb darf an der Schulter nie »in den Schmerz hinein« geübt werden, sondern die Schmerzgrenze muss strikt gewahrt bleiben. Aus demselben Grund sollte man konsequent analgetisch und antiphlogistisch behandeln. Dies ist wichtig für die frühe Wiedererlangung eines guten Bewegungsumfangs, welcher der drohenden, inaktivitätsbedingten Kapselschrumpfung entgegenwirkt und den begonnenen muskulären Abbau stoppt. Bei der so häufigen begleitenden Impingement-Problematik sollte gezielt die Muskulatur auftrainiert werden, die den Oberarmkopf senkt: die Mm. biceps, teres minor und pectoralis major.

5.2 Verletzungen der Klavikula

5.2.1 Frakturen

Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Die Klavikulafraktur ist mit einem Anteil von 10–15% beim Erwachsenen nach dem Speichenbruch die häufigste aller Frakturen. Sie entsteht als Folge eines direkten Traumas oder in seltenen Fällen durch indirekte Gewalteinwirkung beim Sturz auf den abduzierten Arm. Offene Verletzungen sind im Zusammenhang mit Klavikulafrakturen selten; am häufigsten kommt es zu Quer- und Schrägbrüchen, die mit einem Biegungskeil kombiniert sein können. Das Schlüsselbein weist am Übergang vom akromialen zum

◘ **Tab. 5.2** Übersicht der Standardprojektionen abhängig von der Art der Verletzung. Je nach Art der Verletzung empfehlen sich verschiedene Projektionen zur Röntgendiagnostik der Schulter in mindestens 2 Ebenen

Verletzungsart	A.p.-Aufn.	Axiale Aufn.	Skapula-Y-Aufn.	Velpeau-Aufn.	Outlet-view	Zusatzprojektion
Klavikulafraktur	+					Klavikula a.p.
ACG-Luxation	+	+				ACG-Zielaufnahme
Skapulafraktur	+	+	+			
Rotatorenmanschettenruptur	+				+	
Schulterluxation	+	(+)	+	+*		
Bizepssehnenruptur	+				+	Sulcus-intertub.
Impingement-Syndrom	+				+	Rockwood
Humeruskopffraktur	+	(+)	+	+*		
Tuberculum-majus-Fraktur	+			+*		Sulcus-intertub.
Tuberculum-minus-Fraktur	+	+		+*		

(+) = Eine axiale Projektion ist schmerzbedingt oft nicht möglich, dann weicht man auf die Skapula-Y- oder Velpeau-Aufnahme aus.
+* = Diese Projektion kann als Alternative zur 2. Ebene oder zusätzlich angefertigt werden

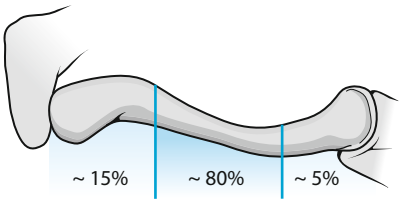


Abb. 5.14 Häufigkeitsverteilung der Klavikulafrakturen

mittleren Drittel eine Sollbruchstelle auf, hier ist der Knochen am wenigsten dick. 80% aller Frakturen sind daher im mittleren Drittel lokalisiert und nur 15% lateral und 5% medial (Abb. 5.14).

Geel (2000) beschreibt den üblichen Unfallhergang als Sturz auf den ausgestreckten Arm, der die Schulter nach posterior schlägt, sodass bei intaktem Sternoklavikulargelenk der Klavikulaschaft über dem Widerlager der ersten Rippe abgebrochen wird. Wenn man sich diesen Unfallmechanismus vorstellt, erscheint es plausibel, dass in Ausnahmefällen die subklavikulären Gefäße oder Nerven mitverletzt werden. Klavikulafrakturen können aber auch durch direkte Gewalteinwirkung an der Schulter entstehen (Stanley u. Mitarbeiter 1988).

Klinik

Wenn der periostale Verbund bestehen bleibt, entsteht lediglich ein Achsknick. Wird er jedoch zerrissen, ergibt sich eine mehr oder weniger ausgeprägte typische Fehlstellung der Hauptfragmente zueinander. Die für Klavikulafrakturen typische Dislokation entsteht durch Zug des M. sternocleidomastoideus am medialen Fragment, das nach kranial und dorsal tritt. Das Gewicht des Arms zieht die Schulter mit dem lateralen Hauptfragment nach unten und der Zug der Pars clavicularis des M. pectoralis major nach vorne und unten. Im Frakturbereich entsteht eine sichtbare und tastbare Stufenbildung mit deutlichem Druckschmerz. Die Schulter erscheint abgesunken und verkürzt. Hautverletzungen oder Durchspießungen durch Knochenenden können daraus resultieren, sind aber insgesamt selten (Abb. 5.15).

An die Möglichkeit begleitender Gefäß- oder Nervenverletzungen im Bereich des Plexus brachialis muss man denken. Außerdem kann die Pleura angespießt worden und ein Hämatopneumothorax entstanden sein. Bei großer direkter Gewalteinwirkung, wie sie z.B. von einem umstürzenden Baum ausgehen kann, muss man auch nach Frakturen der Skapula und des Rippenthorax fahnden.

Diagnostik

Die richtige Diagnose ist klinisch palpatorisch und inspektorisch meistens schon eindeutig zu stellen. Zur Beurteilung der Frakturstellung wird die Klavikula in 2 Ebenen, a.p. und 45° gekippt im kaudokranialen Strahlengang geröntgt. Im Einzelfall kann eine zusätzliche bildgebende Diagnostik mittels CT oder MRT zur Abklärung begleitender Kapsel-Band-Verletzungen des Schultergelenks indiziert sein. Mediale Klavikulafrakturen sind auf Standardaufnahmen aufgrund von Überlagerung oft nicht erkennbar. Dann helfen überlicherweise die CT, in Ausnahmefällen auch Szintigrafie oder MRT weiter.

Wegen möglicher neurovaskulärer Begleitverletzungen müssen die periphere Sensibiliät, Motorik und Durchblutung des Arms und der Hand im Zweifelsfall im Seitenvergleich exakt beurteilt und dokumentiert werden. Außerdem werden beide Lungen routinemäßig auskultiert. Bei stattgehabter großer Gewalteinwirkung z.B. im Rahmen eines Rasanztraumas oder durch eine direkte Gewalteinwirkung muss zusätzlich eine Röntgenübersichtsaufnahme des Thorax angefertigt werden.

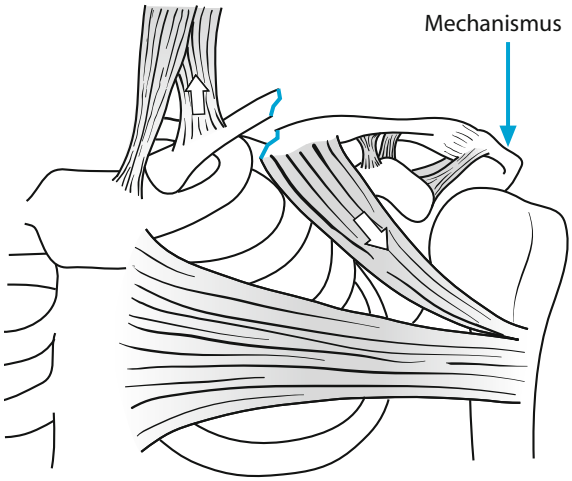


Abb. 5.15 Typische Versetzung der beiden Hauptfragmente bei einer Klavikulafraktur im mittleren Drittel durch Muskelzug (Einzelheiten im Text)

Klassifikation

In der Einteilung nach Allmann (1967) sind, wie bereits oben dargestellt, 80% der Frakturen im mittleren Schaftdrittel, 15% im lateralen und 5% im medialen lokalisiert. Diese Häufung hängt mit 2 Faktoren zusammen. Das mediale und das laterale Drittel haben einen ovalären Querschnitt und sind ligamentär verstärkt. Im medialen Drittel hingegen hat die Klavikula einen runden und relativ geringen Querschnitt. Gleichzeitig ist dies der Ort, an dem die größten Hebelkräfte wirken.

Für die lateralen Klavikulafrakturen gibt es 2 bekannte Klassifikationen. Die Einteilung nach Neer (1968) unterscheidet 3 Typen (s. Übersicht).

Klassifikation der Klavikulafrakturen

- **Typ I:** Laterale Klavikulafraktur mit Bruchverlauf zwischen akromio- und korakoklavikulären Bändern ohne deutliche Dislokation
- **Typ II:** Laterale Klavikulafraktur mit Verletzung der korakoklavikulären Bänder und, abhängig vom Ausmaß der Bandverletzung, mehr oder weniger deutlicher Dislokation
- **Typ III:** Intraartikulär ausmündende laterale Klavikulafraktur

Die Einteilung nach Jäger u. Breitner (1984) unterscheidet 5 Typen:

- **Typ I:** Stabile Fraktur ohne Dislokation bei intakten korakoklavikulären Bändern
- **Typ IIa:** Instabile Fraktur mit primär oder sekundär eintretender Dislokation bei Verletzung der korakoklavikulären Bänder
- **Typ IIb:** Stabile Fraktur ohne Dislokation bei intakter Pars conoidea der korakoklavikulären Bänder
- **Typ III:** Laterale Fraktur knapp medial der korakoklavikulären Bänder
- **Typ IV:** Luxation des distalen Klavikulaendes aus dem Periostschlauch

Therapie

Mediale Klavikulafrakturen

Mediale Klavikulafrakturen sind in aller Regel wenig verschoben. Da der Querschnitt des Schlüsselbeins in diesem Abschnitt am kräftigsten ist, wirken Hebelkräfte vorwiegend im mittleren Drittel. Mediale Frakturen entstehen dagegen durch direkte Gewalteinwirkung. Mehrere Ligamente, die Ligamenta sternoclaviculare anterius und posterius, das Ligamentum costoclaviculare und das Ligamentum interclaviculare wirken zusätzlich stabilisierend. Die meist nur geringe Dislokation und die gleichzeitige Überlagerung durch den Rippenthorax und die Brustwirbelsäule mit ihren Querfortsätzen erschweren die radiologische Beurteilung. In Zweifelsfällen lässt sich der Nachweis computertomografisch oder szintigrafisch führen. Außerdem muss bedacht werden, dass die hier gelegene Epiphyse bis zum 24. Lebensjahr offen bleiben kann. In dieser Fuge findet der Hauptanteil des Längenwachstums statt (Canale 1992).

Konservative Therapie

Wenig dislozierte Frakturen werden konservativ durch Ruhigstellung mit einem Rucksackverband behandelt (s. unten, ▶ Abschnitt Klavikulafrakturen des mittleren Drittels). Eine Ruhigstellung für 4 Wochen reicht in aller Regel aus.

Operative Therapie

Die ganz selten auftretenden stark dislozierten Frakturen mit Versetzung um Schaftbreite sollten dagegen offen reponiert und stabilisiert werden, denn die Mechanik des Sternoklavikulargelenks würde durch einen gelenknahen Versatz beeinträchtigt. Außerdem führt ein Versatz der Hauptfragmente um Schaftbreite in diesem Bereich, in dem die Klavikula ihren kräftigsten Querschnitt aufweist, zu einer wulstigen Vorwölbung der thorakalen Kontur, was sich insbesondere durch die hier vorliegende sehr dünne Weichteildeckung ungünstig auswirkt.

Über einen kurzen Zugang im Verlauf der Hautspaltlinien geht man auf die Fraktur ein. Der Bruchbereich wird sparsam dargestellt und die Fraktur durch gegenläufigen Zug an beiden Schultern reponiert. Man kann eine gute Repositionswirkung entfalten, wenn man den Patienten im Bereich der Brustwirbelsäule auf einem Hypomochlion in Form einer weichen Tuch- oder Schaumstoffrolle lagert. Lässt sich durch bloßen Zug keine Reposition erreichen, fasst man die beiden Hauptfragmente mit spitzen Repositionszangen und stellt sie direkt aufeinander.

Wenn die Verkürzung bzw. der Achsenknick ausgeglichen ist, wird die Fraktur mit einer Drahtcerclage stabilisiert. Die Zerklage wird durch V-förmige Bohrlöcher in beiden Fragmentenden verankert. Beim Setzen der Bohrlöcher muss darauf geachtet werden, dass man nicht über die Gegenkortikalis hinaus bohrt und mediastinale Strukturen verletzt. Falls das mediale Fragment für die Versorgung mit einer Zerklage zu klein sein sollte, ist es einfacher, es zu reszieren und die ligamentären Strukturen zwischen Brust- und Schlüsselbein zu nähen (▶ Abschnitt 5.2.2.1, Sternoklavikulargelenkluxation). Wenn das mediale Hauptfragment dagegen ausreichend lang und die Knochenqualität gut ist, kann die Fraktur auch mit einer winkelstabilen 3,5er Kleinfragment-T-Platte stabilisiert werden.

Klavikulafrakturen des mittleren Drittels

Konservative Therapie

Die meisten Klavikulafrakturen des mittleren Drittels werden konservativ behandelt. Die Frakturen werden in einem Rucksackverband ruhiggestellt. Ausgenommen sind offene Frakturen und Frakturen mit begleitenden Gefäß- oder Nervenschäden (s. u., Operative Therapie).

Bei deutlichem Achsknick oder Überschiebung der Fragmentenden wurde die Fraktur früher mit oder ohne Bruchspaltanästhesie reponiert. Dazu wurde die Schulter nach lateral und dorsal über ein Hypomochlion zwischen den Schulterblättern gezogen. Das Hypomochlion konnte z.B. das Knie des Arztes sein, der die Reposition vornahm. Man versuchte, das Repositionsergebnis durch einen Rucksackverband zu halten, der in der ersten Woche täglich nachgespannt wurde.

Heute ist dieses Vorgehen verlassen. Die Klavikula ist starken Muskelzügen, der Schultergürtel häufigen Lagewechseln und der angrenzende Thorax ständigen Atemexkursionen ausgesetzt. Deshalb ist es nicht möglich, die Klavikula ausreichend ruhig zu stellen und ein einmal erreichtes Repositionsergebnis von außen zu fixieren. Dies ist der Grund dafür, warum heute die alleinige Reposition der dislozierten Klavikulafraktur ohne sich anschließende Osteosynthese nicht mehr durchgeführt wird. Der Patient würde durch eine Reposition nur unnötig Schmerzen erleiden, denn er profitiert nicht davon.

Bei der konservativen Behandlung der Klavikulafraktur wird ein Rucksackverband angelegt. Der Verband wird gerade so straff gezogen, dass es für die Patienten noch angenehm ist. Keinesfalls darf der Zug so ausgeprägt sein, dass in den Armen ein venöser Rückstau entsteht oder Sensibilität und Motorik beeinträchtigt werden. Je nach Fabrikat des Verbandes und nach Weichteilsituation des jeweiligen Patienten müssen die Achselhöhlen evtl. zusätzlich gepolstert werden, um einen ausreichenden Tragekomfort zu erzielen. Die Patienten werden darauf hingewiesen, dass der Verband straff sitzen soll, um einer Verkürzung des Schlüsselbeins entgegen zu wirken, wenngleich diese nur bedingt verhindert werden kann. Ein straff sitzender Verband bewirkt einen kontinuierlichen Zug an beiden Schultern nach dorsal. Dadurch entsteht eine gewisse Ruhigstellung im Bruchbereich, die schmerzstillend wirkt und die Frakturheilung beschleunigt. Falls Begleitpersonen anwesend sind, leitet man sie im Nachspannen des Verbandes an.

Während die Tragedauer bei Kindern nur 3 Wochen beträgt (▶ Kap. 12, Frakturen im Kindesalter), brauchen Erwachsene den redressierenden Verband 4–6 Wochen lang. Die Dauer wird in jedem Einzelfall anhand von klinischen Kontrollen und Röntgenverlaufskontrollen festlegt, die z.B. in 10-tägigen Abständen durchgeführt werden. Mit Hilfe des Röntgenbildes lassen sich die Stellung der Fragmentenden zueinander und das Ausmaß der Kallusbildung beurteilen. Allerdings bleibt der Frakturspalt oft monatelang sichtbar, obwohl die Fraktur bereits fest ist. Deshalb sollte man bei der Entscheidung über die Dauer der Ruhigstellung in erster Linie den klinischen Befund berücksichtigen. Wenn der Patient die Schulter schmerzfrei bewegt und im Frakturbereich kein Druckschmerz mehr besteht, kann man davon ausgehen, dass die Fraktur für eine funktionelle Weiterbehandlung ausreichend fest ist, auch wenn dies nicht mit dem radiologischen Befund korreliert. Weitere Röntgenkontrollen sind mangels therapeutischer Konsequenzen dann verzichtbar.

Neurovaskuläre Störungen können durch einen zu eng angelegten Rucksackverband verursacht werden. Der Röntgenbefund hinkt der Bruchheilung hinterher.

Operative Therapie

Indikationen für eine Plattenosteosynthese

Die Indikation zur operativen Therapie mit Plattenosteosynthese einer Klavikulafraktur im mittleren Drittel wird zurückhaltend gestellt, weil die Ergebnisse der konservativen Behandlung gut sind und sich eine gewisse Verkürzung oder Fehlstellung funktionell meist nicht bemerkbar macht (Andersen et al. 1987, Grassi et

al. 2001). Während die Plattenosteosynthese einige Risiken birgt (s. unten, ▶ Abschnitt Nachbehandlung). Mittlerweile wird aber an unfallchirurgischen und orthopädischen Kliniken in Deutschland ein relativ hoher Anteil von Klavikulafrakturen mit der Markraumdrahtung operativ stabilisiert. Dies ermittelten Pieske und Mitarbeiter (2008) in einer Umfrage.

Unabhängig davon besteht nur bei folgenden Verletzungsmustern eine Operationsindikation:

- Zweit- und drittgradig offene Brüche,
- Begleitläsionen von Gefäßen und Nerven,
- drohende Perforation der Haut durch Frakturfragmente,
- ipsilaterale Skapulahalsfraktur (floating shoulder),
- schmerzhafte Pseudarthrose,
- pathologische Fraktur.

Relative Indikationen sind:

- Mehrfachverletzung (zur Erleichterung der Mobilisation),
- stark dislozierte Fraktur,
- Repositionshindernis durch Weichteilinterponat,
- kosmetische Gründe,
- Refraktur.

Aufklärung

Man muss die Patienten insbesondere dann eingehend über das Für und Wider eines operativen Eingriffs informieren, wenn es sich um eine relative Indikation handelt. Es bestehen zahlreiche Risiken. A. und V. subclavia und der Plexus brachialis können verletzt werden. Die Hauptrisiken aber sind die Entwicklung einer Pseudarthrose und einer unschönen kosmetisch störenden Narbe.

Laut Klonz und Mitarbeitern (2001) wird »aufgrund der für den Patienten offensichtlichen Fehlstellung und zu erwartenden kosmetischen Beeinträchtigung der Arzt häufig mit der Frage nach einer primären operativen Therapie konfrontiert«. Da jedoch die primär operative Stabilisierung dislozierter Frakturen aufgrund der guten Ergebnisse nach konservativer Therapie nicht gesichert ist, gehen die Autoren in Abwesenheit absoluter Indikationen die Risiken einer Plattenosteosynthese nur dann ein, wenn nach 6-wöchiger konservativer Therapie die klinischen und radiologischen Anzeichen einer Bruchheilung ausbleiben. Diese starre Ausgrenzung des operativen Vorgehens wurde allerdings in letzter Zeit aufgeweicht. Jubel et al. (2002) berichten nämlich über bessere Ergebnisse nach Markraumschienung mit der Prevot-Nagelung (s. unten) gegenüber der konservativen Behandlung im Rucksackverband.

Vorgehensweise

Als Verfahren der Wahl galt, bis die ersten positiven Ergebnisse nach Prevot-Nagelung bekannt wurden, die Plattenosteosynthese. Für die Plattenosteosynthese wird der Patient in »Beach-chair-Position« gelagert. Man schafft dann entweder einen parallel über der Klavikula verlaufenden Hautschnitt oder geht lotrecht dazu, den Hautspaltlinien folgend ein (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der horizontale Zugang ermöglicht eine problemlose Erweiterung nach beiden Seiten. Er ist insbesondere dann indiziert, wenn man die Klavikula langstreckig darstellen muss oder es sich um eine schwierig zu versorgende Fraktur oder Pseudarthrose handelt. Generell kann man ihn eher bei alten Patienten anwenden als bei jungen, weil die alten nicht zur überschießenden Narbenbildung neigen. Der so genannte Säbelhiebschnitt empfiehlt sich folglich hauptsächlich bei einfachen Brüchen und für junge Patienten.

Der Bruchbereich sollte möglichst wenig deperiostiert werden. Die muskulären Ansätze des Platysmas und der Mm. trapezius, sternocleidomastoideus, deltoideus und pectoralis major sollten, soweit möglich, belassen bleiben. Vor der Reposition der beiden Hauptfragmente wird ein ausgebrochener Biegungskeil ggf. mit einer Interfragmentärschraube an einem der beiden Hauptfragmente befestigt. Dann lässt sich die Fraktur einfacher reponieren. Beim Repositionsvorgang selbst kann man das laterale Hauptfragment durch Unterstützung des ipsilateralen Arms besser dirigieren. Das Repositionsergebnis wird mit einer Repositionszange mit spitzen Branchen gehalten und ggf. mit einer 3,5er Zugschraube gesichert.

Beim Schaffen der Bohrlöcher arbeitet man in unmittelbarer Nähe zu neurovaskulären Strukturen. Geel (2000) empfiehlt deshalb die Verwendung einer oszillierenden Bohrmaschine. Andere Autoren raten dazu, einen Hohmann-Hebel unterzuschieben und auf diesen zuzubohren. Allerdings geht dies zu Lasten des periostalen Verbundes. Im eigenen Vorgehen hat sich bewährt, die Bohrmaschine mit der freien Hand abzustützen und sich auf den Moment zu konzentrieren, in dem ein niederfrequenter werdendes Geräusch der Maschine den Augenblick der Perforation der Gegenkortikalis erkennen lässt (▶ Kap. 22, Chirurgische Handwerkstechniken).

Da an der Klavikula nicht nur Druck- und Zug-, sondern auch Biege- und Rotationslasten auftreten, wird die Osteosynthese stark belastet. Die Folge ist eine relativ hohe Rate an Implantatversagen durch Lockerung oder Plattenbruch. Das stabilste Implantat ist daher auch das Beste; das ist in diesem Fall die 3,5er LCDC- oder LCP-Platte. Die hohe Stabilität des Implantats bedeutet natürlich auch eine vermehrte Rigidität beim Anpassen seiner Form an die des Schlüsselbeins. Man muss sie ggf. schränken. Bei starker S-förmiger Krümmung und langstreckiger Osteosynthese muss man deshalb evtl. auf die weniger stabile 3,5er Rekonstruktionsplatte ausweichen, weil sich diese besser an die äußere Form der Klavikula anpassen lässt. Heute werden zunehmend winkelstabile Implantate verwendet.

Die Platte kann auf die supraklavikuläre oder anteriore Fazies der Klavikula montiert werden. Da an beiden Orten die Weichteildeckung meist gleich dünn ist, kann man sich bei der Wahl der Plattenlage nach dem Bruchverlauf, der Position eines etwaigen Biegungskeils und nach dem Implantat, das man bevorzugt, richten. Die Montage von anterior hat den Vorteil, dass das Anmodellieren der Platte erleichtert wird, sodass man die rigidere LCDC-Platte verwenden kann. Bei einer supraklavikulären Plattenlage muss man auch den S-förmigen Verlauf der Klavikula berücksichtigen. Das ist jedoch nur mit der weniger stabilen Rekonstruktionsplatte möglich. Bei anteriorer Montage braucht die LCDC-Platte nur wellig vorgebogen und evtl. zusätzlich geschränkt zu werden, während die supraklavikulär montierbare Rekonstruktionsplatte in der Horizontalebene dem S-förmigen Verlauf des Schlüsselbeins angepasst werden muss.

Ein weiterer Vorteil einer Montage von anterior ist, dass man beim Bohren und Schrauben im medialen Hauptfragment nicht vom Kopf des Patienten abgelenkt wird, was zu erheblichen Schwierigkeiten bei einer Montage von supraklavikulär führen kann.

Pro Hauptfragment sollen mindestens 6 Kortikales gefasst werden. Das heißt, man wird in der Regel eine 7- oder 8-Lochplatte benutzen. Generell empfiehlt sich primär, einen langstreckigen Plattensitz anzustreben. Eine Überbrückungsosteosynthese ist auch an der Klavikula besser als die anatomische Rekonstruktion von Trümmer-

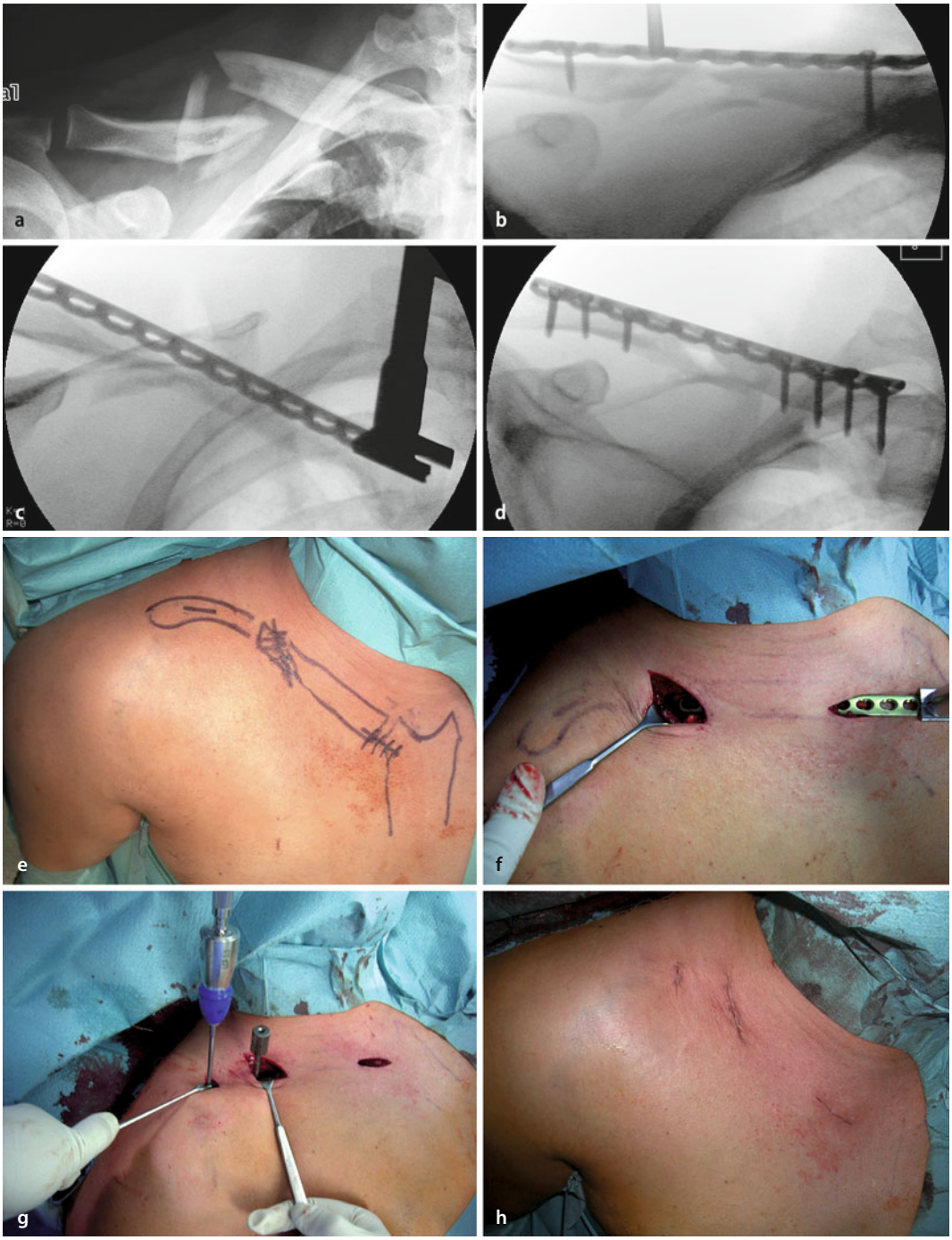


Abb. 5.16a–h Perkutane winkelstabile Plattenosteosynthese einer Klavikulafraktur. **a** Fraktur der Klavikula vom OTA-Typ C. **b** Perkutanes Einschieben einer winkelstabilen LCP. **c** Heranziehen der beiden Hauptfragmente mit je einer Kortikaliszugschraube. **d** Die weiteren Schrauben sind winkelstabil, das dritte Fragment wurde mit einem PDS-Faden angeschlungen. **e** Aufzeichnung der Frakturs situation vor Beginn der Operation. **f** Einschieben der Platte von medial in die präformierten epiperiostalen Räume. **g** Setzen der Schrauben. **h** Situs nach Wundverschluss. (Aus: Andermahr et al. 2008)

frakturen unter Inkaufnahme einer ausgedehnten Deperiostierung. Bei unzureichendem Fragmentkontakt aufgrund deperiostierter Knochenanteile ist eine primäre Spongiosaplastik zu erwägen.

Bei höhergradig offenen Frakturen ist ein Débridement erforderlich und die anschließende Stabilisierung mit einer Plattenosteosynthese oder Anlage eines Minifixateurs. Die Weichteildeckung kann ggf. mit Transfer des M. pectoralis major erzielt werden (Klonz et al. 2001). Bei zusätzlicher Fraktur des Skapulahalses (floating shoulder) reicht die Stabilisierung der Klavikula alleine meist aus.

Die Plattenosteosynthese kann auch, wie von Andermahr und Mitarbeitern (2008) beschrieben, perkutan durchgeführt werden. Die Autoren empfehlen dies für C-Frakturen, die man nicht intramedullär schienen kann bzw. als Rettungsoperation nach gescheiterter intramedullärer Schienung wegen eines zu engen Markraums oder bei einer Instabilität im lateralen Hauptfragment und bei hypo-

throphe Pseudarthrose. Letztere Indikation ist noch nicht klinisch überprüft. Hypertrophe Pseudarthrosen eignen sich nicht, weil die Wulstbildung im Pseudarthrosenbereich das Durchschieben der Platte unmöglich macht. Die Autoren haben in einer Kasuistik über einen kleinen Hautschnitt im Bereich des Sternoklavikulargelenks das Plattenlager über dem medialen Hauptfragment mit einer Schere vorbereitet. Eine in einem Handgriff eingespannte 11-Loch-3,5er-LCP wurde bis zur Fraktur vorgeschoben, dann vom AC-Gelenk aus der Plattensitz über dem lateralen Hauptfragment präformiert und nach Reposition der Fraktur die Platte in den lateralen Weichteiltunnel durchgeschoben. Nach radiologischer Kontrolle der Platte in 2 Ebenen wurden zunächst beide Hauptfragmente mit jeweils einer Kortikaliszugschraube an die Platte heranreponiert und anschließend durch zusätzliche winkelstabile Schrauben entgültig fixiert. Ein drittes Fragment haben sie mit einer PDS-Kordel an die Platte gefesselt. Die Autoren empfehlen das Implantat zuvor an den S-förmigen Schwung der Klavikula anzupassen (Abb. 5.16).

Prevot-Nagelung

Jubel et al. (2002) berichten über ihre Erfahrungen mit der Prevot-Nagelung bei Klavikulafrakturen. Als Argument für ein operatives Vorgehen führen die Autoren eine Nachuntersuchung von Mullick (1967) an, der an Röntgenverläufen zeigte, dass eine Reposition und Retention im Rucksackverband nahezu nie zu halten war und in einigen Fällen die Dislokation sogar zunahm. Außerdem wird die Zugspannung, die für eine gute Redression nötig wäre, von den Patienten nicht toleriert. Der venöse Rückstrom wird beeinträchtigt und die Haut in Mitleidenschaft gezogen.

Für den operativen Eingriff werden die Patienten auf den Rücken gelagert. Über die obere Brustwirbelsäule wird eine Tuchrolle gelegt, damit der Schultergürtel distrahiert werden kann. Aus demselben Grund bleibt der ispilaterale Arm frei beweglich und wird mit abgewaschen. Über dem sternalen Klavikulaende wird eine etwa 1 cm kurze Längsinzision gesetzt und Haut und Subkutis gespreizt. Dann wird die Kortikalis mit einem 2,5 mm dicken Bohrer eröffnet und anschließend mit einem Pfriem auf 3,5 mm erweitert. Ein Prevot-Nagel geeigneter Stärke wird nach lateral in den Markraum vorgeschoben. Bei Frauen haben sich Implantatstärken von 1,5–2,0 mm, bei Männern von 2,0–2,5 mm bewährt. Das Vorgehen von lateral wurde ebenfalls beschrieben. Allerdings arbeitet man dabei in Richtung Mediastinum. Falls man das mediale Hauptfragment verfehlt, wären mediastinale Strukturen gefährdet. Deshalb erscheint das nach lateral gerichtete Vorgehen weniger komplikationsträchtig. Außerdem dürfte die Reposition leichter sein, denn Strohecker et al. (2002), die den Prevot-Nagel von lateral nach zentral einbrachten, mussten in 90% der Fälle offen vorgehen, während Jubel et al. (2002), die von zentral nach lateral vorgehen, nur in 50% offen reponieren mussten.

Die Schwierigkeit besteht darin, den Nagel durch das mittlere Drittel der Klavikula vorzutreiben, denn im Gegensatz zum Markraum des medialen und lateralen Drittels ist der des mittleren Drittels sehr eng und limitiert die mögliche Stärke des Implantats. Dazu kommt, dass die kufenförmige Gestalt des Nagelendes dessen Querschnitt vergrößert. Deshalb kann es hilfreich sein, die Kufe etwas flacher zu biegen, bevor man den Nagel in den Markraum einführt.

Eine weitere Schwierigkeit ist die Reposition. Geschlossen gelingt sie nur in etwa der Hälfte der Fälle. Man tastet dafür die beiden Hauptfragmentenden durch den Weichteilmantel und reponiert sie unter gleichzeitigem Zug am Arm. Der Assistent schiebt anschließend den Nagel ins laterale Hauptfragment oder treibt ihn bei erhöhtem Widerstand mit leichten Hammerschlägen vor. Wenn die Fraktur sich geschlossen nicht stellen lässt, wird sie offen eingerichtet. Dazu schafft man einen etwa 3 cm kurzen, vertikalen Zugang direkt über dem Bruchbereich, fasst die beiden Hauptfragmentenden jeweils mit einer Repositionszange und stellt sie aufeinander. Anschließend wird die erreichte Reposition durch Vorschieben des Nagels fixiert.

Die einzelnen Schritte werden unter Bildwandler kontrolliert, um sicher zu gehen, dass das Implantat im Marklager liegt und die Fraktur richtig steht. Wenn der Nagel seine endgültige Position erreicht hat, wird er ziemlich knapp über dem Kortikalisniveau eingekürzt, damit er die Weichteile nicht zu sehr irritiert. Andererseits muss er die Kortikalis weit genug überragen, damit das Ende bei der Implantatentfernung leichter wiedergefunden werden kann.

Die Entfernung selbst kann recht mühsam sein, weil das kurze Ende des Nagels den Branchen der Extraktionszange relativ wenig Angriffsfläche bietet und das Implantat im engen Markraum der Klavikula verklemmt ist.

Im Kollektiv von Jubel et al. (2002) erfolgte die Implantatentfernung im Durchschnitt nach 8 Monaten.Die Arbeitsgruppe berichtet über eine signifikante Schmerzabnahme nach der operativen Versorgung. Außerdem war das Bewegungsausmaß der ipsilateralen Schulter deutlich besser als nach konservativer Behandlung. Es entwickelte sich eine Pseudarthrose, aber Infektionen, Dislokationen des Implantats oder Refrakturen traten nicht auf.

Bei konservativem Vorgehen wird dagegen in der Literatur von Pseuarthroseraten zwischen 0,3 und 15% berichtet. Außerdem heilen die Frakturen in der Hälfte der Fälle mit einer merklichen Verkürzung von mehr als 1 cm aus und diese Verkürzungen verschlechtern die Schulterfunktion signifikant.

Ein weiterer Vorteil der Prevot-Nagelung ist, dass postoperativ keine Ruhigstellung erforderlich ist und ohne Rucksackverband nachbehandelt werden kann. Inzwischen häufen sich die Berichte, dass die Patienten von diesem Verfahren eindeutig profitieren. Walz und Mitarbeiter (2006) haben z.B. 35 Klavikulafrakturen im Rahmen einer offenen prospektiven Longitudinalstudie ausgewertet und gefunden, dass bereits am 1. postoperativen Tag eine erhebliche Schmerzreduktion bestand, nach 1 Woche die Beweglichkeit der Schulter nahezu frei war und innerhalb von 6 Wochen alle Frakturen komplikationslos, unter Erhalt der vollen Länge konsolidierten. Funktionell relevante Defizite im Vergleich zur Gegenseite traten nicht auf. Deshalb sind die Autoren der Meinung, dass man den Patienten das Verfahren als Alternative zur konservativen Therapie anbieten sollte (Abb. 5.17).

Jubel et al. (2005) verglichen prospektiv die konservative Therapie (n=27) mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (n=26) während der ersten 7 Monate und fanden, dass während des gesamten Zeitraums signifikant bessere Ergebnisse hinsichtlich der Schulterfunktion, Patientenzufriedenheit, Schmerzempfindung und des kosmetischen Ergebnisses nach operativer Versorgung bestanden. Außerdem war die Dauer der Arbeitsunfähigkeit um mehr als die Hälfte verkürzt.

Pseudarthrosen

Es gibt Fälle, in denen Klavikulafrakturen nach konservativer Therapie oder bei stattgehabter starker Deperiostierung im Rahmen einer Osteosynthese nicht verheilen. Stattdessen bildet sich eine Pseudarthrose aus. Während asymptomatische Pseudarthrosen keiner Behandlung bedürfen, besteht in folgenden Fällen die Indikation zur Resektion und Stabilisierung:

- Neurologische Störung
- Durchblutungsstörung
- Schmerzhafte Verkürzung
- Schmerzhafte Funktionseinschränkung
- Störende Fehlstellung

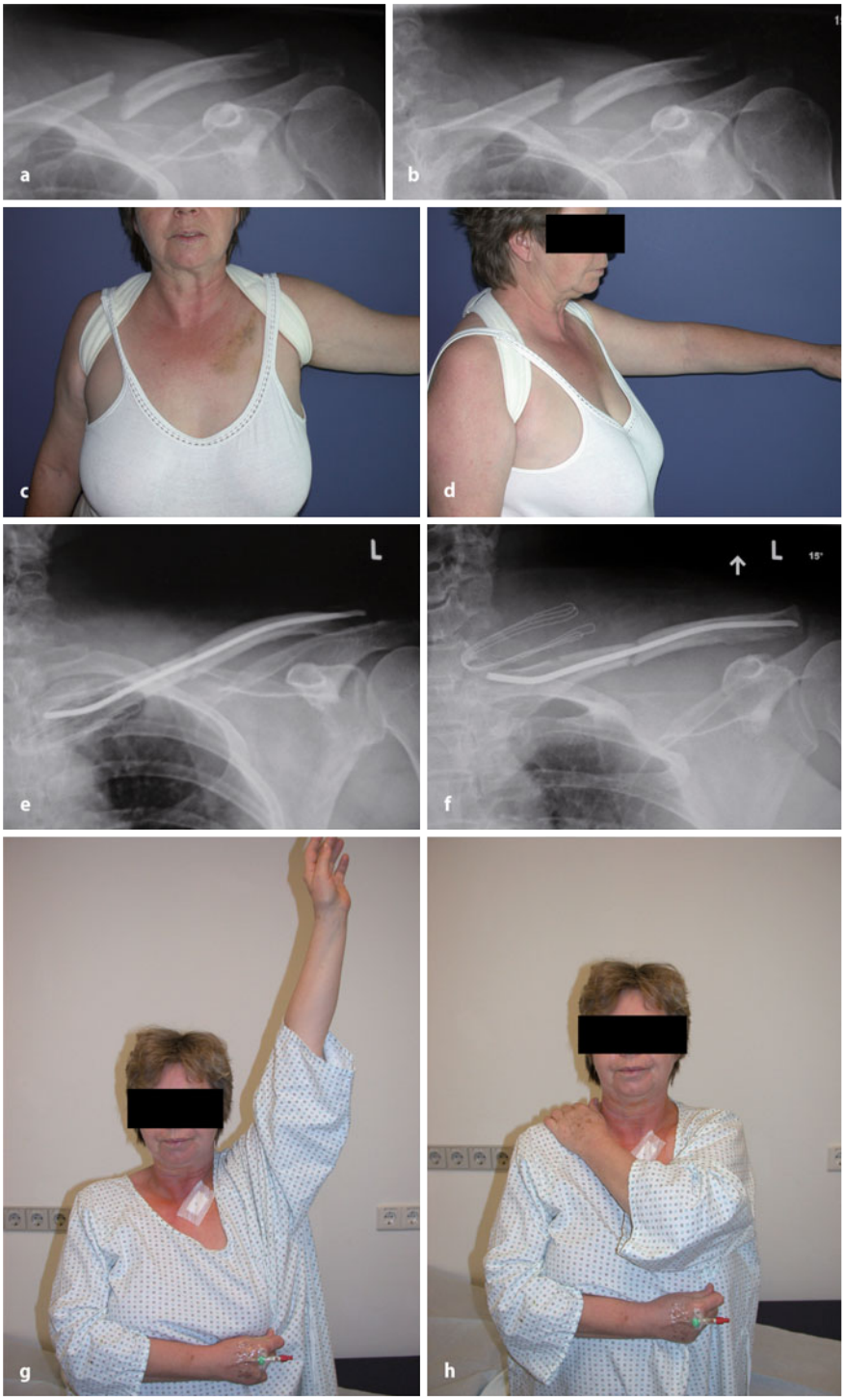


Abb. 5.17a–h Fallbeispiel einer 57-jährigen Patientin. **a,b** Dislozierte Klavikulafraktur im mittleren Drittel. **c,d** Deutlich eingeschränkte Funktion der Schulter 11 Tage nach dem Unfall bei konservativer Behandlung im Rucksackverband. **e,f** Postoperative Kontrollaufnahmen nach Stabilisierung mit einem elastischen Titannagel. **g,h** Funktion der Schulter 12 Tage nach dem Unfall bzw. 1 Tag nach Stabilisierung mit dem elastischen Titannagel. (Aus: Walz 2006)

Für die Versorgung von Pseudarthrosen gilt die Plattenosteosynthese mit Spongiosaplastik als Verfahren der Wahl. Da man bei Pseudarthrosen meist relativ langstreckig stabilisieren muss, erscheint der horizontale Zugang günstiger als der Säbelhiebschnitt. Pseudarthrosen sollen laut Hansis u. Weller (1989) nicht durch Deperiostierung, sondern durch Dekortizierung freigelegt werden. Dadurch erhält man die für die Heilung entscheidend wichtigen Gefäßanschlüsse. Gleichzeitig kann man durch die Dekortizierung die oft wulstig verbreiterte Falschgelenkzone für die spätere Plattenanlagerung formen. Als nächstes wird der bindegewebige Anteil der Pseudarthrose exzidiert. Anschließend werden die beiden Fragmentenden so weit angefrischt, dass kapilläre Blutungen sichtbar werden.

Nun kann die Länge des zu überbrückenden Defekts gut eingeschätzt werden. Defekte, die größer als 1 cm sind, werden mit einem trikortikalen Span aus dem Beckenkamm überbrückt. Bei kleineren Defekten genügt es, den Defekt mit Spongiosa zu tamponieren. Die Plattenosteosynthese wird nach den oben beschriebenen Prinzipien durchgeführt. Falls ein trikortikaler Beckenkammspan zum Einsatz kommt, kann er zwischen den beiden

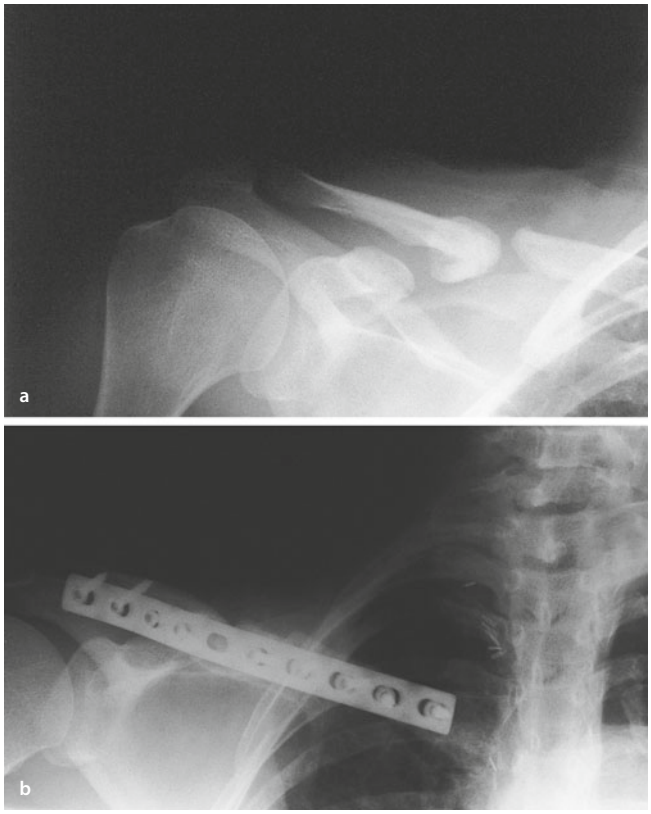


Abb. 5.18a,b Behandlung einer Klavikulapseudarthrose (**a**) durch Resektion, (**b**) Defektüberbrückung mittels Beckenkammspan und Stabilisierung mit einer 3,5er LCDCP

Hauptfragmenten verklemmt werden. Ist er ausreichend groß, wird er zusätzlich mit 1 oder 2 Schrauben gefasst. Die Klavikula sollte nicht verkürzt werden, weil Eskola und Mitarbeiter (1986) nachgewiesen haben, dass sich dies negativ auf die Schulterbeweglichkeit auswirkt. Sie berichten über 4 Patienten, bei denen eine Verkürzung von durchschnittlich 17 mm oder mehr zu einer Abduktionsschwäche des Arms führte (Abb. 5.18).

Nachbehandlung

Ein Schulterarmverband sollte bis zum Abschluss der Wundheilung getragen werden. Zunächst sollte die Krankengymnastik passiv, ab der 2. Woche aktiv durchgeführt werden. Eine Plattenosteosynthese ist primär übungsstabil. Eine Belastung in Form von Abstützen auf den Arm oder Tragen schwerer Lasten wird in Abhängigkeit vom Röntgenbefund frühestens nach 12 Wochen erlaubt. Die Implantate sollten frühestens nach einem halben Jahr entfernt werden. Nach der Implantatentfernung besteht die Gefahr einer Refrakur. Deshalb empfiehlt es sich 8-12 Wochen Kontaktsportarten zu meiden.

Laterale Klavikulafrakturen

Bezüglich der oben dargestellten Klassifikationen muss angemerkt werden, dass der Typ III nach Jäger u. Breitner (1984) nur bedingt von den Klavikulafrakturen des mittleren Drittels abzugrenzen ist. Zudem ergeben sich aus dieser Differenzierung keine therapeutsichen Konsequenzen, sodass sie verzichtbar erscheint. Darüber hinaus ist der Typ IV nach Jäger und Breitner keine eigentliche Fraktur, sondern eine spezielle Form der Akromioklavikulargelenkluxation. Dies steht im Einklang mit dem Ergebnis einer Nachuntersuchung von Golser und Mitarbeitern (1991), die ergab, dass die Einteilung nach Neer für die Wahl einer effizienten Therapie völlig ausreicht. Deshalb wurde der nun folgenden Darstellung des therapeutischen Vorgehens die Klassifikation nach Neer (s. oben, Klassifikation) zugrunde gelegt.

Konservative Therapie bei Typ-I-Verletzung nach Neer

Bei Typ-I-Verletzungen mit kleinen, wenig oder nicht dislozierten Fragmenten wird eine Ruhigstellung mit einem Schulterarmverband durchgeführt. Ein Rucksackverband ist in diesem Fall nicht indiziert. Zum einen würde der Zügel des Verbandes direkt auf den Bruchbereich drücken, zum anderen geht es bei diesem Bruchtyp nicht darum, Länge und Achse des Schlüsselbeins wiederherzustellen, denn daran hat sich nicht viel geändert. Vielmehr geht es um die Neutralisation des Gewichts des Arms, damit weniger Zugkräfte an der lateralen Klavikula wirken und in der Folge mehr Ruhe im Bruchbereich herrscht. Die Dauer der Ruhigstellung beträgt 3–4 Wochen. Die Ruhigstellungsdauer, kann kürzer als bei den Schaftfrakturen sein, da die Verletzung im metaphysären Knochen lokalisiert ist und nicht im weniger gut durchbluteten diaphysären. Sobald weitgehende Schmerzfreiheit erreicht ist, können Pendelübungen durchgeführt werden.

Konservative Therapie kaum dislozierter Typ-II-Verletzungen nach Neer

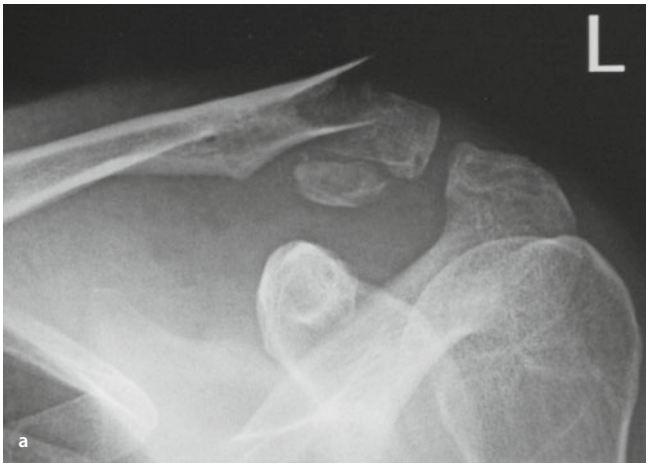
Wenig dislozierte Typ-II-Brüche nach Neer können primär konservativ mit einem Schulterarmverband behandelt werden. Während der ersten 4 Wochen sollte jedoch in wöchentlichen Abständen geröntgt werden, weil die Gefahr besteht, dass die geschwächten korakoklavikulären Bänder sekundär insuffizient werden und in der Folge die Dislokation zunimmt.

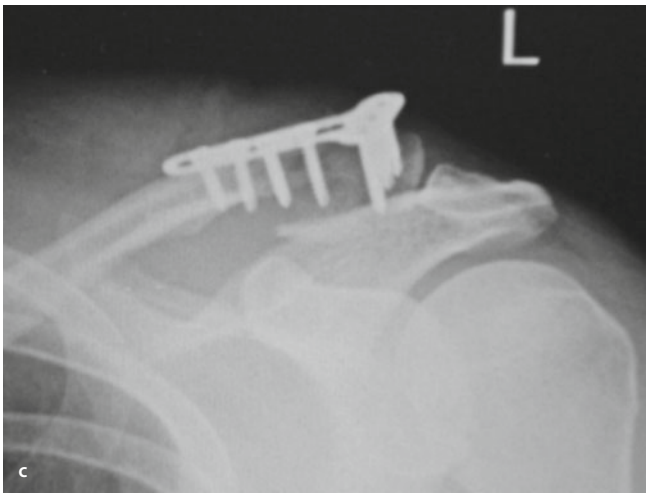
Operative Therapie deutlich dislozierter Typ-II-Verletzungen nach Neer

Das Ausmaß der Dislokation von Typ-II-Verletzungen richtig einzuschätzen kann schwierig sein, insbesondere dann, wenn bei dorsaler Verschiebung der haupsächliche Versatz in der Flucht des Strahlengangs liegt. Aus diesem Grund empfehlen Golser und Mitarbeiter (1991) im Zweifelsfall Belastungsaufnahmen beider Schultern durchzuführen, um den Abstand zwischen Korakoid und dem lateralen Klavikulaende im Seitenvergleich beurteilen zu können. Eine Verschiebung des zentralen Anteils weist auf eine Ruptur der korakoklavikulären Bänder hin und ist pathomechanisch einer Akromioklavikulargelenkluxation gleichzusetzen. Dann ist die Indikation für ein operatives Vorgehen gegeben.

Die Fraktur wird über einen Säbelhiebschnitt (▶ Kap. 21, Standardzugänge) offen eingerichtet und mit einer Plattenosteosynthese stabilisiert. Dazu eignet sich am besten eine winkelstabile 3,5er Kleinfragment-T-Platte. Der quere Schenkel des Implantats ermöglicht es, ausreichend viele Schrauben im kurzen lateralen Hauptfragment unterzubringen. Außerdem ist das Implantat dünn und trägt nicht auf, was in Hinblick auf die geringe Weichteildeckung des Schlüsselbeinendes günstig ist (Abb. 5.19).

Da bei gerissenen korakoklavikulären Bändern erhebliche nach kranial gerichtete Zugkräfte auf das mediale Hauptfragment und kaudale Vektoren auf das laterale wirken, beobachtet man jedoch immer wieder Fälle, bei denen die Plattenosteosynthese lateral ausreißt und eine Reosteosynthese notwendig wird. Deshalb werden die Plattenosteosynthesen im eigenen Vorgehen grundsätzlich durch eine Zügelung zwischen Klavikula und Korakoid mit einer 1,5er PDS-Kordel augmentiert. Diese Augmentation neutralisiert die einwirkenden Zugkräfte zumindest während der ersten Wo-





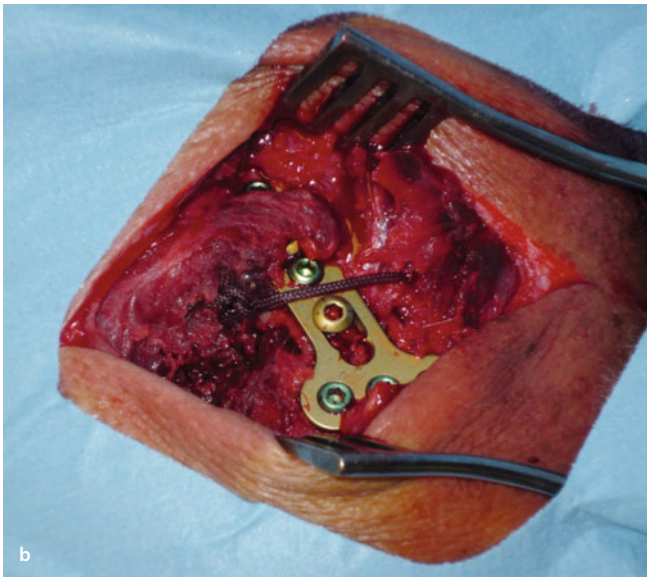


Abb. 5.19a–c **a** Deutlich dislozierte laterale Klavikulafraktur links vom Typ II nach Neer. **b** Intraoperativer Situs. Die Fraktur wurde mit einer winkelstabilen Kleinfragment-T-Platte versorgt. Die Platte wurde mit ihrem langen Schenkel unter die Muskulatur geschoben, an der Flucht des medialen Hauptfragments ausgerichtet und mit mehreren winkelstabilen Schrauben fixiert. Anschließend konnte die Platte als Widerlager für die Reposition des lateralen Hauptfragments genutzt werden. Das laterale Hauptfragment wurde dann mit insgesamt 3 winkelstabilen Schrauben am kurzen Schenkel der T-Platte befestigt. Zuletzt wurde das ausgesprengte 3. Fragment mit einer Kortikaliszugschraube herangezogen. Die gesamte Konstruktion wurde mit einer 1,5 mm starken PDS-Kordel augmentiert, die unter dem Korakoid durchgezogen wurde. Der voluminöse Knoten wurde unter den Ursprung des Deltamuskels gelegt, damit dieser die Wundheilung im Bereich des Zugangs nicht beeinträchtigt. **c** Postoperative Röntgenkontrolle nach Stabilisierung mit der winkelstabilen 3,5er Kleinfragment-T-Platte

chen der Bruchheilung und verhindert das vorzeitige Auslockern der Implantate. Aus demselben Grund wird der Arm für 4 Wochen im Schulterarmverband ruhiggestellt, wenngleich bereits nach gesicherter Wundheilung mit vorsichtigen Bewegungsübungen aus dem Verband heraus begonnen werden kann.

Beim Durchziehen der PDS-Kordel unter dem Korakoid muss man den Dechamps streng subperiostal am Knochen entlang führen, sonst besteht die Gefahr, den N. musculocutaneus, der den Bizeps motorisch und den proximalen Unteram sensibel versorgt, mit aufzuladen und beim späteren Anspannen und Knüpfen der Kordel zu strangulieren (s. unten, AC-Gelenkluaxtion). Der Nerv zieht unmittelbar unter dem Korakoid vorbei.

Falls das laterale Hauptfragment sehr klein ist, kann statt einer Platte eine Zuggurtungsosteosynthese angelegt werden, bei sehr schlechter Knochenqualität ggf. auch kombiniert mit einer temporären Arthrodese des AC-Gelenks. Allerdings muss man sich über die Risiken dieser Methode am Schultereckgelenk im Klaren sein. Die K-Drähte dürfen nicht zu dünn sein und nicht zu lang im Bohrfutter eingespannt werden, damit man sie in die gewünschte Richtung dirigieren kann, und zwar nach kranial geneigt. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass sie nach kaudal abgelenkt werden und dort im Bereich der große Gefäße und Nerven Schäden anrichten. Deshalb sollte man die K-Drähte auch im oszillierenden Bohrmodus einbringen und nicht im rotierenden. Außerdem ist es wichtig, dass die Drahtenden die Gegenkortikalis kranial perforieren, damit man sie ggf. dort bergen kann, falls sie brechen sollten. Wenn bei der Zuggurtungsosteosynthese des lateralen Klaivikulaendes der Gelenkspalt des Akromioklavikulargelenks überbrückt wird, besteht das Risiko des Drahtbruchs – falls die Drahtenden dann nicht frei enden, wäre deren Entfernung sehr schwierig. Gelockerte Drähte können überdies ins Mediastinum wandern. Aus diesem Grund sollten die lateralen Drahtenden zudem unbedingt umgebogen werden.

Konservative Therapie kaum dislozierter Typ-III-Verletzungen nach Neer

Wenig dislozierte intraartikulär ausmündende Frakturen des lateralen Klavikulaendes können konservativ behandelt werden. Falls sich in der Folge eine Arthrose des Akromioklavikulargelenks entwickeln sollte, bleibt immer noch die Möglichkeit der Resektion des lateralen Klavikulaendes. Man wird sich deshalb in der Regel darauf beschränken, die weniger stark dislozierten Frakturen wie die Typ-I-Verletzung auch mit einem Schulterarmverband für 4 Wochen ruhigzustellen.

Operative Therapie deutlich dislozierter Typ-III-Verletzungen nach Neer

Stärker verschobene Frakturen werden dagegen offen reponiert und osteosynthetisch versorgt. Bei der Implantatwahl richtet man sich nach Knochenqualität und Fragmentgröße. Bei gutem Knochen und großem Fragment verwendet man entweder Interfragmentärschrauben alleine oder eine 3,5er Kleinfragment-T-Platte.

Bei schlechter Knochenqualität oder kleinem Fragment bleibt oft nur die temporäre Arthrodese in Form einer Zuggurtung, mit der die Fraktur und das Akromioklavikulargelenk einbezogen und stabilisiert wird (s. oben, Typ-II-Verletzungen nach Neer).

Komplikationen und Prognose

Die Angaben in der Literatur über die Pseudarthrosenrate konservativ behandelter Klavikulafrakturen schwanken zwischen 0,1 und 5% (Miller u. Ada 1992).

Instabile, dislozierte Frakturen der lateralen Klavikula vom Typ II nach Neer münden dagegen in 30% der Fälle in einer Pseudarthrose (Brunner et al. 1992).

In zwei Dritteln der Fälle mit Beteiligung des Plexus brachialis ist mit einer Spontanremission zu rechnen (Sturm u. Perry 1987).

White und Mitarbeiter (1989) fanden in einer Gruppe von Patienten, die ein Hochrasanztrauma durchgemacht hatten, eine mit 23% wesentlich höhere Inzidenz von Pseudarthrosen. Allerdings rechneten sie die Fälle verzögerter Bruchheilung dazu. Bemerkenswert ist, dass sie keinen Unterschied hinsichtlich des Dislokationsgrades und der Zertrümmerung feststellen konnten.

Nach operativer Stabilisierung frischer Klavikulafrakturen fanden Poigenfürst und Mitarbeiter eine Komplikationsrate von bis zu 10% (1988). Die Ergebnisse nach operativer Revision und Stabilisierung von Pseudarthrosen sind dagegen in 80–95% der Fälle gut bis sehr gut (Geel 2000).

5.2.2 Luxationen

Sternoklavikulargelenkluxation

Ätiologie

Nur etwa 3% aller Schulterverletzungen sind Sternoklavikulargelenkluxationen (Ecke u. Hertz 1987). Für die Entstehung einer solchen Luxation ist eine massive Gewalteinwirkung Voraussetzung. Die häufigsten Ursachen für Sternoklavikularinstabilitäten sind Sport- oder Autounfälle (Habernek u. Hertz 1987, Keyl 1992). Es handelt sich meistens um ein indirektes seitliches Trauma mit Hebeln des medialen Klavikulaendes über die erste Rippe und Luxation nach ventral oder kranial. Sehr selten kommt es zu Sternoklavikulargelenkluxationen nach dorsal und kaudal. Trotz der Seltenheit dieser Verletzung darf sie nicht übersehen werden, da das Sternoklavikulargelenk in seiner Funktion ähnlich einem Kugelgelenk jede Bewegung der Schulter mitmacht.

Klinik

Der Patient, der sich lediglich eine Distorsion des Sternoklavikulargelenks zugezogen hat (Grad I nach Allmann, s. unten: Klassifikation), klagt über lokalen Druckschmerz und Schmerzzunahme im Sternoklavikulargelenk bei Schulterbewegungen oberhalb der Horizontalen. Das Gelenk ist stabil. Meistens sind die Beschwerden mit einer lokalen Schwellung verbunden. Im Unterschied dazu findet man bei der Subluxation palpatorisch im Vergleich zur Gegenseite eine pathologische Beweglichkeit (Grad II). Bei kompletter Luxation (Grad III) ist die Beweglichkeit im Schultergürtel schmerzbedingt aufgehoben; es resultiert eine typische Schonhaltung des Arms, der innenrotiert am Körper gehalten wird (Allmann 1967).

Bei der dorsalen Luxation besteht Verletzungsgefahr für die mediastinal gelegenen großen Gefäße, den N. vagus und die Trachea. Deshalb muss man gezielt nach entsprechenden Symptomen wie mediastinale Blut- oder Luftansammlung, Heiserkeit und Dyspnoe suchen.

Diagnostik

Zur Beurteilung einer Sternoklavikulargelenkluxation hat sich die Aufnahmetechnik nach Rockwood bewährt (Rockwood 1990 b). Hierbei wird die Röntgenröhre um 40° nach kranial gekippt und der Zentralstrahl auf das Manubrium sterni zentriert. Bei gelenkgerechter Stellung projizieren sich die Klavikulaenden in gleicher Höhe und zeigen identische Umrisse. Bei der vorderen Luxation steht die verletzte Seite höher, bei der hinteren Luxation tiefer als die unverletzte Seite. Bei entsprechendem Verdacht wird eine CT beider Sternoklavikulargelenke angefertigt. Darauf lassen sich Gelenkstellung, Luxationsrichtung, begleitende Frakturen oder knöcherne Bandausrisse sowie mediastinale Blutungen und Luftansammlungen eindeutig beurteilen.

Klassifikation

Die Sternoklavikulargelenkverletzungen werden nach Allmann (1967) in 3 Grade eingeteilt:

- **Grad I:** Distorsion
- **Grad II:** Subluxation mit partieller Ruptur der sternoklavikulären Bänder, evtl. begleitende Diskusverletzung
- **Grad III:** Luxation mit Ruptur der Gelenkkapsel und des Diskus, leere Gelenkpfanne

Konservative Therapie

Sternoklavikulargelenkverletzungen Grad I und II werden lediglich symptomatisch mit antiphlogistischen Maßnahmen behandelt. Die manifeste Luxation muss hingegen reponiert werden. Bei frischer Verletzung wird ein Repositionsversuch in Kurznarkose vorgenommen. Falls kein Repositionshindernis vorliegt, kann dies geschlossen gelingen. Generell gilt, dass eine ventrale Fehlstellung des Klavikulaendes leichter zu beseitigen ist als eine dorsale, weil man durch direkten Druck auf das Klavikulaende die für eine Reposition notwendigen Schubkräfte entwickeln kann. Dagegen kann man bei der dorsalen Luxation das Klavikulaende nur über den Hebel des Schlüsselbeins indirekt reponieren.

Für die Reposition in Operationsbereitschaft wird der Patient auf dem Rücken über einem Hypomochlion gelagert, das aus einem zusammengerollten Tuch, einem Sandsack oder einer harten Schaumstoffrolle bestehen kann. Die Rolle wird vertikal ausgerichtet unter die Brustwirbelsäule gelegt, sodass beide Schultern hohlgelagert sind. Dann werden beide Schultern nach dorsal gedrückt. Dadurch wird das Klavikulaende aus seiner Fehlstellung herausgezogen. Bei ventraler Luxationsrichtung wird es in die Pfanne zurückgedrückt. Dies bereitet in der Regel keine Probleme. Allerdings reluxieren nach ventral dislozierte Gelenke recht häufig (Povacz u. Resch 1999). Dorsale Luxationen können nicht nur durch indirekten Zug am Schlüsselbein reponiert werden, sondern auch durch direkten Zug, indem man das Klavikulaende perkutan mit einer spitzen Knochenfasszange oder Tuchklemme fasst und nach ventral zieht. Es schnappt dann spür- und hörbar aus der dorsalen Fehlstellung in die Pfanne zurück. Das Repositionsergebnis bei dorsaler Luxation ist meist stabil.

Nach Reposition einer dorsalen Luxation muss nochmals gezielt nach einer mediastinalen Verletzung gefahndet werden. Neben der engmaschigen klinischen Kontrolle der Kreislaufparameter empfiehlt sich die Röntgenkontrolle des Thorax, um eine etwaige Verbreiterung des Mediastinums rechtzeitig zu erkennen. Im Zweifelsfall kann die computertomografische Kontrolle des Sternoklavikulargelenks nach Reposition mit einer Angio-CT kombiniert werden. Darauf lassen sich mediastinale Gefäßverletzungen erkennen.

Voraussetzung für eine konservative Therapie ist, dass noch genügend Bandverbindungen im Sternoklavikulargelenk erhalten sind. Falls keine Reluxationstendenz besteht, genügt es, den Schultergürtel für 4–6 Wochen in einem Rucksackverband oder Schulterimmobilizer ruhigzustellen.

Operative Therapie

Indikationen bei frischer Verletzung

Bei Irreponibilität oder Reluxationstendenz frischer oder veralteter ventraler Luxationen besteht lediglich eine relative Indikation für ein operatives Vorgehen, während bei frischer oder veralteter dorsaler Luxation eine eindeutige Indikation gegeben ist. Diese Unterscheidung wird deshalb getroffen, weil ein operatives Eingreifen einige Risiken in sich birgt, nämlich die der verbleibenden Instabilität, schmerzhafter Bewegungseinschränkung und störender Narbenbildung. Operative Maßnahmen sind aber auch deshalb in Verruf geraten, weil infolge K-Draht-Wanderungen Verletzungen des Perikards und der Aorta mit tödlichem Ausgang beschrieben worden sind (Gerlach et al. 1984).

Andererseits muss die Therapiewahl auch bei ventraler Luxation in jedem Einzelfall mit dem Patienten eingehend erörtert werden, denn durch sorgfältige und richtige Operationstechnik lassen sich, wie bei allen anderen Eingriffen auch, die Risiken minimieren und die Vorteile einer wiedererlangten gelenkgerechten Stellung nutzen. Bei den seltenen degenerativen Veränderungen am Sternoklavikulargelenk kann wie auch bei nicht reponiblen frischen oder alten Luxationen eine Resektionsarthroplastik indiziert sein.

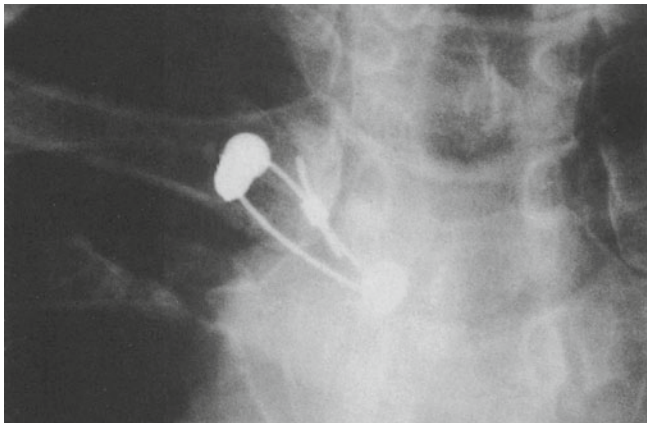
Rekonstruktion des Kapsel-Band-Apparats

Der Oberkörper des Patienten wird in halbsitzender Position hochgelagert, um das Ausmaß venöser Blutungen im Operationsgebiet zu reduzieren. Unabhängig davon, ob die Luxation bereits geschlossen reponiert wurde oder nicht, wird die Brustwirbelsäule mit einem Hypomochlion unterpolstert, damit intraoperativ über einen Zug an beiden Schultern Einfluss auf die Stellung im Sternoklavikulargelenk genommen werden kann.

Durch einen kurzen, etwa 6 cm langen Zugang, der in den Verlauf der Hautspaltlinien gelegt wird, verschafft man sich einen Überblick im rupturierten Sternoklavikulargelenk. Das Hämatom wird sorgfältig ausgespült; dadurch lassen sich die gerissenen Bandanteile besser differenzieren und man kann leichter beurteilen, welche Anteile zueinander gehören. Nach Reposition des Gelenks wird bei verbleibender Instabilität zunächst eine Drahtcerclage oder PDS-Kordel in Achtertour durch das Klavikulaende einerseits und das Sternum andererseits gezogen und verknotet. Die Verwendung einer Kordel hat den Vorteil, dass sich das Implantat nach geraumer Zeit auflöst, während Drahtwendeln die Weichteile irritieren und auf diesem Wege häufiger zu Infektionen führen können.

Die Kordel oder Cerclage muss über V-förmige Bohrkanäle in die beiden Gelenkpartner eingezogen werden. Beim Anlegen der Bohrkanäle sollte die Gegenkortikalis nicht perforiert werden, um die mediastinalen Strukturen nicht zu verletzen. Anschließend werden die begleitenden Kapsel-Band-Rupturen (Ligamenta costo- und sternoclaviculare) rekonstruiert und genäht. Knochennahe Ausrisse müssen transossär refixiert werden, denn der sichere und feste Halt der Nähte ist Voraussetzung dafür, dass die Verletzung in gelenkgerechter Stellung ausheilt und keine Reluxation eintritt. Alternativ kann auch eine Drahtschlinge zu Stabilisierung verwendet werden (◘ Abb. 5.20).

Anstatt einer PDS-Kordel oder einer Drahtcerclage kann auch die Gracilis- oder Semitendinosussehne als freies Transplantat zur Rekonstruktion der sternoklavikulären Bänder verwendet werden.



◘ **Abb. 5.20** Stabilisierung einer Sternoklavikulargelenkluxation mit einer Drahtschlinge. (Aus: Labitzke 2000)

Als zusätzliche Stabilisierungsmaßnahme wird eine Zügelung zwischen Klavikula und 1. Rippe mittels PDS-Kordel beschrieben (Povacz u. Resch 1999). Damit genügend Übersicht erreicht wird, muss dafür der Ursprung des M. pectoralis major am Sternoklavikulargelenk mobilisiert werden.

Resektionsarthroplastik

Die Gelenkkapsel und der Discus articularis werden entfernt. Anschließend wird das mediale Klavikulaende auf eine Strecke von etwa 1 cm mit einer oszillierenden Säge abgesetzt. Dazu muss zuvor der Ursprung des M. pectoralis major subperiostal abgeschoben werden. Man kann sich beim Festlegen des Ausmaßes der Resektion auch am Beginn der kostoklavikulären Bänder orientieren, die erhalten bleiben sollen. Die Knochenränder werden abgerundet, um die Weichteildeckung zu schonen und ein gutes kosmetisches Ergebnis zu erhalten.

Nachbehandlung

Der Patient sollte postoperativ für 4–6 Wochen einen Schulterarmverband tragen. Während dieser Zeit werden isometrische Übungen und Krankengymnastik durchgeführt. Die Schulter soll jedoch nicht über die Horizontalebene hinaus beübt werden.

Akromioklavikulargelenkluxation

Ätiologie

Die häufigste Ursache für eine Verletzung des Akromioklavikulargelenks ist die direkte Krafteinwirkung auf das Schulterdach. Die Verunfallten berichten häufig über einen Sturz auf die Schulter bei adduziertem Arm, z.B. vom Fahrrad, vom Pferd oder bei einem Sturz aus vollem Lauf. Der indirekte Unfallmechanismus durch Sturz auf den ausgestreckten Arm ist wesentlich seltener. Er führt meist zur isolierten Verletzung der akromioklavikulären und nicht zur Zerreißung auch der korakoklavikulären Bänder.

Klinik

Richtungsweisende Symptome sind Schwellung sowie Druck- und Bewegungsschmerz direkt über dem Akromioklavikulargelenk, die zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung des Arms führen. Der Arm wird deshalb in typisch innenrotierter Stellung mit Hilfe des unverletzten Arms, am Rumpf geschient, gehalten. Falls nicht nur eine Distorsion, sondern eine manifeste Bandverletzung eingetreten ist, steht das laterale Klavikulaende mehr oder weniger weit hoch. Diese Fehlstellung entsteht durch den kranial gerichte-

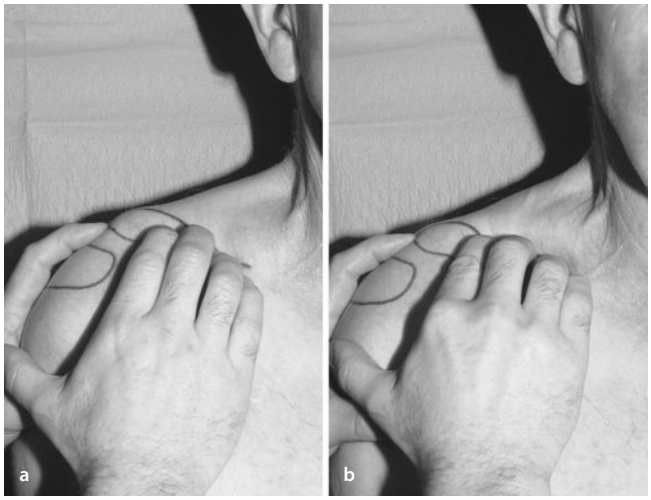


Abb. 5.21a,b Prüfung des Klaviertastenphänomens. **a** Wenn die Verletzung auf der rechten Seite liegt, palpiert der Untersucher zunächst den Gelenkspalt des Akromioklavikulargelenks mit dem Zeigefinger seiner linken Hand. **b** Anschließend drückt er mit seiner Rechten die Klavikula nach kaudal. Der Hub des Bewegungsausschlags des lateralen Schlüsselbeinendes lässt sich mit dem Zeigefinger deutlich tasten und im Seitenvergleich einschätzen. Auf der Gegenseite wechselt man die Hände

Abb. 5.22 Panoramaaufnahme des Schultergürtels bei AC-Gelenksprengung Rockwood-V links. Die Instabilität wird unter Zug an beiden Armen mit jeweils 5 kg deutlich sichtbar

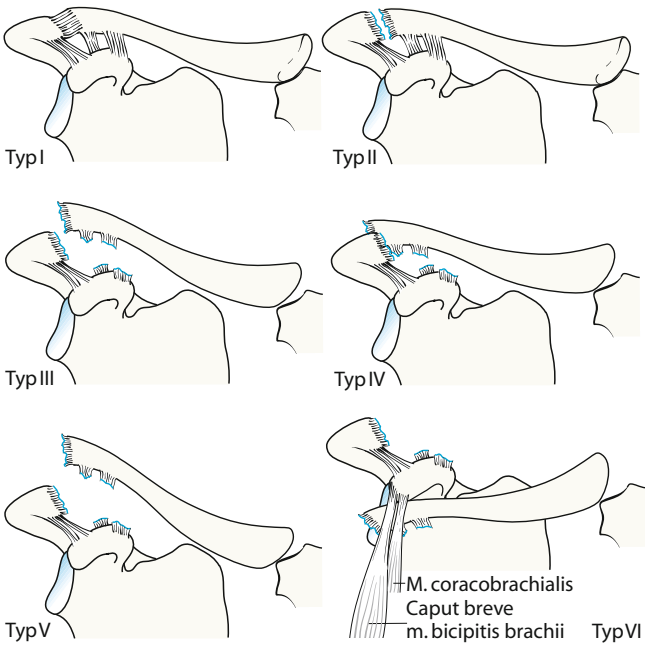


Abb. 5.23 Klassifikation der lateralen ligamentären Verletzungen als wichtigste Differenzialdiagnose zur Fraktur nach Tossy und Rockwood (Müller-Mai et al. 2010):
Tossy I, Rockwood I: Distorsion, keine Bandruptur oder Dislokation.
Tossy II, Rockwood II: Die akromioklavikulären Bänder sind gerissen, die korakoklavikulären Bänder sind intakt, Dislokation bis etwa Schaftbreite.
Tossy III, Rockwood III: Die akromikolavikulären und die korakoklavikulären Bänder sind gerissen, Dislokation über Schaftbreite.
Rockwood IV: Das mediale Fragment der Klavikula steht nach dorsal dislozierte, in einen Schlitz des M. trapezius dislozierte Formen können geschlossen irreponibel sein (axiale Röntgenaufnahme sichert die Diagnose).
Rockwood V: Der Abstand zwischen Korakoid und Klavikula ist doppelt so groß wie auf der Gegenseite, subkutan stehendes laterales Klavikulaende.
Rockwood VI: Das laterale Klavikulaende ist unter dem Korakoid verhakt

ten Zug des M. sternocleidomastoideus an der Klavikula und dem gleichzeitigen Absinken des Schulterdachs durch das Gewicht des Arms. Dabei muss man bedenken, dass die Weichteilschwellung einen diskreten Hochstand verdecken kann.

Pathognomonisch für eine manifeste Sprengung des Schultereckgelenks ist das so genannte Klaviertastenphänomen. Wenn die Verletzung auf der rechten Seite liegt, umfasst der Untersucher mit seiner linken Hand die Schulterhöhe des Patienten und ertastet mit dem Zeigefinger den Spalt des Schultereckgelenks. Anschließend drückt er mit den Langfingern der rechten Hand – wie bei einer Klaviertaste – die Klavikula nach unten. Wenn die Gegenseite untersucht wird, werden die Hände gegensinnig eingesetzt, der rechte Zeigefinger zur Palpation benutzt und die linke Hand, um die Klavikula nach unten zu drücken. Mit dieser Methode kann man mit dem palpierenden Zeigefinger den Bewegungsausschlag, den das laterale Klavikulaende gegenüber der akromialen Gelenkfläche vollführt, deutlich spüren und den Hub abschätzen, den das Klavikulaende dabei erfährt (Abb. 5.21).

Um einen individuell passenden Ausgangsbefund zu erhalten, wird die unverletzte Seite immer mit untersucht. Wenn die Bandverbindungen nicht zerrissen sind, beträgt der Hub nur wenige Millimeter. Beträgt er dagegen eine halbe oder ganze Schaftbreite, dann liegt eine Subluxation bzw. Luxation des Schultereckgelenks vor. Dabei sollte die Stabilitätsprüfung nicht nur in der Frontal-, sondern auch in der Horizontalebene erfolgen, denn es gibt in seltenen Fällen isolierte horizontale Instabilitäten (s. unten, Klassifikation, und Abb. 5.23).

Diagnostik

Röntgen

Neben der Anamnese und dem klinischen Befund wird routinemäßig eine Zielaufnahme des Akromioklavikulargelenks, ggf. unter Belastung und im Seitenvergleich angefertigt. Dazu hält der Patient in beiden Armen ein Gewicht von 5 kp (Abb. 5.22). Damit die Pars deltoidea des M. deltoideus während der Aufnahme entspannt ist, sollen die Arme in Innenrotation einwärts gedreht sein, anderenfalls könnte eine falsch-positive Stabilität durch Kompensation des Deltamuskels vorgetäuscht werden. Bei klinischem Verdacht auf eine Horizontalversetzung (Typ: Rockwood IV; s. unten, Klassifikation) empfiehlt sich eine zusätzliche axiale Schulteraufnahme.

Sonografie

Das Schultereckgelenk lässt sich auch sehr gut sonografisch beurteilen. Der Untersucher steht dazu hinter dem Patienten, der auf einem Stuhl sitzt und die Arme neben dem Körper frei herabhängen

lässt. Ein 5-MHz-Linearschallkopf wird frontal auf das Akromioklavikulargelenk gesetzt; dabei dient die Klavikula als Leitstruktur. Im Frontalschnitt wird der Gelenkspalt sichtbar. Er darf nicht breiter als 3–4 mm sein. Werte darüber sind pathologisch. Während ein unverletztes Gelenk unscharf ist, enthält ein verletztes einen Gelenkerguss, der sich als echofreie Zone scharf abgrenzt.

Im Sagittalschnitt wird die Distanz zwischen Korakoid und Klavikula im Seitenvergleich ermittelt. Dazu setzt man den Schallkopf von ventral auf die beiden Strukturen. Um einen aussagekräftigen Seitenvergleich zu bekommen, müssen die Strukturen gleichförmig eingestellt werden. Man misst die Distanz zwischen Korakoidspitze und Klavikula. Ein Seitenunterschied von >2 mm ist bereits pathologisch, insbesondere dann, wenn er unter Belastung (durch Zug am Arm) weiter zunimmt.

Ein weiterer Vorteil der Sonografie ist, dass in gleicher Sitzung die Rotatorenmanschette mitbeurteilt werden kann (▶ Kap. 20, Ultraschalluntersuchungen).

Klassifikation

Die beiden gängigen Klassifikationen nach Tossy et al. (1963) bzw. Rockwood (1984) sind weithin bekannt. Die Einteilung von Rockwood enthält die 3 Typen von Tossy und erweitert sie noch um zusätzliche 3 Luxationsformen. Dies ermöglicht es, das therapeutische Vorgehen noch differenzierter zu strukturieren und hilft zugleich, alle denkbaren Luxationsformen in Betracht zu ziehen. Deshalb wird die Einteilung nach Rockwood allgemein bevorzugt (◘ Abb. 5.23, Übersicht).

Klassifikation der Verletzungen des Akromioklavikulargelenks

- **Rockwood I** (entspricht Tossy I): Distorsion mit Zerrung der akromioklavikulären Bänder, keine Instabilität.
- **Rockwood II** (entspricht Tossy II): Ruptur der akromioklavikulären Bänder, Zerrung der korakoklavikulären Bänder. Das Akromioklavikulargelenk ist erweitert und das laterale Klavikulaende nach kranial subluxiert. Muskelansätze der Mm. deltoideus und trapezius können partial abgelöst sein.
- **Rockwood III** (entspricht Tossy III): Ruptur der akromio- und korakoklavikulären Bänder. Das Akromioklavikulargelenk ist luxiert. Die Muskelansätze sind vom lateralen Klavikulaende abgelöst.
- **Rockwood IV**: Die Klavikula luxiert in der Horizontalebene. Das laterale Klavikulaende kann sich im M. trapezius verhaken.
- **Rockwood V**: Ausgeprägter Klavikulahochstand mit ausgedehnter Ablösung der trapeziodeltoidalen Faszie und resultierender Instabilität in allen Richtungen. Bei Kindern gibt es eine Sonderform, bei der die Klavikula durch einen Längsriss aus dem Periostschlauch austritt. Die Bandansätze bleiben jedoch am Periostschlauch stehen.
- **Rockwood VI**: Verhakung der Klavikula unter dem Processus coracoideus (äußerst selten, bisher nur bei einem Suizid durch Überfahren durch einen Zug nachgewiesen).

Therapie/Indikationsstellung

Bevor man sich für ein konservatives oder operatives Vorgehen entscheidet, müssen Alter des Patienten, dessen Beruf und körperliche Aktivität erfragt werden. Nicht immer lässt sich eine eindeutige Empfehlung geben. Man muss das Für und Wider mit dem Patienten eingehend diskutieren und gemeinsam entscheiden.

Konservativ bei Rockwood I

Eindeutig ist, dass Rockwood-I-Verletzungen konservativ behandelt werden, denn es handelt sich lediglich um eine Distorsion, die ohne weiteres Zutun ausheilt. Antiphlogistische Maßnahmen, evtl. kombiniert mit einer wenige Tage währenden Ruhigstellung in einem Schulterarmverband, wirken schmerzlindernd.

Konservativ vor operativ bei Rockwood II

Viel schwieriger ist dagegen die Entscheidung bei Rockwood-II-Verletzungen. Obwohl die bloße Subluxation im Akromioklavikulargelenk gemeinhin nicht als Operationsindikation gesehen wird, können diese Subluxationsstellungen im Einzelfall zu einer Arthrose des Gelenks führen. Deshalb gibt es Autoren, die bei dieser Verletzung eine operative Rekonstruktion des Kapsel-Band-Apparats vornehmen (Krüger-Franke et al. 1993), und zwar insbesondere bei Berufen mit frequenten Überkopfarbeiten oder bei Sportlern, die Wurfsportarten ausüben.

Andererseits kann es gerade bei aktiven, muskelkräftigen Patienten sehr schwierig sein, eine absolut gelenkgerechte Stellung zu erzielen und sicher zu halten, bis der Kapsel-Band-Apparat stabil ausgeheilt ist (s. unten, Operative Therapie). Bei Nachuntersuchungen beobachtet man nach operativer Stabilisierung der Schultereckgelenksprengung immer wieder Repositionsverluste im Sinne einer Rockwood-II-Subluxationsstellung. Dies spricht wiederum gegen eine operative Versorgung der Rockwood-II-Verletzung.

Insgesamt verhält es sich so, dass die meisten Autoren konservativ vorgehen. Aufgrund der eingetretenen strukturellen Schäden ist die Ruhigstellung im Schulterarmverband für die Dauer von 1–2 Wochen angezeigt. Begleitend können Kryotherapie und Antiphlogistika angewendet werden.

Konservativ oder operativ bei Rockwood III

Bei der Typ-III-Verletzung nach Rockwood wird bei Überkopfarbeitern, Sportlern und jungen aktiven Personen die operative Therapie erwogen. Hingegen behandelt man ältere Menschen, Patienten mit erhöhtem Operationsrisiko und Personen, die an die Funktionstüchtigkeit ihres Bewegungsapparats keine hohen Anforderungen stellen, grundsätzlich konservativ. Die Vor- und Nachteile der beiden Vorgehensweisen müssen, wie bereits angemerkt, eingehend erörtert werden, damit der Patient selbst entscheiden kann.

Taft und Mitarbeiter (1987) haben in einer Nachuntersuchung an konservativ und operativ behandelten Patienten mit Akromioklavikulargelenksprengungen festgestellt, dass nach einer operativen Versorgung trotz eines gewissen Repositionsverlusts immer noch ein besseres Repositionsergebnis besteht als nach konservativer Therapie. Die subjektiven und klinischen Ergebnisse waren aber nahezu identisch mit denen der konservativen Therapie. Die Arbeitsgruppe fand bei konservativer Therapie sehr gute Ergebnisse trotz verbliebener Instabilität bzw. Luxation. Von daher ist die Indikation zur operativen Stabilisierung des Schultereckgelenks auch bei Überkopfarbeitern und Sportlern nur relativ. Den Vorteil der Rekonstruktion der Schultersilhouette erkauft man sich mit dem Nachteil einer Narbe, die gerade bei jüngeren Patienten an diesem topografischen Ort hypertrophieren kann. Bei bestimmten Verfahren muss mit einem größeren Repositionsverlust gerechnet werden. Die allgemeinen Operationsrisiken kommen hinzu.

Auf der anderen Seite sind die beschriebenen Ergebnisse der Taft-Studie in den 1950er und 1960er Jahren erhoben worden und das operative Verfahren, das mit den konservativ behandelten Patienten verglichen wurde, war die Verschraubung nach Bosworth (s. unten). Heute werden hauptsächlich augmentierte Nähte mit resorbierbarem Material oder Zuggurtungen eingesetzt.

Die Entscheidung für eine Operation ist von der Sorge getragen, dass das Spätergebnis einer unversorgten Schultereckgelenksprengung ungewiss ist. In den Fällen, in denen Beschwerden bzw. eine Bewegungseinschränkung verbleiben, ist eine Rekonstruktion nicht mehr Erfolg versprechend. Einziger Ausweg ist dann die Resektion des Schultereckgelenks mit Transposition des Ligamentum coracoacromiale (nach Weaver u. Dunn 1972) (s. unten, Therapie veralteter Schultereckgelenksprengungen).

Operativ bei Rockwood IV, V und VI

Bei den höhergradigen Instabilitäten Rockwood IV–VI ist dagegen wegen der starken Dislokation und den daraus resultierenden Spätfolgen die Indikation für ein operatives Vorgehen gegeben.

Operative Therapie

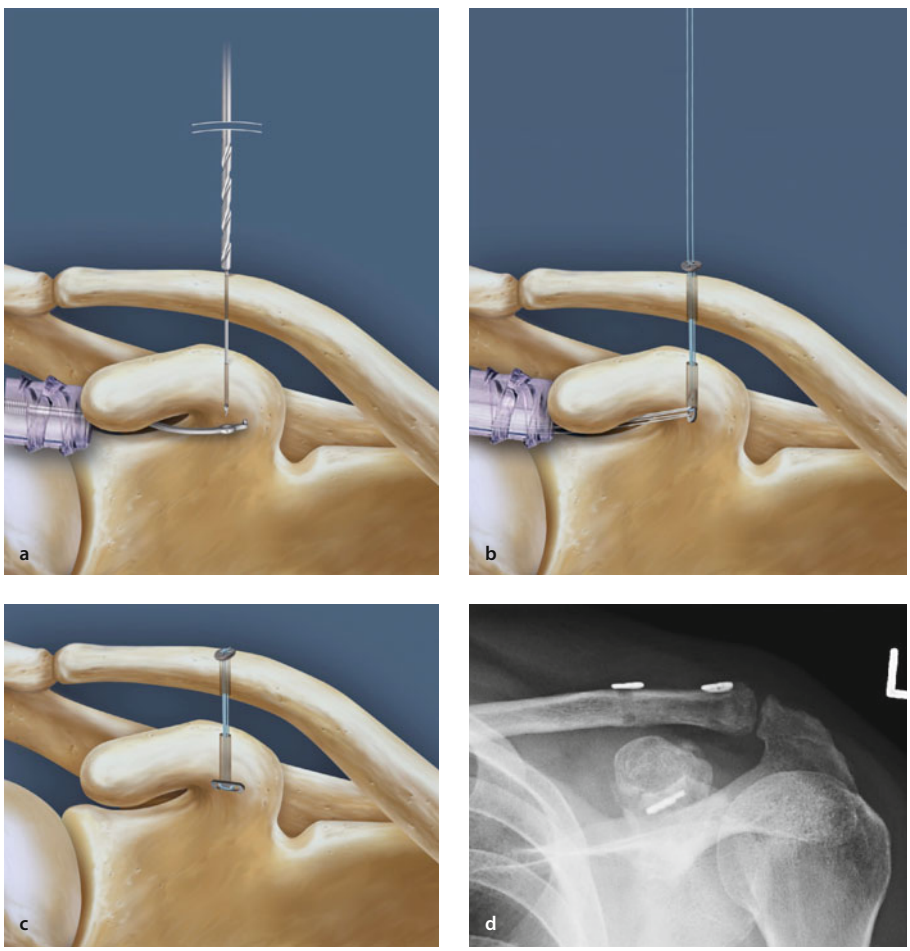
Ein Indiz dafür, dass es bisher kein ideales Verfahren gibt, ist die Vielzahl verschiedener Vorgehensweisen. Keines der im Folgenden beschriebenen Verfahren hat sich gegenüber den anderen durchsetzen können. Jedes hat Vor- und Nachteile. Die am häufigsten eingesetzten Methoden sind:

- Bandnaht mit Tightrope-Augmentation
- Augmentierte Naht mit resorbierbarem Material
- Stabilisierung mit K-Draht mit und ohne zusätzlicher Drahtschlinge
- Hakenplatte
- Korakoklavikuläre Verschraubung nach Bosworth

Es gibt 2 Möglichkeiten des Zugangs: vertikal und horizontal. Dazu wird der Patient in Strandstuhlposition gelagert. Der vertikale Zugang wird Säbelhiebschnitt genannt (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Er verläuft parallel mit den Hautspaltlinien. Dies ist günstig in Hinblick auf die Narbenbildung, die Narben tendieren weniger stark zum Hypertrophieren. Nachteilig ist, dass man je nach Verfahren die Wundränder nach medial und lateral mehr oder weniger weit unterminieren muss. Das ist beim horizontalen Zugang z.T. einfacher; seine Schnittrichtung verläuft allerdings quer zu den Hautspaltlinien.

Bandnaht mit Tightrope-Augmentation

Diese entspricht einer arthroskopischen Versorgung mit nicht resorbierbaren Fäden. Hiermit ist auch die arthroskopische Rekonstruktion der rupturierten korakoklavikulären Bänder möglich. Dabei wird von einem kleinen Hautschnitt aus die Klavikula freigelegt. Die Unterfläche des Processus coracoideus wird unter arthroskopischer Sicht von lateral präpariert. Dazu braucht es 2 Arbeitsportale ventral des Vorderrandes des Akromions und des AC-Gelenks. Mit Hilfe eines Zielgeräts, dessen Haken an der Unterfläche des Processus coracoideus platziert wird, wird über einen K-Draht ein Bohrloch durch die Klavikula und die Basis des Processus coracoideus in kraniokaudaler Richtung angebracht (◘ Abb. 5.24a). Es wird dann eine ultrahochfeste Fadenschlinge mit einem kleinen Plättchen (Button) von kranial nach kaudal eingezogen (◘ Abb. 5.24b). Nach Austritt des Buttons an der Unterfläche



◘ **Abb. 5.24a–c** Tightrope. **a** Überbohren eines Zieldrahts. **b** Einziehen des Implantats. **c** Nach Reposition der Skapula und Fixation des Titanknopfs auf der Klavikula. **d** Röntgenbild: Linkes AC-Gelenk mit 2 Tightropes stabilisiert. (a-c mit freundl. Genehmigung der Fa. Arthrex)

des Korakoids wird dieser quer gelegt. Die Skapula wird reponiert und die Fadenschlinge wird über der Klavikula mit einem Titanknopf fixiert (Abb. 5.24c).

In dieser Technik können auch die Ligamenta trapezoideum und coracoideum mit 2 Tightropes rekonstruiert werden (Abb. 5.24d).

Das System kann auch in offener Technik angewendet werden. Auch die Augmentation mit der Gracilissehne in chronischen Fällen ist arthroskopisch oder offen möglich.

Augmentierte Naht mit resorbierbarem Material

Bei diesem Verfahren werden zunächst die Bandstümpfe der rupturierten Schultereckgelenkkapsel dargestellt (Keller u. Rehm, 1991, Rustemeier u. Kulenkampff 1990). Nach Durchtrennung von Haut und Subkutangewebe samt subkutaner Faszie stößt man auf die Bandlefzen. Man unterminiert auf epiperiostalem Niveau den Weichteilmantel, denn die Bänder entspringen von diesem Niveau aus von ihrer knöchernen Verankerung. Durch Ausspülen des Hämatoms werden die weißlichen ligamentären Strukturen sehr gut sichtbar. Der Discus articularis wird inspiziert. Abgerissene, weitgehend lose Anteile werden entfernt unter der Vorstellung, dass sie, vergleichbar einer Meniskusläsion, das Gelenkspiel stören können. Der Diskus soll aber nicht generell reseziert, sondern nach Möglichkeit reponiert und erhalten werden. Die sich später anschließende Bandnaht stabilisiert den Diskus.

Ob man die rupturierten korakoklavikulären Bänder mitversorgt oder nicht, ist Ansichtssache. Die meisten Unfallchirurgen (Ergebnis einer Diskussion auf der 66. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie 2002) versorgen sie nicht mehr, weil der Nachweis dafür, ob eine zusätzliche Naht dieser Strukturen mehr Stabilität bzw. weniger Korrekturverlust bringt, bisher fehlt. Wollte man diese Strukturen belastungsstabil nähen, würde man die Bandenden unweigerlich strangulieren. Also können sie nur heilen, wenn die Augmentation in Form der Reposition des Schultergelenks während der Ausheilungsphase stabil bleibt. Da die Nähte der korakoklavikulären Bänder vermutlich die Stabilität nicht nennenswert erhöhen, können sie der Selbstheilung überlassen werden. Die Bänder bekommen über das Rupturhämatom Anschluss und erhalten über die sich anschließende narbige Verkürzung ihre Vorspannung zurück.

Falls sie dennoch versorgt werden sollen, müssen die Bandenden durch Spreizen der Pars deltoidea und Ausspülen des Hämatoms sichtbar gemacht werden. Dann können die Nähte in den Bandstümpfen vorgelegt werden. Geknüpft werden sie erst nach erfolgter Reposition des Schultereckgelenks.

Als nächstes wird das Schultereckgelenk stabilisiert. Dazu wird nach Keller u. Rehm (1991) eine 1,5 mm starke Kordel aus langsam resorbierbarem Material (z.B. PDS) unter dem Korakoid durchgezogen und anschließend über die laterale Klavikula gelegt. Das Durchziehen unter dem Korakoid ist der schwierigste Schritt der gesamten Operation, der zudem das Risiko der Verletzung des N. musculocutaneus in sich birgt. Insbesondere bei muskelkräftigen Patienten mit straffem Gewebe kann dies Probleme bereiten. Das Unterfangen wird erleichtert, wenn man zunächst den Weg durch Spreizen mit der Präparierschere oder einem Overholt präformiert. Dazu stellt man das Korakoid epiperiostal sparsam dar. Nach Präformierung des Wegs wird ein fadenarmierter Deschamps unter dem Korakoid durchgeführt.

Beim Durchführen des fadenarmierten Deschamps oder Overholts besteht die Gefahr, dass neurovaskuläre Strukturen, die unter dem Korakoid verlaufen, aufgeladen werden. Man muss deshalb beim Herumführen ständig sicheren Kontakt mit der Spitze des Instruments zum Knochen behalten. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass der N. musculocutaneus mitgefasst und abgeschnürt wird. Aus diesem Grund sollte präoperativ ein Neurostatus insbesondere des N. musculocutaneus erhoben und präoperativ die erhaltene Motorik des M. biceps und die streckseitige Hautsensibilität am proximalen Unterarm dokumentiert werden.

Die Spitze des Instruments wird, nachdem sie um das Korakoid geführt ist, im Gewebe palpiert und entwickelt. Anschließend mobilisiert man die mitgeführte Fadenschlinge so weit, dass man darin die PDS-Kordel einziehen und unter dem Knochenvorsprung herumführen kann. Am lateralen Klavikulaende verfährt man genauso.

Jerosch und Mitarbeiter (1999) geben als Alternativmethode zu diesem Schritt die Verwendung von Knochenankern bei der Augmentation an. Dazu werden die Basis des Processus coracoideus und die rupturierten korakoklavikulären Bänder dargestellt. Nach Exposition der Basis mit spitzen schmalen Hohmann-Hebeln werden 2 Knochenanker, die mit kräftigem Nahtmaterial armiert sind, z.B. 0,8 mm starken PDS-Kordeln, nach Vorbohren eingesetzt. Eine Kordel wird durch ein superior-inferiores Bohrloch durch die Klavikula geführt, das leicht nach medial versetzt zur Basis des Korakoids angelegt wird. Die andere wird direkt über dem Korakoid um die Klavikula gelegt.

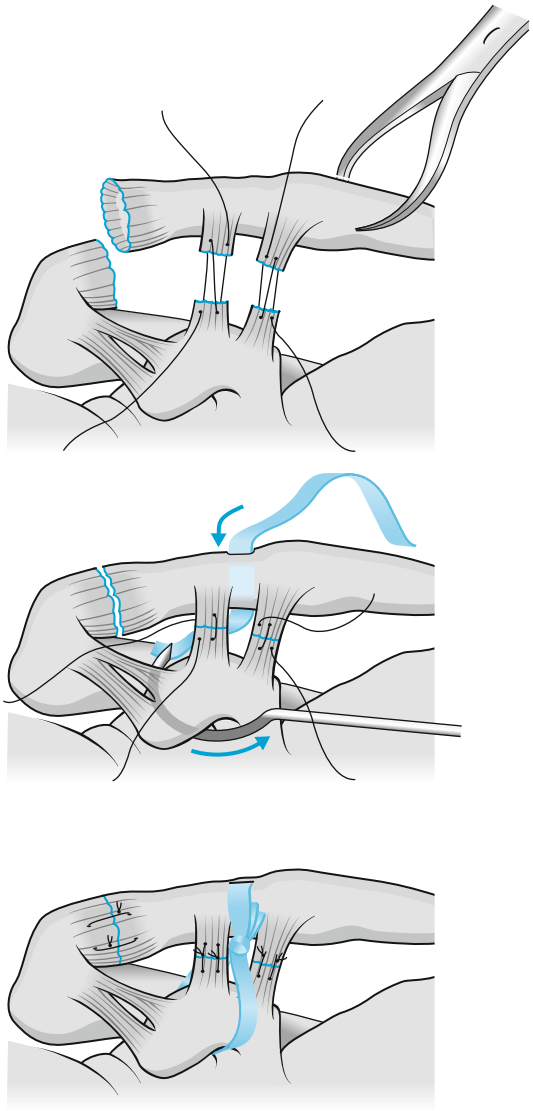
Die Nähte des rupturierten akromioklavikulären Bandkomplexes brauchen nicht vorgelegt zu werden. Man erkennt viel einfacher, welche Abschnitte der Kapsel des Schultereckgelenks zusammengehören, wenn das Gelenk reponiert ist. In den – nicht seltenen – Fällen allerdings, in denen die Kapsel subperiostal von einem der beiden Gelenkpartner abgelöst ist, empfiehlt es sich, vor der Reposition im blank liegenden Knochenanteil Bohrlöcher für transossäre Nähte zu schaffen. Da die knöchernen Partner nicht sehr massiv sind, dürfen auch die Bohrlöcher nicht zu dick sein. Löcher mit einem Durchmesser von 2 mm reichen aus.

Beim Vorbohren der Kanäle brechen die relativ dünnen Spiralbohrer, wenn man sie versehentlich verkippt, leicht ab, und eine abgebrochene Bohrerspitze aus dem Akromion bergen zu müssen, kann sehr schwierig sein. Deshalb empfiehlt es sich, zum Vorbohren einen 2 mm starken K-Draht zu verwenden.

Jetzt erst wird das Schultereckgelenk reponiert. Dazu wird das Gewicht des Arms durch Unterpolstern des Ellenbogens neutralisiert. Gleichzeitig kann man durch Ventral- und Dorsalverschiebung des Oberarms und der Klavikula die Gelenkpartner zueinander einstellen. Reponiert wird durch Druck auf die Klavikula und durch Heben der Skapula. Die erreichte Stellung kann man mit einer großen Repositionszange oder alternativ mit einem 2 mm starken K-Draht fixieren. Der Draht bleibt nur so lange liegen, bis die augmentierte Bandnaht fertiggestellt ist, dann wird er vor dem Wundverschluss entfernt.

Dabei muss man wiederum darauf achten, dass die subklavikulär gelegenen neurovaskulären Strukturen nicht geschädigt werden. Deshalb wird der Draht in der Frontalebene von lateral kaudal kommend, etwa 30° nach medial und kranial gerichtet, eingebracht, sodass er die kraniale und nicht die kaudale Klavikulakortikalis perforiert.

Nun wird die Schultereckgelenkkapsel mit einzelnen Nähten aus langsam resorbierbarem Material adaptiert und, falls auf einer Seite kein stabiles ligamentäres Nahtlager existiert, transossär refixiert. Man erreicht eine sehr stabile Naht, wenn man mit einem kräftigen, atraumatischen Faden (z.B. PDS der Stärke 1) eine fortlaufende überwendliche Naht von ventral nach dorsal und zurück oder umgekehrt führt und die beiden Fadenenden miteinander verknotet. Zur besseren Stabilisierung empfiehlt es sich, eine zusätzliche Kordel in Achtertour durch ein sagittales Bohrloch im Akromion und ein weiteres im lateralen Klavikulaende zu ziehen und zu knüpfen. Anschließend werden die vorgelegte Kordel für die Augmentation und die Nähte der korakoklavikulären Bandstümpfe geknüpft. Dann erfolgt der übliche schichtweise Wundverschluss unter Einlage einer Redon-Drainage (◘ Abb. 5.25).



◘ **Abb. 5.25a–c** Schematische Darstellung der einzelnen Operationsschritte bei der augmentierten Naht mit resorbierbarem Material. **a** Naht der korakoklavikulären Bänder. **b** Augmentation mit einem PDS-Band. **c** Naht der AC-Gelenkkapsel (die im Text beschriebene Augmentation mit einer PDS-Kordel durch ein Bohrloch im lateralen Klavikulaende einerseits und ein weiteres Bohrloch im Akromion andererseits ist auf der Abbildung nicht dargestellt)

Stabilisierung mit Zuggurtung

Man geht bei der Naht der akromio- und korakoklavikulären Bänder so vor, wie es oben für die augmentierte Bandnaht beschrieben wurde, mit dem Unterschied, dass anstelle der korakoklavikulären Augmentation eine Zuggurtung ins Schultereckgelenk gelegt wird. Man verwendet dafür einen oder 2 K-Drähte der Stärke 1,6 mm und eine Drahtschlinge der Stärke 1,0 mm. Der Einsatz nur eines zentralen Drahts hat den Vorteil, dass er die Rotationsfähigkeit der Klavikula weniger einschränkt als 2 Drähte und damit weniger sperrend wirkt. Dafür vermitteln 2 K-Drähte mehr Stabilität, was bei Revisionseingriffen oder besonders kräftigen Patienten von Vorteil ist.

Der gefährlichste Schritt der Operation ist das Einbohren des Drahts. Wenn man versehentlich zu weit nach kaudal und zentral gerät, können subklavikulär liegende neurovaskuläre Strukturen verletzt werden. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn der Draht beim Einbohren unbemerkt an einer harten kortikalen Struktur tangential umgelenkt wird. Deshalb sollte man die Drähte im oszillierenden Bohrmodus einbringen.

Der K-Draht soll die Gegenkortikalis der Klavikula durchbohren, damit man, wenn er im Gelenkspalt brechen sollte, den medial gelegenen Anteil bergen kann. Er wird leicht schräg nach kranial gerichtet eingebohrt und in der Gegenkortikalis der S-förmig gekrümmten lateralen Klavikula verankert.

Die Zuggurtung wird durch die 1 mm starke Drahtschlinge komplettiert. Man legt sie um das laterale Drahtende in Achtertour über das Schultereckgelenk und zieht sie durch ein Bohrloch im Klavikulaende. Die Schlinge braucht nur so weit angezogen zu werden, dass der Gelenkspalt nicht klafft. Eine Kompression des Gelenkspalts soll nicht aufgebaut werden, damit Knorpel- und Diskusgewebe nicht durch den anhaltend vermehrten Druck absterben.

Hakenplatte

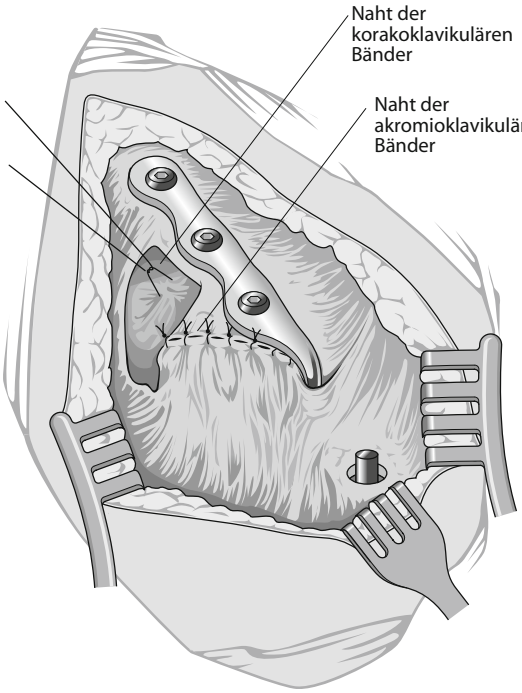
Die Hakenplatte dient als Augmentation der Nähte der akromio- und korakoklavikulären Bänder (Wolter et al. 1989). Das Implantat hat eine bogenförmige Verlängerung, die in einem Bohrloch im Akromion eingehakt oder an die Unterfläche des Akromions angelegt werden muss. Die Platte wird auf das laterale Klavikulaende aufgeschraubt. Dadurch wird die Reposition, zumindest solange das Implantat in situ liegt, zuverlässig gehalten (◘ Abb. 5.26).

Allerdings birgt die Methode zahlreiche Nachteile:

- Der Haken muss der jeweiligen anatomischen Situation bzw. der unterschiedlichen Dicke des Akromions angepasst werden. Dies gelingt nicht immer ideal, sodass unter Umständen keine gelenkgerechte Stellung erzielt wird.
- Da der Haken durch den subakromialen Raum zieht, kann er diesen einengen und entsprechende Beschwerden im Sinne eines Impingement-Syndroms verursachen.
- Das Hakenende soll in einem 5 mm starken Bohrloch am Akromion eingehängt werden. Die Bohrung schwächt den Knochen. Akromionfrakturen wurden in diesem Zusammenhang beobachtet.
- Eine Implantatentfernung ist erforderlich.
- Da das Implantat auf der lateralen Klavikula liegt, an der die Weichteildeckung besonders dünn ist, entstehen sehr häufig Wundheilungsstörungen. Diese Infektionen sind zwar leicht zu beherrschen, können aber zur vorzeitigen Implantatentfernung zwingen und dadurch zu einem Repositionsverlust führen.

Korakoklavikuläre Verschraubung nach Bosworth

Auch die Bosworth-Schraube vermittelt sichere Stabilität (Poigenfürst 1990). In Bezug auf die Bandnähte verfährt man genauso wie bei Zuggurtung und Hakenplatte. Da die Schraube starr im Korakoid sitzt, blockiert sie die Rotation der Klavikula, die Voraussetzung für die Mobilität des Schultergürtels ist. Dem versucht man entgegen zu wirken, indem das Loch im Schlüsselbein beim Aufbohren etwas erweitert wird (◘ Abb. 5.27). Mit zunehmender Bohrlochgröße und steigendem Bewegungsumfang nimmt jedoch auch die Bruchgefahr für die Klavikula zu. Ein weiteres Risiko ist, dass die Schraube im Korakoid durch Wackelbewegungen auslockern oder aufgrund der damit verbundenen Materialermüdung brechen kann (◘ Tab. 5.3).



◘ **Abb. 5.26** Hakenplatte in situ. (Aus: Wolter et al. 1989)

Therapie veralteter Schultereckgelenksprengungen

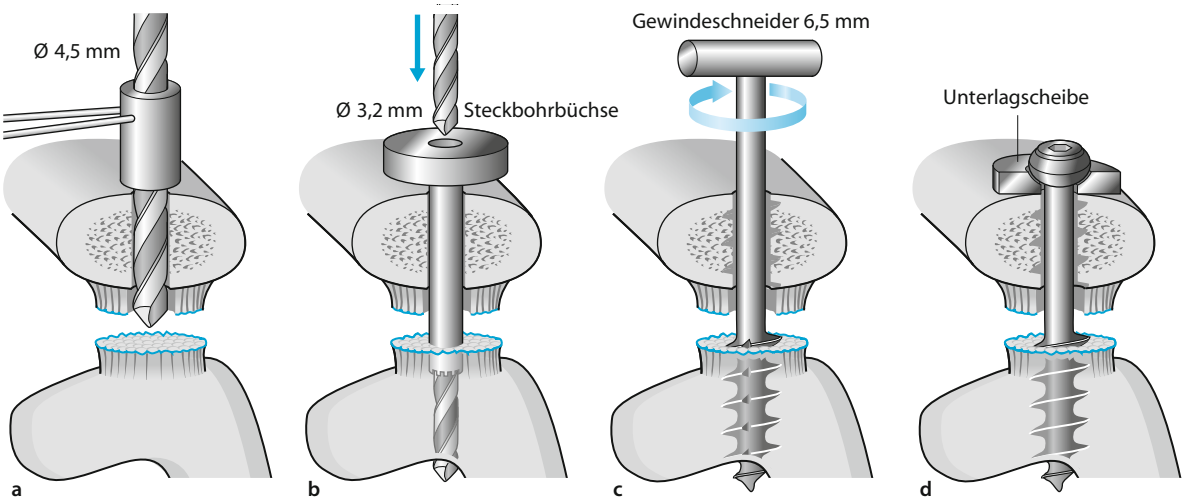
Bei therapieresistenten Beschwerden im Schultereckgelenk ist die Resektion des akromialen Klavikulaendes indiziert. Präoperativ vergewissert man sich, dass die Beschwerden auch wirklich vom Schultereckgelenk ausgehen. Nach Setzen einer intraartikulären Lokalanästhesie müssen die Beschwerden für Stunden verschwinden.

Über einen Säbelhiebschnitt von der dorsalen Kante des Akromions bis zur Korakoidspitze oder einen horizotalen Zugang unterhalb und entlang der lateralen Klavikula bis zum Akromionrand erreicht man das Schultereckgelenk. Dann wird das Periost über dem Gelenk längs gespalten und das Schlüsselbeinende zirkulär, lateral vom Ansatz des Ligamentum conoideum subperiostal auf eine Strecke von 1–1,5 cm ausgehülst und mit Hohmann-Hebeln umfahren. Nun kann das Schlüsselbeinende mit einer oszillierenden Säge abgesetzt werden. Falls eine Insuffizienz der korakoklavikulären Bänder besteht, wird ein Bandersatz mit dem Ligamentum coracoacromiale nach Weaver u. Dunn (1972) durchgeführt. Dazu wird das Band vom Vorderrand des Akromions abgelöst und zur Resektionsfläche des lateralen Klavikulaendes hochgeschwenkt. Es bleibt am Korakoid gestielt. Dann wird es so weit eingekürzt, dass es bei reponierter Klavikula ausreichend Vorspannung hat. Anschließend wird es mit einem nicht resorbierbaren Faden durch 2 Bohrkanäle am Schlüsselbeinende verankert. Diese Bandverlagerung muss immer durch eine Augmentation der Reposition zwischen Klavikula und Processus coracoideus gesichert werden. Loitz und Klonz (2005) beschreiben eine modifizierte Technik nach Weaver und Dunn. Die Besonderheit ist dabei eine Augmentation der Bandplastik mit einem 5,0- oder 7,5-mm-PDS-Band, das O-förmig um das Korakoid und durch 2 Bohrlöcher in der Klavikula gezogen und geknotet wird (◘ Abb. 5.28).

Statt der Transposition des Ligamentum coracoacromiale kann auch eine Rekonstruktion der korakoklavikulären Bandverbindungen mit der Semiteninosus- oder der Gracilissehne durchgeführt werden, wobei zusätzlich auch hier eine Kunstbandaugmentation erfolgen sollte.

Nachbehandlung

Die Schulter wird für 1–3 Tage in einem Immobilizer ruhiggestellt. Anschließend dürfen die Patienten passiv und aktiv die Schulter bewegen. Das Bewegungsausmaß wird für die ersten 6 Wochen eingeschränkt. In dieser Zeit soll nur bis zur Horizontalen geübt werden.



◘ **Abb. 5.27a–d** Operatives Vorgehen beim Setzen einer Bosworth-Schraube. **a** Vorbohren eines 4,5er Bohrlochs in der Klavikula. **b** Bohren des 3,2er Schraubenlochs im Korakoid über eine Steckbohrbüchse. **c** Längenmessung und Schneiden eines 6,5er Gewindes. **d** Eindrehen einer 6,5er Schraube mit Unterlagscheibe

Tab. 5.3 Vor- und Nachteile verschiedener Methoden der Stabilisierung des Schultereckgelenks. Augmentierte Naht mit resorbierbarem Material oder die Stabilisierung mit Zuggurtung scheinen in Hinblick auf die Schaden-Nutzen-Relation am günstigsten abzuschneiden. Langzeitergebnisse der Tightrope-Augmentation stehen noch aus

Methode	Nachteile	Vorteile
Augmentierte Naht mit resorbierbarem Material	Repositionsverlust durch vorzeitige Resorption Fadenfistel Verletzung des N. musculocutaneus	Keine Implantatentfernung nötig Bewegungsumfang wenig eingeschränkt
Arthroskopische Rekonstruktion	Schwierige Technik Teuere Implantate	Keine Implantatentfernung Geringe Morbidität
Stabilisierung mit Zuggurtung	Gefahr des Implantatbruchs Implantatwanderung Eingeschränkter Bewegungsumfang Materialentfernung notwendig	Sichere Stabilisierung des reponierten Gelenks Vermeidung eines Nervenschadens
Hakenplatte	Schwierige Reposition Haken sperrt im Gelenk Haken verursacht Impingement-Syndrom Eingeschränkter Bewegungsumfang Häufig Wundheilungsstörungen Materialentfernung notwendig	Sichere Reposition des reponierten Gelenks
Korakoklavikuläre Verschraubung nach Bosworth	Gefahr der Klavikulafraktur Vorzeitige Lockerung der Schraube Implantatbruch Eingeschränkter Bewegungsumfang Implantatentfernung notwendig	

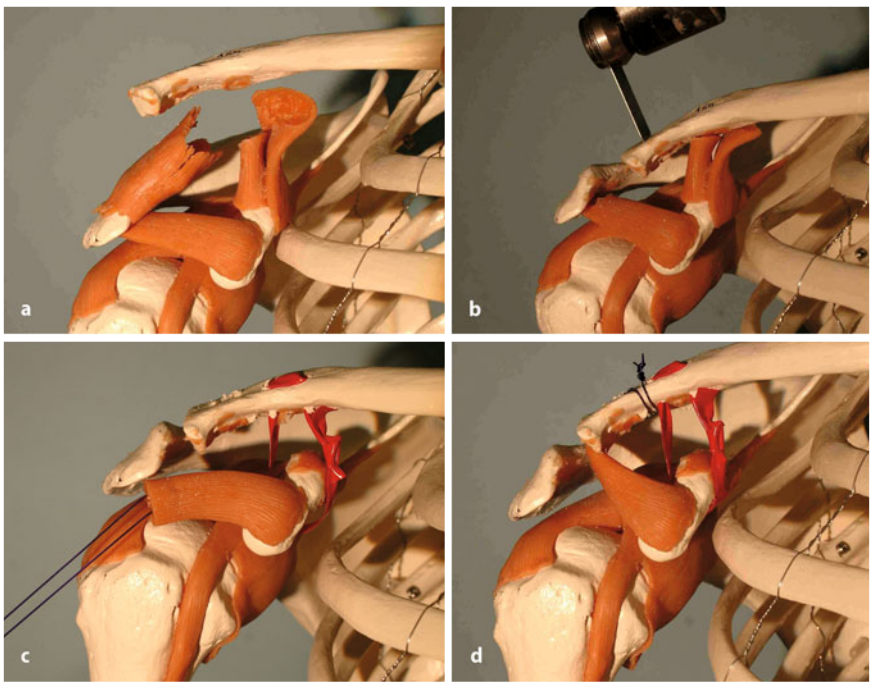


Abb. 5.28a–d Operationsschritte am Modell. **a** AC-Gelenkluxation Rockwood V mit Riss der akromio- und korakoklavikulären Bänder. **b** Resektion der lateralen Klavikula knapp 1 cm leicht schräg parallel zur akromialen Gelenkfläche. **c** Absetzen des Ligamentum coracoacromiale mit einem Knochenspan von der vorderen Unterfläche des Akromions und Anschlingen mit einem kräftigen Faden, die Klavikula ist durch korakoklavikuläre Augmentation mit PDS-Band gesichert. **d** Mit dem Faden in die laterale Klavikula eingezogenes Ligamentum coracoacromiale, Fixierung durch Verknoten des Fadens um die Klavikula herum, bei ausreichend weitem Bereich zwischen Akromion und lateraler Klavikula: korrektes Einstellen der Klavikula in beiden Ebenen in Relation zum Akromion. (Aus: Loitz u. Klonz 2005)

Komplikationen und Prognose

- Allen Operationsverfahren im Bereich des Schultereckgelenks ist eine erhöhte Sekundärheilungsrate gemeinsam.
- Die Ausbildung einer keloidartigen Narbe ist häufiger als in anderen Körperregionen.
- Häufig tritt postoperativ ein mehr oder weniger stark ausgeprägter Repositionsverlust ein.
- Infraklavikuläre Verkalkungen sind keine Folge der jeweiligen Operation. Sie treten fast nach jeder Schultereckgelenksprengung auf und lassen sich auch ohne Behandlung schon nach 2 Wochen mikroskopisch nachweisen.
- Zu den spezifischen Risiken der einzelnen Verfahren Tab. 5.3.

Die Prognose der konservativ behandelten Rockwood-I-Verletzung ist gut. Bei der Rockwood-II-Läsion bestehen mitunter länger andauernde Schmerzen in Verbindung mit einer Funktionsbeeinträchtigung des Schultergürtels. Insbesondere bei Überkopfaktivitäten kann in der Folge eine Arthrose entstehen. Auch konservativ

behandelte Rockwood-III-Läsionen können trotz eines relativen Hochstandes der lateralen Klavikula zu funktionell ausgezeichneten Resultaten führen.

5.3 Skapulaverletzungen

5.3.1 Skapulafrakturen

Ätiologie

Skapulafrakturen entstehen nur bei erheblicher Gewalteinwirkung, denn die Skapula ist muskulär am Thorax fixiert. Durch die Verschieblichkeit und den Muskelmantel werden einwirkende Kräfte abgedämpft. Das Schulterblatt kann ausweichen und bricht erst, wenn gehörige Kräfte am Werk sind. So verwundert es auch nicht, dass man häufig begleitende Verletzungen am Thorax (54%), der Klavikula (27%), dem Armplexus (13%) und den großen Gefäßen (11%; Thompson et al. 1985) sowie am Schädel (8%) und der Halswirbelsäule (12%) findet (Simpson u. Jupiter 1995). Bei maximaler Gewalteinwirkung kann eine skapulothorakale Dissoziation eintreten. Sie entspricht einer geschlossenen Amputation und ist potenziell tödlich, denn nicht nur die Aufhängung der Skapula am Thorax, sondern auch der Armplexus werden zerissen.

Klinik

Die Patienten klagen über Schmerzen an entsprechender Stelle. Häufig sieht man die Folgen stumpfer Gewalteinwirkung über der Skapula. Die Schulterbeweglichkeit ist schmerzhaft eingeschränkt oder aufgehoben. Der Arm wird am Rumpf geschient mit dem unverletzten Arm der Gegenseite gehalten. Bei Nerven- oder Gefäßbeteiligung lassen sich entsprechende Ausfälle in der Peripherie nachweisen.

Diagnostik

Die Skapula wird in 3 Ebenen geröntgt. Die a.p.-Aufnahme wird am besten am stehenden, bei Bedarf auch am liegenden Patienten durchgeführt (▶ Abschnitt 5.1.3, Basiswissen und ◘ Abb. 5.5).

Bei der axialen Aufnahme verläuft der Strahlengang von kranial nach kaudal. Der Patient abduziert den Arm im Sitzen, zur Not auch im Liegen, über der Röntgenkassette. Der Zentralstrahl ist auf das Schultergelenk gerichtet (◘ Abb. 5.6). Die Aufnahme ist schmerzbedingt nicht immer durchführbar. Wenn der Patient sie jedoch toleriert, bekommt man wertvolle Informationen bezüglich der Position des Oberarmkopfs zur Pfanne. Man kann Luxations- oder Subluxationsstellungen im Glenohumeralgelenk sehr genau erkennen und beurteilen, was auf der a.p.-Aufnahme häufig nicht möglich ist. Außerdem lässt sich eine Abkippung des Glenoids in der Transversalebene erkennen.

Als 3. Ebene wird die Skapula-Y-Aufnahme angefertigt (◘ Abb. 5.7). In dieser Projektion lassen sich neben der Gelenkstellung selbst Fortsatzfrakturen und deren Dislokationsausmaß gut erkennen, ebenso wie das Ausmaß der Dislokation von Korpusfrakturen des Schulterblatts.

Bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung braucht man jedoch meist zusätzlich eine CT, um den eingetretenen Schaden exakt beurteilen und die richtige Therapieempfehlung geben zu können.

Klassifikation

Man unterscheidet im Wesentlichen zwischen 4 verschiedenen Verletzungsformen (modifiziert nach Euler u. Rüedi 1996; ◘ Abb. 5.29):

- A: Korpusfrakturen
- B: Fortsatzfrakturen von Spina, Korakoid und Akromion
- C: Kollumfrakturen ohne oder mit Klavikula- und Akromionfraktur oder Akromioklavikulargelenksprengung
- D: Gelenkfrakturen in Form von Pfannenrandabbrüchen oder Glenoidfrakturen

Therapie

Die meisten Verletzungsformen lassen sich konservativ mit sehr gutem Ergebnis behandeln. Nur wenige bedürfen der offenen Reposition und Osteosynthese. Je nach Lokalisation werden dafür ventrale, dorsale oder laterale Zugänge gewählt (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

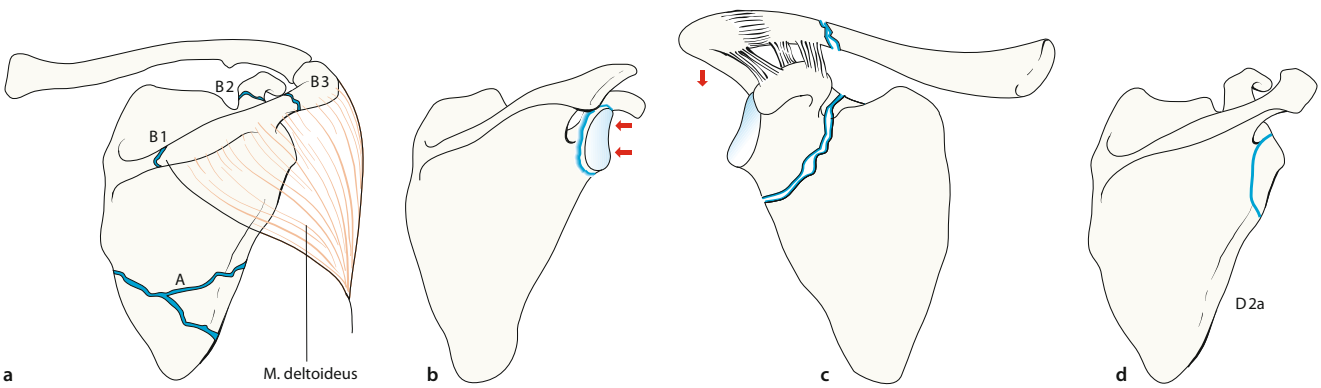
Korpusfrakturen

Wenig verschobene Frakturen des Schulterblatts können konservativ behandelt werden, denn die umgebende Muskulatur schient die Fraktur und lässt sie rasch heilen. Der betroffene Arm braucht lediglich bis zum Abklingen der akuten Beschwerden in einem Immobilizer ruhiggestellt zu werden.

Fortsatzfrakturen

Aber auch die wenig verschobenen Frakturen der Schulterblattfortsätze Spina, Korakoid und Akromion werden meist konservativ behandelt. In bestimmten Fällen ist jedoch eine operative Stabilisierung angezeigt:

- Wenn die Form der Spina zu sehr verworfen ist, kann die Funktion der Muskeln, welche die Rotatorenmanschette straffen, beeinträchtigt werden. Die Spina kann in solchen Fällen mit einer Rekonstruktionsplatte geschient werden.



◘ **Abb. 5.29a–d** Einteilung der Skapulafrakturen. **a** Gruppe A und B – Korpus- und Fortsatzfrakturen. **b** Gruppe C – Collum anatomicum. **c** Gruppe C – Collum chirurgicum. **d** Gruppe D – Gelenkfraktur. (Aus: Müller-Mai 2010)

- Stark dislozierte Korakoidfrakturen müssen operativ versorgt werden, wenn der Schultergürtel insgesamt instabil ist. Bei begleitender Klavikula- und Kollumfraktur z.B. kann das Gewicht des Arms das Schultergelenk nach kaudal ziehen. In diesem Fall sind eine Plattenosteosynthese der Klavikula, eine Schrauben- oder Zuggurtungsosteosynthese des Korakoids und ggf. auch eine Plattenosteosynthese des Pfannenhalses notwendig. Durch Zug der Mm. coracobrachialis, pectoralis minor und caput breve des M. biceps kann aber bereits eine isolierte Fraktur des Processus coracoideus stark dislozieren und in einer Pseudarthrose münden. Geel (2000) hält eine operative Versorgung bereits ab einer Dislokation von >5–8 mm für indiziert.
- Frakturen des Akromions können mit einem Os acromiale verwechselt werden und umgekehrt. Deshalb müssen die Röntgenbilder genau analysiert werden (Wiedemann 2004). Hypertrophe und sklerotische Ränder sind typisch für eine Pseudarthrose oder ein Os acromiale, das über eine nicht verknöcherte Epiphysenfuge von der Basis des Akromions getrennt bleibt. Diese Besonderheit tritt in 60% der Fälle beidseits auf. Deshalb kann eine Vergleichsaufnahme für Klarheit sorgen (Mudge 1984). Nach kaudal abgekippte Frakturen des Akromions können zu einem Impingement-Syndrom führen. Sie bedürfen deshalb der Stellungskorrektur und Stabilisierung, die mit einer Zuggurtung, Kleinfragmentschrauben oder einer Platte vorgenommen werden kann (Abb. 5.31). Auch bei Akromionabbrüchen sieht Geel eine Operationsindikation ab mehr als 5–8 mm Versatz.

Kollumfrakturen

Extraartikulär im Collum anatomicum verlaufende Skapulahalsfrakturen werden konservativ oder operativ behandelt.

Meist besteht eine Einstauchung der Pfanne in Richtung Schulterblatt, wodurch ein »bedrohlich wirkender« (Euler u. Rüedi 1996) Knochensporn das Gelenk kaudal überragt. Dieser Sporn ist aber funktionell unbedeutend. Viel bedeutsamer ist hingegen eine breitere Überdachung des Akromions, die aus der Einstauchung und der damit verbundenen Medialisierung der Gelenkpfanne resultiert. Sie kann die Abduktion des Arms beeinträchtigen. Euler u. Rüedi (1996) empfehlen für solche Fälle eine Funktionsprüfung unter Bildwandlerkontrolle; dabei würde sich zeigen, ob die vermehrte Überdachung die Abduktion des Arms beeinträchtigt. Wenn dies der Fall ist, besteht die Indikation für eine offene Reposition mit Korrektur der Einstauchung und Plattenosteosynthese (Abb. 5.31).

Wenn die Gelenkfläche stärker als 40° in der Transversal- oder Frontalebene abgekippt oder durch Zug des Caput longum des M. triceps mehr als 1 cm dislociert steht, ist ebenfalls eine operative Korrektur indiziert, denn dann wäre eine ausreichende Zentrierung des Oberarmkopfs in der Pfanne durch die Rotatorenmanschette und den extraartikulär gelegenen Muskelmantel nicht mehr gewährleistet (Abb. 5.32) und es müsste von daher mit einer bleibenden Funktionseinbuße gerechnet werden. Zur Beurteilung des Ausmaßes der Abkippung werden Standardaufnahmen im a.p.- und axialen Strahlengang und die CT herangezogen.

Aber auch aus klinisch und radiologisch primär nicht ersichtlichen Gründen können Frakturen des Collum chirurgicum operationspflichtig werden. Das Bruchhämatom oder der Fragmentdruck kann zu einer Kompression des N. suprascapularis und damit zur Lähmung der Mm. supra- und infraspinatus führen. In solchen Fällen besteht die Indikation zur Neurolyse. Man muss jedoch wissen, dass die Lähmung nur mit einem Elektromyogramm nachgewiesen werden kann, da dieser Nerv kein sensibles Versorgungsgebiet besitzt und die Symptomatik durch die Skapulafraktur maskiert ist. Wenn die Neurolyse unterbleibt, resultiert ein Incisura-scapulae-Syndrom (Habermeyer et al. 1990).

Bei Kollumfrakturen mit begleitender Klavikula- und Akromion- bzw. Spinafraktur hat das Schultergelenk keine ausreichend stabile Verbindung mehr zum Schultergürtel. Im angloamerikanischen Sprachraum spricht man in diesem Zusammmenhang von einer floating shoulder (Abb. 5.31). Unterbleibt eine Stabilisierung, sinkt das Gelenk ab und es resultiert nicht nur eine Asymmetrie des Oberkörpers, sondern auch eine Funktionseinbuße durch die Beeinträchtigung der Abduktion. In der Regel richten sich durch die Stellungskorrektur und die Plattenosteosynthese der Klavikula die übrigen Frakturen aus (Abb. 5.33). Falls die Kollumfraktur jedoch mit einer Schultereckgelenksprengung einhergeht, muss die Skapulahalsfraktur selbst angegangen werden, kombiniert mit einer augmentierten Naht der akromio- und korakoklavikulären Bänder. Für die Plattenosteosynthese am Skapulahals können Drittelrohr- oder Rekonstruktionsplatten verwendet werden.

Gelenkfrakturen

Pfannenrandabbrüche entstehen bei Schulterluxationen und entsprechen funktionell knöchernen Kapselausrissen. Damit sind sie potenzielle Wegbereiter einer posttraumatischen Schulterinstabilität und bedürfen insbesondere bei jüngeren und aktiven Patienten der operativen Refixation. Die Pfannenrandfragmente werden, je

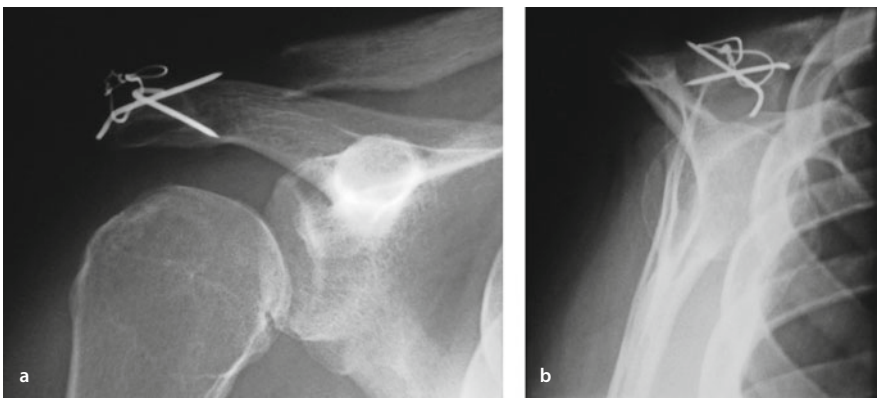


Abb. 5.30a,b Postoperative Röntgenkontrolle nach Stabilisierung einer Akromionfraktur mit einer Zuggurtung. **a** a.p.-Projektion. **b** Skapula-Y-Aufnahme

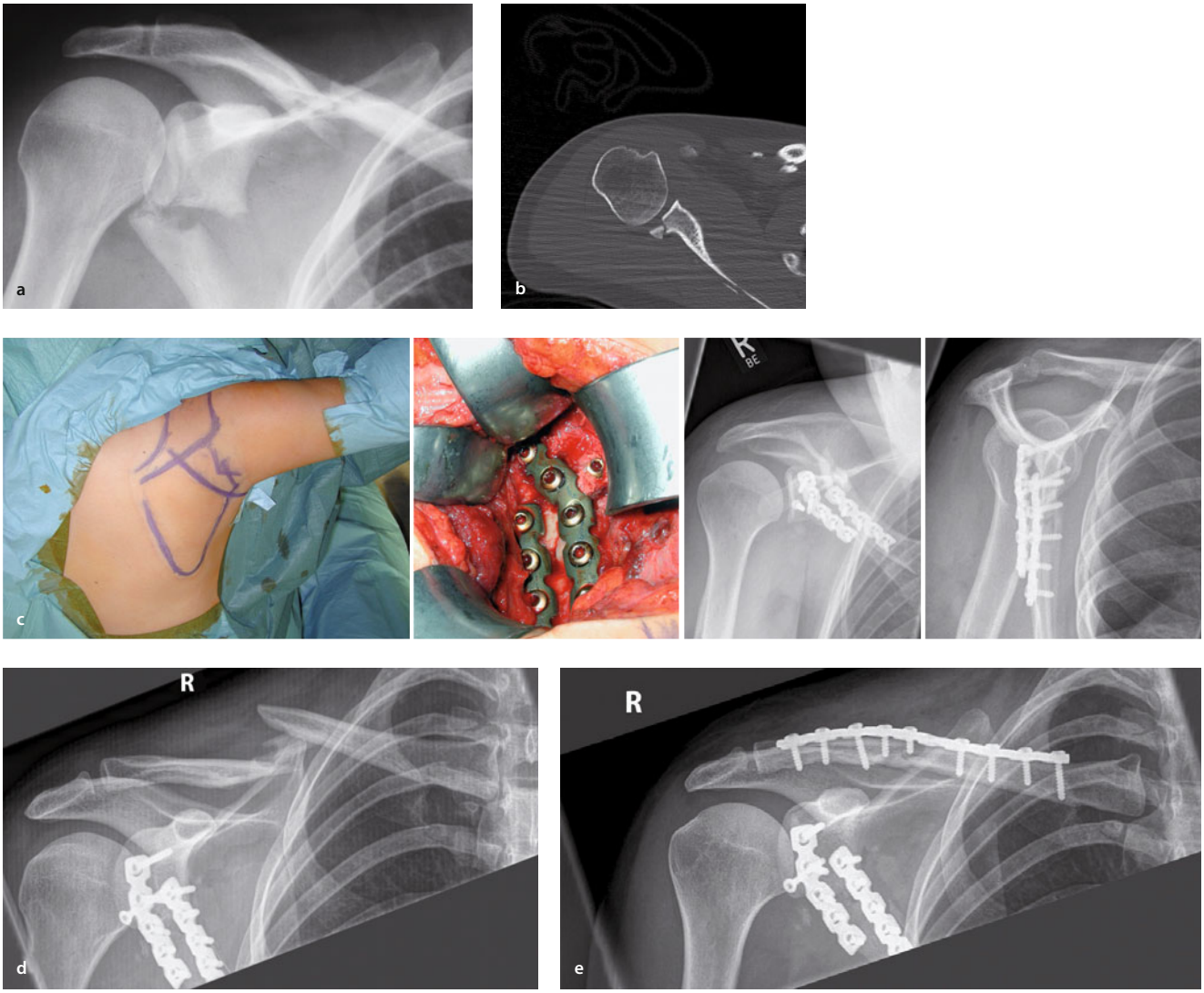


Abb. 5.31a–e Kombinationsfraktur der Pfanne und ihres chirurgischen Halses. (Typ D3) mit Klavikulafraktur (floating shoulder). **a** Das Glenoid ist nach medial verschoben, sodass die Margo lateralis der Skapula übersteht. Die wenig verschobene Klavikulafraktur liegt medial der korakoklavikulären Bänder. Der Humeruskopf steht in Innenrotation, die Schulterkontur ist abgeflacht. **b** Wegen der Innenrotationsstellung mit nicht auszuschließender hinterer Luxation wurde ein CT veranlasst, in dem sich eine hintere Bankart-Fraktur zeigte. **c** Die Bankart-Fraktur wurde über einen lateralen Zugang stabilisiert und dabei auch die Fraktur im chirurgischen Hals mitversorgt. **d** In den postoperativen Röntgenaufnahmen zeigte sich eine Stellungsverschlechterung der Klavikulafraktur. **e** Zweizeitige Stabilisierung der Klavikulafraktur. (Aus: Wiedemann 2004)

nach Lokalisation, über einen ventralen oder dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) mit Kleinfragmentzugschrauben reinseriert. Dabei kann das Abmessen der Länge für die zu verwendenden Schrauben aufgrund der räumlichen Enge des Zugangs schwierig sein. Wiedemann (2004) empfiehlt, für die Refixierung von Bankartfragmenten etwa 30 mm lange Schrauben zu verwenden, denn eine normal große Pfanne ist 35 mm hoch und 25 mm breit. Falls das Fragment zu klein ist, um eine oder zwei Schrauben aufnehmen zu können, kann stattdessen ein Führungsdraht für kanülierte Schrauben zur Rotationssicherung in situ verbleiben. Der Draht wird über Kortikalisniveau eingekürzt und umgebogen, damit er nicht in die Tiefe wandern kann. Seine Gewindespitze sollte in der Gegenkortikalis verankert werden (Abb. 5.34). Kleinere schalenförmige Fragmente können auch arthroskopisch mit Nahtankern über eine Ligamentotaxis refixiert werden.

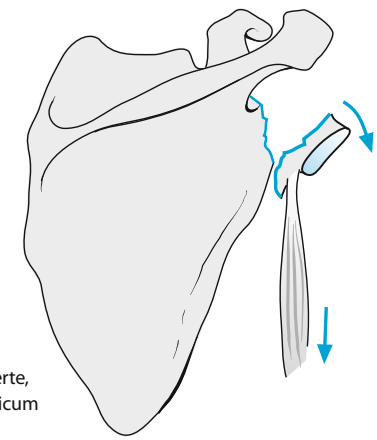


Abb. 5.32
Durch Zug des M. triceps dislozierte, extraartikulär im Collum anatomicum verlaufende Skapulahalsfraktur

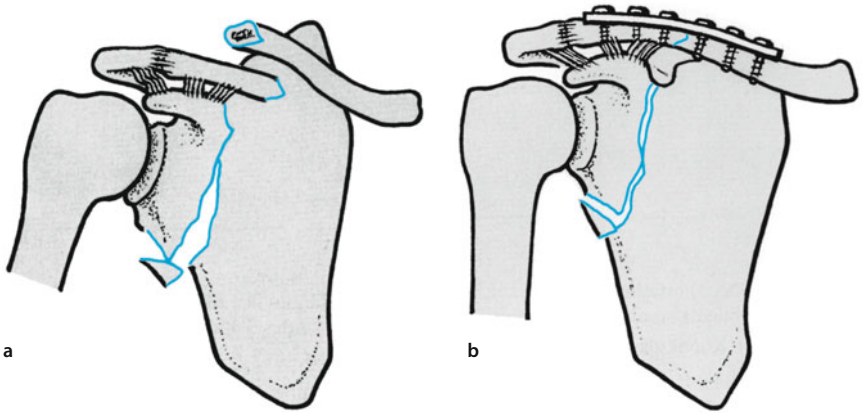


Abb. 5.33a,b Kombinationsverletzung des Skapulahalses, der Spina und der Klavikula. Wenn das Schultereckgelenk unverletzt ist, reponieren sich nach Osteosynthese der Klavikula die begleitenden Frakturen von selbst. (Aus: Müller et al. 1992)

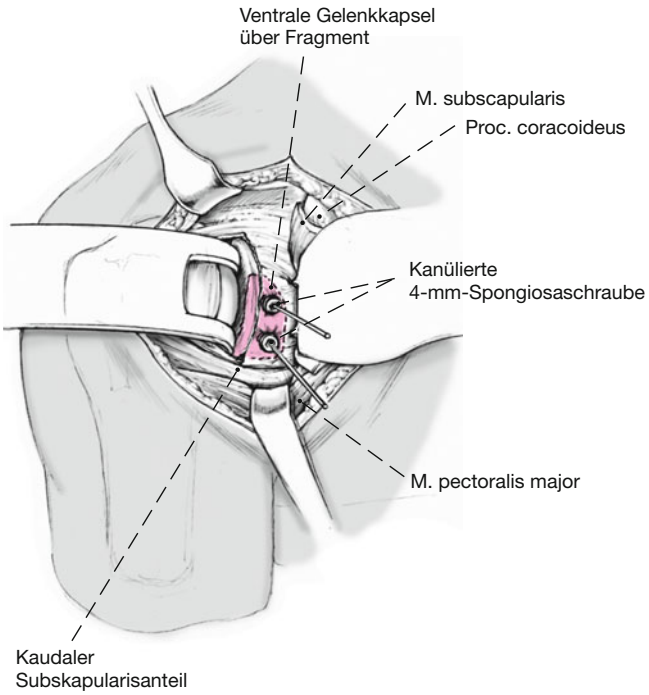


Abb. 5.34 Anatomische Reposition und Osteosynthese mit kanüliertem Schraubensystem. (Aus: Seebauer u. Goebel 2008)

Eine Rettungsoperation nach fehlgeschlagener Refixation eines Bankartfragments oder als Sekundärversorgung bei chronischer knöcherner Glenoidläsion mit persistierender Instabilität bietet die anteriore Glenoidrekonstruktion durch Korakoidtransposition nach Latarjet (Seebauer u. Goebel 2008). Dazu wird über einen ventralen Zugang zum Schultergelenk der Ansatz der Subskapularissehne L-förmig von der Kapsel gelöst. Dann wird die Kapsel am Glenoidhals eröffnet und ebenfalls L-förmig in der Gegenrichtung zur Subskapularissehne türflügelartig eröffnet. Anschließend erfolgt die Präparation und Osteotomie des Korakoids zwischen dorsaler Ursprungszone des M. pectoralis minor und ventraler Begrenzung der korakoklavikulären Bänder, wobei ein Streifen des Ligamentum coracoacromiale am abgelösten Korakoid verbleibt. Nach Anfrischung des ventroinferioren Glenoids und Setzen von 2–4 Fadenankern wird auch die posteriore Seite des Korakoidtransplantats angefrischt und mit zwei kanülierten Kleinfragmentzugschrauben in der Flucht der Gelenkfläche fixiert. Die Kapsel wird über die vorgelegten Fadenankerfäden reinseriert und zwar bei den Nähten kaudal des Glenoidäquators in 45° Abduktion und 15° Außenrotationsstellung des Arms, kranial davon in 30°-Abduktion und 30°-Außenrotation. Der am Korakoidtransplantat verbliebene Rest des Ligamentum coracoacromiale wird zur Verstärkung der Gelenkkapsel verwendet. Anschließend wird die Subskapularissehne genäht (Abb. 5.35).

Eine Alternative zum Korakoidtransfer stellt die Verpflanzung eines Beckenspans (J-Span-Plastik nach Resch) dar. Wegen der Spanentnahme aus dem Beckenkamm hat dieser Eingriff aber eine höhere Morbidität.

Ein verschobener Bruch des superoanterioren Glenoidquadranten, der mit der Basis des Korakoids verbunden ist, wird durch einen ventralen Zugang zum Korakoid mit 2 Kleinfragmentzugschrauben stabilisiert. Wenn intraartikulär verlaufende Frakturen zu Gelenkstufen von mehr als 3–5 mm führen, droht der vorzeitige Gelenkverschleiß. Aus diesem Grund sind eine offene Stellungskorrektur und Stabilisierung indiziert.

Nachbehandlung

Abhängig von der erreichten Stabilität bzw. dem Ausmaß des eingetretenen Schadens reicht in der Regel eine kurzzeitige Ruhigstellung im Immobilizer bis zum Abklingen der akuten Beschwerden aus. Nach einem operativen Eingriff wartet man die Wundheilung ab. Dann wird mit einem gezielten Muskelaufbau begonnen und der inaktivitätsbedingten Kapselschrumpfung durch Bewegungsübungen entgegengewirkt. Falls intraoperativ Sehnen durchtrennt oder rekonstruiert wurden, wird dies dem nachbehandelnden Physiotherapeuten mitgeteilt. Der zugehörige Muskel wird dann für 4–6 Wochen (in diesem Zeitrahmen schwanken die Angaben in der Literatur) nur passiv beübt und erst danach aktiv.

Komplikationen und Prognose

Der weitere Verlauf hängt vom Ausmaß des etwaigen Knorpelschadens und der Qualität der Rekonstruktion ab. In der Literatur wird über gute Ergebnisse in 75% der Fälle berichtet (Geel 2000). Bei der operativen Versorgung sind eine Reihe neurovaskulärer Strukturen gefährdet (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

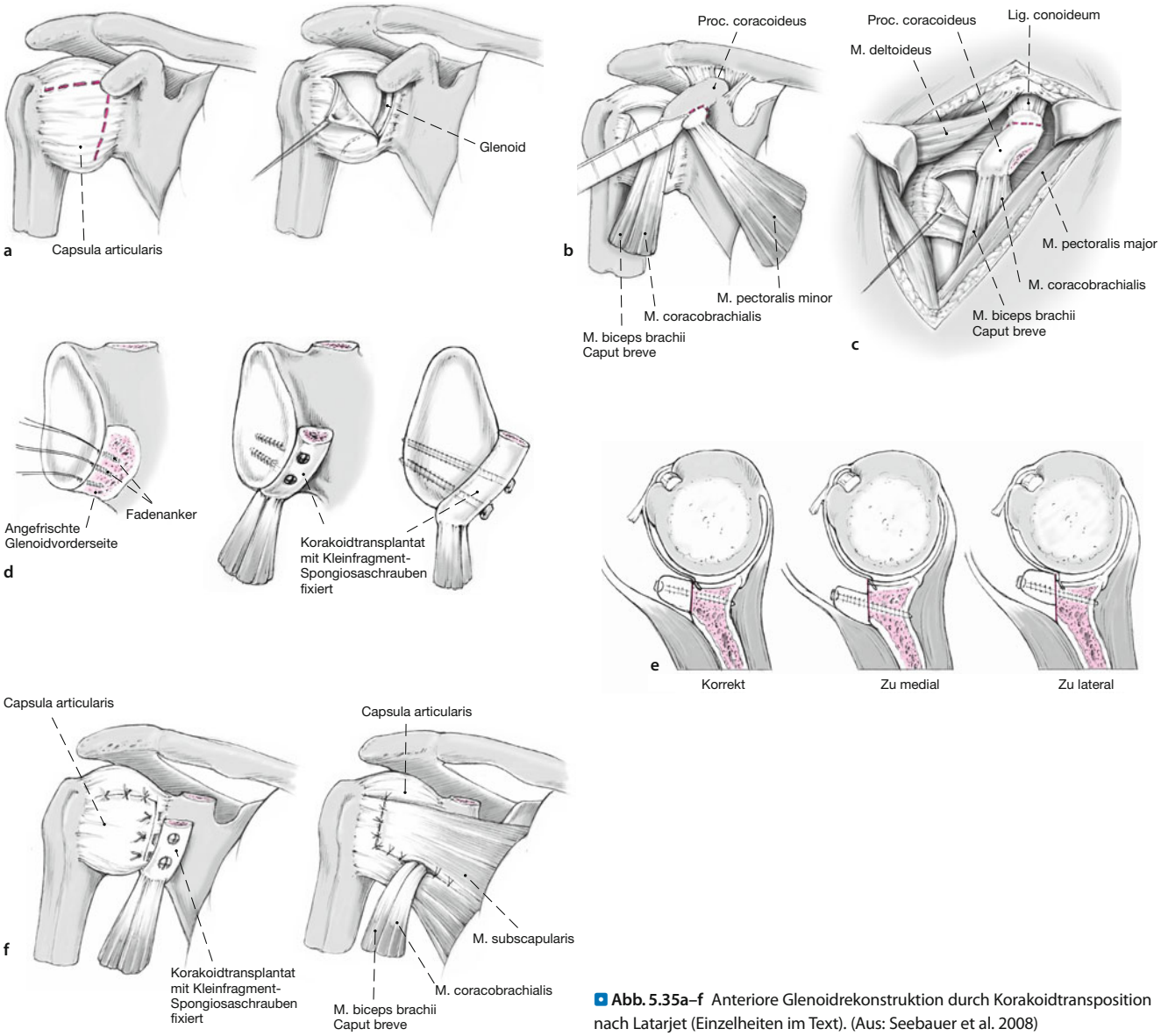


Abb. 5.35a–f Anteriore Glenoidrekonstruktion durch Korakoidtransposition nach Latarjet (Einzelheiten im Text). (Aus: Seebauer et al. 2008)

5.3.2 Nervenkompressionssyndrom: Incisura-scapulae-Syndrom

Auch bei unverschobenen Skapulahalsfrakturen kann eine Nervenkompression des N. suprascapularis eintreten, die nur elektromyografisch nachweisbar ist, weil die Schmerzcharakteristik keine Differenzierung zulässt. Die Patienten klagen über spontane Schmerzen in der Schulter sowie am Oberrand des Schulterblatts. Diese Schmerzsymptomatik kann auch ohne Trauma auftreten. Die Schmerzen können in den Oberarm, den Nacken oder die vordere Brustwand ausstrahlen. Die Abduktion durch den M. supraspinatus und die Außenrotation durch den M. infraspinatus sind im Seitenvergleich abgeschwächt. Bei der Horizontaladduktion des Arms wird der N. suprascapularis gedehnt. Dadurch kann eine Schmerzverstärkung ausgelöst werden. Die Region kranial der Incisura scapulae ist druckschmerzhaft. Der Lokalanästhesietest ist positiv.

All diese Zeichen sind bei einer begleitenden Skapulafraktur nicht oder nur bedingt prüf- und verwertbar, weshalb dann nur das Elektromyogramm weiterhilft. Es zeigt häufig, aber nicht immer, eine periphere, neurogene Läsion.

Im Verlauf von wenigen Wochen können Atrophien der Mm. supra- und infraspinatus auftreten. Die motorischen Defizite bilden sich meist nicht zurück.

Ursache dieser sehr seltenen Erkrankung ist eine Kompression des Nervs in der Enge der Incisura scapulae, durch die der N. suprascapularis zieht. Gelegentlich wird der Nerv durch ein Ganglion in diesem Bereich eingeengt. Die erhöhte Inzidenz der Erkrankung bei Patienten mittleren Lebensalters spricht für eine indirekte Traumatisierung des Nervs durch einseitige Belastungen als auslösendes Moment. Aber auch direkte Traumen mit Frakturen, die über Fragmentdislokation oder Einblutung zur Nervenkompression im Bereich der Engstelle führen, können die Ursache sein.

Bei Ausfallserscheinungen des Nervs sollte auf jeden Fall ein Elektromyogramm zur Diagnosesicherung durchgeführt und in Abhängigkeit davon die operative Dekompression diskutiert werden.

5.4 Kapsel-Band-Läsionen

5.4.1 Rotatorenmanschettenruptur

Ätiologie

Nach Milgrom et al. (1995) finden sich unterteilt nach Altersdekaden folgende Häufigkeiten von Totalrupturen der Rotatorenmanschette. Nur bis zu 5% der unter 50-Jährigen weisen Rupturen auf. Dagegen haben jeder zweite über 70-Jährige und sogar 80% der über 80-Jährigen eine komplette Ruptur der Rotatorenmanschette. Im Durchschnitt sind Patienten bei operativer Versorgung einer Rotatorenmanschettenruptur etwa 56 Jahre alt (Jäger et al. 1999). In etwa 50% der Fälle liegen degenerative Vorschäden der Supra- und Infraspinatussehne zugrunde. Dagegen entstehen laut Gerber u. Favron (1996) etwa 70% der Subskapularisläsionen durch adäquate Traumen. In 40–70% der Fälle führen Schulterluxationen zu Rupturen der Rotatorenmanschette (McLaughlin 1994).

Ursachen der vorzeitigen Alterung des Sehnengewebes sind mechanische Irritationen (outlet impingement) oder Veränderungen in der Supraspinatussehne selbst infolge der prekären Durchblutungssituation im Bereich des Ansatzareals (internes Impingement).

Traumatisch bedingte Rupturen entstehen in der Regel durch einen Sturz auf den ausgestreckten Arm. Beim Abfangen des Körpergewichts schlägt dann der Oberarmkopf gegen das Schulterdach. Die Rotatorenmanschette wird dabei gequetscht und kann, wenn sie entsprechend degenerativ vorgeschädigt ist, bei dieser Gelegenheit reißen. Bei erheblichen Vorschäden reichen unter Umständen aber schon Bagatelltraumen aus, z.B. das Auffangen eines schweren Gegenstandes.

Klinik

Bei der frischen Ruptur der Rotatorenmanschette verspürt der Patient während des Traumas einen heftigen initialen Schmerz. Der Schmerz kann von einem Reißgeräusch begleitet sein; dies beschreiben jedoch nur wenige Patienten. Die aktive Abduktion und die Fähigkeit, den Arm nach außen zu rotieren, können bei Ruptur der Supra- bzw. Infraspinatussehne deutlich eingeschränkt oder sogar aufgehoben sein. In letzterem Fall spricht man von Pseudoparalyse.

Bei der inkompletten Ruptur der Rotatorenmanschette klagen die Patienten über einen bewegungsabhängigen chronischen Schulterschmerz. Auch nächtliche Schulterschmerzen sind häufig. Die Abduktion gegen Widerstand ist schmerzhaft. Zwischen 60 und 120° Armabduktion besteht ein so genannter schmerzhafter Bogen (painful arc). Eine passive oder aktive Bewegungseinschränkung ist nicht obligat.

Diagnostik

Neben der Anamnese, Inspektion, Palpation und Beweglichkeitsprüfung nach der Neutral-Null-Methode stehen eine Reihe von Funktionstests für die Diagnostik zur Verfügung (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Indirekte Hinweise auf eine Rotatorenmanschettenruptur erhält man radiologisch. Deshalb sollte die Schulter grundsätzlich in 2 Ebenen durchleuchtet werden, und zwar im a.p.-Strahlengang und in der Outlet-view-Projektion (▶ Abschnitt 5.1.3). In der a.p.-Aufnahme zeigt sich bei einer kompletten Ruptur ein Hochstand des Humeruskopfs durch Ausfall der Zentrierfunktion der Rotatorenmanschette im Glenohumeralgelenk, in der Regel aber erst nach einigen Wochen. Anhand der Outlet-view-Aufnahme werden Krümmung des Akromions und etwaige Osteophyten an dessen Spitze sichtbar, wobei Osteophyten am Vorderrand des Akromions am besten auf der a.p.-Aufnahme nach Rockwood zur Darstellung kommen (▶ Abschnitt 5.1.3). Der Zentralstrahl wird dabei nicht horizontal auf das Glenohumeralgelenk, sondern 30° nach kaudal auf die Akromionspitze gerichtet.

Tab. 5.4 Die verschiedenen Stadien der fettigen Degeneration der Muskulatur der Rotatorenmanschette

Stadium	Charakteristika
Stadium 1	Einzelne fettige Einlagerungen
Stadium 2	Deutliche Verfettung, mehr Muskel als Fett vorhanden
Stadium 3	Fett und Muskel sind gleich verteilt
Stadium 4	Mehr Fett als Muskel nachweisbar

Die direkte Visualisierung hingegen ist nur mittels Ultraschall oder MRT möglich. Die sonografische Diagnostik ist allerdings nur in der Hand des Geübten aussagekräftig, was ihre Verfügbarkeit einschränkt (zur Technik und Interpretation: ▶ Kap. 21, Sonografie der Stütz- und Bewegungsorgane). Weil die Ultraschalluntersuchung eine untersucherabhängige Rate falsch-positiver bzw. -negativer Befunde mit sich bringt, setzt sich als Diagnostikum der Wahl mehr und mehr die MRT durch. Sie ermöglicht eine exakte Darstellung der Rotatorenmanschette und Interpretation des Untersuchungsbefundes.

Die MRT hat sich auch deshalb durchgesetzt, weil Atrophie und fettige Degeneration entscheidende prognostische Faktoren der Rotatorenmanschettenrekonstruktion sind. Die MRT gibt Auskunft über das Ausmaß der Sehnenretraktion und den Grad der bereits eingetretenen Verfettung bzw. Atrophie der Rotatorenmanschette. In Anlehnung an die computertomografische Einteilung nach Goutallier (Goutallier et al. 1994) unterscheidet man verschiedene Stadien einer fettigen Degeneration (Tab. 5.4).

Das Ausmaß der Atrophie des M. supraspinatus in der Fossa supraspinata kann durch das Verhältnis der Flächendeckung im Querschnitt der Fossa supraspinata und dem darin befindlichen Muskel in 3 Schweregrade eingeteilt werden (Thomazeau et al. 1996, Abb. 5.36):

- Grad I: >0,6
- Grad II >0,4
- Grad III: <0,4

Das Tangentenzeichen benutzt als Richtwert die Tangente auf Höhe der Basis des Processus coracoideus, wobei die normale Kontur des Muskelbauchs kranial der eingezeichneten Tangente liegen sollte (Zanetti et al. 1998, Abb. 5.37). Außerdem können Ursachen, die Wegbereiter vorzeitiger Sehnenalterung waren, wie ein akromialer Sporn oder eine Arthrose des Schultereckgelenks, miterfasst werden. Bei Instabilitäten mit Labrumablösungen sollte die Technik durch zusätzliche Kontrastmittelgabe ergänzt werden.

Die diagnostische Arthroskopie ist indiziert bei Beschwerden der Schulter, die trotz Ausschöpfung aller nichtinvasiven diagnostischen Maßnahmen nicht abgeklärt werden konnten, was heute nur noch sehr selten der Fall ist.

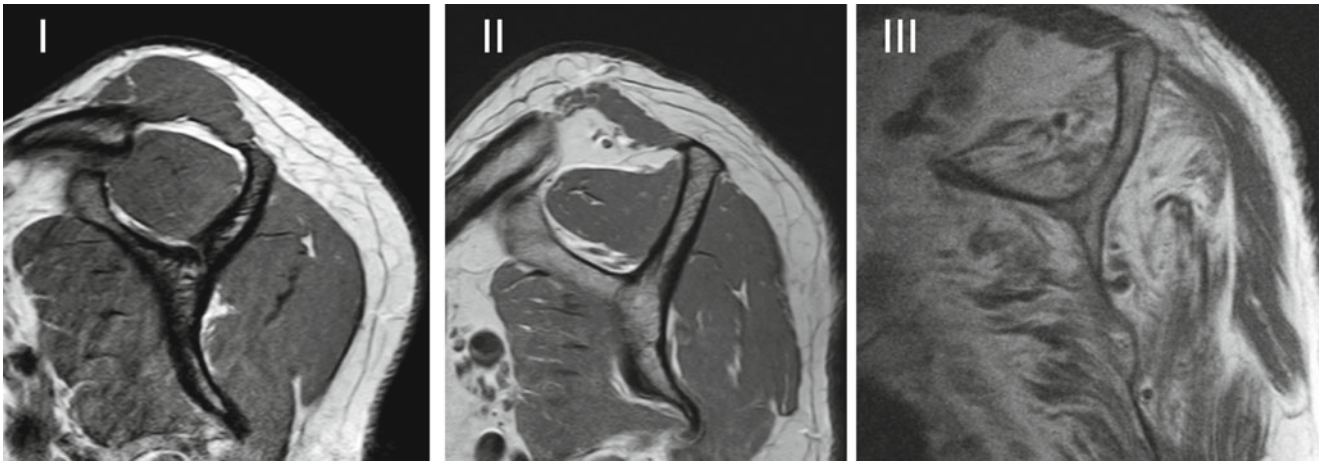


Abb. 5.36 Muskelatrophie, MRT. Grad I: Normaler oder minimal atropher Muskel, Verhältnis Muskel/Fossa supraspinata zwischen 1,00 und 0,60. Grad II: Leichte Atrophie, Verhältnis Muskel/Fossa supraspinata 0,60–0,40. Grad III: Schwere Atrophie, Verhältnis Muskel/Fossa supraspinata <0,40

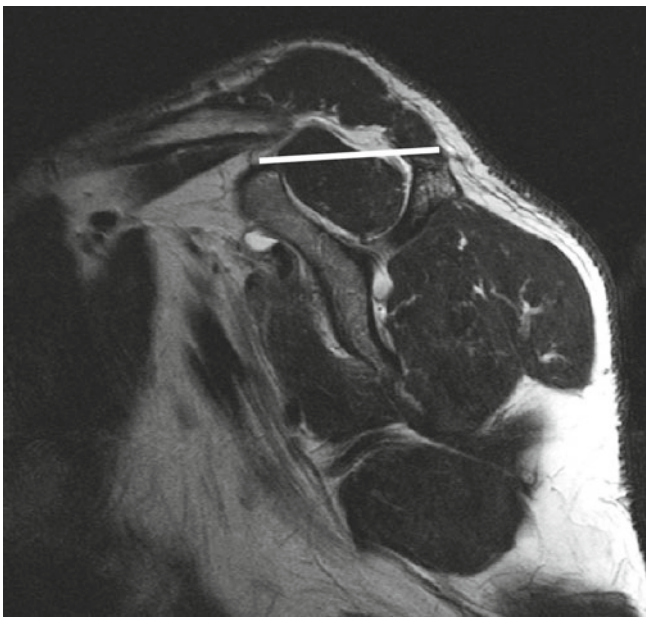


Abb. 5.37 Tangentenzeichen nach Zanetti. Der Muskelbauch des Supraspinatus überragt die Tangente

Tab. 5.5 Die Klassifikation nach Snyder et al. (1991) kennzeichnet anhand von Buchstaben Art und Lokalisation und anhand von Ziffern die Größe einer Ruptur

A	Partialruptur an der Gelenkseite
B	Partialruptur an der Bursaseite
C	Komplette Ruptur von der Gelenk- bis zur Bursaseite
0	Normale Manschette, keine Synovialitis oder Bursitis
I	Leichte Auffaserung an der Gelenkseite (A I) oder Bursaseite (B I), komplett (C I); <1 cm
II	Stärkere Auffaserung <2 cm (A II, B II, C II)
III	Tiefe Ruptur <3 cm (A III, B III, C III)
IV	Tiefe Ruptur >3 cm (A IV, B IV, C IV)

Klassifikation

Es gibt verschiedene Klassifikationen zur Einteilung der Größe und des Rupturverlaufs von Rotatorenmanschettenrupturen, z.B. nach Bateman (1963), Ellman et al. (1986) oder Rowe (1988). Die Klassifikation von Snyder et al. (1991) orientiert sich am arthroskopischen Befund. Dieses Klassifikationssystem kennzeichnet anhand von Buchstaben Art und Lokalisation, anhand von Ziffern die Größe einer Ruptur (Tab. 5.5).

Konservative Therapie

Die hohe Prävalenz von Rotatorenmanschettenrupturen bei älteren Patienten unterstreicht die Bedeutung der konservativen Therapie (vgl. unten dazu auch die Indikationen zur operativen Therapie).

Indikationen

Rotatorenmanschettenläsionen werden konservativ behandelt bei:

- hohem Alter,
- Inaktivität,
- schleichendem Beginn,
- fehlender Compliance,
- begleitender passiver Bewegungseinschränkung (z.B. adhäsive Kapsulitis).

Vorgehen

Der Patient sollte anfänglich analgetisch und antiphlogistisch behandelt werden; ggf. ist eine kurzfristige Ruhigstellung durch einen Immobilizer angezeigt. Zusätzlich sollte eine physikalische Therapie mit Muskelaufbautraining verordnet werden zur Kräftigung der Muskeln, die den Oberarmkopf nach kaudal ziehen; das sind im Einzelnen die Mm. pectoralis major, teres minor und biceps.

Operative Therapie

Indikationen

Die Kriterien für die Indikationsstellung einer Operation sind in Tab. 5.6 aufgeführt.

Tab. 5.6 Bei der Indikationsstellung zur operativen Therapie spielen allgemeine und spezielle Kriterien eine Rolle

Allgemeine Kriterien	Spezielle Kriterien
Schmerzausmaß	Therapieresistenz
Kraft- und Funktionsverlust	Größe der Rotatorenmanschettenläsion
Funktionsanspruch und Motivation des Patienten	Alter des Patienten

Je jünger ein Patient mit einer Rotatorenmanschettenläsion ist und je größer der Funktionsverlust, umso höher ist die Dringlichkeit zur operativen Therapie. Die Schulter sollte vor einer geplanten operativen Intervention passiv frei beweglich sein, denn bei eingeschränktem Bewegungsausmaß ist das Risiko einer postoperativen Zunahme der Bewegungseinschränkungen sehr hoch.

Vorgehensweise

Das Standardverfahren zur operativen Versorgung von Rotatorenmanschettenrupturen stellt heute der so genannte mini open repair dar. Dieses Vorgehen beinhaltet eine arthroskopisch oder offen durchgeführte subakromiale Dekompression mit einer offenen Rekonstruktion der Rotatorenmanschette, wobei der Deltamuskel am Akromion nicht abgelöst, sondern nur in Faserrichtung gespalten wird.

Arthroskopische subakromiale Dekompression. Dieses Verfahren erfolgt in Vollnarkose oder im Skalenusblock. Der Patient wird in Strandstuhlposition gelagert. Zwar wäre die arthroskopische subakromiale Dekompression auch in Seitenlage durchführbar, aber in Strandstuhlposition ist die sich anschließende offene Rekonstruktion der Rotatorenmanschette einfacher durchzuführen. Operationstische, bei denen ein Rückensegment im Bereich der zu operierenden Schulter entfernt werden kann, eignen sich wegen des unbehinderten dorsalen Zugangs für das Arthroskop besonders gut. Der Arm wird frei beweglich auf einem Armhalter gelagert. Die Landmarken werden mit einem sterilen Stift eingezeichnet. Es handelt sich dabei um folgende Strukturen: Akromion, laterales Klavikulaende, Akromioklavikulargelenk, Processus coracoideus, Ligamentum coracoacromiale (Abb. 5.38).

Neben dem Standardinstrumentarium für die Schulterarthroskopie und Bursoskopie in Form einer 4 mm-30°-Weitwinkeloptik mit High-flow-Trokarschaft, Kamera und Arthroskopiepumpe benötigt man für die arthroskopische subakromiale Dekompression ein Motorsystem mit einem »full radius resector« und einer walzenförmigen Fräse, dem so genannten Acromionizer. Zur Ligamentresektion und Bursektomie stehen heute elektrothermische Resektionsgeräte zur Verfügung mit dem Vorteil der geringeren intraoperativen Blutung. Wenn für die Durchtrennung des Ligamentum coracoacromiale ein Elektromesser eingesetzt wird, muss als Spülflüssigkeit eine nichtionische Lösung verwendet werden.

Zunächst erfolgt zum Ausschluss einer etwaigen Begleitpathologie routinemäßig eine Arthroskopie des Glenohumeralgelenks. Das Arthroskop wird über den posterioren Standardzugang ins Gelenk eingeführt. Dieser Zugang liegt 2 cm medial und 2 cm kaudal des Angulus acromialis scapulae. Vom anterioren Standardzugang aus, der sich knapp lateral der Spitze des Processus coracoideus befindet, wird ein Tasthaken eingeführt.

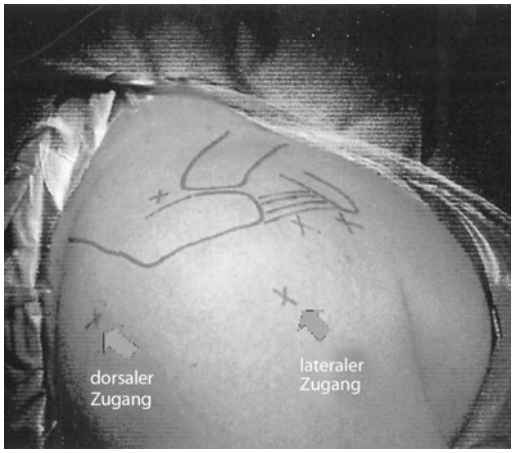


Abb. 5.38 Landmarken der Schulterarthroskopie

Nach der Arthroskopie des Glenohumeralgelenks wird die Optik durch einen stumpfen Trokar ersetzt, der Schaft nach dorsal durch die Rotatorenmanschette zurückgezogen und anschließend unmittelbar unter dem Akromion in die Bursa subacromialis platziert. Bei ungenügender Übersicht muss die Bursa mit dem Shaver oder dem elektrothermischen Resektor partiell reseziert werden. Unter endoskopischer Sicht erfolgt die Markierung der ventralen Begrenzung des Akromioklavikulargelenks und des lateralen Randes des Ligamentum coracoacromiale am Akromionvorderrand mit Kanülen. Mit Hilfe einer weiteren Kanüle wird der richtige Eintrittspunkt für den lateralen Arbeitszugang bestimmt. Er liegt etwa 4–5 cm lateral des vorderen Akromionendes. Über diesen Zugang wird eine Universalarbeitskanüle in den Subakromialraum eingeführt. Anschließend wird der in die Unterfläche des Akromions einstrahlende Anteil des Ligamentum coracoacromiale reseziert. Eine vollständige Ablösung des Ligaments an der Vorderkante des Akromions ist nicht notwendig.

Mit Hilfe des vom lateralen Zugang eingeführten 4,0 mm Acromionizers werden zunächst 2 Hilfslinien, die die Orientierung erleichtern sollen, in die Unterfläche des Akromions gefräst. Eine Linie zieht von der Verlängerung der dorsalen Begrenzung des Akromioklavikulargelenks nach lateral, die zweite rechtwinkelig dazu an der lateralen Akromionunterfläche nach ventral (Abb. 5.39). Entsprechend der Dicke des Akromions, die anhand der präoperativ angefertigten Supraspinatustunnelaufnahme abgeschätzt wird, erfolgt dann die Resektion des ventrokaudalen Akromions mit dem Acromionizer. Dazu wird das Arthroskop mit Hilfe von Wechselstäben in die laterale Porta und der Acromionizer in die dorsale eingebracht (Abb. 5.40). Das dorsale Akromion wird als Schneideblock für den Schaft des Acromionizers verwendet (Abb. 5.41). Dieser liegt genau parallel zur Unterfläche des Akromions (Präzisionsakromioplastik; Sampson et al. 1991). Die Unterfläche des ventralen Akromions wird so reseziert, dass eine flache Unterfläche entsteht (Typ-I-Akromion in Abb. 5.35a). Zum Abschluss kann über die Universalkanüle eine Redon-Drainage in den Subakromialraum eingelegt werden. Die Hautinzisionen werden durch einzelne Nähte verschlossen. Zur Analgesie werden 10 ml einer 2%igen Ropivacainlösung eingebracht sowie eine Kühlmanschette und ein Immobilizer angelegt. An Stelle der Gabe der Ropivacainlösung in den Subakromialraum kann auch eine Blockade des N. suprascapularis durchgeführt werden.

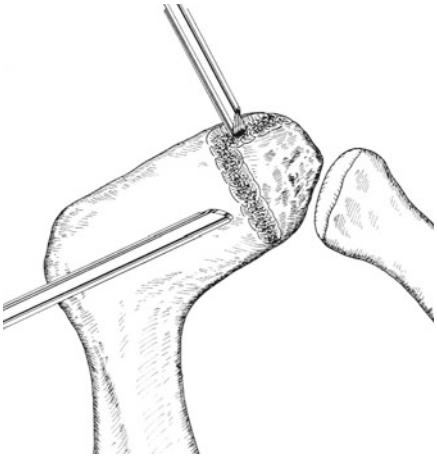


Abb. 5.39 Präzisionsakromioplastik: Fräsen der knöchernen Rinnen in die Akromionunterfläche

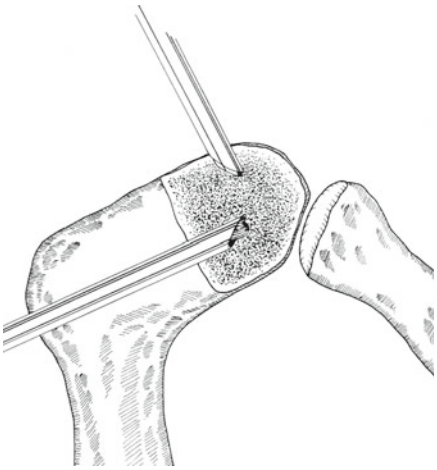


Abb. 5.40 Präzisionsakromioplastik: Resektion der ventralen Akromionunterfläche von dorsal

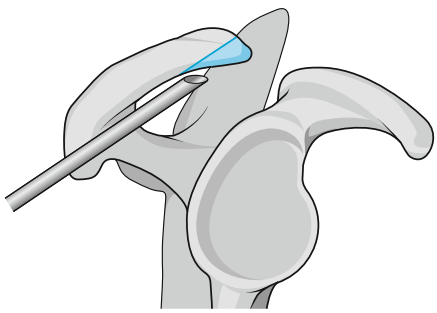


Abb. 5.41 Präzisionsakromioplastik: Benutzung der Akromionunterfläche als »Schneideblock«

Refixation der Rotatorenmanschette über »mini-open«-Zugang. Die Refixation der Rotatorenmanschette kann in der Regel über einen Deltoideussplitzugang erfolgen. Hierbei spaltet man über einen etwa 5–6 cm langen Hautschnitt, der lateral des Akromions angelegt wird, den M. deltoideus zwischen der Pars sternalis und acromialis in Faserrichtung. Zur Schonung des N. axillaris wird 5 cm lateral des Akromions eine Sicherungsnaht im Deltamuskel angebracht. Nach Längsspaltung der Bursa wird die Rotatorenmanschettenruptur dargestellt. Durch Rotation des Arms können auch die weiter dorsal oder ventral gelegenen Anteile der Rotatorenmanschette eingesehen werden. Durch Einsatz eines Osteotomiespreizers zwischen Akromion und Humeruskopf lässt sich die Sicht auf die Rotatorenmanschette deutlich verbessern. Der freie Rand der rupturierten Rotatorenmanschette wird mit Haltefäden armiert. Nach Anfrischen des Ansatzareals der Rotatorenmanschette erfolgt die Refixation mit Hilfe transossärer Nähte oder mit Hilfe von Nahtankern. Es wird keine eigentliche Knochenrinne geschaffen, in die man die Rotatorenmanschette hineinzieht. Die Sehne wird an den angefrischten Knochen nur angelegt und durch transossäre Nähte fixiert. Statt der transossären Nähte können auch Nahtanker verwendet werden; dabei kann die chirurgische Exposition etwas kleiner gehalten werden.

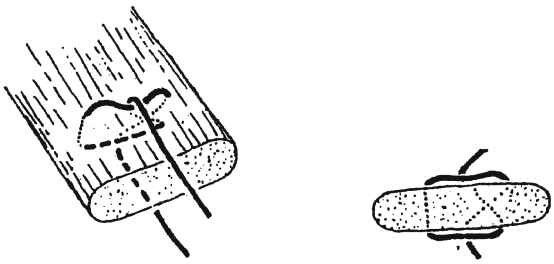


Abb. 5.42 Modifizierte Mason-Allen-Technik. Die Sehne wird in Faserrichtung von kaudal schräg nach kranial durchstochen. Der Rückstich erfolgt quer zum Faserverlauf etwa 6–7 mm entfernt von kranial nach kaudal. Danach wird der Faden nach querem Verlauf von etwa 6–7 mm erneut von kaudal nach kranial geführt, wobei der Austrittspunkt des Fadens zentral des ersten queren Schenkels an der Oberfläche zu liegen kommt

Bei der Präparation des Ansatzareals der Rotatorenmanschette wird degeneriertes Sehnengewebe exzidiert und die Kortikalis des Tuberculum majus so weit anfrischt, dass man vereinzelte kapilläre Blutungen aus dem Knochengewebe erkennen kann.

Die Rotatorenmanschette wird mit Einzel-, Matratzen- oder Mason-Allen-Nähten armiert, die dann transossär über Bohrlöcher an der Tuberculum-majus-Spitze geführt oder mit Nahtankern am Knochen fixiert werden. Bei Retraktion der Sehnen müssen diese zunächst mobilisiert werden. Dazu werden Verwachsungen und Verklebungen im Subakromialraum offen oder arthroskopisch durchtrennt, wobei häufig das kontrakte Ligamentum coracohumerale durchtrennt werden muss. Bei starker Retraktion der Rotatorenmanschette muss eine juxtaglenoidale Mobilisation erfolgen. Dazu werden die Kapsel und die Rotatorenmanschette vom Gelenk aus zirkulär vom Glenoid abgelöst. Wenn der Ansatz der langen Bizepssehne erhalten werden soll, geschieht dies kranial des Ursprungs der langen Bizepssehne am Tuberculum supraglenoidale.

Da die posterosuperiore Rotatorenmanschette in der Regel besser mobilisiert werden kann, empfiehlt es sich, mit der Rekonstruktion dorsal zu beginnen. Durch Veränderung der Rotation des Humeruskopfs lassen sich auch große Läsionen durch den »mini-open«-Zugang versorgen. Die Nähte sollten nicht in Abduktion des Oberarms geknüpft werden. Lässt sich der Defekt in der Rotatorenmanschette nur in Abduktion decken, ist ein Versagen der Rekonstruktion vorprogrammiert. Es ist auch in der offenen

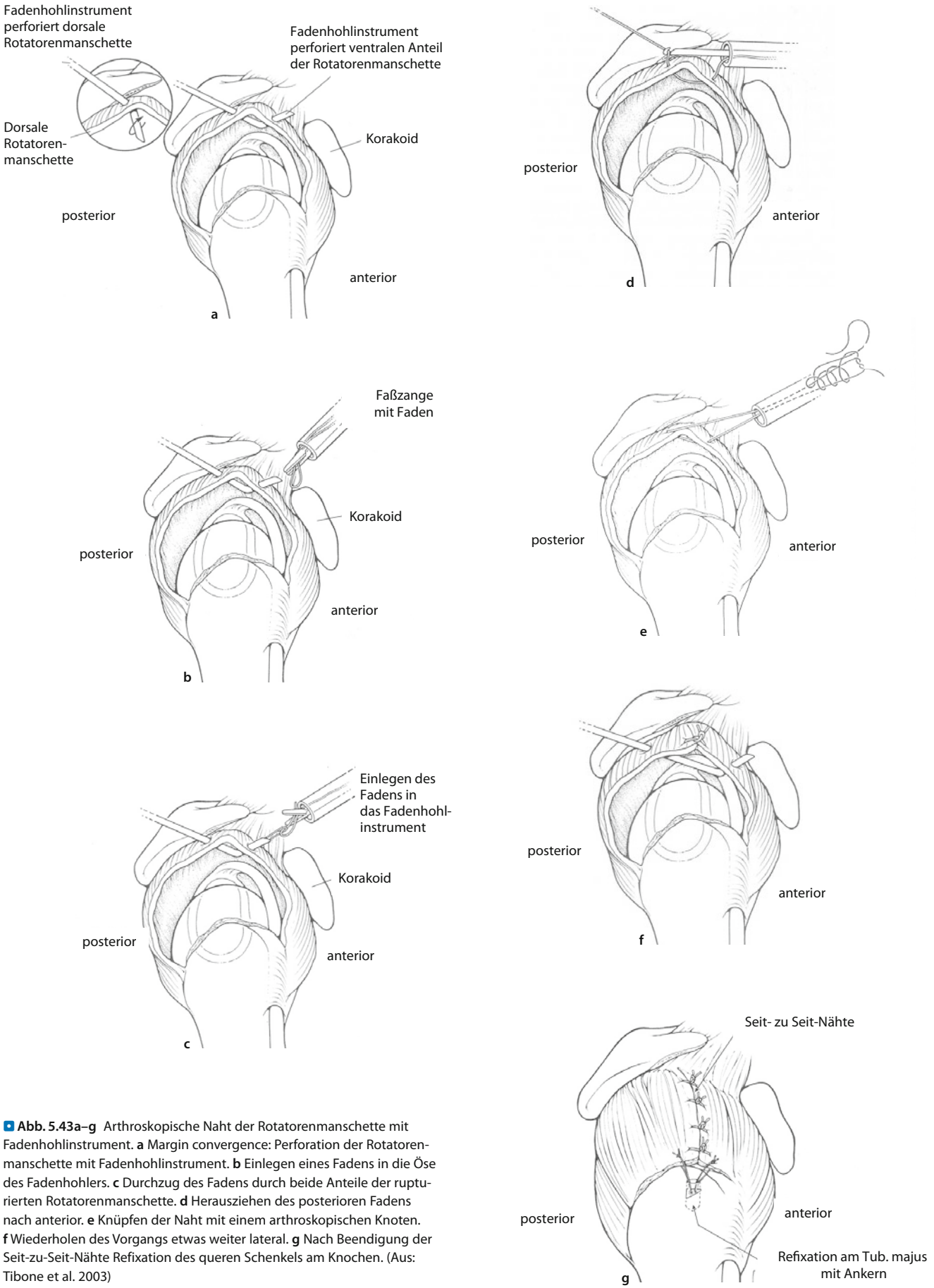


Abb. 5.43a–g Arthroskopische Naht der Rotatorenmanschette mit Fadenhohlinstrument. **a** Margin convergence: Perforation der Rotatoren-manschette mit Fadenhohlinstrument. **b** Einlegen eines Fadens in die Öse des Fadenhohlers. **c** Durchzug des Fadens durch beide Anteile der ruptu-rierten Rotatorenmanschette. **d** Herausziehen des posterioren Fadens nach anterior. **e** Knüpfen der Naht mit einem arthroskopischen Knoten. **f** Wiederholen des Vorgangs etwas weiter lateral. **g** Nach Beendigung der Seit-zu-Seit-Nähte Refixation des queren Schenkels am Knochen. (Aus: Tibone et al. 2003)

Technik möglich, eine Zweireihen-Rekonstruktion durchzuführen. Dabei werden häufig Nahtanker verwendet (s. unten, vollständige arthroskopische Rekonstruktion).

Nach visueller und digitaler Überprüfung der suffizienten arthroskopischen subakromialen Dekompression werden die Bursareste über der Rotatorenmanschette wieder vernäht. Der M. deltoideus wird ebenfalls sorgfältig durch Naht verschlossen.

Bei der Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenruptur sollte eine Probe des Sehnengewebes zur histologischen Untersuchung geschickt werden, weil häufig in Zusammenhang mit diesen Verletzungen postoperativ gutachterliche Fragestellungen zu beantworten sind.

Vollständige arthroskopische Rekonstruktion. Diese Form der Refixation von Rotatorenmanschettenrupturen verbreitet sich immer mehr. Dazu werden in der Regel Nahtanker verwendet. Bei großen Rupturen kommt das Prinzip der Verkleinerung des Defekts (margin convergence, Burkhart), durch Seit-zu-Seit-Nähte zur Anwendung. Nach Aneinandernähen der freien Sehnenrändern bei meist U-förmigen Rupturen erfolgt dann die Refixation am Knochen mit Nahtankern. Da das Ansatzareal der Supraspinatussehne nicht punktförmig, sondern flächig (ca. 12–20 mm) ausgebildet ist, wird heute einer Doppelreihenrekonstruktion der Rotatorenmanschette der Vorzug gegeben. Dazu wird die Sehne lateral der Knorpelgrenze des Humeruskopfs mit einer Reihe Nahtankern oder -schrauben fixiert. Lateral hiervon erfolgt eine zusätzliche Fixation am Knochen in der Regel mit knotenfreien Ankern (Abb. 5.43, Abb. 5.44).

Nachbehandlung

Die operierte Schulter wird mit einem Immobilizer ruhiggestellt. In den ersten Tagen erfolgt eine Kryotherapie und Schmerztherapie. Bei ausgeprägten Beschwerden nach offener Rekonstruktion kann zusätzlich eine kontinuierliche Katheteranästhesie erfolgen. Nach Entfernung der Redon-Drainage(n) muss die Schulter täglich passiv mobilisiert werden, wozu auch ein motorisierter Schulterstuhl in Form einer »continuous passive motion« (CPM) verwendet werden kann. Nach 4–6 Wochen (den exakten Zeitraum legt der Operateur in Abhängigkeit vom intraoperativen Befund fest) beginnen passiv unterstützte aktive Übungen. Bewegungsübungen gegen Widerstand sind frühestens nach 10–12 Wochen erlaubt.

Komplikationen und Prognose

Der Patient muss über verschiedene Risiken aufgeklärt werden. Wenn bei arthroskopischem Vorgehen der R. acromialis der A. thoracoacromialis verletzt wird, kann es im Subakromialraum so stark bluten, dass der arthroskopische Eingriff infolge mangelnder Sicht schwierig ist. Durch den Einsatz elektrothermischer Resektoren, einer Erhöhung des Pumpendrucks oder Zusatz von Adrenalin in die Spülflüssigkeit kann dieses Problem meist behoben werden. Ansonsten muss auf ein offenes Verfahren umgestiegen werden. Zu den allgemeinen postoperativen Risiken zählen Infektion, Nachblutung und fibröse Steife.

Nach offenem Vorgehen können Narbenkeloide entstehen. Außerdem sollte der Patient darüber aufgeklärt sein, dass die Rehabilitationsphase nach einer Rekonstruktion der Rotatorenmanschette langwierig sein kann. Bleibende Bewegungseinschränkungen sind möglich. Ein weiteres Risiko ist das der Reruptur. Sie ist umso höher, je größer die Primärruptur war.

Die Erfolgsrate der operativen Versorgung von kleinen und mittleren Rupturen ist gut.

5.4.2 Impingement-Syndrom

Ätiologie

Neer führte im Jahr 1972 den Begriff des Impingement-Syndroms ein (to impinge = anstoßen). Er beschrieb damit eine relative Enge zwischen Oberarmkopf und Akromion. Vom subakromialen Impingement unterschied er das subkorakoidale zwischen Oberarmkopf und Korakoid. Neer definierte das Syndrom als eine schmerzhafte Funktionsstörung der Schulter, die durch das Anstoßen der Sehnen der Rotatorenmanschette am vorderen Drittel des Akromions und am Ligamentum coracoacromiale hervorgerufen wird (Abb. 5.45).

Man unterscheidet ein so genanntes Outlet-Impingement von einem internen Impingement. Beim Outlet-Impingement kommt es zu mechanischer Einengung der Rotatorenmanschette von außen (z.B. Akromionsporn, AC-Gelenksarthrose), beim internen Impingement liegen Veränderungen in der Sehne vor (z,B. ein Kalkdepot).

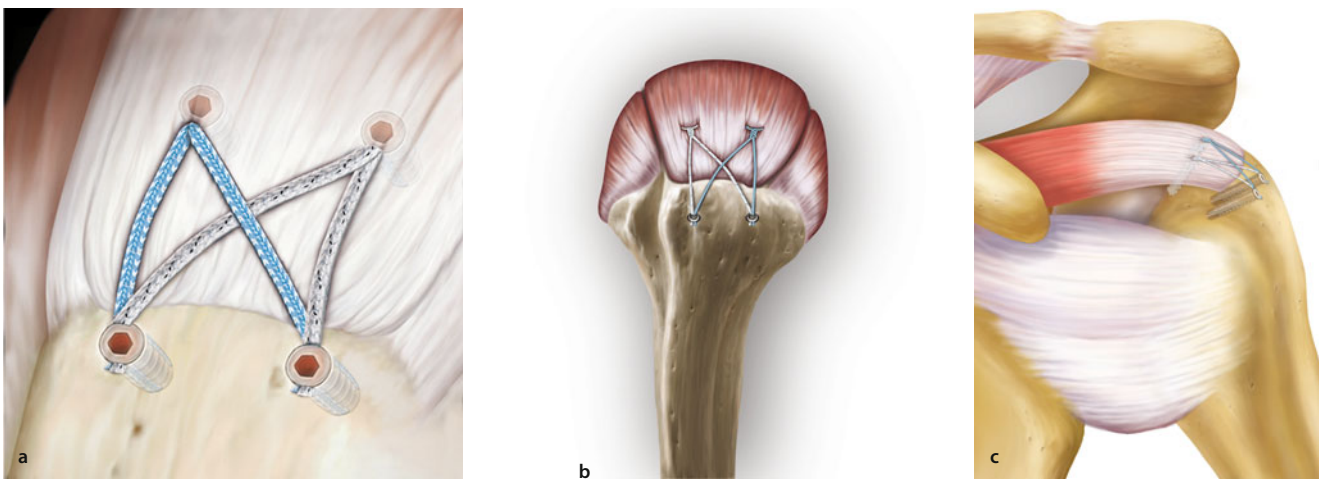


Abb. 5.44 Doppelreihenfixation. (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Arthrex)

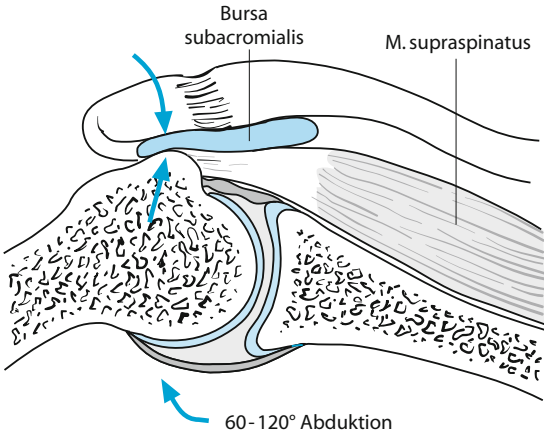


Abb. 5.45 Pathomechanik des subkromialen Impingement

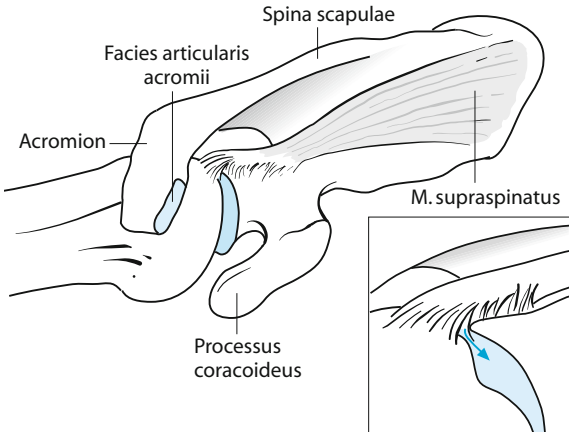


Abb. 5.46 Posterosuperiores Impingement (PSI)

Tab. 5.7 Impingement

Ursache	Pathomorphologie	Impingement-Tests Instabilitätstests	Therapie
Extrinsisch	Typ-III-Akromion, Osteophyten, Os acromiale Nach Tub. Majus-Fraktur, Osteosynthesematerial	+++ -	ASD, Osterophytenresektion
Intrinsisch	Verdickung der Rotatorenmanschette (RM) Partielle oder komplette Ruptur der RM Tendinosis calcarea	+++ -	ASD, RM-Rekonstruktion, Entleerung Kalkdepot
Instabilitäts-impingement	»Pseudoimpingement« durch Instabilität im Glenohumeralgelenk	++ ++	PSI: Debridement RM, Stabilisation anterior (Abb. 5.46) ASI: Debridement, Tenodese LBS

Zusätzlich kann beim internen Impingement noch das posterosuperiore Impingement (PSI; Jobe 1989, Walch 1992, Abb. 5.46) und das anterosuperiore Impingement (ASI; Gerber, Betesta 2000) unterschieden werden. Beim PSI kommt es insbesondere beim Werfer zu einem Konflikt zwischen dem kranialen Labrum und der Supraspinatussehne, beim ASI zwischen dem Pulley-System, der langen Bizepssehne und der Subskapularissehne in Adduktion-Innenrotation. Das so genannte Pulley-System stellt die mediale und laterale Weichteilbegrenzung des Eintritts der langen Bizepssehne in den Sulcus intertubercularis dar (Tab. 5.7)

Klinik

Die Patienten klagen über diffuse Schulterschmerzen, die v.a. bei Innenrotation und Elevation auftreten. Die Schmerzen in der Deltaregion treten im frühen Verlauf der Erkrankung erst nach einer Belastung auf. Bei fortgeschrittener Impingement-Symptomatik jedoch berichten die Patienten von Schmerzen, die bereits während der Belastung bestehen. Und letztlich stellen sich nächtliche Dauerschmerzen insbesondere beim Liegen auf der betroffenen Seite ein, die so stark sein können, dass die Patienten keinen Schlaf mehr finden.

Typisches Zeichen ist der schmerzhafte Bogen (painful arc) zwischen 60°- und 120°-Abduktion. Wenn man die Patienten auffordert, ihren Arm aktiv zu abduzieren, führen sie Trickbewegungen aus, um dem Schmerz auszuweichen. Dabei wird der Arm stark außenrotiert mehr eleviert als abduziert. Manche Patienten nehmen auch den gesunden Arm zu Hilfe.

Diagnostik

Die Impingement-Tests sind positiv (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Eine zusätzliche diagnostische Möglichkeit bietet der Lokalanästhesietest. Dazu instilliert man ein Lokalanästhetikum subakromial und kann im positiven Fall dadurch eine deutliche Linderung der Beschwerden oder sogar eine vorübergehende Beschwerdefreiheit erreichen. Die Beweglichkeit ist dann nicht mehr schmerzhaft eingeschränkt; nur bei begleitender Rotatorenmanschettenruptur bleibt trotz Anästhesie des subakromialen Raums ein Funktionsdefizit.

Röntgenaufnahmen in 3 Ebenen sind für die weitere Diagnostik wichtig. Eine wird im a.p.-Strahlengang und Nullrotation des Arms angefertigt, um den Abstand zwischen Humeruskopf und Akromion sowie die knöchernen Strukturen beurteilen zu können. Die zweite ist die Outlet-view-Aufnahme und die dritte eine axiale Aufnahme zum Ausschluss eines Os acromiale (▶ Abschnitt 5.1).

Die Ultraschalluntersuchung der Schulter ist mit das wichtigste diagnostische Verfahren. Hiermit können v.a. die Pathologien der Weichteilstrukturen häufig erkannt werden. Allerdings ist ein erfahrener Untersucher erforderlich (▶ Kap. 20, Ultraschalluntersuchungen).

Bei vorbestehenden Unklarheiten bleibt unter den nichtinvasiven Verfahren letztlich nur die MRT als bildgebendes Instrument zur Diagnosesicherung. Ihr besonderer Vorteil liegt im hohen Weichteilkontrast, der differenzierte Aussagen über die Pathologien des subakromialen Raums zulässt.

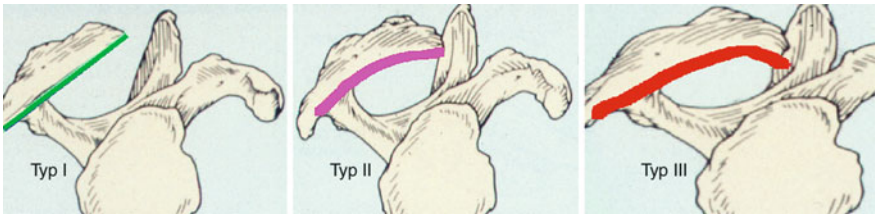


Abb. 5.47a–c Die verschiedenen Krümmungstypen des Akromions nach Bigliani

Klassifikation

Bigliani et al. (1982) unterscheiden 3 verschiedene Krümmungstypen des Akromions (Abb. 5.47):

- **Typ I:** Flaches Akromion
- **Typ II:** Leicht nach kaudal gebogenes Akromion
- **Typ III:** Stark nach unten gerichtete Akromionspitze

Typ-II- und Typ-III-Krümmungen wirken prädisponierend bei der Entstehung eines Impingement-Syndroms.

Nach Neer werden verschiedene Stadien des Impingement-Syndroms nach Klinik und pathologisch-anatomischen Veränderungen unterschieden (Neer 1983):

- **Stadium I:** Die Rotatorenmanschette ist ödematös geschwollen. Im Bereich der Supraspinatussehne finden sich häufig Einblutungen. Die Ursache sind meist Überkopftätigkeiten im Beruf oder beim Sport. Das Alter der betroffenen Patienten liegt durchschnittlich zwischen 25 und 40 Jahren. Die Prognose bei bloßer konservativer Therapie ist gut. Differenzialdiagnostisch ist an Schulterinstabilitäten und Pathologien des Akromioklavikulargelenks zu denken.
- **Stadium II:** Aus dem Stadium I kann durch Fibrosierung und Verdickung der Bursae subacromialis und subdeltoidea ein Stadium II werden. Auch dann ist lediglich eine konservative Behandlung indiziert. Sollte jedoch unter der Therapie nach mehreren Monaten keine Beschwerdelinderung erreicht werden, empfiehlt Neer (1983) die subakromiale Dekompression. Differenzialdiagnostisch kommt eine schmerzhafte Schultersteife oder eine Verkalkung der Rotatorenmanschette infrage.
- **Stadium III:** Die betroffenen Patienten sind in der Regel über 40 Jahre alt. Ein inkompletter (III a) oder kompletter Riss der Rotatorenmanschette (III b) hat sich auf dem Boden der Degeneration überwiegend im Bereich der Supraspinatussehne entwickelt. Zusätzlich entstehen knöcherne Degenerationen unter dem Schulterdach in Form von Osteophyten. Im Stadium III empfiehlt Neer die subakromiale Dekompression und, wenn möglich, eine Rekonstruktion der Rotatorenmanschette. Differenzialdiagnostisch sollten HWS-Syndrome und Neoplasien ausgeschlossen werden.

Konservative Therapie

Eine Impingement-Symptomatik wird im Stadium I und II konservativ behandelt. Subakromiale Infiltrationen mit Lokalanästhetika und/oder Kortikoiden sind sehr wirksam. Zusätzlich kann die Infiltrationstherapie durch nichtsteroidale Antiphlogistika unterstützt werden. Kurzfristige Kälte durch Eisapplikation und kalte Wickel sowie im späteren Verlauf der konservativen Therapie verwendete Warmpackungen führen zu einer Beschwerdelinderung. Ganz entscheidend für den Erfolg der konservativen Behandlung ist die ergänzende physikalische Therapie mit Massage, Querfriktionsbehandlungen und Dehnungsübungen. Die Kraft der oberarmkopfsenkenden Muskulatur sollte auftrainiert werden.

Operative Therapie

Die Indikation für die arthroskopische subakromiale Dekompression ist das therapieresistente Impingement-Syndrom im Stadium II. Das bedeutet, dass bereits eine 4–6 Monate lange konservative Therapie vorausgegangen ist. Die Technik der arthroskopischen subakromialen Dekompression ist im ▶ Abschnitt 5.4.1, Rotatorenmanschettenruptur, beschrieben.

Nachbehandlung

Nach Redon-Entfernung erfolgt sofort eine passive und aktiv unterstützte Krankengymnastik bis zur Erlangung einer freien Schulterbeweglichkeit. Nichtsteroidale Antiphlogistika sind in der Regel für 5–7 Tage notwendig. Für 4–6 Wochen sollten Überkopftätigkeiten oder große körperliche Belastungen vermieden werden.

Komplikationen und Prognose

Die häufigste Komplikation ist die ungenügende Akromioplastik. Insbesondere nichtresezierte Anteile des lateralen Akromions führen bei der Armabduktion sehr früh zu einer Engpasssituation. Sehr selten entstehen postoperativ ektope Ossifikationen.

Erfolgt eine subakromiale Dekompression bei einer ausgedehnten, nicht rekonstruierbaren Rotatorenmanschettenruptur, besteht die Gefahr der kranioventralen Subluxation des Humeruskopfs. Dieser Zustand muss auf alle Fälle vermieden werden. Dies gelingt am besten, wenn die subakromiale Dekompression arthroskopisch durchgeführt wird und Anteile des Ligamentum coracoacromiale, die zum Vorderrand des Akromions ziehen, erhalten bleiben. Besser ist in solchen Fällen eine so genannte inverse Akromioplastik mit Knochenresektion an der Tuberculum-majus-Spitze anstatt am Akromion.

Bei korrekter Indikationsstellung für den Eingriff ist die Prognose der arthroskopischen subakromialen Dekompression als gut anzusehen. Die Ergebnisse sind bei kompletter Rotatorenmanschettenruptur signifikant schlechter.

5.4.3 Tendinosis calcarea

Ätiologie

Bei der Tendinosis calcarea handelt es sich um eine reaktive Kalkablagerung in Form von Hydroxylapatit im Sehnenbereich der Rotatorenmanschette. In etwa 90% der Fälle findet man Kalkdepots in der Supra- oder Infraspinatussehne. Ätiopathologisch wird in diesem Zusammenhang eine Minderdurchblutung der betroffenen Stellen diskutiert. Meist sind die Patienten im mittleren Lebensalter. Frauen sind häufiger als Männer betroffen. Eine Tendinosis calcarea findet sich v.a. bei Patienten, die körperlich nicht schwer arbeiten müssen.

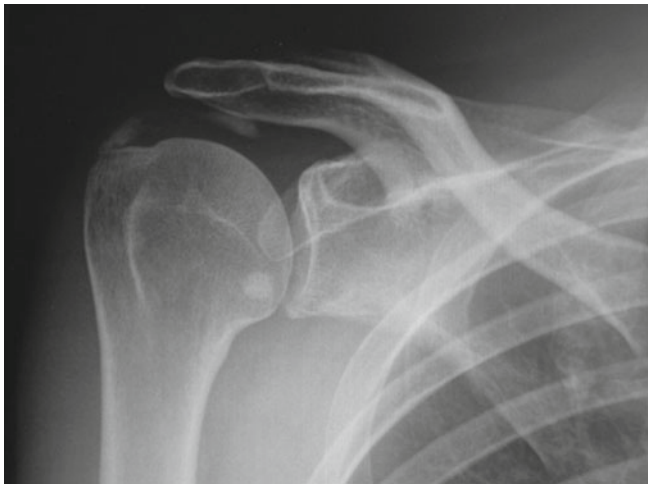
Klinik

Die Erkrankung verläuft in 4 Phasen. In der 1. Phase findet eine Zelltransformation statt, in der Sehnengewebe zu Faserknorpel

umgewandelt wird. Die Phase ist klinisch inapparent. Die Entdeckung des Kalkdepots ist oft ein Zufallsbefund beim Röntgen. In der 2. Phase der Kalzifikation finden sich Kristalle in der interzellulären Grundsubstanz. In der 3. Phase, der Resorptionsphase, kann das Kalkdepot in die Bursa subacromialis durchbrechen. Die 2. und 3. Phase kann auch als Akutphase bezeichnet werden. Der Patient klagt über sehr starke Dauerschmerzen im Bereich des Tuberculum majus. Die Schmerzen sind dabei oft bewegungsabhängig, die geringste Berührung kann für die Betroffenen als unangenehm empfunden werden. Oft findet sich eine Überwärmung bei evtl. verstrichenen Gelenkkonturen. In der sich anschließenden 4. Phase, der Reparation, erfolgt der fibröse Umbau zur normalen Sehnenstruktur, dabei klingen die Beschwerden wieder ab.

Diagnostik

Radiologisch und sonografisch lässt sich die Diagnose einer Tendinosis calcarea eindeutig verifizieren. Im Stadium der Kalkinfiltration erscheinen die Depots scharfrandig, homogen und dicht. Die Resorption zeigt sich in den Röntgenaufnahmen als unscharf begrenzte, wolkige oder transparente Erscheinung (◘ Abb. 5.48).



◘ **Abb. 5.48** Röntgenbild im a.p.-Strahlengang einer rechten Schulter einer 45-jährigen Frau mit akutem Schulterschmerz bei Tendinosis calcarea. Das deutlich sichtbare Kalkdepot liegt in der Supraspinatussehne

Konservative Therapie

Die Tendinosis calcarea besitzt eine hohe Selbstheilungstendenz. Rotatorenmanschettenläsionen kommen bei dieser Erkrankung normalerweise nicht vor. Daher sollte zunächst konservativ therapiert werden. In der akuten Phase helfen lokale Eisapplikationen und starke Analgetika sowie subakromiale Kortisonapplikationen. Zudem kann versucht werden, in der akuten Phase durch das so genannte Needling (s. unten) die Resorption des Kalkdepots zu fördern, was aber selten zum Erfolg führt.

Bei rezidivierender Beschwerdesymptomatik bzw. Entwicklung einer chronischen Bursitis kann zudem eine Stoßwellentherapie durchgeführt werden, deren günstiger Effekt in mehreren Studien nachgewiesen wurde (Loew et al. 1999, Rompe et al. 2001, Seil et al. 1999). Die 3-malige Stoßwellentherapie sollte zur Besserung führen.

Technik des Needling

Der Patient befindet sich in Strandstuhlposition, wobei der Oberkörper so gelagert wird, dass eine Bildwandlerkontrolle der Schulter in beiden Ebenen möglich ist. Mit dem Bildwandler erfolgt eine genaue Lagebestimmung des Hydroxylapatit-Depots. Der Oberarm wird so weit adduziert, dass das Depot nicht unter dem Schulterdach verborgen ist. Mit einem Markierungsstift wird die Lage des Depots auf der Haut angezeichnet. Es werden 10 ml eines Lokalanästhetikums in den Subakromialraum eingebracht. Eine dicklumige Kanüle (maximal 2 mm) wird nun unter Bildwandlerkontrolle bis zum Kalkdepot vorgeschoben. Die Rotatorenmanschette wird über dem Depot mehrfach perforiert und mit dem Lokalanästhetikum oder einer Kochsalzlösung angespült. Die Flüssigkeit wird mit einer Spritze wieder aspiriert. Durch Einbringen einer zweiten Punktionskanüle kann über eine der beiden Nadeln gespült, über die andere punktiert werden. Auf diese Weise lassen sich die Kristalle manchmal aus ihrem Depot herauslösen.

Operative Therapie

In Stadium I und IV besteht keine Indikation zur operativen Therapie. Da das Stadium III die Spontanheilung einleitet, muss hier zunächst eine konservative Behandlung angestrebt werden.

Wenn sich aber das Kalkdepot nicht verkleinert und die Beschwerden persistieren, kann die Indikation zur Ausräumung des Herdes gegeben sein. Der Kalkherd sollte größer als 1 cm und radiologisch scharf begrenzt sein. In der Regel lässt er sich auf arthroskopischem Weg öffnen und ausräumen. Liegt gleichzeitig ein Typ-III-Akromion vor, erfolgt eine subakromiale Dekompression (ASD).

Prognose

Die meisten Patienten können aufgrund der hohen Selbstheilungsrate der Erkrankung konservativ behandelt werden. Bei Beschwerdepersistenz bringt die Ausräumung des Kalkdepots ggf. kombiniert mit einer arthroskopischen Akromioplastik gute und sehr gute Ergebnisse.

5.4.4 Luxationen und Instabilitäten

Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Traumatische Luxationen des Glenohumeralgelenks entstehen hauptsächlich beim Sport (z.B. beim Ski fahren, Handball), durch Verkehrsunfälle oder bei körperlichen Auseinandersetzungen. Dabei sind etwa 95% nach ventral oder ventrokaudal gerichtet, der Rest nach dorsal. Einwirkende Hebelkräfte können zu einer übermäßigen Außenrotation und Abduktion des Arms führen und die Schulter luxieren. Aber auch der Sturz auf den nach hinten gestreckten Arm oder der heftige Schlag auf die Rückseite der Schulter sind typische Mechanismen für eine vordere Verrenkung. Die seltene hintere Schulterluxation entsteht dagegen durch direktes Trauma bei adduziertem und innenrotiertem Arm oder durch extremen Zug der Mm. latissimus dorsi und teres major im Rahmen von Stromunfällen oder Krampfanfällen. Die Luxatio erecta ist eine Sonderform der unteren Luxation bei direktem axialem Stauchungstrauma des über den Kopf gehobenen Arms.

Luxationen im Kindes- und Jugendalter sind selten. Erst im Erwachsenenalter finden sich 2 Häufigkeitsgipfel: einer zwischen dem 20. und 40., der andere zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr. Während bei den jüngeren Patienten meist Sportunfälle die Ursache und Männer betroffen sind, handelt es sich bei den älteren häufig um gestürzte Frauen.

Habituelle Instabilitäten müssen von den traumatischen abgegrenzt werden; in der Anamnese fehlt dann ein adäquates Trauma. Die Patienten weisen meistens überdehnbare Gelenkkapseln auf. Viele haben bereits mehrfache Luxationsereignisse hinter sich.

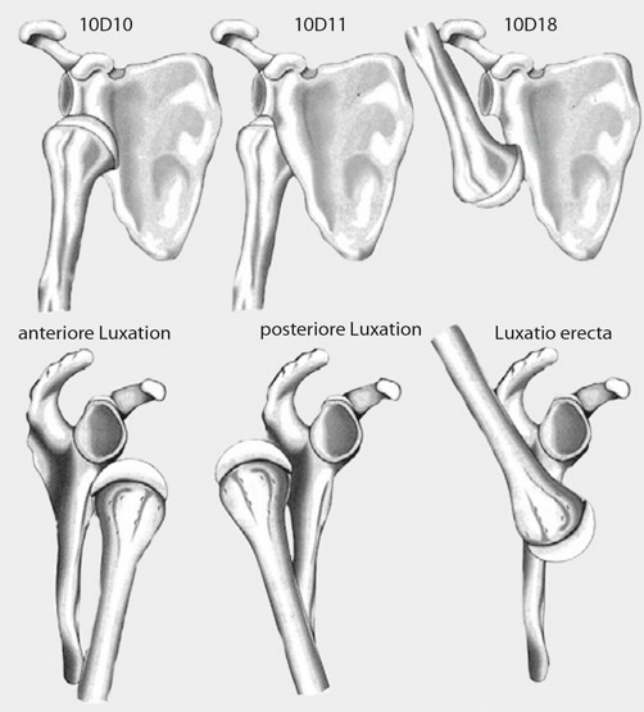


Abb. 5.49 Klassifikation der Schulterluxationen nach der Orthopaedic Trauma Association. (Aus: Jaeger et al. 2008)

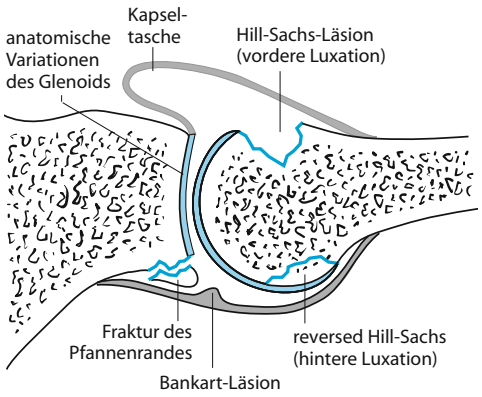


Abb. 5.50 Mögliche Begleitverletzungen bei Schulterluxationen

Auch die Gegenseite oder andere Gelenke können betroffen sein. Manche Patienten können ihr Schultergelenk sogar willkürlich luxieren. Spontanrepositionen kommen vor.

Klinik

Die vordere Verrenkung ist an der schmerzhaften federnden Fixierung des Arms in Abduktion, Anteversion und Außenrotation zu erkennen. Bei schlanken Patienten zeigt sich distal des hervorstehenden Akromions eine Eindellung, die der leeren Gelenkpfanne entspricht. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom so genannten »Epauletten-Phänomen«, weil das Akromion die leere Pfanne wie eine Schulterklappe überragt. Die hintere Schulterluxation dagegen zeigt sich äußerlich nicht so deutlich. Der Arm wird in einer fixierten Innenrotation gehalten (Abb. 5.49).

Zu den möglichen Begleitverletzungen gehören Nervenausfälle, die aufgrund der luxationsbedingten schmerzhaften Bewegungseinschränkung und der bestehenden Fehlstellung maskiert sein können. Verletzungen der Rotatorenmanschette treten in etwa 35% der Fälle auf, und zwar insbesondere bei den über 40-Jährigen. Häufig reißt das Labrum vom ventrokaudalen Pfannenrand ab. Man spricht dann von einer Bankart-Läsion. In etwa 80% der Fälle treten knöcherne Begleitverletzungen auf. Neben einer Impression des Oberarmkopfs, der so genannten Hill-Sachs-Delle, können auch knöcherne Ausrisse des Tuberculum majus oder minus oder eine knöcherne Bankart-Läsion entstehen (Abb. 5.50).

Diagnostik

Da die Patienten meist sehr schmerzgeplagt sind, muss die Diagnostik schnellstmöglich durchgeführt werden. Nach einer orientierenden Prüfung der Durchblutung, Motorik und Sensibilität schließt sich eine Standardröntgendiagnostik an. Dabei sollte grundsätzlich in 2 Ebenen geröntgt werden, um begleitende Frakturen und die Luxationsrichtung erkennen zu können. Da die Beweglichkeit des Arms schmerzhaft aufgehoben ist, wird neben der a.p.-Aufnahme die Skapula-Y-Aufnahme angefertigt. Für beide Projektionen braucht die federnd fixierte Stellung des Arms nicht verändert zu werden und man kann den Betroffenen unnötige Schmerzen ersparen. Im a.p.-Strahlengang lassen sich knöcherne Begleitverletzungen gut erkennen, während auf der Skapula-Y-Aufnahme die Position des Oberarmkopfs zur Pfanne exakt beurteilbar ist. Bei der vorderen Verrenkung steht der Oberarmkopf in der a.p.-Projektion übrigens meistens unter dem Korakoid oder dem Pfannenrand, während er bei der dorsalen im Aufsichtsbild häufig gelenkgerecht zu stehen scheint. Deshalb ist die genaue Beurteilung der Tangentialaufnahme so wichtig (Abb. 5.51). Ein weiterer Hinweis auf eine dorsale Luxation ist die schmerzhaft aufgehobene Außenrotierbarkeit.

Dorsale Luxationen sind auf Röntgenbildern im a.p.-Strahlengang meist nicht eindeutig zu erkennen und werden deshalb häufig übersehen.

Klassifikation

Man unterscheidet zwischen Distorsionen und Luxationen und bei letzteren zwischen der traumatischen und habituellen Form. Die traumatische Luxation entsteht durch ein adäquates Trauma, während die habituelle bei alltäglichen Aktivitäten wie einer Wurfbewegung oder beim Ausziehen eines Pullovers eintreten kann. Von einer rezidivierenden Luxation spricht man nur, wenn in der Vorgeschichte eine traumatische Verrenkung stattfand, ansonsten würde es sich um eine habituelle handeln. Eine veraltete Luxation liegt vor, wenn sie seit mehr als 12 h besteht.

Therapie

Distorsion

Bei stattgehabter Schulterzerrung kann eine Ruhigstellung im Immobilizer bis zu 10 Tage lang erforderlich sein. Man orientiert sich dabei an den Beschwerden des Patienten. Danach schließt sich eine krankengymnastische Übungsbehandlung im Rahmen der Schmerzgrenzen an. Sportliche Aktivitäten können wieder aufgenommen werden, wenn Beschwerdefreiheit und ein ausreichender Bewegungsumfang erreicht sind.

Luxation

Wenn die Diagnose gesichert ist, sollte die Verrenkung möglichst schnell beseitigt werden, um den Betroffenen die Schmerzen zu nehmen und neurovaskuläre Strukturen, die durch den fehlstehenden Oberarmkopf potenziell gefährdet sind, zu entlasten. Die

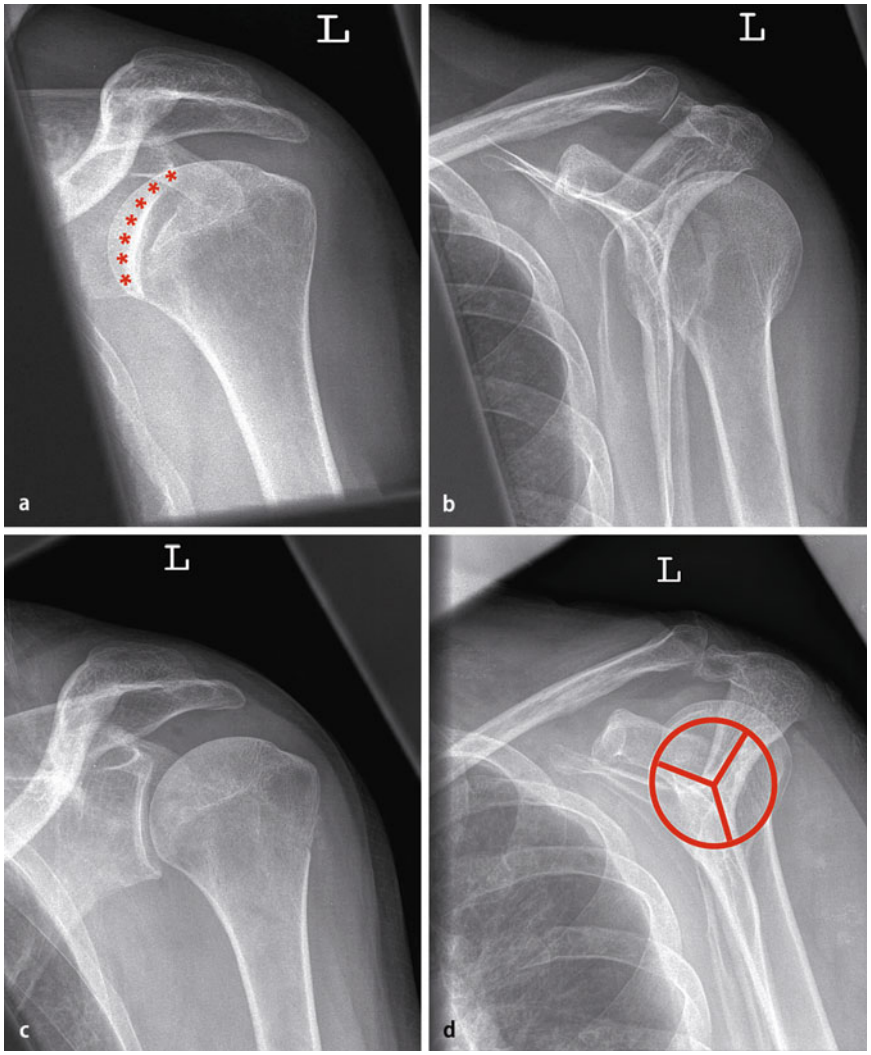


Abb. 5.51a–d **a** die Schulterluxation nach dorsal ist auf der true-a.p.-Aufnahme leicht zu übersehen und nur an der Überlagerung zwischen Hmueruskopf und Glenoid (rote Sterne) zu vermuten. **b** Auf der Skapula-Y-Aufnahme kommt sie eindeutig zur Darstellung. Der Humeruskopf steht hinter der leeren Pfanne. **c,d** Nach Reposition gelenkgerechte Stellung in der a.p.-Projektion (**c**) und auf der Skapula-Y-Aufnahme (**d**). Korakoid, Akromion und Schulterblatt bilden eine Art Mercedes-Stern (rot eingezeichnet). Im Zentrum des Sterns sitzt das Glenoid. Darüber projiziert sich bei gelenkgerechter Stellung der Humeruskopf. (Aus: Kirchhoff et al. 2008)

Reposition kann ohne oder mit Analgosedierung oder in einer kurzen Allgemeinnarkose erfolgen. Dies hängt vom Patienten, der Art der Reposition und von der Erfahrung des behandelnden Arztes ab (s. unten).

Vor der Reposition muss der neurovaskuläre Status des betroffenen Arms untersucht werden. Für eine Läsion des N. axillaris spricht ein Sensibilitätsdefizit im autonomen Areal des Nervs in Höhe des Ansatzes des M. deltoideus am Humerus.

Es gibt verschiedene Methoden, ein verrenktes Schultergelenk einzurichten. Die beiden wichtigsten, die zur Reposition einer vorderen Luxation eingesetzt werden, sind die nach Arlt und nach Hippokrates. Damit kann man jede geschlossen reponierbare Verrenkung beheben. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Methoden ist, dass erstere im Sitzen und deshalb allenfalls in Lokalanästhesie, letztere im Liegen in Kurznarkose durchgeführt wird. Bei der Methode nach Arlt kann man so schonend vorgehen, dass man ganz ohne Anästhesie auskommt. Die einzelnen Schritte der Reposition sind die beste Schmerzbehandlung (s. unten). Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Patient gut mitarbeitet. Falls dies nicht gegeben ist oder eine besonders feste Verklemmung des Oberarmkopfs besteht, werden eine Analgosedierung und damit eine Reposition am liegenden Patienten nach Hippokrates notwendig.

Reposition nach Arlt

Dabei sitzt der Patient seitlich auf einem Stuhl. Der Arm der verletzten Seite wird so gelagert, dass die Achsel auf dem Rand der Stuhllehne aufliegt, die mit einem Kissen abgepolstert ist und als Hypomochlion dient. Der Arm selbst wird im Ellenbogengelenk 90° gebeugt. Dies bewirkt, dass man bei der Reposition nicht gegen den Zug des M. biceps arbeiten muss. Der behandelnde Arzt setzt sich auf einen Hocker frontal vor den gebeugten Arm des Patienten und lagert dessen Hand auf seinem Oberschenkel. Jetzt liegt der verletzte Arm so stabil, dass der Patient ihn nicht mehr muskulär halten muss. Man fordert ihn auf, sich zu entspannen. Während man nun mit einer Hand die Hand des Patienten auf seinem Oberschenkel festhält, drückt man mit der anderen zunächst nur mit wenig Kraft in die Ellenbeuge des verletzten Arms und zieht dadurch dessen Oberarmkopf nach kaudal. Die Patienten empfinden dadurch meist eine deutliche Schmerzlinderung und können sich jetzt besser entspannen. Dies bewirkt, dass sich der Oberarmkopf ein Stück weiter aus seiner Verklemmung unter dem Pfannenrand ziehen lässt, was zu einer weiteren Schmerzreduktion führt. Auf den Zusammenhang zwischen Entspannung und zunehmender Schmerzfreiheit macht man den Patienten im ständigen, begleitenden Gespräch aufmerksam und motiviert ihn so zur Mitarbeit. Wichtig ist, dass man während der Reposition keine ruckartigen Manöver vornimmt,

die den Patienten überraschen und zur erneuten muskulären Stabilisierung der Verrenkung veranlassen würden. Man muss sich Zeit nehmen. Der gesamte Vorgang kann schon einmal 10 min oder länger dauern. Wenn sich der Oberarmkopf nach kontinuierlichem Zug nicht aus seiner Verklemmung löst, beginnt man mit vorsichtigen Rotationsbewegungen, die man dem Patienten vorher ankündigt. Man benutzt dafür den Unterarm als Hebel und »schaukelt« gewissermaßen unter gleichzeitiger Verstärkung des Zugs den Oberarmkopf unter dem Glenoidrand hervor. Spätestens bei diesem Manöver korrigieren sich fast alle Luxationen.

Die Reposition selbst kommt für Patient und Arzt überraschend ohne vorherige Ankündigung. Man kann sie deutlich als dumpfes Reiben oder Schnappen hören und spüren. Die Patienten erleben es als ein kurzes schmerzhaftes Ereignis, an das sich eine wohltuende Beschwerdefreiheit anschließt. Man prüft im Anschluss daran, ob nun eine weitgehend schmerzfreie, in engen Grenzen geführte Bewegungsfreiheit besteht, was ein Indiz für die jetzt bestehende gelenkgerechte Stellung gewertet werden kann.

Reposition nach Hippokrates

Hierfür liegt der Patient auf dem Rücken. Der Arzt steht neben dem Patienten auf der Seite des verletzen Arms. Nun fasst er die Hand des Patienten und abduziert den Arm unter leichtem Zug zumindest so weit, dass er seinen unbeschuhten Fuß in die Achselhöhle des Patienten stellen und damit einen Gegenzug ausüben kann. Der Zug wird jetzt kontinuierlich gesteigert. Gleichzeitig versucht man mit der Breite seines Fußes oder durch Plantarflexion desselben, den proximalen Humerusschaft nach lateral zu drücken, um auf diese Weise den Oberarmkopf aus seiner Verklemmung zu lösen. Die Reposition erfolgt wieder als dumpfes Reiben oder Schnappen. Man prüft die Stellung des Gelenks anschließend unter Bildwandlerkontrolle (Tab. 5.8). Beim Hebeln mit dem Fuß in der Achselhöhle des Patienten muss man vorsichtig und schonend vorgehen, denn man kann dabei eine Blutung verursachen. Schmal und Mitarbeiter (2006) beschreiben einen Fall eines 81-jährigen Patienten, bei dem nach Reposition einer Schulterluxation nach Hippokrates die A. subscapularis verletzt wurde mit Ausbildung eines axillären Hämatoms und konsekutiver Parese des Plexus brachialis.

Reposition der dorsalen Luxation

Mit diesem Verfahren kann man versuchen, die Verrenkung am wachen Patienten zu reponieren. Falls dies nicht gelingt, schließt sich ein neuerlicher Versuch in Narkose, dann aber in Operationsbereitschaft an, denn die dorsalen Luxationen neigen zur Reluxation. Für den ersten Versuch kann man den Patienten auf einen Stuhl setzen oder ihn auf den unverletzten Arm seitlich lagern. Man zieht den Arm nun vorsichtig in der vorgegebenen innenrotierten Stellung langsam nach kaudal und beginnt, ihn anschließend zu abduzieren. Gleichzeitig wird der Patient immer wieder aufgefordert, sich möglichst zu entspannen. Wenn es von den Schmerzen her möglich ist, wird der Arm des Patienten bis zur Horizontalen abduziert. Anschließend wird er vorsichtig vermehrt innenrotiert, unter der Vorstellung, eine evtl. noch bestehende Verhakung der Malgaigne-Impression des Humeruskopfs mit dem dorsalen Pfannenrand zu lösen. Unter Beibehaltung des axialen Zugs wird der Arm dann langsam außenrotiert. Gleichzeitig drückt man den Humeruskopf von dorsal zurück ins Gelenk. Die Reposition wäre an einem Schnappen spürbar. Anschließend würde sich der Arm schmerzfrei in Neutralrotationstellung am Körper anlagern lassen.

Tab. 5.8 Kriterien für die Auswahl der Repositionsmethode bei Schultergelenksluxation

Methode nach Arlt	Methode nach Hippokrates
Einfache Verrenkung	Starke Verklemmung
Frische Verrenkung	Veraltete Verrenkung
Kooperativer Patient	Mangelnde Compliance
Erhöhte Aspirationsgefahr bei nicht nüchternem Patienten	Keine erhöhte Aspirationsgefahr oder ohnehin intubierter Patient
Erhöhtes Narkoserisiko bei Multimorbidität	Kein erhöhtes Narkoserisiko

Nach einer Reposition muss der neurovaskuläre Status des betroffenen Arms erneut beurteilt und die gelenkgerechte Stellung radiologisch in 2 Ebenen dokumentiert werden.

Planung des weiteren Vorgehens

Die weitere Behandlung hängt von der Anzahl vorausgegangener Luxationen, Alter und Aktivität des Patienten und eingetretenen Begleitverletzungen ab. Die Zahl der stattgehabten Luxationen lässt Rückschlüsse auf die Qualität der noch intakten Kapsel-Band-Strukturen zu. Alter und Aktivität des Patienten bestimmen darüber, ob der Patient von einem operativen Vorgehen überhaupt profitiert. Knöcherne und ligamentäre Begleitverletzungen hingegen können unabhängig davon ein operatives Vorgehen notwendig machen. Folgende Begleitverletzungen können entstehen und Einfluss auf die weitere Therapie haben:

- Hill-Sachs- bzw. Malgaigne-Impressionsfraktur
- Pfannenrandfraktur,
- Knöcherner Rotatorenmanschettenabriss (Tuberculum majus und minus)
- Rein tendinöse Rotatorenmanschettenruptur
- Vordere untere Schulterinstabilität

Hill-Sachs- bzw. Malgaigne-Impressionsfraktur

Im Rahmen vorderer Luxationen entstehen häufig mehr oder weniger ausgeprägte Impressionsfrakturen im Bereich des dorsalen Aspekts des Humeruskopfs durch den vorderen Pfannenrand. Man spricht dann von einer so genannten Hill-Sachs-Impression oder Hill-Sachs-Delle. Bei der hinteren Luxation wird dagegen der ventrale Aspekt des Humeruskopfs betroffen. Dann liegt eine reversed Hill-Sachs-Impression vor, die auch Malgaigne-Impression genannt wird.

Sind weniger als 20% der Gelenkfläche imprimiert, ist das Gelenk nach Reposition meist stabil (Brunner u. Schweiberer 1996). Eine größere Hill-Sachs-Läsion kann dagegen nach erfolgter Reposition bei Außenrotation des Arms erneut am vorderen Pfannenrand einrasten. Beim Zurückführen des Arms in die Innenrotation gleitet der Kopf nicht in der Pfanne, sondern er dreht sich, in der Impression verhakt, nach vorne aus dem Gelenk. Eine Reluxation tritt ein. Derselbe Mechanismus spielt sich beim Malgaigne-Defekt bei Innen- und anschließender Außenrotation ab. Hill-Sachs-Impressionen lassen sich im a.p.-Strahlengang bei 60° innenrotiertem Arm gut darstellen.

Wenn eine frische Impression vorliegt, kann man versuchen, sie zu heben und zu unterfüttern. Der Defekt wird über ein

Kortikalisfenster, das gegenüber der Defektzone geschaffen wird, aufgestößelt. Den Vorgang des Hebens kann man arthroskopisch kontrollieren.

Veraltete oder sehr ausgedehnte Defekte mit Impression von >50% der Gelenkfläche lassen sich unter Umständen nur mit einem prothetischen Gelenkersatz behandeln.

Beim Malgaigne-Defekt mit einer Impression bis maximal ein Drittel des Kopfdurchmessers wird die Versetzung des Tuberculum minus in den knöchernen Defekt beschrieben (Neer u. Hughes 1975). Allerdings birgt die Methode den wesentlichen Nachteil einer bleibenden Einschränkung der Innenrotationsfähigkeit des Arms. Deshalb wird die Defekthebung und Unterfütterung bevorzugt.

Pfannenrandfraktur (knöcherne Bankart-Läsion)

Knöcherne Ausrisse des Pfannenrandes verschmälern die ohnehin sehr kleine glenoidale Auflagefläche noch mehr. Zudem schwächen sie die Verankerung der hier ansetzenden Kapsel-Band-Anteile. Dadurch ist die Indikation zur offenen Reposition und Osteosynthese mit Kleinfragmentschrauben über einen vorderen oder hinteren Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) gegeben. Itoi und Mitarbeiter (2000) haben experimentell gezeigt, dass ab einer Fragmentlänge von 6,8 mm, das entspricht 21% der Glenoidlänge, mit einer signifikanten Schulterinstabilität gerechnet werden muss. Die Autoren (1999) hatten bereits vorher nachgewiesen, dass sich nach vorderer Schulterluxation der abgelöste Labrum-Ligament-Komplex durch Anspannung der ventralen Kapsel ab 0° Außenrotation des Arms reponiert. Kleinere Glenoidrandfrakturen mit nur geringer Dislokation können in einer Schulterschlinge in leichter Abduktion und Außenrotation konservativ behandelt werden.

Knöcherner Rotatorenmanschettenabriss

Knöcherne Ausrisse der Rotatorenmanschette in Form von Tuberkulumfrakturen bedürfen meist der operativen Refixation, denn wenn sie mit einem auch nur geringem Versatz von 5 mm verheilen, kann dieser zu einem Impingement-Syndrom mit bleibender Bewegungseinschränkung führen (▶ Abschnitt 5.5, Humeruskopffrakturen).

Rotatorenmanschettenruptur

Eine begleitende Rotatorenmanschettenruptur kann sonografisch oder mittels MRT diagnostiziert werden. Sie tritt häufiger bei älteren als bei jüngeren Patienten als Begleitverletzung einer Schulterluxation auf und zwar in 30–80% bei den über 40-Jährigen (Petterson 1942; die Therapie ist im ▶ Abschnitt 5.4.1, Rotatorenmanschettenruptur beschrieben).

Vordere untere Schulterinstabilität

Die Läsionsformen sind in ◘ Abb. 5.52 dargestellt.

Indikationen zur Operation

Die Indikation zum operativen Vorgehen ist bei folgenden Konstellationen gegeben:

- Erstluxationen beim unter 20-jährigen Erwachsenen,
- Erstluxationen beim unter 30-jährigen Schultersportler,
- erstes Rezidiv beim unter 40-jährigen Erwachsenen.

Wir empfehlen eine arthroskopische Stabilisation bei Vorliegen einer Bankart-, Perthes- oder ALPSA-Läsion (**a**nterior **l**abroligamentous **p**eriostal **s**leeve **a**vulsion; Neviaser 1993; ◘ Abb. 5.52) und maximal 5 präoperativen Luxationen. Haben mehr als 5 Luxationen stattgefunden, kann man davon ausgehen, dass die Kapsel-Band-Strukturen so elongiert sind, dass ein offenes Verfahren (Bankart-Operation oder Kapselshift) beim in der arthroskopischen Technik nicht hochspezialisierten Chirurgen eher zum Erfolg führt. Die so genannte HAGL-Läsion sollte offen refixiert werden, ebenso die knöcherne Bankart-Läsion mit großem knöchernem Fragment.

Wenn ein glenoidaler Defekt von >20% der Gelenkfläche besteht, ist eine arthroskopische Stabilisation nicht mehr erfolgreich. Hier muss auf eine Knochenblockoperation ausgewichen werden.

Verfahren

Arthroskopische Bankart-Operation

Wir bevorzugen für die Operation die Strandstuhlposition (beach-chair-position). Der Eingriff ist aber in Seitlagerung des Patienten auch gut durchführbar, wobei hier der Gelenkspalt eher noch erweitert wird. Nach Anzeichnen der Landmarken (Spina scapulae mit dem Akromion, laterales Klavikulaende mit dem AC-Gelenk, Processus coracoideus und Ligamentum coracoacromiale) wird das Arthroskop durch den posterioren Standardzugang ins Gelenk eingebracht (2 cm medial des lateralen Angulus der Skapula und 2 cm inferior der Spina). Es folgt ein diagnostischer Rundgang mit Darstellung des Labrums und der glenohumeralen Ligamente. Unter arthroskopischer Sicht werden die ventrale, dorsale und inferiore Translation des Humeruskopfs geprüft und die Instabilität beurteilt.

Findet sich eine Perthes-, Bankart- oder eine Avulsionsläsion (ALPSA), wird der antero-inferiore Arbeitszugang angelegt. Dazu wird die Inzisionsstelle lateral der Spitze des Processus coracoideus mit einer Kanüle aufgesucht. Im Gelenk sollte dieser Zugang kranial des Oberrandes der Sehne des M. subscapularis in Höhe der Glenoidebene gelegen sein. Mit Hilfe eines Trokars wird eine 8,5 mm Arbeitskanüle platziert. Danach folgt das Aufsuchen und Einführen einer 6 mm Arbeitskanüle in der antero-superioren Porta. Die Inzisionsstelle befindet sich knapp lateral des Vorderrandes des AC-Gelenks.

Mobilisation

Mit einem Bananenmesser in der anteroinferioren Porta wird bei Vorliegen einer ALPSA-Läsion das in Fehlstellung am Skapulahals verheilte Labrum mit den glenohumeralen Ligamenten abgelöst und mit dem Rasparatorium nach medial mobilisiert.

Auch bei Vorliegen einer Perthes-Bankart-Läsion wird der Labrum-Ligament-Komplex nach medial und kaudal etwas weiter abgelöst, damit eine spätere Straffung nach kranial möglich ist. Mit Hilfe der Motorfräse (Acromionizer) oder eines aggressiven Cutters muss nun der Skapulahals bis zum Auftreten von frischen Blutungen aus dem Knochen angefrischt werden.

Präparation der Bohrlöcher für die Anker und Einsetzen der Anker

Der Anker ist mit einem hochreißfesten Faden armiert (◘ Abb. 5.53a). Die Bohrhülse zur Anlage des Bohrlochs für den Anker wird 1–2 mm von der Knorpel-Knochengrenze entfernt in den Gelenkknorpel des Glenoids aufgesetzt, wobei das am weitesten kaudal lokalisierte Bohrloch einer rechten Schulter etwa bei 5 Uhr liegen sollte. Mit einem 2,9-mm-Verdrängungsbohrer wird ein Bohrloch angelegt (◘ Abb. 5.53b). Der Bohrer weist einen Tiefenbegrenzer auf, sodass damit der glenoidale Knochen nicht nach dorsal perforiert werden kann. Der Anker wird danach mit Hilfe eines Setzinstruments durch die Bohrhülse in das Bohrloch eingeschlagen (◘ Abb. 5.53c). Das Setzinstrument wird dann aus dem Anker herausgedreht (◘ Abb. 5.53d). Durch Zug an den Fadenenden verkippt der Anker und der Stabilisierungskeil am Ende des Ankers arretiert sich in der Spongiosa (◘ Abb. 5.53e).

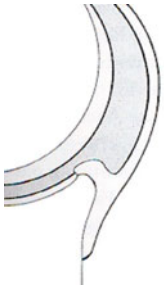
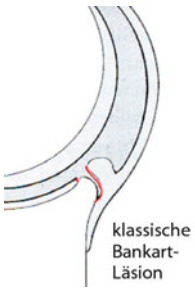
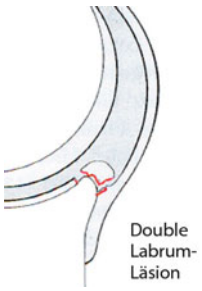
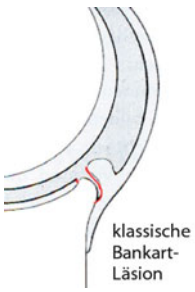
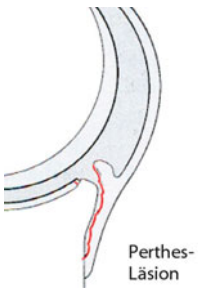
Normalbefund		
	Normalbefund	Schematischer Sagittalschnitt durch den vorderen Gelenkabschnitt mit Knorpel, Labrum, inferiorem glenohumeralem Ligament und vorderem Rezessus
Bankart-Linie		
	Bankart-Läsion	Kontinuitätsunterbrechung zwischen Knorpel und Labrum ohne Ablösung des periostalen Bandansatzes
	Double-Labrumläsion	Kontinuitätsunterbrechung zwischen Knorpel und Labrum und zwischen inferiorem glenohumeralem Ligament
	Knöcherne Bankart-Läsion	Abscherfraktur des Glenoidrands mit Ablösung von Labrum und inferiorem glenohumeralem Ligament
Perthes-Linie		
	Perthes-Läsion	Kompletter gemeinsamer Abriss des Labrum glenoidale zusammen mit dem inferioren glenohumeralen Ligament vom Limbusrand, wobei das Ligament subperiostal vom Skapulahals abgerissen ist

Abb. 5.52 Verschiedene Läsionsformen bei vorderer unterer Schulterinstabilität

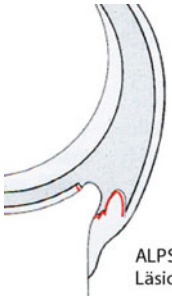
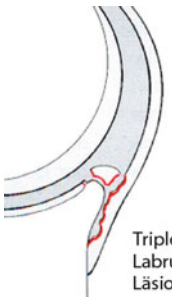
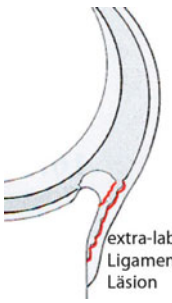
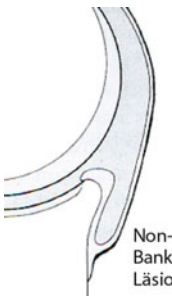
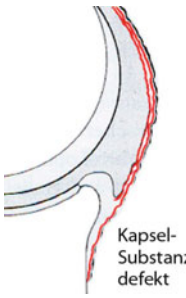
Perthes-Linie		
	ALPSA-Läsion	Labrum und inferiores glenohumerales Ligament sind vom vorderen Skapulahals deperiostiert und bilden einen Narbenwulst am Boden der Periosttasche
	Triple-Labrumläsion	Double-Labrumläsion mit Ablösung des inferioren glenohumeralen Ligaments vom Skapulahals
	Extralabrale Läsion	Ablösung des inferioren glenohumeralen Ligaments vom Skapulahals ohne Labrumläsion
Kapsuläre Linie		
	Non-Bankart-Läsion	Vordere Kapseltasche bei entfernt vom Labrum ansetzendem inferioren glenohumeralen Ligament
	Kapselsubstanzdefekt	Intraligamentärer Defekt, Elongation und Vernarbung des inferioren glenohumeralen Ligaments, die zu einer Kapseltasche führt

Abb. 5.52 Verschiedene Läsionsformen bei vorderer unterer Schulterinstabilität (*Fortsetzung*)

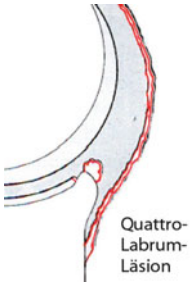
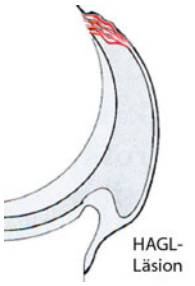
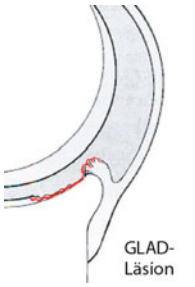
Kapsuläre Linie		
	Quattro-Labrumläsion	Triple-Labrumläsion mit weitgehendem Fehlen der Labrum-Band-Strukturen
	Hagl-Läsion	Das inferiore glenohumerale Ligament ist an seinem Ansatz am Humerus eingerissen (»humeral avulsion of glenohumeral ligaments«)
Glad-Läsion		
	Glad-Läsion	Knorpeldefekt in der Übergangszone zum Labrum ohne wesentliche Labrumlösung

Abb. 5.52 Verschiedene Läsionsformen bei vorderer unterer Schulterinstabilität (*Fortsetzung*)

Fadentransport durch das Labrum und Knotenfixation

Die Fäden werden zunächst mit Hilfe eines Fadenfängers zum antero-superioren Zugang ausgeleitet. Durch die antero-inferiore Arbeitskanüle wird ein Perforationsinstrument (z.B. Sixter, DePuyMitek, Abb. 5.53f) eingeführt. Durch eine Drehbewegung wird der Labrum-Ligament-Komplex mit der Spitze des Instruments penetriert. Dies muss kaudal des gesetzten Ankers geschehen, damit das Gewebe beim späteren Knüpfen der Fäden nach kranial verlagert und somit gestrafft wird. Der Faden wird mit der posterioren Öffnung der Branchen des Sixters gefasst und durch den Labrum-Ligament-Komplex gezogen (Abb. 5.53g). Der Vorgang wird wiederholt, wobei das Gewebe ca. 5–8 mm weiter kaudal erneut perforiert wird. Dadurch wird der 2. Faden des Ankerfadenpaares durchgezogen. Danach wird außerhalb des Gelenks ein Rutschknoten vorgelegt, der mit Hilfe eines Knotenschiebers durch das antero-inferiore Arbeitsportal ins Gelenk geschoben wird. Wir bevorzugen den Fischerknoten, der durch 2 gegenläufige Halbschläge gesichert wird. Die überstehenden Fäden werden mit einem speziellen Fadenabschneider (Cordcutter) durchtrennt. Es resultiert eine U-Naht mit breiter Auflagefläche des Labrum-Ligament-Komplexes am Glenoid und hoher Aufwulstung (bumper; Abb. 5.53h). Der Knoten liegt an der Vorderfläche des Labrums. Somit kommt der humerale Gelenkknorpel bei der Bewegung nicht in Kontakt mit dem Knoten.

Die Operationstechnik ist im Prinzip die gleiche bei Verwendung anderer Ankersysteme. In letzter Zeit setzen sich immer mehr knotenlose Anker und Dübel durch.

Nachbehandlung

Der Arm wird in einer Bandage mit Abduktionskissen für 4 Wochen gelagert. Die Bandage darf zur Körperpflege und zu täglichen Pendelübungen abgenommen werden. Es sind geführte Bewegungen bis 40° Abduktion und 70° Flexion in Innenrotation erlaubt. Nach der 4. Woche wird die Schulter freigegeben, wobei allerdings noch nicht in die Außenrotation geübt werden darf. Dies ist erst nach der 6. Woche der Fall. Schultersportarten sollten frühestens nach 4 Monaten und Kampfsportarten erst nach 6–12 Monaten betrieben werden.

Kontraindikationen für die arthroskopische Stabilisierung in dieser Technik sind ein Knochenverlust von >20% am ventralen Glenoid und die Ablösung der glenohumeralen Ligamente im Bereich der humeralen Insertion (HAGL-Läsion).

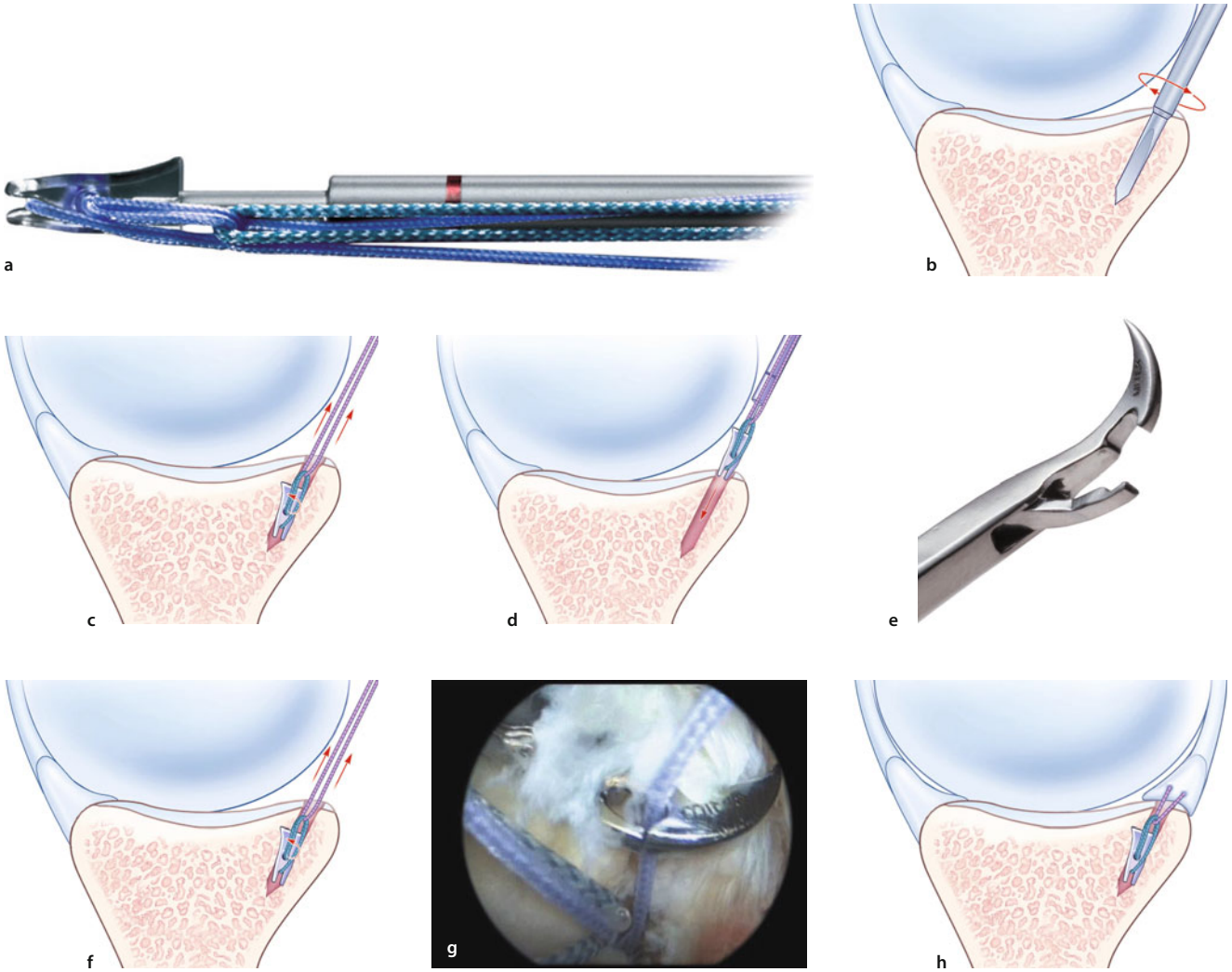


Abb. 5.53a–h **a-e** Setzen eines Lupine-loop-Ankers. **f** Sixter zur Perforation des Labrum-Ligament-Komplexes. **g** Fassen des Fadens mit dem Sixter. **h** Knoten an der Vorderfläche des Labrums. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Arthrex)

Offene Bankart-Operation

Der Eingriff erfolgt in der Strandstuhlposition. Die Hautinzision verläuft von der Spitze des Processus coracoideus gerade nach unten zur Achselfalte. Der Sulcus deltoideopectoralis und die V. cephalica werden dargestellt. Die Vene und ihre Begleitgefäße werden nach lateral weggehalten. Danach werden der M. coracobrachialis und der kurze Bizepskopf dargestellt. Die darunter gelegene Fascia clavipectoralis wird längs gespalten und der M. subscapularis dargestellt. Die kranialen zwei Drittel der Sehne des M. subscapularis werden medial des Tuberculum minus abgetrennt und von der Gelenkkapsel separiert. Bei schlanken, nicht sehr muskelkräftigen Patienten genügt es, die Sehne in Faserrichtung in der Mitte zu spalten. Die Gelenkkapsel wird lateral der Glenoidebene eröffnet. In Höhe der Incisura glenoidalis wird das Labrum mit der Gelenkkapsel und dem Periost quer inzidiert und anschließend mit dem Rasparatorium subperiostal nach medial vom Skapulahals abgelöst. Der Skapulahals wird unmittelbar neben der Knorpelgrenze mit einer Fräse angefrischt. Der abgelöste Kapsel-Labrum-Komplex wird gestrafft und mittels Nahtankern am Glenoid fixiert. In der Regel sind 3 Anker ausreichend. Der lateral verbliebene Anteil der Gelenkkapsel wird auf den medialen Anteil aufgenäht. Bei stark insuffizienter Kapsel kann das Kapselvolumen durch ein Kapselshift reduziert werden. Dazu sollte die Kapsel bei Eröffnung des Gelenks etwas weiter lateral inzidiert werden.

Nachbehandlung

Bei konservativer Therapie nach einer vorderen Luxation erfolgt die Ruhigstellung bei Patienten, die jünger als 45 Jahre sind, für die Dauer von 3 Wochen. Es ist wichtig, diese relativ lange Ruhigstellungsdauer strikt einzuhalten, weil dies nachweislich die Reluxationsrate senkt. Die Ruhigstellung sollte nach Empfehlung von Itoi et al. in starker Außenrotation und Abduktion erfolgen, was nicht praktikabel erscheint. Wir verwenden deshalb eine Schlinge mit Abduktionskissen in 15° Abduktion und 10° Außenrotation.

Allerdings sollte bereits während der Ruhigstellungszeit mit einer krankengymnastischen Übungsbehandlung begonnen werden, in Form von Pendelübungen und passiv assistierter aktiver Bewegung unter Vermeidung der Außenrotation. Eine Sportkarenz von 8–12 Wochen empfiehlt sich, da man diesen Zeitraum für eine stabile Heilung des Kapsel-Band-Apparats annehmen muss und vorher die Rezidivgefahr erhöht ist.

Die Schulter reagiert wie kein anderes Gelenk auf chronischen Schmerz mit Einsteifung. Deshalb darf niemals »in den Schmerz hinein« geübt, sondern die Schmerzgrenzen müssen strikt gewahrt werden. Dabei entscheidet der Patient, was schmerzhaft ist – nicht der Therapeut.

Die Nachbehandlung bei offenem Vorgehen unterscheidet sich von der nach arthroskopischer Bankart-Operation nur dadurch, dass es lediglich einer 2- bis 3-wöchigen Ruhigstellung bedarf. Alles andere erfolgt identisch.

Komplikationen und Prognose

Komplikationen der offenen Bankart-Operation sind anhaltende oder verbleibende Bewegungseinschränkungen insbesondere der Außenrotation. Die Rezidivrate bei den arthroskopischen Verfahren ist dann höher, wenn präoperativ keine Patientenselektion erfolgt.

Die Prognose hängt von der Zahl der vorausgegangenen Luxationen ab. Die Erfolgsrate einer arthroskopischen Versorgung bei Patienten mit mehr als 5 Luxationen ist deutlich schlechter, wenn nicht gleichzeitig ein arthroskopischer Kapselshift erfolgt (Hoffmann u. Reif 1995, Jäger et al. 1999).

5.4.5 Ruptur der langen Bizepssehne

Ätiologie

Sehnenrupturen des M. biceps brachii sind relativ häufig. Meist ist die lange Bizepssehne betroffen. In der Literatur wird die Häufigkeit mit 96% für die lange, 3% für die distale und 1% für die kurze Bizepssehne angegeben (Dederich 1984, Semmerich et al. 1991). Die Ruptur der distalen Bizepssehne wird in ▶ Kap. 6, Arm, beschrieben.

Die lange Bizepssehne rupturiert überwiegend auf dem Boden degenerativer Vorschäden (Aldinger u. Wüst 1979, Dederich 1984). Chronisch-entzündliche Vorgänge kombiniert mit mechanischer Alteration unter dem Schulterdach sind die Auslöser. Dementsprechend häufig finden sich begleitende chronische Bursitiden oder Rotatorenmanschettenläsionen im subakromialen Raum.

Demzufolge treten bei Patienten über 40 Jahren solche Veränderungen gehäuft auf. Schwere körperliche Arbeit, insbesondere in Kombination mit Überkopfarbeit, wie sie z.B. Maler oder Elektriker ein Berufsleben lang vollführen müssen, wirkt prädisponierend. Echte traumatische Rupturen als Unfallfolge sind selten. Bei jüngeren Patienten spielen sich die Pathologien eher am Übergang vom Muskel- zum Sehnengewebe ab, während sie bei degenerativer Vorschädigung hauptsächlich im proximalen Anteil des Sulcus intertubercularis liegen.

Die Ruptur kann im Rahmen einer großen Kraftanstrengung, z.B. beim Heben oder Abfangen einer schweren Last, oder auch mehr oder weniger unbemerkt spontan auftreten.

Klinik

Auffällig ist das Tiefertreten des Muskelbauchs des M. biceps. Manche Patienten bemerken eine Krafteinbuße bei der Armbeugung und bei der Supination. Dies kann man im Seitenvergleich prüfen, indem man die Hände des Patienten überkreuzt fasst und ihn auffordert, die Unterarme gegen Widerstand zu supinieren. Ebenfalls im Seitenvergleich prüft man die Kraft bei Armbeugung.

Die rupturierte Bizepssehne mit dem nach distal abgesackten Muskelbauch verursacht einen weichen, bauchigen Wulst oberhalb der Ellenbeuge. Man spricht dann auch vom so genannten Popeye-Phänomen. Der Sulcus intertubercularis ist druckschmerzhaft. Das Popeye-Phänomen ist beweisend für Rupturen der langen Bizepssehne. Ein positiver Yergason-Test und Palm-up-Test sind eher ein Hinweis auf Sehnenreizungen und Partialrupturen (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Viele spontane Bizepssehnenrupturen verlaufen klinisch fast »stumm«. Dies ist v.a. bei basisnahen Rissen der Fall, bei denen die Supraspinatussehne intakt ist. Der Patient bemerkt dann lediglich leichte krampfartige Beschwerden im Bereich des Bizepsbauchs, die nach einigen Wochen wieder abklingen. Wenn sie jedoch nicht vergehen, so liegen entweder eine begleitende Rotatorenmanschettenläsion, ein Bizepssehnenstumpfsyndrom oder eine Mitverletzung im Bereich ihres labralen Ansatzes vor.

Diagnostik

Trotz des eindeutigen klinischen Bildes sollte auf eine weiterführende, auch bildgebende Diagnostik nicht verzichtet werden, um etwaige Begleitläsionen erkennen zu können. Neben der klinischen und sonografischen Untersuchung werden Standardröntgenaufnahmen angefertigt, um degenerative Veränderungen auszuschließen oder nachzuweisen. Die a.p.-Aufnahme wird von einer Outlet-view- und Sulcus-intertubercularis-Aufnahme ergänzt, auf der degenerative Veränderungen des Sulkus in Form von Zysten oder Sklerosierungen sichtbar werden können (▶ Abschnitt 5.1). In Zweifelsfällen kann die Ruptur oder Luxation der langen Bizepssehne mittels MRT nachgewiesen werden.

Konservative Therapie

In der Regel besteht die Indikation zur konservativen, symptomatischen Therapie. Dies gilt insbesondere für die älteren Patienten, die ja am häufigsten betroffen sind. Sie werden durch die Spontanruptur einer degenerativ veränderten, aufgefaserten Sehne kaum beeinträchtigt. Die Therapie besteht in der Ruhigstellung der verletzten Schulter in einem Immobilizer für 3–4 Tage, bis die akuten Beschwerden abgeklungen sind. Unterstützend können bei Bedarf Antiphlogistika oder Schmerzmittel gegeben werden. Der Patient sollte anschließend so früh wie möglich mit aktiven Pendelübungen im schmerzfreien Bereich beginnen. Eine physikalische Therapie ist sinnvoll.

Operative Therapie

Indikationen

Die Indikationen für eine operative Therapie bestehen bei:

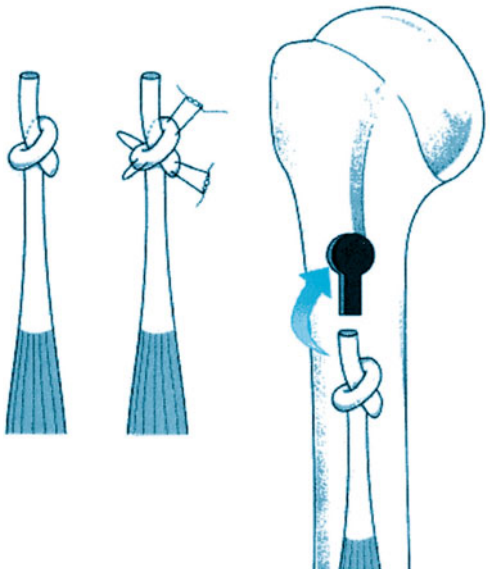
- jungen Patienten mit frischen Rupturen nach Maximalbelastung,
- bei Patienten, die körperlich schwer arbeiten müssen und
- bei älteren Patienten mit anhaltenden Beschwerden nach längerfristiger konservativ-funktioneller Behandlung.

Bei jungen Patienten und denen, die körperlich schwer arbeiten, sollte der frische Riss innerhalb von 4–6 Wochen versorgt werden.

Schlüssellochplastik

Ein mögliches Verfahren besteht in der Fixierung der Bizepssehne am proximalen Oberarmschaft in der von Froimson (1974) beschriebenen Technik, der so genannten Schlüssellochplastik. Die Alternative, den distalen Stumpf der langen Bizepssehne am Korakoid zu refixieren, hat zwar den Vorteil, dass der M. biceps als Flexor im Schultergelenk erhalten bleibt, aber den gravierenden Nachteil, dass durch die gleich geschaltete Zugrichtung der Oberarmkopf vermehrt unter das Schulterdach gepresst wird, was ein Impingement-Syndrom zur Folge haben kann.

Zur Schlüssellochplastik wird der Patient in Strandstuhlposition gelagert und ein ventraler Zugang durch den Sulcus deltoideopectoralis geschaffen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Bisweilen muss die quer verlaufende Sehne des M. pectoralis leicht eingekerbt werden, da sich der distale Stumpf der langen Bizepssehne häufig unter dessen Ansatz retrahiert hat. Anschließend werden unter Beuge- und Streckbewegungen des Arms sowie unter Pro- und Supination des Umterarms die Lokalisation für das Schlüsselloch und die gewünschte Vorspannung der Sehne ermittelt. An der gewünschten Stelle wird ein etwa 1,5 cm langer schmaler Schlitz in die ventrale Kortikalis des proximalen Humerusschafts gebohrt. Dieser Schlitz wird kranial zu einem kreisrunden Loch von etwa 1 cm Durchmesser erweitert. Auf diese Weise wird eine Art Schlüsselloch geschaffen, in das nun der distale Sehnenstumpf eingehängt wird. Dazu wird das Sehnenende zunächst verknotet und der Knoten durch eine langsam resorbierbare Naht mit mehrfacher Durchflechtung gesichert. Anschließend wird dieser Knoten in das kreisrunde Loch im Humerusschaft gestopft und dann durch Zug an der Sehne und gleichzeitigen Druck von kranial auf den Knoten distal im Längsschlitz des Schlüssellochs verklemmt. Dadurch wird eine hohe Primärstabilität erreicht, die einer vorzeitigen Lösung der Verankerung zuverlässig entgegenwirkt. Danach erfolgt der schichtweise Wundverschluss unter Einlage einer Redon-Drainage (◘ Abb. 5.54).



◘ **Abb. 5.54** Schlüssellochplastik nach Froimson

Eine Alternative zur Schlüssellochplastik ist das Versenken des proximalen Sehnenendes in einem 7 mm Bohrloch und die Fixation der Sehne im Bohrloch mit Hilfe einer 7 mm dicken resorbierbaren Interferenzschraube. Dieser Eingriff kann auch arthroskopisch unterstützt durchgeführt werden. Eine Tenodese der langen Bizepssehne im Sulcus intertubercularis mit Hilfe von Schrauben oder Nahtankern ist ebenfalls arthroskopisch möglich. Auch eine subpektorale Tenodese kann als offenes Verfahren durchgeführt werden.

Nachbehandlung

Die Schulter wird im Immobilizer ruhiggestellt. Am 3. postoperativen Tag kann mit vorsichtigen aktiven Bewegungsübungen unter krankengymnastischer Anleitung begonnen werden. Bis zur 3. postoperativen Woche sollten große Belastungen bei Beugung bzw. Supination vermieden und während dieser Zeit der Immobilizer getragen werden.

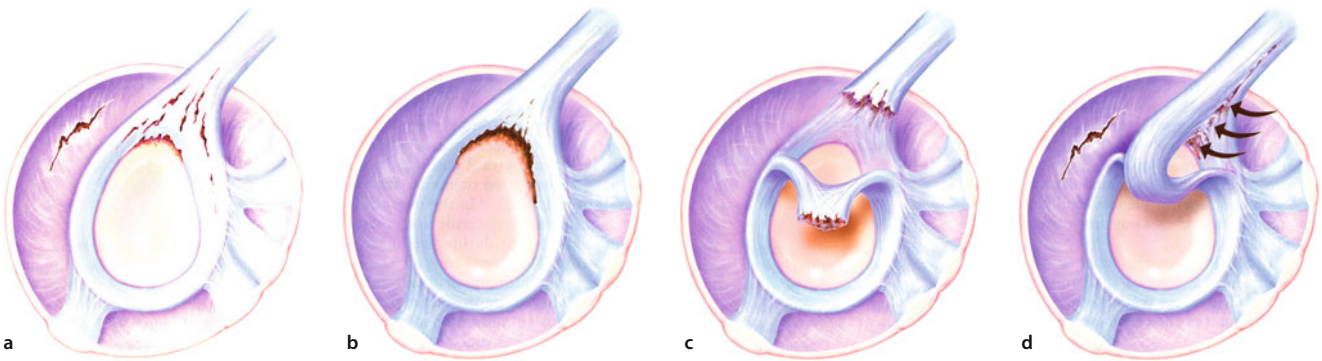
Komplikationen und Prognose

Die operative Therapie der proximalen Sehnenruptur bringt einen geringen, aber darstellbaren Kraftgewinn bezüglich der Armbeugung und der Supination. Da das Operationsrisiko gering ist und nur die üblichen Risiken wie Infektion, Hautnervenverletzung und Nachblutung beinhaltet, kann die operative Versorgung junger und aktiver Patienten uneingeschränkt empfohlen werden. Allerdings kann die Funktion des Schultergelenks durch die extraanatomische Refixation nicht in vollem Umfang wiederhergestellt werden. Der gelenkübergreifende Verlauf der Sehne ist nicht mehr gegeben. Dadurch fehlt ihr senkender Effekt auf den Oberarmkopf, was wiederum degenerative Prozesse im subakromialen Raum induzieren kann.

5.4.6 SLAP-Läsion

Klassifikation

Bei den SLAP-Läsionen (**s**uperior **l**abrum **a**nterior to **p**osterior) handelt es sich um Läsionen des kranialen Labrums und der Bizepssehne in Höhe des Bizepssehnenankers. Snyder et al. unterscheiden 4 Läsionen (◘ Abb. 5.55), später wurden von Maffet et al. noch 3 Läsionen ergänzt. Während es sich bei der SLAP-I-Läsion lediglich um degenerative Veränderungen des Labrums handelt, die nahezu bei allen älteren Patienten nachweisbar sind, kommt es bei der SLAP-II-Läsion durch Traumen oder repetitive Überlastung (Wurfsportler) zu einer Ablösung des Labrums vom oberen Glenoidrand. Bei der SLAP-III-Läsion löst sich das Labrum vom Glenoid und hängt in das Glenohumeralgelenk hinein. Der Bizeps-



◘ **Abb. 5.55** SLAP-Läsionen. **a** Typ I. **b** Typ II. **c** Typ III. **d** Typ IV

sehnenanker selbst bleibt stabil. Die SLAP-IV-Läsion ist eine Ruptur des Labrums, die sich tangential in die Bizepssehne fortsetzt.

Therapie

Die Therapie der SLAP-I-Läsion besteht allenfalls im arthroskopischen Débridement des Labrums. Bei der SLAP-II-Läsion kommt eine Refixation des Labrums mit Fadenankern oder eine Tenodese der LBS infrage. Bei der SLAP-III-Läsion wird lediglich das abgerissene Labrum reseziert. Die SLAP-IV-Läsion wird durch Naht der LBS mit Refixation des Labrums versorgt, aussichtsreicher ist allerdings die Tenodese der LBS.

Die Maffet-Klassifikationen stellen Kombinationen von SLAP-Läsionen mit Bankart-Läsionen dar. Die wichtigste ist Maffet V (Kombination von SLAP II mit klassischer Bankart-Läsion). Hier empfiehlt sich die arthroskopische Refixation der langen Bizepssehne und des Labrums.

Abb. 5.56 Vierfragmentfraktur des Oberarmkopfs mit typischer Fehlstellung der Hauptfragmente

5.5 Humeruskopffrakturen

5.5.1 Ätiologie, Klinik und Diagnostik

Ätiologie

Frakturen des Oberarmkopfs machen 4% aller Frakturen aus. Damit ist dieser Bruchtyp der dritthäufigste des Menschen. 70% der betroffenen Patienten sind älter als 60 Jahre. Mit abnehmender Knochenqualität steigt die Rate mit zunehmendem Lebensalter an. Dementsprechend sieht man im Klinikalltag viele ältere Frauen mit dieser Verletzung. Beim jugendlichen Patienten sind häufig Stürze vom Pferd, vom Zweirad, aus größerer Höhe oder vergleichbare Gewalteinwirkungen die Ursache, während beim alten Patienten bereits das Abfangen eines Sturzes aus dem freien Stand ausreichen kann, um komplexe Frakturen entstehen zu lassen.

Klinik

Schwellung, Druckschmerz und schmerzhaft aufgehobene Funktion sind die üblichen klinischen Zeichen. Der Patient hält den verletzten Arm mit dem gesunden am Körper geschient. Eine begleitende Luxation kann an der »leeren Pfanne« erkennbar sein. Nach Nervenausfällen muss gesucht werden. Wenn eine Plexuskompression besteht, kann außerdem die Durchblutung beeinträchtigt sein.

Diagnostik

Die Standardröntgenaufnahmen in wenigstens 2, besser in 3 Ebenen informieren über den Frakturverlauf und die Stellung im Glenohumeralgelenk. Neben der a.p.- wird eine Skapula-Y-Aufnahme angefertigt. Als 3. Ebene wird am besten eine Velpeau-Projektion durchgeführt, denn auch sie kann angenommen werden, ohne den zur Schmerzbekämpfung am Körper gehaltenen Arm bewegen zu müssen (▶ Abschnitt 5.1.3).

Bei unübersichtlichen Mehrfragmentfrakturen, evtl. mit zusätzlicher Impression, kann es erforderlich sein, präoperativ eine CT anzufertigen, um sich ein ausreichendes Bild von der eingetretenen Verletzung machen und die Therapie richtig planen zu können.

Klassifikation

Die Klassifikation orientiert sich an 4 Hauptfragmenten. Es handelt sich dabei um die in Tab. 5.9 aufgeführten knöchernen Strukturen (Abb. 5.56).

Tab. 5.9 Die 4 Hauptfragmente und deren Dislokationsrichtung

Knöcherne Struktur	Dislokationsrichtung	Vermittelt durch
Kalotte	Varisch gekippt	Einstauchung
Schaft	Anteromedial	Zug des M. pectoralis major
Tuberculum majus	Dorsokranial	Zug der Supra- und Infraspinatussehne
Tuberculum minus	Anteromedial	Zug der Subscapularissehne

Die jeweiligen knöchernen Strukturen werden durch verschiedene Kräfte in typische Fehlstellungen gezogen. Bleibt eines der Tubercula mit der Kalotte verbunden, rotiert die ansetzende Sehne das Kopffragment entsprechend.

Die Klassifikation nach Neer (1990) beruht auf der Unterscheidung der Zahl der Hauptfragmente und dem Ausmaß der Dislokation. Als Anhaltspunkte für die Dislokation gelten eine Versetzung um >1 cm und eine Abkippung um >45°. Des Weiteren wird zwischen Bruchverlauf im chirurgischen und anatomischen Hals unterschieden und damit die Tatsache berücksichtigt, dass bei Frakturen im anatomischen Hals die Gefahr einer Kalottennekrose erhöht ist. Die Luxationsfrakturen werden in vordere und hintere Zwei-, Drei- und Vierfragmentfrakturen unterteilt.

Habermeyer u. Schweiberer (1989) haben diese Klassifikation modifiziert. Im Unterschied zur Neer-Klassifikation wird durchgängig für alle Bruchtypen zwischen Frakturverlauf im anatomischen und chirurgischen Hals unterschieden (Abb. 5.57, Übersicht).

Klassifikation der Humeruskopffrakturen nach Habermeyer

- **Typ 0**: Nichtdislozierte Frakturen
- **Typ A**: Tuberculum-majus- oder -minus-Abriss
- **Typ B**: Zwei- bis Vierfragmentfraktur im chirurgischen Hals
- **Typ C**: Zwei- bis Vierfragmentfraktur im anatomischen Hals
- **Typ X**: Mit vorderer oder hinterer Luxation

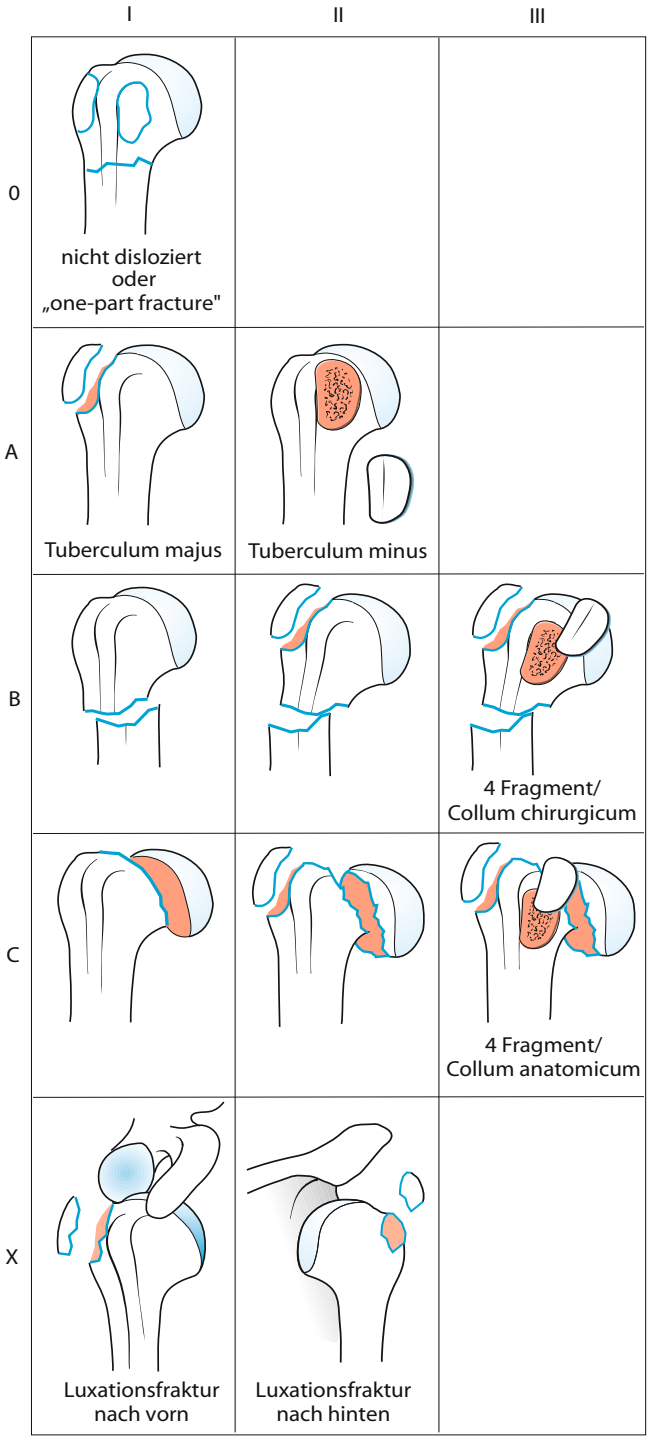


Abb. 5.57 Modifizierte Klassifikation der Humeruskopffrakturen nach Habermeyer

5.5.2 Therapie

Typ 0: nicht dislozierte Frakturen

Stabile, nicht wesentlich dislozierte Frakturen können konservativ behandelt werden. Eine Schwierigkeit besteht jedoch darin, dass radiologisch vielfach nicht eindeutig zu erkennen ist, welcher Bruch stabil und welcher instabil ist. Der Nachweis gelingt einfach und sicher im Rahmen einer Bildwandleruntersuchung. Dabei wird der Arm unter dosiertem Zug, der eine Schmerzlinderung bewirken soll, vorsichtig rotiert und abduziert. Wenn sich das Kopffragment mitbewegt, kann man von einer relativen Stabilität ausgehen, die durch einen noch erhaltenen periostalen Verbund vermittelt wird. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer one-part-fracture. Der Arm wird in einem Immobilizer ruhiggestellt. Abhängig von den Beschwerden schließt sich die frühfunktionelle Übungsbehandlung im Rahmen der Schmerzgrenzen womöglich schon nach wenigen Tagen an.

Nicht dislozierte Frakturen, die instabil sind, bei denen sich das Kopffragment bei der Bildwandleruntersuchung nicht mitbewegt, werden ebenfalls im Immobilizer ruhiggestellt, aber im Gegensatz zu den stabilen so lange, bis das Frakturhämatom »angezogen hat« und eine gewisse Stabilität vermittelt, was der Patient am Nachlassen der Beschwerden bemerkt. Eine exaktere Einschätzung des Heilungsprozesses ermöglicht wiederum die Bildwandleruntersuchung. Da eine zu früh einsetzende oder forcierte Krankengymnastik zur Dislokation und sogar dem Nichtverheilen des Bruchs führen könnte, empfiehlt sich diese Kontrollmöglichkeit für alle Zweifelsfälle.

Typ A: Tuberculum-majus- oder -minus-Abriss

Das Ausmaß der Dislokation eines abgerissenen Tuberculum majus, das durch Zug der Supra- und Infraspinatussehne nicht nur nach kranial, sondern auch nach dorsal versetzt wird, kann insbesondere dann leicht unterschätzt werden, wenn es radiologisch nur in den beiden Standardebenen a.p. und seitlich beurteilt wird. Insbesondere die Dorsalversetzung ist nur auf der Sulcus-intertubercularis- oder auch der Velpeau-Aufnahme richtig einzuschätzen. Im Zweifelsfall bleiben Bildwandleruntersuchung und CT.

Laut Resch (2003) besteht bei einer Dislokation des Tuberkulums von >5 mm die Indikation zur Operation. Die Problematik besteht nun darin, dass selbst ein geringer Versatz zu einem subakromialen Impingement führen und die Abduzierbarkeit und Außenrotationsfähigkeit des Arms einschränken kann. Dazu kommt, dass konservativ behandelte Abrissfrakturen zumindest während der ersten Wochen nicht aktiv beübt werden können, weil die Gefahr der sekundären Dislokation besteht. Ähnliches gilt auch für die passive Krankengymnastik, die für Patienten länger schmerzhaft ist, wenn das abgelöste Fragment nicht refixiert wurde. Dies begünstigt wiederum die Kapselschrumpfung und den muskulären Abbau. Beides führt zur Verengung des subakromialen Raums, und eine bereits geringe Fehlstellung des abgerissenen Tuberculum majus kann dann ein Impingement-Syndrom verursachen.

Operative Therapie

Der Patient wird in Strandstuhlposition gelagert. Über einen »transdeltoidalen Zugang« (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird das abgerissene Fragment dargestellt und reponiert. In sich nicht frakturierte, große Fragmente können mit zwei kanülierten oder soliden Kleinfragmentzugschrauben fixiert werden; bei kleineren genügt auch eine Schraube. Das Volumen des eingebrachten Metalls muss in Relation zu dem des Fragments stehen, anderenfalls droht die Gefahr es zu sprengen. Da meist angrenzende Anteile der Rotatorenmanschette in ihrem Ansatzbereich mit abgerissen sind, bedarf es ohnehin augmentierender transossärer Nähte, welche die Stabilität erhöhen. Vor der Reinsertion wird das Nahtlager angefrischt, bis sich kapilläre Blutungen zeigen, damit die rupturierten Sehnenansätze sicher einheilen können.

Bei guter Knochenqualität sollte man auf Unterlegscheiben verzichten, denn die Gefahr besteht, dass der auf der Scheibe

Abb. 5.58a–e **a** Schulterluxation mit Abriss des Tuberculum majus bei einem 36-jährigen Mann. **b** Auf der Skapula-Y-Aufnahme zeigen sich die ventrale Luxation und die leere Pfanne. **c** Nach der geschlossenen Reposition ist das Tuberculum-majus-Fragent noch deutlich dislozierter. Dass auch das Glenohumeralgelenk noch subluxiert ist, wird zunächst nicht erkannt, weil die 2. Ebene nicht geröntgt wurde. Intraoperativ zeigt sich, dass die gesamte Rotatorenmanschette vom Humeruskopf abgerissen und im Gelenk eingeschlagen ist. **d,e** Postoperative Röntgenkontrolle in 2 Ebenen: Das Tuberculum majus wurde mit einer Kleinfragmentschraube, die Subskapularissehne zusätzlich mit Spike-Unterlegscheibe refixiert

aufsitzende Schraubenkopf das Kortikalisniveau deutlich überragt und seinerseits ein Impingement-Syndrom verursacht. Bei osteoporotischem Knochen dagegen braucht man sie unbedingt, um das unweigerliche Einsinken des Schraubenkopfs in der relativ weichen Kortikalis zu begrenzen und eine ausreichende Kompression durch die Interfragmentärschraube zu erreichen (Abb. 5.58).

Eine gute Alternative zur Schraubenosteosynthese bietet die Zuggurtung. Es genügt, 1,5 mm dünne K-Drähte kombiniert mit einer 1-mm-Drahtschlinge dafür zu verwenden. Diese Methode hat den großen Vorteil, dass man damit auch zarte Knochenanteile schonend und stabil refixieren kann, ohne zu riskieren, das Fragment zu sprengen.

Wenn mehrere kleinere Einzelteile vorliegen, die zu klein sind, um sie stabil refixieren zu können, kann man diese auch resezieren und die Sehne transossär refixieren. Bei harter Knochenqualität müssen vor der Reinsertion V-förmige Knochenkanäle geschaffen werden (▶ Kap. 22, Chirurgische Handwerkstechniken). Bei osteoporotischem Knochen gelingt dies auch ohne Vorbohren, man zieht die Nähte mit einer kräftigen scharfen Nadel direkt durch die Kortikalis.

Die viel seltener vorkommenden Tuberculum-minus-Frakturen sind Begleitverletzung einer hinteren Luxation. Da laut Brunner u. Schweiberer (1996) Pseudarthrosen häufig sind und fehlverheilte Ausrisse die Innenrotation blockieren können, empfehlen sie die interfragmentäre Schraubenosteosynthese über einen ventralen Zugang.

Typ B: Zwei- bis Vierfragmentfraktur im chirurgischen Hals

Die nicht oder wenig dislozierten Frakturen werden konservativ behandelt. Bei deutlicher Einstauchung oder Abkippung des Oberarmkopfs besteht hingegen unter Berücksichtigung des Alters und Aktivitätsgrades des Patienten die **Indikation** zur geschlossenen oder offenen Reposition und Osteosynthese und zwar laut Resch (2003) in folgenden Fällen:

- Tuberkulumversatz >5 mm
- Schaftversatz >10 mm
- Metaphysäre Trümmerzone
- Achsenabweichung >45°
- Stufenbildung innerhalb der Gelenkfläche >2 mm

Reposition

Beim geschlossenen Vorgehen wird die Fraktur zunächst in Allgemeinnarkose eingerichtet. Der Patient wird dazu in Strandstuhlposition gelagert. Der Kopf des Patienten muss sicher fixiert werden, damit er während der Reposition nicht von der Stütze rutscht. Dafür verwendet man breite Pflasterstreifen oder eine selbsthaftende elastische Binde oder ein Band mit Klettverschluss, die bzw. das man über die Stirn des Patienten zirkulär um die Kopfstütze klebt bzw. wickelt. Da unter Umständen erhebliche Zugkräfte aufgewendet werden müssen, um die Stellung korrigieren zu können, bedarf es während der Reposition des Gegenzugs durch einen Helfer. Er hält den Patient entweder am Thorax oder mit einer Tuchschlinge, die durch die Achselhöhle nach schräg oben gegen die Zugrichtung verläuft. Beim Einrichten müssen Länge, Achse und Rotation berücksichtigt werden. Die Länge wird durch Zug korrigiert. Bezüglich der Achse muss meist eine Verkippung des proximalen Hauptfragments nach dorsal bzw. die Ventralisierung und Medialisierung des distalen Hauptfragments ausgeglichen werden. Dies erreicht man durch Hebeln am Oberarm. Mit einer Hand fasst man den proximalen Unterarm des Patienten und zieht ihn, um den Zug der Bizepssehne abzuschwächen, bei 90° gebeugtem Ellenbogengelenk nach kaudal und ventral. Gleichzeitig kann man die Rotation beeinflussen. Mit der anderen Hand drückt man den Oberarm nach dorsal. Die erreichte Stellung der Fraktur wird unter Bildwandler in 2 Ebenen kontrolliert.

Perkutane K-Draht-Osteosynthese

Das Verfahren eignet sich für einfache Zweifragmentfrakturen im chirurgischen Hals jüngerer Patienten. Beim geschlossenen Vorgehen kann man versuchen, die Stellung mit K-Drähten zu stabilisieren. Man verwendet dabei Drähte der Stärke 2 mm und bohrt sie perkutan durch die laterale Kortikalis im Bereich des Ansatzes des M. deltoideus am proximalen Humerus schräg nach oben in den Humeruskopf. Dafür bestimmt man zunächst mit Hilfe des Bildwandlers den gewünschten Eintrittspunkt und die Zielrichtung. Es kann sehr mühsam sein, die Kortikalis im gewünschten Winkel zu perforieren, weil die Drahtspitze an der Kortikalis tangential abgelenkt wird. Dies lässt sich durch Ankörnen der Kortikalis verhindern. Dazu bohrt man mit der Trokarspitze des Drahts am gewünschten Eintrittspunkt zunächst nur ohne Druck so lange, bis man eine ausreichende Vertiefung geschaffen hat. Erst dann wird der Druck forciert. Man bohrt nun durch die laterale Kortikalis bis ins proximale Hauptfragment vor und verankert die Drahtspitze in der Gegenkortikalis, ohne die Gelenkfläche zu perforieren.

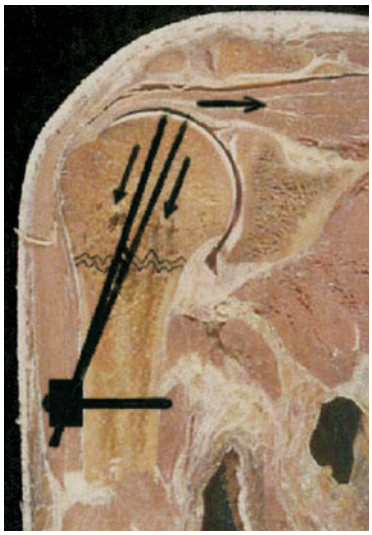
Da bei der tangentialen Perforation der Kortikalis die Spitzen von Gewindedrähten leicht abbrechen, werden im eigenen Vorgehen nur Drähte mit Trokarspitzen benutzt. Aber ganz unabhängig davon wird das Verfahren sehr häufig von Komplikationen begleitet. Darüber sollten die Patienten eingehend aufgeklärt werden, damit sie, wenn die typischen Probleme eintreten, nicht das Gefühl haben müssen, sie seien falsch behandelt worden.

Die K-Drähte wandern im relativ weichen Knochen des proximalen Humerus meist der Schwerkraft folgend nach lateral, gelegentlich auch nach medial ins Gelenk. Außerdem irritieren die K-Draht-Enden regelmäßig den Weichteilmantel, und zwar auch dann, wenn sie nicht gelockert sind. Dies geschieht zwangsläufig durch nachlassende Weichteilschwellung und beginnende Muskelatrophie. Die anfangs ausreichend weit unter das Hautniveau eingekürzten Drahtenden nähern sich durch den allmählich schwindenden Weichteilmantel immer mehr dem Hautniveau, verursachen Druckbeschwerden und schließlich Perforationen. Bei Beschwerden oder drohender Perforation sollte man die Drähte einkürzen. Dazu wird über dem gut tastbaren Drahtende ein subkutanes Lokalanästhetikumdepot gesetzt, dann eine Stichinzision angelegt, das Drahtende entwickelt und der Weichteilmantel mit einem Saitenschneider über dem Draht so weit wie möglich in Richtung Knochen geschoben. Dann braucht man den Draht nur noch zu kappen. Gelockerte Implantate können gleich ganz entfernt werden, weil sie ohnehin keinen Halt mehr vermitteln.

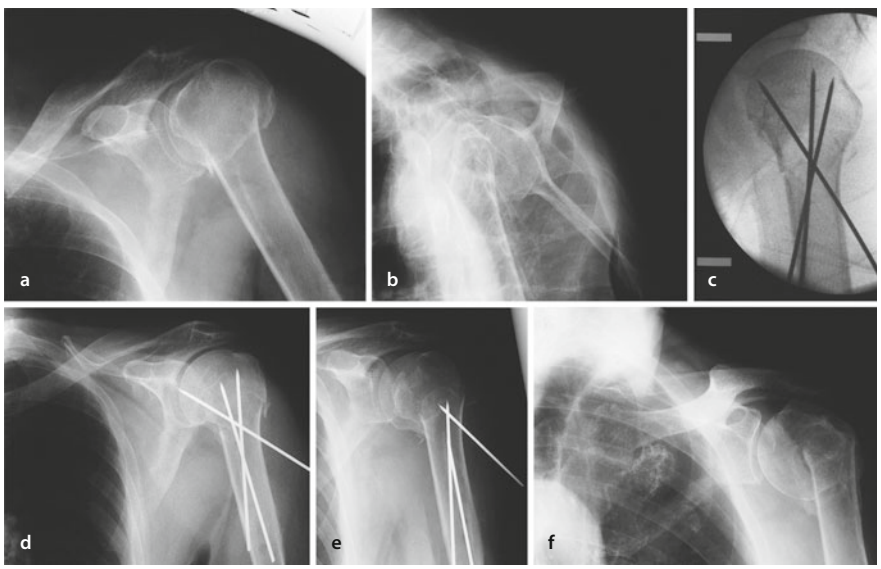
Das Verfahren ist ein Wettlauf zwischen Drahtlockerung und Frakturheilung: Wenn die Implantate so lange Stabilität vermitteln, bis die Fraktur fest genug ist, dass die erreichte Korrektur nicht mehr verloren geht, ist er gewonnen. Die Chancen dafür sind beim jugendlichen Patienten mit festerer Knochenqualität höher als beim alten. Im osteoporotischen Knochen finden die Drähte meist nicht ausreichend Halt und wandern häufig schon von Anbeginn (◘ Abb. 5.59).

Humerusblock nach Resch (2003)

Zwei K-Drähte der Stärke 2,2 oder 2,5 werden durch eine Klemmschraube, dem so genannten Humerusblock, von kaudal und lateral nach kranial und medial in den Humeruskopf eingebohrt.



◘ **Abb. 5.60** Wirkungsweise des Humerusblocks. Kirschner-Drähte reichen bis subchondral, sie sind in Klemmbacke als auch in Kortikalis fixiert und sind dadurch rotationsstabil. Sie erlauben das Nachsetzen des Kopfs während der Umbauvorgänge im Bruchspalt (kontrolliertes, geführtes Gleiten). Kirschner-Draht-Spitzen befinden sich im festen Knochen, sodass der Kopf nicht verkippt. Durch annähernde Rechtwinkelstellung der Kirschner-Drähte zur Zugrichtung der RM entsteht keine Varuskippung. (Aus: Resch 2003)



◘ **Abb. 5.59** Typische Komplikation einer mit K-Drähten versorgten Zweifragmentfraktur des proximalen Humerus bei einem 88-jährigen Mann. **a, b** Die Fraktur ist verkürzt (**a**) und nach dorsal abgekippt (**b**). **c** Sie lässt sich geschlossen anatomisch stellen und wird mit 3 K-Drähten perkutan versorgt. **d** 5 Tage postoperativ sind 2 der 3 Drähte etwas gewandert. **e** Nach 17 Tagen ist kein Draht mehr im proximalen Fragment und die Fraktur beginnt wieder abzukippen. **f** Die Fraktur heilt schließlich mit deutlicher Fehlstellung und entsprechender Funktionseinbuße aus

Der Humerusblock wird zuvor im proximalen Schaft etwa 5 cm unterhalb der Fraktur verschraubt. Dazu bedarf es lediglich einer etwa 3 cm langen Längsinzision. Der Block wird zunächst nur locker fixiert und erst später festgezogen, wenn die K-Drähte liegen, um sie dadurch stabil im Block zu verklemmen, damit sie nicht wandern können (Abb. 5.60).

Die beiden K-Drähte werden zunächst nur bis zur Frakturhöhe eingebohrt, also vorgelegt. Dann wird die Fraktur geschlossen reponiert, ggf. unter perkutaner Manipulierung eines eingestauchten Kalottenfragments mit dem Elevatorium. Erst wenn eine anatomische Reposition erreicht ist, werden die Drähte bis subchondral vorgebohrt, damit sie dort Halt finden, wo beim alten Menschen noch fester Knochen vorhanden ist. Dadurch verkippt die Kopfkalotte nicht, sie kann allerdings sintern. Die Drahtspitzen perforieren dann die Knorpel-Knochengrenze. In diesem Fall würde man, wenn die Fraktur eine gewisse Festigkeit erreicht hat, was nach etwa 3 Wochen gegeben sein dürfte, eine vorgezogene Implantatentfernung durchführen. Dies kann in Lokalanästhesie geschehen. Aschauer und Mitarbeiter (2007) haben die Operationstechnik detailliert beschrieben.

Plattenosteosynthese

Das Verfahren eignet sich für Zwei- bis Vierfragmentfrakturen im chirurgischen Hals und mit Einschränkung auch für solche im anatomischen Hals (s. unten).

Bis vor wenigen Jahren hat man dafür noch herkömmliche Großfragment-T-Platten verwendet. Diese Implantate haben den großen Nachteil, dass sie in sich nicht stabil sind. Die Ruhigstellung einer Fraktur wird nur durch einen konstanten hohen Anpressdruck der Platte in ihrem Knochenlager vermittelt. Dieser Anpressdruck wiederum ist von einem anhaltend festen Schraubensitz abhängig. Häufig lockerten die Platten aber im Rahmen der funktionellen Nachbehandlung aus oder fanden bereits primär im osteoporotischen Knochen zu wenig Halt. Das Auslockern der Schrauben führt in bis zu 50% der Fälle zum Implantatversagen (Kettler et al. 2006). Die Folge ist eine verzögerte Bruchheilung, ein Repositionsverlust und im schlimmsten Fall sogar eine lockerungsbedingte Infektion. Außerdem besteht bei dieser Versorgungsart ein erhöhtes Risiko der Humeruskopfnekrose bei Vierfragment- und Luxationsfrakturen. Dabei wird angenommen, dass durch die offene Reposition und das Einbringen eines relativ großen Implantats die Kalotte zusätzlich schlechter durchblutet wird (Gerber 1998, Lill 2001).

Mittlerweile gibt es aber speziell für die anatomischen und biomechanischen Gegebenheiten der Frakturen des proximalen Humerus zugeschnittene winkelstabile Plattenfixateure von verschiedenen Anbietern (z.B. Philos, Fa. Synthes; winkelstabile Platte, Fa. Mathys; NCB-PH, Fa. Zimmer). Die neuen winkelstabilen Systeme haben sich sehr bewährt und die vielen alternativen Methoden, die bis dato miteinander konkurrierten, in den Hintergrund gedrängt. Hente und Mitarbeiter (2004) haben bei der Versorgung von Drei- und Vierfragmentfrakturen eine nur geringe Komplikationsrate und in einem hohen Prozentsatz ein befriedigendes bis sehr gutes klinisches Ergebnis gefunden. Um eine sekundäre Dislokation zu vermeiden, empfehlen sie die Zuggurtung der Tuberkula an die Löcher des Plattenfixateurs. Bei vorsichtiger Reposition ohne Ablösung der Rotatorenmanschette und des Periosts findet sich im Vergleich zu anderen Verfahren eine niedrige Rate von Humeruskopfnekrosen. Sogar 40% der Vierfragmentfrakturen erreichten mindestens befriedigende Ergebnisse, weshalb die Autoren auch bei diesen schweren Verletzungen vor der Prothetik die Indikation zur Osteosynthese sehen (Abb. 5.61).

In diesem Zusammenhang ist interessant, dass auch bei alten Patienten mit Humeruskopffrakturen in der Regel die Rotatorenmanschette intakt ist, denn dies ist ja neben einer korrekten Osteosynthese die Voraussetzung für den Rückgewinn einer guten Funktion. Parsch und Wittner (2000) haben in einer prospektiven Studie nur bei 5 % der Patienten, die älter als 65 Jahre waren und sich eine Humeruskopffraktur zugezogen hatten, intraoperativ einen Rotatorenmanschettendefekt gefunden.

Laut Kettler und Mitarbeiter (2006) lassen sich die winkelstabilen Marknägeln und Platten fester im osteoporotischen Knochen verankern. Dadurch wird das Risiko der sekundären Dislokation reduziert. Der Halt der Reposition ist nicht mehr nur vom An-

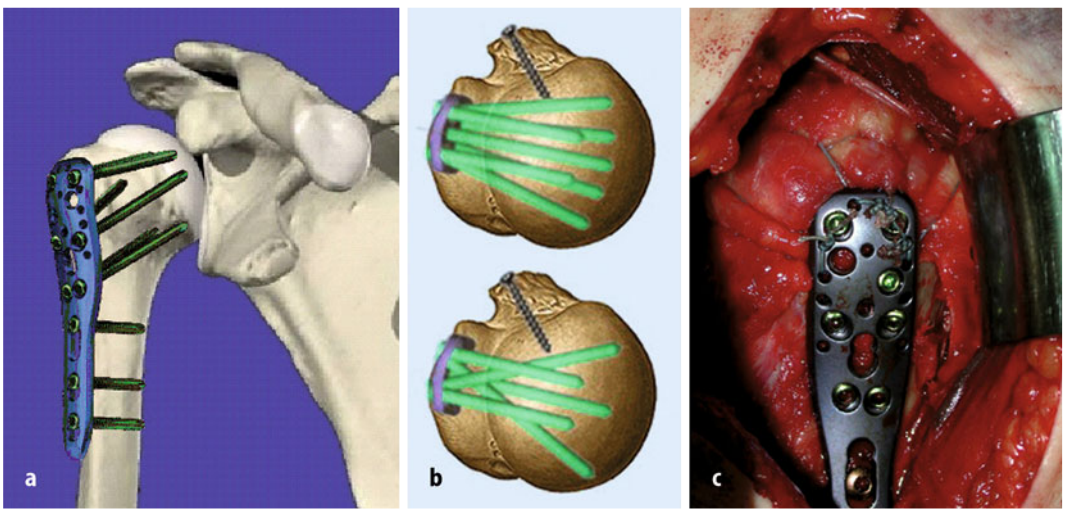


Abb. 5.61a–c Anatomisch geformte winkelstabile Platte (Philos, Fa. Synthes). **a** Im Kopfbereich bestehen 9 verschiedene Möglichkeiten, die 3,5 mm Verriegelungsbolzen einzubringen. **b** Die in allen Ebenen divergierenden Schrauben verschränken sich in der Kalotte und erreichen eine Stabilisierung unter Umgehung einer Zugwirkung auf den Knochen. **c** Sicht von lateral auf eine implantierte Platte. Durch die Zuggurtung der gesamten Rotatorenmanschette mit nicht resorbierbaren Fäden an die Platte können sekundäre Dislokationen mit hoher Sicherheit verhindert werden. (Aus: Hente et al.2004)

pressdruck abhängig, sondern von der Anzahl und der räumlichen Anordnung der Schrauben im Humeruskopf. Das Periost und damit die Durchblutung im Frakturbereich werden zudem weniger kompromittiert.

Winkelstabiler Plattenfixateur

In Strandstuhlposition des Patienten wird ein ventraler Zugang zum proximalen Humerus geschaffen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der Frakturbereich wird auf periostalem Niveau vorsichtig mit Hohmann-Hebeln exponiert. Noch schonender ist es, nur einen Spreizer einzusetzen. Die Frakturränder brauchen nicht freigelegt zu werden, um die Stellung beurteilen zu können. Wenn man beim nun folgenden Einrichten des Bruchs versucht, die Fragmente direkt zu fassen und gegen den Zug der Muskulatur aufeinander zu stellen, wird die Reposition erschwert, denn der Knochen im Bereich des proximalen Humerus ist relativ zerbrechlich und hält dem Druck von Repositionszangen und großen Hebelkräften nicht stand. Um bei der Stellungskorrektur keinen Schaden anzurichten, empfiehlt es sich deshalb, mit indirekten Kräften zu arbeiten, die nicht an den Fragmenten selbst ansetzen. Die Fraktur wird wie beim geschlossenen Vorgehen durch Zug am gebeugten Arm eingerichtet. Der Oberarm wird nach dorsal gehebelt, um der Ventralisierung und Medialisierung durch den Zug des M. pectoralis major entgegenzuwirken. Eine häufig bestehende Varisierung der Fraktur kann durch zusätzliches valgisches Hebeln am Oberarm ausgeglichen werden. Die korrekte Rotation lässt sich durch Drehen des Arms und anhand des zackig berandeten Verlaufs der Hauptfragmente einstellen.

Die erreichte Stellung wird vom Assistenten gehalten. Dann wird die winkelstabile Platte anterolateral angelagert, sodass deren Kröpfung in der Konkavität des chirurgischen Halses zu liegen kommt. Nur dann ist sie ausreichend weit kaudal angelagert und verusacht später kein subakromiales Impingement. Die Platte soll die Bizepssehne nicht irritieren. Sie wird zunächst nur mit dünnen K-Drähten vorfixiert und die Tuberkula werden ggf. mit reißfesten Nähten armiert und in dafür vorgesehenen Löchern der Platte eingezogen, um sie später daran fixieren zu können. Dann kontrolliert man Plattenlage und Frakturstellung unter Bildwandler.

Wenn die Platte wenige Millimeter kaudal der Tuberkulumspitze liegt und in der Flucht des Schafts ausgerichtet ist, wird sie mit Schrauben fixiert. Kettler und Mitarbeiter (2006) benutzen am distalen Hauptfragment nur Kortikalisschrauben und am proximalen winkelstabile. Da die Platte dem anterolateralen Aspekt des proximalen Humerus nachgeformt ist, kann man sie als Repositionshilfe nutzen. Die Tendenz zur Medialisierung des Humusschafts gegenüber dem gelenkflächentragenden proximalen Hauptfragment, die durch den Zug des M. pectoralis major vermittelt und bei der indirekten Reposition durch Zug am Arm und Hebeln ausgeglichen wird, lässt sich durch den Einsatz einer Kortikalisschraube im ovalären Gleitloch des distalen Plattenanteils meist vollständig ausgleichen.

Nach Setzen dieser Schraube kann man die Stellung und Plattenlage unter Bildwandlerkontrolle erneut in 2 Ebenen beurteilen. Im a.p.-Strahlengang (bei streng seitlich eingestellter Platte) soll der obere Plattenrand einige Millimeter distal der Tuberculum-majus-Spitze liegen, damit sie bei abduziertem Arm nicht unter dem Schulterdach einklemmt. In der axialen Röntgenebene, wo man die Plattenlage in der Aufsicht beurteilen kann, richtet man den distalen Schenkel des Implantats um den Drehpunkt der Kortikalisschraube parallel zur Flucht des Humerusschafts aus. Wenn diese beiden Kriterien erfüllt sind, fixiert man den langen Schenkel mit zwei winkelstabilen Schrauben am Humerusschaft. Nun ist die Platte am distalen Hauptfragment bereits stabil verankert. Dadurch kann man jetzt den proximalen Plattenanteil als Hypomochlion für die Reposition des noch nicht fixierten proximalen Hauptfragments nutzen. Meistens ist das gelenkflächentragende Kalottenfragment varisch verkippt und etwas eingestaucht. Man kann es mit einer Repositionszange fassen und an die Platte unter Ausgleich der varischen Verkippung heranreponieren. Eine neuerliche Röntgenkontrolle gibt Aufschluss über die erreichte Stellungskorrektur in beiden Ebenen. Anschließend wird auch dieses Fragment mit winkelstabilen Schrauben fixiert.

Bei Drei- oder Vierfragmentfrakturen mit einem bzw. 2 abgesprengten Tuberkula werden die Fragmente mit reißfesten Haltefäden (z.B. nicht resorbierbarer Fibre-wire) armiert, um sie reponieren und an der Platte fixieren zu können. Der Plattenfixateur hat mehrere kleine Löcher, in die man die armierenden Fäden einziehen kann. Dies gelingt aber nur, solange die Platte noch nicht der knöchernen Kontur des proximalen Hauptfragments anliegt. Die Fäden müssen bereits vor der endgültigen Reposition durch die dafür vorgesehenen Plattenlöcher gezogen werden. Dann wird das Kalottenfragment mit einer Repositionszange eingestellt. Anschließend passt man die Tuberkula in die Defektzonen ein, führt eine Röntgenkontrolle durch und fixiert die Fraktur mit winkelstabilen Schrauben und den vorgelegten Armierungsfäden.

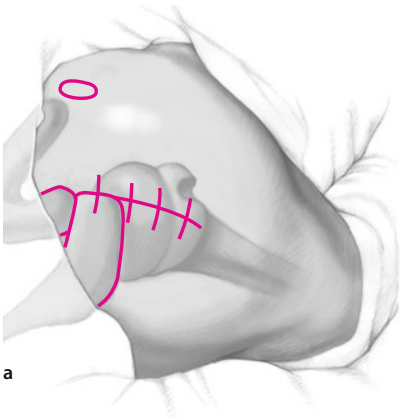
Kettler und Mitarbeiter (2006) verankern die Platte bei eingestauchten Zweifragmentfrakturen erst im proximalen Hauptfragment, um anschließend mit dem freien, distalen Plattenschenkel eine Varisierung und Einstauchung ausgleichen zu können. Die Schrauben im Humeruskopf sollen möglichst weitflächig verteilt werden. Durchschnittlich verwendeten sie 6 Schrauben von 9 möglichen. Bei Head-split-Frakturen oder Luxationsfrakturen eröffnen die Autoren das Rotatorenmanschettenintervall, um die korrekte Reposition beurteilen zu können.

Laut Resch (2003) sollen bei winkelstabilen Implantaten die Schraubenspitzen von der Knorpel-Knochengrenze im Kopfbereich alter Patienten mit osteoporotischem Knochen 3–5 mm entfernt bleiben. Anderenfalls droht die Gefahr der Perforation im Rahmen von Sinterungsvorgängen. Intraoperativ muss der Humeruskopf zum Abschluss der Osteosynthese in allen verfügbaren Ebenen unter Bildwandlerkontrolle durchbewegt werden, um zu lange Schrauben rechtzeitig zu entdecken und gegen kürzere austauschen zu können.

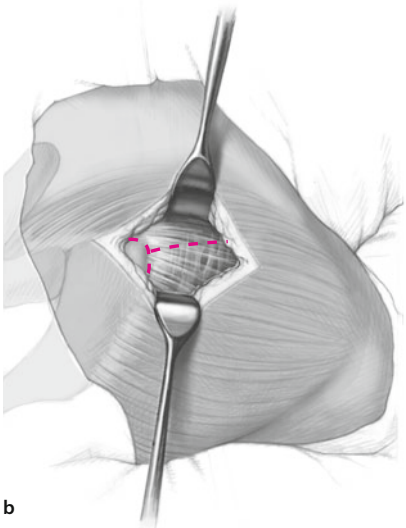
Proximaler Humerusnagel

In den letzten Jahren haben mehrere Firmen proximale Humerusnägel auf den Markt gebracht (z.B. Targon-PH-Nagel, Fa. Aesculap; T2-PHN, Fa. Stryker; PHN, Fa. Synthes). Mit diesen Implantaten lassen sich insbesondere die subkapitalen Zweifragmentfrakturen gut versorgen, bei denen eine relativ starke Hebelwirkung auftritt. Aber auch Drei- und mit Einschränkung auch Vierfragmentfrakturen können damit versorgt werden. Resch (2003) hält rigide Implantate wie Platten oder Nägel bei guter Knochenqualität und komplexen Frakturen, die nicht perkutan reponiert werden können, für gut geeignet.

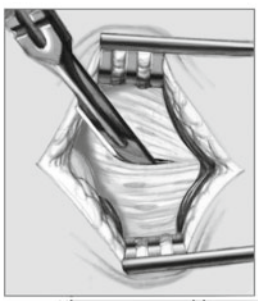
Die Nägel werden über einen kurzen transdeltoidalen Zugang eingebracht (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Die Rotatorenmanschette wird in der Belastungsrichtung längs gespalten, der Markraum eröffnet, ein Führungsdraht positioniert und seine korrekte Lage im Markraum unter Bildwandler überprüft. Über den Führungsdraht wird der Markraum vorsichtig erweitert und anschließend ein proximaler Humerusnagel mit aufgesetztem Zielbügel vorgeschoben. Durch das Implantat richtet sich die Fraktur achsengerecht aus, wenn man das Kopffragment zuvor in der korrekten Flucht mit

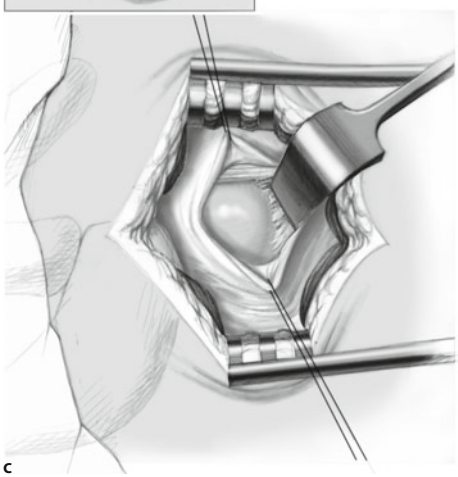


a

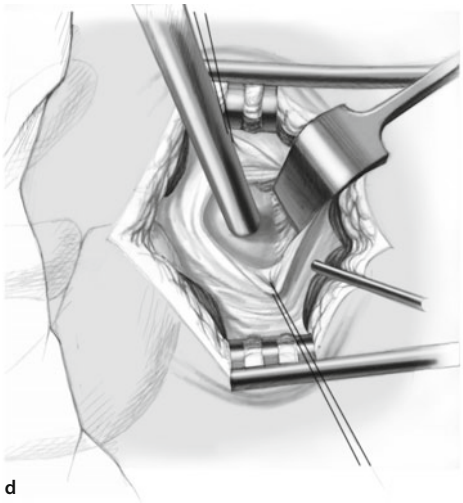


b



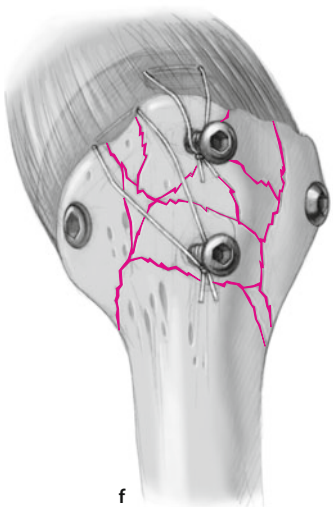


c



d

e



f

Abb. 5.62a–f Proximaler winkelstabiler Humerusnagel (Targon-PH-Nagel, Fa. Aesculap). **a** Anatomische Landmarken für den Zugang sind Akromion, laterales Klavikulaende, Korakoid. **b** Der Deltamuskel wird 2–3 cm weit stumpf in Faserrichtung gespreizt und sein Ursprung wenige Zentimeter weit subperiostal vom Vorderrand des Akromions abgelöst. **c** Die Rotatorenmanschette wird in Zugrichtung eröffnet und mit Haltefäden armiert. **d** Das proximale Hauptfragment wird z.B. mit Hilfe eines K-Drahts, den man als Joystick nutzen kann, in der Flucht des Schafts ausgerichtet. Dann bohrt man am höchsten Punkt der Kalotte einen Führungsdorn ein, der anschließend mit einer Hohlfräse überbohrt wird. Durch diesen Schritt wird die spätere Position des Nagels festgelegt. Deshalb sollte er unter Bildwandlerkontrolle erfolgen. **e** Einbringen des Nagels ebenfalls unter Bilderwandlerkontrolle. **f** Knöcherne Rotatorenmanschettenausrisse können mit nicht resorbierbaren Fibre-wire-Fäden refixiert werden. (Aus: Mathews u. Lobenhoffer 2007)

dem Führungsdraht aufgefädelt hat. Die korrekte Ausrichtung des Kopffragments ist der Schlüssel für ein gutes Repositionsergebnis. Deshalb muss man sich für diesen Schritt der Operation etwas Zeit nehmen und bedenken, dass das Kopffragment bei intakter Rotatorenmanschette varisch verkippt steht. Unter Bildwandlersicht kann man die Stellung des Kopfs in Bezug zum distalen Hauptfragment z.B. mit einer Repositionszange einstellen. Noch einfacher ist es, das Kalottenfragment mit einem 2,5 mm starken K-Draht zu dirigieren. Den Draht kann man kraniolateral einbohren und als Joystick benutzen.

Damit man den Nagel am Vorderrand des Schulterdachs vorbei in die Flucht des reponierten Markraums einbringen kann, ohne vom Schulterdach abgelenkt zu werden, positioniert man den Arm des Patienten möglichst weit retrovertiert. Das Nagelende muss subchondral versenkt werden, damit kein subakromiales Impingement verursacht wird. Wenn der Nagel in der gewünschten Höhe steht, was unter Bildwandler überprüft wird, können die verschiedenen Verriegelungsschrauben über die Zielhilfe auf einfache Art und Weise und sehr gewebeschonend eingebracht werden. Insbesondere wenn in der Nähe von Nerven verriegelt wird, müssen die Wege für die Gewebeschutzhülse durch stumpfes Auseinanderspreizen der Muskulatur präformiert werden (◘ Abb. 5.62).

Die Tuberkula werden perkutan mit spitzen Repositionszangen, einem Einzinkerhaken oder einem K-Draht reponiert und temporär gehalten. Anschließend werden sie mit jeweils einer Verriegelungsschraube am Nagel stabilisiert. Eine bis drei Schrauben kommen ins distale Hauptfragment. Manche Nagelsysteme besitzen eine Abstützfunktion für das Kalottenfragment (z.B. der Varion-Nagel, Fa. Tantum). Sie wird realisiert durch die aszendierende, sich überkreuzende Anordnung zweier langer Schrauben.

Der Nachteil der proximalen Humerusnägel ist, dass beim halb offenen Reponieren Mehrfragmentfrakturen nur bedingt korrigiert und durch die vorgegebenen Positionen der Verriegelungsschrauben die einzelnen Fragmente nicht immer stabil versorgt werden können. Deshalb sind diese Implantate am besten für subkapitale Zweifragmentfrakturen und Pseudarthrosen geeignet (◘ Abb. 5.63). Bei den Mehrfragmentfrakturen bieten die winkelstabilen Plattensysteme Vorteile.

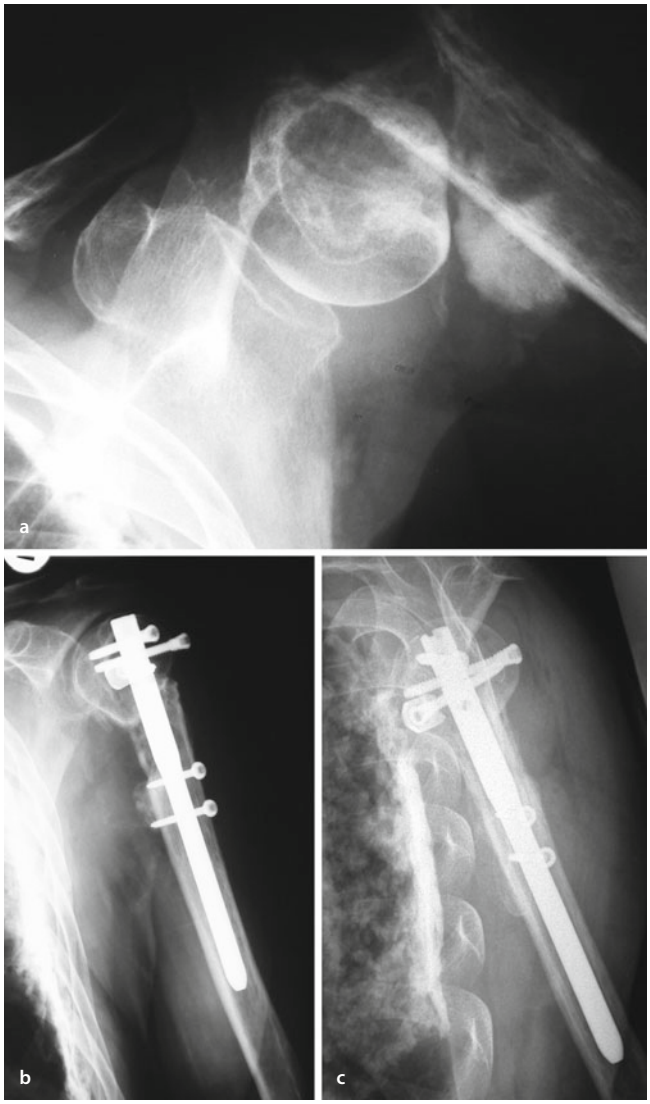
Retrograder Verriegelungsnagel

Frakturen im chirurgischen Hals mit großem proximalem Hauptfragment kann man auch mit einem retrograd eingebrachten Verriegelungsnagel versorgen, z.B. einem unaufgebohrten Humerusnagel. Das Vorgehen hat den Vorteil, dass die Rotatorenmanschette nicht tangiert wird. Es ist detailliert in ▶ Kap. 6, Abschnitt 6.2.1, Humerusschaftfrakturen: Verfahrensweisen: Unaufgebohrter Humerusnagel (UHN) – Retrograde Insertion beschrieben (◘ Abb. 5.64).

Typ C: Zwei- bis Vierfragmentfraktur im anatomischen Hals

Isolierte Kopfkalottenfrakturen sind sehr selten. Sie gelten wie Schenkelhals- und Talusfrakturen als Notfallindikation, weil eine sofortige Reposition und Stabilisierung die Revaskularisierung begünstigt. Die Reposition gelingt nur offen. Zwei Großfragmentzugschrauben vermitteln nur bei guter Knochenqualität ausreichend Stabilität. Deshalb eignet sich die Versorgung nur für jüngere Patienten. Dagegen ist bei älteren Patienten, insbesondere bei ausgeprägter Dislokation, die Indikation zum primären prothetischen Ersatz gegeben, wobei das Risiko der Kalottennekrose bei zusätzlichem Abriss der Tuberkula am höchsten ist.

Laut Brunner u. Schweiberer (1996) sollte eine kopferhaltende Versorgung innerhalb der ersten 12–24 h erfolgen, weil dann die Ergebnisse nachweislich besser sind als bei verzögertem Vorgehen, das sich nur bei endoprothetischem Gelenkersatz bewährt.



◘ **Abb. 5.63a–c** **a** 76-jährige Alkoholikerin mit Pseudarthrose nach proximaler Humerusdreifragmentfraktur links. **b, c** 4 Monate nach Osteosynthese mit einem proximalen Humerusnagel ist die Fraktur knöchern fest verheilt

Osteosynthese

Die Frakturen sind im anatomischen Hals häufig eingestaucht und valgisch gekippt. Die frakturierten Tuberkula überragen die Gelenkfläche. Zwei verschiedene Vorgehensweisen sind nun möglich. Es gibt Autoren, welche die Impaktion nicht lösen, weil dadurch die Gefahr der Kopfnekrose steigt. Sie ziehen dafür die abgesprengten Tuberkula nach distal und verankern sie dort. Dabei muss auf eine ausreichende Vorspannung geachtet werden, damit eine gelenkgerechte Stellung erreicht wird. Andere Autoren lösen die Einstauchung. Dazu kann man die beiden Tuberkula mit Haltefäden armieren und auseinander ziehen, dann stößt man auf die nach kaudal verlagerte, eingestauchte Gelenkfläche, die nun mit einem Raspatorium lateral aus ihrer Verkeilung gelöst und unter Erhaltung der medialen periostalen Verbindung aufgerichtet wird. Lateral und ventral lassen sich dann die Tuberkula mit den anhängenden Sehnenanteilen anlagern. Der zentrale knöcherne

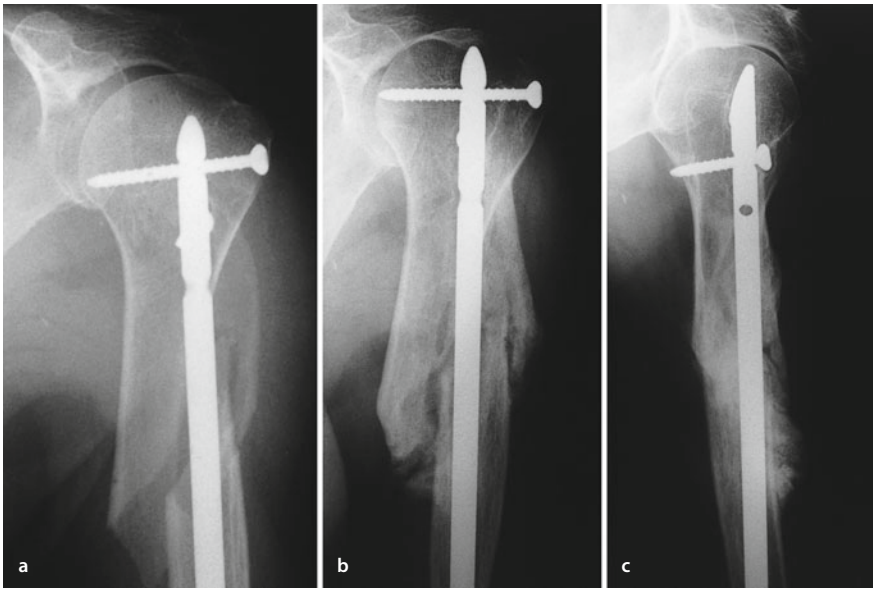


Abb. 5.64a–c **a** Stabilisierung einer weit nach proximal reichenden Humerusfraktur mit einem retrograd eingebrachten unaufgebohrten Humerusnagel. **b,c** Röntgenkontrolle bei Frakturkonsolidierung nach 4 Monaten

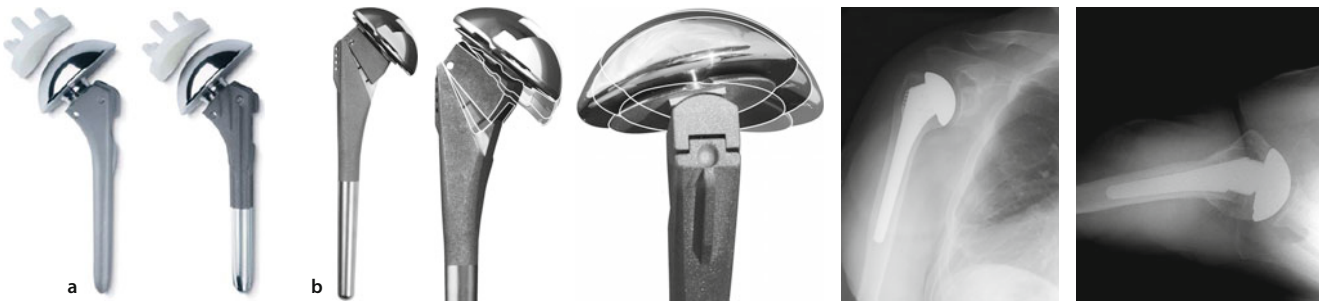


Abb. 5.65a,b Moderne Schulterprothesen der 4. Generation. **a** Anatomica Fa. Zimmer. **b** Univers-Prothese, Fa. Arthrex. (Aus: Wiedemann 2006)

Defekt wird zuvor mit einem kortikospongiösen Span aus dem Beckenkamm oder einem Stück Spenderknochen aufgefüllt. Dadurch erhält man eine gute Abstützung, die eine Plattenosteosynthese ermöglicht bzw. die Kräfte reduziert, die auf den winkelstabilen Plattenfixateur einwirken.

Resch (2003) unterscheidet zwischen Abrissfrakturen, die grundsätzlich eine Tendenz zur Varusfehlstellung haben und den Stauchungsfrakturen mit Valgusfehlstellung. Bei der Therapie nutzt er intakte periostale Verbindungen und spricht in diesem Zusammenhang vom medialen Scharnierperiost. Bei Valgusfrakturen sind Zuggurtungen zur Fixation der Tuberkula üblicherweise nicht nötig, weil das Periost in der Regel nicht zerrissen ist, sodass intertuberkuläre Nähte für deren Stabilisierung ausreichen.

Endoprothetischer Ersatz

Die funktionellen Ergebnisse nach endoprothetischem Ersatz der Schulter bleiben nicht selten weit hinter den Erwartungen des Patienten und Operateurs zurück. Dies hängt mit dem komplexen Aufbau des Gelenks und dessen vielschichtiger Pathologie zusammen und damit, dass für die Implantation nur wenig Platz zur Verfügung steht und die Biomechanik nur geringe Abweichungen toleriert. Wiedemann (2006) hat in einer Übersichtsarbeit den state of the art zusammengefasst:

Die modernen Prothesen der 4. Generation sind modular aufgebaut (Abb. 5.65). Neben der Wahl verschiedener Pfannen- und Kopfgrößen lassen sich Inklination, dorsomedialer Offset und Retroversion des Kopfs gegenüber dem Schaft variabel einstellen. Der Inklinationswinkel der Kalottenachse gegenüber dem Schaft beträgt 130°. Der dorsomediale Offset ergibt sich aus einer Versetzung des Zentrums der Kopfkalotte gegenüber der Schaftachse von wenigen Millimetern. Und der Retroversionswinkel des Kopfs gegenüber dem Schaft beträgt 20° (Abb. 5.66).

Die Wahl einer großen Kopfkalotte ermöglicht einen großen Bewegungsumfang. Gleichzeitig darf aber die Weichteilspannung des Gelenks nicht zu groß werden, sonst wird die Schulter zu steif und die Beweglichkeit wird eingeschränkt. Man spricht dann von overstuffing.

Bei Translationsbewegungen des Kopfs wird die Pfanne exzentrisch belastet. Dies führt zum Polyäthylenabrieb auf der Belastungsseite und gleichzeitigen Entlastung des gegenüber liegenden Pfannenrandes. Dieses so genannte **Schaukelpferdphänomen** kann auf die Dauer eine Lockerung verursachen mit Lysesäumen auf der Seite, die der stärksten Translationsbelastung gegenüber liegt. Um das Schaukelpferdphänomen zu reduzieren wurde bei Prothesen der 3. und 4. Generation der Pfannenradius 5 mm größer gewählt als der Kalottenradius. Dieser so genannte mismatch begünstigt die physiologische Translation des Kopfs auf der flacheren Pfanne unter Schonung des Pfannenrandes, wobei aufgrund des vermin-

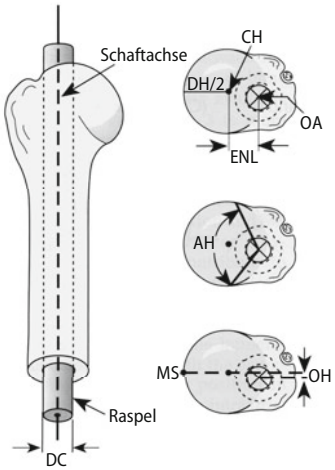


Abb. 5.66 Beziehung verschiedener Achsen an der Schulter. *AH* Mittelpunktwinkel der Kalotte, *DC* Durchmesser des Markraums, *DH* Durchmesser der Kalotte, *ENL* Effektive Halslänge, *MS* Mittelpunkt der Gelenkfläche, *OA* Schaftachse, *OH* Offset der Kalotte. (Aus: Wiedemann 2006)

derten Flächenkontakts der Polyäthylenabrieb zunimmt, der wiederum eine Lockerung begünstigt.

Wenn die Pfanne arthrostisch verändert ist, sollte sie mit ersetzt werden. Voraussetzung dafür ist eine intakte Rotatorenmanschette, weil sonst eine vorzeitige Lockerung droht, während bei konzentrischer Pfanne und erhaltenem Knorpel eine Hemiprothese angezeigt ist. Die Ergebnisse der Totalprothese sind bei primärer Omarthrose, posttraumatischer Arthrose und rheumatoider Arthrose der Hemiprothese überlegen (Walch et al. 2001).

Bei alten Patienten (75 Jahre und älter) ist die Implantation einer inversen Prothese bei 4-Part-Frakturen eine echte Alternative. Es gibt heute Prothesensysteme, bei denen ohne Schaftwechsel von einer anatomischen Prothese auf eine inverse Prothese umgeschwenkt werden kann, z.B. wenn die Tuberkula nicht eingeheilt sind.

Die Prothesenstiele werden überlicherweise zementiert und nur bei jungen Patienten mit sehr guter Knochenqualität unzementiert implantiert. Das Gleiche gilt für die Pfannenkomponenten, wobei zementfreie Pfanen, die sich in einer Metallschale abstützen, erst in der Phase der Erprobung sind.

Wiedemann (2006) betont in seiner Übersichtsarbeit die Wichtigkeit einer korrekten Planung. Das beginnt bereits mit der Abklärung, welche Erwartungen der Patient an die Versorgung hat. Das Spektrum reicht dabei von der bloßen Schmerzfreiheit bis hin zur Überkopftätigkeit. Außerdem müssen präoperativ ein Muskelstatus erhoben werden und die Funktion des Deltamuskels und der Rotatorenmanschette beurteilt werden. Der passive und aktive Bewegungsumfang wird ermittelt und die passive Rotierbarkeit des Kopfs gegenüber der Pfanne. Bei eingeschränkter Außenrotation muss bei der Implantation der Subskapularis mobilisiert und funktionell verlängert und die verengte ventrale Kapsel reseziert werden.

Die Schulter wird in 2 Ebenen geröntgt, true a.p., um die Inklination der Pfanne und die Höheneinstellung des Humeruskopfs zu erfassen, und axial, um die Einstellung des Kopfs in der a.p.-Ebene und den hinteren Pfannenrand beurteilen zu können. Gleichzeitig dienen die Bilder unter Berücksichtigung ihres 1,15-fachen Vergrößerungsfaktors für die Größenbestimmung der Prothesenkomponenten, die intraoperativ, ohne vorangegangene radiologische Beurteilung tendenziell zu groß gewählt werden. Das hängt damit zusammen, dass der Humeruskopf im kraniokaudalen Durchmesser größer ist als im a.p.-Durchmesser. Letzterer ist aber entscheidend für die richtige Wahl. Ein CT erlaubt, den Zustand der Gelenkflächen und die Verankerungsmöglichkeiten für die Prothese besser einzuschätzen. Im MRT lassen sich Rotatorenmanschette und Muskulatur beurteilen.

Die **häufigsten Indikationen** sind der nicht beherrschbare Schmerz bei:

- Primärer Arthrose,
- posttraumatischer Arthrose,
- avaskulärer Humeruskopfnekrose,
- rheumatoider Arthritis,
- Instabilitätsarthrose und
- Defektarthropathie.

Kontraindikationen bestehen bei:

- Akutem oder chronischem Infekt,
- irreversibler Nerven- oder Plexusschädigung, die auch den N. deltoideus betrifft, denn bei definitivem Ausfall des Deltoideus ist die Prothetik nicht sinnvoll,
- neurogener Gelenkzerstörung,
- schwere Begleiterkrankungen mit stark erhöhtem Narkoserisiko,
- fehlender Compliance (psychiatrische Erkrankungen, Alkoholismus).

Primäre Omarthrose. Typische Veränderungen sind zentraler Knorpelverlust, subchondrale Sklerosierung und Zystenbildung, Randosteophyten, freie Gelenkkörper sowie die Verkleinerung der vorderen und Vergrößerung der inferioren Kapsel. In knapp der Hälfte der Fälle entsteht auf dem Boden einer anterioren Kapselkontraktur und Muskelverkürzung eine schleichende posteriore Subluxation. Man spricht dann von der **obligaten Translation**, die bei der Implantation einer Totalendoprothese korrigiert werden muss.

Posttraumatische Arthrose. Die Fehlstellungen werden in 4 Gruppen eingeteilt (Abb. 5.67). Entscheidend für das funktionelle Ergebnis ist die Notwendigkeit der Tuberkulumosteotomie, die einen ungünstigen Einfluss hat. Bei intrakapsulärem Kollaps oder Nekrose der Kopfkalotte kann eine Prothese ohne Osteotomie des Tuberculum majus implantiert werden. Das gilt auch für die verhakte Luxation oder Luxationsfraktur. Pseudarthrosen im chirurgischen Hals lassen sich mit Spongiosaplastik und einem proximalen Humerusnagel zur Ausheilung bringen. Hingegen wäre beim Typ 4 mit schweren Fehlstellungen der Tuberkula die Osteotomie derselben unumgänglich bei Verwendung einer anatomischen Prothese. Aufgrund der zu erwartenden schlechten Ergebnisse bevorzugt Wiedemann in diesen Fällen jedoch die inverse Prothese, gesetzt den Fall, die Voraussetzungen dafür sind gegeben (s. unten).

Avaskuläre Humeruskopfnekrose. Sie entsteht häufig nach hochdosierter Kortisontherapie, aber auch bei Cushing-Syndrom, Hämoglobinopathien, Hyperlipidämie, Pankreatitis, Alkoholismus oder M. Gaucher. Im Frühstadium, wenn noch keine Formveränderungen der Kalotte eingetreten sind, ist eine Herdanbohrung mit Durchbrechung der Sklerosezone angezeigt. Ist die Kalotte eingebrochen, aber die Pfanne noch intakt, genügt eine Hemiprothese, anderenfalls wäre eine Totalendoprothese angezeigt.

Rheumatoide Arthritis. Eine Entzündung der Synovia zerstört die Gelenkflächen und greift auch die Rotatorenmanschette an. Das Therapieregime reicht stadienabhängig (Walch et al. 1999 und 2001) von der arthroskopischen Synovektomie mit anschließender Radiosynovioorthese über den Oberflächenersatz bis zur Hemi- und Totalprothese.

Instabilitätsarthrose. Eine oder mehrere Schulterluxationen können auf dem Boden einer verbleibenden Instabilität primär oder sekundär zu einer Omarthrose führen. Die sekundäre Instabili-

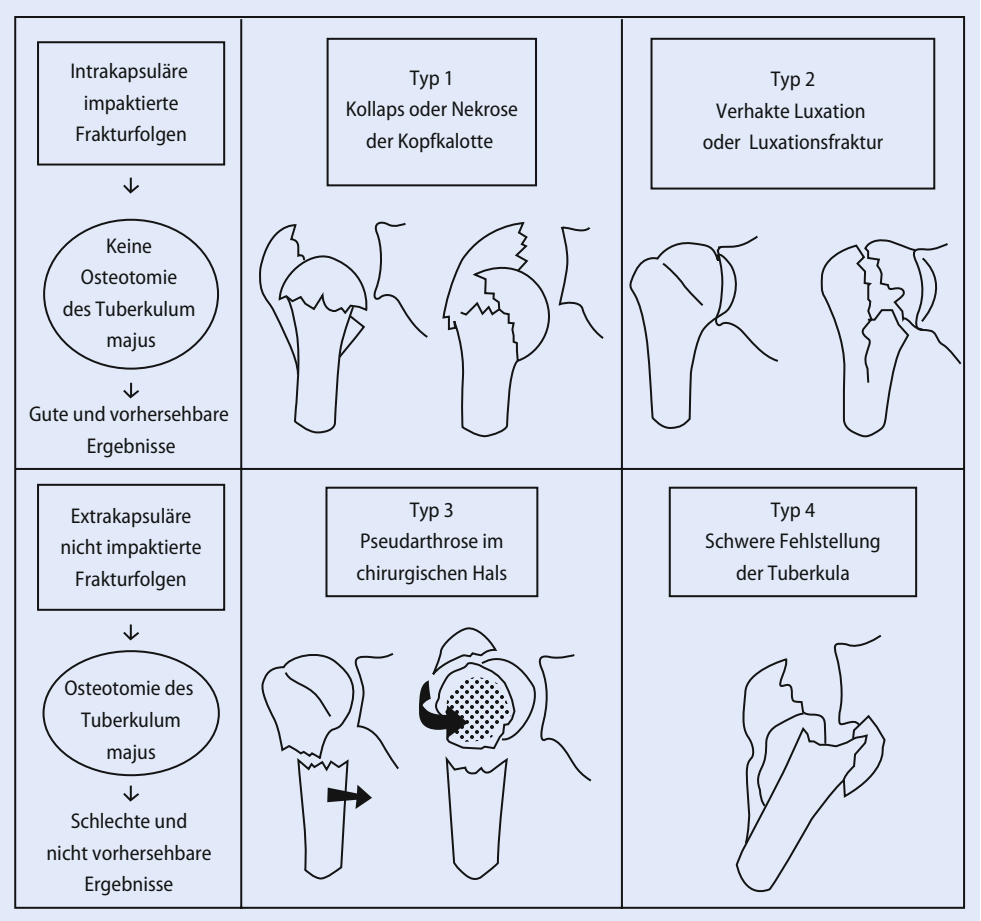


Abb. 5.67 Einteilung der Komplikationen nach Humeruskopffrakturen nach Boileau. (Aus: Wiedemann 2006)

tätsarthrose entsteht nach einer stabilisierenden Operation, welche die ventrale Kapsel zu stark eingeengt und zu einer pathologischen Translation des Humeruskopfs geführt hat oder bei der Knochenblöcke oder Implantate falsch positioniert wurden und die Kopfkalotte schädigen. Bei der Prothetik müssen der Zustand und die Stellung der Pfanne berücksichtigt werden. Die Gefahr, dass die Schulter postoperativ in die alte Fehlstellung zurückgedrängt wird, ist groß.

Defektarthropathie. Wenn ein Rotatorenmanschettendefekt vorliegt, ist ein anatomischer Gelenkersatz nicht mehr möglich. In diesem Fall ist die von Grammont 1986 vorgestellte inverse Prothese indiziert. Am knöchernen Pfannenlager wird eine »Metaglene« befestigt, darauf die »Glenosphäre«, ein Inlay und die »Epiphyse«, die ihrerseits auf dem Prothesenstiel aufsitzt – ein, laut Wiedemann (2006), genialer Entwurf (Abb. 5.68). Durch die Medialisierung und Kaudalisierung des Drehzentrums werden der Hebelarm und die Vorspannung des Deltoideus entscheidend verbessert, sein Kraftvektor auf die Pfanne zentriert und dadurch die auf die Glenosphäre einwirkenden Scherkräfte vermindert. Patienten mit inversen Prothesen (Inverse Prothese, Fa. DePuy; Aequalis, Fa. Tournier; Anatomica, Fa. Zimmer; Inverse Prothese, Fa Mathys) erreichen bei der Abduktion und Anteversion mittlere Werte von >120° (Walch el al. 2006). Mittlerweile werden mehr und mehr Spätfolgen fehlgeschlagener knöcherner Eingriffe an der Schulter mit diesem Prothesentyp behandelt. Allerdings kommt es mittelfristig zu einer Aushöhlung der inferioren Pfanne unter der Glenosphäre, dem so genannten Notching (Abb. 5.69).

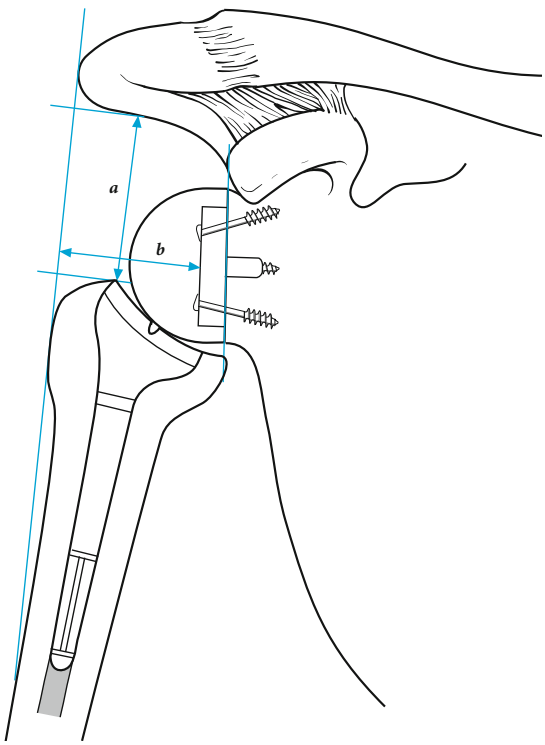


Abb. 5.68 Inverse Prothese nach Grammont. Der akromiohumerale Abstand a ist vergrößert und das Drehzentrum medialisiert (b)

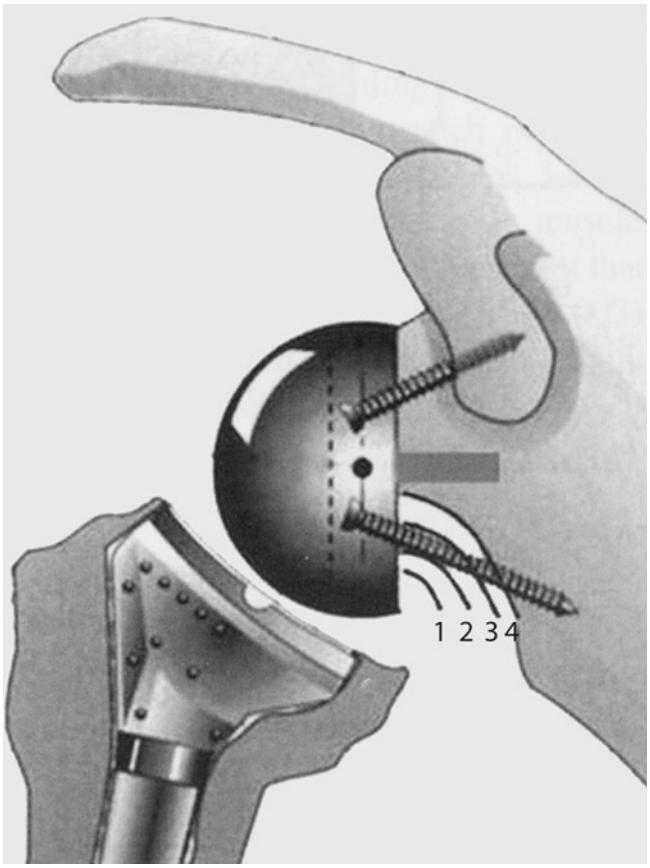


Abb. 5.69 Einteilung des Notching bei der inversen Prothese nach Sirveaux. Grad 1: Der Defekt betrifft die Margo lateralis der Skapula, 2 die untere Schraube der Metaglene, 3 geht darüber hinaus, 4 setzt sich unter die Metaglene fort. (Aus: Walch et al. 2006)

Aufgrund des Notching ist davon auszugehen, dass nach 10 Jahren etwa 30% der inversen Prothesen auslockern. Weil die Rückzugsmöglichkeiten begrenzt sind, wird deshalb gegenwärtig empfohlen, inverse Prothesen nicht ohne Not bei Patienten <70 Jahren einzusetzen (Wiedemann 2006).

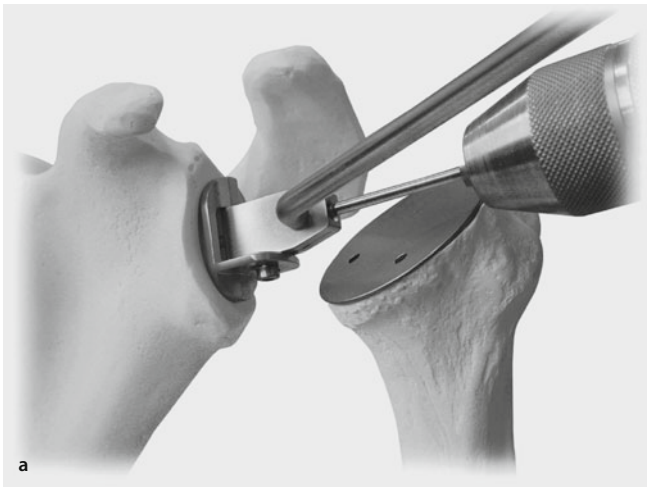
Operationstechnik für die Implantation einer Totalendoprothese. Der Patient wird in sitzender Position gelagert. Der Abstand des Arms vom Tischrand muss groß genug sein, damit der Arm neben der Tischkante so weit adduziert und retrovertiert werden kann, dass der Zugang zum Markraum nicht vom Akromion überdeckt wird. Es wird ein anteriorer Zugang zur Schulter geschaffen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Verkürzte Muskeln und Kapselanteile werden mobilisiert. Gegebenenfalls wird der Oberrand des Ansatzes des M. pectoralis gekerbt. Dann wird die Unterfläche des Deltamuskels vom Humeruskopf gelöst. Der laterale Rand der kurzen Oberarmbeuger am Humerusschaft wird mobilisiert. Das Ligamentum coracoacromiale wird für die Exposition des Rotatorenmanschettenintervalls getrimmt, aber nicht durchtrennt. Die Schicht hinter den kurzen Oberarmbeugern wird stumpf eröffnet und der N. axillaris inferior getastet und ggf. vorsichtig mobilisiert. Die Subskapularissehne wird bei außenrotiertem Arm abgelöst bzw. durchtrennt und der Muskel mobilisiert. Der Oberarmkopf wir bei abduzierten und außenrotierten Kopf ventral luxiert, mit Hohmannhebeln exponiert und von Osteophyten befreit, um den anatomischen Hals zweifelsfrei identifizieren und die Kopfkalotte in deren Verlauf resezieren zu können.

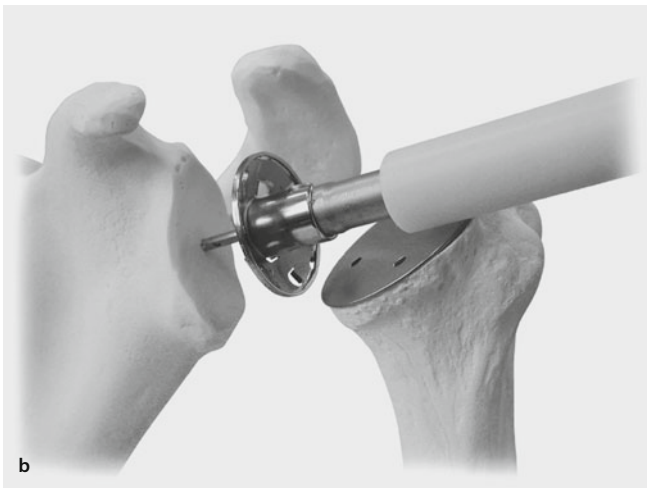
Anschließend wird die Resektionsebene mit einer Schutzplatte abgedeckt, die vordere Luxationsstellung aufgehoben und mit einem Retraktor oder Fukuda-Haken der proximale Humerus hinter die Pfanne verschoben. Damit dies möglich ist, muss die inferiore Kapsel reseziert werden. Dabei ist der N. axillaris gefährdet, dessen Verlauf getastet und der mit einem Langenbeck-Haken geschützt wird. Das Labrum wird samt dem Ursprung der Trizepssehne so weit abgelöst, bis die Pfanne komplett frei liegt. Dann wird parallel zur Skapulaebene ein zentraler Führungsdraht in das Zentrum der Pfanne gebohrt (Abb. 5.70a). Nach Entfernung des Restknorpels (Abb. 5.70b) werden die Löcher für die Pegs gebohrt (Abb. 5.70c). Pegs sind Vertiefungen, mit denen die Kontaktfläche für den Knochenzement vergrößert wird.

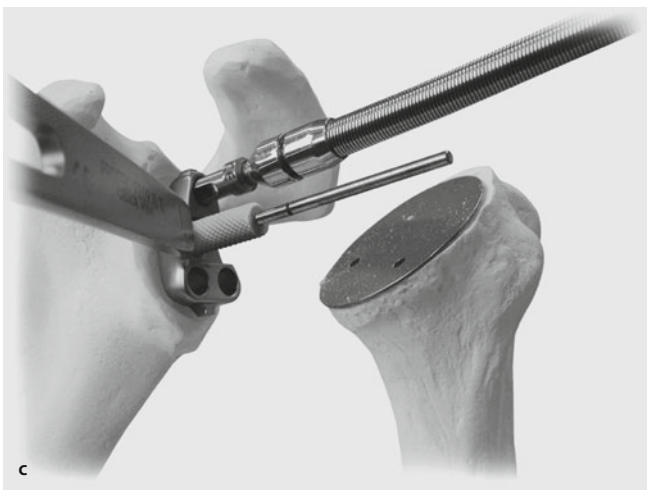
Bei der nun folgenden Probereposition der Pfanne achtet man darauf, dass sie überall guten Kontakt hat und nicht schaukelt. Dann wird die Pfanne einzementiert. Nach Aushärtung des Zements wird wieder der proximale Humerus exponiert. Am höchsten Punkt wird der Markraum eröffnet und mit Formraspeln in aufsteigender Größe erweitert, bis man Kontakt zur Kortikalis bekommt (Abb. 5.70d). Der Probekopf wird aufgesetzt und so gedreht, bis er die Resektionsebene abdeckt (Abb. 5.70e). Bei der Probereposition wird ermittelt, ob der Kopf um halbe Breite auf der Pfanne verschoben werden kann und dabei zurückfedert. Außerdem soll die Schulter spannungsfrei mindestens 80° innen- und 60° außenrotierbar sein, und die Hand muss an den Kopf gelangen. Wenn alles gut passt, wird der Schaft nach Setzen eines Markraumstoppers und Durchführen einer gepulsten Drucklavage einzementiert. Dabei muss man darauf achten, den Schaft im Markraum so weit wie möglich lateral zu positionieren. Nach Aushärtung des Zements wird die Schulter reponiert. Beim Wundverschluss muss die Subskapularissehne je nach Operationstechnik refixiert oder genäht werden, wobei 1 cm Verlängerung der Sehne einen Gewinn an Außenrotierbarkeit des Arms von 20° bedeutet.

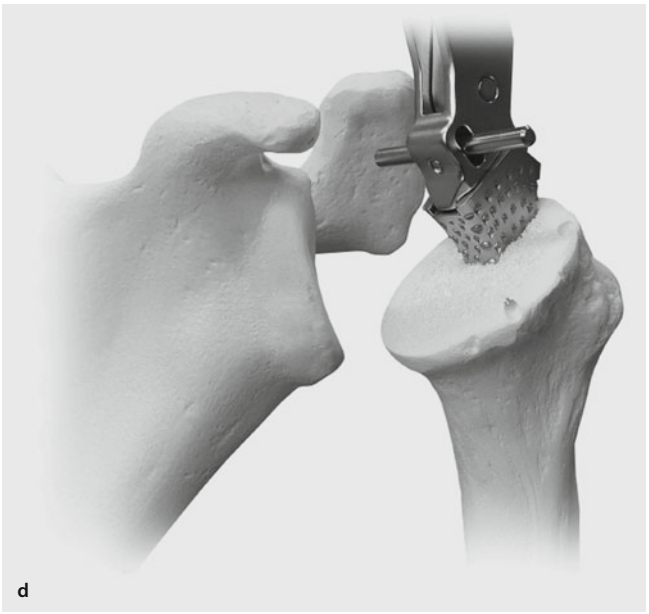
Auch Patienten mit stark dislozierten Frakturen können trotz Fehlstellung bei alleiniger konservativer Therapie oft eine erstaunlich gute Funktion zurückgewinnen. Es gibt aber Fälle mit anhaltend starken Beschwerden, die letztlich nur noch von einem endoprothetischen Gelenkersatz profitieren.

Für die **Implantation einer Frakturprothese** wird der Patient genauso gelagert wie für eine Osteosynthese. Nach Darstellung der Tuberkula mit den anhängenden Anteilen der Rotatorenmanschette wird das Kalottenfragment reseziert. Es gibt verschiedene Modelle in zementierter oder unzementierter Form. Die zementierten Modelle bieten eine hohe Primärstabilität, sind aber bei etwaigen Komplikationen schwieriger zu wechseln; die unzementierten müssen besonders gut im Markraum verklemmt werden. Dabei droht die Schaftsprengung als eine der Komplikationen, über die der Patient aufgeklärt werden muss. Bei osteoporotischen Knochen kann man, um eine Schaftsprengung zu verhindern, prophylaktisch eine oder zwei Cerclagen der Stärke 1,0 mm um den proximalen Humerus vorlegen. Die Prothesen werden mit 30°-Retroversion in den Humerusschaft eingebracht. Die Rotation wird an der Richtung des Unterarms ermittelt. Der im Ellenbogengelenk 90° gebeugte Unterarm zeigt die Sagittalebene an. Die Frontalebene steht 90° zur Sagittalebene und 30° retrovertiert zur Frontalebene wird der Kopf eingestellt. Bei der Refixation der beiden Tuberkula entscheidet sich, wie gut die spätere Funktion sein wird, denn das Hauptproblem der Endoprothetik ist die postoperative Subluxationsstellung. Sie ist ein Indiz dafür, dass die Vorspannung der Rotatorenmanschette zu gering ist. Bei der









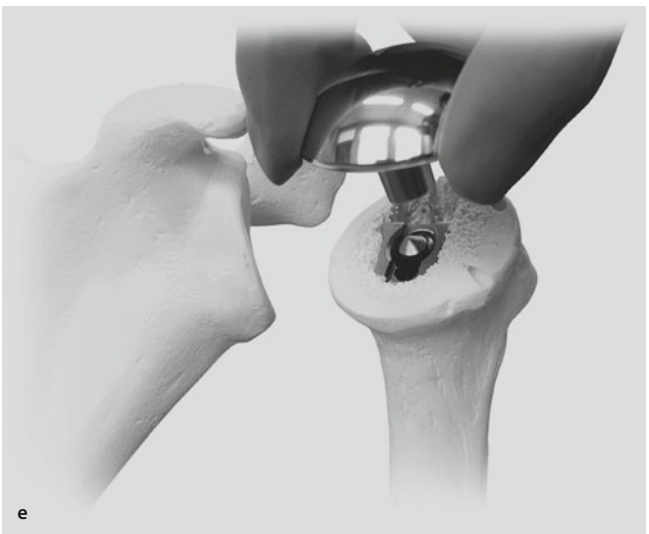


Abb. 5.70a–e **a** Einbringen des zentralen Führungsddrahts mit dem Zielwerkzeug. **b** Präparation des Pfannenlagers mit einer kanülierten Raspel. **c** Bohren der 4 Löcher für die Pegs der Pfanne mit dem Zielwerkzeug. **d** Präparation des Schafts mit Raspeln zunehmender Größe. **e** Aufsetzen des Prothesenkopfs auf die zuletzt verwendete Raspel. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Zimmer)

Abduktion des Arms fehlt dann die Startfunktion der Rotatorenmanschette, und die Beweglichkeit der Schulter wird empfindlich beeinträchtigt. Die Patienten müssen präoperativ über diese Problematik eingehend aufgeklärt werden. Für die Refixation der Tuberkula verwendet man je nach Prothesentyp kräftiges nicht resorbierbares Nahtmaterial oder 1,0 mm starke Drahtschlingen oder Schrauben. Wichtig für die Einheilung der Tuberkula ist der knöcherne Kontakt zum distalen Hauptfragment, damit eine Revaskularisierung eintreten kann. Das alleinige Anlagern an die Prothese genügt nicht, denn es führt in der Regel zur Resorption der Tuberkula (Abb. 5.71).

Alternative Versorgungsmöglichkeiten

Die Versorgung mit einer inversen Prothese wurde bereits erwähnt. Sie ist allerdings Patienten mit einem Alter von >75 Jahren vorbehalten.

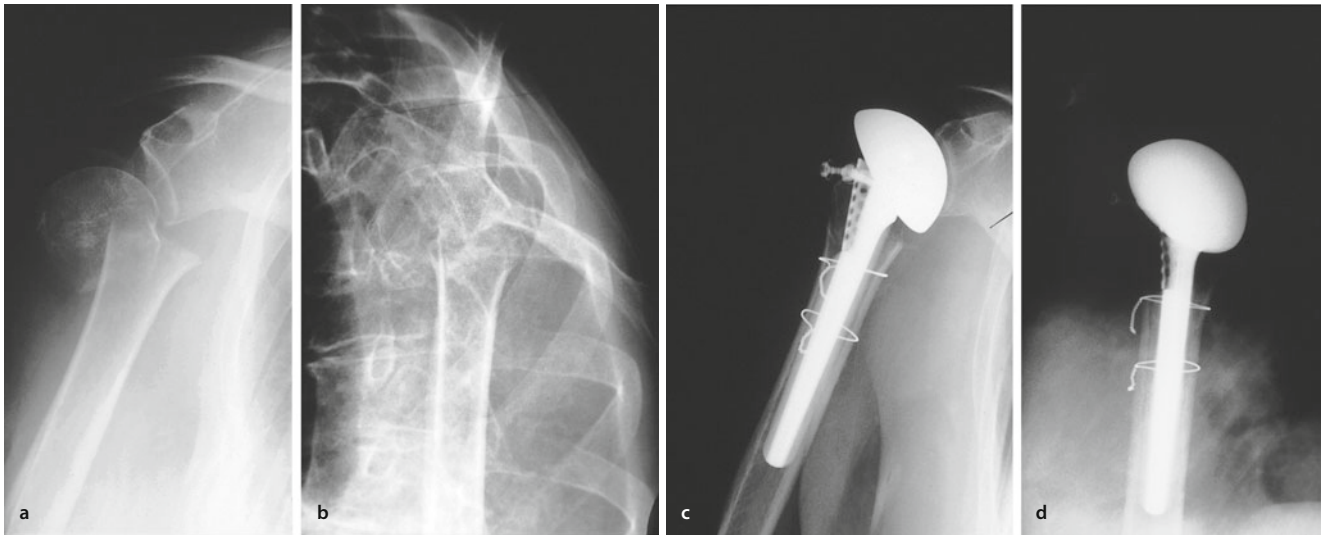


Abb. 5.71a–d 78-jährige Patientin mit Dreifragmentfraktur des proximalen Humerus. **a,b** Die Fraktur ließ sich intraoperativ nicht rekonstruieren, weil das schalige Kalottenfragment zu wenig Halt bot. **c,d** Deshalb wurde dieser Bruch letztlich mit einer Frakturprothese versorgt

Tab. 5.10 Synopse der gängigen Verfahren in Abhängigkeit vom jeweiligen Frakturtyp

Frakturtyp	Verfahren beim jungen Patienten	Verfahren beim alten Patienten
Nicht dislozierte Frakturen	Konservative Therapie	Konservative Therapie
Tuberculum-majus- oder -minus-Abriss	Bereits bei geringer Dislokation	Nur bei deutlicher Dislokation und ausreichender Aktivität des Patienten
	– Schrauben	– Schrauben
	– Zuggurtung	– Zuggurtung
	– Transossäre Nähte	– Transossäre Nähte
Zweifragmentfraktur im chirurgischen Hals	Perkutane Schrauben	Humerusnagel
	Perkutane K-Drähte	Perkutane Schrauben
	Winkelstabile Platte	Winkelstabile Platte
	Cerclage oder Zuggurtung	Zuggurtung
Mehrfragmentfraktur im chirurgischen Hals	Winkelstabile Platte	Winkelstabile Platte
		Humerusnagel
Zweifragmentfraktur im anatomischen Hals	Winkelstabile Platte	Winkelstabile Platte
	Schrauben	Gelenkersatz
Mehrfragmentfraktur im anatomischen Hals	Winkelstabile Platte	Winkelstabile Platte
		Frakturprothese
Luxationsfraktur	Offene Reposition mit Versorgung der Frakturen nach den oben angeführten Kriterien	

Über eine interessante Alternative für die Versorgung dieser oft sehr schwierig zu stabilisierenden Frakturen berichten Hahn et al. (2001). Die Autoren haben 12 Patienten mit einer Verbundosteosynthese versorgt. In 6 Fällen handelte es sich um pathologische Frakturen oder Osteolysen im Rahmen einer konsumierenden Grunderkrankung, in 6 Fällen um osteoporotische Frakturen. Die Nachuntersuchung zeigte überwiegend gute und sehr gute Ergebnisse. Implantatlockerungen und sekundäre Dislokationen sind nicht aufgetreten. Die Autoren kamen aufgrund ihrer Erfahrungen zu dem Schluss, dass die Verbundosteosynthese am Humeruskopf in ausgewählten Fällen eine echte Alternative zur Prothetik oder konservativen Therapie darstellt.

Typ X: mit vorderer oder hinterer Luxation

Luxationsfrakturen werden nach den oben dargestellten Prinzipien versorgt. Sie haben eine erhöhte Rate neurovaskulärer Begleitverletzungen, aber bei rechtzeitiger Versorgung keine eindeutig schlechtere Prognose. Begleitende Impressionen werden nach Möglichkeit gehoben (Brunner u. Schweiberer 1996, ◘ Tab. 5.10).

5.5.3 Nachbehandlung und Prognose

Nachbehandlung

Nichtdislozierte Frakturen werden nach wenigen Tagen bereits vorsichtig aus dem Immobilizer heraus unter Wahrung der Schmerzgrenzen beübt.

Nach stabiler Refixierung eines Tuberculum-majus-Abrisses kann ebenfalls schon wenige Tage nach der Operation mit einer passiven Übungsbehandlung begonnen werden. Die Patienten sollten zur Entlastung der Osteosynthese ein Abduktionskissen tragen.

Stabil perkutan versorgte Frakturen können unmittelbar nach dem Eingriff beübt werden, während man bei nicht ausreichender Stabilität abwarten muss, bis das Frakturhämatom angezogen hat.

Nach offenem Vorgehen kann man, abhängig vom stattgehabtem Weichteiltrauma, evtl. erst nach gesicherter Wundheilung mit der Krankengymnastik beginnen. Kettler und Mitarbeiter (2006) stellen die mit winkelstabilen Platten versorgten Frakturen nur 1–2 Wochen in einem Immobilizer ruhig. Falls Tuberkula refixiert wurden, soll 3 Wochen keine aktive Außenrotation und Abduktion erfolgen. Eine routinemäßige Implantatentfernung ist nicht erforderlich. Sie ist nur bei subakromialen Beschwerden und evtl. bei jüngeren Patienten ggf. in Kombination mit einer Akromioplastik und Arthrolyse indiziert.

Nach Implantation einer Schulterprothese wird der Arm auf einem Abduktionskissen ruhiggestellt. Die Dauer der Ruhigstellung richtet sich dabei nach der Heilungszeit etwaig genähter Sehnen.

Komplikationen und Prognose

Im Rahmen einer prospektiven Anwendungsstudie haben Kettler und Mitarbeiter (2006) bei der Verwendung winkelstabiler Platten gute funktionelle Ergebnisse gefunden. Die häufigsten Komplikationen sind in das Gelenk perforierende Schrauben (primär 11%, sekundär 8%), zu weit kranial liegende Platten und Humeruskopfnekrosen (komplett 3%, teilweise 5%). Die Schraubenüberlänge kann durch Sinterungsvorgänge entstehen. Deshalb soll bei der Osteosynthese die Knorpelknochengrenze nicht durchbohrt werden. Zu weit nach kranial reichende Platten können ein subakromiales Impingement verursachen (◘ Tab. 5.11).

Tab. 5.11 Spezifische Komplikationen der einzelnen Verfahren. Die einzelnen Verfahren sind mit spezifischen Risiken belastet, die in jedem Einzelfall abgewogen und mit dem Patienten erörtert werden müssen

Verfahren	Komplikationen
Perkutane K-Drähte	Fraktur wird nicht fest
	Repositionsverlust
	Weichteilprobleme
Winkelstabile Platte	Schraubenperforation ins Gelenk
Cerclage oder Zuggurtung	Fraktur wird nicht fest wegen mangelnder Stabilität
	Repositionsverlust
Schraubenosteosynthese	Fraktur wird nicht fest
Endoprothese	Subluxationsstellung
	Schlechte Funktion
	Aseptische Lockerung

Schulterarthrodese

Die Versteifung des Schultergelenks kommt laut Klonz und Habermeyer (2007) als Rettungsoperation für erfolglos voroperierte, schmerzhafte Gelenke nach gescheitertem oder primär nicht möglichem Gelenkersatz infrage. Da es sich um sehr seltene Eingriffe handelt, gehören sie in die Hand des Spezialisten. Die Schwierigkeit besteht darin, die Platte optimal an die anatomischen Gegebenheiten anzupassen, damit die ideale Einstellung des Arms fixiert wird und nicht umgekehrt Form und Lage der Platte beim definitiven Festziehen der Schrauben letztlich eine nicht gewünschte Position der Schulter bestimmen. Für die Durchbauung sind ausreichende Stabilität und Kompression erforderlich. Die Autoren haben dafür eine Technik mit einer winkelstabilen Platte (12-Loch- 4,5er-LCP) beschrieben, die 110° abgewinkelt wird. Der proximale Schenkel wird unter dem Schulterdach durchgeführt und in der Fossa supraspinata fixiert, der distale wird am proximalen Humerus angeschraubt. Die Plattenform wird zuvor mit der Leichtmetallschablone in der angestrebter Armposition (20° Abduktion, 20° Flexion und 45° Innenrotation) ermittelt (◘ Abb. 5.72).

5.6 Plexusläsionen

5.6.1 Traumatische Läsionen des Plexus cervicobrachialis

Ätiologie

Die häufigste Ursache von Armplexusläsionen sind Motorrad- und Arbeitsunfälle. Ursächlich werden Zerrungen, Zerreißungen, Quetschungen und Prellungen des Plexus brachialis von den selteneren Schnitt-, Stich- oder Schussverletzungen unterschieden. Frakturen eines Wirbelkörpers oder eines Dornfortsatzes sind häufige Begleitverletzungen einer proximalen Zerrung des Plexus. In der Ätiopathogenese werden auch geburtstraumatische und narkosebedingte Dehnungslähmungen beschrieben.

Symptomatologie

Je nach Ausmaß der Läsion finden sich komplette oder partielle schlaffe Paresen der Schulter-Arm-Muskulatur. Bei Läsionen des oberen Armplexus, der Erb-Lähmung, sind die von den C5- und C6-Wurzelfasern innervierten Muskeln betroffen. Ergebnis ist eine schlaffe atrophische Lähmung der Mm. deltoideus, biceps, brachioradialis, supinator, supraspinatus und infraspinatus. Zusätzlich können der M. pectoralis und die Extensoren der Hand involviert sein.

Eine erweiterte obere Plexuslähmung besteht bei zusätzlicher Läsion von C7-Wurzelfasern. Neben einer Schwäche des M. triceps sind Hand- und Fingerextensoren, die Mm. pronator teres und flexor carpi radialis betroffen.

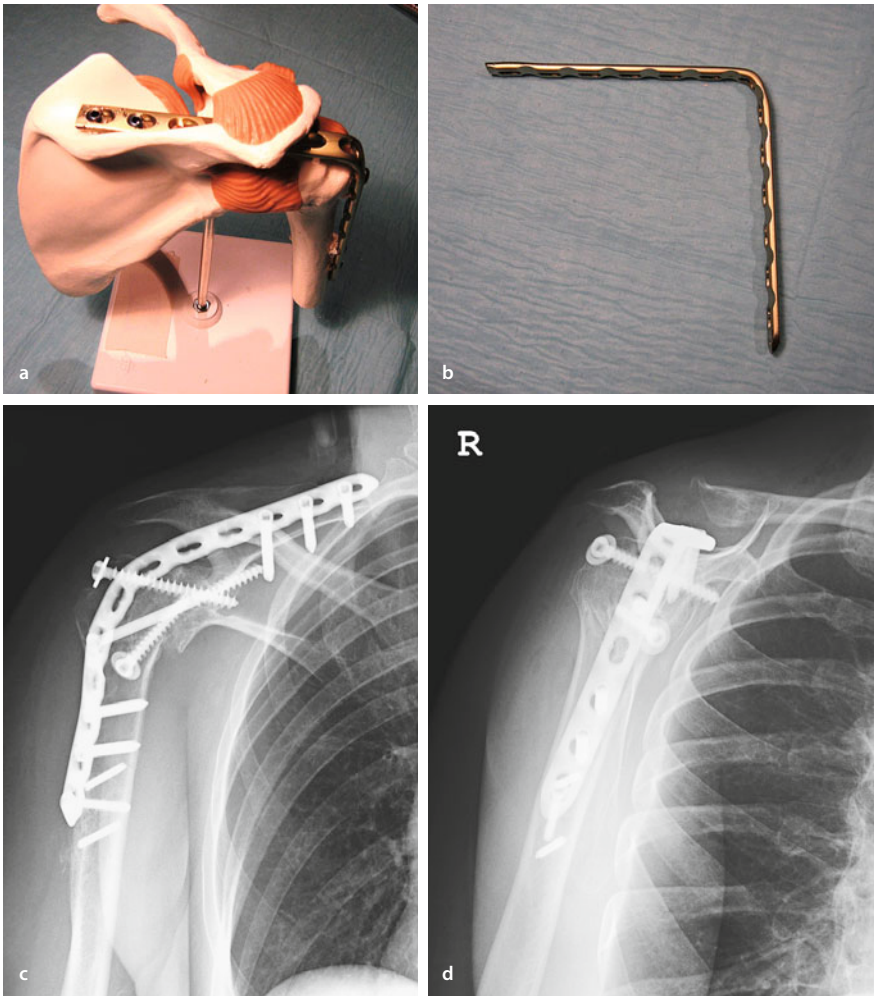


Abb. 5.72a–d Schulterarthrodese. **a,b** Position und Form der Platte. **c,d** Postoperative Röntgenkontrollaufnahmen mit Kompressionszugschrauben und winkelstabiler Neutralisationsplatte in der von Klonz und Habermeyer vorgestellten Technik (s. Text). (Aus: Klonz u. Habermeyer 2007)

Bei Läsionen des unteren Armplexus, der Dejerine-Klumpke-Lähmung der Wurzeln C8–T1, treten motorische und sensible Ausfälle der Hand auf. Gelegentlich zeigen sich Trizepsschwächen und -atrophien. Paresen finden sich an den langen Fingerbeugern und kleinen Handmuskeln.

Klinik

In Verbindung mit Plexusläsionen klagen die Patienten z.T. über heftige akute oder auch persistierende Schmerzen. Atrophien treten frühzeitig auf, Sensibilitätsstörungen stehen eher im Hintergrund.

Läsionen des oberen Armplexus fallen nicht nur durch die Muskelatrophie, sondern auch durch eine Innenrotationsstellung des Arms mit nach hinten gedrehter Handfläche auf. Der Arm kann im Ellenbogen nicht gebeugt und im Schultergelenk nicht angehoben werden. Sensibilitätsstörungen im Dermatom C5 und C6 kommen selten vor. Der Bizepssehnen- und Brachioradialisreflex ist abgeschwächt oder fehlt.

Bei der erweiterten oberen Plexuslähmung zeigt sich klinisch eine deutliche Abschwächung in der Beugung des Daumens und Zeigefingers.

Bei Läsionen des unteren Armplexus sind die kleinen Handmuskeln und Fingerbeuger gelähmt. Der Trizepssehnenreflex ist abgeschwächt. Zudem treten sensible Defizite an der ulnaren Seite von Unterarm und Hand auf. Die Hand steht in Krallenstellung. Häufig findet sich ein Horner-Syndrom mit Miosis, Ptosis und Enophthalmus. Ursache des Horner-Syndroms ist u.a. eine Läsion des N. sympathicus oder zentraler Sympathikusbahnen durch wirbelsäulennahe Schädigungen des Plexus brachialis.

Bei der kompletten Lähmung des Plexus brachialis ist der ganze Arm völlig gelähmt und anästhetisch. Zudem zeigen sich als Spätfolge schwere trophische Störungen an Haut, Nägeln, Muskeln und Knochen.

Diagnostik

Die untere Armplexusparese nach traumatischer Schädigung geht einher mit einem Horner-Syndrom einschließlich einer reduzierten oder komplett fehlenden Schweißproduktion des oberen Körperanteils. Das Horner-Syndrom in Verbindung mit der Anhidrose weist auf einen Ausriss der Wurzel C8–T2 hin. Die Anhidrose in der Halsregion bei sonst intakter Schweißsekretion entsteht dadurch, dass die den Arm versorgenden vegetativen Fasern Segmenten unterhalb von T3 entstammen.

Ein weiterer Hinweis auf einen Wurzelausriss ist blutiger Liquor und der Erhalt der sensiblen Aktionspotenziale trotz Sensibilitätsstörungen. Blut im Liquor kann jedoch auch durch eine gleichzeitige Rückenmarkverletzung auftreten, deshalb sollte hier auch immer auf Begleitverletzungen geachtet werden. Wichtig ist, im Verlauf der Erkrankung eine sorgfältige elektromyografische Untersuchung der Denervierungen entsprechend dem Verteilungs-

muster der Paresen durchzuführen. Leere Wurzeltaschen können myelografisch oder in der MRT sichtbar gemacht werden. Zur Therapie siehe folgender Abschnitt (▶ 5.6.2)

5.6.2 Kompressionsbedingte Läsionen des Plexus cervicobrachialis

Ätiologie

Drucklähmungen des Armplexus kommen insbesondere bei Engpasssyndromen der oberen Thoraxapertur vor (thoracic-outlet-syndrome).

Die 3 wichtigsten Engpasssyndrome sollen hier kurz dargestellt werden:

- Eine muskuläre Enge der Skalenuslücke und der Halsrippe mit Kompression des Plexus brachialis bewirkt das Skalenussyndrom.
- Beim Kostoklavikularsyndrom werden der Armplexus und die begleitenden großen Gefäße (A. und V. subclavia) zwischen der 1. Rippe und der Klavikula komprimiert.
- Das Hyperabduktionssyndrom ergibt sich aus maximaler Elevation des Arms (z.B. im Schlaf) mit Plexuskompression und Druck auf A. und V. axillaris unter dem M. pectoralis minor.

Klinik

Die Kompressionssyndrome verursachen typische Schmerzen und Parästhesien am Oberarm, ähnlich denen, die beim Tragen eines schweren Koffers auftreten. Die untere Plexusparese in Kombination mit Druck auf A. und V. subclavia bzw. axillaris führt zu einer ischämischen Schädigung mit Schmerzen und Blässe der Finger bzw. einer venösen Stauung.

Diagnostik

Bei der Abklärung therapieresistenter Brachialgien muss unbedingt auf Anzeichen einer Gefäßkompression geachtet werden. Durch spezielle Provokationsmanöver lässt sich dies nachweisen.

Beim Adson-Test inspiriert der Patient tief bei rekliniertem und zur Läsion hin seitwärts gedrehtem Kopf. Verschwindet der Radialispuls, ist beim Vorliegen einer unteren Plexusläsion eine Enge der Skalenuslücke anzunehmen. Ein Erlöschen des Radialispulses kann beim Kostoklavikularsyndrom durch Herunterziehen der Schulter, beim Hyperabduktionssyndrom durch Elevation des Arms provoziert werden.

Die sensiblen Nervenaktionspotenziale und die somatosensorisch evozierten Potentiale (SSEP) sind pathologisch verändert.

Differenzialdiagnostisch sind eine neoplastische Infiltration z.B. in Form eines Pancoast-Tumors oder eine Armplexusneuritis in Betracht zu ziehen.

Therapie

Armplexusverletzungen sollten anfänglich in Abduktionsstellung gelagert und ruhiggestellt werden. Die physikalische Anbehandlung beschränkt sich zunächst auf Mobilisation der Finger-, Hand- und Ellenbogengelenke. Die frühzeitige Elektrotherapie verhindert Atrophien. Ab der 6. Behandlungswoche wird das Schultergelenk mit durchbewegt.

Die operative Intervention kann innerhalb der ersten 6 Monate nach dem Unfallereignis stattfinden. Durch Neurolyse oder Nerventransplantationen können funktionelle Verbesserungen erzielt werden. Der günstigste Zeitpunkt für eine Intervention liegt zwischen dem 4. und 6. Monat nach dem Unfall. Damit die Operation entsprechend geplant werden kann, ist eine frühzeitige Vorstellung beim Neurochirurgen erforderlich. Über Indikationsstellung, Timing, Verfahrensweise und Ersatzoperationen bestimmen allein die wenigen Operateure, die sich dieser schwierigen und prognostisch ungünstigen Fälle annehmen. Insbesondere der Wiederherstellung der Beugung im Ellenbogengelenk ist für die Patienten von großer Bedeutung. Im Idealfall sollte postoperativ die Hand zum Gesicht geführt werden können.

Berger und Millesi (1978) haben nachgewiesen, dass die Nerventransplantation bessere Regenerationsergebnisse bringt als die Koaptation unter Spannung, dass 2 Koaptationsstellen des Transplantats keine größeres Hindernis darstellen als eine, dass die interfaszikuläre Zuordnung der einfachen peri-/epineuralen Naht überlegen ist und dass Transplantationen bis zu 4 cm Überbrückungslänge annähernd gleiche Regenerationsergebnisse aufweisen wie die primäre Naht.

In der Regel erfolgt die Versorgung glatter Nervendurchtrennungen durch eine **primäre Nervenkoaptation**. Dies muss bei normaler Mittelstellung der benachbarten Gelenke spannungsfrei möglich sein, denn eine Koaptation unter Spannung führt nicht zum Erfolg (Schaller 2006). Eine primäre Koaptation ist nur dann sinnvoll, wenn sich die Nervenenden mit einem 10×0 dünnen Faden zusammenführen lassen. Deshalb verbietet sich die primäre Koaptation bei Defektzuständen, aber auch bei Infektionen. In allen diesen Fällen muss eine sekundäre Versorgung innerhalb der ersten 6–12 Wochen, spätestens bis 6 Monate nach dem Unfall angestrebt werden.

Folgende **sekundäre Behandlungsmaßnahmen** kommen in Betracht:

1. Neurolyse und Neueinbettung in ein gut durchblutetes Bett
2. Direkte Nervenkoaptation (sekundär sehr selten)
3. Nerventransplantation
4. Nervenersatzoperation

Nervenersatzoperationen sind indiziert, wenn der Ursprungsnerv aus einem größeren Nervenstamm oder aus dem Halsmark ausgerissen wurde. Dann kann ein Spendernerv mit einer weniger wichtigen Funktion vollständig oder anteilig an das distale Ende des abgerissenen Nervs koaptiert werden.

Germann und Heitmann (2006) geben eine Übersicht über die wichtigsten Ersatzoperationen bei motorischen und sensiblen Ausfällen der oberen Extremität.

Ulnarisparese

Bei dieser Lähmung entsteht eine Krallenfehlstellung von Ring- und Kleinfinger. Durch die Lähmung der Mm. lumbricales sind die Grundgelenke überstreckt und die Mittel- und Endgelenke gebeugt. Dadurch ist die Greiffunktion aufgehoben. Zudem ist der Spitzgriff beeinträchtigt. Die tiefen ulnarseitigen Beuger fallen aus und die Sensibilität im ulnaren Bereich des Ringfingers und des gesamten Kleinfingers fehlt. Die Krallenstellung kann mit einer Lassooperation nach Zancolli korrigiert werden. Dazu werden die Beugesehnenscheiden distal des A2-Ringbandes L-förmig eröffnet und die oberflächlichen Beugersehnen des 4. und 5. Fingers etwa 1 cm proximal ihres Ansatzes durchtrennt. Dann wird das proximale Sehnenende lassoartig um das A1-Ringband herumgezogen, bis das Grundgelenk in einer Beugestellung von 60° steht und anschließend proximal des A1-Ringbandes mit sich selbst vernäht. Alternativ kann das Grundgelenk auch statisch in dieser günstigeren Stellung fixiert werden, indem der distale Ansatz der palmaren Platte dieses Gelenks mobilisiert, proximalisiert und mit Periostnähten oder Knochenanker dort fixiert wird. Der Spitzgriff

kann durch die Rekonstruktion der Daumenadduktion und die Verbesserung der Radialduktion des Zeigefingers wiederhergestellt werden. Für die Daumenadduktion wird die oberflächliche Beugesehne des 4. Fingers auf das radiale Sesambein des Daumengrundgelenks oder zur Sehne des M. adductor pollicis geleitet. Alternativ können die Sehnen des M. extensor indicis proprius oder extensor carpi radialis brevis auf die Adduktoraponeurose versetzt werden. Die Radialduktion des Zeigefingers kann am einfachsten durch eine Transposition der Sehne des M. extensor indicis proprius auf distale Sehnenanteile des M. interosseus I verbessert werden, wobei palmar der Gelenkachse fixiert wird, damit der Zeigefinger im Grundgelenk nicht nur in eine Radialduktion, sondern auch in eine leichte Beugestellung kommt. Die Funktion der tiefen ulnaren Beuger kann man teilweise wiederherstellen, indem die Sehnen der gelähmten Muskulatur an benachbarte vom N. medianus innervierte Beuger gekoppelt werden. Dadurch sind synergistische Bewegungsmuster möglich.

Radialisparese

Die proximale Radialisparese mit kompletter Fallhand kann nach Humerusschaftfrakturen auftreten. Davon abzugrenzen ist die Lähmung des überwiegend motorischen tiefen Asts, der zum Ausfall aller Fingerstrecker, des M. extensor pollicis longus und des M. extensor carpi ulnaris führt. Die Handgelenkstreckung bleibt dabei erhalten, es resultiert aber eine deutliche Deviation der Hand nach radial, da beide Extensor carpi radialis-Muskeln intakt sind. Neben zahlreichen Varianten ist laut Germann und Heitmann (2006) die Radialisersatzoperation nach Merle d'Aubigné die wohl am häufigsten gebrauchte Grundtechnik. Die Sehne des M. flexor carpi ulnaris wird auf die Sehnen der Mm. extensor digitorum communis und extensor pollicis longus transponiert, die Sehne des M. pronator teres auf die Sehnen der Mm. extensor carpi radialis longus und brevis sowie die Sehne des M. palmaris longus auf die Sehnen der Mm. extensor pollicis brevis und abductor pollicis longus. Nach erfolgter Naht soll das Handgelenk passiv so beweglich sein, dass der Tenodesetest erfolgen kann: Bei Handgelenkbeugung müssen die Finger in ausreichende Streckung kommen. Sie sollten passiv so beweglich bleiben, dass sie ohne großen Widerstand gebeugt werden können. Bei partieller Lähmung wird ähnlich vorgegangen ohne die Notwendigkeit der Wiederherstellung der Handgelenkstreckung.

Medianusparese

Sensible Ausfälle betreffen die ersten 3 Finger und die Radialseite des 4. Fingers. Bei proximalen Paresen müssen zusätzlich zur Daumenballenmuskulatur auch der lange Daumenbeuger und die tiefen Beuger des 2. und 3. Fingers ersetzt werden. Neben einer Opponensplastik mit der Sehne des M. extensor indicis proprius wird die Sehne des M. brachioradialis auf die Sehne des M. flexor pollicis longus verlagert und die Sehne des M. extensor carpi radialis longus auf die Sehne der tiefen Beuger des 2. und 3. Fingers. Bei alleiniger Parese der Thenarmuskulatur, z.B. bei fortgeschrittenem Karpaltunnelsyndrom oder unzureichender Reinnervation nach Nervenrekonstruktion, kann eine Opponensplastik mit dem M. flexor digitorum superficialis IV durchgeführt werden oder die Extensor-indicis-proprius-Sehne wird auf die Opponenssehne oder radialseitig auf den 1. Mittelhandknochen versetzt. Als Ersatzopersation für die sensiblen Ausfälle bei Medianusläsion werden vom N. ulnaris oder N. radialis innervierte Hautareale der Hand gefäßgestielt auf die wichtigen medianusversorgten Kontaktzonen der Hand verpflanzt. Diese Zonen liegen an den Beugeseiten des Daumens und des Zeigefingers. Der Lappen der 1. Wahl ist der so genannte Foucher-Lappen. Es handelt sich um einen gefäßgestielten neurokutanen Lappen der 1. Metakarpalarterie. Er ist neben der Arterie und Begleitvenen am sensiblen Endast des R. superficialis n. radialis gestielt.

Muskelersatzoperationen

Voraussetzung für alle Muskelersatzoperationen ist eine weitestgehend freie passive Beweglichkeit im Ellenbogengelenk (Rühmann 2009). Man unterscheidet:

- die Transposition ortsständiger Muskeln (Proximalisierung der Unterarmextensoren- oder flexoren, Trizeps-Bizeps-Transposition)
- den Transfer nicht ortsständiger Muskeln (M. latissimus dorsi oder M. pectoralis major
- freie Muskeltransplantationen (M. gracilis)

Bei komplexen Armnervenverletzungen muss versucht werden, wenigstens die Unterarmbeugung, die Daumenopposition und die Fingerbeugung wiederherzustellen.

Bei ausgeprägter Klinik eines Skalenussyndroms empfiehlt sich die Skalenotomie, möglicherweise mit Resektion der Halsrippe. Beim Kostoklavikularsyndrom kann die Resektion der 1. Rippe erfolgen, das Hyperabduktionssyndrom wird konservativ behandelt.

Ein ungelöstes Problem sind Nervenwurzelläsionen im Halswirbelsäulenbereich, denn es ist nicht möglich, die Kontinuität zwischen Myelon und peripheren Nerven zu rekonstruieren. Beim Nachweis eines Nervenwurzelausrisses muss von einer irreparablen Situation ausgegangen werden.

Nachbehandlung

Die Regenerationszeit nach langgstreckigen Nervenverletzungen beträgt 2 Jahre. Nach einer Nervenersatzoperation müssen die Patienten deshalb über den gesamten Zeitraum nahezu täglich Physio- und Ergotherapie durchführen.

Prognose

Das Hoffmann-Tinel-Zeichen dient als Reinnervationszeichen der Verlaufskontrolle. Ein positives Zeichen ist die Schmerzreaktion mit ausstrahlenden Parästhesien beim Beklopfen der Nerven unterhalb der Läsion. Ist das Hoffmann-Tinel-Zeichen 3 Monate nach Plexusschädigung noch negativ, ist mit keiner Reinnervation mehr zu rechnen. Die begleitende elektromyografische Untersuchung bestätigt im Allgemeinen das Ergebnis dieses klinischen Tests. Zeigen sich jedoch Zeichen einer Reinnervation, so kann sich bei konservativer Behandlung auch noch 2–3 Jahre nach dem Unfall eine Besserung einstellen.

Die Prognose nach einer Lassooperation nach Zancolli oder einer statischen MP-Gelenk-Fixation bei Ulnarisparese ist sehr gut. Die Patienten können eine so gute Funktion erreichen, dass die ursprüngliche Behinderung kaum mehr erkennbar ist. Auch die Prognose bei der Wiederherstellung des Spitzgriffs durch Rekonstruktion der Daumenadduktion und die Verbesserung der Radialduktion des Zeigefingers ist gut. Das Gleiche gilt für die Radialisersatzoperation nach Merle d'Aubigné. Die Sehnenverlagerung bei der Medianusparese ist hingegen nicht unproblematisch, weil die hierfür verwendeten Strecksehnen im Vergleich zu den ausgefallenen Beugemuskeln eine deutlich kleinere Gleitamplitude und Kraftentfaltung aufweisen. Die Opponensplastik mit dem M. flexor digitorum superficialis IV zeitigt ausreichend Kraft und Ampitude. Überdies ist dieser Muskel unabhängig, willkürlich isoliert beweg-

lich. Nachteil der Methode ist die gelegentlich auftretende Beugekontraktur des Ringfingermittelgelenks nach Sehnenentnahme. Die Prognose nach Extensor-indicis-Versatz als Opponensplastik wiederum ist gut (Germann u. Heitmann 2006).

Literatur

Aldinger G, Wüst J (1979) Operative Behandlung der Bicepssehnenrupturen. Aktuelle Traumatol 3: 159–164

Allmann FL (1967) Fractures and ligamentous injuries of the clavicle and its articulation. J Bone Joint Surg Am 49: 774–778

Andermahr J, Faymonville C, Rehm KE, Jubel A (2008) Die perkutane Plattenosteosynthese der Klavikula. Unfallchirurg 111: 43-45

Andersen K, Jensen PO, Lauritzen J (1987) Treatment of clavicular fractures. Figure-of-eight bandage versus a simple sling. Acta Orthop Scand 58: 71–74

Aschauer E, Resch H, Hübner C (2007) Perkutane Osteosynthese der proximalen Oberarmfraktur. Operative Orthopädie und Traumatologie 19: 276–293

Bateman JE (1963) The diagnosis and treatment of tears of the rotator cuff. Surg Clin North Am 43: 1523–1530

Berger A, Millesi H (1978) Nerve grafting. Clin Orthop Relat Res 133: 49–55

Bigliani LU, Morrison DS, April EW (1982) The morphology of the acromion and its relationship to the rotator cuff tears. Orthop Trans 10: 228

Blauth M, Südkamp NP, Haas N (1991) Verletzungen der Schlüsselbeingelenke. In: Breitner B (Hrsg) Chirurgische Operationslehre, Bd 10, Traumatologie 3. Urban & Schwarzenberg, München, S 25–40

Breitner S (1991) Chirurgische Operationslehre, Bd X, Traumatologie 3. Thieme, Stuttgart

Brunner U, Schweiberer L (1996) Humeruskopffrakturen. In: Haber-meyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, S 239–260

Brunner U, Habermeyer P, Schweiberer L (1992) Die Sonderstellung der lateralen Klavikulafraktur. Orthopäde 21:1 63–171

Buckup K (1995) Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln. Thieme, Stuttgart

Burkhart SS, Athanasiou KA, Wirth MA (1996) Margin convergence: a method of reducing strain in massive rotator cuff tears. Arthroscopy 12: 335–338

Burkhart SS. De Beer JF (2000) Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesions. 16: 677-84

Canale ST (1992) Fractures and dislocations in children. In: Crenshaw AH (ed) Campbell's operative orthopaedics, vol 2, 8th edn. Mosby, St. Louis, pp 1955–1248

Craig EV (1990) Fractures of the clavicle. In: Rockwood CA, Matson III FA (eds) The shoulder. Saunders, Philadelphia

Dederich R (1984) Die Risse der Bizepssehne unter besonderer Berücksichtigung des Schlüssellochoperation. Unfallheilkunde 87: 13–19

Echtermeyer V, Sangmeister M (1996) Praxisbuch Schulter. Thieme, Stuttgart

Effenberger T (1981) Klavikulafrakturen: Behandlung, Nachuntersuchungsergebnisse. Chirurg 52: 121–124

Ellman H, Hanker G, Bayer M (1986) Repair of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Am 68: 1136–1144

Erhart J, Heinz T, Schuster R, Greitbauer M, Vécsei V (2002) Die Stabilisierung von proximalen Humerusfrakturen mit der intramedullären Titanwendel Helix-Wire. Wien Klin Wochenschr 114: 859–865

Eskola A, Vainionpaa S, Myllynen P et al. (1986) Surgery for ununited clavicle fracture. Acta Orthop Scan 57: 366–367

Euler E, Rüedi T (1996) Scapulafraktur. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, S 261–272

Froimson AI (1974) Keyhole tenodesis of biceps origin at the shoulder. Clin Orthop 112: 245–249

Geel CW (2000) Scapula and clavicle. In: Rüedi TP, Murphy WM (eds) AO principles of fracture management. Thieme, Stuttgart, pp 255–268

Gerber CHO, Favron AA (1996) Isolated rupture of the subscapularis tendon. J Bone Joint Surg Am 78: 1015–1023

Gerber C, Hersche O, Berberat C (1998) The clinical relevance of posttraumatic avascular necrosis of the humeral head. J Shoulder Elbow Surg 7: 586-590

Gerber C, Schneeberger AG, Perren SM, Nyffeler RW (1999) Experimental rotator cuff repair. J Bone Joint Surg Am 81: 1281–1290

Gerber C, Sebesta A (2000) Impingement of the deep surface of the subscapularis tendon and the reflection pulley on the anterosuperior glenoid rim: a primilinary report. J Shoulder Elbow Surg; 9: 483–90

Gerlach D, Wemhöner R, Ogbuihi S (1984) Über zwei Fälle von Herzbeuteltamponade infolge Migration von Spickdrähten aus dem Sternoklavikulargelenk. Zeitschrift für Rechtsmedizin 93: 53–60

Germann G, Heitmann C (2006) Erstazoperationen bei motorischen und sensiblen Ausfällen der oberen Extremität. Trauma und Berufskrankheit 8[Supp 1]:S 31-37

Golser K, Resch H (1996) Röntgenabklärung der Schulter einschließlich Computertomographie. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, S 83–110

Golser K, Sperner G, Thöni H, Resch H (1991) Früh- und mittelfristige Ergebnisse konservativ und operativ behandelter lateraler Klavikulafrakturen. Aktuelle Traumatol 21: 148–152

Gorschewsky O, Labler L, Krause F, Schweizer A (2002) Minimalosteosynthese proximaler Humerusfrakturen mit intramedullärer Titanwendel. Akt Traumatol 32: 8–15

Goutallier D, Postel JM, Gleyze P, Leguilloux P, Van Driessche S (1994) Influence of cuff muscle fatty degeneration on anatomic and functional outcomes after simple suture of full-thickness tears. J Shoulder Elbow Surg 12: 550-4

Grassi FA, Tajana MS, D'Angelo F (2001) Management of midclavicular fractures: Comparison between nonoperative treatment and open intramedullary fixation in 80 patients. J Trauma 50: 1096–1100

Guyot J (1990) Atlas of human limb joints, 2nd rev. edn. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Habermeyer P (1996 a) Operative Arthroskopie bei Schulterinstabilität. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 285–304

Habermeyer P (1996 b) Rotatorenmanschette und lange Bicepssehne. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 185–213

Habermeyer P, Engel G (2002) Endoprothetik. In: Habermeyer P (Hrsg.) Schulterchirurgie, Urban & Fischer, München Jena, S 497–553

Habermeyer P, Schweiberer L (1989) Frakturen des proximalen Humerus. Orthopäde 18: 200–207

Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München

Habermeyer P, Rapaport D, Wiedemann E, Wilhelm K (1990) Das Incisura-scapulae-Syndrom. Handchir Mikrochir Plast Chir 22: 120–124

Habernek H, Hertz H (1987) Zur Entstehung, Diagnostik und Behandlung der Sternoklavikulargelenksluxation. Aktuelle Traumatol 17: 23–28

Hahn K, Schmidt J, Grosse-Leege H, Winkler KH (2001) Verbundosteosynthese am Humeruskopf beim alten Menschen. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November

Hansis M, Duffner F, Weller S (1989) Surgical treatment of aseptic forearm shaft pseudarthrosis. Aktuelle Traumatol 19: 192–195

Hegelmaier C, Schramm W, Lange P (1992) Die distale Bizepessehnenruptur. Unfallchirurg 95: 9–16

Hente R, Kampshoff J, Kinner B, Füchtmeier B, Nerlich M (2004) Die Versorgung dislozierter 3- und 4-Fragmentfrakturen des proximalen Humerus mit einem winkelstabilen Plattenfixateur. Unfallchirurg 107: 769-782

Hoffmann F, Reif G (1995) Arthroscopic shoulder stabilization using Mitek anchors. Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy 11: 50–54

Hoffmann F, Schiller M, Reif G (2000) Arthroskopische Rotatorenmanschettenrekonstruktion. Der Orthopäde 29: 888–894

Hoffmann R, Tarhan O, Petersen P (2002) Schulterblattbrüche. OP-Journal 18: 225-229

Holz U, Thielemann F (1996) Acromioclaviculargelenk. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, S 173–183

Hughes M, Neer CS II (1975) Glenohumeral joint replacement and postoperative rehabilitation. Phys Ther 55: 850–858

Itoi E, Hatakeyama Y, Urayama M et al. (1999) Position of immobilization after dislocation of the shoulder. A cadaveric study. J Bone Joint Surg Am 81: 385–390
Itoi E, Lee SB, Berglund LJ (2000) The effect of a glenoid defect on anteroinferior stability of the shoulder after Bankart repair. A cadaveric study. J Bone Joint Surg Am 82: 35–46
Jäger M, Breitner S (1984) Therapiebezogene Klassifikation der lateralen Klavikulafraktur. Unfallheilkunde 87:467–473
Jäger A, Kandziora F, Bischof F, Herresthal J (1999) Die arthroskopische Labrumrefixation bei vorderer Schulterinstabilität. Z Orthop 137: 7–24
Jaeger M, Maier D, Ogon P, Kästler W, Südkamp NP (2008)Geschlossene und operative Verfahren bei Schulterluxationen. Trauma Berufskrankh 10(3): 295–302
Jerosch J, Filler T, Peuker E, Greig M, Sievering U (1999) Which stabilization technique corrects anatomy best in patients with AC-seperation? Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy 7: 365–372
Jobe FW, Kvitne RS, Giangarra CE (1989) Shoulder pain in the overhead or throwing athlete: The relationship of anterior instability and rotator cuff impingement. Orthop. Rev. 18: 963–975
Jubel A, Andermahr J, Faymonville C, Binnebösel M, Prokop A, Rehm KE (2002) Wiederherstellung der Symmetrie des Schultergürtels bei Klavikulafrakturen. Chirurg 73: 978–981
Jubel A, Andermahr J, Prokop A, Lee JI, Schiffer G, Rehm KE (2005) Die Behandlung der diaphysären Klavikulafraktur. Vergleich der Frühergebnisse nach Rucksackverband und elastischer stabiler intramedullärer Nagelung. Unfallchirurg 108: 707–714
Keller HW, Rehm KE (1991) Die Versorgung der kompletten Sshultereckgelenksprengung ohne metallisches Implantat. Unfallchirurg 94: 511–513
Kettler M, Biberthaler P, Braunstein V, Zeiler C, Kroetz M, Mutschler W (2006) Die winkelstabile Osteosynthese am proximalen Humerus mit der PHILOS-Platte. Unfallchirurg 109: 1032–1040
Keyl W (1992) Schultergürtel. In: Jäger M, Wirth C (Hrsg) Praxis der Orthopädie. Thieme, Stuttgart, S 731–798
Kirchoff C, Braunstein V, Buhmann S, Mutschler W, Biberthaler P (2008) A Salvage Procedure for Failed Weaver-dunn Reconstruction. Operative Orthopädie und Traumatologie 20:176-181
Kirchhoff C, Braunstein V, Buhmann S, Kanz K-G, Mutschler W, Biberthaler P (2007) Diagnostik und Behandlungsregime der traumatischen dorsalen Schulterluxation. Unfallchirurg 110: 1059-10
Klonz A, Habermeyer P (2007) Schulterarthrodese. Unfallchirurg 110: 891–895
Klonz A, Hockertz T, Reilmann H (2001) Klavikulafrakturen. Unfallchirurg 104: 70–81
Ko PS, Tsui HF, Ho PC, Wong CH, Leung KS (2001) Juxta-articular fractures – upper limb. In: Leung KS, Ko PS (eds) Musculoskeletal trauma, vol 2. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (1995) Chirurgische Operationslehre, Bd IX: Schultergürtel, obere Extremität, Bd 9. Thieme Stuttgart
Krüger-Franke M, Maurer T, Rosenmeyer B (1993) Ergebnisse eines kombinierten Operationsverfahrens bei der kompletten AC-Gelenkluxation Tossy III. Unfallchirurg 96: 1–5
Labitzke R (2000) Wire cables in everyday hospital life. In: Labitzke R (ed) Manual of cable osteosyntheses. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 34–169
Lang E, Meeder P, Häntzsch D (1988) Die distale Bizepssehnenruptur: Klinik – Therapie – Ergebnisse. Aktuelle Traumatol 18: 209–214
Leung KS (2001) Clavicula and scapula. In: Leung KS, Ko PS (eds) Musculoskeletal trauma, vol I. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 171–182
Lill H, Josten C (2001) Konservative oder operative Versorgung der Humeruskopffraktur beim alten Menschen? Chirurg 72: 1224–1234
Loew M, Daecke W, Kusnierczak D, Rahmanzadeh M (1999) Shock-wave therapy is effective for chronic calcifying tendinitis of the shoulder. J Bone Joint Surg Br 81: 863–867
Loitz D, Klonz A (2005) Chronische Instabilität des Akromioklavikulargelenks. Unfallchirurg 108:1061-1064
Maffett MW, Gartsman GM, Moseley B (1995) Superior labrum-biceps tendon complex lesion of the shoulder. Am J Sports Med 23 (1): 93–98
Mathews J, Lobenhoffer P (2007) Osteosynthese instabiler proximaler Humerusfrakturen mit dem Targon®-PH-Nagel. Oper Orthop Traumatol 19: 255–275
McLaughlin HC (1994) Lesions of the musculotendinous cuff of the shoulder. The exposure and treatment of tears with retraction. Clin Orthop 304: 3–9
Milgrom CSM, Gilbert S, Holsbeck M van (1995) Rotation cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender. J Bone Joint Surg Br 77: 296–298
Miller ME, Ada JR (1992) Injuries to the shoulder girdle. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG (eds) Skeletal trauma, vol 2. WB Saunders, Philadelphia, pp 1291–1310
Mudge MK, Wood VE, Frykman GK (1984) Rotator cuff tears associated with os acromiale. J Bone Joint Surg Am 66: 427–429
Müller-Mai C, Ekkernkamp A (2010) Frakturen. Klassifikation und Behandlungsmethoden. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese, 3. erw. u. völlig neu bearb. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Mullick S (1967) Treatment of midclavicular fractures. Lancet 1: 499
Neer CS (1968) Fracture of the distal clavicle with detachment of the coracoclavicular ligaments in adults. J Trauma 3: 99–110
Neer CS (1972) Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder. J Bone Joint Surg Am 54: 41–50
Neer CS (1983) Impingement lesions. Clin Orthop 173: 70–77
Neer CS (1990) Fractures. In: Neer CS (ed) Shoulder reconstraction. WB Saunders, Philadelphia, pp 363–420
Neviaser TJ (1993) The anterior labroligamentous periostal sleeve avulsion lesion: a cause of anterior instability of the shoulder. Arthroscopy 9: 17–19
O'Brien SJ, Neves MC, Arnoczky SJ et al. (1990) The anatomy and histology of the inferior glenohumeral ligament complex of the shoulder. Am J Sports Med 18: 449–456
Parsch D, Wittner B (2000) Die Prävalenz von Rotatorenmanschettendefekten bei der dislozierten Humeruskopffraktur des älteren Patienten. Unfallchirurg 103: 945–948
Petterson G (1942) Rupture of the tendon aponeurosis of the shoulder joint in anterior inferior dislocation. Acta Chir Scand Suppl 77: 181–187
Pieske O, Dang M, Zaspel J, Beyer B, Löffler T, Piltz S (2008) die Klavikulafraktur – Klassifikation und Therapie. Ergebnisse einer Umfrage an unfallchirurgischen/orthopädischen Kliniken in Deutschland. Unfallchirurg 111: 387–394
Poigenfürst J (1990) Die Technik der korakoklavikulären Verschrau-bung bei Rupturen des akromioklavikularen Gelenks (AC-Gelenk). Operat Orthop Traumatol 2: 233–244
Poigenfürst J, Reiler T, Fischer W (1988) Die Verplattung der frischen Schlüsselbeinfraktur. Erfahrungen an 60 Operationen. Unfallchirurgie 14: 26–37
Postacchini F, Ricciardi-Pollini PT (1977) Rupture of the short head tendon of the biceps brachii. Clin Orthop 124: 229–232
Povacz P, Resch H (1999) Verletzungen des Schultergürtels und des Schultergelenks. In: Mutschler W, Haas N (Hrsg) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart, S 646–689
Resch H (2003) Die Humeruskopffraktur. Der Unfallchirurg 106: 602–617
Resch H, Beck E (Hrsg) (o. J.) Praktische Chirurgie des Schultergelenkes. Frohnweiler, Innsbruck
Rockwood CA Jr (1984) Subluxations and dislocations about the shoulder. In: Rockwood CA Jr, Green DP (eds) Fractures: Part II. Lippincott, Philadelphia, pp 722–895
Rockwood CA (1990 a) Disorders of the sternoclavicular joint. In: Rockwood CA, Matsen FA III (eds) The Shoulder. WB Saunders, Philadelphia, pp 477–525
Rockwood CA, Szalay EA, Curtis RJ, Young DC, Kay SP. (1990; Vol 1) X-ray evaluation of shoulder problems. In: Rockwood CA, Matsen FA III (eds) The Shoulder. WB Saunders, Philadelphia, pp 178–207
Rompe JD, Zoellner J, Nafe B (2001) Shock wave therapy versus conventional surgery in the treatment of calcifying tendinitis of the shoulder. Clin Orthop 387: 72–82

Rowe CR (1988) The shoulder. Churchill Livingstone, New York
Rühmann O (2009) Editorial zum Themenschwerpunkt Motorische Ersatzoperationen. Operative Orthopädie und Traumatologie 21: 113-114
Rustemeier M, Kulenkampff HA (1990) Die operative Behandlung der Akromioklavikulargelenk-Sprengung mit einer resorbierbraen PDS-Kordel. Unfallchirurgie 16: 70–74
Sampson TG, Nisbet JK, Glick JM (1991) Precision acromioplasty in arthroscopic subacromial decompression of the shoulder. Arthroscopy 7: 301–307
Schaller HE (2006) Nervenrekonstruktion und Nervenersatzoperation. Trauma und Berufskrankheit 8[Supp 1]:S28-S30
Schmal H, Strohm PC, Rosahl SK, Südkamp NP (2006) Verletzung der A. subscapularis durch Reposition einer vorderen Schulterluxation. Unfallchirurg 109: 153–155
Seebauer L, Goebel M (2008) Behandlungskonzepte chronischer Glenoiddefekte nach vorderer oder hinterer Schulterluxation. Operative Orthopädie und Traumatologie 20: 500–510
Seil R, Rupp S, Hammer DS, Ensslin S, Gebhardt T, Kohn D (1999) Extrakorporale Stoßwellentherapie bei der Tendinosis calcarea der Rotatorenmanschette: Vergleich verschiedener Behandlungsprotokolle. Z Orthop Ihre Grenzgeb 137: 310–315
Semmerich T, Ahlers J, Ritter G, Schneider C, Nix WA (1991) Diagnostik, Therapie und Ergebnisse nach Bicepssehnenrupturen. Unfallchirurg 94: 176–181
Simpson NS, Jupiter JB (1995) Complex fracture patterns of the upper extremity. Clin Orthop 318: 43–53
Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ (1990) SLAP lesions of the shoulder. Arthroscopy 6: 274–279
Snyder SJ, Pachelli AF, Del Pizzo W, Friedman MJ, Ferkel RD, Pattee G (1991) Partial thickness rotator cuff tears: Results of arthroscopic treatment. Arthroscopy 7: 1–7
Stanley D, Trowbridge EA, Norris SH (1988) The mechanism of clavicular fracture. A clinical and biomechanical analysis. J Bone Joint Surg Br 70: 461–464
Strobel M (1998) Arthroskopische Chirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Strohecker T, Richter J, Pommer A, Dávid A (2002) Die operative Therapie von Frakturen des mittleren Klavikuladrittels mittels Prevot-Nagel. Vortrag auf der 66. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 13. bis 15. November, Berlin
Sturm JT, Perry JF (1987) Brachial plexus injuries from blunt trauma: A harbinger of vascular and thoracic injury. Ann Emerg Med 16: 404–406
Szyszkowitz R (2000) Humerus: Proximal. In: Rüedi TP, Murphy WM (eds) AO principles of fracture management. Thieme, Stuttgart, pp 271–289
Taft TN, Wilson FC, Oglesby JW (1987) Dislocation of the Acromioclavicular Joint. J Bone Joint Surg Am 69: 1045–1051
Thompson DA, Flynn TC, Miller PW, Fischer RP (1985) The significance of scapular fractures. J Trauma 25: 974–977
Thomazeau H, Lucas C, Sevestre FX, Ramée A, Langlais F (1996) The influence of muscle degeneration in the repair of rotator cuff tears: A radioanatomical study and presentation of a new MRI index of supra-spinatus atrophy (About 55 shoulders). J Shoulder Elbow Surg 5
Tossy JD, Newton CM, Sigmond HM (1963) Acromioclavicular separation: Useful and practical classification for treatment. Clin Orthop 28: 11–119
Walch G, Boileau P, Noel E, Donell St (1992) Impingement of the deep surface of the supraspinatus tendon on the posterior superior glenoid rim: an arthroscopic study. J Shoulder Elbow Surg. 1: 238–245
Walch G (1993) Synthese sur l'epidemiologie et l'ethologie des ruptures de la coiffe des rotateurs. Journees Lyonnaises de l'Epaule 256–266
Walch G, Boileau P (1999) Shoulder arthroplasty. Springer, Berlin, Heidelberg New York
Walch G, Boileau P, Molé D (2001) 2000 Prothèses d'Epaule … recul de 2 à 10 ans. Sauramps Medical, Montpellier
Walch G, Boileau P, Molé D et al. (2006) Reverse shoulder arthroplasty. Clinical results – complications – revision. Sauramps Medical, Montpellier
Walz M, Kolbow B, Auerbach F (2006) Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) von Klavikulaschaftfrakturen – Wandel eines Therapiekonzeptes? Unfallchirurg 109: 200–211
Weaver JK, Dunn HK (1972) Treatment of acromioclavicular injuries, especially complete acromioclavicular separation. J Bone Joint Surg Am 54:1187–1194
Wiedemann E (2004) Frakturen der Skapula. Unfallchirurg 107:1124-1133
Wiedemann E (2006) Schulterendoprothetik. Unfallchirurg 109:1073-1084
Wiedemann E, Habermeyer P (1996) Schulterluxation. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg) Schulterchirurgie, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, S 215–238
Wirth CJ (1989) Die akromiale Klavikularesektion. Operat Orthop Traumatol 1: 9–12
Withe RR, Anson PS, Kristiansen T, Healy W (1989) Adult clavicle fractures: Relationship between mechanism of injury and healing. Orthop Trans 13: 514–515
Wolter D, Eggers C, Koch W (1989) Die operative Behandlung der akromioklavikulären Luxation und der distalen Klavikulafraktur oder -pseudarthrose mit der »AC-Hakenplatte«. Operat Orthop Traumatol 1: 145–152
Zanetti M, Gerber C, Hodler J (1998) Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging. Invest Radiol Mar 33 (3): 163–170

Arm

B. Weigel, R. Baumgartner

6.1 Basiswissen – 304
6.2 Oberarm – 306
6.3 Ellenbogengelenk – 321
6.4 Unterarm – 342
6.5 Amputationen an der oberen Extremität – 377
Literatur – 382

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_6,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

6.1 Basiswissen

6.1.1 Anatomie

Oberarm

Der Humerus ist ein langer Röhrenknochen, der zahlreichen Muskeln als Ursprung und Ansatz dient. Im Schaftbereich ist er komplett muskulär eingehüllt, was die Frakturheilung begünstigt. Problematisch bei der operativen Versorgung ist hingegen die räumlich enge Beziehung zu neurovaskulären Strukturen. Dorsal im mittleren Schaftdrittel verläuft in einem Sulkus der N. radialis, proximal im Deltamuskel, von dorsal nach ventral, der N. axillaris und distal, in enger Beziehung zu den Kondylen, die Nn. radialis und ulnaris (Abb. 6.1).

Ellenbogen

Das Ellenbogengelenk enthält insgesamt 3 verschiedene Gelenkverbindungen: das Humeroradial-, das Humeroulnar- und das proximale Radioulnargelenk.

Das Humeroradialgelenk ist ein Kugelgelenk mit 2 Freiheitsgraden. Es lässt Beugung und Streckung sowie eine Drehbewegung des Speichenkopfs um seine Längsachse zu. Das Humeroulnargelenk ist dagegen ein reines Scharniergelenk, das durch die Gestalt der Gelenkflächen und die straffe Band- und Muskelführung Stabilität vermittelt. Die sanduhrförmige Trochlea humeri wird zangenartig vom Processus coronoideus und dem Olekranon umfasst. Die Strukturen gleiten bei der Bewegung in der Incisura trochlearis. Die Drehachse des Gelenks zieht durch das Zentrum des Capitulum humeri und die Längsachse der Trochlea humeri. Die Drehachse bildet mit der Humeruslängsachse einen nach medial offenen Winkel von 5°. Der drehrunde Speichenkopf bildet zusammen mit der Incisura radialis ulnae ein Radgelenk.

Oberarm und Ulnaschaft bilden einen nach lateral offenen Winkel von etwa 170°, den Armaußenwinkel. Dieser ist bei Frauen in der Regel um 5–10° kleiner als bei Männern. Die Gelenkfläche der Incisura torchlearis steht in der Frontalebene in einen 3–6° Valguswinkel zum Ulnaschaft. In der Sagittalebene sind das Kapitulum und die Trochlea 30° ventral gekippt. Korrespondierend dazu öffnet sich die Incisura trochlearis 30° dorsal geneigt. Durch die Ventralisierung der Drehachse, die in der Flucht der Vorderfläche des Humerusschafts liegt, ist eine Beugbarkeit im Ellenbogengelenk bis zu 155° möglich. Das physiologische Bewegungsausmaß beträgt 0–0–145° (+10°) und die Pronations-/Supinationsbewegung 75–0–85°. Für die alltäglichen Verrichtungen reicht für beide Bewegungsrichtungen ein Umfang von jeweils 100° aus.

Der Trizeps setzt an der Olekranonspitze an, der M. brachialis an der Tuberositas ulnae und dem Processus coronoideus. Verbindet man die Eckpunkte der beiden Epikondylen und der Olekranonspitze am rechtwinklig gebeugten Ellenbogengelenk, entsteht ein gleichschenkliges Dreieck, das so genannte Hueter-Dreieck (Abb. 6.2).

In Pronation steht der Arm weitgehend gerade, in Supination entsteht der bereits oben beschriebene physiologische Valgusknick, der so genannte Armwinkel. Für die seitliche Stabilität sorgen neben der muskulären Führung fächerförmige Kollateralbänder, die von den Epikondylen zur Ulna ziehen und auf der radialen Seite auch ins Ligamentum anulare einstrahlen. Das Ligamentum anulare wiederum führt die Rotation des Speichenkopfs im proximalen Radioulnargelenk (Abb. 6.3).

Mittlmeier und Beck (2009) haben in einer Übersichtsarbeit die relevante Anatomie für die Stabilität des Ellenbogengelenks zusammengetragen. Demnach vermittelt das Humeroulnargelenk

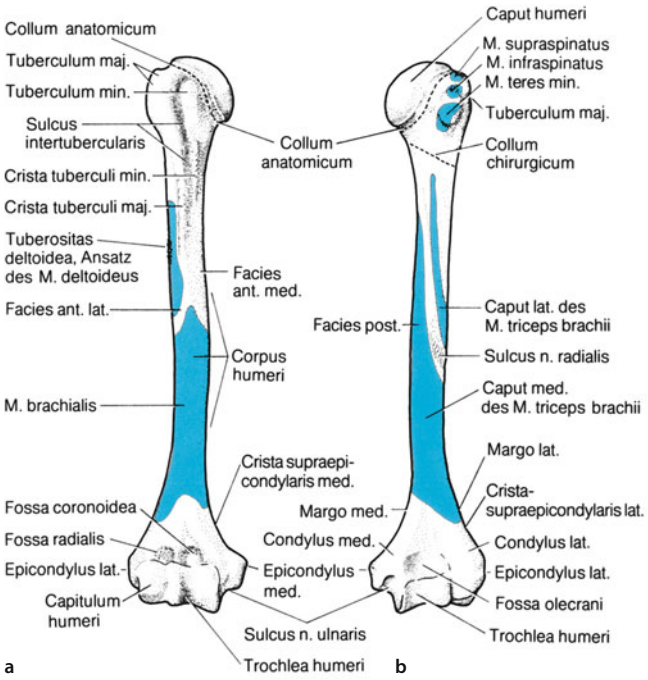


Abb. 6.1a,b Rechter Humerus. **a** Ansicht von ventral (**a**) und von dorsal (**b**). Blau Ursprünge und Ansätze von Muskeln. (Aus: Schiebler und Schmidt 1991)

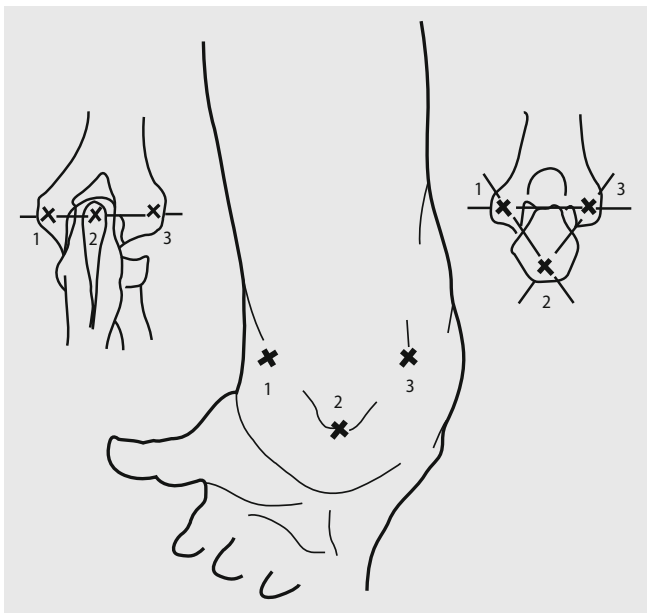


Abb. 6.2 Hueter-Dreieck und Hueter-Linien am Ellenbogengelenk. (Aus: Großstück et al. 2007)

hauptsächlich die Varusstabilität, während Valgusstress gleichermaßen vom medialen Kollateralbandapparat, der anterioren Kapsel und den knöchernen Gelenkpartnern neutralisiert wird. Aber auch die gelenkübergreifenden Muskeln Bizeps, Trizeps, Brachialis und Anconeus erhöhen durch Kompression der hochkongruenten Artikulationspartner die Stabilität. Der Processus coronoideus fängt nach dorsal gerichtete Zugkräfte ab. Bis zu 60% der axialen Kräfte werden über den Radiuskopf übertragen. Die anteriore Gelenk-

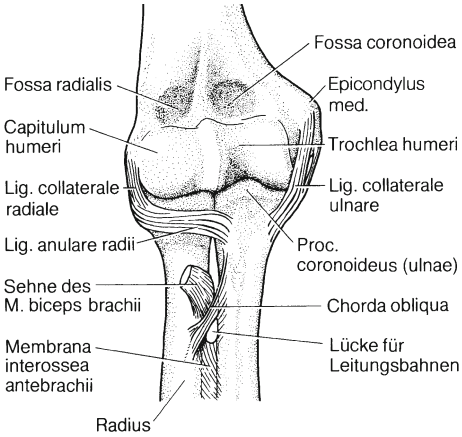


Abb. 6.3 Rechtes Ellenbogengelenk in der Ansicht von vorne, ohne Gelenkkapsel. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

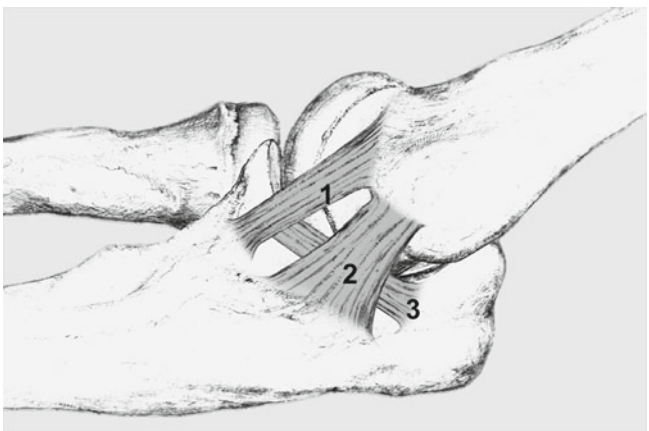


Abb. 6.4 Die 3 Komponenten des ulnaren Seitenbandkomplexes (MUCL): 1 anteriores Bündel, 2 posteriores Bündel, 3 transversales Bündel. (Aus: Mittlmeier und Beck, 2009)

kapsel ist insbesondere in Streckstellung ein wichtiger Stabilisator. Der ulnare Seitenbandkomplex besteht aus 3 Komponenten, dem anterioren, posterioren und transversalen Bündel (Abb. 6.4). Der radiale Seitenbandkomplex besteht aus 4 Komponenten, dem radialen Seitenband, dem lateralen ulnaren Seitenband, dem Ligamentum anulare radii und dem akzessorischen lateralen Seitenband (Abb. 6.5). Der Verlauf der Nerven ist in Abb. 6.6 dargestellt. Das humeroulnare Faserbündel des LCL stabilisiert einerseits bei Varusstress und ist der primäre posterolaterale Stabilisator. Der anteriore Anteil des MCL ist der bedeutendste ligamentäre Stabilisator gegenüber dem Valgusstress.

Unterarm

Zwischen beiden Röhrenknochen spannt sich die Membrana interossea auf. Der Freiheitsgrad bei Rotation im proximalen und distalen Radioulnargelenk beträgt bis zu 180°. Bei supiniertem Unterarm stehen die beiden Röhrenknochen parallel zueinander. In Pronation überkreuzt der leicht gekrümmte Radius die Ulna. Die Drehachse verläuft dabei schräg von der Mitte des Radiuskopfs durch den Radiushals und die Membrana interossea zum Griffelfortsatz des Ulnakopfs (Abb. 6.7).

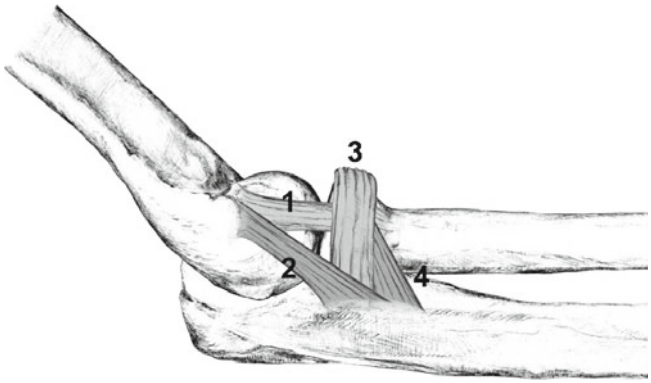


Abb. 6.5 Die 4 Komponenten des radialen Seitenbandkomplexes (LCL): 1 laterales radiales Seitenband (RCL), 2 laterales ulnares Seitenband (LUCL), 3 Ligamentum anulare (AL), 4 akzessorisches laterales Seitenband. (Aus: Mittlmeier u. Beck 2009)

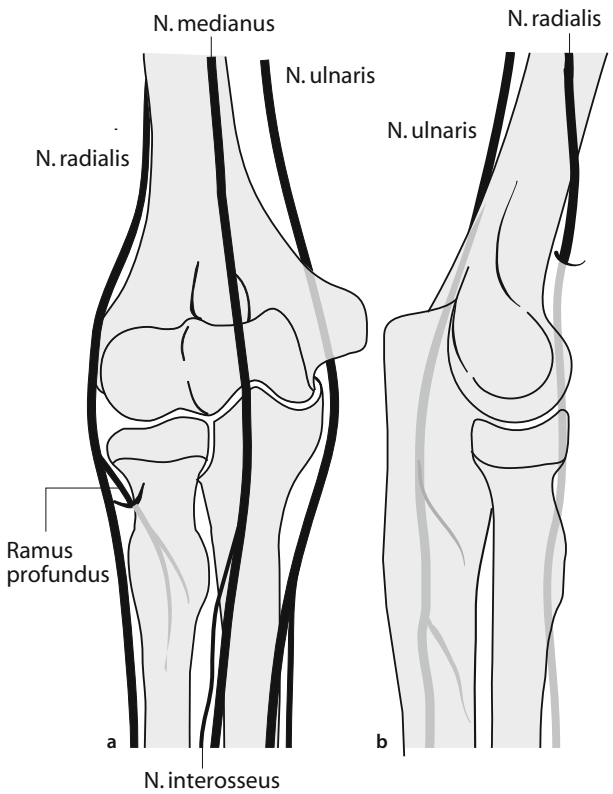


Abb. 6.6a,b Verlauf der Nerven am Ellenbogengelenk. **a** Ansicht von der Beugeseite. **b** Ansicht von der Streckseite

Die Gelenkfläche der Radiusbasis hat 2 Mulden, eine für das Os scaphoideum, die andere für das Os lunatum. Sie ist in der Aufsicht um 20–25° nach ulnar und in der Seitenansicht um 10° nach palmar geneigt, was bei der Beurteilung einer Fraktur in Betracht gezogen werden muss (Abb. 6.8). Eine weitere Gelenkfläche findet sich seitlich am ulnaren Aspekt des distalen Radius, deren Integrität nicht minder wichtig für eine uneingeschränkte Funktion bei der Umwendbewegung ist und die zusammen mit dem Ellenkopf das distale Radioulnargelenk bildet. Wenn die Elle länger als der Radius ist, spricht man von einer Plusvariante, ist sie gleich lang,

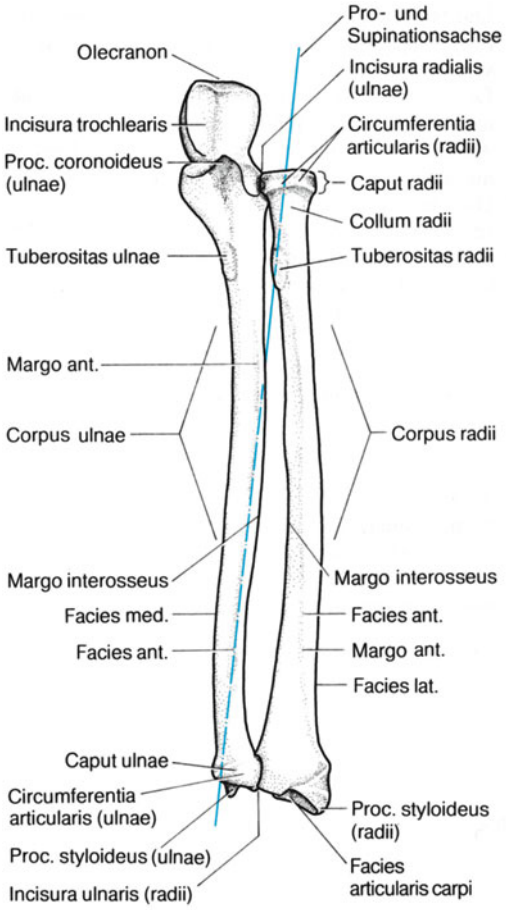


Abb. 6.7 Ulna und Radius des linken Arms, Ansicht von vorne. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

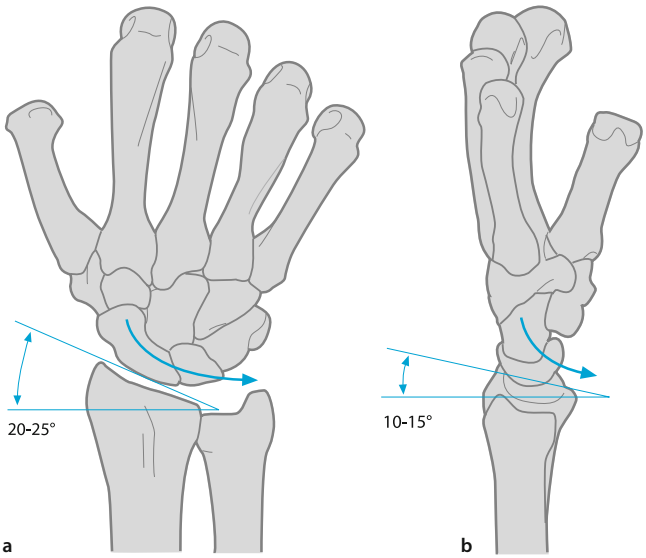


Abb. 6.8a,b Das Radiokarpalgelenk ist in der Aufsicht um 20–25° (**a**), seitlich um 10–15° geneigt (**b**). (Aus: Oestern 2001)

von einer Null-, ist sie kürzer, von einer Minusvariante. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Gelenkflächen bei der Ulnaplusvariante kugelförmig und bei Ulnaminusvariante wie das Teilsegment eines spitzen Kegels ausgebildet sind. Deshalb schwankt auch der Winkel zwischen der radialen und karpalen Gelenkfläche des Ulnakopfs zwischen 90° und 135°.

Im distalen Radioulnargelenk (DRUG) rotiert die Radiusbasis um den Ulnakopf. Das Gelenk wird gebildet aus der Incisura ulnaris des Radius, der Circumferentia articularis des Ulnakopfs und einem Bandkomplex, der sich zwischen den Gelenkpartnern aufspannt und als triangularer fibrokartilaginärer Komplex (TFCC: triangular fibrocartilage complex; Synonym ulnokarpaler Komplex) bekannt ist. Dieser Bandkomplex ist Stabilisator des DRUG und Puffer im Ulnokarpalgelenk.

Das Ende der Elle bildet kein gewöhnliches Gelenk mit einer korrespondierenden Gelenkfläche eines Handwurzelknochens, sondern es trägt den Discus articularis. Dieser Diskus füllt den relativ weiten Gelenkraum zwischen Processus styloideus ulnae und Os triquetrum auf. Er ist Bestandteil des triangularen fibrokartilaginären Komplexes. Dazu gehören folgende Strukturen:

- Discus ulnocarpalis oder articularis
- Ligamentum radioulnare palmare et dorsale
- Ligamentum ulnolunatum et ulnotriquetrum
- Meniskus ulnocarpalis
- Ligamentum collaterale carpi ulnare
- Sehnenfach des M. extensor carpi ulnaris
- Dorsaler Bandzügel vom Discus ulnocarpalis zur Gelenkkapsel der Articulatio ossis pisiformis.

Das Handgelenk wird durch Kollateralbänder und durch Bandzügel gefestigt, die die dorsale und volare Kapsel verstärken. Beugeseitig findet sich der Karpaltunnel, der den N. medianus enthält. Ulnar liegt die Guyon-Loge, in der der N. ulnaris zum Hypothenar verläuft. Streckseitig an der Radiusbasis befinden sich osteofibröse Rinnen, in denen die Strecksehnen geführt bzw. umgelenkt werden. Insgesamt gibt es 6 Fächer (▶ Kap. 7, Hand).

Der prominenteste Punkt der dorsalen Gelenkfläche der Radiusbasis heißt Tuberculum Listeri. Über diesen Punkt wird die Sehne des langen Daumenstreckers umgelenkt. Insbesondere dann, wenn in diesem Bereich Platten implantiert worden sind, entstehen hier relativ häufig spontane Sehnenrupturen degenerativer Genese.

6.1.2 Leitsymptome

Tab. 6.1 fasst die Leitsymptome zusammen.

6.2 Oberarm

6.2.1 Humerusschaftfrakturen

Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Etwa 3% aller Frakturen betreffen den Humerusschaft, 5% den proximalen Humerus und 3% den distalen Humerus (Lill u. Josten 2000). Schaftfrakturen des Oberarms werden als Monoverletzungen, aber auch häufig bei Polytraumatisierten gesehen. Der Sturz auf den Arm kann direkt oder indirekt den Knochen brechen lassen; dementsprechend finden sich Quer-, Stück- oder Spiralfrakturen. Bei Schaftfrakturen ist der N. radialis in 10–18% meist durch eine Überdehnung, bei distalen Frakturen der N. ulnaris in 2% der Fälle betei-

Tab. 6.1 Einige wichtige Leitsymptome am Arm

Symptom	Verletzung oder Krankheitsbild
Instabilität des Oberarms oder Unterarms	Fraktur
Proximalisierter Muskelbauch des M. biceps	Ruptur der distalen Bizepssehne
Störung der Geometrie des Hueter-Dreiecks	Fraktur, Luxation
Ballonförmige Schwellung posterior über dem Ellenbogengelenk	Bursitis olecrani
Isolierter Druckschmerz über dem radialen Epikondylus	Epicondylitis humeri radialis; Differenzialdiagnose: Engpasssyndrom des tiefen Radialisasts
Isolierter Druckschmerz über dem ulnaren Epikondylus	Epicondylitis humeri ulnaris
Druckschmerz über der Fossa olecrani	Posteriores Impingement bei Werfern
Druckschmerz über dem Radiuskopf	Fraktur
Positives Tinel-Zeichen über dem Sulcus ulnaris	Engpasssyndrom des N. ulnaris
Druckschmerz über der Tuberositas radii	Insertionstendopathie der distalen Bizepssehne
Thenaratrophie	Schädigung des N. medianus
Hypothenaratrophie	Schädigung des N. ulnaris

ligt, und in 1–2% der Fälle wird die A. brachialis mitverletzt (Käch u. Trentz 1995). Metastasierende Tumorleiden werden immer wieder durch pathologische Frakturen des Humerusschafts kompliziert.

Klinik

Bewegungsschmerz bis hin zur Bewegungsunfähigkeit, Schwellung und Achsenfehlstellung sind richtungsweisend. Die Verletzten versuchen instinktiv, den instabilen Oberarm mit der Hand des gesunden Arms am Thorax zu schienen. Beim polytraumatisierten bzw. generell beim intubierten Patienten, der keine Schmerzangaben macht, kann man Instabilität und Krepitation als sichere Frakturzeichen gut prüfen, was am wachen Patienten nicht getan werden soll.

Nach sensiblen und motorischen Ausfällen muss präoperativ zur Befunddokumentierung und richtigen Weichenstellung für die einzuschlagende Therapie gezielt gefahndet werden; außerdem kontrolliert man den Radialispuls.

Diagnostik

Standardaufnahmen des verletzten Arms mit angrenzenden Gelenken in 2 Ebenen sichern die Verdachtsdiagnose. Wenn eine operative Stabilisierung mit Marknagel geplant ist und die Übersichtsbilder z.B. wegen eines Achsknicks nicht gut abzumessen sind, kann eine Aufnahme der unverletzten Seite in einer Ebene zur Bestimmung der exakten Länge hilfreich sein. Bei Durchblutungsstörungen wird die Lokalisation der Gefäßverletzung notfallmäßig intraoperativ ermittelt.

Primäre posttraumatische Radialisparesen werden in 9-27% der Patienten mit Oberarmschaftfrakturen gesehen (Vock er al. 2000). Die Verletzung des N. radialis imponiert als eine partielle Fallhand. Die Funktion der Finger- und Daumenstrecker sowie des langen Daumenabduktors fällt bei erhaltener Handgelenkstreckung aus. Die Sensibilität der Streckseite des Daumens und Zeigefingers fehlt. Meist wird der Nerv durch Frakturen im Oberarm oder Ellenbogengelenk primär oder iatrogen sekundär geschädigt. Eine isolierte Verletzung des R. profundus n. radialis kann eine Verletzung im proximalen Unterarm komplizieren. Die Versorgung erfolgt durch primäre Naht bzw. Suralisinterponat bei vorhandenem Defekt. Bei ausbleibender Regeneration bleibt die Möglichkeit von Sehnenersatzoperationen (Georgoulis u. Hertel 1991). Die Mm. interossei strecken die Finger im Mittel- und Endgelenk, während die Extension in den Grundgelenken nur bei intakter Radialisfunktion möglich ist. Dies kann postoperativ dann nicht zweifelsfrei beurteilt werden, wenn die Patienten schmerzgeplagt sind oder Gipsverbände tragen, die die Streckung beeinträchtigen. Es gibt jedoch eine aussagekräftige Methode, die Profundusfunktion auch bei liegendem Gips oder starken Schmerzen sicher zu beurteilen: Man prüft, ob der Patient den Daumen abspreizen kann.

Klassifikation

Klassifikation der Humerusschafftfrakturen (Müller et al. 1992)

A Einfache Fraktur
- A1: Spiralförmig
- A2: Schräg
- A3: Quer

B Keilfraktur
- B1: Mit Drehkeil
- B2: Mit Biegungskeil
- B3: Keil fragmentiert

C Komplexe Fraktur
- C1: Spiralförmig
- C2: Etagenförmig
- C3: Irregulär (Abb. 6.9)

Therapie

Grundlagen

Die Kontroverse zwischen konservativer und operativer Therapie von Humerusschaftfrakturen zieht sich wie ein roter Faden durch die Literatur. Die Streubreite der Einschätzungen der Möglichkeit

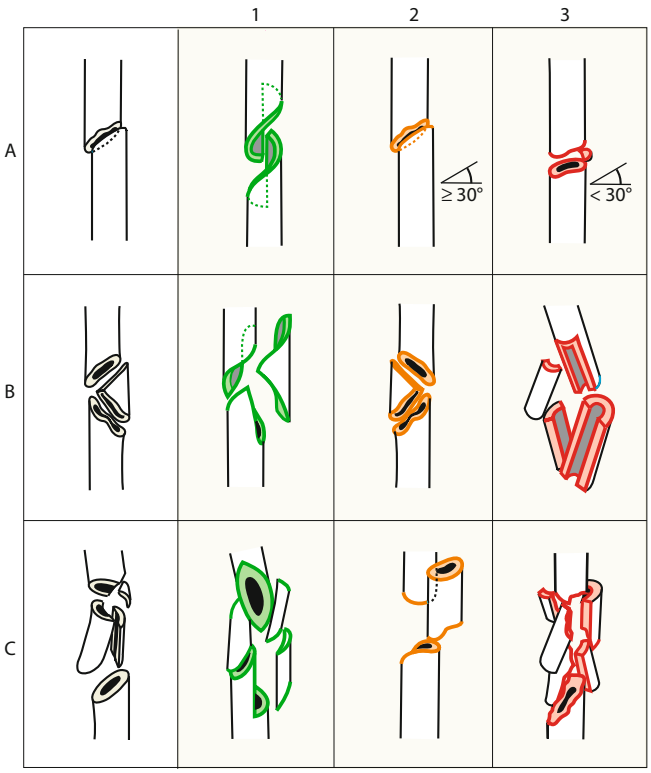


Abb. 6.9 AO-Klassifikation Humerusschaftfrakturen. a Zweifragmentfrakturen (je 3 Untergruppen A1.1-A3.3 je nach Höhe der Frakturlokalisation)
A1: Spiralförmige Bruchlinie
A2: Schrägfraktur (>30°)
A3: Querfraktur (<30°)
b Keilfrakturen, Dreifragmentbrüche (Untergruppe B1.1-B3.3 je nach Höhe der Frakturlokalisation)
B1: Drehkeil
B2: Biegungskeil
B3: Komplexer fragmentierter Keil
c Komplexe Frakture (Untergruppen C1.1-C3.3 je nach Anzahl der Fragmente)
C1: Spiralförmig mit Zwischenfragmenten
C2: Etagenfraktur (Herausbrechen eines Segemens
C3: Irregulärer Verlauf
(Aus: Müller-Mai et al. 2010)

einer konservativen Behandlung vonseiten verschiedener Autoren ist sehr hoch; sie reicht von 33–95%.

Problematisch bei der konservativen Therapie ist die Ruhigstellung, da das proximale Hauptfragment insbesondere bei muskelkräftigen oder adipösen Patienten nur bedingt geschient werden kann. Dazu kommt, dass das Schultergelenk nur über die Klavikula knöchern am Thorax fixiert und ansonsten muskulär gehalten wird, was wiederum die Ruhigstellung des proximalen Hauptfragments erschwert.

Vor diesem Hintergrund erstaunt es, dass konservativ behandelte Frakturen häufig gute Ausheilungsergebnisse zeigen. Dies hängt damit zusammen, dass geringe bis mäßige Achsknicke und auch Versetzungen der Hauptfragmente um Schaftbreite sich funktionell nicht negativ auswirken. Anders als an der axial stark belasteten unteren Extremität münden am Oberarm Achsknicke und Rotationsfehler nicht in Arthrosen der angrenzenden Gelenke.

Darüber hinaus ist die operative Versorgung dieser Frakturen nicht unproblematisch, weil die gewählten Implantate versagen können, weil sich Pseudarthrosen bildeten können und der N. radialis gefährdet ist. In diesem Zusammenhang verweisen Brug et al. (1994) auf eine Sammelstatistik mit 450 operativ behandelten Humerusfrakturen, in der die Rate iatrogener Nervenschäden 11,7% beträgt.

Konservative Therapie

Kontraindikationen für eine konservative Therapie sind:
- Weichteilschäden,
- akzidentielle Nerven- oder Gefäßverletzung,
- Polytraumatisierung,
- Kettenfrakturen,
- beidseitige Frakturen,
- ausgeprägte Adipositas.

Vorgehen

Zunächst wird der verletzte Arm für etwa 2 Wochen in einem Desault- oder Gilchrist-Verband ruhiggestellt, bis das Frakturhämatom zäh wird und für weitgehende Schmerzfreiheit sorgt. Dann ersetzt man den Verband durch einen Brace nach Sarmiento plus »Cuff-and-Collar-Schlinge«, für etwa 8 Wochen. Begleitende Krankengymnastik wirkt einer schleichenden, immobilitätsbedingten Einsteifung der angrenzenden Gelenke entgegen.

Bei Patienten, die während der Brace-Behandlung den Arm in einer Schlinge tragen, können die Gelenke leicht einsteifen. Deshalb müssen Schulter- und Ellenbogengelenk täglich beübt werden.

Der so genannte »hanging cast« wird nicht mehr verwendet. Sein Gewicht kann bei Quer- oder kurzen Schrägbrüchen eine Diastase im Frakturbereich verursachen. Außerdem wirken seine Schwingtendenz und die auftretenden Hebelkräfte der angestrebten Ruhigstellung entgegen.

Klestil und Mitarbeiter (1997) haben konservativ behandelte Patienten (n=36) mit operativ behandelten (n=27) verglichen und gefunden, dass die konservative Therapie signifikant bessere Ergebnisse hinsichtlich der Kriterien Schmerz, Kraft, Beweglichkeit, Neurologie, Stellungsbefund und Kosmetik erbrachte. Die Autoren haben die verletzte Extremität zunächst in einer Gips-U-Longuette ruhiggestellt. Nach Abklingen von Schmerzen und Schwellung, 10-14 Tage später, wurden die Longuetten am sitzenden Patienten bei herabhängendem Arm abgenommen. Ein Baumwollstrumpf wurde übergestreift und anschließend eine Kunststoffbinde (aus Softcast 3M) zirkulär vom Ellenbogen bis innenseitig zur Achselfalte und außenseitig bis auf Höhe des Tuberculum majus angewickelt. Als Verstärkung wurde latero-dorsal eine Longuette aufgelegt und eine zweite, nunmehr befeuchtete Kunststoffbinde, um das Aushärten zu initiieren, darüber gewickelt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die angrenzenden Gelenke des Oberarms nicht in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt werden. Während des Anmodellieren des Verbandes wurden etwaige Fehlstellungen (ggf. auch unter Einsatz eines Bildwandlers) nachkorrigiert.

Nach dem Aushärten wurde die Softcasthülse beugeseitig der Länge nach aufgeschnitten und anschließend mit zwei Klettverschlüssen wieder straff geschlossen. Der Unterarm wurde elastokompressiv gewickelt und bei ausgeprägter Schwellneigung eine Lymphdrainage verordnet. Der Patient wurde angewiesen, ab sofort Pendelübungen der Schulter und Bewegungsübungen des Ellenbogens durchzuführen. Die Schiene mussten die Patienten täglich mit Hilfe der Klettverschlüsse nachspannen.

Wenn bei abnehmender Schwellung Softcastschienen zu weit werden, lassen sie sich problemlos der neuen Situation anpassen,

indem man mit einer kräftigen Schere einen schmalen Streifen am Rand der längsgespaltenen Schiene abtrennt.

Operative Therapie

Indikationen für eine operative Therapie sind:

- Offene Fraktur,
- kurze Schräg- oder Querfraktur (Typ A2 oder A3),
- akzidentieller Nervenschaden,
- akzidentieller Gefäßschaden,
- Polytrauma,
- Kettenfrakturen (»floating elbow«),
- beidseitige Frakturen,
- Pseudarthrose,
- pathologische Fraktur.

Dringlichkeit

Offene Frakturen und Frakturen mit geschlossenem Weichteilschaden müssen notfallmäßig versorgt werden, bevor eine Superinfektion eintritt. Bei primärer Nervenläsion kann eine rechtzeitige Dekompression die Erholung des Nervs begünstigen. Dass bei akzidentiellem Gefäßschaden so schnell wie möglich gehandelt werden muss, versteht sich von selbst. Polytraumatisierte werden abhängig von ihren Vitalfunktionen versorgt. Kettenfrakturen und beidseitige Oberarmbrüche werden möglichst rasch stabilisiert.

Offene Fraktur

Anders als der Unterschenkel, der ventromedial nur mit Faszie und Kutis gedeckt ist, hat die Humerusdiaphyse einen zirkulären Muskelmantel, der Infektabwehr und knöcherne Heilung begünstigt. Da der Weichteilschaden ohnehin débridiert, gespült und drainiert werden muss, bietet sich an, offene diaphysäre Humerusfrakturen mit einer Plattenosteosynthese zu stabilisieren und akzidentielle Nerven- oder Gefäßverletzungen auf diesem Weg mitzuversorgen. Einzige Kontraindikation ist laut Brug et al. (1994) eine zu starke Verschmutzung der Weichteile. In diesem Fall empfiehlt sich die primäre Anlage eines Fixateur externe mit späterem Verfahrenswechsel, sobald die Weichteilverhältnisse es erlauben. Gegebenenfalls sind planmäßige Second-look-Eingriffe beispielsweise alle 2 Tage notwendig, bis schwelende Infekte abgeklungen sind.

Kurze Schräg-, Quer- oder Keilbrüche (Typ A2, A3 und B)

Für diese Bruchtypen besteht zumindest eine relative Indikation, da im Gegensatz zum langen Schrägbruch die Kontaktfläche zwischen den Hauptfragmenten viel kleiner ist. Dadurch können sich Hebel-, Dreh- und Scherkräfte ungünstiger auswirken und zur verzögerten Heilung führen. Insgesamt muss man mit einer verlängerten Ruhigstellungs- und Heilungsdauer rechnen und die Vor- und Nachteile eines operativen Vorgehens mit dem Patienten diskutieren.

Akzidentieller Nervenschaden

Bei einem begleitenden Radialisschaden wird der Nerv in der Regel überdehnt, weil er im mittleren Schaftdrittel fast unverschieblich in seinem Sulkus fixiert ist (Übersicht). Selten wird der Nerv durchtrennt oder zwischen den Bruchstücken verklemmt bzw. aufgespießt. In diesen wenigen Fällen und bei sekundär auftretenden Lähmungserscheinungen besteht die Indikation zur Revision des Nervs.

Die Funktion eines Nervs kann elektrophysiologisch erfasst werden. Die Untersuchung ist aber im Akutstadium nicht aussagekräftig. Im Nadel-EMG wird das Ausmaß einer etwaigen Schädigung frühestens nach 3 Wochen fassbar, wenn eine Waller-Axon-degeneration eintritt oder ausbleibt. Bei den Leitungsbestimmungen kann auch ein diskonnektiertes Axon 3 Tage lang elektrisch leitend bleiben (Berger u. Becker 1994).

Formen traumatischer Nervenschäden (Seddon 1945)

- **Neuropraxie**: Die Nervenleitgeschwindigkeit wird durch Druck- oder Zugeinwirkung herabgesetzt oder ganz blockiert. Die Kontinuität von Axonen und Nervenhülle ist erhalten. Eine alleinige Dekompression des Nervs samt seiner umliegenden Gewebehülle genügt, denn laut Käch u. Trentz (1995) sollte keine mikrochirurgische Neurolyse stattfinden.
- **Axonotmesis**: Die Axone werden, meist durch Quetschung, unterbrochen. Die Nervenhülle bleibt stehen, was die Regeneration begünstigt. Das intraoperative Vorgehen deckt sich mit dem bei Neuropraxie.
- **Neurotmesis**: Axone und Nervenhüllen sind durchtrennt. Nach erfolgter Frakturstabilisierung muss der Nerv mikrochirurgisch genäht werden. Wenn Substanzdefekte vorliegen, was meist der Fall ist, erfolgt die Überbrückung mit einem Suralistransplantat sekundär (Käch u. Trentz 1995).

Nerven sind zwar relativ elastisch, ihre Mobilität ist aber geringer als die anderer Weichteile. Die Dehnbarkeit der Axone beträgt nur etwa 10% und ist damit geringer als die der Hüllstrukturen des Nervs. Bereits bei einer Zuglast von 35–40 kg zerreißen die inneren Axone ohne Unterbrechung der Kontinuität des Epineuriums. Der häufigste Schädigungsmechanismus ist die Überdehnung (Mumenthaler u. Schliack 1987).

Brug et al. (1994) fanden unter 174 operativ behandelten Humerusschaftfrakturen 47 (27%) mit einer primären Radialisläsion, die revidiert wurde. In 5 Fällen war der Nerv durchtrennt und musste genäht bzw. mit einem Interponat versorgt werden. In 2 Fällen war er eingeklemmt. Kwasny et al. (1992) sahen unter 339 Patienten mit Oberarmschaftbrüchen 28 mit primärem und 7 mit sekundärem Radialisschaden. Die Nerven waren in 6 Fällen gedehnt, in 7 gequetscht, in 6 wiesen sie ein intraneurales Hämatom auf und in 8 waren sie unauffällig. Nur in einem Fall war der Nerv angespießt. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Exploration des Nervs nur in Ausnahmefällen wirklich indiziert ist. In der Regel reicht es also aus, dafür zu sorgen, dass der Nerv nicht zwischen den Bruchenden verklemmt ist. Dies kann bei der Osteosynthese mit einem Marknagel in Form einer halboffenen Reposition geschehen. Man vergewissert sich durch Abtasten des Bruchspalts über einen kleinen Zugang, dass kein Interponat im Bruchspalt liegt (s. unten, Verfahrensweisen), denn auch die Revision des Nervs birgt Gefahren. Iatrogene verursachte Schäden entstehen meist durch Hakendruck oder Überdehnung bei der Präparation.

Akzidentieller Gefäßschaden

Bei Durchblutungsstörungen muss man notfallmäßig Fraktur und Gefäß über einen anteromedialen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) darstellen. Unmittelbar nach erfolgter Osteosynthese wird das Gefäß versorgt. Wenn die Ischämiezeit bereits 2 h dauert, sollte ein interluminärer Shunt für den Zeitraum der Frakturversorgung zwischengeschaltet werden.

Polytrauma

Abhängig von Begleitverletzungen sind verschiedene Implantate denkbar. Im Vordergrund des Interesses steht, die Fraktur zu

stabilisieren, um einerseits die Ausschüttung von Schockmediatoren zu unterbrechen und andererseits Polytraumatisierte früher und einfacher mobilisieren zu können. Häufig liegen zusätzlich Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten vor, die eine Teilbelastung und somit den Einsatz der Arme erfordern. Dies ist wiederum nur dann möglich, wenn der Oberarmschaftbruch stabil versorgt wurde. Das ist auch der Grund dafür, weshalb nach Möglichkeit ein Nagel verwendet wird, denn er bietet eine viel höhere Primärstabilität als die Platte, die unter vorzeitiger Belastung leicht auslockert. Die Primärversorgung erfolgt jedoch häufig mit einem Fixateur externe, um Zeit zu gewinnen und die lebensbedrohlich Verletzten möglichst wenig zu belasten.

Kettenfrakturen (floating elbow) und beidseitige Frakturen

Bei der Versorgung beginnt man proximal, also mit dem Oberarmschaftbruch.

Pseudarthrose

Hypertrophe Pseudarthrosen entstehen auf dem Boden einer Instabilität. Sie heilen aus, wenn es gelingt, für mehr Stabilität zu sorgen. Avaskuläre, atrophe Pseudarthrosen können durch Débridement und Spongiosaplastik, ggf. unter Verkürzung, fest werden. Falschgelenkbildungen im Schaftbereich des Humerus entstehen in 2–8% nach konservativer Therapie und nach 6-–5% nach operativer (McKee et al. 1996, Rosen 1990). Dabei ist bezüglich der operierten Fälle eine Negativauswahl anzunehmen, da eine Operationsindikation überwiegend bei Polytraumen, offenen Frakturen, primären Nervenschäden und geschlossenen, nicht reponierbaren Frakturen gestellt wird. Wenzl und Mitarbeiter (2003) haben 36 Patienten mit Pseudarthrosen des Humerusschafts mit einer konventionellen oder winkelstabilen Plattenosteosynthese und gleichzeitiger autologer Spongiosaplastik versorgt. In allen Fällen konnten sie eine knöcherne Heilung bewirken. Die Autoren betonen, dass gerade im diaphysären Bereich des Humerus weitere Revisionen wegen des zunehmenden Risikos einer bleibenden Radialisparese vermieden werden sollte. Aus diesem Grund ist die primäre Spongiosaplastik bei der Plattenosteosynthese einer Pseudarthrose indiziert. Überdies sind winkelstabile Implantate für diese Indikation besser geeignet als konventionelle Platten, denn sie bieten im osteoporotischen Knochen mehr Halt und erlauben außerdem eine kurzstreckigere Verankerung, was das Ausmaß der Exposition am Knochen verringert (durchschnittliche Plattenlänge 137 mm versus 160 mm).

Pathologische Fraktur

Drohende oder manifeste pathologische Frakturen bei metastasierendem Tumorleiden spielen eine immer größere Rolle, weil sich die Überlebenszeiten durch die Fortschritte onkologischer Behandlungsregime kontinuierlich verlängern. Drohende Frakturen können prophylaktisch mit einem Verriegelungsnagel stabilisiert werden. Manifeste Frakturen erfordern häufig ein offenes Vorgehen mit Resektion aufgeweichter Knochenabschnitte und anschließender Verbundosteosynthese.

Nachbehandlung

Die Versorgung sollte so stabil sein, dass frühfunktionell nachbehandelt werden kann. Bei offenen Frakturen wird ein Antibiotikum (z.B. ein breit wirksames Cephalosporin der 1. Generation) bis zum ersten postoperativen Tag weitergegeben und in Ausnahmefällen auch länger.

Bei begleitendem Nervenschaden sollte ein neurologischer Ausgangsstatus erhoben werden. Nach stattgehabter Gefäßverletzung ist postoperativ eine Kontrollangiografie indiziert.

Eine Implantatentfernung ist mit Risiken verbunden. Bei der Plattenentfernung ist der N. radialis in Gefahr. Um einen antegrad eingebrachten unaufgebohrten Nagel zu entfernen, besteht die Notwendigkeit, erneut die Rotatorenmanschette zu eröffnen. Dabei muss man bei der Entfernung häufig relativ weit nach medial präparieren, da der Nagel, nachdem er sich im Markraum ausgerichtet hat, dazu tendiert, von der lateral gewählten Eintrittsstelle nach medial auszuweichen. Retrograd eingebrachte Nägel verkeilen sich an ihrer Einbringstelle, die ja, anders als bei den übrigen Marknägeln, im kortikalen Knochen liegt, sodass man ein ausreichend großes Knochenfenster schaffen muss, um sie entfernen zu können. Solche Fenster destabilisieren den Röhrenknochen und bergen eine nicht zu vernachlässigende Bruchgefahr.

Wegen der erheblichen Risiken, die mit einer Implantatentfernung am Oberarm verbunden sind, sollten Platten oder Verriegelungsnägel nur bei zwingenden Gründen (Beschwerden, Implantatversagen) entfernt werden, keinesfalls jedoch in der Rückbildungsphase einer Radialisparese.

Komplikationen und Prognose

Die operativ revidierte Radialisläsion hat eine gute Prognose. In einem von Kwasny et al. (1990) nachuntersuchten Kollektiv haben sich alle 28 Paresen postoperativ zurückgebildet. Pseudarthrosen können bei verbliebener Instabilität oder ausgedehnter Devastierung der Bruchenden entstehen – nach konservativer Therapie seltener als nach operativer, wobei die Kollektive nicht miteinander vergleichbar sind (zum Kompartment-Syndrom und seiner Therapie: ▶ Abschnitt 6.2.3.2, Kompartment-Syndrom).

Vorgehen bei primärer Radialisparese

Die häufigste Ursache einer Radialisparese ist die Humerusfraktur. Daecke und Geiger (2008) haben eine Literaturrecherche hinsichtlich Inzidenz, Prognose und Therapie bei mit Humerusschaftfrakturen assoziierten Radialisparesen durchgeführt und gefunden, dass deren Häufigkeit bei durchschnittlich 12% liegt. In über 85% der Fälle kommt es zur spontanen Regeneration der Parese, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen einer primär operativen und einer zunächst abwartenden, ggf. sekundär operativen Strategie festzustellen ist. Die hohe Spontanheilungsrate macht eine frühe operative Exploration des N. radialis häufig überflüssig. In den Fällen, in denen ein Hinweis auf eine relevante Nervenverletzung vorliegt, sollte sie jedoch weiterhin durchgeführt werden. Hinweise auf eine relevante Nervenverletzung, die primär operiert werden sollten, sind:

- offene Frakturen,
- Frakturen mit höhergradiger Weichteilverletzung,
- extraartikuläre Spiralfrakturen des distalen Humerus (Holstein-Lewis-Fraktur),
- begleitende Gefäßverletzung,
- Schuss- und Stichverletzung,
- Radialisparesen nach geschlossener Reposition,
- bei sonografischem oder magnetresonanztomografischem Verdacht auf eine Kontinuitätsunterbrechung des Nervs.

In allen anderen Fällen kann die Spontanheilung abgewartet werden. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei einer ausbleibenden Nervenregeneration etwa 2–3 Monate nach dem Unfall eine sekundäre Nervenexploration und eine adäquate Therapie erfolgen sollten. Die Regenerationszeit errechnet sich aus der Strecke zwischen Fraktur und 2 cm proximal des Epicondylus humeri lateralis in Millimetern plus 30 Tagen; also z.B. 200×30=230 Tage.

Eine Sekundäroperation sollte nicht später als 7 Monate nach dem Unfall erfolgen (Daecke u. Geiger 2008).

Verfahrensweisen

Plattenosteosynthese

Aufklärung

Neben den allgemeinen Risiken sind die mögliche Verletzung des N. radialis, Pseudarthrose und Implantatversagen zu nennen.

Vorgehen

Proximal bis mittig gelegene Schaftbrüche lassen sich gut über einen anterolateralen, mittig bis distal gelegene über einen dorsalen Zugang erreichen (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Wenn der N. radialis revidiert werden muss, wird der dorsale Zugang bevorzugt. Er ermöglicht die Montage des Implantats auf der günstigeren Zuggurtungsseite des Humerus. Polytraumatisierte Patienten können jedoch häufig nicht in die dafür notwendige Bauchlage gebracht werden. Dann wird die Platte seitlich über einen anterolateralen Zugang eingebracht (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Bei intaktem Nerv empfiehlt sich generell anterolateral vorzugehen, weil hierbei eine iatrogene Verletzung des Nerven nur dann möglich ist, wenn außerhalb des gesplitteten M. brachialis präpariert wird (Bongers u. Muhr 1984). Der M. brachialis kann bedenkenlos längs gespalten werden, weil seine laterale Hälfte vom N. radialis und seine mediale vom N. musculocutaneus innerviert wird. Ist die A. brachialis verletzt, wird das Gefäß über einen anteromedialen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) aufgesucht, von dem aus die Fraktur ebenfalls versorgt werden kann.

Bongers u. Muhr (1984) empfehlen eine Verkürzungsosteotomie, wenn eine Gefäß- oder primäre Nervennaht entlastet werden muss bzw. Defekte oder Trümmerzonen vorliegen. Eine Verkürzung bis 3 cm soll sich funktionell und kosmetisch nicht negativ auswirken. Eine biomechanische Studie von Hughes et al. (1997) zeigt dagegen, dass die endgradige Streckkraft des Trizeps bei einer Verkürzung um 1 cm zu 17% reduziert wird, bei 2 cm um 40% und bei 3 cm um 63 %.

Man sollte deshalb nach Möglichkeit nicht sehr viel mehr als 1 cm Schaftlänge opfern. Bei größeren Defekten oder avitalen Fragmenten kann alternativ primär Spongiosa angelagert werden.

Für die dorsale Vorgehensweise muss der Patient in Bauchlage gebracht werden. Der verletzte Arm wird auf einem schmalen Armbänkchen in 90°-Beugestellung des Ellenbogengelenks mit frei herabhängendem Unterarm gelagert. Beim dorsalen Vorgehen werden N. radialis und begleitende Gefäße dargestellt und angeschlungen. Um den Nerv bei Bedarf weit nach distal darstellen bzw. entlasten zu können, muss man das straffe laterale Septum intermusculare spalten. Man darf aber den Nerv dabei nicht langstreckig aus dem umliegenden Gewebe präparieren, weil sonst muskuläre Abschnitte denerviert werden. Aus diesem Grund empfiehlt sich auch nicht, obwohl es in der Literatur immer wieder diskutiert wird, den Nerv nach ventral zu verlagern (Käch u. Trentz 1995).

Implantatwahl

Nach Exposition des Bruchs erfolgt die Reposition. Zur Stabilisierung wird nur bei dünnem Knochen eine schmale, sonst aber eine breite 4,5er DCP verwendet. Pro Hauptfragment müssen mindestens 6 Kortikales gefasst werden. Das Implantat sollte möglichst lang sein, weil es dann Hebelkräfte besser neutralisieren kann. Eine oder 2 Interfragmentärschrauben verbessern die Stabilität erheblich. Trümmerzonen sollen nicht minuziös reponiert, sondern

Abb. 6.10 Versorgung einer Humerusfraktur mit breiter LCDC-Großfragmentplatte

im periostalen Verbund belassen bleiben und besser langstreckig überbrückt werden. Falls die Platte dabei weit distal platziert werden muss, empfiehlt es sich, die Verankerung im radialen Pfeiler vorzunehmen, weil der ulnare Pfeiler weiter ausschwingt und nicht in der Plattenflucht liegt. Die Platte wird unter den N. radialis geschoben, der in sein Hüllgewebe eingebettet auf dem Implantat zu liegen kommt (Abb. 6.10). Die Technik der Plattenosteosynthese wird auch in ▶ Abschnitt 9.4, Femurschaftfrakturen, beschrieben.

Im Operationsbericht sollte die Lage des Nervs in Relation zur Platte exakt beschrieben werden. Man dokumentiert, zwischen welchen Plattenlöchern, von proximal nach distal gezählt, der Nerv das Implantat kreuzt. Das hilft Nervenverletzungen zu vermeiden, falls im weiteren Verlauf eine Implantatentfernung notwendig werden sollte.

Bei fehlender knöcherner Abstützung oder bei Defektfrakturen sollte bereits primär eine Spongiosaplastik erfolgen, um Pseudarthrosen zu vermeiden (Kwasny et al. 1990).

Nachbehandlung

Nach Redon-Entfernung (2. postoperativer Tag) beginnt die Krankengymnastik ohne Belastung. Die Patienten dürfen keine Lasten heben und sich mit dem Arm nicht abstützen. Eine Teilbelastung ist nach 6 Wochen, die Vollbelastung, abhängig vom Röntgenbefund, frühestens nach 12 Wochen möglich. Röntgenkontrollen sollten nach Redon-Entfernung, nach 6 und 12 Wochen und nach 1 Jahr erfolgen.

Bei Radialisparese sind eine Radialisschiene und Elektrotherapie indiziert.

Komplikationen

Die Platte kann brechen oder auslockern, wenn sie zu früh belastet wird oder der Bruch verzögert heilt. Eine Pseudarthrose kann ent-

stehen. Das offene Vorgehen beinhaltet die Gefahr der iatrogenen Nervenschädigung.

Unaufgebohrter Humerusnagel

Der unaufgebohrte Humerusnagel (UHN) kann sowohl ante- als auch retrograd eingebracht werden. Beide Vorgehensweisen haben Vor- und Nachteile, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Generell gilt, dass man nach Möglichkeit den Nagel nicht dort inseriert, wo das Hauptfragment kurz ist, weil sich ein kurzes Fragment viel schwerer axial auffädeln lässt als ein langes und dazu tendiert, sich verkippt einzustellen. Deshalb geht man vorzugsweise am längeren Hauptfragment ein und intubiert das kurze dann vom Markraumniveau aus. Beim antegraden Vorgehen kann die Rotatorenmanschette irritiert werden, während beim retrograden der Schaft gesprengt werden kann.

Als grobe Faustregel für die Wahl des geeigneten Insertionspunkts gilt, dass dafür das längere Hauptfragment gewählt wird.

Antegrade Insertion

Für die antegrade Insertion wird der Patient in Strandstuhl-Position gelagert. Die Länge des Implantats wird so gewählt, dass das proximale Nagelende etwa mit dem Zentrum des Humeruskopfs abschließt und die Nagelspitze mindestens 2 cm vor dem proximalen Ausläufer der Fossa olecrani zu liegen kommt.

Ein zu langer Nagel distrahiert zwangsläufig den Bruchspalt, weil am Humerus im Gegensatz zu den langen Röhrenknochen am Bein eine besondere Situation besteht. Die Nagelspitze läuft einerseits im sich verengenden distalen Markraum bereits 2 cm vor der Fossa olecrani auf und kann nicht weiter in den spröden Knochen hineingetrieben werden. Andererseits kann man das Nagelende proximal nicht überstehen lassen, sondern muss es subchondral versenken, damit die Rotatorenmanschette nicht irritiert wird.

Deshalb kommt es darauf an, die Nagelgröße möglichst exakt zu bestimmen. Man misst dafür die Länge des unfrakturierten Humerus vom Kopf bis zur Fossa olecrani und zieht dann 5–6 cm ab. Etwa 3–4 cm oberhalb des Oberrandes der Fossa, wo der Markraum seine normale Weite bekommt, bestimmt man im seitlichen Strahlengang den benötigten Nageldurchmesser. Dafür gibt es eine Röntgenschablone oder man misst direkt am Röntgenbild ab.

Der Insertionspunkt für den Nagel befindet sich in Verlängerung des Markkanalverlaufs am Rand der Gelenkfläche medial des Tuberculum majus. Über einen kurzen transdeltoidalen Zugang (▶ Kap. 21 Standardzugänge) spaltet man die Supraspinatussehne in Längsrichtung und schafft sich zunächst mit einem Kirschner(K)-Draht und anschließend mit einem Pfriem Zugang zum Markraum. Der unaufgebohrte Humerusnagel wird dann mit einem Zielbügel und einem Kompressionsaufsatz armiert in den Markraum vorgeschoben. Das distale Hauptfragment wird unter Bildwandlerkontrolle aufgefädelt. Manchmal muss der Nagel unter Zuhilfenahme eines Schlitzhammers vorangetrieben werden. Dabei darf man allerdings nur sehr dosiert Kraft anwenden, sonst droht eine Schaftsprengung. Bei stärkerem Widerstand steigt man auf einen dünneren Nagel um.

Falls man bereits die dünnste Nagelgröße gewählt hat, muss der Markraum vor Einbringen des Nagels unbedingt aufgebohrt werden, sonst sprengt man unweigerlich den Schaft.

Über den liegenden Nagel wird die Fraktur gestaucht. Anschließend werden zunächst distal 2 Verriegelungsschrauben unter Zuhilfenahme des strahlendurchlässigen Winkelgetriebes eingebracht. Dabei muss man den Verlauf der Nn. radialis und medianus sowie der A. brachialis bedenken. Proximal kann über den Zielbügel verriegelt werden. Zunächst wird nur das Gleitloch besetzt. Dann versucht man mit dem Kompressionsaufsatz, den Frakturspalt weiter zu verschmälern. Zuletzt wird das statische Verriegelungsloch mit einer Schraube arretiert.

Das Nagelende wird mit einer Verschlussschraube abgedeckt, die verhindert, dass Gewebe ins Gewinde einwächst. Diese Schraube ist in verschiedenen Längen verfügbar. Das ermöglicht die endgültige Nagellänge so zu verändern, dass das Nagelende bis an die Kortikalis heranreicht, was für eine etwaige spätere Implantatentfernung hilfreich ist. Außerdem kann man dadurch den Nagel so weit distal platzieren, dass man in Regionen guter Knochenqualität verriegeln kann.

Das Aufsetzen der Verschlussschraube kann sehr mühsam sein, weil man von der kräftigen Rotatorenmanschette, die man überdies nur möglichst sparsam eröffnet, nach lateral abgelenkt wird. Wenn man das Gewinde jedoch nicht exakt axial trifft, verkantet es sich und die flachen Gewindegänge der Titanschraube verlieren ihr Profil. Es empfiehlt sich daher, diesen Schritt unter Bildwandlersicht vorzunehmen, um die Schraubenrichtung gleich primär exakt axial einzustellen. Das ist initial zwar aufwändiger, spart aber letztlich eine Menge Zeit.

Retrograde Insertion

Der Patient wird in Bauchlage gebracht und der Arm wie für eine dorsale Plattenosteosynthese gelagert (s. oben). Bei Bedarf kann man auch in Seiten- oder Rückenlage vorgehen. Die Bestimmung von Länge und Durchmesser des benötigten Nagels ist identisch mit dem oben beschriebenen Vorgehen. Die Nagelspitze soll nur etwas in den Humeruskopf hineinragen, damit dort verriegelt werden kann, wo der Knochen hart ist.

Man schafft dorsal am distalen Oberarm einen geraden Zugang bei 90° gebeugtem Ellenbogengelenk. Die Trizepssehne wird über dem Humerusschaft längs gespalten. Man sollte etwa 2,5 cm Schaftverlauf kranial der Fossa olecrani einsehen können. Der Markraum wird zunächst mit einem 3,2 mm starken Bohrer im 30°-Winkel von distal her aufgebohrt, dann mit einem 4,5 mm starken Bohrer und schließlich mit einem konischen Fräskopf erweitert, bis ein Kortikalisfenster von 1×2 cm Größe entstanden ist. Alternativ können auch 3 Löcher, die die Form eines Dreiecks bilden, senkrecht zur Markhöhle geschaffen und in oben beschriebener Weise erweitert werden. Alle weiteren Schritte decken sich in etwa mit denen der antegraden Vorgehensweise. Beim proximalen Verriegeln muss man sich den Verlauf des N. axillaris vergegenwärtigen (◘ Abb. 6.11, ◘ Abb. 6.12).

Eine Schwierigkeit ist, den Markraum mittig zu treffen. Das ist wichtig, damit die Kortikalis nicht einseitig geschwächt wird und bricht. Die Weichteile versperren häufig die Sicht oder täuschen eine zentrale Lage vor. Damit man das Fenster tatsächlich mittig ausrichtet, empfiehlt es sich, den distalen Humerusschaft beidseits mit je einem Hohmann-Hebel zu exponieren. Der Zugang muss außerdem in der Flucht des Markraums nach distal ausreichend lang sein, damit die Weichteile beim Einbringen des Nagels nicht zu sehr gequetscht werden. Es empfiehlt sich, die Weichteildecke bis zum radialen Aspekt des Ellenhakens zu spalten.

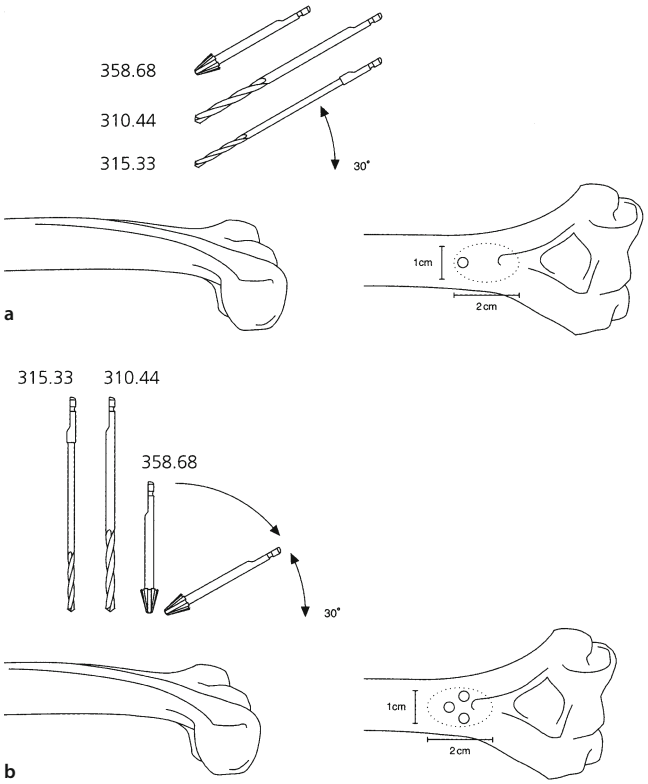


Abb. 6.11a,b Eröffnung des Markraums zur retrograden Insertion eines unaufgebohrten Humerusnagels über ein (**a**) oder 3 Bohrlöcher (**b**). (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

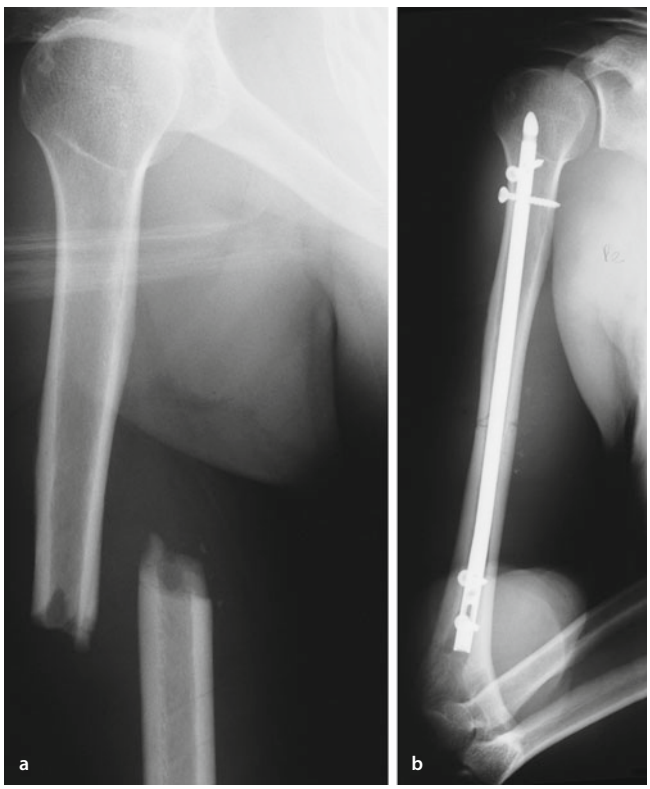


Abb. 6.12a,b Humerusschaftfraktur eines 43-jährigen Patienten (**a**), die mit einem retrograden unaufgebohrten Verriegelungsnagel stabilisiert wurde (**b**)

Problematisch beim retrograden Vorgehen ist, dass man, abgelenkt durch den spröden Knochen, den Markraum zu steil treffen und beim Vortreiben des Nagels das distale Hauptfragment sprengen kann. Deshalb ist es wichtig, das kortikale Fenster schlitzförmig nach distal zu erweitern, damit der Nagel den Markraum möglichst tangential trifft.

Nachbehandlung und Komplikationen

Nach **antegradem Vorgehen** wird der Arm zur Entlastung der Rotatorenmanschette für 4 Wochen auf einer Abduktionsorthese gelagert (so genanntes Briefträgerkissen). Die Orthese wird für die tägliche Krankengymnastik abgenommen.

Nach **retrogradem Vorgehen** genügt als Ruhigstellung ein Gilchrist-Verband, der abhängig von den Beschwerden einige Tage bis 2 Wochen zur Schmerzreduktion getragen wird. Postoperativ wird das Ellenbogengelenk unter Wahrung der Schmerzgrenzen mobilisiert.

Nach der ersten Woche wird die Übungsbehandlung unter Vermeidung von Außen- und Innenrotationsbewegungen gegen Widerstand intensiviert. Rotationsbewegungen gegen Widerstand sind erst nach Abschluss der Bruchheilung erlaubt.

Röntgenkontrollen erfolgen postoperativ, nach 6 und 12 Wochen und nach 1 Jahr.

An möglichen **Komplikationen** sind Schaftsprengung, Verletzung der Rotatorenmanschette, Nervenschädigung und Frakturdiastase zu beachten.

AO/ASIF-Flexnail

Ein neueres Nageldesign soll ermöglichen, spezifische Probleme der unaufgebohrten Verriegelungsnägel zu vermeiden. Beim antegraden Vorgehen kann postoperativ durch eine Verletzung der Rotatorenmanschette oder des Gelenkknorpels der Kopfkalotte ein subakromiales Impingement auftreten. Beim distalen Vorgehen erfordert ein starrer Nagel einen sehr spitzen Eintrittswinkel. Der sich hieraus ergebende ausgedehnte Kortikalisdefekt an einer ohnehin biomechanisch kritischen Lokalisation begünstigt das Auftreten von Fissuren in den Frakturen, die vom Nagelportal ausgehen.

Der Flexnail besteht aus einer Gliederkette, die eine gewisse Biegbarkeit ermöglicht und nach der Einbringphase durch Vorspannung des Nagelkerns versteift werden kann. Die Flexibilität des Nagels ermöglicht bei der antegrade Implantation, distal des Rotatorenmanschettenansatzes einzugehen. Bei der retrograden Implantation kann der Eintrittswinkel steiler gewählt werden. Dadurch wird die Größe des erforderlichen Kortikalisfensters kleiner.

Bislang gibt es nur wenige Studien zu den postoperativen Ergebnissen (Stannard et al. 2003, Müller et al. 2007), sodass der Stellenwert des Implantats noch unklar ist. Müller und Mitarbeiter berichten aber über sehr gute Ergebnisse in Hinblick auf Frakturheilung und funktionelles Outcome (Abb. 6.13).

Fixateur externe

Indikationen für den Fixateur externe am Humerus sind:

- Ausgedehnte Weichteilverletzung,
- Polytrauma,
- Rückzugsmöglichkeit nach missglückter Plattenosteosynthese oder Marknagelung.

Vorgehen

Ein Vorgehen in Bauchlage erleichtert die intraoperative Röntgenkontrolle und exponiert die jeweils benötigten Aspekte des Oberarms zum Einbringen für die Pins. In Strandstuhllagerung ist zwar

Abb. 6.13 Halbschematische Darstellung des Flexnail in ante- und retrograder Implantation. Bei retrograder Implantation sind deutlich die 4 Ausklinkdrähte im Humeruskopf erkennbar. (Aus: Müller et al. 2007)

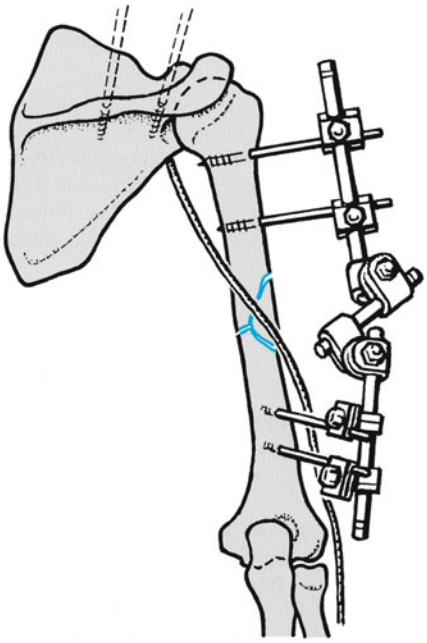


Abb. 6.14 Unilateraler Fixateur externe am Humerus mit Rohr-zu-Rohr-Montage. (Aus: Müller et al. 1992)

die Reposition einfacher, aber Röntgen und Einbringen der Pins sind schwieriger.

Wie an Femur und Tibia kann auch am Humerus u.a. der Rohrfixateur verwendet werden. Bevor man die Pins einbringt, muss man sich den Verlauf des N. radialis vergegenwärtigen. Um diesem auszuweichen, geht man im proximalen Hauptfragment von lateral und im distalen von dorsal ein. Dabei muss man proximal auch den Verlauf des N. axillaris beachten. Distal darf man der Fossa olecrani nicht zu nahe kommen, sonst kann der Pin das Eintauchen der Olekranonspitze in die Fossa blockieren. Eine Streckhemmung im Ellenbogengelenk wäre die Folge. Die Pins werden über Stichinzisionen eingebracht. Auf Faszienniveau müssen Schlitze geschaffen werden, damit beim späteren Durchbewegen keine Druckstellen entstehen, die Pin-Trakt-Infektionen nach sich ziehen könnten.

Wenn man die Pinlöcher nicht vorbohrt oder bei Verwendung von selbstschneidenden Schanz-Schrauben nicht zumindest die diesseitige Kortikalis ankörnt, kann man sehr leicht abrutschen und die Weichteile verletzen, weil ja mit erheblichem Kraftaufwand gearbeitet werden muss, um einen selbstschneidenden Pin in die spröde Kortikalis eindrehen zu können. Insbesondere bei jungen Patienten ist der Knochen im diaphysären Bereich besonders hart. Dazu kommt, dass der geringe Durchmesser der Humerusdiaphyse für die Schraube nur einen schmalen, beidseits steil abfallenden Grat bietet. Nach fertiger Montage wird das Ellenbogengelenk durchbewegt, damit die Pins Gleitwege in die Muskulatur dehnen (Abb. 6.14).

Nachbehandlung

Empfohlen wird die tägliche Pinpflege durch Abtragen sich bildender Schorfe. Die Montage ist übungsstabil, sodass die angrenzenden Gelenke frei bewegt werden können, der Arm jedoch nicht auf Zug oder Druck belastet werden darf.

Komplikationen

Eine Medline-Recherche (Heppert et al. 2000) ergab folgende Datenlage:

- Pin-Trakt-Infektionen in bis zu 50%,
- die Fraktur kann erneut abrutschen, es resultieren Achsenfehlstellung in 64%,
- Pseudarthrosen treten in 57% der Fälle auf und
- Pins können ausbrechen.

6.2.2 Distale Humerusfrakturen

Epidemiologie, Ätiologie, Klinik und Diagnostik

Die distale Humerusfraktur ist mit einem Anteil von 2–6% aller Frakturen eine eher seltene Verletzung. Aber im Senium weist sie einen Häufigkeitsgipfel auf und aufgrund der Veränderung der Altersstruktur der Bevölkerung eine steigende Inzidenz (Srinivasan et al. 2005).

Was die Aspekte Ätiologie und Klinik anbelangt, gibt es keine nennenswerten Unterschiede zu den Humerusschaftfrakturen (s. oben). Mit Einschränkung gilt dies auch für die Diagnostik, wobei komplexe Frakturen mit Röntgenstandardaufnahmen in 2 Ebenen nur bedingt beurteilbar sind, insbesondere auch deshalb, weil die Standardprojektionen aufgrund der schmerzhaften Fehlstellungen und Bewegungseinschränkungen ohnehin nicht exakt eingestellt werden können und von daher meistens nur Aufnahmen in Behelfstechnik verfügbar sind. Deshalb empfiehlt sich zusätzlich ein CT. Bei der Inspektion der Weichteilsilhouette kann es hilfreich sein, die Konfiguration des Hueter-Dreiecks zu prüfen (▶ Abschnitt 6.1, Basiswissen). Bei distalen Frakturen und Ellenbogengelenkluxationen ist die Geometrie dieser Struktur gestört.

Die Inzidenz begleitender arterieller Gefäßverletzungen beträgt bei geschlossenen Frakturen des distalen Humerus 5–10% laut Moneim und Garst (1995). Pathophysiologisch liegt meist

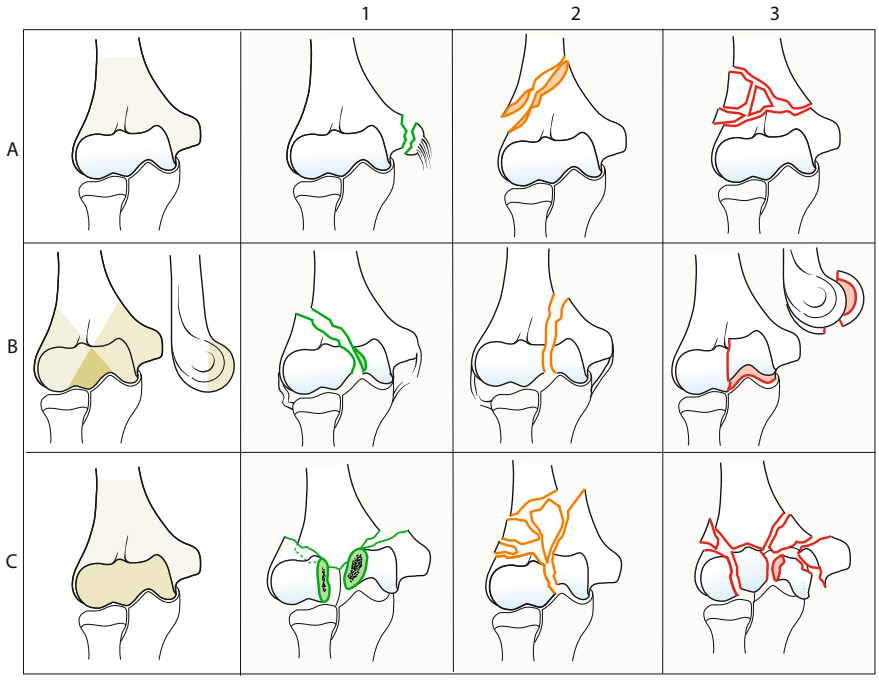


Abb. 6.15 Extra- und intraartikuläre Frakturen, distaler Oberarm. a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1-A3.3.)
A1: Apophysär
A2: Metaphysär einfach (supra- oder transcondylär)
A3: Metaphysär mehrfach fragmentiert
b Intraartikuläre einfache Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1-B3.3)
B1: Radialer (lateraler) Condylus
B2: Medialer (ulnarer) Condylus
B3: Abscherung in der Frontalebene
c Intraartikuläre vollständige Frakturen (C1.1-C3.3)
C1: Intraartikulär und metaphysär einfach (T- oder Y-förmig, intercondylär)
C2: Intraartikulär einfach, metaphysär mehrfach
C3: Intraartikulär mehrfach und metaphysär mehrfach
(Aus: Müller-Mai et al. 2010)

eine Überdehnung mit konsekutiver Intimaläsion zugrunde oder eine Durchspießung durch ein scharfkantiges Fragment. Klinische Zeichen sind fehlender Radialispuls, Blässe der Extremität, Ischämieschmerz, Parästhesie, Paralyse und Schock.

Laut Literaturübersicht beträgt die Inzidenz von begleitenden Nervenverletzung bis zu 20% (Rueger et al. 2005). Die Autoren fordern deshalb eine gründlich und gut dokumentierte klinisch-neurologische Eingangsuntersuchung auf Facharztniveau.

Klassifikation

Die Einteilung der distalen Frakturen ist in der Übersicht dargestellt (Abb. 6.15).

Klassifikation der distalen Humerusfrakturen (Müller et al. 1992

A: Extraartikuläre Fraktur
- A1: Apophysärer Abriss
- A2: Metaphysär einfach
- A3: Metaphysär mehrfragmentär

B: Partiell artikuläre Fraktur
- B1: Lateral-sagittal
- B2: Medial-sagittal
- B3: Frontal

C: Vollständig artikuläre Fraktur
- C1: Artikulär und metaphysär einfach
- C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär
- C3: Mehrfragmentär

Therapie

Konservative Therapie

Durch Zug des M. pronator teres weicht die Fraktur leicht in eine Varusfehlstellung ab. Darum sollte man, das empfahl bereits Böhler, den Arm in Pronation ruhigstellen. Für ein konservatives Vorgehen eignen sich aber allenfalls unverschobene Frakturen, denn die erforderliche Ruhigstellungsdauer von mindestens 4 Wochen kann zu hartnäckigen Bewegungseinschränkungen im Ellenbogengelenk führen.

Operative Therapie

Grundlagen

Indikationen sind:
- Frakturen mit Gelenkbeteiligung,
- dislozierte Frakturen,
- offene Frakturen oder Weichteilschaden,
- Kompartment-Syndrom,
- akzidentielle Nervenläsion,
- akzidentielle Gefäßverletzung,
- Polytrauma.

Dringlichkeit

Frakturen des distalen Humerus sind meist von ausgeprägten Schwellungszuständen begleitet. Ein Kompartment-Syndrom droht. Deshalb sollten operationspflichtige Frakturen rasch versorgt werden, am besten innerhalb der ersten Stunden nach dem Unfall, solange das begleitende Hämatom noch flüssig ist und abgelassen werden kann und noch bevor Weichteilprobleme zum Zuwarten zwingen. Bei offenen Frakturen, ausgeprägtem Weichteilschaden, drohendem Kompartment und neurovaskulären Schäden muss ohnehin notfallmäßig gehandelt werden. Grundsätzlich können aber auch intraartikuläre Frakturen im Intervall versorgt werden. Beim Polytrauma steht ohnehin zunächst alles unter dem Primat, die Vitalfunktionen zu sichern. Allerdings darf darüber nicht außer Acht bleiben, dass gerade Polytraumatisierte aufgrund des Schockgeschehens besonders gefährdet sind, Kompartment-Syndrome zu entwickeln (▶ Abschnitt 6.2.3.2).

Auch bei akzidentiellen Verletzungen nervaler oder vaskulärer Strukturen erfolgt zunächst die Versorgung der knöchernen Verletzung. Diese muss dann so schnell wie irgend möglich durchgeführt

werden. Man darf sich nicht mit unnötigen Feinheiten aufhalten. Im Grunde genügt es, die Fraktur erst einmal hinsichtlich Achse, Länge und Rotation ggf. auch nur mit Hilfe eines gelenküberbrückenden Fixateur externe einzustellen und im Anschluss an die Osteosynthese ggf. noch vor dem Wundverschluss ohne Zeitverzug im Operationssaal die den Arm versorgenden Arterien zu angiografieren, damit unmittelbar danach die Gefäßverletzung angegangen werden kann.

Bei den begleitenden Nervenläsionen liegt in der Regel nur eine Überdehnung und keine Durchtrennung vor. Deshalb kann auf eine primäre chirurgische Exploration des betroffenen Nervs verzichtet und der Spontanverlauf abgewartet werden. Die Prognose ist insbesondere bei der primären Ulnarisläsion günstig. Bei Persistenz der Ausfälle ist 3 Wochen nach dem Unfall ein EMG und NLG angezeigt.

Aufklärung

Neben den allgemeinen Risiken muss man den Patienten darauf hinweisen, dass bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung, insbesondere wenn Inkongruenzen bestehen oder irreversible Knorpelschäden vorliegen, Bewegungseinschränkungen verbleiben können mit konsekutiver, posttraumatischer Arthrose. Auch entwickeln sich am Ellenbogengelenk relativ häufig periartikuläre Verkalkungen. Nach einer zungenförmigen Ablösung des Trizeps kann der distale Muskelanteil nekrotisch werden. Nach Osteotomie des Olekranons ist eine Pseudarthrose möglich.

Lagerung

Meist wird in Bauchlage operiert. Polytraumatisierte können alternativ in Seitenlage oder Rückenlage versorgt werden. Auch in Rückenlage ist ein dorsaler Zugang zum Ellenbogengelenk möglich, wenn der Arm auf dem Brustkorb des Verletzten gelagert wird. Wenn möglich verwendet man eine Blutsperremanschette. Aus Platzgründen muss jedoch in bestimmten Fällen auf deren Anlage verzichtet werden, z.B. bei Adipositas oder bei nach proximal reichendem Frakturausläufer, der einen ausgedehnteren Zugang notwendig macht.

Operationstechnik

Man schafft einen dorsalen Zugang zum Ellenbogengelenk (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Abhängig vom Bruchtyp wird die Trizepssehne durchtrennt oder das Olekranon osteotomiert. Tscherne (1999) bevorzugt die V-förmige Spaltung der Trizepssehne, da sie weniger komplikationsträchtig als die Olekranonosteotomie ist. Allerdings gibt es Situationen, in denen nur die Osteotomie eine ausreichende Übersicht ermöglicht. Insbesondere die C3-Frakturen lassen sich nur über diesen Zugang suffizient versorgen (Rübberdt et al. 2008). Der N. ulnaris sollte dabei immer dargestellt und mit einem Vesselloop angeschlungen werden.

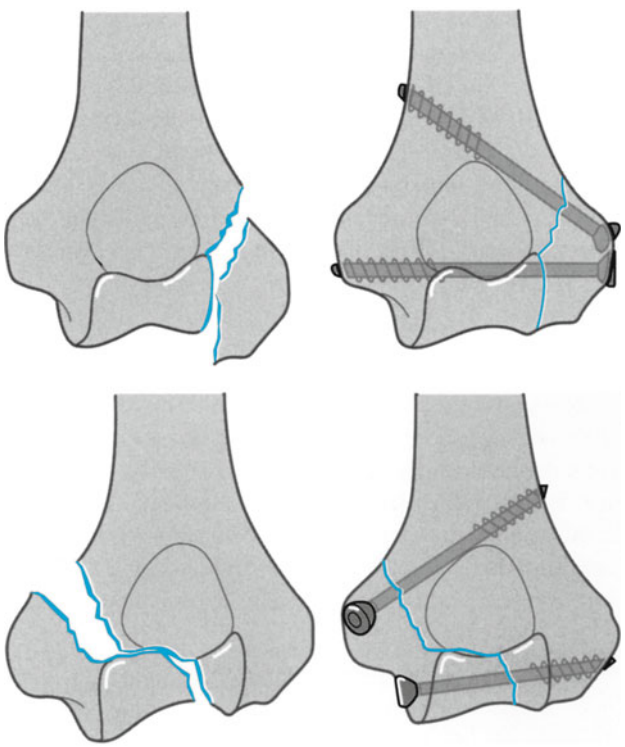
Bei einfachen Frakturen vom Typ A oder B und selten auch bei solchen des Typs C reicht u.U. auch der von Magerl angegebene modifizierte Zugang aus (Thöni 1999). Das Vorgehen entspricht dem für den dorsalen Standardzugang beschriebenen, der Streckapparat bleibt jedoch stehen. Dafür verschafft man sich neben der Trizepssehne von ulnar und radial jeweils einen Zugang zum dorsalen Aspekt des distalen Humerus. Die Sehne kann anschließend mit einem Langenbeck-Haken unterfahren und hochgehoben werden. Auf diese Weise erhält man genügend Einblick, um einfachere Frakturen versorgen zu können, ohne den Streckapparat zu schwächen und ohne die Risiken einer Sehnenspaltung bzw. Osteotomie eingehen zu müssen.

A-Frakturen

Knöcherne Bandausrisse, also Abrissfrakturen der Apophysen, lassen sich mit 4,0er Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde stabil refixieren. Alternativ kann man auch 3,5er Kortikaliszugschrauben verwenden. In Abhängigkeit von der Fragmentgröße werden entweder eine Schraube allein oder mit zusätzlichem K-Draht zur Rotationssicherung bzw. 2 Schrauben verwendet. Apophysäre oder unikondyläre Abrissfrakturen (B-Frakturen, s. unten) entstehen durch eine Luxation; deshalb sollte nach erfolgter Refixation die Stabilität des Gelenks geprüft werden, weil dies Konsequenzen für die Nachbehandlung haben kann (◘ Abb. 6.16).

Metaphysäre Frakturen werden mit 3,5er LCDC-Platten stabilisiert. Bei sehr weit distal gelegener Lokalisation und guter Knochenqualität hat sich die 90° zueinander versetzte Doppelplattenosteosynthese etabliert (Rübbert et al. 2008). Dabei wird die ulnarseitige Platte von lateral montiert, um die Fossa olecrani nicht zu blockieren, und die radialseitige von dorsal, weil hier der Abstand zur Fossa größer ist. Zusätzliche Interfragmentärschrauben erhöhen die Stabilität.

Bei alten Patienten mit ausgeprägter Osteoporose sind suprakondyläre Querfrakturen am distalen Humerus häufig. Das gelenkflächentragende distale Hauptfragment ist meist zu kurz und die Knochenqualität zu schlecht, als dass man mit einer Plattenosteosynthese eine zuverlässige Stabilisierung herstellen könnte. In solchen Fällen sind einige Operateure auf beidseitige Zuggurtungsosteosynthesen ausgewichen. Dieses Verfahren ist jedoch durch einen hohen Anteil von Implantatlockerung mit konsekutiven Weichteilproblemen, verzögerter Bruchheilung und Repositionsverlusten belastet. Es besteht mittlerweile Konsens darüber, dass K-Drähte deshalb nur noch temporär als Repositionshilfen verwendet werden, denn es gibt mittlerweile eine gute Alternative zur Versorgung dieser schwierigen Frakturen in Form des anatomisch präformierten winkelstabilen LCP-Plattenfixateurs. Für den radialen und den ulnaren Pfeiler stehen die anatomisch vorgeformten Platten jeweils in unterschiedlichen Längen zur Verfügung. (◘ Abb. 6.17).



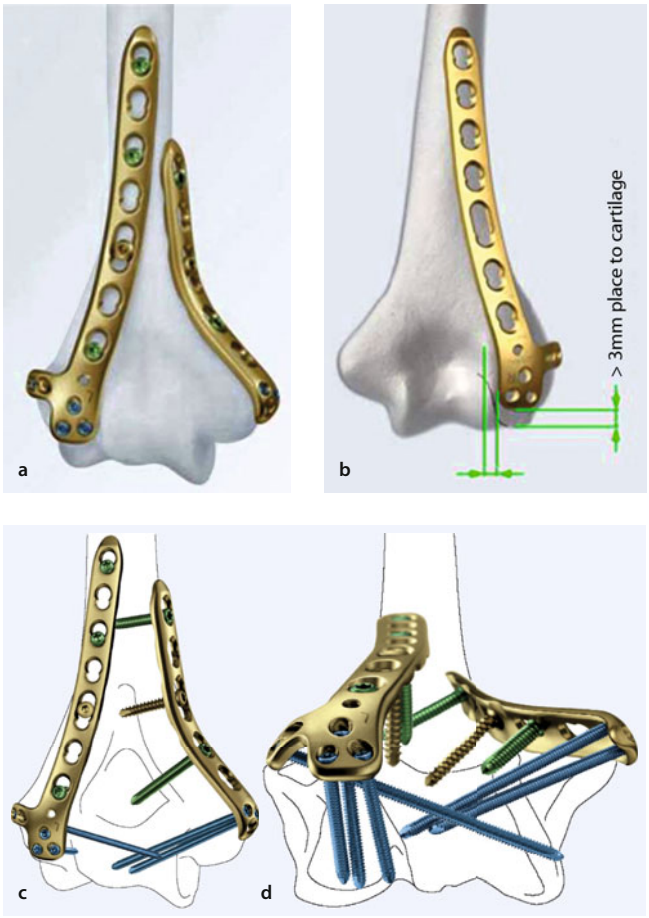
◘ **Abb. 6.16** Refixierung einer apophysären Fraktur mit 2 Schrauben. (Aus Schmit-Neuerburg et al. 2001)

B-Frakturen

Unikondyläre Abrissbrüche münden ins Gelenk und müssen deshalb anatomisch reponiert werden. Sie lassen sich meist wie A-Frakturen mit Kleinfragmentzugschrauben ausreichend fixieren.

In seltenen Fällen bricht bei axialer Gewalteinwirkung auf den überstreckten Arm der radiale Kondylus. Man findet dann eine typische Abscherung des Capitulum humeri in der Frontalebene (Typ B3.1). Wenn der Kapsel-Band-Apparat im Moment der Verletzung nur gedehnt wird und nicht zerreißt, lässt sich diese Verletzung konservativ behandeln (Hertz 1999). Das abgescherte Fragment wird manuell in sein knöchernes Bett zurückgedrückt, wo es mit hörbarem Schnappen einrastet. Dort bleibt es, wenn der Kapsel-Band-Apparat intakt ist, wie in einem Käfig in gelenkgerechter Stellung gefangen.

Nicht reponierbare kondyläre Abrisse müssen offen eingerichtet werden. Die Reposition erfolgt über einen radialen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) unter Sicht ins Gelenk. Weil das Fragment ventral und distal von Gelenkknorpel überzogen ist, kann es nur von dorsal verschraubt oder mit Drähten bzw. Pins fixiert werden. Bei nicht rekonstruierbaren Mehrfragmentfrakturen bleibt nur die Resektion (◘ Abb. 6.18).



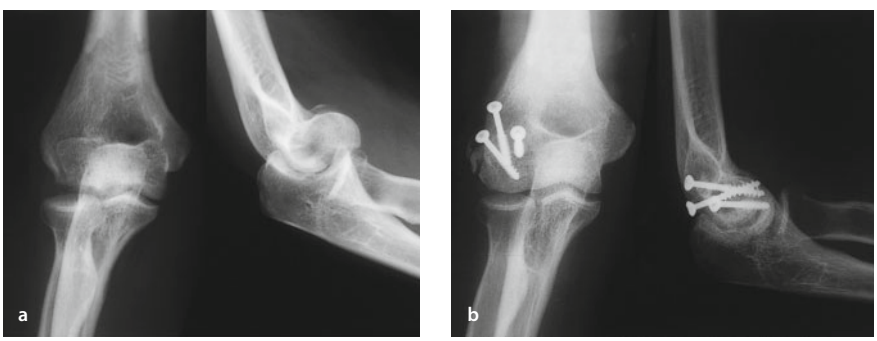
◘ **Abb. 6.17** LCP-Plattenfixateur Ellenbogen (Fa. Synthes). **a** Ansicht von dorsal. **b** Empfohlener Mindestabstand des Plattenendes zum Knorpel. **c,d** Transparenzzeichnung mit Lage der Schrauben in der koronaren Projektion (**c**) und in der axialen Projektion (**d**). (Aus: Rübberdt et al. 2008)

C-Frakturen

Wenn das Gelenk in mehrere Einzelstücke zerbrochen ist, kann die Versorgung sehr schwierig sein. Taktisch geht man so vor, dass man über einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) zunächst die Gelenkfläche zu einem Block zusammenfügt und diesen anschließend mit dem proximalen Hauptfragment vereint. Dabei kann es hilfreich sein, das Olekranon als Negativform für die Rekonstruktion der Trochlea zu nutzen, was für ein Vorgehen mit Spaltung des Trizeps spricht. Andere Autoren schätzen die größere Übersicht, die sich durch eine Osteotomie des Olekranons ergibt. Bei C3-Frakturen ist die Chevron-Osteotomie des Olekranons angezeigt. Das Risiko, dass die Osteotomie nicht fest verheilt und eine Pseudarthrose entsteht, liegt in der Literatur zwischen 0 und 7% (Rübberdt et al. 2008).

Bei der vorläufigen Reposition kann es hilfreich sein, K-Drähte zu verwenden. Wenn zunächst die Trochlea auf das Capitulum humeri gestellt wird, kann man in Inside-out-Technik vorgehen. Wenn genügend Platz vorhanden ist, bringt man danach parallel dazu einen zweiten K-Draht oder gleich eine Zugschraube ein. Falls man für die Reposition 1,25 mm dünne Drähte verwendet, kann man sie überbohren und als Führung für kanülierte Schrauben nutzen (◘ Abb. 6.19).

Den auf diese Weise rekonstruierten Gelenkblock fixiert man nun zunächst ebenfalls mit Spickdrähten am distalen Humerusschaft. Dann werden die beiden Hauptfragmente mit zwei 3,5er LCDC- oder Rekonstruktionsplatten definitiv verbunden. Die Platten müssen exakt anmodelliert werden, sonst kann sich die Frakturstellung verschieben. Ulnar wird die Platte seitlich angelegt, radial von dorsal, weil der radiale Kondylus nicht so weit nach lateral ausschwingt wie der ulnare und dadurch die gerade Platte hier leichter positioniert werden kann. Die Implantate dürfen nämlich die Fossae olecrani und coronoideae nicht verlegen, damit die Beweglichkeit nicht beeinträchtigt wird. Die ulnare Platte, die seitlich anmodelliert wird, soll laut Szyszkowitz (1999) proximal des Ursprungs der ulnaren Kapselbandstrukturen enden, um diese



◘ **Abb. 6.18a,b** Dislozierte Fraktur des Capitulum humeri (**a**), die mit von dorsal eingebrachten Kleinfragmentzugschrauben stabilisiert wurde (**b**). Der knöcherne Seitenbandausriss wurde mit transossären Nähten refixiert. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

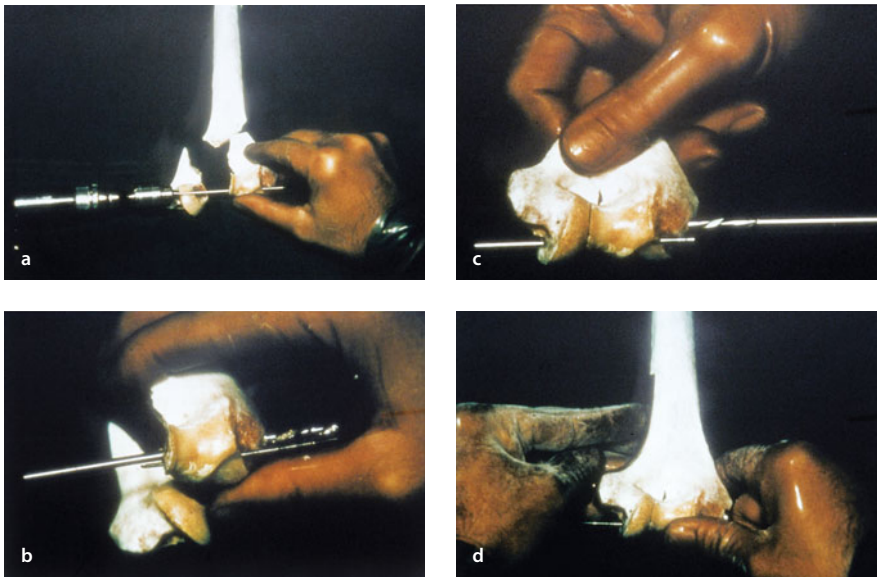


Abb. 6.19a–d Demonstration am Kunstknochen: Zunächst wird »inside-out« ein Spickdraht in die Trochlea gebohrt (**a**), dann parallel dazu ein Schraubenkanal (**b**). **c** Nach Reposition wird der Spickdraht ins Capitulum humeri zurückgebohrt und der Schraubenkanal kompletiert und mit einem Implantat beschickt. **d** Der auf diese Weise geschaffene Gelenkblock wird schließlich mit 2 Platten am proximalen Hauptfragment fixiert. (Foto: Nerlich)

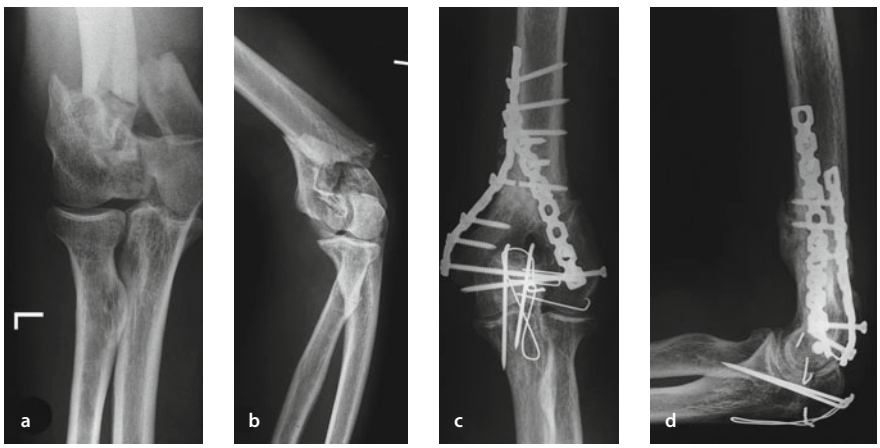


Abb. 6.20a–d **a,b** 2. offene intraartikuläre Trümmerfraktur des distalen Humerus eines 56-jährigen Mannes. **c,d** 5 Monate nach Plattenosteosynthese über eine Olekranonosteotomie sind alle Brüche knöchern fest verheilt bei freier Beweglichkeit im Ellenbogengelenk

zu schonen. Voraussetzung ist, dass sich die Fraktur trotzdem ausreichend stabilisieren lässt (Abb. 6.20).

Der neue anatomisch vorgeformte Plattenfixateur ist insbesondere für die Versorgung von C-Frakturen mit Zertrümmerung der Gelenkfläche des distalen Humerus geeignet, weil die Platten zahlreiche und winkelstabile Möglichkeiten bieten, die einzelnen Fragmente mit verschiedenen Schrauben zu fixieren. Laut Rübberdt et al. bietet das Implantat zu den konventionellen Platten und auch zu den nicht vorgeformten winkelstabilen Platten sinnvolle fixationstechnische Neuerungen:

- Anatomisches Plattenfixateurdesign, das bei metaphysären Defektsituationen als Repositionshilfe dienen kann in Verbindung mit winkelstabil verriegelbaren Schrauben.
- Gelenknahe Positionierung dünner 2,7-mm-Kopfverriegelungsschrauben, die eine sichere Fixation auch von kleinen Gelenkfragmenten einschließlich sagittaler Abschlagfragmente des Capitulum humeri ermöglichen.
- Torsionsstabile Fixation des Gelenkblocks.

Rübberdt und Mitarbeiter verwenden in Abweichung von der Empfehlung des Herstellers auch bei den Plattenfixateuren eine zusätzliche, gelenkparallele, transkondyläre Kleinfragment-Interfragmentärschraube als zusätzliche Stabilisierung des Trochlea-Kapitulum-Blocks. Sie empfehlen außerdem unterschiedlich lange Platten pro Pfeiler zu verwenden, um die Stresskonzentration an den proximalen Plattenenden auf unterschiedliche Knochenabschnitte zu verteilen.

Ob die neuen Implantate bessere Ergebnisse als die herkömmlichen bringen werden, ist bis dato noch nicht nachgewiesen. Rübberdt haben bisher 41 Patienten mit Plattenfixateuren versorgt und eine so gute Primärstabilität auch bei osteoporotisch geschwächten Knochen erreichen können, dass eine frühfunktionelle Nachbehandlung möglich war.

Walz und Auerbach (2006) weisen darauf hin, dass bei schlechter Knochenqualität auch bei Verwendung winkelstabiler Implantate u.U. keine sofortige postoperative Übungsstabilität erreicht werden kann. Deshalb sehen die Autoren als Alternative die kombinierte Versorgung von Typ-B1/2- und -C-Frakturen der AO mit perkutanen Schrauben plus temporärer Transfixation in einem gelenküberbrückenden Fixateur externe an. Sie haben 10 Patienten auf diese Weise versorgt und vergleichbar gute Ergebnisse erzielt wie Studien mit winkelstabilen internen Fixierungen und dies bei reduzierter Zugangsmorbidität.

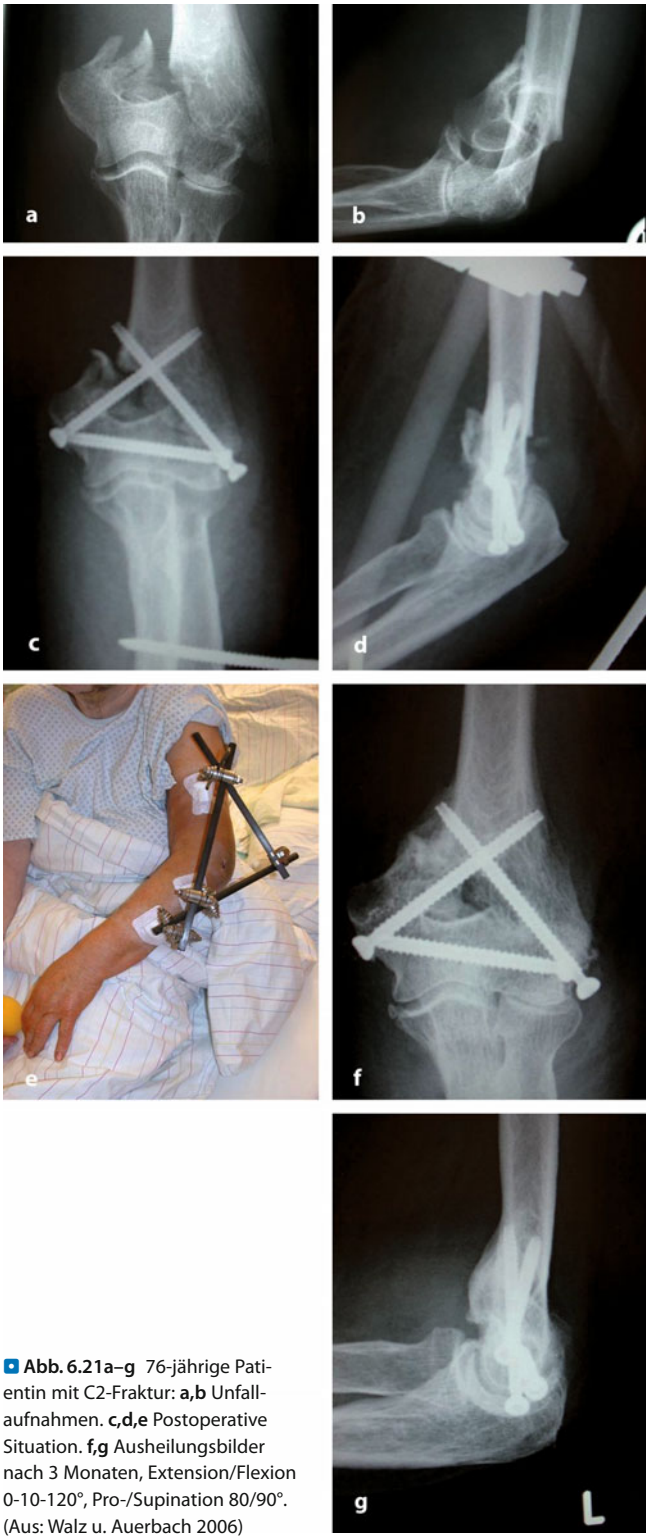


Abb. 6.21a–g 76-jährige Patientin mit C2-Fraktur: **a,b** Unfallaufnahmen. **c,d,e** Postoperative Situation. **f,g** Ausheilungsbilder nach 3 Monaten, Extension/Flexion 0-10-120°, Pro-/Supination 80/90°. (Aus: Walz u. Auerbach 2006)

Die Patienten werden in Bauchlage gebracht, und das Ellenbogengelenk auf einer schmalen Tuchrolle gelagert, die den Humeruskondylenwinkel (humeral tilt) unterstützt. Durch Ligamentotaxis erfolgt die Reposition. Bei B1- und B2-Frakturen können 2 mm starke K-Drähte als Joysticks zur Reposition verwendet werden und zur temporären Fixierung in das proximale Hauptfragment vorgebohrt werden. Bei C1- oder C2-Frakturen wird der einfacher zu rekonstruierende radiale oder ulnare Pfeiler in dieser Technik auf das proximale Hauptfragment reponiert und fixiert und anschließend der zweite Pfeiler heranreponiert und ebenfalls vorläufig mit K-Drähten befestigt.

Ein interkondyläres Gelenkflächenfragment einer C3-Fraktur kann ebenfalls in Joysticktechnik manipuliert werden. Dazu wird das Gelenk überbeugt und durch die Trizepssehne oder radial des Olekranons eingegangen. Das reponierte Fragment kann man durch einen von ulnar aus transkondylär gebohrten Draht oder mit einer großen Repositionszange temporär fixieren. Anschließend erfolgt die perkutane Fixierung mit kanülierten 3,5er bis 4,5er Schrauben. Bei B1- und B2-Frakturen bringen die Autoren je eine Schraube in den gegenüber liegenden, intakten meta-diaphysären Pfeiler und in den Kondylus V-förmig ein. Bei stark dislozierten B2-Frakturen ist zum Schutz des N. ulnaris die offene Reposition mit Darstellung des Nervs zu empfehlen. Die quere transkondyläre Schraube, sollte wenn möglich von ulnar eingebracht werden, weil man auf diese Weise den Nerv sicherer schonen kann als beim Vorgehen von radial. Die Stabilität kann durch eine zweite Schraube erhöht werden. Für die 45° nach kranial in die Pfeiler reichenden Schrauben haben sich Implantate mit durchgehendem Gewinde bewährt, weil sie im Knochen größeren Halt finden und sich im schmalen Markraum der Humerusmetaphyse gut verklemmen.

Wenn die Einstellung des humeral tilt Probleme bereitet, kann nach Bildung eines Gelenkblocks derselbe in der Technik nach Witt mit einem 2,5 mm starken K-Draht durch das Olekranon hindurch angebohrt werden, anschließend durch eine zunehmende Beugung im Ellenbogengelenk korrekt eingestellt werden und schließlich auf das proximale Hauptfragment präliminär transfixiert werden. Dann wird der Gelenkblock epikondylär mit Schrauben befestigt, und die Hilfsdrähte werden wieder entfernt. Zur Sicherung der Osteosynthese wird ein Fixateur externe angelegt in der im ▶ Abschnitt 6.3.1, Luxation, beschriebenen Technik. Als Rückzugsmöglichkeit bleibt übrigens immer ein Umsteigen auf eine offene Reposition und Plattenosteosynthese (■ Abb. 6.21).

Die Ellenbogengelenkprothese hat in der Akutversorgung bei Patienten <60 Jahren bisher keinen Stellenwert (Hausmann und Panozzo 2004). Kraus und Mitarbeiter (2009) berichten über 12 Patienten (Durchschnittsalter 81±9 Jahre), die sie mit einer Ellenbogengelenkprothese (Typ Coonrad-Morrey, Fa. Zimmer) bei C-Fraktur des distalen Humerus versorgt haben. Die funktionellen Ergebnisse waren gut bis zufriedenstellend. Die durchschnittliche Beweglichkeit betrug 0-33-120°. Die Autoren sehen in der Prothetik eine vielversprechende Alternative zur Osteosynthese und nutzen sie als primäre Therapie multifragmentärer intraartikulärer distaler Humerusfrakturen bei alten Patienten mit schlechter Knochenqualität und geringem Aktivitätslevel (low demand). Die Operationstechnik wurde ausführlich von Müller et al. (2005) beschrieben und bebildert.

Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Abhängig von der erreichten Stabilität kann auf eine Ruhigstellung in einer dorsalen Gipsschiene verzichtet werden. Dies entscheidet der Operateur. Nach Redon-Entfernung lässt man den Patienten mit einer aktiven Übungsbehandlung beginnen; passive Übungen sollen nicht durchgeführt werden, weil sie die Entstehung periartikulärer Verkalkungen fördern. Falls der M. triceps gespalten wurde, darf der Patient während der ersten 6 Wochen nicht gegen Widerstand strecken. Das Ausmaß der Beugung sollte sich an der Schmerzgrenze orientieren. Der anzustrebende Bewegungsumfang während der frühen postoperativen Phase beträgt 0-30-110°.

Aufgrund des relativ hohen Risikos, dass sich postoperativ periartikuläre Verkalkungen ausbilden, empfehlen Wenzl und Mitarbeiter (2007) grundsätzlich die 3-wöchige Gabe eines NSAR-Präparats unter Magenschutz, vorausgesetzt es bestehen keine Kontraindikationen wie Niereninsuffizienz, eine positive Ulkusanamnese oder NSAR-Allergie.

Bei der kombinierten Versorgung mit perkutanen Schrauben und gelenküberbrückendem Fixateur externe bleibt der Fixateur in der Regel 6 Wochen liegen. Dann dürfte die Fraktur ausreichend konsolidiert sein, dass eine Übungsbehandlung begonnen werden kann. Eine weitere klinische und radiologische Kontrolle empfehlen Walz und Auerbach (2006) 2 und 12 Wochen nach Übungsbeginn.

Komplikationen und Prognose

Die Rate an Implantatversagen liegt bei der Durchsicht der aktuellen Literatur der vergangenen 10 Jahre (unter Ausschluss der Zuggurtungsosteosynthese) bei den unter 65-jährigen Patienten zwischen 1,8 und 7,3% (Rübberdt et al. 2008).

In einer AO-Sammelstatistik (Lob et al. 1984) über 412 Fälle distaler intraartikulärer Humerusfrakturen fanden sich 15,2% Radialis-, 10% Ulnaris- und 3,9% Medianusschäden. Dabei lag der iatrogene Anteil bei 20%.

Periartikuläre Verkalkungen sind relativ häufig. Die Angaben in der neueren Literatur schwanken zwischen 5,5 und 49% (Rübberdt et al. 2008). Eine frühe osteosynthetische Versorgung innerhalb von 24 h nach dem Unfall senkt die Rate heterotoper Ossifikationen signifikant (Kundel et al. 1996). Zur Prophylaxe von heterotopen Ossifikationen empfiehlt sich eine 3-wöchige Einnahme von 2×50 mg Indometacin oder 3×50 mg Diclofenac per os/Tag.

Mit Infektionen ist nach offenen Frakturen in 6–30%, bei geschlossenen in 0–9,5% der Fälle zu rechnen (Feil et al. 1988, Kundel et al. 1992, Lob et al. 1984). Die Rate wird neben dem primären Weichteilschaden maßgeblich von der Qualität und Stabilität der Osteosynthese bestimmt.

Mit Pseudarthrosen ist in <10% der Fälle zu rechnen, wenn ausreichend dimensionierte Implantate verwendet werden und die Fragmente nicht zu sehr deperiostiert werden (Kundel et al. 1992, ◘ Abb. 6.22).

Nicht selten verbleiben Bewegungseinschränkungen; dabei sind Streckhemmungen funktionell weniger bedeutend als Beugedefizite, die die Betroffenen erheblich behindern können, wenn sie beispielsweise nicht mit der Hand zum Mund oder Kopf kommen. Huang et al. (2004) fanden in der Literatur gute und sehr gute Ergebnisse in 52–87,5% der Fälle und schlechte in 0–24%. Eine vollständige Ruhigstellung des verletzten Ellenbogengelenks über 3 Wochen hinaus kann zu bleibenden Bewegungseinschränkungen durch Kontrakturen und Verklebungen führen.

Eine posttraumatische Arthrose kann sich entwickeln.

Bei distalen Humerusfrakturen kann sich ein Kompartment-Syndrom bilden. Die Inzidenz korreliert mit dem Ausmaß des Weichteilschadens und begleitenden Gefäßverletzungen. Zum Kompartment-Syndrom und dessen Therapie: ▶ Abschnitt 6.2.3.2.

6.2.3 Weichteilläsionen

Abriss des Ansatzes des M. pectoralis major

Ätiologie

Es handelt sich um ein sehr seltenes Verletzungsbild, das im Rahmen von Überlastung auftritt. Schwere körperliche Arbeit oder einseitige Belastung beispielsweise durch Bodybuilding können zu einem Abriss des Ansatzes des M. pectoralis major führen.

Klinik

Die Betroffenen bemerken meist im Rahmen einer Kraftentfaltung des großen Brustmuskels ein hör- oder spürbares Knacken, wenn der Muskelansatz reißt. Posttraumatisch finden sich Druckschmerz und Schwellung. Die Kraftentfaltung bei der Adduktion und Innenrotation des Arms ist massiv eingeschränkt.

Diagnostik

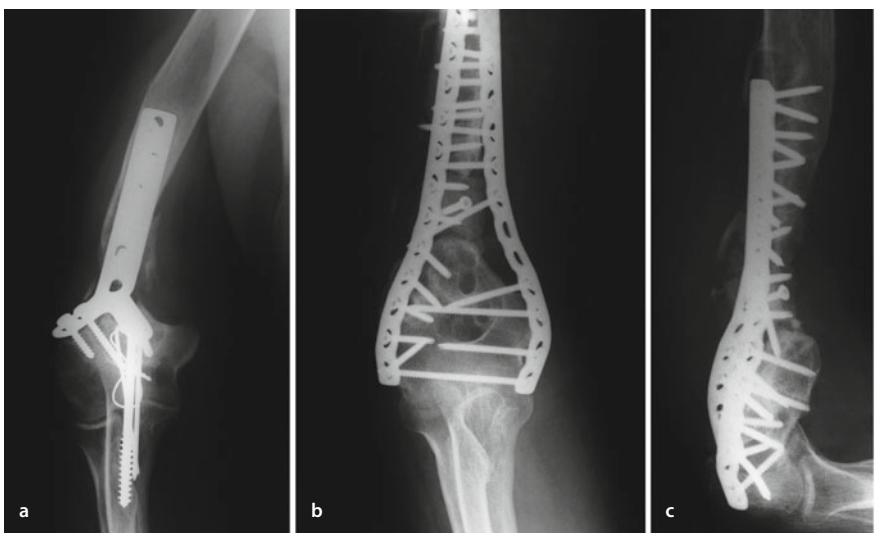
Die Diagnose lässt sich anhand der Vorgeschichte und des klinischen Befundes vermuten und sonografisch bzw. mittels MRT beweisen.

Therapie

Knochennahe Ausrisse werden transossär reinseriert, intraligamentäre mit einzelnen Nähten adaptiert. Man verwendet kräftiges, nicht oder langsam resorbierbares Nahtmaterial der Stärke 1.

Nachbehandlung

Die Sehnennaht darf 6 Wochen lang nicht überlastet werden. Für diese Zeit empfiehlt sich eine Ruhigstellung im Gilchrist-Verband



◘ **Abb. 6.22a–c** **a** Atrophe Pseudarthrose mit Defektbildung und Implantatlockerung bei einem 44-jährigen Mann. **b,c** Röntgenkontrollen nach Reosteosynthese mit interponiertem Beckenkammspan. Die Pseudarthrose heilte anschließend aus

oder auf einer Abduktionsorthese. Welche Art der Ruhigstellung man wählt, hängt von der Qualität des Nahtlagers ab. Konnten stabile Verhältnisse geschaffen werden, ist die Abduktionsorthese günstiger, weil der Patient nach Ausheilung der Naht nicht bei 0°-Abduktion zum Üben beginnen muss, sondern bereits aus einer 45°-Stellung heraus. Das bedeutet im Endeffekt ein viel geringeres Ausmaß an Kapselschrumpfung.

Während der 6-wöchigen Ruhigstellungsdauer sollen die Schulter und die übrigen Gelenke täglich beübt werden. Adduktion und Innenrotation dürfen nicht gegen Widerstand erfolgen. Das Ausmaß der Abduktion und Außenrotation richtet sich nach der Schmerzgrenze.

Kompartment-Syndrom

Ätiologie

Kompartment-Syndrome des Oberarms sind insgesamt eher selten, vermutlich weil sich die Faszienräume weniger fest sind als am Unterschenkel. Sie können aber im Gefolge schwerer Weichteilquetschungen und bei Frakturen des Oberarms und Ellenbogengelenks auftreten.

Insbesondere Patienten mit distalen Humerusfrakturen (► Abschn. 6.2.2) **sind gefährdet, ein Kompartment-Syndrom zu entwickeln.**

Klinik und Diagnostik

Die klinischen Symptome eines drohenden oder manifesten Kompartment-Syndroms sind eindrucksvoll. Die Weichteile sind extrem geschwollen. Die Patienten haben starke, anhaltende Schmerzen, die mit Analgetika nicht beeinflussbar sind. Sensibilität und Durchblutung der Peripherie sind erhalten. In den einzelnen Logen (s. unten) finden sich erhöhte Innendrucke. Die erhöhten Drucke werden insbesondere dann für die muskuläre Versorgung bedrohlich, wenn sie bis auf 30 mmHg und weniger an den diastolischen Druck heranreichen, denn dann ist das Druckgefälle für die muskuläre Perfusion zu gering. Deshalb sind insbesondere intensivpflichtige, beatmete Patienten gefährdet, bei denen der Blutdruck erniedrigt ist und die ihre Schmerzen nicht äußern können.

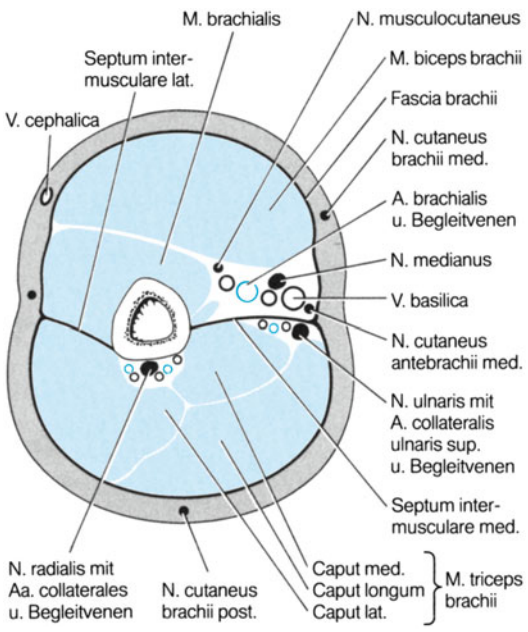


Abb. 6.23 Querschnitt durch den rechten Oberarm im mittleren Drittel. Ventral liegt die Beuger-, dorsal die Streckerloge. Das Fach des M. deltoideus liegt weiter proximal und ist deshalb nicht mit dargestellt. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

Therapie

Am Oberarm gibt es 3 Kompartimente (Abb. 6.23): M.-deltoideus-Kompartiment, Beuger- und Streckerkompartiment.

Wenn es z.B. im Rahmen einer distalen Humerusfraktur zur kritischen Druckerhöhung im Bereich der Unterarmlogen und der Beugerloge oder auch der Streckerloge des Oberarms kommt, würde man die Dermatofasziotomie über das Ellenbogengelenk ausdehnen und die Haut bis Oberarmmitte zur Entlastung der Beugerloge anteromedial und für die Streckerloge dorsolateral spalten. Dabei ist wesentlich, dass man in der Ellenbeuge den Lacertus fibrosus mit spaltet.

Falls der M. deltoideus im Gefolge einer schweren Quetschung einem kritischen Druck ausgesetzt sein sollte, richtet sich der Verlauf der Dermatofasziotomie nach dem Zugang, der zur Versorgung der etwaigen knöchernen Begleitverletzung akut oder elektiv gebraucht werden wird. In der Regel dürfte die anteriore Schnittführung am günstigsten sein, weil sie alle Möglichkeiten offen lässt. Da der Muskel durch ein intermuskuläres Septum unterteilt ist, müssen laut Echtermayer (1991) außer der Faszienspaltung zusätzliche Inzisionen des Epimysiums angelegt werden. Zur Schnittführung s. Abb. 6.92.

Nachbehandlung

Nach der Spaltung schließt sich eine offene Wundbehandlung an. Nach Abschwellung erfolgt die Sekundärnaht. Bis dahin wird die Wunde mit Kunsthaut oder einer Vakuumversiegelung vor Austrocknung geschützt. Die Versiegelung hat den Vorteil, dass sie die Entwicklung von Granulationsgewebe begünstigt und damit die Heilung beschleunigt. Wenn man die Wundränder mit einem relativ dicken monofilen Faden wie einen Schnürschuh durchflechtet, kann man sie bei den täglichen Verbandswechseln sukzessive zuziehen. Dann kann dem Patienten die kosmetisch unschöne Meshgraft-Plastik erspart werden.

6.3 Ellenbogengelenk

6.3.1 Luxation

Ätiologie

Der Unfallmechanismus ist häufig der Sturz auf den gestreckten Arm. 50% der Unfälle ereignen sich beim Sport (Hobgood et al. 2008). Durch ein Hyperextensionsmoment läuft die Olekranonspitze in ihrer Fossa auf und hebelt den proximalen Unterarm aus dem Gelenkverbund. Laut O'Driscoll (2001) reißt bei dieser Überstreckung die Gelenkkapsel zuerst lateral. Die Ruptur setzt sich dann nach medial fort (Abb. 6.24). Bei jeder Verrenkung werden Kapsel-Band-Anteile zerrissen, die jedoch in der Regel ausheilen, ohne verbleibende Instabilitäten zu hinterlassen. Die Luxation des Ellenbogengelenks ist beim Erwachsenen nach der Luxation der Schulter die zweithäufigste Verrenkung und im Kindes- und Jugendalter die häufigste (Hobgood et al. 2008). Chronische Instabilitäten finden sich insbesondere bei aktiven Wurfsportlern.

Abb. 6.24 Verletzungsmechanismus bei Ellenbogengelenkluxation nach Josten und Lill. (Aus: Josten u. Lill 2002)

Klinik

Typischerweise luxiert der Ellenhaken gegenüber dem distalen Humerusende nach dorsal, viel seltener zur Seite, nach ventral oder zwischen beide Unterarmröhrenknochen. Zudem gibt es die Transolekranonluxation (Tscherne 1999), bei der die Luxation mit einer Olekranonfraktur gepaart ist. In diesem Fall handelt es sich nicht um ein Monteggia-Äquivalent, weil die Membrana interossea und das proximale Radioulnargelenk intakt bleiben. Die Deformität der Gelenksilhouette springt ins Auge. Wichtig ist, nach akzidentiellen Gefäß- oder Nervenausfällen zu suchen. Manche Patienten kommen mit bereits reponiertem Gelenk in die Notaufnahme. Dann ergibt sich die Diagnose aus der Anamnese und der begleitenden Instabilität.

Diagnostik

Röntgenaufnahmen des Ellenbogengelenks in 2 Ebenen sollten, wenn es der Allgemeinzustand des Patienten erlaubt, vor der Reposition ohne großen zeitlichen Verzug angefertigt werden. Eine sofortige Reposition empfiehlt sich jedoch bei neurovaskulären Ausfällen oder stärksten Schmerzen, wenn eine Röntgendiagnostik nicht rasch verfügbar ist, z.B. beim Notarzteinsatz. In diesem Fall kann man die Verrenkung einrichten, ohne die Fehlstellung radiologisch zuvor dokumentiert zu haben. Für etwaige versicherungsrechtliche Fragen reicht auch der klinische Erstbefund aus, der entsprechend sorgfältig dokumentiert werden sollte.

Bei unklarem Befund erlauben Schrägaufnahmen eine bessere Beurteilung des Processus coronoideus und des Radiuskopfs. Alternativ kann auch eine CT angefertigt werden (Abb. 6.25). Schmerzen im Handgelenk, die der Patient spontan oder bei gezielter Palpation durch den Untersucher angibt, können ein Hinweis auf eine Essex-Lopresti-Läsion mit Ruptur der Membrana interossea sein (▶ Abschnitt 6.4.3).

Bei der Diagnostik nach stattgehabter Luxation hilft es sich zu vergegenwärtigen, welche Komponenten für die Stabilität des Gelenks entscheidend sind.

Abb. 6.25 Ellenbogengelenkluxation bei terrible-triad-injury. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

Klassifikation

Es gibt 4 wesentliche Säulen der Stabilität (Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001):

- Anteriore Säule: Processus coronoideus, M. brachialis, anteriore Kapsel
- Posteriore Säule: Olekranon, M. trizeps, posteriore Kapsel
- Mediale Säule: Processus coronoideus, ulnarer Epikonylus und Kollateralbandapparat
- Laterale Säule: Radiuskopf, Capitulum humeri und radialer Kollateralbandapparat

Luxationen im Ellenbogengelenk werden anhand der Fehlstellung des Unterarms gegenüber dem Oberarm klassifiziert. Dabei ist der Unterarm in mehr als 80% der Fälle nach posterior oder posterolateral versetzt und viel seltener nach lateral, medial oder anterior. Die Sonderform der divergierenden Verrenkung ist die Ausnahme. Knöcherne Begleitläsionen finden sich am Processus coronoideus, Radiuskopf und dem ulnaren Epikondylus (Abb. 6.26).

Processus-coronoideus-Frakturen, Radiuskopffrakturen oder Frakturen des distalen Humerus treten in 20% der Ellenbogengelenkluxationen als knöcherne Begleitverletzungen auf. Am häufigsten ist der Processus coronoideus beteiligt. Diese Verletzung wird nach Regan und Morrey (1989) in 3 Typen eingeteilt (Abb. 6.27):

- Typ I: Abriss der Korakoidspitze
- Typ II: das Fragment macht <50% aus
- Typ III: das Fragment macht >50% der Knochenmasse des Koronoids aus

Therapie

Konservative Therapie

Die Luxation wird entweder in Kurznarkose oder am wachen Patienten unter Einsatz eines stark wirksamen Schmerzmittels und evtl. zusätzlicher Gabe eines Sedativums eingerichtet (z.B. 1–2,5 mg Midazolam plus 7,5–22,5 mg Piritramid).

Eine Regionalanästhesie zur Reposition empfiehlt sich nicht, weil sich nach der Reposition u.U. mehrere Stunden lang Motorik und Sensibilität nicht beurteilen lassen. Vor und nach jeder Reposition sollte aber der neurovaskuläre Status des Arms kontrolliert und dokumentiert werden.

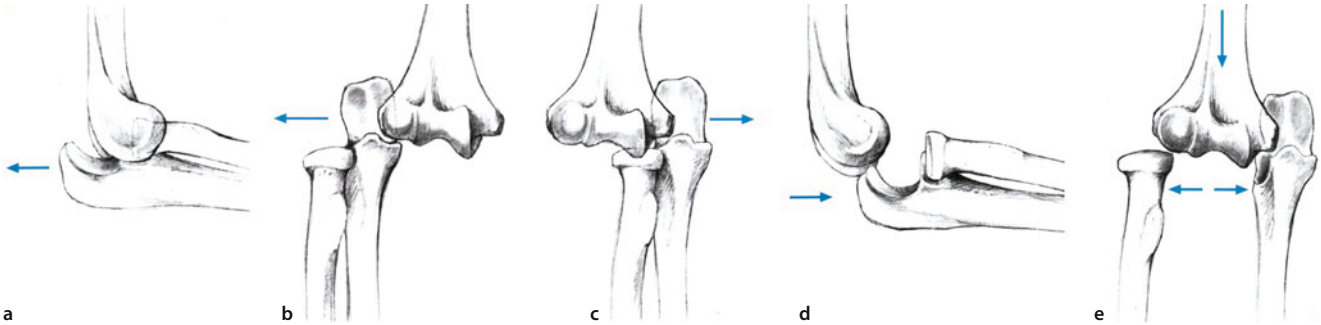


Abb. 6.26a–e Formen der Ellenbogengelenkluxation. **a** posterior, **b** posteroradial, **c** posteroulnar, **d** anterior, **e** divergierend. (Aus: Josten u. Lill 2002)

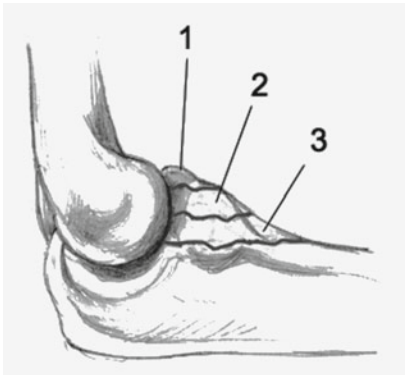


Abb. 6.27 Klassifikation der Processus coronoideus-Frakturen nach Regan und Morrey. Typ 1: Avulsion der Spitze. Typ 2: weniger als 50% des Koronoids betreffend. Typ 3: basisnahe Fraktur, mehr als 50% des Koronoids betreffend. (Aus: Josten u. Lill 2002)

Abb. 6.28 Reposition einer dorsalen Ellenbogengelenkluxation. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

Vorgehen

Entweder fasst man die verletzte Extremität am distalen Unterarm und hält mit der anderen Hand beugeseitig am distalen Oberarm gegen, um die verrenkten Gelenkpartner unter Zug in 90°-Beugestellung des Ellenbogengelenks einzurenken (Abb. 6.28) oder man stellt sich ans Kopfende des Patienten, umfasst von dorsal mit beiden Händen den distalen Oberarm und drückt mit beiden Daumen auf die Olekranonspitze. Der Ellenhaken gleitet dann mit einem hör- und spürbaren Schnappen in die gelenkgerechte Stellung zurück. Wenn der Patient wach ist, kann es hilfreich sein, ihn aufzufordern, während der Reposition die Armmuskulatur zu entspannen. Die Reposition kann auch in der »Ein-Helfer-Technik« erfolgen (Abb. 6.29). Zur Reposition eines seitlichen Versatzes kann es hilfreich sein, den Unterarm unter gleichzeitigem Zug in die Gegenrichtung der Fehlstellung zu rotieren.

Eine initiale Hyperextension des Gelenks zum »Enthaken« der Gelenkpartner ist nicht nur entbehrlich, sondern sogar gefährlich, weil neurovaskuläre Strukturen dabei überdehnt werden können.

Sofort nach der Reposition schließt sich ggf. noch in Narkose eine Prüfung der Stabilität an. Zum einen möchte man wissen, ob eines oder beide Kollateralbänder instabil sind, zum anderen, ob eine Reluxationstendenz besteht (Abb. 6.30). Die Untersuchung erfolgt am besten unter Bildwandlerkontrolle. Dabei prüft man die Gelenkkongruenz des funktionellen Bogens im seitlichen Strahlengang. Der funktionelle Bogen bezeichnet das Bewegungsausmaß zwischen 30 und 130° Beugung. Man erfasst damit die posterolaterale Stabilität. Im a.p.-Strahlengang wird die Seitenstabilität des Gelenks bei Varus- und Valgusstress beurteilt. Dabei sollte die Prüfung der Valgusstabilität grundsätzlich bei proniertem Unterarm erfolgen, um eine Pseudovalgusinstabilität bei posterolateraler rotatorischer Instabilität (PLRI) abgrenzen zu können. Die Stabilitätsprüfung soll, wie beim Knie auch, sowohl in Streckstellung als auch in 30° Beugestellung (bei deblockiertem Humeroulnargelenk) durchgeführt werden. Außerdem palpiert man den Kapselbandapparat, um druckschmerzhafte Areale zu finden.

Eine PLRI lässt sich mit dem lateralen Pivot-shift-Manöver nachweisen (Abb. 6.31). Dazu wird der supinierte Unterarm des auf dem Rücken liegenden Patienten über dessen Kopf gehoben und, wie beim Pivot-shift-Test des Kniegelenks, bei dosierter Valgusbelastung vorsichtig durchbewegt. Liegt eine Bandschädigung vor, subluxiert das Gelenk bei ca. 40°-Beugung und reponiert sich anschließend bei zunehmender Beugung, manchmal begleitet von einem hör- oder spürbarem Schnappen. Bei chronischer Instabilität führt das laterale Pivot-shift-Manöver bisweilen nur zu einer Schmerzprovokation im Sinne eines positiven Apprehensiontests.

Nach erfolgter Stabilitätsprüfung werden Röntgenkontrollaufnahmen in 2 Ebenen angefertigt. Manche knöcherne Ausrisse kommen erst nach der Reposition zur Darstellung, denn vor der Reposition lassen sich die Standardprojektionen schmerzbedingt oft nur behelfsmäßig durchführen und dann können knöcherne Begleitverletzungen überlagert sein.

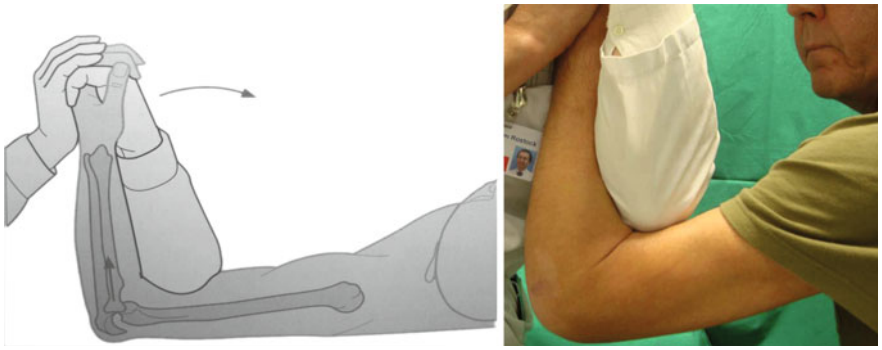


Abb. 6.29 Reposition eines luxierten Ellenbogengelenks in der »Ein-Helfer-Technik«. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

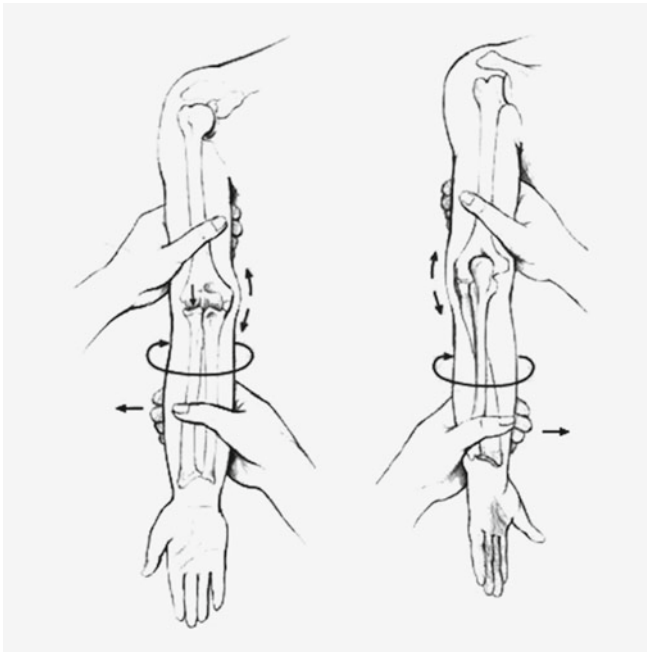


Abb. 6.30 Stabilitätstests radial und ulnar

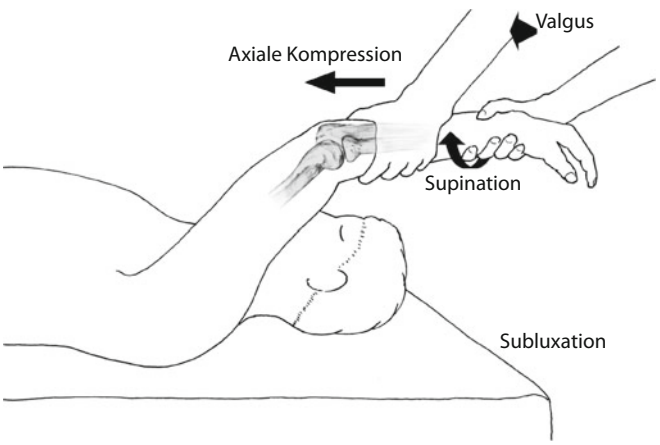


Abb. 6.31 Lateraler Pivot-shift-Test: Auf das verletzte Ellenbogengelenk wird unter zunehmender Beugung ein Supinations-Valgusstress ausgeübt. Liegt eine posterolaterale Rotationsinstabilität vor, subluxiert bei etwa 40° das Gelenk und reponiert sich bei zunehmender Beugung wieder. Der Test lässt sich am besten in Rückenlage des Patienten und Überkopfhaltung des Arms durchführen. (Aus: Mittlmeier u. Beck 2009)

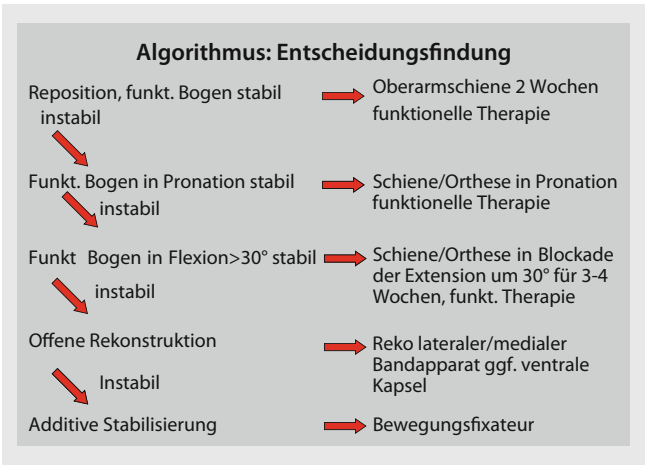


Abb. 6.32 Algorithmus zur Entscheidungsfindung und Verfahrenswahl nach stattgehabter Ellenbogengelenkluxation. (Aus: Mittlmeier u. Beck 2009)

Wenn nach der Reposition ausreichende Stabilität besteht, wird das Gelenk ruhiggestellt. Bei Reluxationstendenz in Streckstellung sollte nach einer initialen Ruhigstellungsdauer von 7–10 Tagen eine Orthese mit blockierter Streckung ab 30° unter Freigabe der Flexion verordnet werden. Das Gelenk sollte aber auf keinen Fall länger als 3 Wochen ruhiggestellt bleiben. Vielmehr soll nach 1 Woche mit einer täglichen aktiven Übungsbehandlung aus der Schiene heraus begonnen werden. Luxiert das Gelenk bereits zwischen 45 und 30° Beugung, sollte eine Rekonstruktion des Kapselbandapparats erwogen werden (Abb. 6.32).

Operative Therapie

Indikationen

Zahlreiche vergleichende Untersuchungen haben ergeben, dass eine generelle operative Versorgung des gerissenen Kapselbandapparats keine Vorteile bringt. Und ob die generelle arthroskopische Ausspülung des Hämarthros und kleiner Flakes das funktionelle Endresultat tatsächlich zu bessern vermag, ist nach wie vor ungeklärt (Bernard u. Hertel 1991). In den unten aufgeführten Fällen ist aber ein operatives Vorgehen indiziert; **Indikationen** sind also:

- Irreponibilität
- Offene Luxation
- Akzidentielle Gefäßverletzung
- Persistierendes nervales Defizit
- Reluxationstendenz nach Reposition
- Knöcherne Begleitverletzungen
- Intraartikuläre osteochondrale Fragmente

Dringlichkeit

Notfallmäßig versorgt werden offene Luxationen, akzidentielle Gefäßverletzungen und persistierende neurale Defizite, während man Reluxationen, knöcherne Begleitverletzungen und osteochondrale Fragmente elektiv angehen kann.

Aufklärung

Man muss neben den allgemeinen Risiken die Patienten darüber informieren, dass häufig Bewegungseinschränkungen verbleiben, insbesondere wenn sich posttraumatisch periartikuläre Verkalkungen entwickeln.

Vorgehen

Die Patienten werden in Rückenlage und der betroffene Arm auf einem Armtisch gelagert. Die knöchernen Begleitverletzungen und Kollateralbandrisse lassen sich, abhängig von ihrer Lokalisation, entweder über einen radialen, ulnaren, ventralen oder dorsalen Zugang versorgen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Während größere knöcherne Fragmente den Zugangsweg vorgeben, sollte bei rein ligamentären Verletzungen in Abhängigkeit vom präoperativ möglichst sorgfältig erhobenen Befund vorgegangen werden. In der Regel wird dies über einen radialen Zugang erfolgen, denn dies ist der Ort der häufigsten Luxationsrichtung.

Proximale Kapselbandavulsionen finden sich öfter als intraligamentäre oder distale, und knöcherne Bandausrisse kommen häufiger bei Jugendlichen als bei Erwachsenen vor. Bei den hochgradig instabilen Verletzungen handelt es sich in zwei Dritteln der Fälle um eine Verletzung des gemeinsamen Ursprungs der Extensoren (DiPaola et al. 2008).

Mitunter muss von beiden Seiten vorgegangen werden. Intraligamentäre Rupturen werden adaptiert, knochennahe Ausrisse transossär refixiert. Das Hämarthros soll ausgespült werden, um auf diesem Wege etwaige osteochondrale Fragmente mitzuentfernen. Stark kontusionierte und zerrissene Muskulatur soll man laut Tscherne (1973) débridieren, weil dies ektopischen Verkalkungen entgegenwirkt.

Offene Luxation

Bei offener Luxation werden die Weichteilwunden débridiert und das Gelenk ausgiebig gespült (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk). Bei ausgedehnten Weichteilschäden bedarf es einer suffizienten postoperativen Ruhigstellung. Dies ist insbesondere bei großen Wundflächen mit starker Sekretion mit einer Gipsschiene oft nicht gut möglich. Für diese Fälle bietet sich der Fixateur externe an (s. unten). Second-look-Eingriffe können notwendig werden. Die übliche perioperative Antibiotikaprophylaxe reicht bei erheblicher Verschmutzung und ausgedehnten Weichteilquetschungen nicht aus. Dann ist eine 3-tägige Antibiotikatherapie angezeigt.

Akzidentielle Gefäßverletzung

Akzidentielle Gefäßschäden werden nach Reposition der Luxation dargestellt und gefäßchirurgisch mit primärer Naht, Patch oder Interponat versorgt. Nach längerer Minderperfusion droht ein Kompartment-Syndrom, weshalb die Gefäßrekonstruktion mit einer Spaltung des Lacertus fibrosus und der Unterarmfaszien kombiniert wird.

Neurologische Ausfälle

Wenn nach der Reposition neurologische Ausfälle fortbestehen oder erstmals auftreten, muss der betreffende Nerv dargestellt und dekomprimiert werden. Das Vorgehen im Einzelnen für die möglichen Schädigungsarten Neuropraxie, Axonotmesis, Neurotmesis deckt sich mit dem, wie es für die Humerusschaftbrüche beschrieben wurde.

Abb. 6.33a,b **a** Ellenbogengelenkluxation mit Fraktur des Processus coronoideus und des Radiusköpfchens. **b** Der Processus coronoideus wurde mit einer Zugschraube von ventral versorgt, das Radiusköpfchen mit mehreren Minischrauben. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

Reluxation nach Reposition

Insbesondere bei der Kombination einer lateralen Kapselbandruptur mit begleitenden Frakturen von Speichenkopf und Processus coronoideus besteht eine hohe Reluxationsgefahr. Wenn diese drei Kriterien erfüllt sind, spricht man von der so genannten Schreckenstriade. Meist sind ältere Patienten von dieser Art der Luxation betroffen. Bei Osteoporose können die beiden wichtigen Gelenkpfeiler nicht nur abgeschert, sondern sogar zermahlen sein. Der Speichenkopf ist dann nicht rekonstruierbar und muss reseziert werden. Bei instabilem Gelenk ist eine Radiuskopfprothese indiziert (s. unten ▶ Abschnitt 6.4.1, Radiuskopf- und Radiushalsfrakturen).

Koronoidfrakturen vom Typ I betreffen nur dessen Spitze. Wenn diese keinen Verbund zur Kapsel hat und entsprechend dislozierst ist, ist eine arthroskopische Bergung indiziert. Bei Typ-II- und -III-Verletzungen ist die Refixierung des abgesprengten Fragments bei gegebener Reluxationstendenz erforderlich, denn wenn das Fragment größer ist, fehlt die Abstützfunktion in Streckstellung und das Gelenk wird instabil. Bei zusätzlicher Zertrümmerung des Radiuskopfs oder radialer bzw. ulnarer Bandinstabilität mit Reluxationstendenz müssen aber auch kleinere Abrissfrakturen des Processus coronoideus refixiert werden (Abb. 6.33).

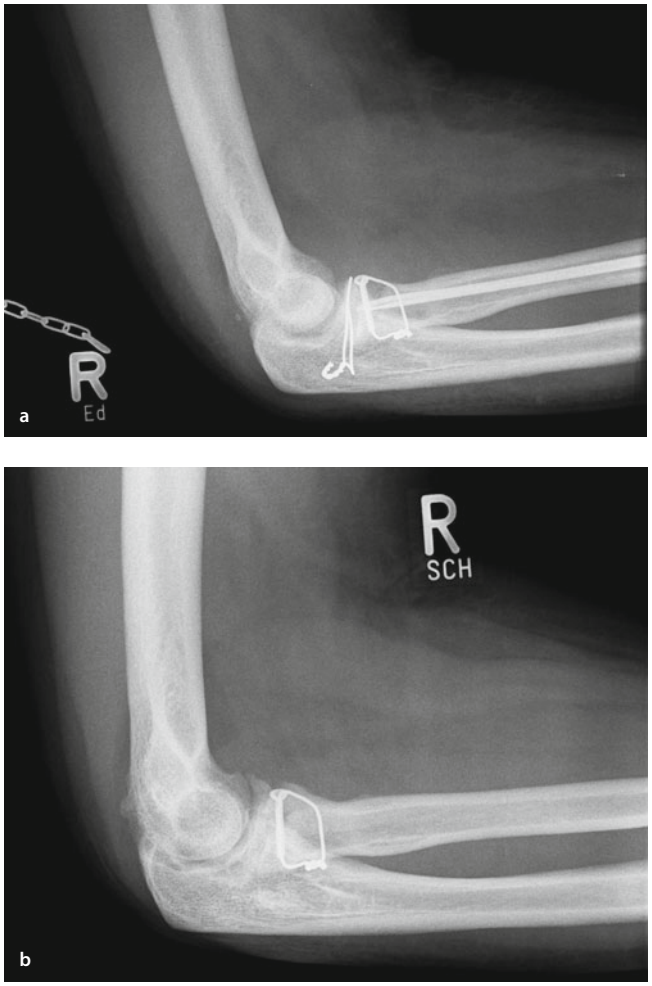
Gewöhnlich wird von ulnar zugegangen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der Zugang empfiehlt sich insbesondere bei einer Avulsion des gemeinsamen Flexoren-Pronatorenursprungs, der ansonsten mobilisiert werden müsste. In Abhängigkeit von Begleitverletzungen kann es aber auch angebracht sein, radial vorzugehen. Bei gleichzeitiger Radiuskopffraktur kann der Processus coronoideus über einen radialen Zugang gut erreichbar sein. Es gibt aber auch Situationen, bei denen ein ventraler Zugang besser geeignet ist.

Wenn man eine großes Koronoideusfragment verschrauben will und die Weichteilverhältnisse aufgrund der stattgehabten Luxation stark geschwollen sind oder der Patient sehr muskulös ist, kann es viel einfacher sein, das abgesprengte Fragment über einen ventralen Zugang darzustellen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der orthograde Zugang auf das Fragment erleichtert das Einbringen von Implantaten. Bei der Darstellung der Fraktur kann man Wundspreizer und Hohmann-Hebel einsetzen. Durch Beugung des Ellenbogengelenks um ca. 40° werden die Weichteile deutlich entspannt und die Präparation und anschließende Osteosynthese merklich erleichtert.

Man entwickelt das Fragment so weit, dass man seine Unterfläche von periostalen Überständen und etwaigen Spongiosateilchen vorsichtig reinigen kann und eine Vorstellung davon bekommt, wie die korrespondierende Bruchfläche an der proximalen Ulna konfiguriert sein muss. Dabei achtet man darauf, dass man die Verbindung der beugeseitigen Gelenkkapsel nicht ablöst, denn diese Verbindung ist ja für die Stabilität des Gelenks von großer Bedeutung. Anschließend stellt man sich die korrespondierende Bruchfläche dar.

Bei ausreichender Fragmentgröße und guter Knochenqualität kann man eine Schraubenosteosynthese versuchen. Allerdings wirken große Kräfte auf den Knochenvorsprung durch den Zug der gelenkübergreifenden Muskulatur insbesondere, wenn weitere Säulen der Stabilität (s. oben, ▶ Abschnitt Klassifikation) betroffen sind. Deshalb kommt der Stabilisierung der übrigen Säulen große Bedeutung zu. Wenn man kanülierte 2,7er Schrauben verwendet, kann man nach Reposition des Fragments zunächst die Stellung der Fraktur und Lage der Drähte unter Bildwandler kontrollieren, bevor man die Schrauben definitiv einbringt. Wenn man radial oder ulnar zugeht, werden die Schrauben indirekt von dorsoulnar eingebracht.

Da Schrauben im osteoporotischen Knochen oft zu wenig Halt vermitteln und kleine Fragmente zum Bersten bringen können, kann man alternativ mit einer 1,0 mm starken Drahtcerclage versuchen, ein Fragment zu refixieren. Nach Reposition des Fragments über einen ventralen Zugang wird es mit 2 parallel gebohrten 1,5 mm starken K-Drähten vorfixiert. Die K-Drähte sollen die streckseitige Gegenkortikalis perforieren, damit durch diese Bohrlöcher anschließend der Cerclagendraht durchgeschoben werden kann. Beim Bohren der K-Drähte muss man einberechnen, dass das Gelenk in leichter Beugestellung gelagert ist. Die korrekte Bohrrichtung läuft lotrecht auf die Ulna. Bohrt man zu steil, gerät man ins Gelenk. Wenn die beiden Drähte eingebracht sind, wird eine Bildwandlerkontrolle durchgeführt. Bei korrekter Stellung des Fragments und Lage der K-Drähte werden diese gegen eine 1,0er Drahtschlinge ausgetauscht. Dazu stabilisiert man das Fragment durch Druck mit dem Finger oder einem kleinen Raspatorium. Dann entfernt man einen der beiden K-Drähte und steckt in das K-Drahtloch einen Schenkel der Drahtcerclage, bis dieser streckseitig subkutan zu tasten ist. Dort wird das Drahtende über eine kurze Inzision entwickelt und angeklemmt. Bei diesem Schritt der Operation muss der Assistent den angebeugten Arm von der Unterlage heben. Während der Operateur mit einer Hand das Fragment weiter fixiert, schafft er mit seiner freien Hand die Stichinzision und zieht den Cerclagendraht zur Gegenseite. Dann entfernt er den zweiten K-Draht, führt durch dieses Bohrloch den anderen Schenkel der Cerclage und holt sich ihr Ende über die Stichinzision auf der Gegenseite. Dann wird die Cerclage unter dosiertem Zug verdrillt. Dabei muss man darauf achten, dass nicht zu viel Kompression aufgebaut wird, weil der dünne Draht das Koronoideusfragment bei schlechter Knochenqualität leicht durchschneiden kann (◘ Abb. 6.34).



◘ **Abb. 6.34a,b** Postoperative Kontrollaufnahmen eines 27-jährigen Patienten mit Abriss des Processus coronoideus sowie Radiuskopf- und -halsfraktur nach stattgehabter Ellenbogengelenkluxation. **a** Postoperative Kontrolle nach Versorgung des Processus coronoideus durch Drahtcerclage, die Radiuskopffraktur wurde mit einer 2,7er Lochschraube interfragmentär stabilisiert und die Radiushalsfraktur mit einer durch die kanülierte Schraube geschobenen 1,0er Cerclagendraht auf den Radiusschaft gezügelt und gleichzeitig durch zwei elastische Markraumdrähte abgestützt. **b** Ausheilungsbild nach Entfernung der TEN. Die Implantate im Radiuskopf wurden belassen. Die Funktion betrug zu diesem Zeitpunkt für die Extension/Flexion 0-10-110°, die Umkehrbewegung war frei

Die Wendel der Drahtcerclage wird möglichst knochennaht angelagert. Dennoch wird sie den Patienten später beim Abstützen des Arms auf einer harten Unterlage stören. Deshalb wird sie nach Ausheilung der Kapselbandverletzung, 6 Wochen nach dem Unfall, im Rahmen eines ambulanten Eingriffs entfernt, indem man sie

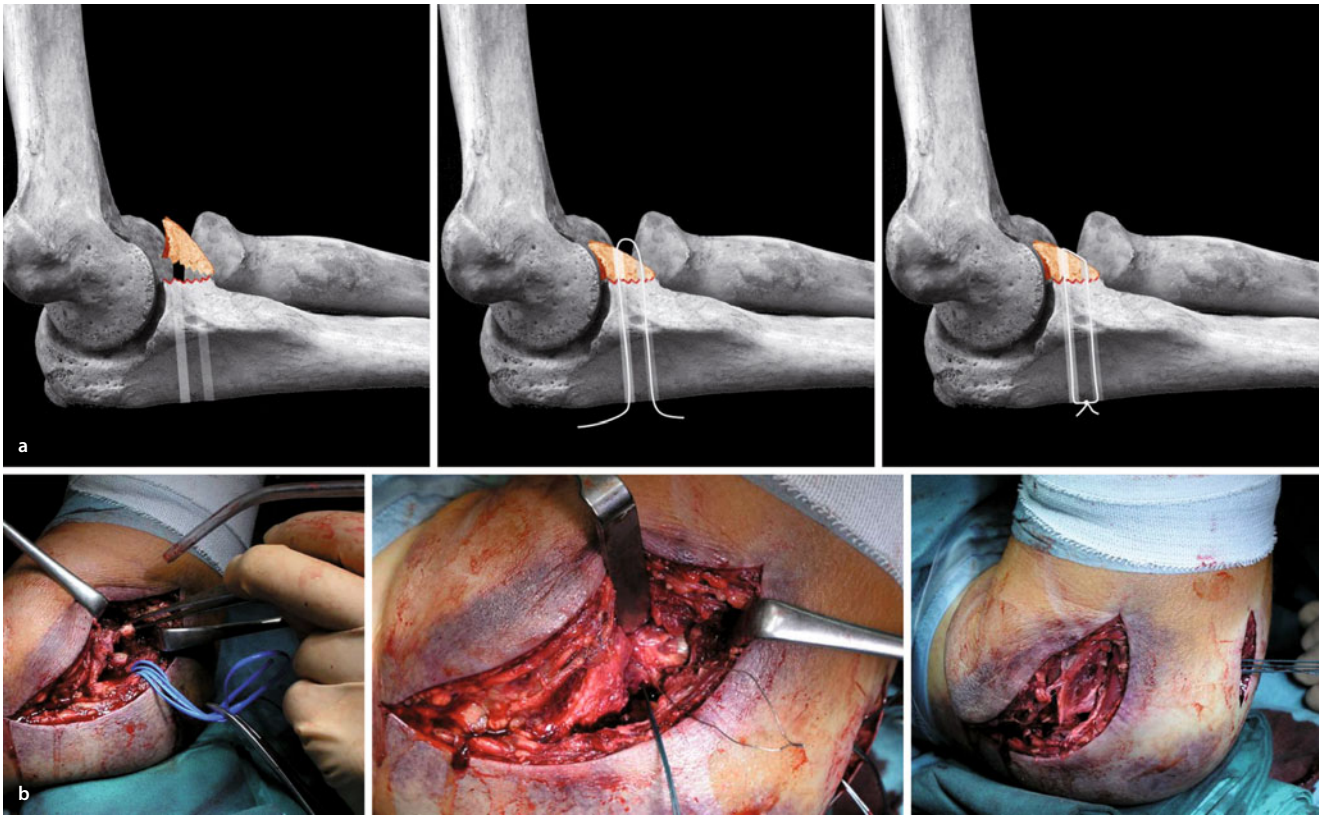


Abb. 6.35a,b **a** Schematische Darstellung einer dislozierten Typ-2-Fraktur des Processus coronoideus. **b** Refixation in der so genannten »Lasso-Technik« über Bohrkanäle. (Aus: Mittlmeier u. Beck 2009)

über eine kurze Inzision freilegt, einen Schenkel durchschneidet und anschließend die Wendel samt Drahtschlinge aus dem Knochenlager zieht.

Wenn das Koronoideusfragment sehr klein ist oder zermahlen, was bei älteren Patienten mit schlechter Knochenqualität häufig vorkommt, kann man den knöchernen Vorsprung nicht mehr rekonstruieren, sondern lediglich die ventrale Kapsel an der Basis des Koronoids refixieren. Dies kann man ebenfalls mit einer Drahtcerclage durchführen oder in der so genannten Lasso-Technik über zwei parallele auf die Frakturbasis gerichtete Bohrkanäle mit nicht resorbierbaren Fäden der Stärke 1 oder 2, die ebenfalls streckseitig über der streckseitigen Gegenkortikalis geknüpft werden. Zum Durchführen der Fäden von der Beugeseite aus braucht man einen mit geraden Nadeln doppelt armierten Faden (Abb. 6.35). Im Unterschied zur Darstellung in der Abb. 6.35 ist es meist praktikabler, einen radial und einen parallel liegenden ulnaren Bohrkanal zu schaffen als einen gelenknahen und gelenkfernen, weil die Fragmentdicke meist nur gelenknah stabil genug ist, beim Bohren der Kanäle nicht zu brechen.

Wenn man mit den oben dargestellten Methoden nicht zum Ziel kommt, weil das Fragment zu sehr zertrümmert ist oder beim Versuch der Refixation zerspringt, lautet die gängige Empfehlung, den Knochenvorsprung durch ein autologes Knochentransplantat zu ersetzen. Das Transplantat kann, falls eine begleitende nicht stabilisierbare Radiushalsfraktur vorliegt, aus dem resezierten Radiuskopf oder aus einem kortikospongiösen Beckenkammspan bestehen. Allerdings kann das Transplantat beim Festschrauben brechen. Insbesondere bei Osteoporose kann es problematisch sein, ausreichende Stabilität zu erzielen.

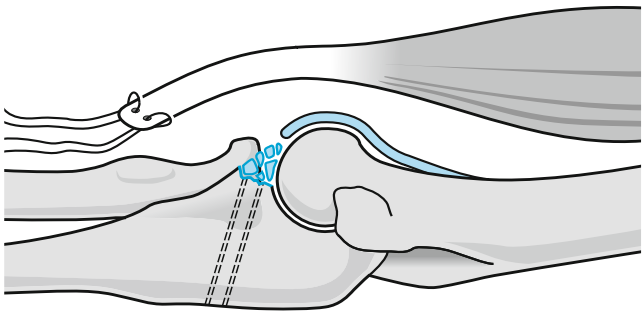


Abb. 6.36 Verlagerung der Bizepssehne (nach Reichenheim) als Ersatz für einen zertrümmerten Processus coronoideus

Eine weitere Alternative ist die Transposition der distalen Bizepssehne auf die Basis des Processus coronoideus. Diese Operation hat Reichenheim (1947) beschrieben. Er ging über einen ventralen Zugang vor (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Zunächst wird die distale Bizepssehne dargestellt, von der Tuberositas radii abgetragen und nach proximal mobilisiert. Dann werden die ventrale Kapsel und der Processus coronoideus freipräpariert. Nun erfolgt die Reinsertion der Sehne im Bereich des frakturierten Processus. Dazu wird das Sehnenende mit zwei kräftigen, nicht oder langsam resorbierbaren Fäden der Stärke 1 durchflochten. Von der Basis des Processus coronoideus aus werden 2 Bohrlöcher zur Gegenkortikalis gebohrt. Anschließend zieht man die Fäden mit einer Drahtschlinge durch die Bohrlöcher und verknotet sie auf der Gegenkortikalis miteinander (Abb. 6.36).

Osteochondrale Fragmente

Knorpel-Knochen-Flakes werden im Rahmen eines offenen Vorgehens durch Fibrinklebung und zusätzliche Stiftung mit biodegradablen Implantaten refixiert, wenn sie ausreichend groß sind; wenn nicht, werden sie arthroskopisch entfernt.

Fixateur externe

Bei der gelenküberbrückenden Montage eines Fixateur externe werden im Humerus oberhalb des Verlaufs des N. radialis von lateral 1 oder 2 Pins eingebracht und weitere 2 an der Ulna. Die Pins werden mit einer dreieck- oder trapezförmigen Rahmenkonstruktion bei 60°- bis 90°-Flexion im Ellenbogengelenk miteinander verbunden. Bei dieser Montage wird die Umkehrbewegung nicht vollständig blockiert. Der Grad der möglichen Beugung richtet sich nach dem Schwellungszustand der Weichteile. Bei starker Schwellung kann es in einer 90°-Stellung einen venösen Rückstau geben. Und wenn beugeseitig auf das Gelenk zugegangen wurde, empfiehlt sich ebenfalls eine reduzierte Beugestellung, damit sich im Wundbereich keine feuchte Kammer bildet. Falls ein Verfahrenswechsel geplant ist, sollte er innerhalb der ersten 21 Tage nach dem Unfall erfolgen, anderenfalls erschweren Pin-Trakt-Infektionen und einsetzende Kallusbildung eine erfolgreiche interne Osteosynthese zunehmend (◘ Abb. 6.37).

In bestimmten Fällen kann ein **Bewegungsfixateur** sinnvoll sein: Zur temporären, definitiven oder protektiven Behandlung einer akuten Instabilität, die nicht stabil versorgbar ist oder die nach ihrer Versorgung einer vorübergehenden zusätzlichen Stabilisierung von außen bedarf. Bei der Anlage des Fixateurs sind neurovaskuläre Strukturen gefährdet. Im Zweifelsfall sollte man diese Strukturen vor dem Setzen der Pins besser darstellen. Der Dynamic Joint Distractor II kann unilateral von medial oder lateral oder auch bilateral als Rahmenfixateur angebracht werden. W. Kolb et al. (2008) bevorzugt die laterale Positionierung. Für die Montage wird der Arm in 90° Beugung gelagert. Zunächst wird ein Referenzpin zentral in der Bewegungsachse des Gelenks eingebracht. Dazu wird der Bildwandler im seitlichen Strahlengang eingestellt. Man orientiert sich dabei an den kreisförmigen Konturen des Capitulum humeri und der Trochlea, die exakt zur Deckung gebracht werden müssen. Dann wird auf die übereinander projizierten Mittelpunkte beider Kreise ein 3 mm starker K-Draht aufgesetzt und in der Flucht des seitlichen Bildwandlerstrahlengangs transkondylär eingebracht. Wie wichtig es ist, die Achse exakt zu treffen, wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Bewegungswiderstand auf das 10-Fache steigt, wenn der Pin um 10 mm fehlplatziert wird (Morrey 2000).

Wenn der Referenzpin liegt, wird der Bewegungsfixateur aufgeschoben. Der integrierte Gelenkdistraktionsmechanismus muss distal liegen und vollständig komprimiert sein. Um eine hohe Stabilität zu erzielen, sollte der Fixateur möglichst knochennah platziert werden. Die 4-mm-Schanzschrauben für den Humerus und die 3-mm-Schrauben für die Ulna werden über Zielhülsen eingebracht. Dabei dienen die Arme des Fixateurs als Schablone. Als erstes werden die beiden Schanzschrauben am Humerus eingebracht, wobei man mit der proximalen beginnt. Dann wird die distale Schraube an der Ulna verankert und anschließend die zweite im Olekranon. Während die Knochenachse des Radius direkt auf das Drehzentrum des Kapitulum zuläuft, weicht die Achse der Ulna gegenüber dem Drehzentrum der Trochlea nach dorsal ab. Eine symmetrische Distraktion des humeroulnaren Gelenks um 2–3 mm wird durch eine volle Drehung mit dem Hoffmann-II-Compact-Schlüssel am Gewinde des integrierten Gelenkdistraktionsmechanismus nach links erreicht. Die leicht asymmetrische Anordnung erlaubt nur einen Bewegungsumfang von 60–90° (◘ Abb. 6.38).

Orthesen vermitteln aufgrund der unsicheren Fixation am beweglichen Weichteilmantel keine sichere kinematische Führung (Schmickal 2007).

Chronische Instabilitäten

Laterale chronische Instabilitäten sind häufiger als mediale. Bei der lateralen chronischen Rotationsinstabilität treten in Streecknähe bei supiniertem Unterarm Subluxationen auf, z.B. beim Aufstehen von einem Stuhl, wenn sich der Betreffende mit seinen Armen auf den Lehnen abstützt. Mediale Instabilitäten finden sich gehäuft bei Wurfsportlern. Mit einem Palmaris-longus-Transplantat kann eine laterale oder mediale Bandplastik unter Wahrung der Isometriepunkte eingezogen werden (◘ Abb. 6.39). Bei fehlender Palmarissehne kann alternativ auch die Plantarissehne oder ein 3–5 mm breiter Streifen aus der medialen Achillessehne verwendet werden.

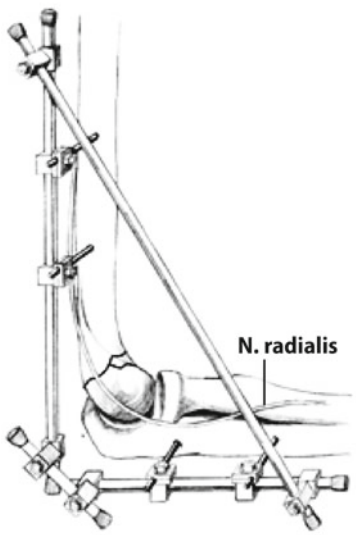
Nachbehandlung

Damit keine bleibenden Funktionseinschränkungen entstehen, darf die Ruhigstellung nicht zu lange dauern. Deshalb muss die Stabilität ggf. auf operativem Weg soweit wieder hergestellt werden, dass eine Übungsbehandlung aus der Schiene heraus schon nach 1 Woche beginnen kann, wenn die Weichteile ausreichend abgeschwollen sind und der akute Schmerz entsprechend abgenommen hat.

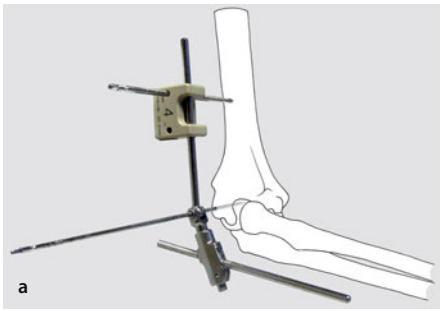
Komplikationen und Prognose

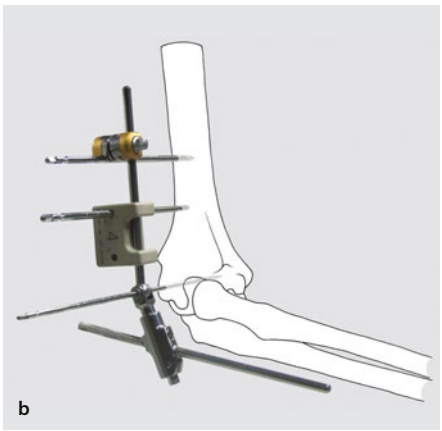
Eine vollständige Ruhigstellung des verletzten Ellenbogengelenks über 3 Wochen hinaus kann zu bleibenden Bewegungseinschränkungen durch Kontrakturen und Verklebungen führen. Häufig verbleiben Streckdefizite.

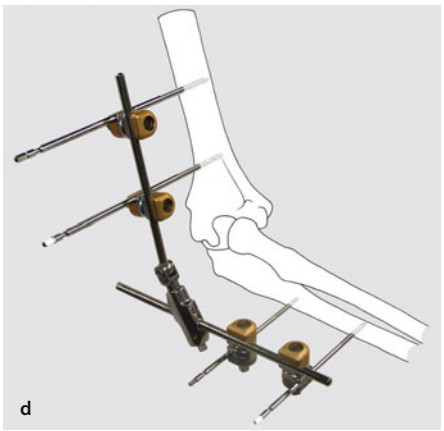
Heterotope Ossifikationen (▶ Abschnitt 6.3.3) treten typischerweise nach Kombinationsverletzungen auf (◘ Abb. 6.40). Zur Prophylaxe von heterotopen Ossifikationen empfiehlt sich eine 3-wöchige Einnahme von 2×50 mg Indometacin oder 3×50 mg Diclofenac per os/Tag.

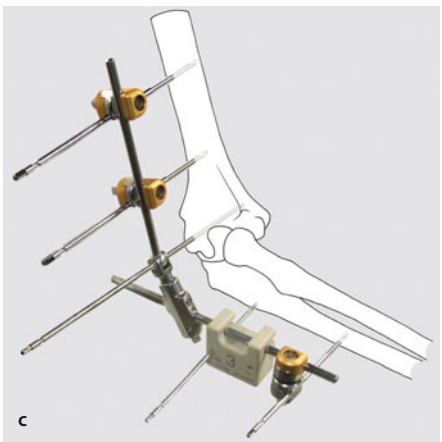


◘ **Abb. 6.37** Beziehung der Schanz-Schrauben zum Verlauf des N. radialis beim gelenkübergreifenden Fixateur externe. (Aus: Rueger et al. 2005)









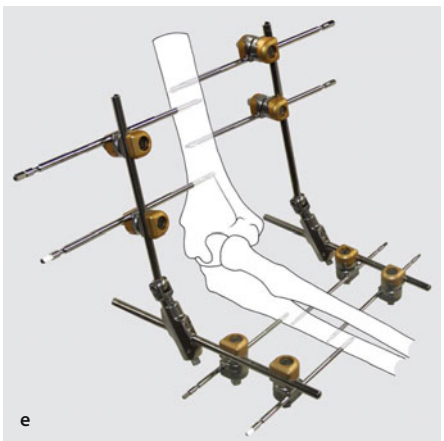
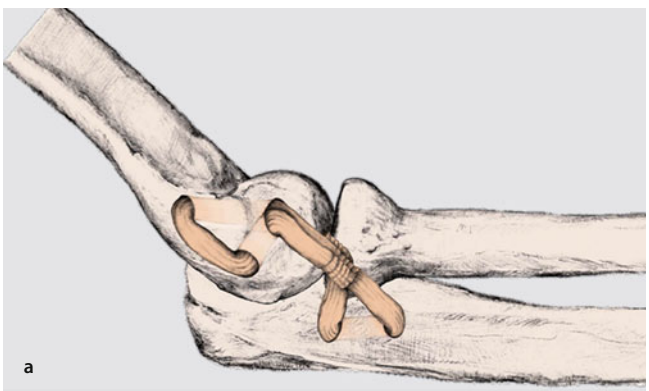


Abb. 6.38a–e **a** Beginn der Montage eines Bewegungsfixateurs nach Ausrichtung auf dem Achsenpin mit der Zielvorrichtung für den proximalen Humeruspin. **b** Das Zielgerät wird gegen eine definitive Fixateurbacke getauscht und der 2. Hauptpin wird über die Zielvorrichtung eingebracht. **c** Komplettierung der Montage unter Setzen des distalen Ulnapins über die Zielvorrichtung, danach wird der 2. proximal davon gelegene Ulnapin gesetzt. **d** Vollständig montierter Bewegungs-Fixateur nach Entfernung des Achsenpins. **e** Bilaterale Montage bei erhöhtem Stabilitätsbedarf. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Stryker)



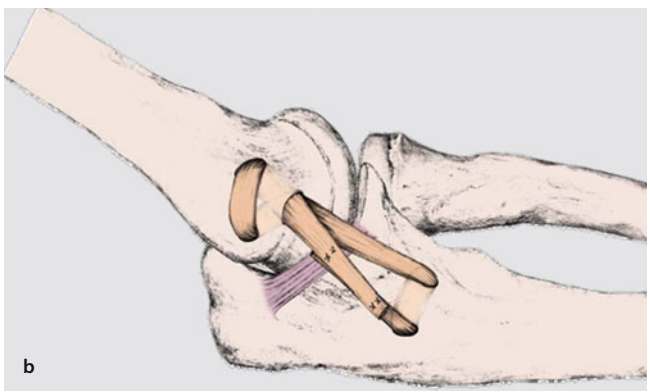


Abb. 6.39a,b Bandplastik bei chronischer posterolateraler Rotationsinstabilität. Ersatz des lateralen ulnaren Seitenbandes (LUCL) (**a**) und des medialen ulnaren Seitenbandes (MUCL) (**b**) mit freiem Palmaris-longus-Transplantat. (Aus: Mittlmeier u. Beck 2009)

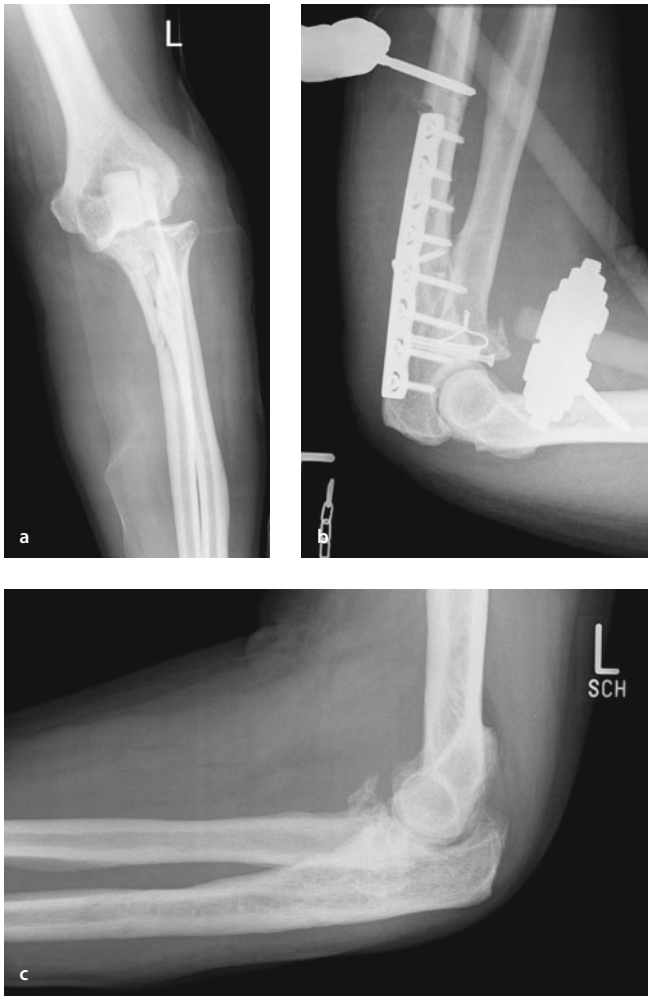


Abb. 6.40a–c 49-jähriger Mann mit Monteggiafraktur. **a** Unfallaufnahme. **b** Postoperative Kontrolle. **c** Kontrolle nach Implantatentfernung und Arthrolyse bei deutlichen periartikulären Verkalkungen und entsprechender Bewegungseinschränkung. Zuletzt betrug die Beweglichkeit für die E/F 0-30-100° und für die Pro/Sup 45/45°

Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Nach Reposition bzw. nach einem operativen Eingriff werden Röntgenkontrollen angefertigt. Den verletzten Arm stellt man in einer dorsalen Gipsschiene ruhig, beginnt aber so früh wie möglich mit der funktionellen Nachbehandlung. Das heißt, sobald der Patient keine akuten Beschwerden mehr hat, wird der Arm täglich aus der Schiene genommen und aktiv bewegt. Dies ist in der Regel bereits nach 2–3 Tagen möglich. Passive Bewegungsübungen empfehlen sich nicht, weil dadurch das Entstehen periartikulärer Verkalkungen gefördert würde. Die Dauer der Ruhigstellung richtet sich nach dem Ausmaß der Instabilität. Sie soll 3 Wochen nicht überschreiten.

Komplikationen und Prognose

Die Reluxation nach konservativer oder operativer Versorgung ist möglich und bedarf eines gut geplanten Vorgehens. Die knöcherne Gelenkführung muss rekonstruiert bzw. stabilisiert werden. Die wichtigsten Strukturen hierfür sind der Speichenkopf und der Processus coronoideus.

Nach einer Ellenbogenluxation kann sich ein Kompartment-Syndrom entwickeln.

Nach einer Luxation können posterolaterale oder mediale Instabilitäten verbleiben, die bei Beschwerden oder störender Funktionseinschränkung operativ angegangen werden müssen. Zur Versorgung dieser seltenen Komplikation wird auf die Sekundärliteratur verwiesen (Bernard u. Hertel 1991).

6.3.2 Arthroskopie

Indikationen für eine Arthroskopie des Ellenbogengelenks sind:
- Freier Gelenkkörper
- Knorpelschaden
- Synovialitis
- Empyem
- Arthrofibrose

Vorbereitung

Der Arm kann in Rückenlage auf einem Armtisch oder in Bauchlage frei hängend über ein schmales Armbänkchen gelagert werden. Die Bauchlage wird von manchen Operateuren bevorzugt, weil dabei das Gelenk durch den frei hängenden Unterarm aufgedehnt wird und die posterioren Gelenkabschnitte einfacher zugänglich sind. In Rückenlage braucht man eine Haltevorrichtung, die den Gelenkspalt durch Zug öffnet, was andererseits aber auch die Beweglichkeit für Extension und Flexion während der Untersuchung einschränkt (Abb. 6.41).

Mögliche **anteriore Zugänge** sind:
- Anteroulnar: 2 cm anterior und 2 cm distal des Epicondylus ulnaris (Abb. 6.42)
- Anteroradial: 2 cm anterior und 2 cm distal des Epicondylus radialis (Abb. 6.43)

Mögliche **posteriore Zugänge** sind:
- Proximaler posteroradialer Zugang: radial und etwa 5 mm proximal der Olekranonspitze
- Distaler posteroradialer Zugang: in der Mitte des Dreiecks zwischen Radiuskopf, Olekranonspitze und Epicondylus radialis
- Transtendinöser Zugang: 1 cm proximal der Olekranonspitze in der Mitte des Sehnenspiegels des M. triceps brachii (Abb. 6.44).

Vorgehen

Im Folgenden wird das von Strobel u. Eichhorn (1998) angegebene Verfahren in zusammengefasster und verkürzter Form geschildert:

Als erstes wird das Gelenk über den distalen posteroradialen Zugang mit Spülflüssigkeit aufgefüllt. Zunächst werden nur 10 ml instilliert, dann die Spritze abgenommen und kontrolliert, ob die Kanüle richtig liegt, was daran zu erkennen ist, dass die Flüssigkeit wieder aus dem Gelenk herausläuft. Anschließend wird das Gelenk prall aufgefüllt. Nun kann eine 5 mm dicke Zulaufkanüle mit innenliegendem Trokar über den proximalen posteroradialen Zugang eingebracht werden. Dazu wird der Weg zuvor mit einer Stichinzision der Haut und Tunnelung von Subkutis und Muskulatur mit einem Mosquitoklemmchen präformiert.

Anschließend wird die Schleuse über den anteroradialen Zugang eingebracht. Um sicherzugehen, dass man damit das Gelenk auch wirklich trifft, empfiehlt Strobel, es zunächst auf diesem Weg mit einer Kanüle probatorisch zu punktieren. Wenn sich Spülflüssigkeit entleert, spricht dies dafür, dass der intraartikuläre Raum

Abb. 6.41 Bauchlagerung zur Arthroskopie des Ellenbogengelenks. (Aus: Strobel 1998)

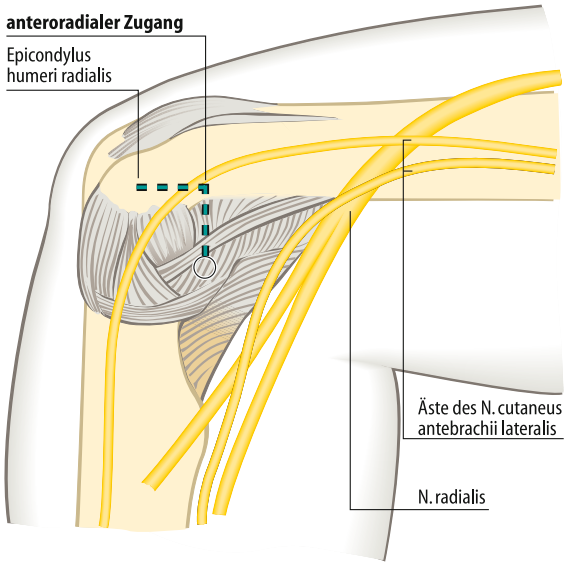


Abb. 6.43 Anteroradialer Zugang. (Aus: Strobel 1998)

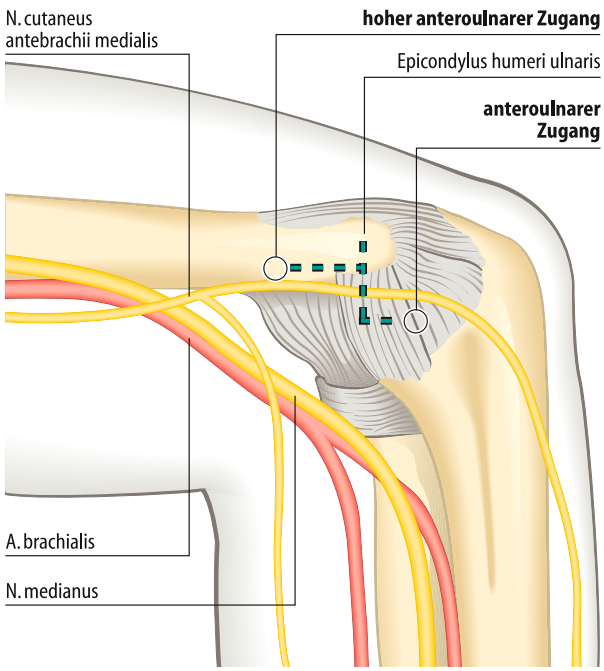


Abb. 6.42 Anteroulnarer und hoher anteroulnarer Zugang. (Aus: Strobel 1998)

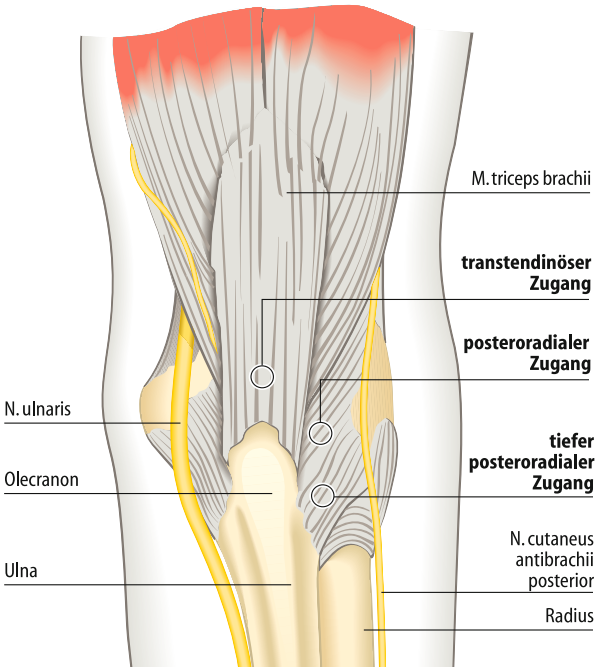


Abb. 6.44 Transtendinöser, proximaler posteroradialer und distaler posteroradialer Zugang. (Aus: Strobel 1998)

aufgefüllt und entfaltet ist. Nun wird der Weg für die Schleuse in oben beschriebener Weise präformiert, ohne die Gelenkkapsel zu eröffnen. Dann wird die Schleuse mit innenliegendem Trokar und geöffnetem Anschlusshahn eingebracht. Die Schubrichtung zielt auf den ulnaren Epikondylus. Wenn man die Kapsel durchstoßen hat, entleert sich Spülflüssigkeit über den geöffneten Hahn. Der Trokar kann nun gegen die Optik ausgetauscht werden.

Soll zunächst im anterioren Gelenkbereich gearbeitet werden, schafft man anteroulnar einen Instrumentenzugang. Das kann auf zwei verschiedene Weisen geschehen. Man kann mit einer Kanüle arthroskopisch kontrolliert das Gelenk punktieren und anschließend über Stichinzision und Präformierung mit einem Mosquitoklemmchen das benötigte Instrument einbringen oder den Zugang über einen Wechselstab schaffen.

Wenn der posteriore Gelenkabschnitt dargestellt werden soll, wird die Optik zunächst gegen einen Wechselstab ausgetauscht und dann die Schleuse darüber entfernt. Ein zweiter Wechselstab wird nun über die Zulaufkanüle in den posterioren Gelenkabschnitt

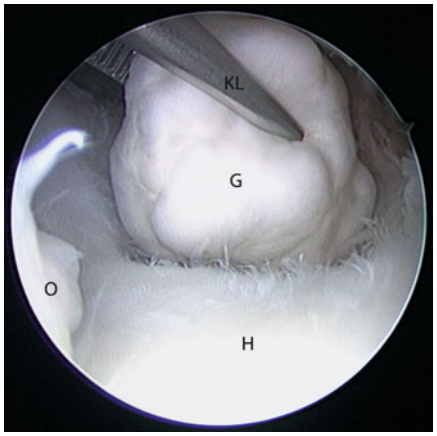


Abb. 6.45 Entfernung eines freien Gelenkkörpers aus der Fossa olecrani (G Gelenkkörper, H Humerus, O Olekranonspitze, KL Klemme). (Aus: Strobel 1998)

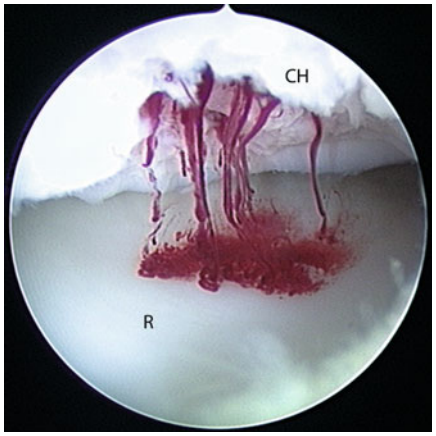


Abb. 6.46 Fadenförmige Blutungen nach Mikrofrakturierung eines größeren Knorpeldefekts (CH Capitulum humueri, R Radiusköpfchen). (Aus: Strobel 1998)

vorgeschoben und anschließend über die liegenden Wechselstäbe die Schleuse posterior und die Zulaufkanüle anterior eingebracht. Notwendige Instrumente führt man über einen transtendinösen Zugang ein. Falls der Flüssigkeitszustrom nicht ausreicht, wird der Zulauf direkt an die Schleuse angeschlossen und die Zulaufkanüle mit einem stumpfen Trokar verschlossen.

Das proximale Radioulnargelenk kann eingesehen werden, wenn man die Optik unter rotierenden Bewegungen in Richtung Radiuskopf vorschiebt. Das Humeroradialgelenk lässt sich am besten über den distalen posteroradialen Zugang erreichen.

Freier Gelenkkörper

Freie Gelenkkörper können traumatischer oder degenerativer Genese sein. Sie verursachen Schmerz- und Schwellungszustände und insbesondere Einklemmungserscheinungen. Man muss die Patienten präoperativ darüber aufklären, dass man u.U. nicht alle Gelenkkörper bergen kann.

Laut Strobel u. Eichhorn (1998) sind freie Gelenkkörper nicht nur im anterioren und posterioren Gelenkabschnitt zu finden, sondern auch im proximalen Radioulnargelenk. Wenn multiple Gelenkkörper vorliegen, sollte zunächst nicht der größte entfernt werden, denn durch die notwendige große Kapselinzision können die kleineren Gelenkkörper ins Subkutangewebe eingeschwemmt und unauffindbar werden. Meist liegen begleitende Knorpelschäden vor, die mitbehandelt werden können (Abb. 6.45).

Knorpelschaden

Genese und Beschwerdebild ähneln dem bei freien Gelenkkörpern. Die arthroskopische Therapie hat derzeit im Wesentlichen 2 Ziele: die Entfernung mechanisch störender Knorpelanteile und die Induktion von Ersatzknorpel.

Bei der Knorpelglättung werden nur diejenigen Knorpelareale entfernt, die von der Unterlage abgelöst sind, da sich diese im weiteren Verlauf unter Belastung zu freien Gelenkkörpern entwickeln können. Beim Ablösungsvorgang können überdies bisher noch gut auf der Unterlage haftende Knorpelbeläge mit abgerissen werden, sodass der Defekt an Größe zunähme. Strobel u. Eichhorn (1998) empfehlen beim Abtragen keine motorgetriebenen Instrumente, sondern lediglich Fasszangen oder kleine Rongeure zu verwenden, weil dann die Gefahr geringer ist, intakte Knorpelareale mit abzutragen. Außerdem soll der Randwall steil abfallen, um ein Hochwachsen des Ersatzknorpels zu begünstigen und die obere Schutzschicht des Knorpels, die Lamina splendens, nicht zu verletzen, die die tiefer gelegenen Knorpelareale schützt. Ausgenommen sind großflächige Knorpelauffaserungen, die man mit einem motorgetriebenen Instrument glätten muss. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, ausschließlich die oberflächlich liegenden, instabilen Knorpelanteile abzutragen.

Bei der Induktion von Ersatzknorpel kommen drei verschiedene Techniken zum Einsatz:

- Die so genannten Pridie-Bohrungen eignen sich nur für Fissuren und kleine Areale, weil das Regenerat punktförmig und damit zu inhomogen ist, um eine größere Fläche geeignet bedecken zu können. Die Bohrungen werden mit einem K-Draht der Stärke 1,2–2,0 mm durchgeführt.
- Die subchondrale Abrasionschondroplastik eignet sich dagegen für flächenhafte Defekte bis 1,5 cm Durchmesser. Größere Areale sollten mäander- oder punktförmig angefräst werden, um belastete Knochenareale nicht kritisch zu schwächen.
- Bei der Micro-fracture-Technik wird die freiliegende Sklerosezone mit einem Spezialmeißel an mehreren Stellen sternförmig durchbrochen (Abb. 6.46).

Synovialitis

Entzündungen der Gelenkinnenhaut können traumatischer, degenerativer oder rheumatischer Genese sein. Schwellung und Schmerzen mit resultierender Bewegungseinschränkung stehen klinisch im Vordergrund. Das Punktat wird mikrobiologisch und zytologisch (Harnsäure) untersucht. Bei der präoperativen Aufklärung muss man den Patienten u.a. darauf hinweisen, dass die Synovialitis wieder auftreten kann. Bei der Arthroskopie können mögliche Ursachen einer Synovialitis, wie Knorpelschäden, freie Gelenkkörper oder Osteophyten, mitbehandelt werden. Wenn die Ursache unklar ist, hilft u.U. die histologische Aufarbeitung einer Synovialprobe weiter.

Empyem

Beim Infekt legen sich Leukozyten und Fibrinbeläge auf den Knorpel und behindern die Diffusion. Solange das Gelenk bewegt wird und diese Beläge nicht fest haften können, gibt es keine Knorpelschäden. Deshalb muss ein Empyem möglichst im Frühstadium arthroskopisch angegangen werden. Das Gelenk wird ausgiebig

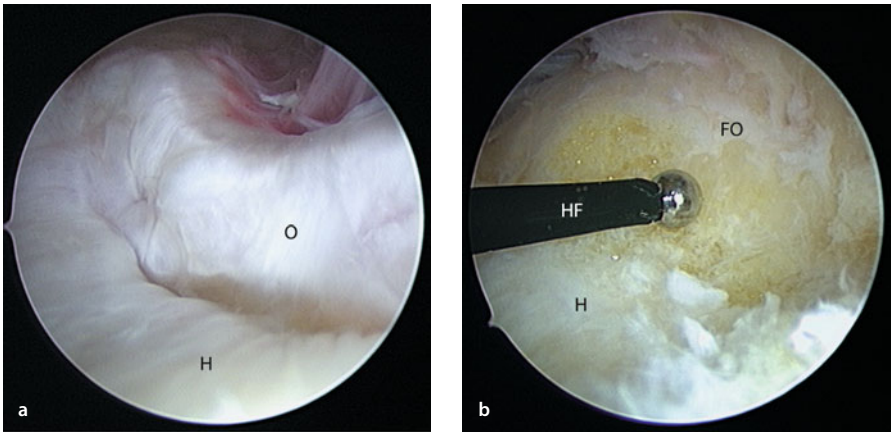


Abb. 6.47a,b **a** Osteophytärer Anbau (O) an der Olekranonspitze (H Humerusrückfläche). **b** Situation nach arthroskopischer Glättung (HF HF-Instrumentarium, FO Fossa olecrani, H Humerus). (Aus: Strobel 1998)

gespült, und zwar mit Ringer-Laktatlösung ohne Antibiotikazusatz (Muhr 1999). Alle Synovialzotten und Fibrinbeläge werden mit einem Shaver abradiert. Postoperativ soll das Gelenk nicht ruhiggestellt, sondern ganz im Gegenteil intensiv bewegt werden. Nach einer stattgehabten Osteosynthese ist dies nur möglich, wenn übungsstabile Verhältnisse herrschen. Muhr (1999) empfiehlt deshalb, bei Instabilität auf jeden Fall eine Reosteosynthese durchzuführen, auch wenn ein manifester Infekt vorliegt. Wenn eine Infektion schon 8–10 Tage dauert, reicht ein alleiniges arthroskopisches Vorgehen meist nicht mehr aus. Muhr empfiehlt in diesen Fällen eine offene Synovektomie. Die Antibiotikaprophylaxe wird fortgeführt, bis die Wundheilung abgeschlossen ist. Die Indikation zum Revisionseingriff sollte großzügig gestellt werden, sobald Schmerzen, Schwellung oder ein Anstieg der CRP auf ein Fortschreiten der Entzündung hinweisen.

Eine entscheidende Maßnahme bei der Nachbehandlung eines Empyems ist die continuous passive motion (CPM). Sie hilft u.a. Kontrakturen vermeiden, verbessert den Gelenkstoffwechsel, unterstützt die Ergussresorption und drainiert potenzielle Toträume im Gelenk, in denen sonst neue Bakterienkolonien wachsen könnten. Um diese Ziele zu erreichen, sollte die Motorschiene wenigstens 4-mal 30 min pro Tag zum Einsatz kommen.

Arthrolyse

Ossär verursachte Beugedefizite entstehen durch osteophytäre Anbauten im Bereich des Processus coronoideus, der Fossa coronoidea oder der radialen Humerusvorderfläche, während für die ossär bedingten Streckdefizite Anbauten der Olekranonspitze bzw. eine obliterierte Fossa olecrani verantwortlich sind. Die knöchernen Appositionen können arthroskopisch entfernt werden. Bezüglich der Vorgehensweise dieser anspruchsvollen Technik wird auf die Sekundärliteratur verwiesen (Strobel u. Eichhorn 1998; Abb. 6.47).

Bei rein ligamentär bedingten Bewegungseinschränkungen kann es bisweilen unmöglich sein, den Gelenkraum einzusehen, worüber der Patient präoperativ aufgeklärt werden muss (zur Operationstechnik s. Sekundärliteratur bei Strobel u. Eichhorn 1998).

Osteochondrosis dissecans

Von der aseptischen Knochennekrose ist meist das Capitulum humeri jugendlicher Sportler betroffen. Belastungsabhängige Beschwerden, die im fortgeschrittenen Stadium mit Gelenkreiben und Einklemmungserscheinungen kombiniert sind, stehen im Vordergrund. Radiologisch ist das Ellenbogengelenk vielfach unauffällig. Am Capitulum humeri können Aufhellungszonen zu sehen sein. Meist kann erst durch eine MRT die Diagnose gesichert werden (Abb. 6.48).

Abb. 6.48 Osteochondrosis dissecans des Capitulum humeri in der MRT (Pfeilspitzen = abgelöstes Dissekat). (Aus: Strobel 1998)

Arthroskopisch lässt sich das jeweilige Stadium der Erkrankung ermitteln:

- **Stadium I:** intakter Knorpelbereich
- **Stadium II:** abgrenzbarer Herd mit Chondromalazie Grad I oder II
- **Stadium III:** Dissekat teilweise gelöst
- **Stadium IV:** Mausbett und freies Dissekat

Die Therapie orientiert sich am jeweiligen Stadium. Laut Strobel u. Eichhorn (1998) erfolgt in den ersten Stadien eine anterograde Anbohrung über einen tiefen posteroradialen Zugang. Oberflächliche Knorpelschäden werden geglättet. Dissekate, die sich abgelöst haben, werden entfernt und die verbleibenden Defekte nach den oben beschriebenen Kriterien versorgt.

Laut Tscherne (1999) besteht beim Jugendlichen nur dann eine Indikation zur Arthroskopie, wenn ein Gelenkerguss und Blocka-

den vorliegen. Ist keines der genannten Kriterien gegeben, genügt eine Sportkarenz für ein Jahr.

6.3.3 Floating elbow

Ätiologie und Klassifikation

Diese Sonderform der Ellenbogengelenkverletzung tritt im Rahmen erheblicher Gewalteinwirkung meist bei polytraumatisierten Patienten auf. Es handelt sich um eine Kettenverletzung mit gelenknahen Frakturen, für die es sogar eine Klassifikation gibt. Bei einem Floating elbow nach Rogers et al. (1984) handelt es sich um Frakturen des distalen Humerus und proximalen Unterarms:

1. ohne Gelenkbeteiligung,
2. mit supradiakondylärer Verletzung,
3. mit Radiuskopfluxation im Sinne eines Monteggia-Äquivalents.

Therapie

Die therapeutischen Grundsätze ergeben sich aus denen, die für die jeweilige Monoverletzung beschrieben sind. Darüber hinaus ist jedoch zu bedenken, dass aufgrund der stattgehabten großen Gewalteinwirkung häufig begleitende Schäden an Gefäßen und Nerven vorliegen. Ein Floating elbow sollte deshalb Anlass zu besonderer Aufmerksamkeit darauf sein. Aber auch die Weichteildeckung und die ligamentäre Stabilität sind meist schwer beeinträchtigt. Da es sich in der Regel um polytraumatisierte Patienten handelt, stehen meist andere Verletzungen, was deren Dringlichkeit bei der Versorgung anbelangt, im Vordergrund, sodass sich die temporäre Stabilisierung mit einem Fixateur externe anbietet. Dafür werden von lateral je zwei Pins in den Humerus und die Ulna eingebracht. Alles Weitere richtet sich anschließend nach der Gesamtsituation des Patienten (▶ Kap. 15, Polytrauma) und dem Zustand der Weichteile, wobei es in Hinblick auf drohende Weichteilinfektionen immer günstig ist, möglichst früh für möglichst viel Stabilität zu sorgen.

6.3.4 Posttraumatische Gelenksteife und heterotope Ossifikation

Ätiologie

Eine posttraumatische Gelenksteife kann nach Ellenbogengelenkluxation und Luxationsfrakturen auftreten. Insbesondere bei gleichzeitig vorliegenden Schädel-Hirn-Traumen und bei Blutern sind sie häufig mit heterotopen Ossifikationen kombiniert. 5% aller Frakturen des Ellenbogengelenks münden in einer posttraumatischen Gelenksteife (Sojbjerg 1996). Sie wird als Streckdefizit von mehr 30° und als Beugedefizit von mehr als 120° definiert.

Nach der Definition der WHO handelt es sich bei heterotopen Ossifikationen um eine Erkrankung nichtneoplastischer Art, die gelegentlich mit einem Trauma assoziiert ist. Sie entartet nie. Sie ist immer extraperiostal lokalisiert und führt zur Gelenkblockade. Heterotope Ossifkationen manifestieren sich nach einem Schädel-Hirn-Trauma, in abnehmender Häufigkeit geordnet, an folgenden Gelenken: Hüfte, Schulter, Ellenbogengelenk und Knie. Brüske Repositionsmanöver von Luxationen und Frakturen sowie eine passive Übungsbehandlung, die die Schmerzgrenzen nicht wahrt, provozieren heterotope Ossifikationen (Tab. 6.2).

Wenn Frakturen des Ellenbogengelenks innerhalb der ersten 24 h nach dem Trauma stabilisiert werden, muss man laut Josten u. Lill (1999) nicht mit heterotopen Ossifikationen rechnen.

Tab. 6.2 Die Inzidenz posttraumatischer heterotoper Ossifikationen am Ellenbogengelenk in Abhängigkeit von der Art der stattgehabten Verletzung

Art der Verletzung	Inzidenz heterotoper Ossifikationen
Ellenbogengelenkluxation	55%
Radiuskopffraktur	10–30%
Suprakondyläre Humerusfrakturen	20%

Klinik

Prolongierte Schmerzen und eine zunehmende Bewegungseinschränkung weisen auf eine beginnende heterotope Osssifikation hin. Nach 4–8 Wochen sieht man ersten Verschattungen auf dem Röntgenbild. 3–6 Monate später ist der Prozess in der Regel abgeschlossen. Dabei empfinden die Patienten in der Regel ein Streckdefizit weniger störend als ein Beugedefizit. Letzteres verhindert, dass die Hand zu Mund und Kopf gelangt.

Das Funktionsausmaß, das im täglichen Leben hauptsächlich gebraucht wird, beträgt für die Extension/Flexion 0-30-120° und für die Pro-/Supination 50-50°.

Diagnostik

Das Bewegungsausmaß des eingesteiften Ellenbogengelenks bezüglich Extension und Flexion sowie Pro- und Supination wird untersucht und nach der Neutral-Null-Methode dokumentiert. Aus der Restfunktion ergibt sich die Schwere der Gelenksteife. Die Gelenkstabilität muss beurteilt werden. Außerdem sollte an die Möglichkeit einer Gelenkinfektion gedacht werden. Der Kraftgrad der gelenküberbrückenden Muskulatur sollte dokumentiert werden und ein neurologischer Status mit Funktionsprüfung der Nn. medianus, radialis und ulnaris sollte erhoben werden. Röntgenbilder in Standardprojektion ggf. mit zusätzlichen Schrägaufnahmen, Arthrografie, CT, MRT oder Szintigrafie ermöglichen u.a. den Ein- oder Ausschluss heterotoper Ossifikationen und die Beurteilung des Heilungsfortschritts stattgehabter knöcherner Verletzungen.

Heterotope Ossifikationen lassen sich bereits auf den Übersichtsaufnahmen des Ellenbogengelenks in 2 Ebenen erkennen. Zusätzlich ist zur genauen Planung der Arthrolyse eine CT unerlässlich. Um zu bestimmen, wann eine heterotope Ossifikation ausgereift ist, wird das klinische und radiologische Bild herangezogen. Der harte Anschlag an den Enden des möglichen Bewegungsumfangs und die scharfen Grenzen der Kalkdepots auf den Übersichtsaufnahmen weisen darauf hin, dass ein Endzustand erreicht ist. Die Bestimmung der alkalischen Phosphatase und die Szintigrafie normalisieren sich dagegen erst nach 12 Monaten.

Klassifikation

Das Ausmaß einer Gelenksteife wird abhängig von der Restfunktion des Ellenbogengelenks klassifiziert (Tab. 6.3). Das Ausmaß der heterotopen Ossifikationen wird in 3 Schweregrade eingeteilt (Tab. 6.4).

Konservative Therapie

Die konservative Therapie hat immer Priorität. Alle Patienten mit eingesteiftem Ellenbogengelenk sollten sich einer umfassenden Therapie unterziehen, die folgende Maßnahmen beinhaltet (Beickert u. Bühren 2003):

Tab. 6.3 Klassifikation der Ellenbogengelenksteife in Abhängigkeit von der Restfunktion (Morrey et al. 1981)

Schweregrad	Gesamtflexion in Grad
Gering	>90
Mäßig	60-90
Schwer	30-60
Sehr schwer	<30

Tab. 6.4 Einteilung der Schwere heterotoper Ossifikationen nach ihrem Ausmaß und der Bewegungseinschränkung

Schweregrad	Ausmaß der Ossifikation und Bewegungseinschränkung
Grad I	Geringe heterotope Ossifikationen ohne nennenswerte Bewegungseinschränkung
Grad II	Deutliche Verknöcherung mit Bewegungseinschränkung
Grad III	Massive Verknöcherungen mit Ankylose

1. Antientzündliche Behandlung
   - lokale Kälteapplikation
   - NSAR
2. Schmerzausschaltung
   - NSAR
   - intermittierende Ruhigstelluung
   - katheteranalgesie
   - andere Maßnahmen
3. Bewegungstherapie
   - aktive und passive (cave!) Bewegungsübungen

Solange eine Verbesserungstendenz erkennbar ist, kann die Indikation zum operativen Vorgehen noch nicht gestellt werden. Andererseits sollten die konservativen Bemühungen innerhalb von 6 Wochen eine deutliche und anhaltende Verbesserung erzielen.

Arthrolyse

Indikation

Das Behandlungsziel wurde von Morrey (2000) und Mitarbeiter (1993) definiert. Demnach reicht ein Bewegungsumfang von 100° für Beugung und Streckung einerseits und die Umkehrbewegung andererseits für den alltäglichen Gebrauch des Arms aus. Deshalb sind Gelenksteifen mit größeren Bewegungsumfängen nur im Einzelfall und unter klarer Zielsetzung behandlungsbedürftig (Beickert u. Bühren 2003). Dabei sollte der Eingriff laut Kolb et al. (2008) möglichst bereits 4–6 Monate nach einer stattgehabten Gelenkverletzung durchgeführt werden. Persistierende lokale Infektzeichen und schwerwiegende systemische oder psychische Erkrankungen sind Kontraindikationen.

Es besteht ein gewisser Zeitdruck, weil der größte Zugewinn für die Funktion bei relativ frühzeitigem Vorgehen zu erwarten ist. Werden die Kalkspangen bereits 4–6 Monate nach dem Trauma entfernt, lassen sich 60% der Funktion zurückgewinnen, werden sie hingegen erst nach 1 Jahr oder später entfernt, sind es nur noch 35% (Breitfuß u. Schaiger 1999). Josten u. Lill (1999) operieren deshalb im Zeitraum zwischen 6 und 9 Monaten nach dem Trauma. Sie orientieren sich dabei an der Aktivität im Szintigramm. Der Peak sollte überschritten sein. Die vollständige Ausreifung der Ossifikationen oder die Normalisierung der alkalischen Phosphatase sollten dagegen nicht abgewartet werden, weil dadurch häufig der zeitliche Rahmen überschritten würde (Mader et al. 2004).

»Die Narkosemobilisation als alleinige geschlossene Manipulation zur Verbesserung der Beweglichkeit des Ellbogens führt meist zu keiner anhaltenden Funktionsverbesserung. … Die Ursache der Fehlschläge der Narkosemobilisation liegt wahrscheinlich darin, dass die geschlossene Gelenkkapselzerreißung eine entzündliche Reizantwort nach sich zieht, die ausgeprägter ist als bei der offenen Gelenkkapselresektion.« (Beickert u. Bühren 2003)

Vorgehen bei der offenen Arthrolyse (Blauth 1991, Abb. 6.49)

In vielen Fällen ist ein alleiniger radialer Zugang ausreichend. Man orientiert sich dabei am Epicondylus radialis und dem Hinterrand des Radiuskopfs, den man durch Palpation zwischen Daumen und Zeigefinger unter gleichzeitigem Drehen am Unterarm gut orten kann. Nach Längsspalten der Gelenkkapsel wird die Kapsel ventral angehoben und zusammen mit den Muskelursprüngen vom radioventralen Aspekt des Epikondylus scharf abgelöst. Die Spaltung nach distal reicht bis in die Höhe des Radiushalses.

Nun besteht ausreichende Übersicht, um Verwachsungen zwischen Kapsel und Gelenk lösen und Narbenstränge aus dem Gelenk entfernen zu können. Die Dicke der unter dem Muskel liegenden Gelenkkapsel wird abgeschätzt (Abb. 6.50). Der M. brachialis wird von der Vorderfläche abgelöst unter sorgfältiger Beachtung der hier verlaufenden A. brachialis und des N. radialis. Anschließend wird die laterale Hälfte der ventralen Gelenkkapsel bis zum Processus coronoideus reseziert. Der medial gelegene Kapselanteil kann nur palpiert, nicht aber dargestellt werden. Er wird anschließend mit der Schere inzidiert (Abb. 6.51). Dann werden in Extension restliche Adhäsionen gelöst. Wenn zwischen Humerus und Processus coronoideus ein Anschlag besteht, kann man entweder den Knochenvorsprung am Processus abmeißeln oder die Fossa mit einer Kugelkopffräse vertiefen.

Die Ursache für ein Streckdefizit kann eine obliterierte Fossa olecrani sein, die man über den bereits geschaffenen Zugang oder eine zusätzliche Inzision der Gelenkkapsel dorsal vom Hauptzügel des radialen Kollateralbands erreicht. Die Fossa muss dann débridiert werden. Aber auch eine stark verdickte und geschrumpfte Gelenkkapsel kann ein Streckdefizit verursachen; in diesem Fall muss die Gelenkkapsel exzidiert werden (Abb. 6.52).

Während und am Ende des Eingriffs wird das Gelenk passiv durchbewegt und das erreichte Bewegungsausmaß ermittelt bzw. erweitert. Um einen entsprechenden Effekt zu erzielen, muss ein gewisses Maß an Kraft eingesetzt werden. Dies birgt allerdings die Gefahr, Frakturen zu verursachen.

Die Gefahr, bei der passiven Gelenkmobilisation einen Gelenkpartner zu frakturieren, droht insbesondere dann, wenn man in gleicher Sitzung ein Implantat entfernt hat, da der Knochen noch nicht an die nicht implantatgestützte Belastung adaptiert ist. Deshalb sollte man die Gelenkmobilisation nach Möglichkeit vor der Implantatentfernung durchführen.

Bei starker Einschränkung der Pro- und Supination kann eine Radiuskopfresektion, die etwa 1,5 cm distal der radialen Gelenkfläche am Radiushals vorgenommen wird, indiziert sein.

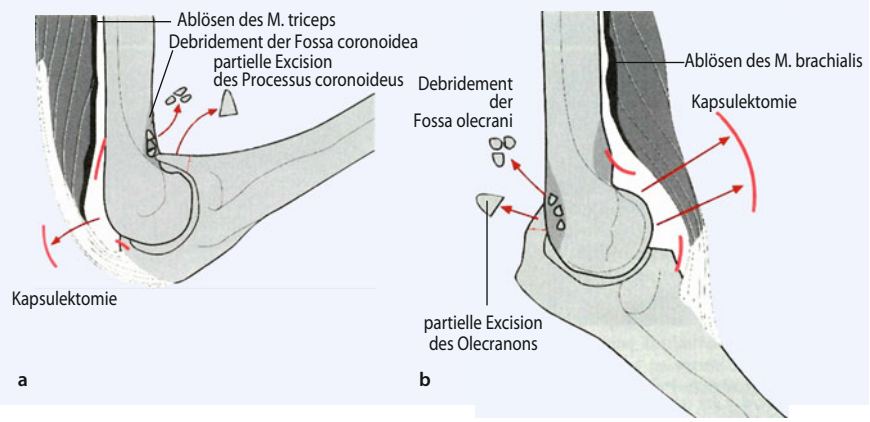


Abb. 6.49a,b Offene Arthrolyse am Ellenbogengelenk. (Aus: Blauth u. Gösling 2001, in Schmit-Neuerburg et al. 2001)

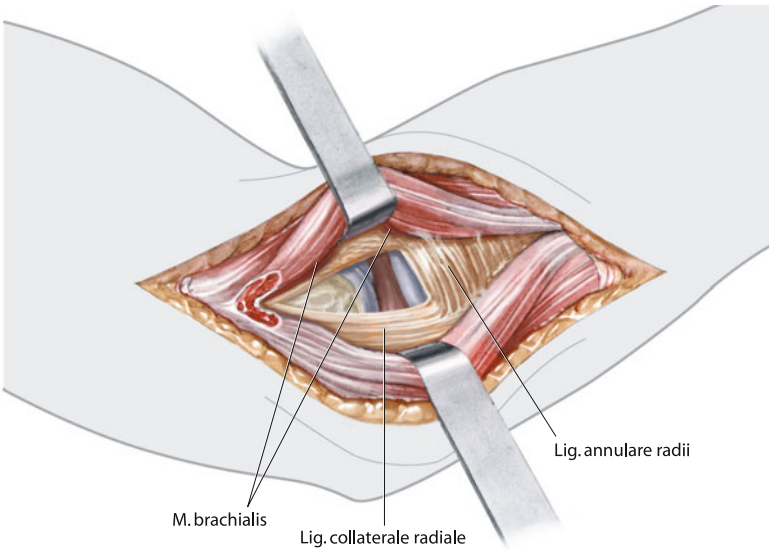


Abb. 6.50 Resektion der Kapsel zwischen Capitulum humeri und Radiuskopf (Aus: Blauth u. Gösling 2001, in Schmit-Neuerburg et al. 2001)

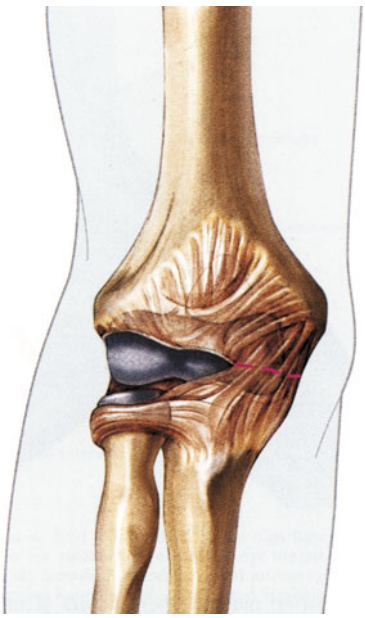


Abb. 6.51 Dreieckförmige Resektion der vorderen Kapsel bis zum Processus coronoideus und anschließende Spaltung der vernarbten beugeseitigen Kapsel nach ulnar (rote Linie) unter digitaler, besser visueller Kontrolle. (Aus: Blauth u. Gösling, in Schmit-Neuerburg et al. 2001)

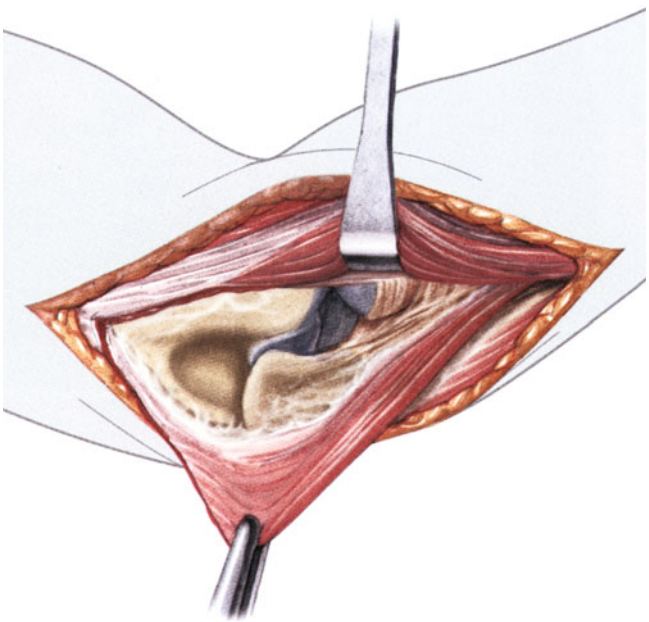


Abb. 6.52 Vollständige Kapselresektion des dorsalen Gelenkraums; die Trizepssehne kann zu diesem Zweck von der Olekranonsspitze abgelöst werden (Aus: Blauth u. Gösling 2001, in: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Wenn eine Nervenkompression des N. ulnaris besteht oder die vom radialen Zugang aus vorgenommene Arthrolyse allein nicht das gewünschte Bewegungsausmaß gebracht hat, geht man ausschließlich bzw. zusätzlich von ulnar vor. Der Nerv wird grundsätzlich dargestellt und freigelegt, weil er häufig im Sulkus verklebt ist und beim Durchbewegen überdehnt werden kann. Anschließend werden die Muskeln kurzstreckig von proximal nach distal von der Gelenkkapsel abgeschoben. Bei diesem Schritt muss man den Verlauf der beugeseitig liegenden Strukturen, den N. medianus und die Gefäße, bedenken. In Höhe des Vorderrands des Ligamentum collaterale ulnare kann die Gelenkkapsel nun längs inzidiert werden. Um ausreichende Übersicht zu gewinnen, muss die Kapsel wie auf der radialen Seite vom ventralen Aspekt des Epikondylus abgelöst werden. Dann können Narbenstränge und Verwachsungen angegangen, Randanbauten geglättet und eine narbig verdickte ventrale Kapsel reseziert werden.

Dorsal entlang des Unterrandes des Kollateralbandes braucht man das Gelenk nur dann zusätzlich zu eröffnen, wenn dort weitere Hindernisse vermutet werden. Am Ende des Eingriffs wird das erreichte Bewegungsausmaß kontrolliert und im Operationsbericht vermerkt.

Die Operationstechnik bei der Abtragung von Verknöcherungen richtet sich danach, ob echte heterotope Ossifikationen vorliegen oder Verkalkungen von Band- oder Muskelansätzen bzw. Knochenneubildungen im Rahmen einer Frakturheilung. Nur bei gleichzeitiger Arthrofibrose muss auch die Gelenkkapsel reseziert werden. Anderenfalls genügt die Entfernung der Osssifikationen, die übrigens nicht vollständig sein muss; wenn intraoperativ ein normaler Bewegungsumfang wieder erreicht ist, kann die Resektion der restlichen Ossifikationen unterbleiben. Die Membrana interossea sollte zugunsten eines zusätzlichen dorsalen Zugangs immer unangetastet bleiben (Beickert u. Bühren 2003).

Nachbehandlung

Um das intraoperative Bewegungsausmaß zu halten, ist eine früh einsetzende Bewegungstherapie nötig. Sie sollte bereits am ersten postoperativen Tag beginnen. Am besten wird eine Motorschiene benutzt. Dabei sollte das angestrebte Bewegungsausmaß möglichst dem intraoperativ erreichten entsprechen.

Vielfach ist die frühe Krankengymnastik für die Patienten sehr schmerzhaft und unter alleiniger systemischer Analgetikagabe nicht durchführbar. Es empfiehlt sich in diesen Fällen bereits präoperativ einen Anästhesisten zur Planung einer Regionalanästhesie zuzuziehen. Eine ausreichend wirksame Form der postoperativen Schmerzbekämpfung ist in diesem Zusammenhang eigentlich nur durch eine kontinuierliche Katheterplexusanalgesie oder -anästhesie möglich; wobei diese bei axillärer Lage die Rückseite des distalen Oberarms nicht erfasst. Eine Alternative bietet die interskalinäre Anlage.

»Gleichzeitig ist im Stadium der posttraumatischen, postoperativen imflammatorischen Gelenkschwellung jede forcierte passive Dehnung des Ellenbogengelenks obsolet, da diese zu einer Vertiefung der entzündlichen Reizantwort an der Gelenkkapsel führt und somit die Zunahme von Bindegewebe induziert. die assistierte aktive Bewegungsübung ist demnach die einzig mögliche physiotherapeutische Maßnahme in der unmittelbaren postoperativen Phase.« (Beickert u. Bühren 2003). Aus diesem Grund eignen sich auch keine Quengelschienen zur Behandlung von Ellenbogengelenksteifen.

Morrey (2000) hat ein Nachbehandlungsschema entwickelt und beschrieben, das den genannten Problemen Rechnung trägt (Übersicht).

Nachbehandlungsschema von Morrey (2000)

- Nach dem Aufstehen am Morgen Entfernen der Schiene, Beuge- und Streckübungen im warmen Wasser für 15 min, 1 Dosis NSAR
- Wiederanlage der Schiene in der gegenläufigen Richtung zur Nachtschiene. Es soll ein Spannungsgefühl im Gelenk eintreten, aber kein Schmerz.
- Die Schiene wird vormittags, nachmittags und abends jeweils 1 h entfernt und das Gelenk so weit und so oft wie möglich gebeugt und gestreckt. Anschließend wird die Schiene in der jeweils gegenläufigen Richtung zur vorherigen wieder angelegt.
- Wird das Gelenk heiß oder schmerzt: Auflage eines Kühlelements. Ist der Ellenbogen nicht überwärmt, aber steif: Auflage einer Warmpackung. Während der Kälte- oder Wärmeanwendung Bewegungsübungen für 15 min.
- Beim Zubettgehen Anlage der Schiene und Blockade in der Richtung, die am meisten eingeschränkt ist. Dabei soll die Stellung aber noch so komfortabel sein, dass die Nachtruhe gewährleistet ist.

Prophylaxe

Um erneuten Verkalkungen vorzubeugen, kann das Operationsgebiet postoperativ bestrahlt werden. Hinsichtlich der Dosis gibt es zahlreiche unterschiedliche Protokolle. Eine Möglichkeit ist die einmalige Bestrahlung mit 8 Gy, die unmittelbar postoperativ, also noch am Operationstag selbst, erfolgen muss. Kann die Bestrahlung erst nach einem oder wenigen Tagen postoperativ beginnen, wird die Gesamtdosis erhöht, dafür aber auf mehrere Sitzungen aufgeteilt, beispielsweise 5-mal 2 oder 3,5 Gy. Kritisch anzumerken ist, dass dieses Verfahren nicht unbedenklich ist. Das Risiko, im Laufe des Lebens an einem strahleninduzierten Sarkom zu erkranken, ist insbesondere für jüngere Patienten nicht unerheblich und bewegt sich im Prozentbereich. Deshalb muss die Indikation zur Radiatio sehr streng gestellt werden und die Schaden-Nutzen-Relation in jedem Einzelfall neu überdacht werden.

Zur Prophylaxe neuer Verkalkungen kann man auch ein nichtsteroidales Antiphlogistikum verabreichen (z.B. Indometacin in einer Dosierung von 2-mal 50 mg pro Tag oder Diclofenac 2-mal 50 mg pro Tag jeweils für 3 Wochen unter begleitendem Magenschutz (Josten u. Lill 1999).

Bei der Entlassung können dem Patienten bei Bedarf zwei Gips- oder Kunststoffschienen mitgegeben werden, die alternierend tagsüber und nachts getragen werden sollen. Eine Schiene wird bei maximal möglicher Flexion, die andere bei maximal möglicher Extension angefertigt.

Komplikationen und Prognose

Arthrolysen bei funktionell relevanter Bewegungseinschränkung des Ellenbogengelenks sind aufwändige und nicht zu unterschätzende Eingriffe (Kolb et al. 2008). Nerven- und Gefäßverletzungen sind möglich. Postoperativ können sich erneut Verkalkungen bilden. Das intraoperativ erreichte Bewegungsausmaß kann postoperativ nach und nach verloren gehen und die Gelenksteife wieder zunehmen. Beim passiven Durchbewegen während des Eingriffs können die angrenzenden Gelenkpartner frakturieren.

Geringe funktionelle Defizite und fehlende Hinweise auf heterotope Ossifikationen oder degenerative Veränderungen sind positive Prädiktoren. Prognostisch ungünstig sind dagegen eine lange bestehende Bewegungseinschränkung, Bewegungseinschränkung

nach Infektion, Narkosemobilisation in der Vorgeschichte, mehrmonatige schmerzhafte Physiotherapie, Algodystrophie, heterotope Ossifikationen, mehrwöchige Immobilisation nach Luxation und knöcherne Fehlstellung (Strobel 1998).

Laut Kolb et al. (2008) erzielt die offene Arthrolyse unter Beachtung der pathoanatomischen Verhältnisse, einer adäquaten Operationstechnik und einer differenzierten Nachbehandlung in den meisten Fällen eine deutliche Funktionsverbesserung. Sie fanden unter 35 nachuntersuchten Patienten 31% mit sehr gutem Ergebnis, 43% mit einem guten, 11% mit einem befriedigenden und nur 6% mit einem schlechten bzw. sehr schlechten Ergebnis. Da das Ellenbogengelenk das wichtigste Gelenk für die Funktion des Arms ist, können bereits geringere Funktionsgewinne die Lebensqualität der Betroffenen merklich verbessern. In einer Literaturübersicht mit 11 Studien (n=494) betrug der absolute Bewegungszuwachs durch offene Arthrolyse durchschnittlich 46°. Andererseits wurde auch über 4–31% unbefriedigende Ergebnisse berichtet und über Komplikationsraten zwischen 0 und 27% (Hertel u. Wolfram 2001). Laut Blauth et al. (1990) profitieren insbesondere die Patienten mit höhergradigen Einsteifungen mit einem durchschnittlichen relativen Beweglichkeitszuwachs von 60%.

Allerdings muss sich der Operateur darüber im Klaren sein und seine Patienten präoperativ entsprechend informieren, »dass das intraoperativ erzielte Bewegungsausmaß im Regelfall nicht gehalten werden kann. Anstelle der Gelenkkapsel entsteht zunächst ein Entzündungs- und Granulationsgewebe, das durch Dehydratation und zunehmende Fibrosierung schrumpft. Dieser Prozess der natürlichen Heilung beginnt ab der 3. postoperativen Woche… Der Erhalt der Beweglichkeit des Ellengelenks nach einer Arthrolyse ist Schwerarbeit für den Patienten.« (Beickert u. Bühren 2003).

6.3.5 Weichteilläsionen

Epicondylitis humeri radialis

Ätiologie

Ein viel gebrauchtes Synonym für die Epicondylitis humeri radialis ist der Begriff Tennisellenbogen. Der Begriff hat sich eingebürgert, weil der Tennisspieler beim Rückhandschlag die langen Hand- und Fingerstrecker stark belastet. Diese Muskeln entspringen am radialen Epikondylus aus einer gemeinsamen Aponeurose. Insertionstendopathien treten ohne Trauma auf und betreffen meist die stärker beanspruchte Gebrauchshand. Insbesondere dann, wenn die Strecker untrainiert sind und plötzlich anhaltend überlastet werden, entstehen in der Aponeurose kleine degenerative Einrisse (Demmer u. Rettig 1982) und in der Folge schmerzhafte, entzündliche Reparationsvorgänge. Der Altersgipfel dieser Erkrankung liegt zwischen dem 35. und 50. Lebensjahr (Garden 1961).

Klinik

Patienten mit Epicondylitis humeri radialis berichten, sie hätten beim Greifen und Halten beispielsweise einer Wasserflasche bei gestrecktem Arm Schmerzen. Fordert man sie auf, einen Stuhl an der Lehne bei proniertem Unterarm hochzuheben, geben sie Beschwerden an. Die Streckung im Ellenbogengelenk kann endgradig schmerzhaft eingeschränkt sein. Durch Extension des Handgelenks gegen Widerstand lassen sich ebenso Beschwerden provozieren wie durch passive Dehnung der Strecker. Über dem Ursprung der Streckeraponeurose findet sich ein isoliertes, deutlich druckschmerzhaftes Areal (▶ Kap. 20, Klinische Untersuchungstests).

Diagnostik

Die Diagnose kann auf dem Boden der typischen Anamnese und klinischen Befundkonstellation gestellt werden. Der betroffene Ellenbogen wird nur in 2 Ebenen geröntgt, um etwaige Verkalkungen, Osteolysen oder knöcherne Absprengungen auszuschließen. Differenzialdiagnostisch muss ein Engpasssyndrom des N. radialis ausgeschlossen werden. Außerdem sollte man an die Möglichkeit einer radikulären Kompression der Wurzeln C6–C8 durch einen Diskusprolaps denken, was insbesondere bei beidseitigem Befall wahrscheinlich ist.

Konservative Therapie

Die Therapie ist in aller Regel konservativer Art und erfolgt nur in den wenigen Ausnahmefällen, wenn alle konservativen Maßnahmen versagt haben, operativ. Die konservative Therapie steht auf den im Folgenden beschriebenen Standbeinen.

Entlastung und Kühlung

Vielen Betroffenen gelingt es allein durch Vermeiden der schmerzauslösenden Tätigkeit, ihre Beschwerden in den Griff zu bekommen. Typisches Beispiel ist der Tennisspieler, der aufgrund starker Beschwerden diesen Sport zumindest vorübergehend einstellen muss und dadurch die Epikondylitis ohne weiteres Zutun zur Ausheilung bringt. Allerdings können Monate vergehen, ehe die Beschwerden vollständig sistieren. In der Literatur (Demmer u. Rettig 1982) werden Zeitspannen bis zu 8 Monaten genannt. Kühlung wirkt schmerzlindernd und antiphlogistisch.

Ruhigstellung

Die Patienten suchen meist erst dann den Arzt auf, wenn die Beschwerden bereits lange bestehen und bereits so weit chronifiziert sind, dass sie durch Entlastung allein nicht mehr beeinflussbar sind, oder wenn die Betroffenen keine Möglichkeit haben, den Arm zu schonen. Dann kann es nützlich sein, den Arm für einige Wochen oder für bestimmte Tages- oder Nachtzeiten auf einer Schiene ruhigzustellen. Um die Funktion der langen Hand- und Fingerstrecker und Dehnungsreize der Streckeraponeurose auszuschalten, empfiehlt sich die volare Anlage einer Unterarmschiene mit Einschluss der Langfinger in Intrinsic-plus-Stellung.

Antiphlogistika

Die lokale Anwendung antiphlogistischer Präparate, evtl. unterstützt durch Iontophorese, kann Linderung bringen. Bei ausgeprägtem Beschwerdebild ist eine systemische Gabe indiziert oder es ergibt sich die Notwendigkeit, die Aponeurose mit einer Mischung aus einem Lokalanästhetikum und Kortisonpräparat zu infiltrieren (z.B. 5 ml Lidocain 1% plus 40 mg Triamcinolonacetonid). Das Gemisch wird direkt in die irritierte Aponeurose und die nähere Umgebung, an die Stelle des größten Druckschmerzes injiziert. Die Infiltration kann je nach Wirkung mehrfach wiederholt werden. Zwischen den einzelnen Infiltrationen sollte ein Intervall von etwa 4 Wochen liegen.

Physikalische Maßnahmen

Querfriktionen werden bereits im akuten Stadium der Erkrankung begonnen. Man kann damit beginnende Verklebungen lösen und Entzündungsmediatoren ausmassieren. Anschließend wird die Streckergruppe bis zur Schmerzgrenze gedehnt, um einer Verkürzung vorzubeugen.

Auch die Epikondylitisbandage bringt gute Ergebnisse. Sie wird von vielen Patienten als sehr wohltuend empfunden und fördert den Heilungsprozess durch eine flächigere Verteilung der einwirkenden Zugbelastung im Bereich der Streckeraponeurose. Man kann die Bandage auch durch ein Tape ersetzen. Wichtig ist, dass man es

nicht über den Punkt des maximalen Druckschmerzes legt, sondern über den größten Umfang des Muskelbauchs der Handstrecker.

Die Verwendung von extrakorporalen Stoßwellen zeigte in einer Cochrane-Übersichtsarbeit nur einen minimalen bis keinen Vorteil im Bezug auf Schmerz und Funktion (Buchbinder et al. 2005).

Operative Therapie

Indikation

Wenn alle therapeutischen Möglichkeiten ausgeschöpft sind, bleibt nur noch ein operatives Vorgehen.

Die Indikation für ein operatives Vorgehen wird oft zu früh gestellt; die konservative Therapie sollte wenigstens 1 Jahr lang konsequent durchgeführt worden sein.

Kerbung und Denervierung der Aponeurose

Der Arm wird auf einem Armtisch gelagert. Die Operation erfolgt in Blutsperre, um die Aponeurose einfacher darstellen zu können.

Über einen gebogenen Längschnitt, der über dem Epicondylus radialis verläuft, wird die Extensoraponeurose dargestellt. Dann wird diese knapp distal ihres Ursprungs in unmittelbarer Nähe zum unteren Rand des Epikondylus quer eingekerbt, wodurch eine Entspannung des überstrapazierten Muskelursprungs in Form einer Zugentlastung eintritt (Operation nach Hohmann 1933). Dann wird am dorsalen und ventralen Rand der Streckeraponeurose jeweils mit dem Raspatorium das Gewebe bis auf die Oberfläche des Epikondylus stumpf durchtrennt, um die periostal einstrahlenden sensiblen Äste zu unterbrechen. Anschließend wird der Ursprung der Aponeurose am Epikondylus oberflächlich mit dem Elektrokauter verschorft in der Vorstellung, dadurch die sensiblen Äste, die dieses Gebiet versorgen, zu veröden und auf diese Weise Schmerzfreiheit zu erreichen. Diese Vorgehensweise ist modifiziert nach der von Wilhelm u. Gieseler (1961) vorgeschlagenen, die die zusätzliche Identifikation und Unterbrechung des N. cutaneus posterior antebrachii vorsieht (◘ Abb. 6.53).

Nachbehandlung

Der Arm wird postoperativ in einer dorsalen Gipsschiene ruhiggestellt. Bezüglich der Ruhigstellungsdauer dienen die Beschwerden des Patienten als Orientierung. Sie dauert zwischen wenigen bis maximal 14 Tagen. Das erlaubte Bewegungs- und Belastungsausmaß richtet sich nach den Schmerzgrenzen. Weitergehende Einschränkungen sind nicht erforderlich.

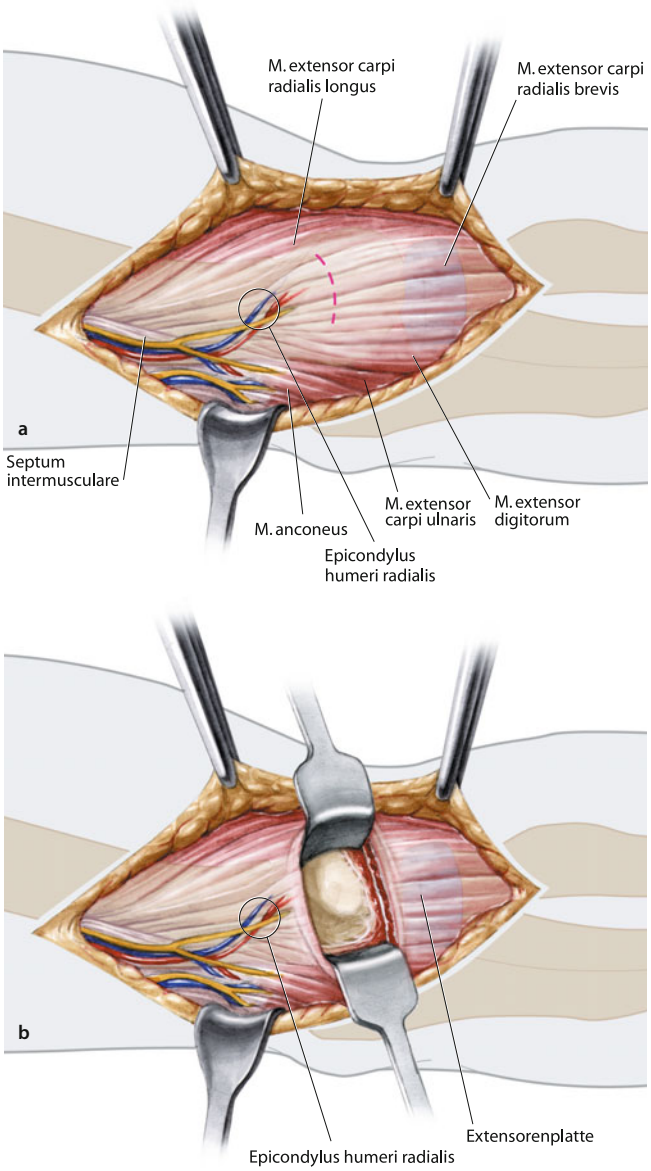
Komplikationen und Prognose

Wenn eine Epikondylitis einmal ganz abgeheilt ist, tritt sie in der Regel auch nicht mehr auf. Rezidive wurden nur in 3% der Fälle beobachtet (Boyd u. McLeod 1973).

Epicondylitis humeri ulnaris

Diese Fasziitis wird auch Werfer- oder Golferellenbogen genannt. Sie ist etwa 10- bis 20-mal seltener als der Tennisellenbogen. Am Epicondylus ulnaris spielen sich pathomechanisch dieselben Vorgänge ab, wie sie für die Epicondylitis humeri radialis beschrieben sind, nur dass sie die gemeinsame Ursprungsaponeurose der Handgelenkbeuger und insbesondere des M. pronator teres betreffen (Demmer u. Rettig 1982).

Bei der Epicondylitis ulnaris lassen sich die Beschwerden bei Handbeugung gegen Widerstand provozieren. Auch findet sich ein umschriebener heftiger Druckschmerz am Ursprung der Beugeraponeurose. Die therapeutischen Grundsätze gleichen denen des Tennisellenbogens.



◘ **Abb. 6.53** Operation nach Hohmann. (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

Nervenkompressionssyndrome des N. medianus

Ätiologie

Der N. medianus kann am distalen Oberarm durch den Processus supracondylaris, der sich bei etwa 1% der Menschen findet, komprimiert werden (◘ Abb. 6.54). Vom Pronator-teres-Syndrom spricht man, wenn ein Engpass im Bereich des gleichnamigen Muskels besteht. Es kann aber auch durch den Lacertus fibrosus ausgelöst werden. Wenn der vom N. medianus abgehende N. interosseus anterior durch den Ursprungsbogen des M. flexor digitorum superficialis eingeengt wird, spricht man vom Interosseus-anterior-Syndrom.

Klinik

Das durch den Processus supracondylaris verursachte klinische Bild besteht aus Schmerzen in der Ellenbeuge, Parästhesien, gelegentlich Hypästhesien im Medianusgebiet an der Hand und nur selten Paresen.

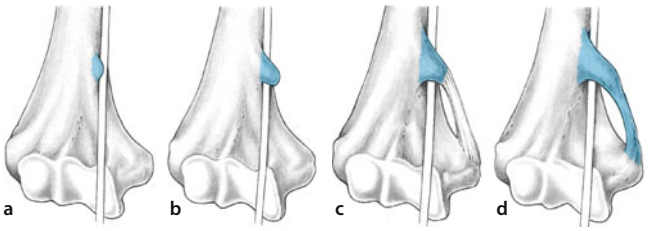


Abb. 6.54 4 Varianten eines Processus supracondylaris. (Aus: Nigst 1993)

Beim Pronator-teres-Syndrom findet man hingegen diffuse, nach proximal ausstrahlende Schmerzen, die sich durch Belastung, insbesondere Pronationsbewegungen verstärken. Parästhesien auf der radialen Seite des 1.–4. Fingers und Schreibkrämpfe sind häufig. Der M. pronator teres und oft auch der Thenar sind druckschmerzhaft.

Beim Interosseus-anterior-Syndrom finden sich Schmerzen im Bereich des proximalen Unterarms und eine Beugeschwäche der Endphalangen des Daumens und Zeigefingers sowie eine Pronationsschwäche bei gebeugtem Ellenbogen. Die Betroffenen können mit Daumen und Zeigefinger keinen Kreis (Spitzgriff) bilden. Sensible Ausfälle fehlen.

Diagnostik

Man richtet sich nach den typischen klinischen Zeichen. Die Diagnostik wird ergänzt durch Nervenleitungsgeschwindigkeit (NLG) und Elektromyografie (EMG). Ein Processus supracondylaris lässt sich radiologisch durch eine Schrägaufnahme des distalen Humerus nachweisen.

Differenzialdiagnostisch muss auch an eine spinale Kompression gedacht werden.

Konservative Therapie

Der operativen Therapie geht in der Regel ein konservativer Behandlungsversuch voraus, in Form lokaler Kortikosteroidinjektionen. Außerdem werden der M. pronator teres gedehnt, die betroffene Extremität entlastet und systemisch Antiphlogistika sowie Vitamin-B-Komplex-Präparate appliziert. Der konservative Behandlungsversuch darf nicht zu lange dauern und muss im Einzelfall dem Verlauf angepasst werden. Insbesondere wenn sich unter der laufenden konservativen Therapie motorische Ausfälle einstellen sollten, muss rasch eine operative Dekompression erfolgen.

Operative Therapie

Indikationen für ein operatives Vorgehen sind neurologische Ausfälle und das Scheitern eines konservativen Therapieversuchs.

Der N. medianus wird über einen ventralen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) dargestellt. Wenn allein ein Processus supracondylaris aufgesucht und abgeschlagen werden soll, reicht die proximale Hälfte der Schnittlänge oberhalb der Beugefalte aus. Der Processus supracondylaris findet sich etwa 3–5 cm proximal des Epicondylus humeri ulnaris. Es gibt mehrere Varianten, die von einem kleinen Sporn bis hin zu einem knöchernen Kanal reichen. Mitunter zieht von der Spitze des Sporns ein Band zum Epicondylus ulnaris. Die Behandlung besteht in der Abtragung des Sporns inklusive des etwaig vorhandenen Bandes (Abb. 6.54).

Wenn es sich um ein Pronator-teres- oder Interosseus-anterior-Syndrom handelt, wird die Inzision auf den Unterarm ausgedehnt und der Lacertus fibrosus durchtrennt. Laut Nigst (1993) wird auch dann, wenn dieser eindeutig den Nerv komprimiert hat, die Revision fortgesetzt, da häufig mehrere Engpässe vorliegen. Das Prinzip ist, den N. medianus von allen komprimierenden Strukturen im Bereich des M. pronator teres durch Kerbung zu entlasten. Beim Interosseus-anterior-Syndrom muss die Arkade des M. flexor digitorum superficialis dargestellt und ggf. gespalten werden. Die Nachbehandlung richtet sich nach den üblichen Kriterien der Wundbehandlung.

Komplikationen und Prognose

Ein Leitungsblock, der durch eine Druckschädigung entstand, kann sich innerhalb von Tagen bis Wochen zurückbilden. 6–8 Tage nach Eintritt der Schädigung lässt sich dessen Ausmaß am Grad der Amplitudenreduktion in der EMG bestimmen. Insgesamt gilt, dass die Reversibilität pathologischer Veränderungen umso höher ist, je früher dekomprimiert wird.

Schmerzen und Parästhesien verschwinden unmittelbar postoperativ, während sich sensible und motorische Ausfälle nur langsam zurückbilden. Insgesamt haben die sensiblen Ausfälle eine bessere Prognose als die motorischen. Kompressionsbedingte Muskelatrophien, die schon länger als 10 Monate bestehen, haben wenig Aussicht auf eine Restitutio ad integrum. Ein Endzustand ist erst nach etwa 18 Monaten erreicht.

Nervenkompressionssyndrome des N. radialis

Ätiologie

Ursachen für ein proximales Kompressionssyndrom im Canalis spiralis oder im Hiatus nervi radialis sind Druck von außen, z.B. durch falsche Lagerung bei einer Operation oder die so genannte Parkbankläsion des Obdachlosen. Ein Entrapment-Syndrom (= Einklemmung) kann sich posttraumatisch durch narbige Veränderungen im Bereich des Canalis spiralis am Humerus entwickeln. Tumoren oder ein überlastetes Caput laterale des M. triceps können den Nerv gegen das Septum intermusculare drücken.

Beim distalen Kompressionssyndrom, dem so genannten Supinatorsyndrom, ist der Nerv im Radialistunnel oder im Supinatorkanal eingeklemmt. Der Radialistunnel reicht vom Epicondylus humeri radialis bis zum Abgang des R. profundus in den M. supinator, während die Strecke im M. supinator als Supinatorkanal bezeichnet wird. Ursachen können eine verengte, die so genannte Frohse-Arkade (Abb. 6.55) am Eingang zum Supinatorkanal sein, aber auch Tumoren, Frakturen oder entzündliche Prozesse im Rahmen degenerativer Vorgänge durch Überbeanspruchung, z.B. beim Tennisellenbogen.

Wenn ganz distal handgelenksnah der R. superficialis des N. radialis an der Durchtrittsstelle durch die Fascia antebrachii zwischen M. brachioradialis und M. extensor carpi radialis longus komprimiert wird, spricht man vom so genannten Wartenberg-Syndrom (1932). Als Ursache dafür werden zu enge Uhrbänder, zu fest geschlossene Handschellen oder eine Überlastung durch wiederholtes Schraubendrehen oder Arbeiten am Computer genannt.

Klinik

Beim proximalen Kompressionssyndrom sind Sensibilitätsstörungen und eine Fallhand richtungsweisend. Im Sulkus bzw. am Hiatus nervi radialis lassen sich Druckschmerzen auslösen. Dagegen ist beim Supinatorsyndrom der R. superficialis nicht betroffen, sodass rein motorische Ausfälle vorliegen. Druckschmerzen können dann über dem Supinatorkanal provoziert werden (▶ Kap. 20 »Klinische Untersuchungstests«).

Beim Wartenberg-Syndrom wird häufig über Sensibilitätsstörungen an der dorso-ulnaren Seite des Daumens, im Daumenzeigefinger-Zwischenraum und an der dorso-radialen Seite des Zeigefingers geklagt. Häufig zeigt sich auch eine schmerzhafte Schwel-

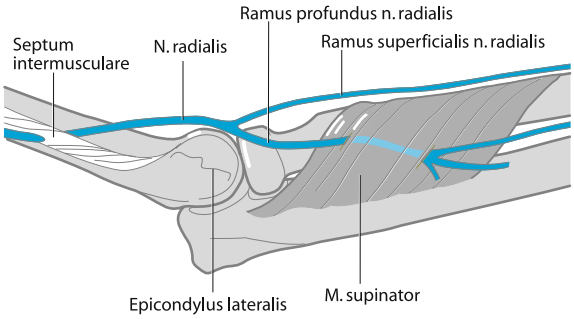


Abb. 6.55 Verlauf des tiefen Asts des N. radialis durch die Supinatorloge (Frohse-Arkade). (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

lung proximal des Processus styloideus radii dorso-radialseitig. Differenzialdiagnostisch muss an die Tendovaginitis stenosans de Quervain bzw. an das Intersektionssyndrom gedacht werden, da auch hier der Finkelsteintest meist positiv ist (▶ Kap. 7, Hand).

Diagnostik

Die Diagnose wird anhand der typischen Klinik und neurophysiologischer Untersuchungen gestellt und beim proximalen Kompressionssyndrom durch Röntgenaufnahmen des Oberarms, beim distalen Kompressionssyndrom des Ellenbogengelenks in 2 Ebenen ergänzt.

Therapie

Bezüglich der allgemeinen therapeutischen Grundsätze für einen initialen konservativen Behandlungsversuch und die bestehende Dringlichkeit bei motorischen Ausfällen gilt das oben Gesagte.

Der N. radialis wird proximal über einen dorsalen Zugang zum Humerus (▶ Kap. 21, Standardzugänge) dargestellt und dekomprimiert. Dabei muss der Hiatus des Septum intermusculare laterale durchtrennt und der sehnige Ursprung des Caput laterale des M. triceps, der lateral und proximal des Sulcus nervi radialis liegt, ggf. gekerbt werden, um dem Nerv ausreichend Platz zu verschaffen. Distal wird insbesondere der Hiatus am M. supinator dargestellt und der Nerv im Radialistunnel und im Supinatorkanal dekomprimiert. Dabei müssen die zahlreichen, den Nerv kreuzenden Gefäßäste aus der A. radialis ligiert werden. Zu Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose: ▶ Abschnitt 4.3.4.3, Nervenkompressionssyndrome des N. medianus.

Sollten beim Wartenberg-Syndrom konservative Behandlungsmaßnahmen wie Ruhigstellung, Antiphlogistika, eine lokale Steroidinjektion oder auch Änderung stereotyper Handbewegungen nicht zum Erfolg führen, kann ein operatives Vorgehen indiziert sein. Dazu wird in Blutleere ein etwa 6 cm langer Längsschnitt 2 cm proximal des zu tastenden Processus styloideus radii in Richtung Epicondylus radialis geschaffen und der R. superficialis des N. radialis an der Durchtrittsstelle im Bereich der Faszia antebrachii zwischen M. brachioradialis und M. extensor carpi radialis longus aufgesucht und dekomprimiert, indem man einen Teil der Fascia antebrachii entfernt.

Kubitaltunnelsyndrom

Ätiologie

Der N. ulnaris wird meist im Sulcus ulnaris eingeengt, selten proximal oder distal davon. Ein Engpass entsteht insbesondere nach Frakturen in diesem Bereich oder durch periartikuläre Verkalkungen nach einer Luxation. Man spricht vom Sulcus-ulnaris-Syndrom oder auch, in Anlehnung an das Karpaltunnelsyndrom, vom Kubitaltunnelsyndrom. Das Kubitaltunnelsyndrom ist nach dem Karpaltunnelsyndrom das zweithäufigste Nervenkompressionssyndrom der oberen Extremität.

Klinik

Die Kraft bei der Ulnarabduktion des Handgelenks kann beim Kubitaltunnelsyndrom gemindert und der Faustschluss wegen eines Beugedefizits in den distalen Interphalangealgelenken des 4. und 5. Fingers inkomplett sein. Bei Ausfall der Mm. interossei entsteht eine Krallenhand. Bei längerem Verlauf atrophieren die Mm. interossei und der Hypothenar. Im ulnaren Bereich der Hand bestehen Sensibilitätsstörungen. Das Hofmann-Tinel-Zeichen ist positiv.

Diagnostik

Der Ellenbogen wird in 2 Ebenen und zusätzlich der Sulcus ulnaris tangential geröntgt. Die Nervenleitgeschwindigkeit wird präoperativ ermittelt. Differenzialdiagnostisch muss man ein Zervikalsyndrom, eine Syringomyelie und Polyneuropathie ausschließen.

Therapie

Wenn konservative Maßnahmen (körperliche Schonung, abschwellende Maßnahmen, intermittierende Ruhigstellung) keine Besserung bringen, ist eine operative Dekompression indiziert. Neben der in-situ-Dekompression gibt es die subkutane, intra- oder submuskuläre ventrale Transposition und die mediale Epikondylektomie. Neuerlich beschäftigen sich wenige Spezialisten auch mit der endoskopischen Dekompression (Bultmann u. Hoffmann 2009).

Bei der ventralen Transposition wird der Nerv aus seinem Sulkus heraus nach ventral versetzt. Man lagert den Arm auf einem Armtisch und operiert in Blutsperre. Über einen ulnaren Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird der Nerv zunächst proximal vom Epicondylus ulnaris dargestellt und angeschlungen. Dann spaltet man das Sulkusdach. Distal werden der Arcus tendineus und die Ursprungsaponeurose des M. flexor carpi ulnaris gekerbt, proximal das Septum intermusculare so weit reseziert, bis der Nerv spannungsfrei bei Beugung und Streckung des Ellenbogengelenks ventral im Subkutangewebe verlaufen kann, ohne auf der Septumkante zu reiten (Abb. 6.56).

Wilhelm et al. (1990) empfehlen bei Frakturen im kondylären Bereich, den N. ulnaris bereits bei der Erstversorgung nach ventral zu verlagern.

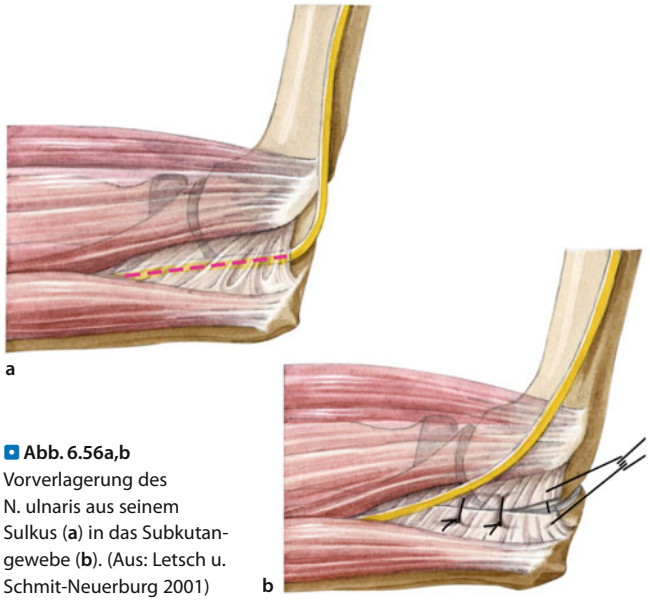
Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose

Siehe dazu auch den ▶ Abschnitt 4.3.4.3, Nervenkompressionssyndrome des N. medianus. Es ist belegt, dass den Patienten aus der Ventralverlagerung des N. ulnaris keine Nachteile erwachsen (Siakos u. Poigenfürst 1996).

Trizepssehnenrupturen

Ätiologie

Rupturen der Trizepssehne sind höchst selten. In der Literatur erscheinen überwiegend nur Einzelfallberichte. Ihre Häufigkeit beträgt unter den gesamten Sehnenrupturen etwa 2% (Inhofe u. Moneim 1996). Unfallmechanismus ist die indirekte Krafteinwirkung beim Sturz auf den gestreckten Arm. Bei bestimmten Sportarten wie Gewichtheben und Turnen treten Trizepssehnenrupturen gehäuft auf. Risikofaktoren sind eine chronische Nierenerkrankung mit sekundärem Hyperparathyreoidismus, die rheumathoide Arthritis, der insulinpflichtige Diabetes mellitus und die systemische oder lokale Steroidapplikation.



a

b

Abb. 6.56a,b Vorverlagerung des N. ulnaris aus seinem Sulkus (**a**) in das Subkutangewebe (**b**). (Aus: Letsch u. Schmit-Neuerburg 2001)

Diagnostik

Die Diagnostik stützt sich auf den klinischen Befund, die Sonografie und in Zweifelsfällen das Kernspintomogramm. Typische Symptome sind der Druckschmerz über dem Ellenhaken mit einer tastbaren Delle im Sehnenverlauf und die Unfähigkeit, den Arm gegen die Schwerkraft aktiv zu strecken.

Therapie

Die Therapie besteht in der frühzeitigen direkten Sehnennaht, die bei knochennahem Ausriss transossär geführt wird. Für veraltete Rupturen wird aufgrund des retrahierten und bereits vernarbten Sehnengewebes eine zusätzlich Augmentation z.B. mit einem Palmaris-longus- oder Plantaris-Transplantat oder mit synthetischem Material empfohlen (Langenhan et al. 2007).

6.4 Unterarm

6.4.1 Radiuskopf- und Radiushalsfrakturen

Ätiologie

Frakturen des proximalen Radius entstehen in aller Regel durch axiale Krafteinwirkung beim Sturz auf den gestreckten Arm. Frakturen des Radiuskopfs und des Radiushalses machen etwa 1,5–4% aller Frakturen und 26% aller knöcherner Verletzungen des Ellenbogengelenks aus (Herbertsson et al. 2004).

Klinik

Oft bestehen im gesamten Verlauf des R. superficialis des N. radialis diffuse Schmerzen. Die Umkehrbewegung ist schmerzhaft eingeschränkt. Bei dieser Befundkonstellation kann die isolierte Palpation des Radiuskopfs weiterhelfen, weil sich hier ein punktueller Druckschmerz auslösen lässt, den man durch eine gleichzeitige passive Rotation des Unterarms verstärken kann. An Thenar und Hypothenar, dem Ort der indirekten Krafteinwirkung, können sich Weichteilschäden in Form von Prellmarken und Schürfungen finden. Begleitende Nervenschäden am motorischen oder sensiblen Radialisast sind zwar selten, aber möglich, weshalb man gezielt danach suchen sollte.

Die Verletzten können häufig ihre Beschwerden nicht genau lokalisieren. Von vielen Patienten werden sie weit distal der Frakturlokalisation im Handgelenkbereich empfunden. Die eingetretene Verletzung kann leicht übersehen werden, wenn man nicht gezielt den Radiuskopf palpiert.

Diagnostik

Das Ellenbogengelenk wird in 2 Ebenen geröntgt. Speichenkopfbrüche sind auf den Übersichtsaufnahmen oft schwer zu erkennen. Bei klinischem Frakturverdacht und/oder einem positiven fat pad sign als Ausdruck eines Hämarthros werden zusätzlich 45°-Schrägaufnahmen in 2 Ebenen angefertigt, auf denen Speichenkopfbrüche sehr gut zur Darstellung kommen. Es ist möglich, dass aufgrund eines ausgeprägten Gelenkergusses insbesondere die Streckung so stark schmerzhaft eingeschränkt ist, dass Zielaufnahmen nicht durchführbar sind. In solchen Fällen empfiehlt es sich, vor Anfertigung der Zielaufnahmen das Gelenk zu punktieren (s. unten).

Falls bei Gelenkbeteiligung das Ausmaß der Fehlstellung bzw. der Stufenbildung in der Gelenkfläche auf den konventionellen Bildern nicht sicher eingeschätzt werden kann, hilft eine CT mit Rekonstruktionen in 2 Ebenen weiter.

Bei Radiuskopffrakturen sollte man immer auch nach einer begleitenden Essex-Lopresti-Läsion fanden (▶ Abschnitt 6.4.4, Radius- und Ulnaschaftfrakturen). Eine solche Instabilität liegt in weniger als 5% der Fälle vor und wird häufig übersehen. Man kann sie an einer Schmerzhaftigkeit und Instabilität im distalen Radioulnargelenk (DRUG) erkennen. Unter Bildwandler kann bei axialer Belastung des Unterarms eine Erweiterung des Gelenkspalts im DRUG sichtbar werden. Die Luxation der Ulna nach dorsal im seitlichen Strahlengang ist beweisend (Lill et al. 2002) und die gerissene Membrana interossea kann sonografisch oder im MRT zur Darstellung gebracht werden.

Klassifikation

Die Einteilung der proximalen Radiusfrakturen erfolgt nach Bakalim (Abb. 6.57) oder gemäß der AO-Klassifikation (Übersicht).

Klassifikation der Radiusfrakturen

Einteilung nach Bakalim (1970)

- I Nichtdislozierte Radiuskopffraktur
- II Dislozierte Radiuskopfmeißelfraktur
- III Radiuskopftrümmerfraktur
- IV Nichtdislozierte Radiushalsfraktur
- V Dislozierte Radiushalsfraktur

Die **AO-Klassifikation** unterscheidet u.a. folgende Frakturtypen (Abb. 6.58):

- A2.2 Einfache Fraktur im Radiushals
- A2.3 Mehrfragmentäre Fraktur im Radiushals
- B2.1 Einfache Fraktur des Radiuskopfs
- B2.2 Mehrfragmentäre Fraktur des Radiuskopfes ohne Impression
- B2.3 Mehrfragmentäre Fraktur des Radiuskopfes mit Impression

Konservative Therapie

Das Gelenk sollte bei ausgeprägtem Gelenkerguss, wenn starke Schmerzen bestehen und keine sofortige Operation geplant ist, in Lokalanästhesie punktiert werden. Für die Punktion gibt es zwei mögliche Eintrittspunkte. Entweder geht man über der

Olekranonspitze oder im Zentrum eines Dreiecks ein, das durch folgende Punkte festgelegt wird: Epicondylus radialis, Radiuskopf und Olekranonspitze. Der Eintrittspunkt über der Olekranonspitze entspricht dem transtendinösen Arthroskopiezugang. Der Eintrittspunkt in der Mitte des Hueter-Dreiecks entspricht dem tiefen posteroradialen Arthroskopiezugang (Abb. 6.44).

Anschließend wird der Arm in einer Oberarmgipsschiene ruhiggestellt. Nach Abschwellung der Weichteile wird der Gips durch eine rigide Kunststoffschiene oder einen semirigiden gespaltenen Oberarmkunststoffverband, der mehr Tragekomfort bei gleicher Stabilität bietet, ausgetauscht. Die Ruhigstellung dauert, abhängig von den Beschwerden, etwa 1–3 Wochen. Die Übungsbehandlung aus der Schiene heraus beginnt jedoch bereits, wenn die akuten Beschwerden abgeklungen sind; also etwa nach einer Woche. Der frühe Übungsbeginn verhindert, dass sich bleibende Bewegungseinschränkungen bilden.

Typ I und IV nach Bakalim

Nicht oder wenig dislozierte Frakturen des Radiuskopfs und -halses vom Typ I und IV nach Bakalim lassen sich problemlos konservativ ausheilen. Bei den wenig dislozierten Typ-I-Frakturen darf die Stufenbildung allenfalls 1–2 mm betragen (Berlemann u. Barnbeck 1994, Wallenböck u. Plecko 1992).

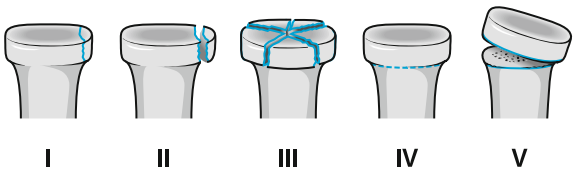


Abb. 6.57 Einteilung der proximalen Radiusfrakturen nach Bakalim

Typ V

Mit Einschränkung gilt dies bei gutem periostalem Verbund auch für die Typ-V-Verletzung, die abgekippte Radiushalsfraktur, wenn sie ausreichend knöchernen Kontakt hat. In diesem Fall muss man jedoch die Abkippung möglichst frühzeitig korrigieren. Dies kann nur durch eine bereits nach wenigen Tagen einsetzende, intensive Übungsbehandlung aus der Schiene heraus erreicht werden, im Rahmen derer mehrfach täglich die Umkehrbewegung bis an die Schmerzgrenze trainiert wird, damit sich die Drehachse des proximalen Radius nach und nach korrigiert.

Operative Therapie

Indikation

In Fehlstellung ausheilende Radiuskopf- und Radiushalsfrakturen können die Unterarmrotation und die Extensions- und Flexionsfähigkeit des Ellenbogengelenks einschränken. Verbliebene Gelenkstufen stellen eine präarthrotische Deformität dar. Das therapeutische Ziel besteht deshalb darin, etwaige Inkongruenzen im proximalen Radioulnargelenk (PRUG) und im Humeroradialgelenk zu beheben. Ab einer Gelenkstufenhöhe von 2 mm besteht die Indikation zur Operation.

- **Typ II:** Rekonstruktion
- **Typ III:** Radiuskopfresektion, ggf. prothetischer Ersatz
- **Typ V:** Osteosynthese oder Radiuskopfresektion, ggf. prothetischer Ersatz

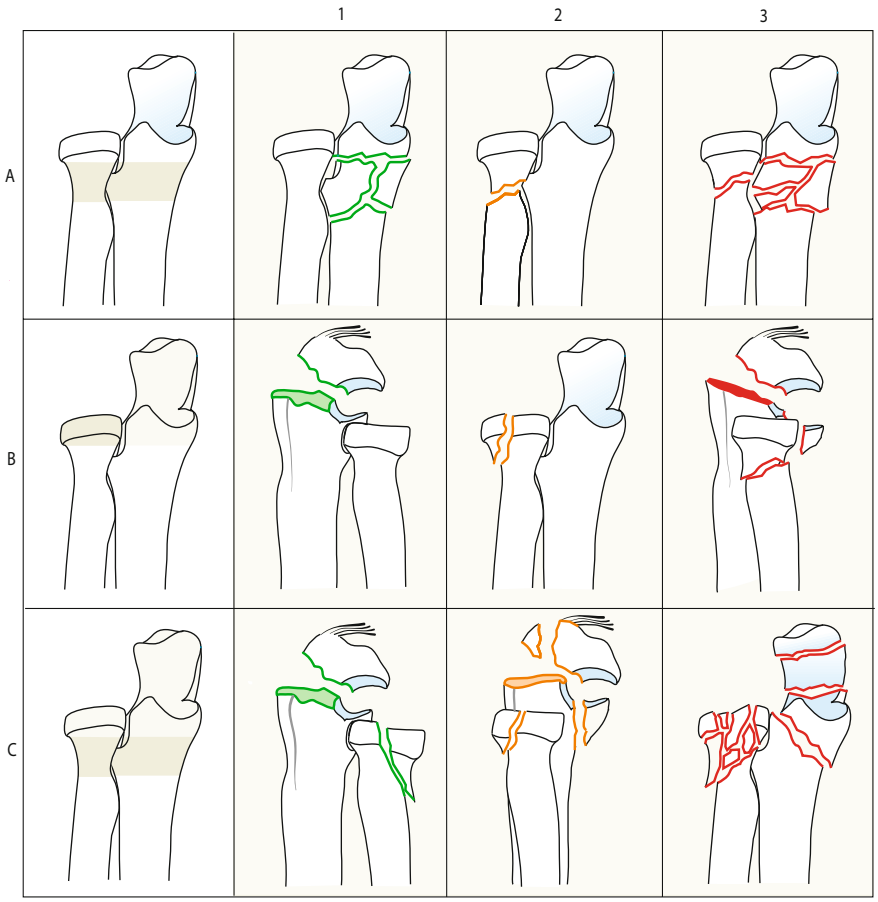


Abb. 6.58 AO-Klassifikation der proximalen Unterarmfrakturen. a Extraartikuläre Frakturen, proximaler Unterarm(je 3 Untergruppen A1.1-A3.3)
A1: Isolierte extraartikuläre Ulnafraktur, Radius intakt
A2: Isolierte extraartikuläre Radiusfraktur, Ulna intakt
A3: Beide Knochen extraartikulär
b Intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1-B3.3)
B1: Isolierte intraartikuläre Ulnafraktur, Olecranonfraktur, Radius intakt
B2: Isolierte intraartikuläre Radiusköpfchenfrakturen, Ulna intakt (B2.1 einfach, B2.2 multifraktionär ohne Impression, B2.3 multifraktionär mit Gelenkflächenimpression und Dislokation der Fragmente)
B3: Ein Knochen intra- und der zweite extraartikulär frakturiert
c Intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen C1.1-C3.3)
C1: Beide Knochen intraartikulär einfach frakturiert
C2: Ein Knochen intraartikulär einfach und der zweite intraartikulär mehrfach frakturiert
C3: Beide Knochen intraartikulär mehrfach frakturiert
(Aus: Müller-Mai et al. 2010)

Operationstechnik

Der Arm wird auf einem Armtisch gelagert und in Blutsperre operiert. Über einen radialen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird das Gelenk eröffnet und das Ligamentum anulare gespalten. Der Radiuskopf kann nun beurteilt werden. Beim Zugehen liegt der Unterarm meist proniert. Wenn das Gelenk eröffnet ist, lassen sich durch Drehen des Unterarms 180° der Radiuskopfzirkumferenz direkt einsehen.

Typ-II-Verletzung. Meist ist eines der beiden Hauptfragmente eingestaucht, sodass eine Stufe in der Gelenkfläche resultiert. Man löst zunächst die ineinander verkeilten Fragmente. Dazu eignet sich ein kleines Raspatorium, das in den Frakturspalt geschoben wird und mit dem man anschließend durch vorsichtige hebelnde Bewegungen den dislozierten Verbund löst, was insbesondere bei guter Knochenqualität z.T. nur mit deutlichem (abgestütztem) Krafteinsatz möglich ist. Meist ist das imprimierte Fragment in sich ein- oder mehrfach gespalten, wobei die knorpelige Gelenkfläche plan erhalten sein kann. Nach Lösen der Einstauchung lassen sich die Fragmente kranialisieren und in ihre anatomische Stellung zurückführen.

In Abhängigkeit von Größe und Festigkeit der Bruchstücke kommen für die Stabilisierung verschiedene Implantate infrage. Implantate der Wahl sind kanülierte Schrauben der Stärke 2,7 oder Mini-Kortikalisschrauben der Stärke 2,0 oder Herbert-Schrauben (◘ Abb. 6.59). Die Mini-Kortikalisschrauben werden mit einem 1,5er Bohrer vorgebohrt und in der Länge so gewählt, dass der Schraubenkopf unter das Kortikalisniveau versenkt werden kann, ohne dass die Schraube auf der Gegenseite herausragt und das Ligamentum anulare irritiert. Die stabilste Konstruktion erreicht man, wenn man 2 oder 3 Schrauben verwendet. Bei sehr kleinen Fragmenten kann man jedoch auch auf die Kombination Schraube plus K-Draht oder biodegradable Stifte ausweichen. Statt mit einem Bohrer kann alternativ auch mit K-Drähten vorgebohrt werden. Das erleichtert das Vorgehen. Die reponierte Fraktur wird dabei zunächst mit den Drähten temporär stabilisiert. Dann brauchen die Drähte nur noch schrittweise gegen Schrauben ausgetauscht zu werden.

Kleinfragmentschrauben eignen sich weniger. Sie sind zu groß und können dadurch eine Reihe von Problemen verursachen. Zum einen können sie das Fragment sprengen, zum anderen lassen sich die vergleichsweise voluminösen Schraubenköpfe nicht so einfach unter das Knorpel- oder Kortikalisniveau versenken. Überdies kann es schwierig sein, mehr als eine Schraube unterzubringen, weil sich die Schrauben kreuzen und daher in verschiedener Höhe eingebracht werden müssen, was bei niedriger Fragmenthöhe unmöglich ist. Wenn man hingegen versucht, dies durch eine gekippte Richtung der Schraubenlage auszugleichen, wird es noch schwieriger, den Schraubenkopf im Knorpelniveau zu versenken.

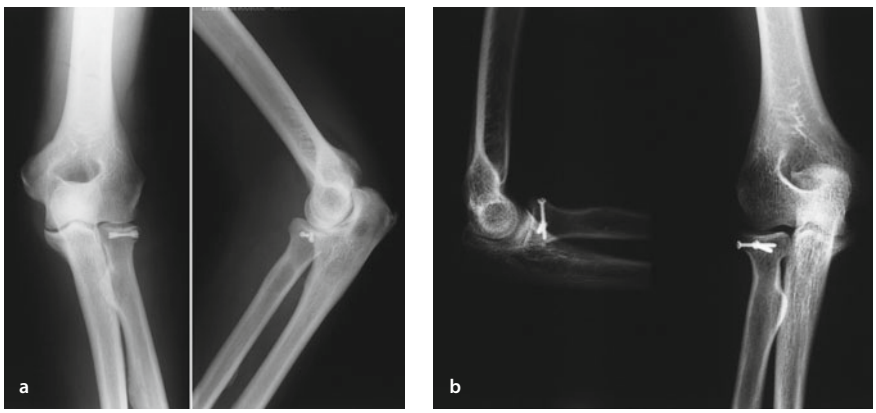
Bei der Verwendung von biodegradablen Implantaten muss mit Komplikationen gerechnet werden (s. unten).

Typ-III-Verletzung. Radiuskopftrümmerfrakturen können in der Regel nicht mehr rekonstruiert werden. Ein Rekonstruktionsversuch ist nur angezeigt, wenn Aussicht besteht, Übungsstabilität zu erreichen. Anderenfalls kann eine Radiuskopfresektion erwogen werden, weil sie u.U. bessere Ergebnisse als eine nicht übungsstabile Osteosynthese bringt (Berlemann u. Barnbeck 1994). Wening et al. (1993) sehen zudem eine Indikation zur Resektion, wenn dislozierte irreponible Fragmente vorliegen, die mehr als ein Drittel der Gelenkfläche tragen. Technisch geht man so vor, dass der Kopf im Halsbereich reseziert wird, ohne den Ansatz der distalen Bizepssehne, die Tuberositas radii, zu tangieren. Eine möglichst sparsame Resektion soll das Ausmaß des drohenden ulnaren Vorschubs (s. Komplikationen) klein halten (Wening et al. 1993). In der Regel dürften 1,5 cm ausreichen (Blauth 1991, ◘ Abb. 6.60).

Häufig ist das wahre Ausmaß der Verletzung erst intraoperativ zu erkennen. Deshalb sollte man präoperativ die Patienten vorsichtshalber über die etwaige Notwendigkeit einer Radiuskopfresektion aufklären.

Durch die fehlende Abstützung kann nach Radiuskopfresektion ein Cubitus valgus und ein ulnarer Vorschub entstehen. Der laterale Armwinkel übersteigt dann die physiologischen 10°. Doch auch deutliche Fehlstellungen verursachen laut Wening et al. (1993) keine Beschwerden. Aus experimentellen Untersuchungen weiß man aber, dass gegensätzlicher Schub an Elle und Speiche auch bei intakter Membrana interossea eine Subluxation im distalen Radioulnargelenk verursachen kann (McDougall u. White 1957), und aus Nachuntersuchungen, dass das Ausmaß des ulnaren Vorschubs durch die Resektionshöhe (Taylor u. O'Connor 1968), den Grad der körperlichen Belastung im Alltag und durch Begleitverletzungen am Ellenbogengelenk mitbestimmt wird (Wening et al. 1993). Da jedoch die früher verwendeten Vitallium- und Silikonprothesen einerseits weder die Anteposition der Ulna noch die Zunahme des lateralen Armwinkels zuverlässig verhindern konnten, andererseits aber Komplikationen verursachten, ging der Trend bisher zur alleinigen Radiuskopfresektion ohne prothetischen Ersatz (Berlemann u. Barnbeck 1994, Wening et al. 1993). Die Endoprothetik wurde nur bei verbleibender Reluxationstendenz eingesetzt.

Heute sehen andere Autoren deutliche Vorteile im **prothetischen Ersatz**. Josten (1999) beispielsweise verweist auf die Fälle, bei denen nach Radiuskopfresektion eine Instabilität besteht. Dies



◘ **Abb. 6.59a,b** **a** Mit Herbert-Schrauben versorgte Radiusköpfchen-Meißelfraktur eines 60-jährigen Patienten. **b** Postoperative Röntgenkontrollen nach Typ-II-Verletzung, die mit gekreuzten Minischrauben behandelt wurde

kann bei Monteggia-Äquivalenten, primärer Valgusinstabilität und ulnarer Instabilität der Fall sein. Die Stabilität wird intraoperativ geprüft. Dazu wird das Ellenbogengelenk etwa 45° gebeugt und der Unterarm in Neutralrotation gehalten. Josten bevorzugt Polyäthylen-Titan-Prothesen, weil sie weniger zum Nachsintern neigen und mehr Stabilität vermitteln als Silasticprothesen. Die Silikon-Gummiprothesen von Swanson und die Vitalliumprothese haben sich nicht durchgesetzt wegen Lockerungen, Brüchen und durch Silastik-Abrieb bedingten Synovialitiden (Vanderwilde et al. 1994).

Modulare Prothesensysteme (Bipolare Radiuskopfprothese CRF-II nach Judet, Tornier/EVOLVE-Prothese, Wright Medical Technology) erlauben eine Annäherung an die physiologische Ausgangssituation. Die Prothesen bestehen aus einem Stiel, der im proximalen Radiusschaft verankert wird und einem Prothesenkopf, der auf diesen Stiel aufgesetzt wird. Um eine gute Funktion zu erreichen, muss ein »overstuffing« durch Verlängerung der radialen Säule oder Wahl eines zu großen Prothesenkopf vermieden werden (Mittlmeier u. Beck 2009). Aber auch ein »understuffing« wäre ungünstig, weil dann eine Valgusinstabilität verbleiben würde. Der Toleranzbereich liegt bei +2 mm (van Glabbeek et al. 2005). Selbst wenn die Prothese später wieder entfernt werden muss, sind die eine Radiuskopfzertrümmerung begleitenden Kapselbandverletzungen bis zu diesem Zeitpunkt ausgeheilt, sodass trotz Destabilisierung der radialen Säule nicht mit einer erneuten Luxation des Ellenbogengelenks gerechnet werden muss. Das Gleiche gilt übrigens auch für die sekundäre Entfernung eines primär erhaltenen und rekonstruierten Radiuskopfs (DiPaola 2008), während seine primäre Resektion ohne Ersatz bei der so genannten Schreckenstriade (▶ Abschnitt 6.3.1) unweigerlich zur Reluxation führt (Tashijan u. Katarincic 2006).

Moghaddam und Mitarbeiter haben 30 Patienten mit einer EVOLVE-Prothese versorgt, bei denen wegen einer Trümmerfraktur oder schlechter Knochenqualität eine Rekonstruktion oder Osteosynthese nicht sinnvoll erschien. Bei diesen Patienten lag gleichzeitig eine horizontale oder valgische Instabilität durch Ruptur des medialen Kollateralbandes oder der Membrana interossea vor. Sie erzielten damit mittelfristig gute Ergebnisse. Vergleichbare Ergebnisse ergab eine Studie mit der bipolaren Judet-Prothese (Frosch et al. 2003).

Typ-V-Verletzung. Die Versorgung dislozierter Radiushalsfrakturen kann sehr schwierig sein. Eine Operationsindikation besteht, wenn die Hauptfragmente keinen ausreichenden Kontakt haben und der Achsknick groß ist. Bei schrägem Bruchverlauf kann man versuchen, mit ein oder 2 Interfragmentärschrauben Übungsstabilität zu erreichen. Auch Osteosynthesen mit kleinen L- oder T-Plättchen haben schlechte Ergebnisse gebracht, weil sie auftragen und dadurch die Umkehrbewegung beeinträchtigen.

Eine elegante Methode diese Frakturen zu stabilisieren, bietet die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN). Man schafft dafür 3 Querfinger proximal der Spitze des Processus styloideus radii mit einem Pfriem einen spitzwinklig nach proximal gerichteten Zugang zur Markhöhle. Elastische Titannägel der Stärke 2,0–3,0 mm werden in Abhängigkeit von der Größe des Röhrenknochens verwendet. Die Spitze des ersten Nagels wird unter Bildwandlerkontrolle bis kurz vor die Fraktur eingebracht. Dann wird die Fraktur durch digitale Kompression geschlossen reponiert und ihr Achsknick ausgegradet. Anschließend wird der Nagel ins distale Hauptfragment vorgeschoben. Die Spitze des Titannagels wird bis 2 mm subchondral vorgeschoben, ohne diese Schicht zu perforieren. Durch Drehen des Nagels im Markraum und seiner gebogenen Spitze kann eine etwaig verbliebene Rotations- oder Achsabweichung des distalen Hauptfragments nachjustiert werden.

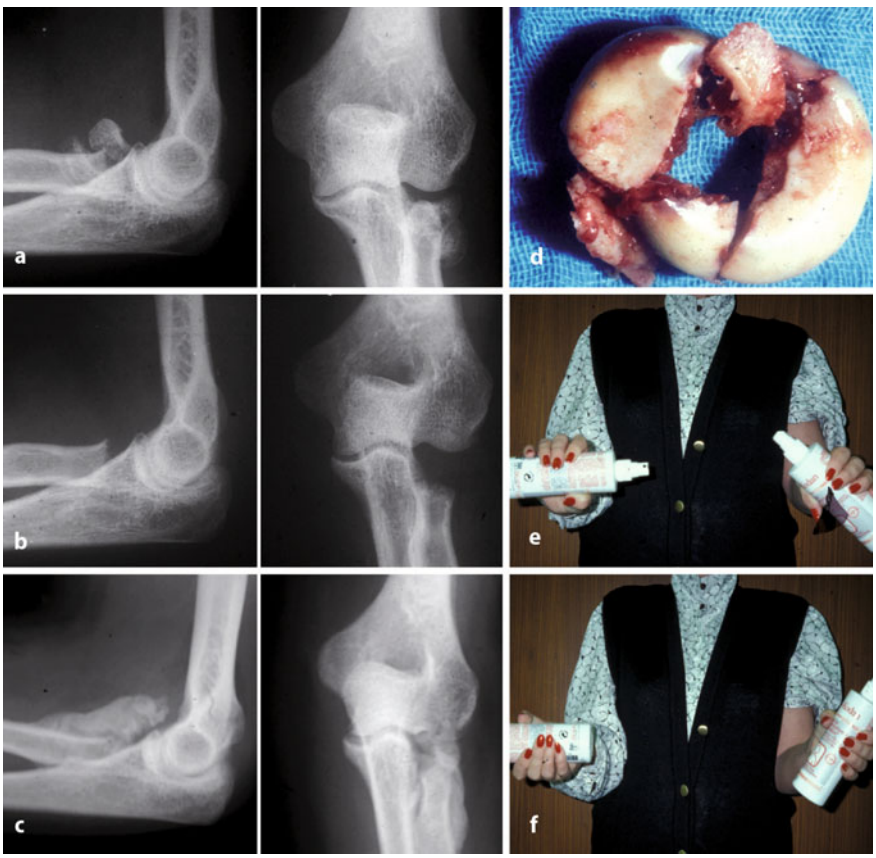


Abb. 6.60a–f Versorgung einer Radiuskopfzertrümmerung durch Resektionsarthroplastik. **a** Unfallaufnahmen. **b** Postoperative Kontrollen. **c** Ein halbes Jahr nach Versorgung. **d** Entnommene Bruchstücke. **e,f** Funktion ein halbes Jahr postoperativ mit eingeschränkter Funktion bei der Pro-/Supination aufgrund heterotoper Ossifikationen trotz stattgehabter NSAR-Prophylaxe

Ein zweiter und ggf. ein dritter Draht erhöhen die Stabilität. Eine Funktionsprüfung durch Drehung des Unterarms unter Bildwandler schließt sich an. Zuletzt werden die distal aus dem Knochen ragenden Nagelüberstände unter Hautniveau eingekürzt und der Zugang mit kutanen Nähten dicht verschlossen.

Wenn sich mit diesen Maßnahmen keine ausreichende Reposition und/oder Stabilität erreichen lässt, bleibt im Zweifelsfall die Radiuskopfresektion (Berlemann u. Barnbeck 1994; ◘ Abb. 6.60).

Nachbehandlung

Eine dorsale Oberarmgipsschiene nach Osteosynthese ist nur für 1–3 Wochen indiziert. Die Dauer der Ruhigstellung richtet sich dabei nach der erreichten Stabilität, den Weichteilverhältnissen und den Beschwerden des Patienten. Wenn möglich, sollte bereits nach Redon-Entfernung ab dem 2. postoperativen Tag mit einer krankengymnastischen Übungsbehandlung aus der Schiene heraus begonnen werden.

Eine Implantatentfernung ist nicht notwendig, wenn die Implantate stabil verankert und unter das Zirkumferenzniveau des Radiuskopfs versenkt sind.

Nach endoprothetischem Ersatz des Radiuskopfs sollte die frühfunktionelle Beübung mit schmerzadaptierter passiver und aktiver Bewegung ebenfalls schon nach der Entfernung der Drainagen einsetzen. Wenn Kollateralbänder refixiert oder rekonstruiert wurden, muss Varus- und/oder Valgusstress 6 Wochen vermieden werden. Eine Ruhigstellung in einer Schiene ist nicht generell erforderlich. Zur Prophylaxe heterotoper Verkalkungen empfiehlt sich eine 3-wöchige NSAR-Gabe (▶ Abschnitt 6.3.3, Heterotope Ossifikationen).

Komplikationen und Prognose

Der N. radialis kann verletzt werden, wenn zu weit ventral des Radiuskopfs zugegangen wird. Daher sollte man im Zweifelsfall besser von dorso-radial vorgehen.

Biodegradable Implantate können zu anhaltenden Synovialitiden und, wenn sie zu früh ihre Stabilität verlieren, zu Repositionsverlusten führen.

K-Drähte können wandern und müssen dann auf jeden Fall entfernt werden. Überdies können sie die Weichteile irritieren. In diesem Zusammenhang sind periartikuläre Verkalkungen beschrieben worden, die zu Arthrolysen zwangen (Wallenböck u. Plecko 1992).

Nach operativer Versorgung der oben genannten Bruchtypen kann man in 80% der Fälle mit guten oder zufriedenstellenden Ergebnissen rechnen. Schlechte Ergebnisse korrelieren mit Kraftverlust und Bewegungseinschränkung. Nach konservativer Therapie der Typ-I- und -IV-Verletzungen ist allgemein ein gutes Ergebnis zu erwarten (Berlemann u. Barnbeck 1994).

Die Ergebnisse nach Radiuskopfresektion sind im Allgemeinen gut. Nur wenn zusätzliche Verletzungen des Ellenbogengelenks vorliegen, finden sich schlechte Ergebnisse (Wening et al. 1993). Ein zusätzlich abgerissener Processus coronoideus begünstigt eine Reluxation (▶ Abschnitt 6.3.1).

6.4.2 Olekranonfrakturen

Ätiologie

Beim Erwachsenen betreffen etwa 7% aller Frakturen das Ellenbogengelenk und zwei Fünftel davon das Olekranon (Carson 2006). Der Bruch des Ellenhakens entsteht meist durch ein direktes Trauma: den Sturz auf den gebeugten Ellenbogen, mit dem sich der Fallende abzufangen versucht. Deshalb finden sich häufig begleitende Weichteilschäden und Bursaeröffnungen direkt über der Fraktur. Die direkte Gewalteinwirkung auf das Olekranon führt zum Bruch und der Zug des M. triceps zur Dislokation. Es gibt aber auch einen indirekten Bruchmechanismus, wenn mit dem nicht komplett ausgestreckten oder dem überstreckten Arm ein Sturz abgefangen wird, und dabei eine Avulsionsfraktur des Ansatzes der Trizepssehne entsteht. Durch Überstreckung z.B. beim Speerwerfen können lamelläre Formen von Avulsionsfrakturen auftreten. Beim Sturz auf den Unterarm können Hebelkräfte, die über die Trochlea auf das Olekranon einwirken, zu Schrägfrakturen führen.

Klinik

Eine eingeschränkte Streck- und Beugefähigkeit sowie Schwellung und Bewegungsschmerz am Ort der Fraktur weisen auf einen Ellenhakenbruch hin. Der Arm wird schmerzbedingt in leichter Beugestellung am Körper geschient gehalten. Wenn das Frakturhämatom nicht ausgeprägt ist, kann man bei bestehender Dehiszenz der Hauptfragmente eine Stufe bzw. Delle tasten. Die Form des gleichschenkligen Hueter-Dreiecks (▶ Abschnitt 6.1, Basiswissen) kann verworfen sein. Akzidentielle Schäden des N. ulnaris sind selten.

Diagnostik

Neben der Dokumentation des Weichteilbefundes muss gezielt nach begleitenden Nervenschäden gefahndet und der Befund dokumentiert werden. Das Ellenbogengelenk wird in 2 Ebenen geröntgt. Auf den Röntgenaufnahmen lässt sich eine Fraktur leicht ausmachen. Eine weiterführende bildgebende Diagnostik ist nicht indiziert. Ein indirektes Frakturzeichen ist das fat pad sign. Es entsteht durch einen Gelenkerguss. Der Erguss hebt die Synovia vom Knochen ab. In der Synovia wiederum sind über dem Capitulum humeri, der Fossa olecrani und der Fossa coronoidea Fettpolster eingelagert, die beim unverletzten Gelenk nicht sichtbar werden und erst, wenn sie durch einen Gelenkerguss vom Knochen abgehoben werden, in Form von strahlentransparenten dunklen Dreiecken zur Darstellung kommen. Ein CT ist nur bei komplexen Begleitverletzungen erforderlich.

Klassifikation

Es gibt verschiedene Klassifikationen für die Olekranonfrakturen. Die bekannteste ist die nach Schatzker (◘ Abb. 6.61; zur Einteilung nach AO: ◘ Abb. 6.58).

Therapie

Die konservative Therapie von Olekranonfrakturen ist bei nicht dislozierter Fraktur und bei kleinen Ausrissfrakturen an der Olekranonspitze möglich (Hölzl u. Verheyden 2008). Bei alten Patienten mit stark erhöhtem Operationsrisiko können im Einzelfall auch dislozierte Olekranonfrakturen konservativ behandelt werden. Das Ellenbogengelenk wird in mäßiger Beugung von etwa 50° bis zum Erreichen der Schmerzfreiheit ruhigestellt. Nach 1 Woche wird mit einer Übungsbehandlung aus der Schiene heraus begonnen, aber das Gelenk noch nicht über 90° gebeugt. Bei einer Dislokation des knöchernen Trizepsansatzes von 1,5 cm ist ein Kraftverlust von 70% zu erwarten. In der Literatur gibt es Hinweise darauf, dass die konservative Therapie beim geriatrischen Patienten zu subjektiv guten Ergebnissen führen kann (Jaskulka u. Harm 1991).

Indikation

Außerdem ist gerade am Ellenbogengelenk eine möglichst frühzeitig begonnene Mobilisierung entscheidend, um das ursprüngliche Bewegungsausmaß wieder zu erreichen. Deshalb werden diese Frakturen nahezu ausschließlich operativ versorgt.

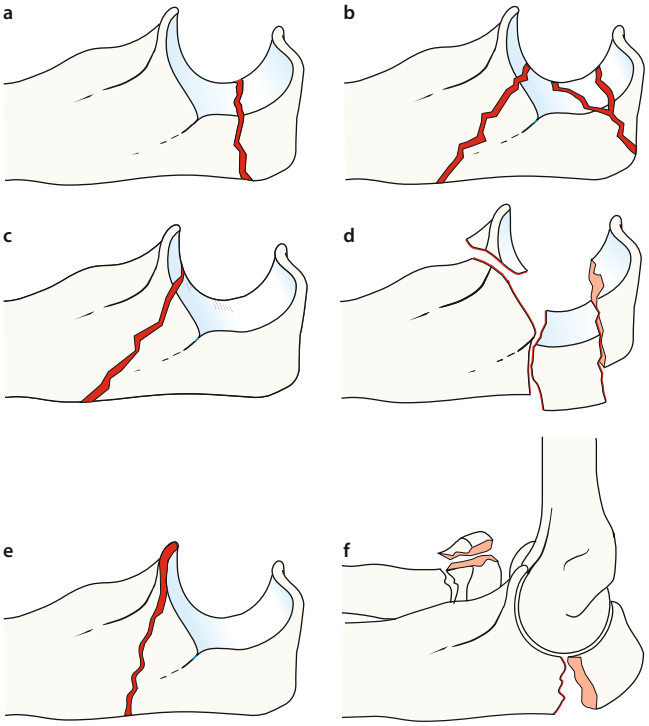


Abb. 6.61a–f Klassifikation der Olekranonfrakturen nach Schatzker. **a** Querfraktur, **b** Querfraktur mit Impaktion, **c** Schrägfraktur, **d** Mehrfragmentfraktur, **e** distale Schrägfraktur, **f** Luxationsfraktur. (Aus: Müller-Mai et al. 2010)

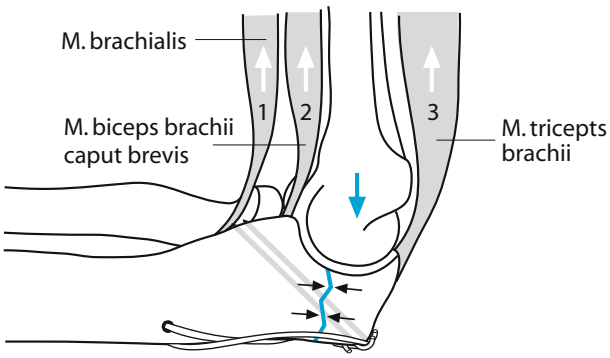


Abb. 6.62 Die Zuggurtung wandelt Zugkräfte des M. brachialis (1), des M. biceps brachii caput brevis (2) und des M. triceps brachii (3) in gelenknahe Kompressionskräfte um

Dringlichkeit

In der Regel kann die Nüchternheitsgrenze gewahrt oder früh elektiv vorgegangen werden.

Operationsvorbereitung

Der Arm wird am besten über den Brustkorb des Patienten gelagert. Dadurch liegt der Ellenhaken exponiert und gut zugänglich. In Blutsperre schafft man einen dorsalen Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der N. ulnaris braucht nur dargestellt zu werden, wenn man bei der Osteosynthese in die Nähe des Sulcus ulnaris gelangt oder hier Implantate einbringen muss. Man stellt den Verlauf der Fraktur durch sparsame Deperiostierung ihrer Ränder dar und spreizt die Fraktur auf, um Bruchspalt und Gelenk von Koageln, eingeschlagenen Periostanteilen und kleinen Fragmenten befreien zu können.

Lamelläre Absprengung

Wenn die Absprengung zu klein ist, als dass man sie mit einer Zuggurtungsosteosynthese (s. unten) stabilisieren könnte, wird sie am besten exzidiert. Dazu tastet man im Bereich des Ansatzes der Trizepssehne das mobile Fragment, spaltet nach dessen Identifizierung den darüber liegenden Sehnenanteil in Längsrichtung und exzidiert den abgesprengten Knochen. Falls die Trizepssehne an ihrem Ansatz mit abgerissen ist, wird das Fragment nach Hochklappen des Ansatzes ausgeschält und die Sehne mit einer oder mehreren transossären Nähten mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 0 refixiert.

Zuggurtungsosteosynthese

Implantat der Wahl für einfache dislozierte Frakturen oder Frakturen mit 3. Fragment und oder Impression ist die Zuggurtungsosteosynthese. Prinzip der Zuggurtung ist, dass Zuglasten in Kompressionskräfte umgewandelt werden. Alle anderen Verfahren sind in dieser Hinsicht der Zuggurtung unterlegen. Die Zuggurtung hat sich wie kein anderes Verfahren für Querbrüche im Bereich des Olekranons und der Patella bewährt. Beide Frakturlokalisationen sind starken Zugbelastungen ausgesetzt. Durch die Umwandlung der Zugkräfte des Trizeps, aber auch der beugeseitig verlaufenden gelenkübergreifenden Muskulatur in Kompressionskräfte erhöht sich die Stabilität, was letztlich zur schnellen knöchernen Konsolidierung führt (Abb. 6.62).

Die Reposition gelingt am besten, indem man einen Einzinkerhaken auf die Olekranonspitze setzt und die beiden Hauptfragmente gegen den distrahierenden Zug der Trizepssehne aufeinandersetzt. Das Vorgehen wird erleichtert, wenn dabei das Ellenbogengelenk nicht 90° gebeugt, sondern halb gestreckt gelagert wird. Zum Einrichten der Fraktur kann man statt eines Einzinkerhakens auch eine spitze Repositionszange verwenden. Um die Branche der Zange im distalen Hauptfragment verankern zu können, muss man vorher die Kortikalis mit einem 3,2 mm starken Bohrer perforieren – am besten schräg auf den Bruchspalt zu in Branchenrichtung. Die stufenfreie Stellung der Gelenkfläche kann mit dem Bildwandler kontrolliert werden. Nur in seltenen Ausnahmefällen ist es nötig, das Gelenk von radial zu eröffnen, um die erreichte Reposition zu beurteilen.

Kleinere Fragmente, die keine Gelenkflächenanteile tragen, lassen sich meist unter der Zuggurtungsschlinge einklemmen. Größere Fragmente mit intraartikulärem Anteil werden in reponierter Stellung zwischen den beiden Hauptfragmenten verklemmt. Wenn sich das dritte Fragment nicht stabil in die Zuggurtung einbauen lässt, wird es zunächst mit einer Interfragmentärschraube oder Spickdrähten an einem der beiden Hauptfragmente fixiert. Nach erfolgter Reposition fixiert man die Fraktur mit 2 K-Drähten der Stärke 1,6, 1,8 oder 2,0 mm je nach Knochenqualität. Im harten Knochen reichen dünnere Drähte aus. Im weicheren Knochen empfehlen sich größere Drahtstärken. Die Drähte bohrt man von der Olekranonspitze aus nicht in Richtung Markraum, sondern nach ventral geneigt, um deren Spitzen in der Gegenkortikalis verankern zu können.

Die Verankerung der K-Drähte in der Gegenkortikalis ist sehr wichtig, weil Drähte, die nur intramedullär eingebracht sind, primär locker sitzen und in der Folge häufig auswandern. Damit die K-Drähte tatsächlich die Gegenkortikalis perforieren und nicht von dieser tangential in die Markhöhle abgelenkt werden, darf die Bohrrichtung nicht zu flach sein.

Das bedeutet, dass man sehr nah der Ellenhakenspitze in den Knochen eingeht, um ausreichend steil bohren zu können, ohne die Gelenkfläche zu perforieren. Dies hat wiederum den Vorteil, dass die Drahtenden am Unterrand des Ansatzes der Trizepssehne zu liegen kommen und beim späteren einziehen des Cerclagendrahts die Sehne nicht schädigt.

Die Drähte werden parallel eingebracht, damit sie als Gleitschiene fungieren können, wenn anschließend mit Hilfe einer Cerclage der Bruchspalt komprimiert wird. Wenn beim Vorbohren der Widerstand der Gegenkortikalis überwunden ist, wird der Draht anschließend um wenige Millimeter zurückgezogen, damit man nach Fertigstellung der Zuggurtung die umgebogenen Drahtenden subperiostal versenken kann, ohne dass die Drahtspitzen die Gegenkortikalis zu weit überragen und hier Gefäße oder Nerven irritieren. Nun werden unter Bildwandler die Bruchstellung und die Implantatlage kontrolliert. Bei der Beurteilung der Implantatlage darf man sich nicht von der physiologischen Valgusstellung des Olekranon gegenüber dem Ulnaschaft irritieren lassen. Die K-Drähte liegen deshalb etwa 5° valgisch zur Achse des Röhrenknochens.

Bei stufenfreier Stellung wird die Zuggurtung komplettiert. Dazu schafft man im distalen Hauptfragment, 1–2 cm vom Bruchspalt entfernt, einen Bohrkanal, durch den man einen etwa 25 cm langen, 1,0 oder 1,25 mm starken Draht zieht, der anschließend in Form einer Achtertour um die proximale Ulna gewunden und unter den hervorstehenden K-Drähten ohne Weichteilinterposition im Winkel zwischen Knochen und Drahtenden durchgezogen wird. Anschließend wird die Cerclage verdrillt. Dafür können Drahtspanner oder alternativ 2 Zangen verwendet werden. Der Drahtspanner sollte bevorzugt werden, denn er ermöglicht eine absolut gleichmäßige Verdrillung der beiden Drähte. Dadurch lässt sich eine stärkere Kompression aufbauen, weil die Verdrillung weniger bruchgefährdet ist (Abb. 6.63).

Durch den Einsatz von 2 Zangen entstehen unregelmäßige Drahtwendeln. Häufig dreht sich ein Drahtende kreisförmig um das andere, sodass beim Spannen der Wendel der innen liegende Kerndraht, unabhängig von der erreichten Zugwirkung, abgedreht wird.

Bei sehr schrägem Bruchverlauf kann es günstig sein, zusätzlich eine Interfragmentärschraube (4,0er Spongiosaschraube) einzubringen. Die Stabilisierung von Typ-II-Verletzungen mit Zugschrauben allein ist problematisch, weil die Gefahr besteht, dass die Schrauben, die bei der am Ellenbogen so wichtigen frühen Mobilisation unweigerlich ständig wechselnden Biegelasten ausgesetzt wären, brechen oder vorzeitig auslockern. Deshalb müssen, wie an der Kniescheibe auch, die durch die Streck- und Beugemuskulatur vermittelten Zugkräfte durch eine Zuggurtungsschlinge in gelenkflächennahe Kompressionskräfte umgewandelt werden (Abb. 6.62).

Abb. 6.63 Postoperative Röntgenbilder einer Olekranonfraktur, die mit einer Zuggurtungsosteosynthese versorgt wurde

Alleinige Schraubenosteosynthese

In experimentellen Studien zeigte die Refixation einer Olekranonfraktur mit einer in der Markhöhle verlaufenden Großfragmentschraube die geringste Stabilität (Fyfe et al. 1985). Auch aufgrund des physiologischen valgischen Knicks des Markraums der proximalen Ulna ist die alleinige Schraubenosteosynthese von Olekranonfrakuren komplikationsträchtig. Eine lange Großfragmentschraube wird beim Eindrehen in den Markraum aus der ursprünglichen physiologischen 5° Valgusstellung in die Flucht des Markraums umgelenkt. Dadurch kann die intial korrekt reponierte Stellung des proximalen Hauptfragments verloren gehen und die Fraktur zu klaffen beginnen. Faschingbauer und Mitarbeiter (2007) sehen deshalb die einzige Indikation zur Schraubenosteosynthese bei der Olekranonosteotomie. Diese erfolgt V-förmig. Zusätzlich wird ein Cerclagendraht zur Stabilisierung benutzt. Das Bohrloch für die Spongiosagroßfragmentschraube wird zudem vor der Osteotomie geschaffen und ebenfalls vor der Osteotomie einmal komplett ein- und wieder ausgedreht.

Trümmerzonen, Defekte oder Impressionen verlangen ein an die jeweilige Situation angepasstes Vorgehen. Trümmerzonen und Defektfrakturen können durch einen passend zugerichteten trikortikalen Knochenblock aus dem Beckenkamm ersetzt werden. Imprimierte Gelenkflächenabschnitte müssen gehoben und bei fehlender Abstützung mit Spongiosa unterfüttert werden. Dritte und vierte Fragmente können mit Interfragmentärschrauben an den beiden Hauptfragmenten präliminar fixiert werden, sodass für die abschließende Osteosynthese nur die beiden verbliebenen Hauptfragmente aufeinandergestellt werden müssen und diese sich dann mit einer Zuggurtung stabilisieren lassen.

Bei ausgeprägten Weichteilschäden kann eine primäre Osteosynthese kontraindiziert sein. Dann wird die Fraktur nach ausgiebiger Reinigung der Wunde und Débridement kontusionierter Weichteilanteile zunächst mit einem Fixateur externe ruhiggestellt (▶ Abschnitt 6.3.1).

Plattenosteosynthese

Auch eine Plattenosteosynthese kommt in Betracht und zwar insbesondere dann, wenn das proximale Hauptfragment ausreichend lang ist, um wenigstens 2, besser 3 Schrauben verankern zu können, wobei eine der Schrauben auch durch 90° Vorbiegen des Plattenendes axial in den Markraum eingebracht werden kann. Bei dorsaler Positionierung kann der Processus coronoideus mitgefasst werden. Die Platte kann auch radial seitlich angelegt werden. Hier ist die Weichteildeckung besser. Wenn die Platte im 90°-Winkel um die Olekranonspitze gebogen wird und das dort liegende Plattenloch mit einer langen Markraumschraube besetzt wird, empfiehlt sich diese Schraube als erste einzubringen. Die Platte bekommt dadurch guten Kontakt mit der knöchernen Unterlage und steht dann nicht am Ellenhaken ab, was bei der dortigen dünnen Weichteildeckung Probleme verursachen könnte. Außerdem würde man sich den Weg für die lange Markraumschraube verstellen, wenn man die kurzen Schrauben im langen Schenkel der Platte zuerst besetzt. In umgekehrter Reihenfolge vorzugehen ermöglicht überdies die

kurzen Schrauben zwischen Kortikalis und der zentralen langen Schraube zu verklemmen, was insbesondere bei osteoporotisch geschwächtem Knochen mehr Stabilität vermittelt.

Voraussetzungen für eine Plattenosteosynthese sind solide Bruchstücke, die es erlauben, eine stabile Abstützung auf der Beugeseite der Fraktur zu rekonstruieren, um die streckseitig auftretenden Zuglasten beugeseitig in eine interfragmentäre Kompression umwandeln zu können. Gelenkseitig ausgesprengte Fragmente müssen deshalb zunächst mit einer Interfragmentärschraube an eines der Hauptfragmente refixiert werden und Trümmerzonen mit Spongiosa unterfüttert werden.

Olekranektomie

Im amerikanischen Schrifttum ist als Rettungsoperation für nicht rekonstruierbare Trümmerfrakturen des Ellenhakens die Olekranektomie beschrieben. Dabei werden die Fragmente entfernt und die Trizepssehne mit transossären Nähten an das distale Hauptfragment genäht. Dabei soll darauf geachtet werden, dass die Sehne möglichst gelenkflächennah refixiert wird, damit die Trochlea abgestützt wird und nicht nach streckseitig subluxiert. Für die Gelenkstabilität müssen die Kollateralbänder und der Processus coronoideus intakt sein (Moed et al. 2002). Jung und Mitarbeiter (2003) halten aber dieses Vorgehen für inakzeptabel, weil sich nach ihren Erfahrungen auch bei ausgedehnten Mehrfragmentfrakturen durch Kombination einer Zuggurtung mit (ggf. auch bilateraler) Miniplatten und anderen Implantaten überraschend gute Ergebnisse erzielen lassen.

Monteggia-Äquivalente

Monteggia-Äquivalente können schwierig zu versorgen sein, weil es sich um besonders instabile Verletzungen handelt. Der operative Eingriff erfolgt über einen dorsalen Zugang zum Ellenbogengelenk (▶ Kap. 21, Standardzugänge), über den man bei Bedarf auch zum Radiuskopf gelangen kann. Allgemein wird die Plattenosteosynthese als Verfahren der Wahl angesehen. Man verwendet am besten 3,5er LCDC-Platten. Wenn das proximale Hauptfragment relativ kurz ist, muss man die Platte so vorbiegen, dass sie bis zur Ellenhakenspitze hochreicht, damit mehr Plattenlöcher zur Fixierung dieses Fragments zur Verfügung stehen. Dabei wird das proximalste Schraubenloch mit einer langen Schraube besetzt, die im Markraum verankert wird. Es ist wichtig, die Platte gleichmäßig zu biegen, damit keine Sollbruchstelle entsteht. Beim Anpassen der Platte an das Olekranon muss u.U. die Trizepssehne längs inzidiert werden, um die Platte unmittelbar am Knochen anlagern zu können. Bei der Reposition kann der schmale AO-Distraktor hilfreich sein, der angesetzt wird, wenn die vorgebogene Platte proximal verschraubt ist.

Falls nach Versorgung der Ulna der Radiuskopf immer noch luxiert oder subluxiert sein sollte, muss das proximale Radioulnargelenk revidiert und versorgt werden. Dazu löst man das Ligamentum anulare, wenn es nicht ohnehin rupturiert ist, ursprungsnah von der proximalen Ulna ab und hält es nach ventral ab. Dadurch bekommt man einen guten Einblick in das Radioulnargelenk und kann etwaige Repositionshindernisse beseitigen, den Radiuskopf offen einrichten und ggf. osteosynthetisch nach den oben genannten Prinzipien versorgen.

Es gibt Fälle, bei denen das proximale Hauptfragment, also das Olekranon, ebenfalls zertrümmert ist. Dann kann es noch schwieriger sein, eine stabile und gelenkgerechte Reposition zu erreichen. In einem solchen Fall kann es hilfreich sein, die beiden anerkannt idealen Versorgungsprinzipien für das Olekranon einerseits und den proximalen Ulnaschaft andererseits miteinander zu kombinieren und eine Zuggurtungsosteosynthese mit einer Plattenosteosynthese zu vereinen (◘ Abb. 6.64).

Nachbehandlung

Eine frühzeitige Mobilisation ist entscheidend für eine gute Funktion. Deshalb ist die konservative Therapie Ausnahmefällen vorbehalten. Nach Osteosynthese wird der Arm in einer dorsalen Schiene in der Regel nur so lange ruhiggestellt, bis die Wundheilung abgeschlossen ist. Ängstliche Patienten dürfen die Schiene

◘ **Abb. 6.64a–c** **a** Präoperatives Röntgenbild einer offenen Monteggia-Trümmer- und -Defektfraktur. **b, c** Postoperative Kontrollaufnahmen nach Gelenkflächendefektplastik mit einem kortikospongiösen Knochenblock und anschließender Osteosynthese mit kombinierter Zuggurtung und LCDCP

auch länger tragen. Bei stabilen Verhältnissen kann schon nach wenigen Tagen mit Krankengymnastik aus der Schiene heraus begonnen werden. Röntgenkontrollen werden postoperativ, nach 6 und 12 Wochen und vor der geplanten Implantatentfernung durchgeführt, die in der Regel nach 6–12 Monaten vorgenommen werden kann, vorausgesetzt die Implantate stören.

Komplikationen und Prognose

Relativ häufig irritieren die Drahtenden die Weichteile. Dann müssen die störenden Implantate vorzeitig, evtl. schon nach 3 Monaten, entfernt werden. Verletzungen des N. ulnaris sind denkbar, insgesamt aber die Ausnahme, da das Operationsgebiet sehr übersichtlich ist. Die Frakturen heilen bei regelrecht angewandter Osteosynthesetechnik meist problemlos. Das gilt auch für das Wiedererreichen einer uneingeschränkten Funktion.

6.4.3 Radius- und Ulnaschaftfrakturen

Ätiologie

Die Frakturen entstehen meist indirekt beim Abfangen eines Sturzes aus größerer Höhe oder im Rahmen von Rasanztraumen durch Stauchung, Biege- oder Torsionskräfte. Direkte Brüche von Elle oder Speiche treten hingegen ein, wenn der Arm schützend über Kopf oder Körper gehalten wird, um einen Schlag oder eine fallende Last abzuwehren.

Klinik

Klinisch bietet sich insbesondere dann ein eindrucksvolles Bild, wenn beide Röhrenknochen beteiligt sind. Die richtige Diagnose lässt sich in diesem Fall schon vorab stellen. Fehlstellung und Instabilität sind die auffälligsten Zeichen, Schwellung und begleitende Weichteilschäden häufig. Sehr wichtig ist, einen exakten präoperativen Status bezüglich Motorik, Sensibilität und Durchblutung zu erheben, um die Herkunft etwaiger postoperativer Ausfälle im Nachhinein zweifelsfrei zuordnen zu können.

Insbesondere bei proximalen Radiusschaftfrakturen empfiehlt sich, einen exakten Status des N. radialis zu erheben, weil dieser relativ häufig iatrogen geschädigt wird.

Diagnostik

Routinemäßig werden lange Aufnahmen des Unterarms in 2 Ebenen angefertigt. Dabei müssen die angrenzenden Gelenke mit abgebildet werden. Luxationsfrakturen (Monteggia, Galeazzi, s. unten) lassen sich, wenn die Fehlstellung nicht sehr ausgeprägt ist, oft nur auf exakt seitlichen Aufnahmen des Ellenbogen- bzw. des Handgelenks erkennen.

Klassifikation

Die AO-Klassifikation ist in Abb. 6.65 wiedergegeben. Insbesondere gilt es, zwischen 3 Bruchtypen zu unterscheiden, um sich im klinischen Alltag grob orientieren zu können und bei der Wahl des operativen Vorgehens an etwaige Begleitmaßnahmen (s. operative Therapie) zu denken (Abb. 6.66):

- Isolierte oder komplette einfache Frakturen mit und ohne Biegungskeil,
- Isolierte oder komplette komplexe Frakturen,
- Isolierte Ulna- oder Radiusfraktur mit Luxation des nichtfrakturierten Röhrenknochens (Monteggia, Galeazzi).

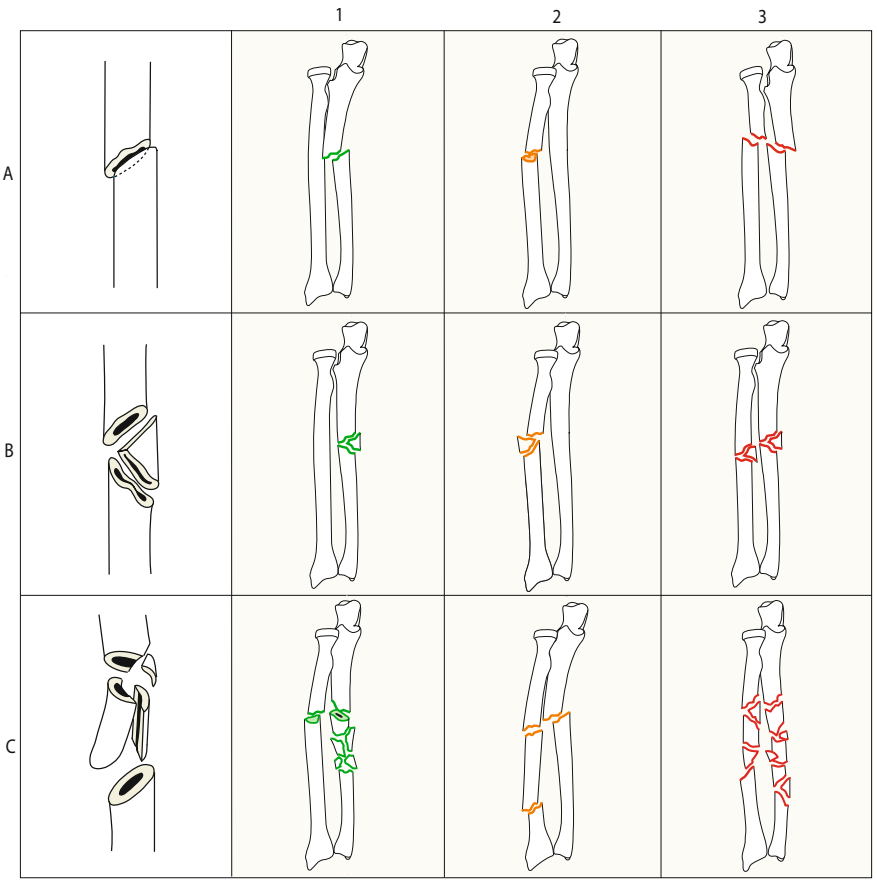


Abb. 6.65 AO-Klassifikation der Region 22 Unterarmschaft
a Zweifragmentfrakturen des Unterarms
A1: Zweifragmentfraktur der Ulna, Radius intakt
A2: Zweifragmentfraktur des Radius, Ulna intakt
A3: Zweifragmentfraktur beider Knochen
b Keilfrakturen des Unterarms
B1: Keilbruch der Ulna, Radius intakt
B2: Keilbruch des Radius, Ulna intakt
B3: Keilbruch beider Knochen oder Keilbruch des einen kombiniert
mit einfachem Bruch des anderen Knochens
c Komplexe Frakturen
C1: Komplexe Fraktur der Ulna, Radius mit einfacher Zweifragmentfraktur
oder ohne Bruch
C2: Komplexe Fraktur des Radius, Ulna mit einfacher Zweifragmentfraktur
oder ohne Bruch
C3: Beide Knochen komplex frakturiert
(Aus: Müller-Mai et al. 2010)

Konservative Therapie

Die erste Maßnahme ist die Ruhigstellung der Fraktur mit einer Schiene oder einer dorsalen Oberarmgipsschiene. Dazu wird die Achse des Unterarms unter vorsichtigem Längszug gerade ausgerichtet. Dies ist insbesondere bei drohender Durchspießung zum Schutz der Weichteildecke wichtig.

Indikation

Bereits geringe verbleibende Fehlstellungen würden die Beweglichkeit empfindlich stören: Drehfehler und Achsknicke stören die Umkehrbewegung, Verkürzungen behindern die Gelenkstellung in den Radioulnargelenken. Aus der Ära, in der diese Frakturen konservativ behandelt wurden, weiß man um die zahlreichen Probleme mit verzögerter Bruchheilung und Pseudarthosen in bis zu 30% (Friedl u. Trentz 1995), ganz zu schweigen von der Einschränkung der Umkehrbewegung, die durch Schrumpfen der Membrana interossea im Rahmen der langdauernden Ruhigstellung entstehen kann. Deshalb werden diese Frakturen heute in aller Regel operativ versorgt. Die konservative Therapie ist nur in folgenden Ausnahmefällen indiziert:

- Kindliche Frakturen
- Infraktionen
- Unverschobene, isolierte Frakturen ohne Luxation
- Stark reduzierter Allgemeinzustand mit hohem Operationsrisiko

Vorgehen

Bei Frakturen im proximalen Drittel wird der Unterarm supiniert eingestellt, um den Zug des M. supinator und der distalen Bizepssehne zu reduzieren. Die Ruhigstellung bei Frakturen im mittleren oder distalen Schaftdrittel erfolgt in Mittelstellung. Nach dem in Tab. 6.5 aufgeführten Schema werden die Frakturen in Abhängigkeit vom posttraumatischen Zeitintervall ruhiggestellt und engmaschig radiologisch kontrolliert, um bei einer sekundären Dislokation rechtzeitig auf ein operatives Verfahren umsteigen zu können. Die im Schema aufgeführten Zeiten sind Anhaltswerte, die nach unten oder oben korrigiert werden müssen, wenn die Frakturheilung beschleunigt oder verzögert verläuft. Dabei empfiehlt sich, im Zweifelsfall lieber auf ein operatives Verfahren umzusteigen als eine zu lange Ruhigstellung und die damit verbundenen Komplikationen in Kauf zu nehmen.

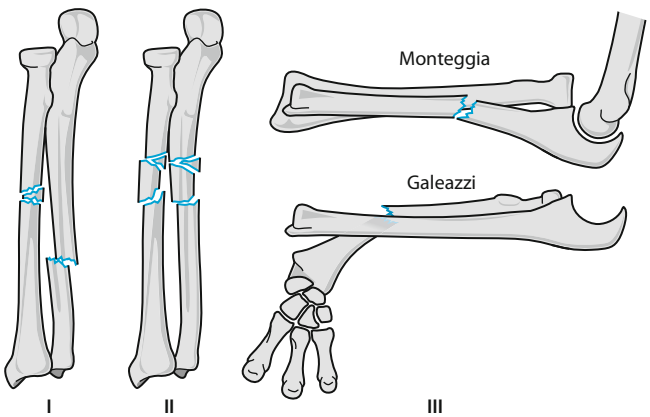


Abb. 6.66 Die wichtigsten Typen von Unterarmfrakturen, die für eine geeignete Verfahrenswahl unterschieden werden müssen.

Komplikationen

Die erforderliche lange Ruhigstellungsdauer führt zur Muskelatrophie und zur Bewegungseinschränkung der angrenzenden Gelenke. Bei unzureichender Ruhigstellung, Gipsdruck oder protrahiertem Verlauf droht die Algodystrophie. Verbleibende Fehlstellungen mit konsekutiven Bewegungseinschränkungen und verzögerte Bruchheilung bis hin zur Pseudarthrosenbildung sind häufig.

Operative Therapie

Alle dislozierten und offenen Frakturen werden operativ versorgt, wenn es der Allgemeinzustand des Patienten zulässt.

Dringlichkeit

Bei offenen Frakturen und akzidentiellen Nerven- oder Gefäßschäden muss notfallmäßig vorgegangen werden. Es empfiehlt sich aber auch, die übrigen Brüche noch am Unfalltag zu versorgen, weil prinzipiell die Gefahr besteht, dass die Weichteile stark anschwellen und sich ein Kompartment-Syndrom entwickelt oder, bei starker Schwellung, Spannungsblasen eintreten, die, solange der resultierende Wundgrund feucht ist, als superinfiziert zu betrachten sind und ein operatives Vorgehen riskanter machen. Dazu kommt, dass die Muskulatur sich zusehends verkürzt und die Reposition deshalb am Unfalltag am leichtesten fällt. Gerade bei Frakturen mit Biegungskeil kann dies von Bedeutung sein, weil diese Brüche oft nicht ganz einfach zu stellen sind. Bei Polytraumatisierten ist die Versorgung eines Unterarmbruchs nicht vorrangig. Sie kann aufgeschoben werden, bis die Vitalfunktionen stabilisiert sind.

Aufklärung

Bei der Aufklärung müssen die Patienten neben den üblichen Risiken über eine mögliche Nervenverletzung informiert werden, wobei insbesondere die Gefahr einer Verletzung des motorischen

Tab. 6.5 Vorgehen bei konservativer Behandlung in Abhängigkeit vom posttraumatischen Zeitintervall. Das Schema dient als Leitfaden, damit wichtige Kontrolltermine nicht übersehen werden

Zeitintervall posttraumatisch	Vorgehen	Röntgenkontrollen
Unfalltag	Gespaltener Oberarmgips, anschließend Röntgenkontrolle	+
1. Tag	Gipskontrolle	
3. bis 5. Tag	Gipszirkulierung, anschließend Röntgenkontrolle	+
1 Tag später	Gipskontrolle	
7. bis 10. Tag	Gipswechsel unter Zug, anschließend Röntgenkontrolle	+
1 Woche später	Klinische Kontrolle, anschließend Röntgenkontrolle	+
4 Wochen	Gipsabnahme, Röntgenkontrolle ohne Gips, wenn möglich und nötig Weiterbehandlung im Brace	+
7 Wochen	Klinische Kontrolle, Röntgenkontrolle	+
10 Wochen	Brace-Abnahme, Röntgenkontrolle, Mobilisierung	+

Radialisasts bei proximalen Radiusschaftfrakturen gegeben ist. Bei distalen Frakturen kann im Rahmen der Versorgung die A. radialis verletzt werden. Des Weiteren kann es zur verzögerten Knochenbruchheilung, Pseudarthrosenentwicklung oder einem Implantatversagen bzw. einer Auslockerung des Osteosynthesematerials kommen. In besonderen Fällen (s. Komplikationen) kann sich ein Brückenkallus zwischen beiden Röhrenknochen ausbilden. Die Folge ist eine Einschränkung der Umkehrbewegung bis hin zu deren Blockierung.

Vorbereitung

Präoperativ muss der Arm zur Schmerzausschaltung unbedingt geschient werden. Dafür eignet sich eine dorsale Oberarmgipsschiene am besten, weil nur durch Einbeziehung der angrenzenden Gelenke der instabile Unterarm ausreichend ruhiggestellt werden kann. Überdies kann man die vorgefertigte Schiene für die ersten postoperativen Tage weiter nutzen. Eine perioperative Single-shot-Antibiotikaprophylaxe wird meist durchgeführt.

Lagerung

Bei kompletten Frakturen oder isolierter Radiusschaftfraktur verwendet man einen Armtisch. Dabei ist die Lagerung des Unterarms einfacher, wenn der Patient auf dem Bauch liegt, weil man dann beide Röhrenknochen – den Radius in Supination, die Ulna in Pronation – versorgen kann, ohne den Unterarm zur Versorgung der Ulna anstellen zu müssen, was in Rückenlage der Fall ist. Nachteilig an der Bauchlage wiederum ist, dass die Frakturen nur über den dorsalen und nicht über den volaren Zugang angegangen werden können (s. unten) und dass die Lagerung aufwändiger ist. Bei isolierter Ulnafraktur kann man den verletzten Arm auch über dem Brustkorb lagern. Eine Blutsperremanschette, auf die nur bei schwerem Weichteilschaden verzichtet zu werden braucht, verbessert die Übersicht. Ein Bildwandler wird nur bei Bedarf benutzt. Zur Abdeckung verwendet man eine klebende U-Folie oder ein Extremitätentuch.

Implantate

Weil indirekt immer Gelenke mitbeteiligt sind, kommt es darauf an, beim Erwachsenen, dessen Skelett nur eine begrenzte Korrekturfähigkeit hat, die Frakturen anatomisch zu stellen und zu fixieren. Das mit intramedullären Implantaten erreichbare Maß an Stabilität genügt beim Erwachsenen in vielen Fällen nicht, um die Fraktur zur Ausheilung zu bringen. Deshalb eignet sich die Markraumdrahtung nur für Kinder, deren periostales Gefäßnetz den Knochen luxusperfundiert und mit einem höheren Maß an Instabilität fertig wird. Beim Erwachsenen haben die Kleinfragmentkompressionsplatten (DCP oder LCDCP) die eindeutig besten Resultate gebracht und sind das Implantat der Wahl.

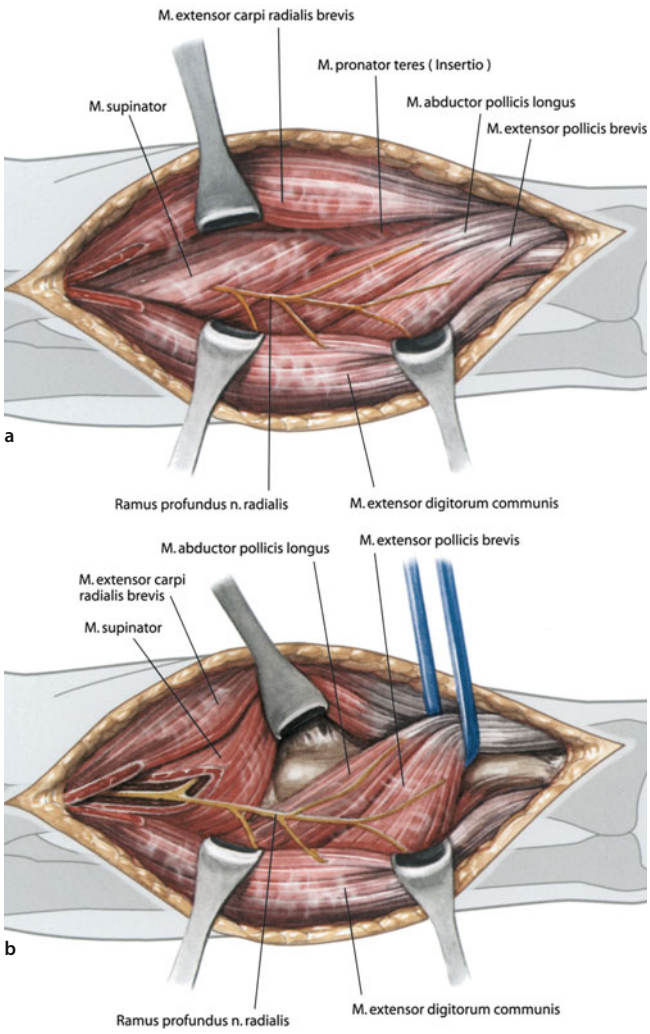
Zugang

Radiusfrakturen, die im mittleren und distalen Schaftdrittel liegen, werden über einen dorsalen Zugang versorgt, während sich für proximal gelegene Brüche der volare Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) besser eignet. Obwohl der dorsale Zugang den Vorteil bietet, dass man nicht in der Nähe der A. radialis präpariert, empfehlen Kwasny et al. (1995) grundsätzlich ein Zugehen von volar, egal in welcher Höhe sich die Fraktur befindet. Dafür sprechen folgende Argumente:

- bessere Weichteildeckung und damit geringeres Infektrisiko,
- einfache Erweiterungsmöglichkeit nach proximal und distal,
- keine Sehnenkomplikationen,
- besseres kosmetisches Ergebnis, weil die Narbe auf der dem Körper zugewandten Seite liegt.

Generell gilt, dass man insbesondere proximal sehr vorsichtig vorgehen und Hakendruck vermeiden muss, der den tiefen Radialisast schädigen könnte. Beim volaren Zugang kommt man beim Abschieben des M. supinator direkt von der ulnaren Kante des Radiusschafts, wodurch der tiefe Ast des N. radialis, der in diesem Muskel eingebettet verläuft, am besten geschützt wird und nicht freigelegt zu werden braucht. Wenn jedoch über einen dorsalen Zugang eingegangen wurde und intraoperativ sich ergebende Umstände dazu zwingen, den proximalen Schaft darstellen zu müssen, empfiehlt Oestern (1991), den R. profundus des N. radialis freizulegen, um ihn sicher schonen zu können. Dazu wird der Nervenast zunächst an seinem Durchtrittspunkt zwischen dem oberflächlichen und tiefen Kopf des M. supinator dargestellt und anschließend nach proximal präpariert (■ Abb. 6.67).

Am Unterarm sollte man nach Möglichkeit keine Hohmann-Hebel verwenden, weil sie zur periostalen Denudierung führen und damit die Frakturheilung beeinträchtigen. Auch scharfe Haken empfehlen sich wegen der Nähe zu Gefäßen und Nerven nicht.



■ **Abb. 6.67a,b** **a** Zwischen den Mm. extensor carpi radialis brevis und extensor digitorum communis erreicht man den R. profundus des N. radialis, der zwischen oberflächlichem und tiefem Kopf des M. supinator nach dorsal verläuft. **b** Der tiefe Ast des N. radialis wird nach proximal präpariert und freigelegt. (Aus: Oestern 2001)

Das Implantat platziert man abhängig von der Weichteilsituation entweder dorsal oder volar; beides ist möglich, da es am Radius keine eigentliche Zuggurtungsseite gibt, denn der Radiusschaft ist während der Umwendbewegung ständig wechselnden Zuglasten verschiedener Muskelgruppen und der Membrana interossea ausgesetzt (Opitz 1983). Die radiovolare Montage halten Kwasny et al. (1995) für die günstigste, weil hierbei die Membrana interossea nicht tangiert wird, auch nicht beim Durchbohren der Gegenkortikalis.

Der Zugang zur Ulna (▶ Kap. 21, Standardzugänge) ist wesentlich einfacher und risikoärmer. Man geht streckseitig über der in ihrem gesamten Verlauf direkt unter der Haut gut tastbaren Ulnakante ein und montiert die Platte streckseitig, auf der Zuggurtungsseite. Zwischen beiden Zugängen sollte ein Mindestabstand von 5 cm liegen, der die ausreichende Durchblutung der Haut gewährleistet.

Isolierte oder komplette einfache Frakturen mit und ohne Biegungskeil

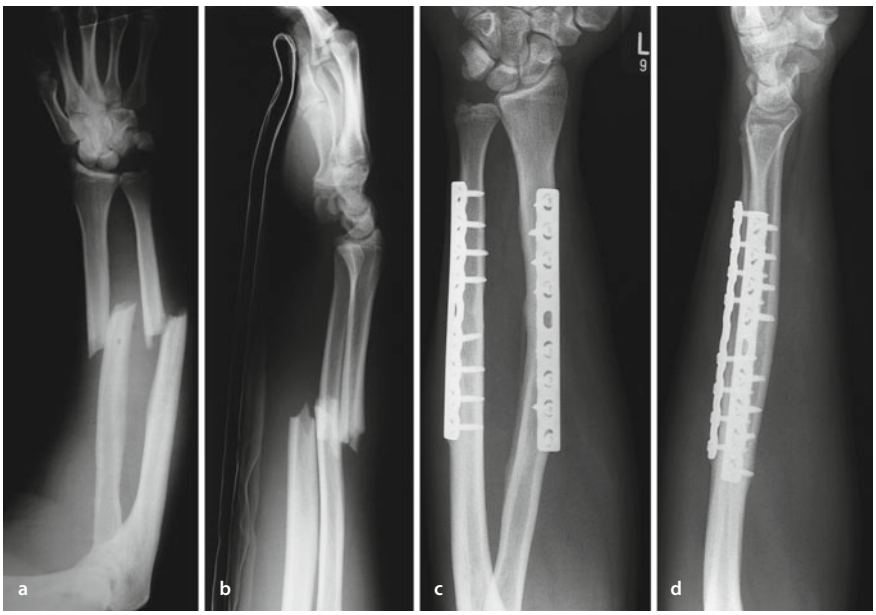
Wenn beide Röhrenknochen frakturiert sind, stellt sich zunächst die Frage, welcher der beiden Knochen zuerst versorgt werden soll. Weist einer der beiden Röhrenknochen eine Trümmerzone auf, der andere jedoch einen relativ glatten und einfach rekonstruierbaren Bruch, wird zunächst der einfache stabilisiert, um die korrekte Länge zu gewinnen. Gleicht sich jedoch die Bruchform beider Röhrenknochen, richtet man sich nach der Lagerung. Ein komplett frakturierter Unterarm ist sehr instabil und würde vom Assistenten viel Haltearbeit erfordern, wenn zunächst die Ulna bei angestelltem Unterarm und gebeugtem Ellenbogengelenk versorgt werden würde. Deshalb stabilisiert man in diesem Fall zunächst den Radius, was am liegenden Unterarm erfolgen kann. Bei bereits versorgtem Radius hat der Assistent viel weniger Mühe, den angestellten Unterarm für die Osteosynthese der Ulna zu halten.

Die Osteosyntheseplatten werden zunächst nur provisorisch mit einer frakturnahen Schraube pro Hauptfragment fixiert, um bei Bedarf die Schrauben noch einmal lockern und dadurch die Reposition des zweiten Röhrenknochens erleichtern zu können. Würde man den zuerst angegangenen Röhrenknochen gleich definitiv versorgen, kann dies, insbesondere wenn die Bruchflächen stark verzahnt sind, die Reposition des zweiten erschweren. Überdies bestünde die Gefahr, die bereits liegende Osteosynthese beim Einrichten des zweiten Röhrenknochens zu lockern. Nach provisorischer Fixation wird geprüft, ob die Umwendbewegung frei ist. Erst dann werden die Platten endgültig angeschraubt.

Deperiostierte Fragmente oder Biegungskeile werden nur dann in die Osteosynthese mit eingebaut, wenn sie sich stabil verklemmen lassen. Ansonsten wird die primäre Spongiosaanlagerung bevorzugt. Wenn sich Biegungskeile nicht zwischen beiden Hauptfragmenten verklemmen lassen, genügt es, sie im Bruchbereich anzulagern oder mit einer Naht heranzuziehen. Größere dritte Fragmente können vom Hauptfragment aus mit einer Zugschraube gefasst werden. Sie aus umgekehrter Richtung zu fassen, wäre ungünstig, weil die Fragmente dabei leicht deperiostieren können. Manchmal ist es unumgänglich, deperiostierte Fragmente einzubauen, um eine exakte Rekonstruktion der Achse, der Länge und der Rotation zu erreichen.

Nach Möglichkeit sollten pro Hauptfragment 3 Schrauben verwendet bzw. 6 Kortikales gefasst werden. Nur bei sehr weit distal oder proximal liegenden Frakturen haben im gelenknahen Fragment u.U. nur 2 Schrauben Platz. In der Regel werden jedoch 6- oder 7-Lochplatten, bei Osteoporose oder Trümmerfrakturen auch längere Implantate verwendet. Querfrakturen werden mit axialen Kompressionsplatten adaptiert, Schrägfrakturen durch eine Zugschraube plus Neutralisationsplatte (◘ Abb. 6.68).

Falls man sich hinsichtlich Frakturstellung und Implantatlage nicht ausreichend sicher ist, kann man dies abschließend unter dem Bildwandler überprüfen. Schrauben, die zu lang oder zu kurz sind, werden ausgetauscht. Beim Wundverschluss wird eine tiefe Redon-Drainage eingelegt. Die tiefen Faszien lässt man generell offen und die oberflächlichen werden nur dann adaptiert, falls dies einmal spannungsfrei möglich sein sollte. Der Verschluss der Haut darf nicht erzwungen werden. Im Zweifelsfall näht man Epigard ein. Wenn ulnar und radial ein Zugang geschaffen wurde, versucht man den ulnaren primär zu schließen, weil hier die Weichteildeckung geringer ist und lässt bei Bedarf lieber den radialen Zugang offen. Dort liegt aufgrund der besseren muskulären Deckung selbst bei breit klaffender Wunde die Platte in der Regel nicht frei.



◘ **Abb. 6.68a–d** **a,b** Komplette, dislozierte Unterarmfraktur in Schaftmitte bei einem 19-Jährigen. **c,d** Die Fraktur wurde mit Kleinfragment-LCDC-Platten stabilisiert und war nach 8 Monaten knöchern fest verheilt

Isolierte oder komplette komplexe Frakturen

Wenn nur einer der beiden Röhrenknochen eine Trümmerzone aufweist, empfiehlt es sich, wie bereits oben erwähnt, zunächst die einfachere Fraktur zu versorgen. Falls jedoch Elle und Speiche Trümmerzonen tragen und dadurch primär keine Klarheit über Rotation, Länge und Achse gewonnen werden kann, werden beide Schäfte zunächst, wie oben beschrieben, nur provisorisch stabilisiert und dann Umkehrbewegung und Stellung im distalen Radioulnargelenk geprüft. Erst dann wird die Osteosynthese vervollständigt. Trümmerzonen müssen im periostalen Verbund belassen bleiben. Sie werden nicht anatomisch rekonstruiert, sondern mit einem langen Implantat überbrückt. Wenn mehrere Fragmente keinen periostalen Anschluss haben und dadurch ein Defekt besteht, empfiehlt sich die primäre Interposition eines Beckenkammspans.

Monteggia- oder Galeazzi-Frakturen

Bei **Monteggia-Frakturen** (benannt nach dem Erstbeschreiber Giovanni Batista Monteggia 1792–1815) handelt es sich um meist proximal gelegene Ellenschaftbrüche mit gleichzeitiger Luxation des Radiuskopfs und somit um eine Verletzungen des proximalen Radioulnargelenks (PRUG). Als Monteggia-äquivalente Verletzungen (monteggia like lesion) gelten Ulnafrakturen jeder Höhe mit hinterer Luxation des Ellenbogens mit und ohne proximale Radiusfraktur oder Ulnafrakturen jeder Höhe mit Bruch des Radiushalses oder -kopfs. Die Dislokation kommt nicht nur deshalb zustande, weil die Ulna gebrochen und das Ligamentum anulare rupturiert ist, sondern zusätzlich auch die Membrana interossea zerrissen ist. Bedingt durch den Zug der distalen Bizepssehne wird der proximale Radiusschaft weit nach ventral versetzt. Aber auch ein Versatz nach dorsal oder lateral ist möglich (Abb. 6.64).

5–10% der Monteggia-Frakturen werden übersehen oder als isolierte Ulnafrakturen fehlgedeutet. Deshalb kommt der möglichst exakten Einstellung der Röntgenstandardprojektionen große Bedeutung zu. Auf den Aufnahmen muss sich die Verlängerung der Radiuslängsachse, die so genannte Soeren-Linie, in beiden Ebenen auf das Zentrum des Capitulum humeri projizieren (Abb. 6.69).

Monteggia-Frakturen sollten notfallmäßig versorgt werden, weil die Reposition des proximalen Radioulnargelenks umso leichter gelingt, je früher sie erfolgt und die günstigste Kurz- und Langzeitprognose bringt (Reckling 1982). Die konservative Therapie wurde aufgrund deletärer Ergebnisse vollkommen verlassen. Die Luxationsfrakturen werden zunächst durch Stabilisierung der Ulna nach den oben beschriebenen Prinzipien isolierter Schaftbrüche in der Regel mit einer schmalen 3,5er LCDC-Platte angegangen. Nach anatomischer Reposition der Fraktur reponiert sich die Radiuskopfluxation meist spontan. In seltenen Fällen, wenn der Gelenkraum durch ein knöchernes Fragment oder das rupturierte Ligamentum anulare verstellt ist, bleibt die Spontanreposition aus. Außerdem kann bei gerissenem Ligamentum anulare eine Reluxationstendenz bestehen. In diesen Fällen muss man das proximale Radioulnargelenk eröffnen und das Repositionshindernis beseitigen bzw. das Ringband nähen.

Bei Mehrfragment- oder Trümmerfrakturen der Ulna ist die Beurteilung der Stellung hinsichtlich der korrekten Länge, Rotation und Achse schwierig. Dann kann man die Soeren-Linie heranziehen. Wenn sich die Radiuslängsachse in beiden Ebenen auf das Kapitulum zentriert, ist laut Lendemans et al. (2008) eine persistierende Dislokation oder Subluxation ausgeschlossen (Abb. 6.69).

Die Stabilisierung von Monteggia-Frakturen kann problematisch sein, weil insbesondere bei verbleibender Instabilität im Radioulnargelenk große Hebelkräfte wirken. Wenn die Abstützung des Radiuskopfs fehlt, weil er zertrümmert ist und entfernt werden musste, entstehen häufig Implantatbrüche und Pseudarthrosen. Deshalb sollte man den Radiuskopf nach Möglichkeit erhalten. Wenn dies nicht möglich ist, muss man diesen resezieren und bei verbleibender Instabilität endoprothetisch ersetzen (▶ Abschnitt 6.4.1, Radiuskopf- und Radiushalsfrakturen). Begleitende Frakturen des Processus coronoideus mit gleichzeitiger Ellenbogengelenkluxation müssen ebenfalls mitversorgt werden, um ausreichende Stabilität für eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu erreichen (▶ Abschnitt 6.3.1, Luxation).

Bei **Galeazzi-Frakturen** handelt es sich um distal oder in Schaftmitte gelegene Frakturen des Radius, die mit einer Luxation im distalen Radioulnargelenk (DRUG) einhergehen. Dadurch kommt es zu einer Zerreißung der Membrana interossea. Benannt wurde diese Frakturform nach ihrem Erstbeschreiber, dem italienischen Chirurgen Riccardo Galeazzi (1866 bis 1952). Die früher übliche konservative Behandlung zeigte in 90% der Fälle schlechte Ergebnisse. Deshalb werden diese Brüche nach den oben beschriebenen Prinzipien osteosynthetisch versorgt. Nach anatomischer Reposition des Radius ist die Luxation der Ulna meist behoben. Ein abgerissener Ellengriffelfortsatz wird perkutan mit K-Drähten oder einer Zugschraube refixiert. Wenn nach Versorgung der Radiusschaftfraktur bei der dynamischen Funktionskontrolle eine Instabilität im distalen Radioulnargelenk verbleibt, sollte man über einen geraden Längsschnitt von dorsal die zerrissenen Kapsel-Band-Strukturen rekonstruieren. Bei Reluxationstendenz wird das DRUG mit einem K-Draht temporär für 6 Wochen transfixiert. Ein Repositionshindernis muss grundsätzlich offen angegangen werden (Abb. 6.70).

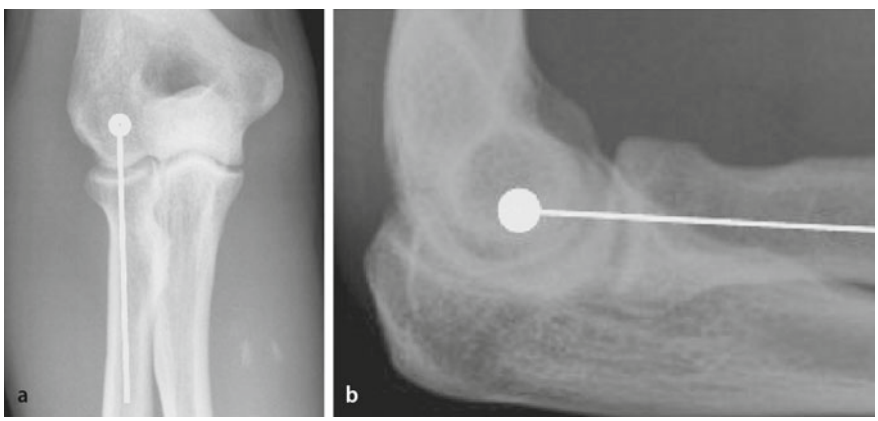


Abb. 6.69 Die Soeren-Linie. Eine mittig in den Verlauf des Radiusschafts eingezeichnete Linie muss das Zentrum des Capitulum humeri in beiden Ebenen treffen, anderenfalls liegt eine Luxation vor. (Aus: Lendemans et al. 2008)

Laut Rothe und Mitarbeiter (2001) führt das Unterlassen der temporären Arthrodese unweigerlich zu einer deutlichen Bewegungseinschränkung der Pro- und Supination, wenn nach erfolgter Osteosynthese bei der Funktionsprüfung der Umkehrbewegung eine persistierende Instabilität im DRUG verbleibt.

Offene Frakturen

Offene Frakturen können wegen der guten muskulären Deckung nach Débridement und ausgiebiger Spülung der Komplikationswunde in der Regel bereits primär, wie die geschlossenen Frakturen auch, mit Platten stabilisiert werden. Nur wenn die Weichteildeckung der Platte nicht gewährleistet ist, wird primär ein Fixateur externe angelegt. Mit dem Fixateur sollte jedoch nur der nicht gedeckte Röhrenknochen stabilisiert werden, während man den anderen idealerweise bereits definitiv mit einer Platte versorgt.

Bei der **Essex-Lopresti-Läsion** handelt es sich um eine seltene Kombinationsverletzung aus einer Radiuskopffraktur, einer Ruptur der Membrana interossea und einer Luxation im distalen Radioulnargelenk (DRUG). Weniger als 5% der Radiuskopffrakturen gehen mit einer Essex-Lopresti-Läsion einher. Ursächlich ist die erheblich axiale Krafteinwirkung auf den fast gestreckten Arm. Durch die fehlende Abstützung im Radiohumeralgelenk kann sich bei rupturierter Membrana interossea der Radius nach kranial verschieben. Daraus resultiert ein ulnokarpales Impingement, das wiederum zu einer schweren Radialdeviation der Hand führt. Aus biomechanischen Untersuchungen weiß man, dass man durch Implantation einer Radiuskopfprothese diese Verschiebung verhindern kann (Shepard 2001).

Die Prognose für das Outcome nach einer Essex-Lopresti-Läsion ist von einer frühzeitigen Versorgung abhängig. Viele dieser begleitenden Verletzungen werden übersehen. Deshalb sollte bei Radiuskopffraktur grundsätzlich speziell danach gefahndet werden.

Nach einer Essex-Lopresti-Läsion als Begleitverletzung sollte bei einer Radiuskopffraktur speziell gesucht werden; Zeichen dafür sind:

- Schmerzhaftigkeit und Instabilität im DRUG
- Unter Bildwandler kann bei axialer Belastung des Unterarms eine Erweiterung des Gelenkspalts im DRUG sichtbar werden.
- Die Luxation der Ulna nach dorsal im seitlichen Strahlengang ist beweisend (Lill et al. 2002).
- Die Ruptur der Membrana interossea kann sonografisch oder im MRT zur Darstellung gebracht werden.

Die Therapie richtet sich nach den Versorgungsprinzipien der Radiuskopffraktur (▶ Abschnitt 6.4.1) und nach denen des verletzten distalen Radioulnargelenks (▶ Abschnitt 6.4.5).

Nachbehandlung

Nur wenn eine Stellschraube oder ein gelenküberbrückender Spickdraht im distalen Radioulnargelenk liegt, empfiehlt sich Unter- und Oberarm ruhigzustellen, um die Umkehrbewegung auszuschalten und einem Materialbruch vorzubeugen. Ansonsten wird eine primär funktionelle Nachbehandlung ohne Gipsruhigstellung bevorzugt. Dabei kann der Arm frei bewegt werden. Er sollte aber während der ersten 12 Wochen nach Stabilisierung nicht belastet werden.

Man muss die Patienten darauf hinweisen, dass sie 3 Monate lang weder schwere Lasten heben, noch sich auf dem Arm abstützen dürfen.

Röntgenverlaufskontrollen werden postoperativ, nach 6 und 12 Wochen und vor der geplanten Implantatentfernung durchgeführt. Eine Implantatentfernung ist allerdings nur bei Beschwerden oder Bewegungseinschränkung erforderlich.

Da die mittlere Durchbauungszeit 7 Monate beträgt, sollten die Implantate nicht zu früh entfernt werden. Im Zweifelsfall helfen durchleuchtungsgezielte Drehaufnahmen des Unterarms weiter, auf denen man in einer Ebene den Radius, in der anderen die Ulna so einstellt, dass das Osteosynthesematerial exakt seitlich getroffen und dadurch der ehemalige Bruchbereich optimal einsehbar wird. Oft kann erst dann das Ausmaß der Durchbauung mit ausreichender Sicherheit beurteilt und zur Frage der Implantatentfernung Stellung genommen werden.

Im Allgemeinen gilt, dass die Implantate nicht vor Ablauf von 18–24 Monaten entfernt werden sollten.

Komplikationen und Prognose

Zum Kompartment-Syndrom und seiner Therapie s. unten, ▶ Abschnitt 6.4.6.3. Nervenschäden sollten, wenn sie intraoperativ erkannt werden, mikrochirurgisch genäht werden. Bei Verletzung der A. radialis ist ebenfalls eine primäre Naht indiziert.

Etwaige postoperative Infektionen erfordern ein frühzeitiges und konsequentes Revisionsregime. Dabei können die Implantate, wenn sie fest sitzen, in situ belassen bleiben.

Pseudarthrosen zwingen zur Reosteosynthese. Man frischt dabei die Enden der beiden Hauptfragmente an, versorgt den Bruch

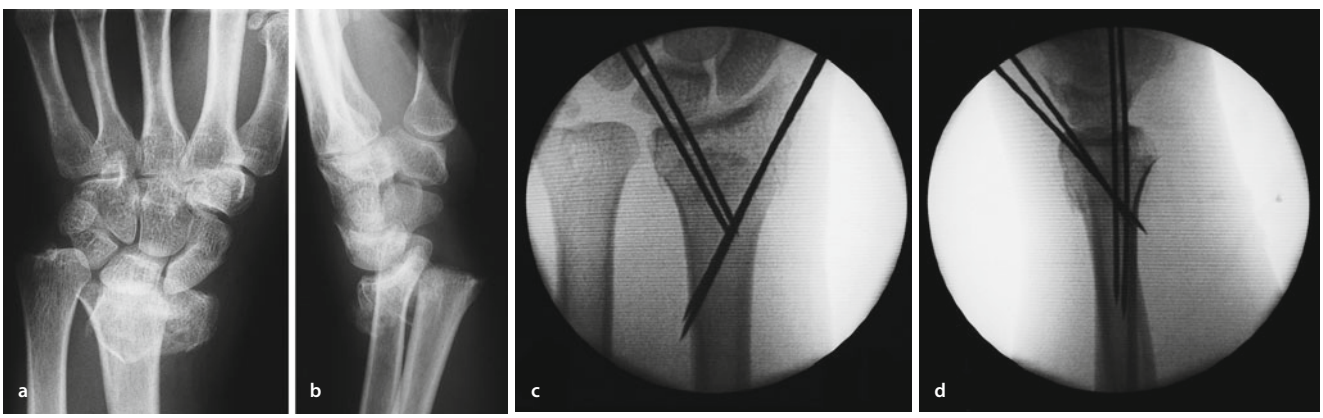


Abb. 6.70a–d **a,b** Galeazzi-Verletzung eines 46-jährigen Mannes. **c,d** Nach geschlossener Reposition stellt sich die gelenkgerechte Stellung im Karpoulnargelenk spontan ein. Der Extensionsbruch der Radiusbasis wurde mit perkutanen K-Drähten versorgt

erneut, wobei die Stabilität der Osteosynthese besonders wichtig ist, und lagert im Bruchbereich autologe Spongiosa an.

Nach Implantatentfernung kann eine Refraktur auftreten. Die Angaben über die Häufigkeit dieses Risikos in der Literatur schwanken. Es werden Raten bis zu 15% genannt, die freilich nicht repräsentativ sind, aber verdeutlichen, dass es diese Problematik gibt. Es ist bekannt, dass mit zunehmender Liegedauer eines Implantats die Gefahr der Refraktur sinkt.

Brückenkallus kann sich bilden, wenn die Membrana interossea verletzt wird. Es werden Raten bis zu 9,5% angegeben. Die Häufigkeit korreliert mit folgenden Faktoren:

- Polytrauma
- Schädel-Hirn-Trauma
- Schweregrad des lokalen Traumas
- Gemeinsames Frakturhämatom beider Röhrenknochen bei verletzter Membrana interossea
- Iatrogene Verletzung der Membrana interossea durch:
  - Präparation,
  - überstehende Schrauben,
  - fehlplatzierte Spongiosa.

Der proximale Schaftbereich ist besonders gefährdet, weil die beiden Röhrenknochen hier in unmittelbarer Nähe nebeneinander liegen. Bauer et al. (1990) haben gefunden, dass sich Brückenkallus gehäuft gebildet hat, wenn proximale Unterarmfrakturen über einen gemeinsamen Zugang von dorsal (Zugang nach Boyd) versorgt worden waren.

Komplette Unterarmfrakturen sollten daher, wenn möglich, über 2 getrennte Zugänge versorgt werden.

Um Rezidive zu vermeiden, sollten radioulnare Synostosen frühestens nach 14–18 Monaten entfernt werden. Proximal geht man dazu über einen volaren Zugang, ansonsten über einen ulnaren Zugang auf die Membrana interossea ein und reseziert den Brückenkallus. Anschließend wird zur Prophylaxe neuer Verkalkungen mit Indometacin in einer Dosierung von 2-mal 50 mg/Tag für 6 Wochen nachbehandelt.

6.4.4 Distale Radiusfraktur

Ätiologie

Die distale Radiusfraktur ist mit einem Anteil von 17% aller Frakturen der häufigste Knochenbruch überhaupt (Palmer 1988). Im jüngeren Lebensalter sind vorwiegend Männer betroffen, im höheren dagegen Frauen und generell überwiegend ältere Menschen (Petracic 1993). Die Frakturen entstehen meist durch Stürze auf die dorsalextendierte oder volarflektierte Hand. Dabei spielt die Stellung im Handgelenk im Moment der Krafteinwirkung die entscheidende Rolle (Oestern 1991): Die typische Radiusbasisfraktur mit dorsaler Fehlstellung, die in 90% der Fälle vorliegt, tritt bei einem Extensionswinkel zwischen 40° und 90° ein, während bei mehr als 90° Extension die Handwurzel und bei weniger als 40° Unterarm- und Ellenbogen verletzt werden. Bei volarflektiertem Handgelenk entstehen die viel selteneren Flexionsfrakuren.

Klinik

Auffällig sind Schwellung, Druck- und Bewegungsschmerz sowie Functio laesa und Fehlstellung. Charakteristisch ist die so genannte Bajonettstellung, bei der das Handgelenk gegenüber der Unterarmachse nach dorsoradial versetzt und, durch den muskulären Zug bedingt, nach proximal eingestaucht steht. Bei Skaphoidfrakturen, die gelegentlich begleitend oder isoliert auftreten, bestehen ein Druckschmerz über der Tabatière und ein Stauchungsschmerz des 1. Mittelhandknochens.

Wichtig ist, nach begleitenden Gefäß- und Nervenläsionen zu fahnden, um im Zweifelsfall zwischen traumatischer und iatrogener Genese differenzieren zu können.

Diagnostik

Zur ausreichenden Beurteilung einer distalen Radiusfraktur genügen in der Regel die konventionellen Röntgenbilder des Handgelenks in 2 Ebenen. Liegt eine Einstauchung vor, sollte wegen einer möglichen Ulnavariante die unverletzte Seite zum Vergleich im a.p.-Strahlengang geröntgt werden. Eine CT empfiehlt sich bei Impression oder Zertrümmerung der Gelenkfläche.

Begleitende Verletzungen des Karpus sind gar nicht so selten (Kapitel 7, Hand). Man sucht nach Frakturen und Luxationen im Bereich der Handwurzel, nach einer Verletzung des skapholunären Bandes (SL-Dissoziation) oder des Discus articularis (TFCC-Läsion, ▶ Abschnitt 6.4.6.2) oder einer Zerreißung des 6. Strecksehnenfachs. Zur Erkennung von karpalen Instabilitäten werden die konventionellen Röntgenaufnahmen durch Stressaufnahmen in maximaler Radial- und Ulnarduktion ergänzt. Eine skapholunäre Dissoziation kann zusätzlich mit einer palmodorsalen Aufnahme bei kraftvollem Faustschluss dargestellt werden. Im seitlichen Röntgenbild muss nach einer vermehrten Palmarflexion des Skaphoids sowie Dorsalextension des Lunatums gefahndet werden (◘ Abb. 7.21).

Bei Verdacht auf Skaphoidfraktur (▶ Kap. 7, Hand) braucht neben der standardmäßigen Röntgendiagnostik in 2 Ebenen nur die so genannte Stecher-Aufnahme durchgeführt werden. Bei dieser Aufnahme muss der Patient eine Faust machen und die Hand ulnar abduziert halten. Dadurch wird das Skaphoid gestreckt und in gesamter Länge dargestellt. Fast alle Skaphoidfrakturen lassen sich allein mit diesen 3 Projektionen nachweisen. Für besondere Fragestellungen zum Frakturverlauf und zur Abklärung unklarer Operationsindikationen hilft ein CT weiter. Eine MRT mit Kontrastmittel würde den Rahmen der Routinediagnostik natürlich sprengen. Folglich werden Diskusverletzungen in der Regel erst zu einem späteren Zeitpunkt erkannt. Unerlässlich ist jedoch die neurologische Beurteilung zum Ausschluss einer Mitbeteiligung des N. medianus.

Die gelegentlich auftretenden begleitenden Skaphoidfrakturen, Luxationen der Handwurzel und SL-Bandrupturen können leicht übersehen werden.

Klassifikation

Es gibt zahlreiche Einteilungen der distalen Radiusfrakturen. Die bekanntesten sind die nach Frykman (Schmidt u. Lanz 1992) und die der AO. Die genannten Klassifikationen unterscheiden relativ viele Typen voneinander, was hilfreich für den Vergleich klinischer Studien ist, aber auch für die richtige Therapiewahl im klinischen Alltag (◘ Abb. 6.71) (Übersicht).

Klassifikation der distalen Radiusfrakturen

A: Extraartikuläre Fraktur

- A1 Fraktur der Ulna, Radius intakt
- A2 Fraktur des Radius, einfach und impaktiert
- A3 Fraktur des Radius mit dorsaler Trümmerzone

▼

B Partiell artikuläre Fraktur des Radius
- B1 Sagittal
- B2 Dorsal (Barton)
- B3 Volar (reversed Barton, Goyrand-Smith II)

C Vollständig artikuläre Fraktur des Radius
- C1 Artikulär und metaphysär einfach (T-Bruch)
- C2 Artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär
- C3 Artikulär mehrfragmentär

Isolierte metaphysäre Frakturen ohne begleitende Bandverletzung gelten als weitgehend stabil. Das Fortschreiten der Dislokation verhindern ein unversehrter ulnarer Bandapparat und ein intaktes distales Radioulnargelenk. Dagegen sprechen folgende Kriterien für Instabilität (Schwarz 2003):
- Verkippung der Gelenkfläche um >20°
- Dorsale metaphysäre Trümmerzone
- Ulnarvorschub >3 mm
- Intraartikuläre Fraktur
- Ulnare Begleitverletzungen wie Abrissfraktur des Processus styloideus ulnae
- Patientenalter >60 Jahre

Bei Zutreffen von drei oder mehr der genannten Kriterien ist von einer instabilen Situation auszugehen.

Überdies muss bei der Wahl des richtigen Vorgehens in der Gruppe der intraartikulären Frakturen (Typ B) zwischen den sehr häufig auftretenden Extensions- und den seltenen Flexionsfrakturen unterschieden werden, weil letztere nur mit einer volaren Platte stabil versorgt werden können.

Konservative Therapie

Die Indikation zur konservativen Therapie kann bei A2-Frakturen der AO-Klassifikation bestehen. Außerdem ist diese generell bei allen Frakturtypen gegeben, wenn das Operationsrisiko aufgrund schwerer begleitender Erkrankungen oder Verletzungen zu hoch ist. Außerdem müssen die Erwartungen und Ansprüche der zum Teil sehr alten Patienten bei der Therapieplanung berücksichtigt werden.

Laut Fernandez und Jupiter (1996) sind extraartikuläre Frakturen mit wenig Fragmentierung, weniger als 5–10° dorsaler oder volarer Abkippung, wenigen Millimetern radialer Verkürzung stabil und haben eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Reposition im Gips gehalten werden kann. Laut Schwarz (2003) treten solche Frakturtypen in der Praxis selten auf und »ein gutes Repositionsergebnis geht manchmal schon nach 24 Stunden wieder verloren. Trotz minutiöser, wiederholt angewandter Repositions- und Gipstechniken heilen viele der konservativ behandelten Brüche in Fehlstellung aus.«

Unabhängig von der Art der Versorgung sollte die Fraktur zur wirksamen Schmerzbekämpfung möglichst rasch zumindest provisorisch mit einer gepolsterten oder pneumatischen Schiene ruhiggestellt werden.

Dringlichkeit

Dislozierte Frakturen werden möglichst bald eingerichtet, um Weichteilschäden und Verkürzung von Muskeln und Bändern zu vermeiden. Bei begleitenden Störungen von Motorik, Sensibilität oder Durchblutung duldet die Reposition keinen Aufschub.

Anästhesie

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Schmerzausschaltung. Die Bruchspaltanästhesie wird relativ häufig eingesetzt, nicht zuletzt deshalb, weil sie organisatorisch wenig aufwändig ist. Man kann sie selbstständig durchführen und braucht sich nicht mit dem Zeitplan des Anästhesisten abzustimmen. Nachteilig ist, dass die Patienten häufig nicht ganz schmerzfrei werden.

Wenn der Ambulanzbetrieb gut organisiert ist, empfiehlt sich die intravenöse Regionalanästhesie, bei der die Patienten sicher schmerzfrei sind und dies bei relativ geringem Aufwand und Risiko. Auch eine Leitungsanästhesie des axillären Plexus ist denkbar, insgesamt aber zeitaufwändiger, weil die Wirkung später eintritt

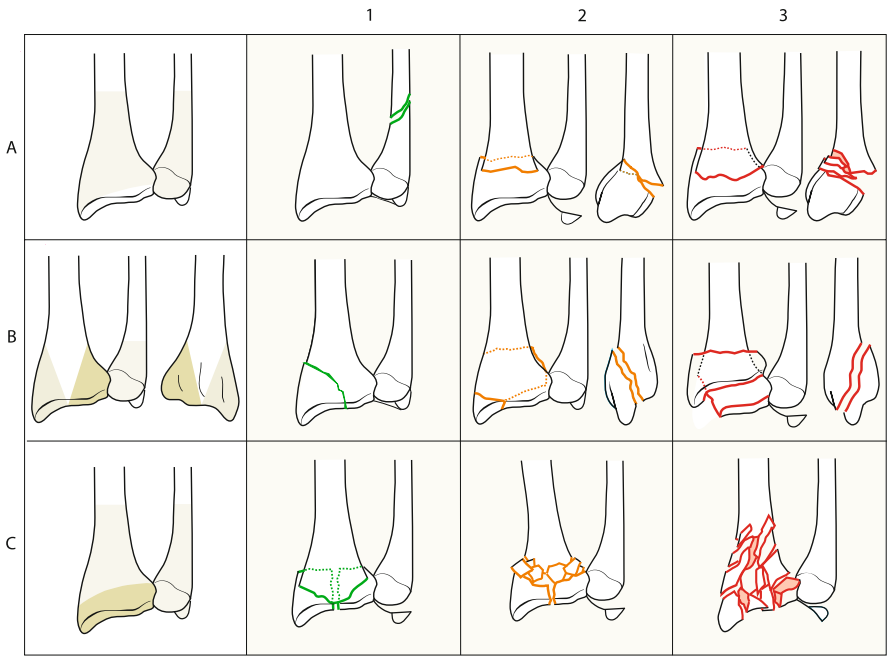


Abb. 6.71 AO-Klassifikation der distalen Unterarmfrakturen
a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Ulnafraktur, Radius intakt (eine Operationsindikation für diese Brüche ergibt sich bei Instabilität des DRUG)
A2: Radius extraartikulär, einfach
A3: Radius extraartikulär, mehrfach
b Partiell intraartikuläre Frakturen (Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Radius sagittal
B2: Dorsale Kantenfraktur (Barton)
B3: Palmare Kantenfraktur (»reverse Barton«)
c Vollständig artikuläre Fraktur (Untergruppen C1.1 bis C3.3)
C1: Artikulär und metaphysär einfach
C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfach
C3: Artikulär und metaphysär mehrfach
(Aus: Müller-Mai 2010)

und überdies wesentlich länger anhält. Im Klinikalltag wird aber in 55% der Fälle eine Allgemeinnarkose durchgeführt. Dies ergab eine Kohortenstudie an 242 Akutkliniken in Deutschland, in der 1201 Patienten eingeschlossen waren (Smektala et al. 2009).

Bruchspaltanästhesie. Man muss sich zunächst Lage und Richtung des Bruchspalts vergegenwärtigen, was ggf. unter Bildwandlersicht erfolgen kann. Dann wird unter sterilen Kautelen (sterile Handschuhe, Kopf- und Mundschutz) das Frakturhämatom abpunktiert und anschließend 5–10 ml eines 1%igen Lokalanästhetikums in den Bruchspalt instilliert.

Regional- und Leitungsanästhesie. Die einzelnen Verfahren werden in ▶ Kap. 15 »Weichteilschäden und Infektionen«, beschrieben.

Bei der **intravenösen Regionalanästhesie** wird am verletzten Arm eine doppellumige Blutsperremanschette am Oberarm angelegt. Anschließend wird eine Vene am Handrücken punktiert. Dann wird der distale Extremitätenabschnitt mit einer Gummibinde ausgewickelt oder, wenn dies für den Patienten zu schmerzhaft ist, lediglich einige Minuten hoch gehalten und dadurch blutleerer gemacht. Dann wird zunächst die proximal liegende Kammer insuffliert, sodass eine Blutsperre entsteht. Das Venensystem distal der Manschette wird nun mit 20–40 ml einer beispielsweise 1%igen Lösung eines kurz- bis mittellang wirksamen Lokalanästhetikums (Mepivacain oder Xylocain) aufgefüllt. Nach wenigen Minuten ist der von der Durchblutung abgesperrte Extremitätenabschnitt schmerzfrei. Nun wird die distale Kammer aufgeblasen. Bevor nun die proximale Kammer entlüftet wird, muss man sich vergewissern, dass die distale Kammer tatsächlich prall gefüllt ist, sonst könnte das Lokalanästhetikum vorzeitig ausgeschwemmt werden und systemisch in gefährlich hoher Konzentration anfluten. Dies könnte zu lebensbedrohlichen kardialen Begleitreaktionen führen. Nachdem man sich vergewissert hat, wird die proximale Kammer entlüftet. Da die Blutsperre jetzt im bereits anästhesierten Gebiet sitzt, verspürt der Patient den auf Dauer unangenehmen Druck der Manschette nicht mehr. Der Bruch kann nun eingerichtet werden.

Die Manschette wird erst nach einer Mindestliegedauer von 20 min, wenn das örtliche Betäubungsmittel ins Gewebe diffundiert ist, in mehreren Etappen von jeweils etwa 10 s Dauer geöffnet und anschließend wieder für 2–3 min geschlossen. Dieses Vorgehen gewährleistet, dass das Lokalanästhetikum nur portionsweise in den Kreislauf gelangt.

Bei der **Leitungsanästhesie** in Form einer axillären Plexusblockade orientiert sich der Anästhesist an der Pulsation der A. axillaris in der Furche der Achselhöhle zwischen M. pectoralis major und M. latissimus dorsi. Die Punktionsstelle liegt direkt über der tastbaren Pulsation der A. axillaris, möglichst weit proximal. Die Kanüle wird in Richtung auf den kranialen Rand der Arterie eingestochen. In weniger als 1 cm Tiefe erreicht man die Faszienscheide, in die 20–40 ml eines 1%igen Lokalanästhetikums instilliert werden.

Repositionstechnik

Reposition im Aushang. Es gibt 2 Vorgehensweisen: Wenn man keinen Helfer hat, empfiehlt es sich, die Reposition im Aushang z.B. unter Bruchspaltanästhesie vorzunehmen. Der Patient liegt auf dem Rücken. Der Oberarm ist 90° abduziert, sodass man den Arm an mit Haken armierten Fingerextensionshülsen, so genannten Mädchenfängern, die auf die Finger (D1–D3 oder D4) gesteckt werden, aufhängen kann. Am Oberarm wird ein 3–5 kg schweres Gewicht befestigt, das für ausreichenden Gegenzug sorgt. Die

Abb. 6.72 Reposition einer distalen Radiusfraktur im Aushang

Bruchspaltanästhesie kann bereits vorher oder erst am hängenden Arm gesetzt werden. Den Arm lässt man mindestens 15 min in dieser Position hängen, damit er schmerzfrei wird und der Muskelzug abnimmt (Abb. 6.72).

Dann erfolgt die manuelle Reposition, die unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt wird. Mit einer Hand fasst man Handwurzel und Mittelhand, mit der anderen den distalen Unterarm. Falls die Hauptfragmente miteinander verhakt sind, muss man sie zuerst lösen, indem man die beiden Hauptfragmente in die Richtung der stattgehabten Gewalteinwirkung voneinander wegbewegt (genetische Reposition). Erst dann können durch Längszug die Hauptfragmente aufeinander gestellt werden. Oft verbleibt eine gewisse Dorsalversetzung des distalen Hauptfragments. Diese lässt sich jedoch meist durch gezielten, punktuell aufgebrachten Druck einrichten. Dazu umgreift man mit beiden Händen den distalen Unterarm von dorsal, sodass sich die Langfinger auf der volaren Seite befinden, wo sie ineinander verschränkt werden. Anschließend drückt man mit beiden Daumen auf das Tuberculum Listeri und kann nun das distale Hauptfragment mit dosierter Gewalt in die gewünschte Position drücken (Abb. 6.73).

Falls die Fraktur nach Reposition zum erneuten Abrutschen tendiert, was man ebenfalls unter Bildwandler prüfen kann, ist eine perkutane Osteosynthese mit K-Drähten (s. unten) indiziert. Nach erfolgter Reposition wird eine dorsale Unterarmgipsschiene angelegt.

Reposition mit einem Helfer. Wenn ein Helfer zur Verfügung steht, der den Arm während der Reposition, einer etwaigen Spickdrahtosteosynthese und dem Anlegen der Gipsschiene am Oberarm gegenhält, können die einzelnen Schritte auch ohne Aushang durchgeführt werden. Für dieses Vorgehen eignet sich am besten eine intravenöse Regionalanästhesie des Unterarms (s. oben).

Der Patient liegt ebenfalls auf dem Rücken. Der Helfer steht dem Arzt, der die Reposition vornimmt, zugewandt und hält den Oberarm des Patienten. Der Arzt umgreift mit einer Hand die Mittelhand des Patienten und mit der anderen den distalen Unterarm. Nach genetischer Reposition werden die Hauptfragmente aufeinander gestellt. Bei verbleibender Fehlstellung stellt man sich

Abb. 6.73 Reposition durch Druck auf das distale Hauptfragment mit beiden Daumen von dorsal, dargestellt für die Reposition im Aushang. (Aus: Brand u. Nonnenmacher 1994)

vorübergehend an das Kopfende des Patienten und umfasst, wie oben beschrieben, den distalen Unterarm mit beiden Händen und kann dann mit beiden Daumen ausreichend Kraft aufbringen, um das distale Hauptfragment gänzlich zu reponieren.

Falls eine Spickdrahtosteosynthese indiziert ist, wird mit einer Hand die Reposition gehalten, mit der anderen die Osteosynthese durchgeführt. Die Reposition kann bei Extensionsbrüchen, die üblicherweise in der beschriebenen Art versorgt werden, am besten durch Hyperflexion des Handgelenks gehalten werden. Man umgreift, wenn die Verletzung auf der rechte Seite liegt, nach erfolgter Reposition die Mittelhand des Patienten mit seiner linken Hand und redressiert den reponierten Bruch durch maximale Beugung im Handgelenk. Dadurch arretiert man die Fraktur durch maximale Ligamentotaxis auf der Streckseite, ohne dass der Helfer Gegenzug ausüben müsste. Es genügt, wenn dieser das Gewicht des Arms hält. Durch die gewonnene Bewegungsfreiheit kann das Handgelenk für die Spickdrahtosteosynthese einfacher im Zentralstrahl des Bildwandlers eingestellt und in Absprache mit dem Helfer gemeinsam in den seitlichen Strahlengang gedreht werden, sodass beim Drehen eine noch nicht ausreichend fixierte Fraktur nicht abrutscht. Mit der rechten Hand werden in der Regel 3 K-Drähte perkutan eingebracht (s. unten). Anschließend wird die Hyperflexion aufgehoben und eine dorsale Gipsschiene angelegt.

Anlegen einer dorsalen Gipsschiene

Frische Frakturen werden in einer dorsalen Gipsschiene ruhiggestellt. Dazu wird über Mittelhand und Unterarm zunächst ein Baumwollschlauchverband gestülpt, der doppelt so lang sein soll wie der eingeschlossene Extremitätenabschnitt, weil er sich nicht nur beim Aufdehnen verkürzt, sondern überdies später an den Rändern umgeschlagen werden soll. Nun polstert man sparsam das Handgelenk und die Stellen, an denen später die Ränder der Gipsschiene zu liegen kommen, nämlich Mittelhandköpfchen und proximalen Unterarm mit 1–2 Touren einer Wattebinde. Damit der Gips nicht mit der Körperbehaarung verklebt, wird als nächste Schicht eine Papierbinde angewickelt. Dann legt man eine vorbereitete Gipslonguette dorsal an. Die Longuette soll von den Mittelhandköpfchen bis 2 Querfinger breit distal der Ellenbeuge reichen. Sie wird doppelt, also 8-lagig genommen, damit sie ausreichend stabil ist. Ihre Breite soll so bemessen sein, dass sie im Handgelenkbereich ulnar und radial nach volar reicht und dort nur einen etwa 3 cm breiten gipsfreien Spalt frei lässt, der sanduhrförmig, dem vermehrten Umfang des angrenzenden Unterarms bzw. der Mittelhand folgend, nach proximal und distal breiter wird. Beim Erwachsenen verwendet man 10, 12 oder 15 cm breite Longuetten. Nun wird der Trikotverband an den Enden umgeschlagen, wodurch man gipsfreie, gepolsterte Ränder erhält. Dann wird die Longuette anmodelliert. Dabei muss das Handgelenk in 20°- bis 30°-Dorsalextension und 0°-Abduktion (s. unten) stehen.

Damit der Faustschluss nicht beeinträchtigt wird, was für den venösen Rückstrom von großer Bedeutung ist, darf der Gips nur bis zur proximalen Hohlhandbeugefalte reichen. Andererseits soll er streckseitig die Mittelhandköpfchen zur Prophylaxe eines Handrückenödems mit einschließen. Gleichzeitig muss man darauf achten, dass die Mittelhand nicht seitlich eingeengt wird, sondern flach bleibt, sonst blockiert man den Faustschluss. Proximal muss die Longuette 2 Querfinger distal der Ellenbogengelenkbeugefalte enden, damit die Flexion freibleibt.

Dreipunkteabstützung

Ob das Repositionsergebnis in der Gipsschiene gehalten werden kann, darüber entscheidet nicht nur der Bruchtyp, sondern auch die Tatsache, ob durch die Schiene eine Dreipunkteabstützung an folgenden Stellen ausgeübt wird:

- dorsal über dem proximalen Unterarm,
- volar über dem distalen Unterarm,
- dorsal über der Handwurzel.

Um diese Dreipunkteabstützung umzusetzen, muss man die Schiene beim Aushärten an den genannten Punkten besonders gut anmodellieren und zusätzlich über der dorsalen Handwurzel eine Delle einmassieren. Diese Delle muss breitflächig sein, damit keine Druckstellen entstehen. Noch während des Aushärtens wird die Longuette mit einer Baumwollbinde angewickelt. Zuletzt schneidet man den gesamten Verband bis auf die letzte Faser auf der Beugeseite ulnar auf, damit, falls die posttraumatische Schwellung weiter zunimmt, keine neurovaskulären Ausfälle durch die dann strangulierende Wirkung des Verbandes entstehen können, und wickelt das Ganze schließlich mit einer elastischen Binde stabil an (Abb. 6.74).

Stellung des Handgelenks

Die Ruhigstellung des Handgelenks sollte in der Regel in 20°- bis 30°-Dorsalextension und 0°-Abduktion erfolgen. Dies hat folgende Gründe: Auf das distale Hauptfragment, das die radiale Gelenkfläche trägt, wirkt ein Kraftvektor. Dieser Vektor entsteht durch Zug der Muskeln und Bänder, die das Handgelenk überbrücken. Je nachdem, ob das Handgelenk in Volarflexion, Neutralposition oder Dorsalextension ruhiggestellt wird, trifft dieser Kraftvektor dorsal, mittig oder volar auf die radiale Gelenkfläche. Dies wirkt sich wiederum auf die zu haltende Reposition aus. Bei den in aller Regel vorliegenden Extensionsfrakturen wird das Handgelenk in 20°- bis 30°-Dorsalextension eingestellt. Dadurch drückt der Kraftvektor auf die volare Gelenklippe und wirkt damit einer Redislokation in die Extensionsfehlstellung entgegen (Blatter et al. 1994; Abb. 6.75).

Flexionsfrakturen lassen sich nach Reposition im Gips ohnehin nicht halten. Sie müssen mit einer Plattenosteosynthese von volar stabilisiert werden (s. unten).

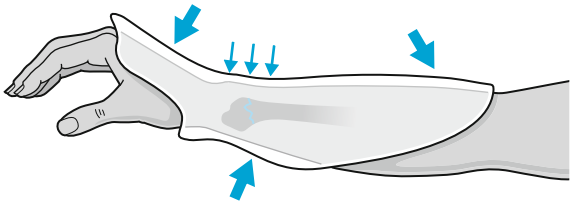


Abb. 6.74 3-Punkte-Abstützung einer dorsalen Gipslonguette mit Delle über der dorsalen Handwurzel (große Pfeile). Dadurch wird die Reposition gehalten (kleine Pfeile)

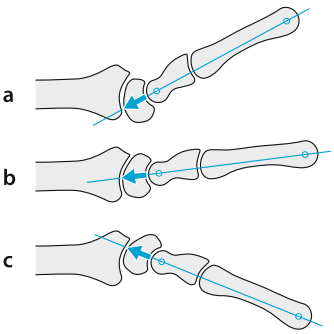


Abb. 6.75a–c Auftreffen des Kraftvektors in Abhängigkeit von Dorsalextension (**a**), Neutralposition (**b**) oder Volarflexion (**c**)

Manche Autoren propagieren die Ulnarduktion als Ruhigstellungsform, um über die Abstützung des Karpus an der Ulna eine Zugwirkung auf den distalen Radius zu bekommen. Die Neutral-Null-Stellung sollte jedoch bevorzugt werden, weil eine ulnare Instabilität nicht nur bei abgerissenem Processus styloideus ulnae, sondern auch in den vielen Fällen rein intraligamentärer Verletzungen des Discus articularis, die auf den konventionellen Röntgenbildern gar nicht erkennbar sind, besteht. Wenn man in dieser Situation nun die Hand ulnar abduziert ruhigstellt, führt dies dazu, dass durch Rotation des Karpus um eine gedachte sagittale Achse ein abgerissener Ellengriffel nach radial disloziert bzw. eine intraligamentäre Ruptur zu klaffen beginnt. In beiden Fällen würde man die Rupturpartner voneinander trennen, was die Heilung erschwert oder unmöglich macht.

Operative Therapie

Indikation

Alle instabilen Brüche müssen zusätzlich zur Ruhigstellung operativ stabilisiert werden. Die Wahl des Verfahrens hängt vom Bruchtyp ab.

Kontraindikationen

Bei sehr schlechter Knochenqualität und hohem Lebensalter wird die Indikation zum operativen Eingreifen weniger strikt gestellt. Erste Präferenz hat dann ein den Patienten möglichst wenig belastendes Vorgehen und nicht die möglichst uneingeschränkte Funktion.

Dringlichkeit

Wie auch bei der konservativen Therapie sollte die Versorgung zum frühestmöglichen Zeitpunkt erfolgen (s. oben). Bei komplexen Frakturen sollte zumindest die definitive operative Versorgung erst nach 3–5 Tagen nach Abschwellung vorgenommen werden.

Aufklärung

Neben den üblichen Risiken wie Infektion und Nachblutung muss man den Patienten, abhängig von der Art des gewählten Verfahrens, auf verschiedene Dinge aufmerksam machen. Die Spickdrahtosteosynthese und der Fixateur externe kommen zwar, da sie perkutane Verfahren sind, mit den kleinstmöglichen Zugängen aus, verursachen aber häufig Weichteilprobleme. Die Verteilung der einzelnen Risiken ist in Tab. 6.6 aufgelistet.

Operationstechniken

Eine Reihe operativer Verfahren steht zur Verfügung. Die Schwierigkeit ist, das Richtige zu wählen. Da sich die einzelnen Bruchtypen nicht immer zweifelsfrei einem bestimmten Typ zuordnen lassen und andererseits auch Weichteilsituation und Knochenqualität über die Art des Eingriffs mitentscheiden, soll die folgende Übersicht lediglich als Richtschnur verstanden werden.

Perkutane K-Drahtosteosynthese

Diese Form der Versorgung instabiler Frakturen des distalen Radius nimmt keinen so hohen Stellenwert mehr ein wie noch vor Jahren, als es noch keine anatomisch geformten winkelstablien Platten gab. Sie birgt verfahrenstypische Risiken (Tab. 6.6), weshalb sie von manchen Autoren (Wiemer 1999) zunehmend weniger eingesetzt wird. Aufgrund seiner Einfachheit, Effizienz und Schnelligkeit wird das Verfahren aber noch für pädiatrische Frakturen und für einfache extraartikuläre Frakturen bei Erwachsenen vom Typ A2 der AO, wenn keine Instabilitätskriterien vorliegen, genutzt (Stahel et al. 2005). Radiologische Instabilitätskriterien distaler Radiusfrakturen sind in der Übersicht aufgeführt.

Radiologische Instabilitätskriterien distaler Radiusfrakturen

- Dorsale Trümmerzone mit Radiusverkürzung >4 mm
- Abrissfraktur des Processus styloideus ulnae
- Dorsale Abkippung des distalen Fragmentes >20°
- Abbruch einer palmaren Gelenklippe
- Palmarkippung des distalen Fragmentes bei schrägem Frakturverlauf

Lagerung und Abdeckung. Man kann die perkutane Spickdrahtosteosynthese am extendierten, hängenden Arm oder auf einem Armtisch gelagert durchführen, man kann aber den Arm auch zusammen mit einem Helfer freihand halten und versorgen (s. oben). Das letztgenannte Vorgehen hat den Vorteil, dass der Bildwandlereinsatz besonders einfach ist, weil beim Rangieren dieses unhandlichen Geräts nichts im Weg steht. Die Abdeckung erfolgt am besten durch eine U-Folie mit klebendem Rand.

Vorgehen. Die Fraktur wird zunächst in oben beschriebener Weise eingerichtet. Die Schwierigkeit ist nun, dass man nur eine Hand zur Verfügung hat, um das Repositionsergebnis zu halten, während man mit der anderen die Spickdrahtosteosynthese durchführt. Wenn der volare Pfeiler steht, kann man das Repositionsergebnis durch eine Hyperflexion des Handgelenks halten. Durch die Abstützung über den intakten volaren Pfeiler wird ein Abrutschen in die Extensionsfehlstellung verhindert. Wenn der volare Pfeiler instabil ist, muss man das Handgelenk nach Reposition mit einer Hand schienen. Dazu umgreift man es ulnar, sodass der Processus styloideus radii für das Einbringen der Spickdrähte frei bleibt.

Tab. 6.6 Risiko der jeweiligen Verfahren. Neben den üblichen Risiken muss der Patienten auf verfahrensspezifische Risiken hingewiesen werden

Art des Risikos	Spickdrähte	Fixateur	Dorsale Platte	Volare Platte	Schrauben
Nervenläsion	++	+	+	+	+
Gefäßläsion				+	
Sehnenläsion	+	++	++	+	
Weichteilläsion	++	++	+		
Sek. Dislokation	++	++			
Algodystrophie	++	++	+	+	
Implantatlockerung	++	++	+	+	
Pseudarthrose	+	++			

+ = eher selten, ++ = eher häufig

Abb. 6.76a–d **a,b** Dislozierte Extensionsfraktur der Radiusbasis eines 53-jährigen Mannes. **c,d** Die Fraktur wurde geschlossen reponiert und mit 3 K-Drähten perkutan stabilisiert

Für die Osteosynthese verwendet man K-Drähte der Stärke 1,6, 1,8 oder 2,0. Bei guter Knochenqualität reichen dünnere Drähte aus, bei schlechter empfehlen sich dickere. Um den richtigen Eintrittspunkt und die ideale Richtung zu bekommen, wird der Draht zunächst im a.p.-Strahlengang des Bildwandlers dorsal über die Radiusbasis gehalten. Man merkt sich den Eintrittspunkt in Höhe des Processus styloideus radii, den man überdies palpiert, bevor man den Draht perkutan auf den Speichengriffel aufsetzt. Die Richtung in der seitlichen Ebene lässt sich einfach treffen, indem man nicht mittig im Verlauf der Unterarmachse, sondern leicht nach dorsal geneigt, Richtung Olekranon zielt (Wittner u. Holz 1993). Würde man dagegen den Draht mittig zur Unterarmachse ausrichten, könnte man leicht palmar perforieren, weil der distale Radius zur Beugeseite hin gekrümmt ist.

Nach Perforation der diesseitigen Kortikalis gelangt man in den metaphysären Raum, der nur wenig Widerstand bietet. Anschließend trifft man auf die Gegenkortikalis, was am harten Bohrwiderstand deutlich zu spüren ist. Es ist wichtig, die Bohrmaschine nun gleichmäßig hochtourig laufen zu lassen, um am leichten Abfallen der Frequenz des Bohrgeräuschs erkennen zu können, dass die Spitze des Spickdrahts in diesem Moment die Gegenkortikalis perforiert. Im gleichen Moment nimmt man den Anpressdruck weg. Dadurch kann man erreichen, dass man den Spickdraht auf der Gegenseite nicht über Kortikalisniveau hinaus ins Gewebe vorbohrt, sondern diesen unmittelbar nach dem Durchtritt seiner Spitze abfängt.

Ein zweiter Draht wird, dorsal versetzt zum ersten, eingebracht. Dabei kann der Draht sowohl parallel als auch fächerförmig ausgerichtet werden. Dies hängt vom vorhandenen Platz und der Dicke der Implantate ab.

Dorsale Abscherbrüche oder Fragmente müssen mit einem eigenen Spickdraht, der die dorsale Gelenklippe fasst, fixiert werden. Wegen der Nähe zu Nerven und Gefäßen ist beim Einbringen dieses Drahts besonders wichtig, dass die Drahtspitze die radiovolare Gegenkortikalis nur gerade so weit überragt, dass dieser sicher verankert ist (Abb. 6.76).

Bei T-Frakturen muss zuerst versucht werden, einen stabilen Gelenkblock zu bilden, indem ein, evtl. auch 2 Drähte möglichst nahe und parallel zur Gelenkfläche eingebracht werden. Die Drähte verhindern, dass sich eine Stufe im Gelenk bildet, wenn der auf diese Art stabilisierte Gelenkblock im zweiten Schritt auf das proximale Hauptfragment gestellt und mit weiteren Spickdrähten gesichert wird (Abb. 6.77).

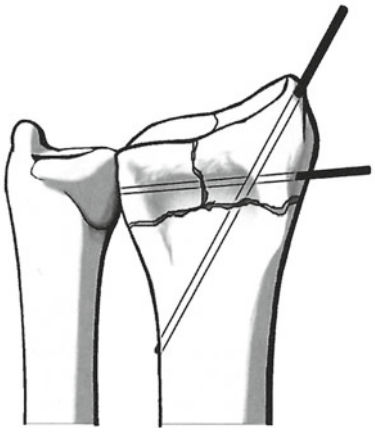


Abb. 6.77 Bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung muss zuerst ein Gelenkblock stufenfrei mit einem K-Draht gebildet werden, bevor dieser mit einem Weiteren auf das proximale Hauptfragment gestellt wird. (Aus: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Nach Beendigung der Osteosynthese werden das Repositionsergebnis und die Lage der Spickdrähte abschließend unter dem Bildwandler geprüft. Anschließend kürzt man die Drahtenden unter Hautniveau ein. Drähte, die die Gegenkortikalis perforieren, brauchen am Ende nicht umgebogen zu werden. Das Umbiegen würde zur Drahtlockerung im weichen epi- und metaphysären Knochen führen. Nur wenn ein Draht ausnahmsweise intramedullär liegt, was bei der Stabilisierung einer begleitenden distalen Ulnafraktur denkbar wäre, muss sein Ende umgebogen werden, damit er bei einer etwaigen Implantatlockerung nicht im Markraum verloren geht.

Repositionstechnik nach Kapandji. Gerade bei jüngeren Patienten gelingt aufgrund des erhöhten muskulären und ligamentären Gegenzugs und auch aufgrund der harten Knochenqualität die Reposition in der beschriebenen Weise oft nur unvollständig. Ein gewisser Versatz des distalen gegenüber dem proximalen Hauptfragment nach dorsal kann verbleiben. In diesen Fällen ist die Methode, die Kapandji (Brand u. Nonnenmacher 1994) angegeben hat, sehr hilfreich. Dabei werden 2 oder 3 Spickdrähte über kurze Längsinzisionen direkt in die Flucht des Frakturspalts geschoben. Anschließend werden sie nach distal gehebelt, wodurch das distale Hauptfragment mit direkter Hebelkraft gehoben wird (Abb. 6.78).

Im Einzelnen geht man folgendermaßen vor: Zunächst schafft man eine etwa 1 cm kurze Inzision der Haut in Höhe des Bruchspalts an dem Punkt, wo man den jeweiligen Draht einbringen möchte. Anschließend spreizt man die Weichteile mit einem Klemmchen auseinander, bis der Bruchspalt in der Tiefe frei liegt. Dann wird ein 2,0 mm starker, kurzer Spickdraht zunächst manuell, nicht in der Bohrmaschine eingespannt, in den Bruchspalt eingeführt. Die manuelle Handhabung erleichtert das Ertasten der Flucht des Bruchspalts. Damit sich der Spalt etwas öffnet, übt der Assistent bei diesem Schritt der Operation einen kräftigen Längszug aus. Dann schiebt man die Spitze des Drahts bis zur Mitte des Markraums vor und kontrolliert dessen Position unter Bildwandler. Nun kippt man den Draht um 45° und distrahiert dadurch die Fraktur. Gleichzeitig kann durch die Kippung auch der dorsale Versatz des distalen Hauptfragments behoben werden, der sich geschlossen oft nicht gänzlich ausgleichen lässt. Anschließend wird das Implantat durch weiteres Vorschieben an der Gegenkortikalis

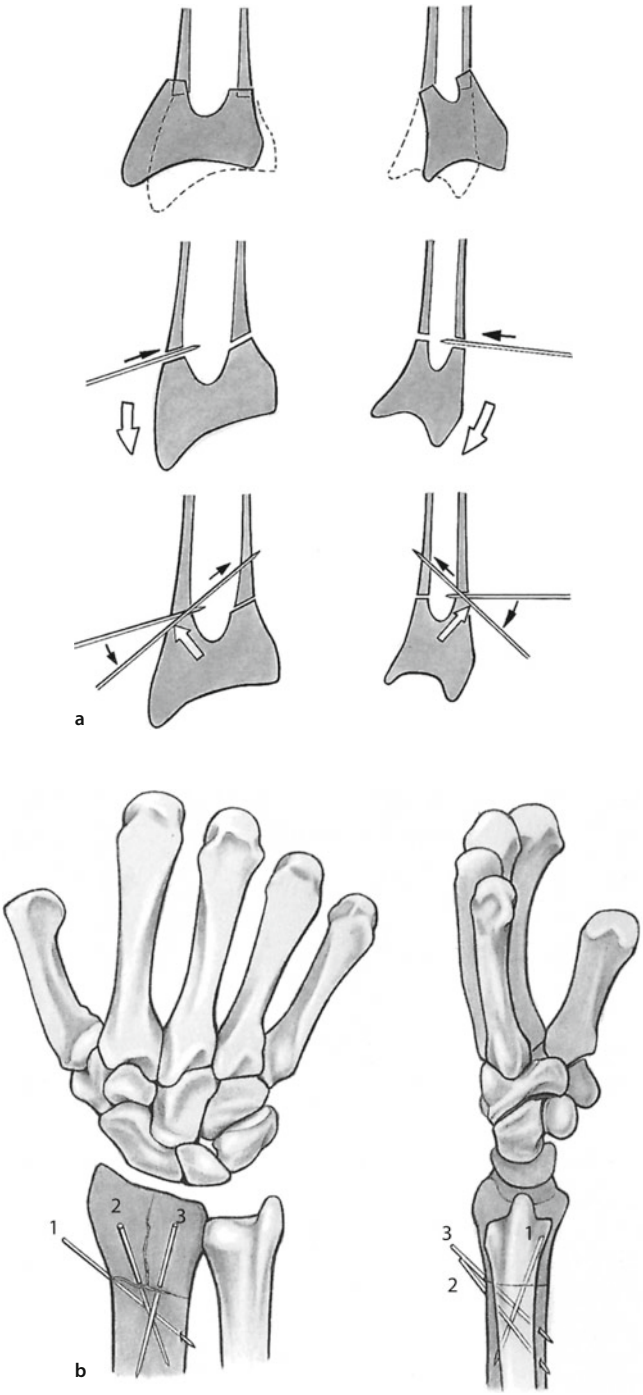


Abb. 6.78a,b Prinzip (**a**) und mögliche Insertionsstellen (**b**) der intrafragmentären Spickung distaler Radiusfrakturen nach Kapandji. (Aus Brand u. Nonnenmacher 1994)

verspreizt. Damit man beim Verspreizen der Drahtspitze ausreichend Kraft aufwenden kann und sich die Drahtenden nicht durch den Handschuh bohren, polstert man die Enden am besten mit einer Kompresse oder fasst den Draht mit einem kräftigen Nadelhalter. Wenn alle Drähte liegen, werden sie mit der Bohrmaschine in der Gegenkortikalis verankert und die überstehenden Längen unter Hautniveau eingekürzt.

Es empfiehlt sich aber, die Kapandji-Repositionstechnik nur zum Einrichten der Fraktur zu benutzen und nicht bestehen zu

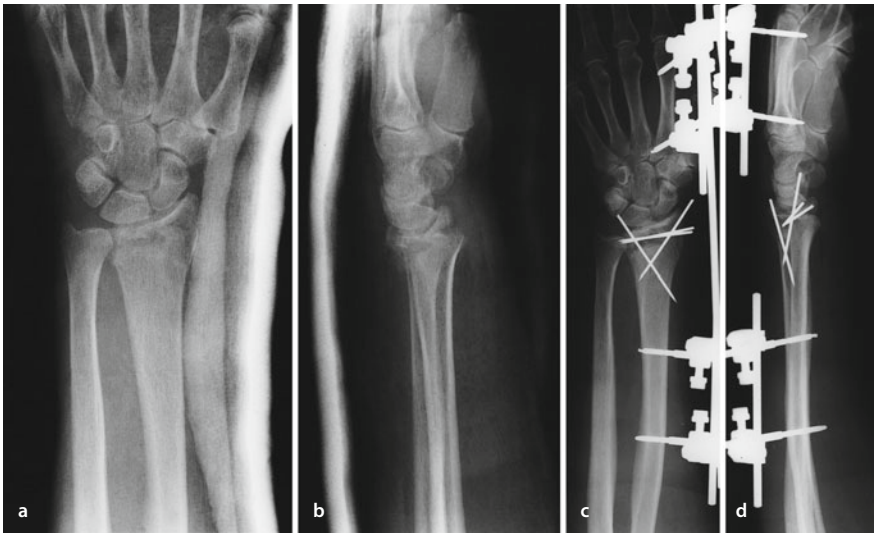


Abb. 6.79a–d **a,b** Eingestauchte, dislozierte Extensionsfraktur der Radiusbasis einer 80-jährigen Frau mit schlechter Knochenqualität. **c,d** Um einer Redislokation vorzubeugen, wird nach perkutaner K-Drahtosteosynthese zusätzlich ein gelenkübergreifender Fixateur externe montiert

lassen, bis diese ausgeheilt ist, denn durch die starke Verspannung der K-Drähte können sekundäre Dislokationen auftreten. Deshalb ist es sicherer, wenn nach erfolgter Reposition eine gewöhnliche perkutane K-Drahtosteosynthese angeschlossen wird und anschließend die Kapandji-Drähte gleich wieder entfernt werden.

Fixateur externe

Indikationen für den Fixateur externe sind:

- Offene Frakturen
- A3-Frakturen mit ausgedehnter dorsaler Trümmerzone
- Intraartikuläre C2 und C3-Frakturen
- Infizierte Fraktur
- Geplanter Verfahrenswechsel

Trümmerfrakturen lassen sich oft nur bedingt reponieren. Sie müssen anschließend durch einen Fixateur externe ruhiggestellt werden. Die Kongruenz der Gelenkfläche wird mit einzelnen Spickdrähten oder Schrauben rekonstruiert.

Vorgehen. Beim Rohrfixateur der AO kommen Schanzschrauben der Stärke 3,5 mm am Radiusschaft und der Stärke 2,7 mm am Metacarpale II zum Einsatz. Die ersten beiden Pins setzt man frakturnah, aber proximal des gut tastbaren Wulsts des M. abductor pollicis longus in den distalen Radiusschaft und distal in die Basis des Metacarpale II. Die Pins sollten aus dorsoradialer Richtung eingebracht werden, damit man sich nicht die beiden Röntgenebenen verstellt. Außerdem sind die knöchernen Strukturen beim Eingehen von dorsoradial nicht von Stecksehnen bedeckt. Dann richtet man die Fraktur unter Bildwandler aus. Anschließend werden die zweiten beiden Pins frakturfern in den Speichenschaft und das Köpfchen des 2. Mittelhandknochens eingebracht und die Montage vervollständigt. Es sind auch andere Systeme gebräuchlich mit etwas dickeren Pins der Stärke 4,0 am Radius und 3,0 am 2. Mittelhandknochen.

Generell sollten die Pins im Bereich der relativ dünnen Mittelhandknochen in die Metaphyse und nicht in die Diaphyse eingeschraubt werden, sonst kann der Schaft gesprengt werden. Aus demselben Grund muss man beim Besetzen des 2. Mittelhandknochens darauf achten, dass man dafür die dünneren Pins verwendet.

Um Hautnerven und Sehnen zu schonen, wird zum Einbringen der Pins nicht die sagittale Richtung gewählt, sondern 30° bis 45° nach radial gekippt vorgegangen. Dies ist insbesondere über dem 2. Mittelhandknochen von Bedeutung, weil man beim sagittalen Vorgehen am Mittelhandköpfchen unweigerlich die Streckerhaube fixieren würde, was zu Verklebungen und, im ungünstigsten Fall, zu bleibenden Bewegungseinschränkungen führt. Über kurze, 0,5–1 cm lange Inzisionen der Haut spreizt man das Weichteilgewebe einschließlich des Periosts, sodass zum Einbringen der Schraube eine kleine Lücke entsteht.

Manche Autoren empfehlen überdies, die Pins konvergierend zueinander einzubringen, um am dünnen Mittelhandknochen die Strecke des knöchernen Gewindegangs und dadurch den Halt der Pins zu vergrößern (Abb. 6.79).

Beim Einbringen von selbstschneidenden Pins rutscht man leicht vom stark gekrümmten Scheitel der relativ kleinen Knochenquerschnitte ab; deshalb empfiehlt sich gerade bei jungen Patienten mit harter Knochenqualität, die diesseitige Kortikalis mit einem Bohrer anzukörnen.

Die Gelenkfläche der Radiusbasis kann mit dünnen K-Drähten der Stärke 1,4 oder 1,6 rekonstruiert werden. Wenn man die einzelnen Fragmente angebohrt hat, lassen sie sich mit dem Spickdraht dirigieren und im Idealfall in eine gelenkgerechte Stellung bringen. Anschließend wird der Draht zum nächsten Fragment vorgebohrt, oder ein zweiter Spickdraht, der dieses Fragment fasst, wird im proximalen Hauptfragment verankert. Auf diese Weise kann ein Block konstruiert werden, der die Gelenkfläche trägt. Dieser Block hat über eine Trümmerzone, die durch den Fixateur stabilisiert wird, Anschluss zum proximalen Hauptfragment.

Es gibt Fälle, bei denen dieses Vorgehen nicht zum Ziel führt, wenn z.B. Teile der Gelenkfläche impaktiert sind. Dann stellt man über einen kurzen dorsalen Zugang die Radiusbasis dar und stößelt impaktierte Gelenkflächen hoch. Anschließend müssen solche Areale mit Spongiosa unterfüttert werden, damit die reponierten Gelenkflächen nicht in die Fehlstellung zurücksintern können. Nur in wenigen Fällen ist die Kombination des Fixateurs mit einer dorsalen oder volaren Platte indiziert. Wenn durch die Distraktion eine große Defektzone entsteht, was bei osteoporotischem Knochen der Fall sein kann, empfiehlt sich eine primäre Spongiosaplastik.

Konventionelle und winkelstabile Plattenosteosynthesen

Das klassische AO-Konzept der offenen Reposition und internen Fixation (ORIF) instabiler distaler Radiusfrakturen beinhaltet die anatomische Rekonstruktion der Gelenkflächen, die Wiederherstellung der radioulnaren und radiokarpalen Stabilität und die Retention der Fraktur. Seit Einführung der 3,5 mm-T-Platte durch Maurice E. Müller Ende der 1960er Jahre galt jahrzehntelang als Goldstandard, distale Radiusfrakturen mit dorsaler Einstauchung von streckseitig und mit volarer Abkippung von palmar zu stabilisieren (Oestern 1999).

Die dorsale Plattenlage ist aber mit zahlreichen Nachteilen verknüpft und komplikationsträchtig. Zu den bekannten Problemen gehören Implantatversagen bei osteoporotischen Knochen, Nichtverheilen der Fraktur durch Kompromittierung der periostalen Durchblutung durch den notwendigen Anpressdruck konventioneller Implantate, Irritationen der Strecksehnen bis hin zu Rupturen und die Hebemorbidität im Bereich von Spongiosaentnahmestellen, z.B. am Beckenkamm.

Indikationen für ein Vorgehen von dorsal bestehen bei dislozierten intraartikulären Mehrfragmentfrakturen, insbesondere mit einem dorso-ulnaren Kantenfragment vom Typ C2 und C3 sowie bei metaphysären Defekt- und Trümmerfrakturen mit Einstrahlung von Frakturausläufern in das Gelenk und zusätzlicher karpaler Verletzungen sowie bei dorsal offenen Frakturen der distalen Radiusbasis. Aufgrund der häufig beobachteten Wundheilungsstörungen und chronischer Sehnenirritationen werden allerdings mittlerweile die Implantate vorwiegend palmar positioniert. Dies erlaubt die Winkelstabilität der neuen Platten. Durch die winkelstabile Verankerung der Schrauben in den Plattenlöchern lassen sich alle instabilen Frakturen mit ausreichend großem distalen Fragment von palmar versorgen, ohne dass eine Redislokation mit Abkippung befürchtet werden muss.

Durch winkelstabile Platten kann selbst beim osteoporotischen Knochen eine hohe Primärstabilität ohne nachweisbares Sintern bei der Versorgung instabiler Extensionsfrakturen erzielt werden. Gleichzeitig wird aber auch vor der verfrühten funktionellen Nachbehandlung mühsam rekonstruierter und winkelstabil fixierter Gelenkflächen bei osteoporotisch geschwächtem Knochen gewarnt (Windolf et al. 2008).

In den vergangenen Jahren finden, dem Dogma »die Funktion folgt der Form« entsprechend, winkelstabile Platten immer größere Beachtung. Die Implantate sind in der Lage, eine anatomische Rekonstruktion von Achse und Länge stabil zu halten und gleichzeitig eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen (Walz et al. 2004).

Andererseits erlaubt die Datenlage noch keine evidenzbasierten Empfehlungen. Aus einer Metaanalyse schlussfolgern Schädel-Höpfner und Mitarbeiter (2008) lediglich vorsichtig, dass operative Verfahren, insbesondere die winkelstabilen Platten-Schrauben-Systeme, zu einer besseren Wiederherstellung der Form des distalen Radius führen. Eine klinisch-funktionelle Überlegenheit konnte jedoch bisher für keine Behandlungsmetode erwiesen werden.

Zettl und Mitarbeiter (2009) haben in einer kontrollierten, randomisierten Studie 120 Patienten mit Extensionsfrakturen des distalen Radius prospektiv erfasst und sie entweder mit einer konventionellen, nicht winkelstabilen Kleinfragmentplatte von dorsal oder mit einer winkelstabilen Platte von palmar versorgt. Nach dorsaler Versorgung waren 3 Reoperationen erforderlich (1 EPL-Ruptur, 1 Platteninfekt, 1 Plattendislokation). Nach volarer Osteosynthese traten 1 EPL-Ruptur auf und 6 Karpaltunnelsyndrome. Die radiologischen Ergebnisse waren nach dorsaler Versorgung in 57% der Fälle sehr gut und die funktionellen in 22% gegenüber 68% bzw. 48% nach volarer.

Frakturen mit intraartikulärer Trümmerzone oder sehr kleinem distalem Fragment sind für eine Versorgung von palmar nur sehr bedingt geeignet (Windolf et al. 2008).

Beim seltenen Vorgehen von dorsal (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird die Radiusbasis dargestellt und eine schrägwinklige 3,5er T-Platte angelegt. Zunächst besetzt man am besten ein frakturnahes Gleitloch im proximalen Hauptfragment und reponiert durch den sich ergebenden Anpressdruck unter gleichzeitigem Zug an der Hand über ein untergelegtes Hypomochlion (gerolltes Tuch) die Extensionsfehlstellung. Da zu diesem Zeitpunkt noch alle Korrekturmöglichkeiten offenstehen, werden nun Bruchstellung und Implantatlage im Bildwandler überprüft und erst dann die übrigen Plattenlöcher mit Schrauben besetzt.

Falls einzelne Fragmente aus dem Verbund der Hauptfragmente gelöst sind und sich durch die genannten Maßnahmen nicht anatomisch einstellen, können sie mit einzelnen dünnen K-Drähten gefasst und fixiert werden. Bei der abschließenden Bildwandlerkontrolle muss man auch die korrekte Stellung im distalen Radioulnargelenk prüfen. Falls eine Subluxation verbleibt, muss das Gelenk revidiert und ggf. von Repositionshindernissen befreit werden (Abb. 6.80).

Bei der so genannten Die-Punch-Fraktur mit zentraler Impression der Gelenkfläche geht man ebenfalls von dorsal vor. Die Impression wird hochgestößelt und mit Spongiosa unterfüttert. Anschließend wird das Konstrukt mit einem Miniplättchen abgestützt.

Volare Plattenosteosynthese

Der Muskeltonus der Finger- und Handgelenkbeuger ist höher als derjenige der Strecker. Deshalb kann eine Flexionsfraktur nur in einer anatomischen Position gehalten werden, wenn diese dislozierende Kraft mit einer palmaren Abstützplatte neutralisiert wird. Die Montage von palmar bietet sich aus biomechanischen Gründen an, weil das distale Hauptfragment bei dorsaler Plattenlage leicht auslockert. Außerdem ist es viel günstiger für die Weichteile, weil die Strecksehnen nicht irritiert werden.

Der palmare Zugang ermöglicht eine exakte Reposition und gleichzeitig eine gute Weichteildeckung der Platte. Um schmerzhafte Narbenirritationen des N. medianus zu vermeiden, sollte man unbedingt radial des Nervs zwischen der Sehne des M. flexor carpi radialis und der A. radialis auf den M. pronator quadratus eingehen. Wenn der Zugang bei ausgeprägter Trümmerzone nach distal erweitert werden muss, sollte das gewinkelt nach radial erfolgen, denn die gerade Verlängerung über die Handgelenksbeugefalte macht häufig Narbenprobleme. Eine begleitende, prophylaktische Karpaldachspaltung ist nicht indiziert. Diese Zusatzmaßnahme erfolgt nur bei entsprechender Anamnese.

Bei der Operationsvorbereitung und Aufklärung sollte man deshalb gezielt nach einer Karpaltunnelsymptomatik fragen.

Nach Ablösung des M. pronator quadratus empfiehlt sich insbesondere bei intraartikulären Frakturen, die häufig auch den Processus styloideus radii mit einbeziehen, das 1. Strecksehnenfach zu eröffnen und den Ansatz des M. brachioradialis abzulösen, da durch seinen Muskelzug häufig die Reposition erschwert wird. Gelingt die Reposition von palmar nicht vollständig, kann ergänzend ein limitierter dorsaler Zugang benutzt werden. Zentrale Impressionen müssen ohnehin, wie bereits oben angeführt, in der Regel

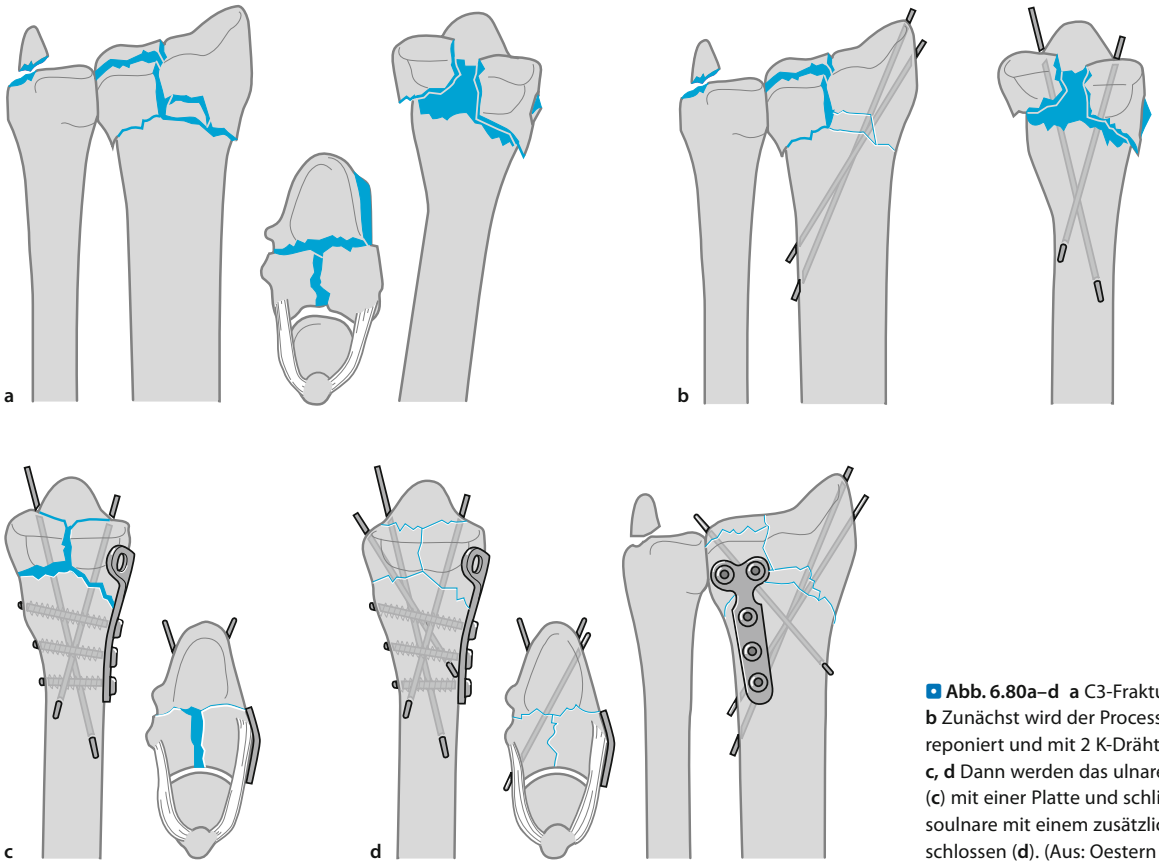


Abb. 6.80a–d **a** C3-Fraktur der Radiusbasis. **b** Zunächst wird der Processus styloideus radii reponiert und mit 2 K-Drähten stabilisiert. **c, d** Dann werden das ulnare, volare Fragment (**c**) mit einer Platte und schließlich das dorsoulnare mit einem zusätzlich K-Draht angeschlossen (**d**). (Aus: Oestern 2001)

von dorsal versorgt werden mit Hochstößeln der Gelenkfläche und Unterfütterung durch Spongiosa (Krimmer 2008).

Grundsätzlich sollten bei intraartikulären Frakturen, laut Krimmer (2008), winkelstabile Platten verwendet werden, weil in der distalen Trümmerzone keine stabile bikortikale Verankerung möglich ist. Bevorzugt kommen Low-Profile-Platten mit 2 distalen Reihen und Schraubendurchmessern von 2,4–2,7 mm zur Anwendung. Die multidirektionale Schraubenplatzierung erlaubt in Verbindung mit den 2 distalen Reihen eine stabile zentrale und dorsale Unterstützung der Gelenkfläche. Ulnare Kantenfragmente und Abrisse des Processus styloideus radii können durch die Multidirektionalität der Schraubenausrichtung mit erfasst und stabilisiert werden, was mit unidirektionalen Systemen nur bedingt möglich ist.

Nach Darstellung der Fraktur erfolgt durch Zug und Druck von dorsal unter gleichzeitigem Gegendruck von volar die Reposition der Fraktur und die Positionierung der anatomisch vorgeformten Platte. Diese wird in die Konkavität des distalen Radius gelegt und dort durch leichtes Hin- und Herschieben nach proximal und distal in die optimale Lage gebracht und dann digital gehalten. Dann bringt man im Gleitloch der Platte eine 2,4er oder 2,7er Kortikalisschraube ein und fixiert die Platte damit vor. Dann röntgt man in 2 Ebenen. Dabei wird die Platte axial ausgerichtet und gleichzeitig kontrolliert, dass ihr distaler Rand die so genannte »water shep line« des distalen Radius nicht überragt, anderenfalls drohen postoperativ Weichteilirritationen bis hin zu Beugesehnenrupturen. Wenn die Position der Platte passt, wird sie mit einer zweiten Schraube, winkelstabil am proximalen Hauptfragment fixiert und kann jetzt als Abstützung für die Reposition des Gelenkblocks benutzt werden (Krimmer 2008).

Um sicher zu gehen, dass keine Schraube intraartikulär liegt, sollte der a.p.-Strahlengang leicht schräg unter Berücksichtigung der palmaren Inklination der radiokarpalen Gelenkfläche eingestellt werden und der seitliche unter Anhebung des Unterarms von der Unterlage um 15°, um die Flucht des nach ulnar geneigten Gelenkspalts einsehen zu können.

Gelingt die Reposition mit dieser Technik nicht, kann laut Krimmer (2008), der Zugang nach radial erweitert werden. Wenn das 1. Strecksehnenfach eröffnet und der Ansatz des M. brachioradialis abgelöst ist, können der Radius herausgedreht und die Gelenkfläche unter Sicht reponiert werden. Die Kapsel des Radiokarpalgelenks kann ggf. eröffnet werden. Bei instabiler Reposition kann man mit K-Drähten ggf. auch unter Nutzung der Kapanji-Technik (s. oben) die Fraktur stellen, dann die beiden winkelstabilen multidirektionalen Schraubenreihen setzen und anschließend die Drähte wieder entfernen. In ausweglosen Situationen kann auch eine Doppelplattenosteosynthese notwendig werden. Gegebenenfalls können einzelne Fragmente zusätzlich mit dünnen Spickdrähten oder Minischrauben und Plättchen fixiert werden (Abb. 6.81).

Bei ausgeprägter Weichteilschwellung mit drohender Medianuskompression und der Indikation der Karpaldachspaltung darf man den volaren Zugang zur Radiusbasis nicht einfach gerade durch das Retinaculum flexorum verlängern, weil dabei die Gefahr besteht, dass man den motorischen Thenarast durchtrennt, der zum Daumenballen zieht, vielmehr muss der Karpaltunnel über einen gesonderten Zugang gespalten werden, der deutlich weiter ulnar liegt (► Abschnitt 7.2.6 Karpaltunnelsyndrom).

Abb. 6.81 80-jährige Frau mit dislozierter Radiusbasisextensionsfraktur. Postoperative Kontrollaufnahmen nach offener Reposition und Osteosynthese mit einer winkelstabilen anatomisch geformten 2,7er Platte.

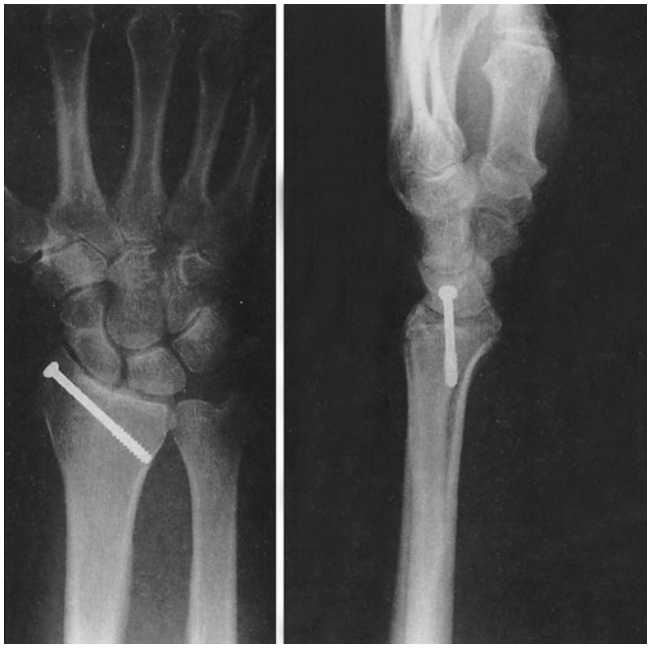


Abb. 6.82 Schraubenosteosynthese einer Abrissfraktur des Processus styloideus radii. (Aus: Oestern 2001)

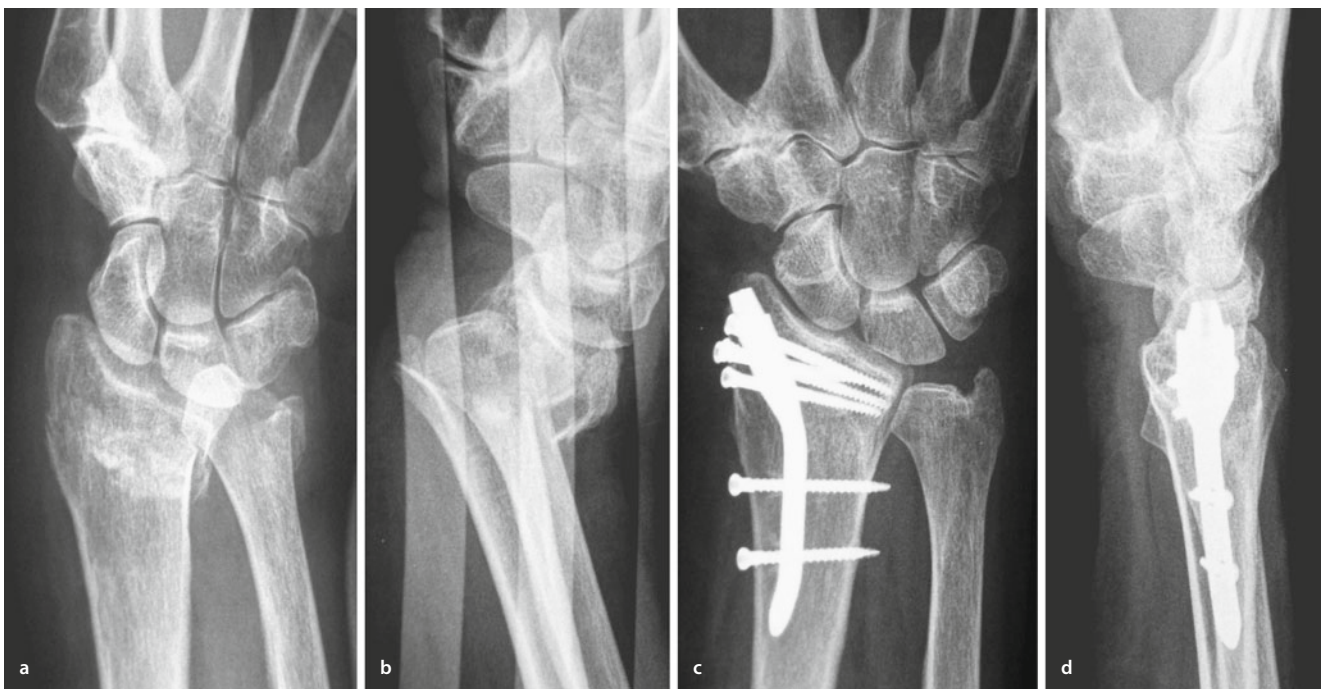


Abb. 6.83a–d **a,b** Unfallaufnahmen einer distalen Radiusfraktur einer 68-Jährigen. **c,d** Kontrollaufnahmen 1 Jahr nach Versorgung mit einem TargonR-DR-Nagel der Fa. Aesculap. (Aus: Gradl et al. 2008)

Perkutane Schraubenosteosynthese

In seltenen Fällen liegt eine isolierte Fraktur des Processus styloideus radii und damit die Indikation zur Schraubenosteosynthese vor. Man verwendet am besten kanülierte 4,0er Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde. Große Fragmente können mit 2 Schrauben besetzt werden, kleinere nur mit einer. Auch der Einsatz von Herbert-Schrauben ist möglich. Wenn nur eine Schraube verwendet wird, diese aber sehr gut zieht, kann man darauf verzichten, zusätzlich einen K-Draht als Schutz gegen Rotation einzubringen. Das Vorgehen bei der Nachbehandlung ist in den Tab. 6.7 und Tab. 6.8 zusammengefasst (Abb. 6.82).

Tab. 6.7 Vorgehen bei konservativer Therapie und Spickdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom posttraumatischen Zeitintervall. Das Schema dient als Leitfaden, damit wichtige Kontrolltermine nicht übersehen werden

Zeitintervall nach Reposition	Vorgehen	Röntgenkontrollen
Unfalltag	Reposition, ggf. Spickdrahtosteosynthese, dorsale Schiene, anschließend Röntgenkontrolle	+
1. Tag	Gipskontrolle: auf Durchblutung, Motorik, Sensibilität und Schmerzen achten	
	Anleitung oder Rezept für begleitende Krankengymnastik: Faustschluss, Fingerstreckung und Ellenbogengelenk beüben	
	Arm intermittierend hochlagern lassen	
3.–5. Tag	Gipszirkulierung, bei konservativer Therapie anschließend Röntgenkontrolle	(+)
7.–10. Tag	Gipswechsel unter Zug auf geschlossenen Unterarmgips- oder -kunststoffverband, anschließend Röntgenkontrolle	+
Nur bei konservativer Therapie 4 Tage später	Klinische Kontrolle, anschließend Röntgenkontrolle	(+)
Nach 4 Wochen	Gipsabnahme, anschließend Röntgenkontrolle, ggf. Terminierung der Entfernung der Spickdrähte in Lokalanästhesie (noch am selben Tag oder einige Tage später)	+

(+) = Die Einklammerung bedeutet, dass dieser Röntgenkontrolltermin bei stattgehabter Spickdrahtosteosynthese entfällt

Tab. 6.8 Vorgehen bei stabiler Osteosynthese (Platte, Schrauben, Fixateur) ohne Gipsruhigstellung in Abhängigkeit vom posttraumatischen Zeitintervall und der Implantatart. Das Schema dient als grober Leitfaden

Zeitintervall nach Reposition	Vorgehen	Röntgenkontrollen
Unfalltag	Operative Versorgung	
1. Tag	Ruhigstellung in einer Unterarmschiene bei extraartikulärer Fraktur für 2 Wochen, bei intraartikulärer Fraktur für 4 Wochen. – Krankengymnastik rezeptieren: – Hochlagerung des Arms – Lymphdrainage – Aktive Bewegüngsubungen unter Wahrung der Schmerzgrenzen. – Um die Gefahr einer Algodystrophie gering zu halten, empfiehlt sich, besser kein Eis zum Kühlen zu verwenden, sondern nur feuchte Umschläge	
2. Tag	Erster Verbandswechsel und Röntgenkontrolle	+
4–8 Wochen	Röntgenkontrolle, ggf. Implantatentfernung von Fixateur oder K-Drähten	+
12 Wochen	Röntgenkontrolle	+
6 Monate	Röntgenkontrolle, ggf. Implantatentfernung von Platten	+

Platten-Nagel-Hybrid (Targon DR, Aesculap)

Seit kurzem steht ein Implantat für die intramedulläre Schienung distaler Radiusfrakturen zur Verfügung. Gradl und Mitarbeiter (2008) haben das Implantat in einer prospektiv randomisierten Studie (n=122) an 66 Patienten mit A2-3 und C1-2-Frakturen (der AO) erfolgreich eingesetzt. Als Referenzverfahren diente die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese. Alle Frakturen heilten aus. Die intramedulläre Versorgung führte zu einer signifikant schnelleren Restitution der Dorsalextension und Volarflexion und signifikant weniger Schmerz. Der mittlere Gartland-and-Werley-Score war 1 Jahr postoperativ nach Targon DR mit 1,6 und bei palmarer Platte mit 2,0 jeweils exzellent. Der Vorteil des intramedullären Verfahrens liegt nach Angaben der Autoren in der geringeren Invasivität, was sich in einer schnellen funktionellen Rekonvaleszenz bemerkbar macht. Eine mögliche Limitation dürfte bei mehrfacher Gelenkbeteiligung gegeben sein (Abb. 6.83).

Versorgung begleitender distaler Ulnafrakturen mit einer elastisch-stabilen intramedullären Nagelung

Distale Ulnafrakturen komplizieren bis zu 16% der Radiusbasisfrakturen ohne Einberechnung isolierter Frakturen des Processus styloideus ulnae (Walz et al. 2006). Wenn die Bänder des DRUG intakt bleiben, folgt die Fehlstellung der Ulna derjenigen des Radius, im Gegensatz zur Galeazzi-Fraktur, bei der die Bänder rupturiert sind. Mit Verkürzung oder Achsabweichung verheilte distale Ulnafrakturen führen zu Inkongrunezen im DRUG und selbst bei anatomisch verheilter distaler Radiusfraktur zur Einschränkung der Umkehrbewegung.

Deshalb muss die distale Ulnafraktur nach Versorgung der Radiusfraktur nochmals auf ihre Stellung und Stabilität hin unter Bildwandler untersucht werden. Eine Instabilität und/oder persistierende Fehlstellung der distalen Ulnafraktur erfordert zur Rekonstruktion der Kongruenz im DRUG die Reposition und Retention.

Aufgrund der Dünne des Röhrenknochens und der schlechten Knochenqualität der überwiegend alten Patienten ist eine stabile Retention erschwert. Gängige Implantate versagen häufig. K-Drähte führen nur zu einer eingeschränkten Stabilität, lockern häufig aus und verursachen Weichteilprobleme durch Implantatwanderung. Mit Kleinfragmentplatten erzielt man ebenfalls zu wenig Stabilität, weil man im meist sehr kurzen distalen Hauptfragment zu wenig Schrauben positionieren kann. Zudem lassen sich die Schrauben unter Rücksichtnahme auf das DRUG u.U. nur monokortikal verankern. Dazu kommt die zusätzliche Belastung der Weichteile durch die Notwendigkeit eines zweiten Zugangs.

Walz und Mitarbeiter (2006) versorgen deshalb eine begleitende distale Ulnafraktur nach palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese des Radius mit einer elastisch-stabilen intramedullären Nagelung (ESIN).

Vorgehen. Über einen kleinen Zugang am radialen Aspekt der proximalen Ulna 3 Querfinger distal der Olekranonspitze wird die Kortikalis mit einem Pfriem perforiert und ein spitzwinklig nach distal gerichteter Eingang zur Markhöhle geschaffen. Die Autoren verwenden elastische Titannägel der Stärke 2,0–2,5 mm, deren vorgekrümmte Spitze mit zwei Zangen leicht begradigt wird. Das erleichtert die Passage des engen Markraums. Der Nagel wird aber ca. 15 cm unterhalb der Spitze etwas vorgebogen, damit er sich im geraden Markraum der Ulna besser verklemmt. Die Spitze des Nagels wird unter Bildwandlerkontrolle bis kurz vor die Fraktur eingebracht. Dann wird die Fraktur unter Zug genommen und geschlossen reponiert. Anschließend wird der Nagel ins distale Hauptfragment vorgeschoben. Wenn sich die Fraktur unter Zug an der Hand nicht ausreichend einstellt, kann man das distale Hauptfragment mit einer kleinen spitzen Repositionszange perkutan über zwei Stichinzisionen fassen und direkten Zug ausüben. Alternativ kann ein K-Draht durch den Ulnakopf gebohrt, als Joystick benutzt und die Fraktur damit temporär retiniert werden, um anschließend den intramedullären Nagel vorzuschieben. Dies geschieht in Neutral-Null-Stellung des Unterarms, da sich die Fraktur in dieser Stellung am einfachsten einrichten und halten lässt. Die Spitze des Titannagels wird bis 2 mm subchondral vorgeschoben, ohne diese Schicht zu perforieren. Durch Drehen des Nagels im Markraum und seiner gebogenen Spitze kann eine etwaig verbliebene Rotations- oder Achsabweichung des distalen Hauptfragments korrigiert werden. Dann wird die Stabilität der Fraktur bei der Unterarmdrehung unter Bildwandler erneut kontrolliert. Für Frakturen mit sehr kurzem distalem Fragment, die nur 2 cm oder weniger lang sind, brauchten die Autoren häufig einen 2. Titannagel, um eine ausreichende Stabilität zu erzeugen. Dabei wird über den bereits vorhandenen Zugang ein zweiter 2,0 mm starker Nagel eingebracht und die Nagelspitzen zur Erhöhung der Stabilität divergierend ausgerichtet. Dann werden die proximalen Nagelenden unter Hautniveau eingekürzt und der Zugang mit kutanen Nähten dicht verschlossen.

Die Autoren berichten über 28 Fälle, die sie mit durchweg guten Ergebnissen auf die oben beschriebene Weise versorgt haben und über weitere 9 Fälle, bei denen sich die distale Ulnafraktur durch die Versorgung des Radius achsengerecht einstellte und bei der Funktionsprüfung unter Bildwandler sich als ausreichend stabil erwies, sodass trotz frühfunktioneller Nachbehandlung eine gesonderte Versorgung unterbleiben konnte. Eine Implantatentfernung wurde aufgrund des meist hohen Patientenalters nicht regelhaft empfohlen.

Begleitverletzungen

Bei intraartikulären Frakturen besteht eine erhöhte Inzidenz von versorgungsbedürftigen Begleitverletzungen.

Nach Stabilisierung einer distalen Radiusfraktur sollte man daher grundsätzlich nach einer skapholunären Dissoziation und einer Instabilität im DRUG gezielt suchen. Unter Bildwandlerkontrolle werden in p.a.-Projektion dynamisch der skapholunäre Spalt und die Kinematik des Skaphoids geprüft. Bei Aufweitung des Spalts über 3 mm und ggf. erweitertem SL-Winkel in der seitlichen Projektion von mehr als 70° besteht der dringende Verdacht auf eine SL-Bandläsion, die eine Reposition und temporäre K-Drahtfixation erfordert (▶ Kap. 7, Hand, Abschnitt 7.2.5, Karpale Instabilität). Die Stabilität des DRUG wird manuell geprüft. Bei Instabilität muss ein etwaig abgerissener Processus styloideus ulnae refixiert werden oder eine ausgerisse Kapsel transossär genäht werden (Krimmer 2008).

Implantatentfernung

Zur Frage der Entfernung winkelstabiler Platten gibt es noch keine evidenzbasierten Kriterien. Es scheint, dass die Mehrheit der Autoren diese nur in Ausnahmefällen durchführt, z.B. bei mechanischer Behinderung durch fehlplatzierte oder überlange Schrauben, die den Gelenkraum oder Sehnen irritieren oder wenn Platten das Knochenniveau deutlich überragen und entsprechende Beschwerden verursachen oder sogar zu einem Karpaltunnelsyndrom führen. Infektionen stellen eine eindeutige Indikation dar. Aber auch bei Fremdkörpergefühl oder dem Wunsch des Patienten, das Implantat entfernt zu bekommen oder bei jugendlichem Alter bestehen zumindest relative Indikationen. Dies muss im jeden Einzelfall mit den Patienten besprochen werden (Breyer 2008).

Korrektureingriffe

Prommersberger und van Schoonhoven haben 2007 in einer Übersichtsarbeit die verschiedenen Korrektureingriffe nach fehlverheilten distalen Radiusfrakturen dargestellt:

Patienten mit fehlverheilten Frakturen klagen meist über Bewegungseinschränkungen im Handgelenk, wobei insbesondere eine Einschränkung der Umkehrbewegung als gravierend empfunden wird. Bei dorsaler Abkippung werden Pro- und Supination gleichermaßen beeinträchtigt, bei verbliebender Palmarinklination leidet hauptsächlich die Supinationsfähigkeit. Der Hauptschmerzpunkt findet sich meist ulnokarpal; dies ist für die Patienten unverständlich, da doch die Speiche, nicht die Elle gebrochen war. Grund für die Schmerzen ist, dass die Dorsalkippung und mehr noch die Verkürzung der Radiusbasis zu einem dramatischen Druckanstieg ulnokarpal führen, denn beim gesunden Handgelenk werden dort nur 15–30% der axialen Last übertragen. Auch die veränderte Gelenksilhouette wird meist als störend empfunden. Die fehlverheilte Extensionsfraktur lässt den Ellenkopf auffällig hervortreten, die fehlverheilte Flexionsfraktur führt zur typischen Bajonettfehlstellung. Die Veränderungen im distalen Radioulnargelenk (DRUG) sind im ▶ Abschnitt 6.4.5 beschrieben (s. unten).

Neben der exakten klinischen Untersuchung ist die radiologische Diagnostik im Vergleich mit der unverletzten Seite von entscheidender Bedeutung. Beurteilt werden folgende Kriterien:

- die Inklination der Radiusbasis nach ulnar,
- die dorsopalmare Neigung der Gelenkfläche,
- die Verkürzung gegenüber der Ulna,
- der Versatz des distalen Radiusfragments nach dorsal oder palmar und radial,
- Rotationsfehlstellungen,
- arthrotische Veränderungen und
- karpale Instabilität.

Rotationsfehlstellungen liegen laut Prommersberger und van Schoonhoven (2007) in 50% der Fälle vor. Man erkennt sie an

Überlappungen von Radius und Ulna im distalen Radioulnargelenk in der Aufsicht und an einer Verbreiterung des Radiusgriffelfortsatzes im seitlichen Strahlengang. Zur genauen Ermittlung des Ausmaßes des Drehfehlers ist ein CT im Seitenvergleich erforderlich. Als Hinweis auf eine karpale Instabilität fanden die Autoren in eigenen unveröffentlichten Untersuchungen in 9 von 10 Fällen eine Ruptur des skapholunären Bandes. In diesen Fällen überstieg die Dorsalkippung des Lunatums die der Radiusgelenkfläche um mehr als 10°.

Die Autoren unterscheiden **4 Arten von Korrektureingriffen** nach distalen Radiusfrakturen:

- Eingriffe zur Wiederherstellung anatomischer Verhältnisse (Radiuskorrektur, Ulnaverkürzungsosteotomie)
- Eingriffe zur Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion (Ulnakopf-Hemiresektionsinterpositionsarthroplastik nach Bowers, DRUG-Arthrodese mit Ellensegmentresektion nach Sauvé-Kapandji, Ulnakopfprothese)
- Eingriffe zur alleinigen Schmerzreduktion (Handgelenkdenervation nach Wilhelm oder Arthrodese)
- Kombinationen dieser Eingriffe

Handgelenkdenervation

Während ihr Erfolg beim karpalen Kollaps nur von kurzer Dauer ist, führt sie bei radiokarpalen Schmerzen nach distalen Radiusfrakturen, sofern keine ausgeprägten Gelenkstufen vorhanden sind, meist zu einer lang anhaltenden Schmerzreduktion. Vor der Operation empfiehlt sich eine Probeblockade. Man sollte sich nicht auf eine partielle Denervation beschränken, sondern, wie von Wilhelm beschrieben, eine vollständige durchführen.

Radioskapholunäre Fusion (RSL-Fusion)

Bei persistierenden Beschwerden nach Denervierung oder deutlicher Destruktion des Radiokarpalgelenks ist eine radioskapholunäre Fusion angezeigt. Voraussetzung hierfür ist ein arthrosefreies Mediokarpalgelenk. Für die Fusion kann Spongiosa aus dem Radius entnommen werden, wobei die Autoren eine Resektion des distalen Kahnbeindrittels empfehlen, um die Radialduktion des Handgelenks zu verbessern. Bei gleichzeitig vorliegender Verkürzung des Radius wird ein kortikospongiöser Block aus dem Beckenkamm zwischen Radius, Skaphoid und Lunatum interponiert. Wenn zusätzlich eine deutliche extraartikuläre Fehlstellung des distalen Radius besteht, sollte diese in gleicher Sitzung korrigiert werden.

Vollständige Handgelenkversteifung

Wenn nicht nur das Radiokarpalgelenk, sondern auch das Mediokarpalgelenk arthrotisch verändert ist, müssen beide Gelenke versteift werden. Dafür gibt es eine eigens geformte AO-Handgelenkarthrodesenplatte. Die verengten Gelenkspalten werden mit Spongiosa aufgefüllt. Extreme Fehlstellungen des distalen Radius werden mit korrigiert und/oder eine Überlänge der Ulna ausgeglichen.

Ulnakopf-Hemiresektionsinterpositionsarthroplastik nach Bowers

Sie kann allein oder in Kombination mit einer Radiuskorrekturosteotomie durchgeführt werden. Entscheidend ist, dass der Ansatz des Discus ulnaris an der distalen Ulna erhalten bleibt oder dass dieser transossär reinsertiert wird.

Ulnakopfprothese

Wenn die Ulnakopf-Hemiresektionsinterpositionsarthroplastik nicht zum gewünschten Erfolg führt, bleibt als Rettungsoperation die Ulnakopfprothese. Es liegen sehr positive Ergebnisse mit Standzeiten über 10 Jahren vor. Ausreichend Stabilität im DRUG lässt sich aber nur durch einen minuziösen Verschluss des Weichteilmantels über der Prothese ggf. mit Rekonstruktion des Discus ulnocarpalis erzielen.

Ulnaverkürzungsosteotomie

Sie ist nur indiziert, wenn der distale Radius neben einer Verkürzung lediglich eine Verkippung nach dorsal bis zu 10° oder nach palmar bis zu 20° aufweist. Eine aufklappende Korrekturosteotomie des Radius ist in folgenden Situationen erforderlich:

- stärkerer Verkippung,
- Abflachung der Ulnarinklination,
- Drehfehler oder
- einer Translation des distalen Radiusfragments.

Bei der Indikationsstellung muss man bedenken, dass die Knochenheilung an der Ulna im Vergleich zum Radius langsamer abläuft aufgrund des ungünstigeren Verhältnisses zwischen spongiösem und kortikalem Knochen. Die Autoren empfehlen eine palmare Plattenlage aufgrund der geringeren Weichteilirritation.

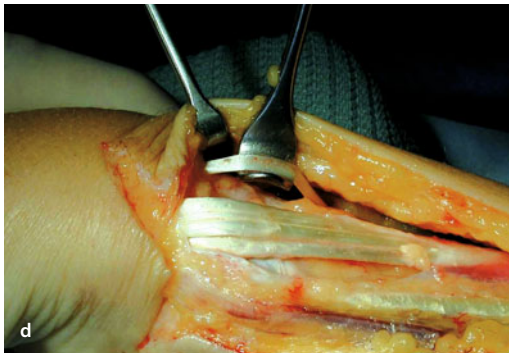
Radiuskorrekturosteotomie

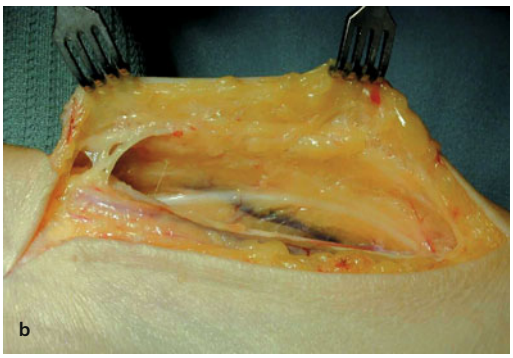
Bis zu einer Radiusverkürzung von 12 mm lässt sich das normale Längenverhältnis durch eine aufklappende Osteotomie wiederherstellen. Bei stärkerer Verkürzung empfehlen Prommersberger und van Schoonhoven eine zuklappende Osteotomie des Radius in Verbindung mit einer Ulnaverkürzungsosteotomie. Als Kontraindikation gilt die Radiokarpalarthrose. Schmerzhafte Arthrosen im DRUG werden in gleicher Sitzung mittels Ulnakopfhemiresektionsinterpositionsarthroplastik oder einer Ulnakopfprothese angegangen. Bei assymptomatischen Arthrosen kann man zunächst die weitere Entwicklung nach der Korrekturosteotomie abwarten.

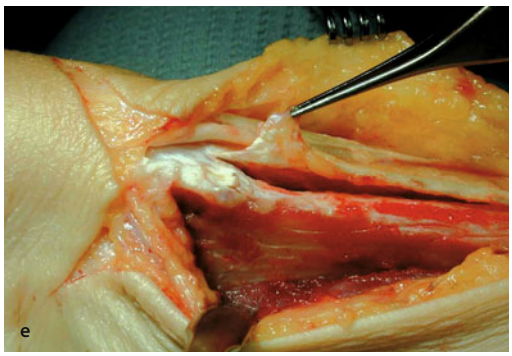
Korrekturosteotomien sollten möglichst innerhalb von 3–9 Monaten nach dem Unfallereignis vorgenommen werden, weil in diesem Zeitraum die zu erwartenden Ergebnisse am besten sind.

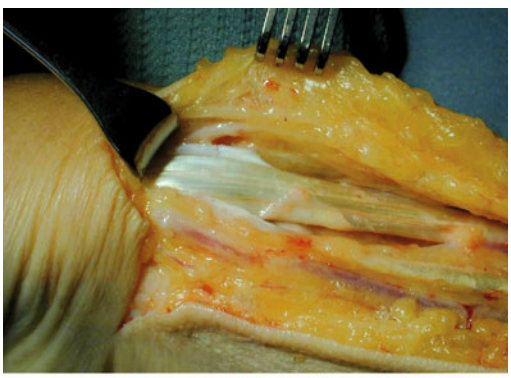
Fehlverheilte Flexionsfrakturen müssen von palmar aus aufklappend korrigiert werden, während fehlverheilte Extensionsfrakturen sowohl von dorsal als auch von radial oder palmar angegangen werden können. Die Wahl des Zugangs hängt von etwaigen Zusatzeingriffen und der Vorliebe des Operateurs ab. Der Eingriff wird zeichnerisch geplant. Dabei werden präoperativ die Osteotomiestelle, ihr Winkel und die Verkürzung des Radius ermittelt.

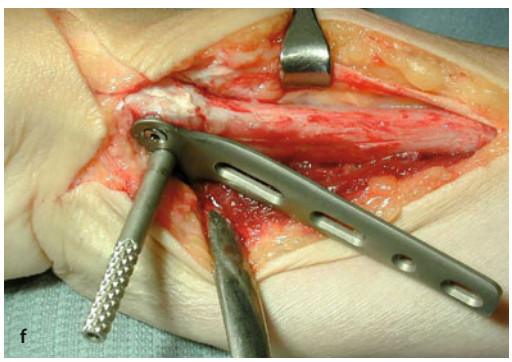
Operationstechnik. Prommersberger und van Schoonhoven haben die Operationstechnik detailliert beschrieben. Sie verwenden einen Y-förmigen Hautschnitt radiopalmar. Der Längsschenkel liegt über dem Verlauf der A. radialis und endet etwa 1,5 cm proximal der Raszetta (Abb. 6.84a). Die Äste des R. superficialis nervi radialis bleiben möglichst im Verbund mit dem Unterhautfettgewebe (Abb. 6.84b). Dann werden das 1. Strecksehnenfach und evtl. vorhandene Unterstrecksehnenfächer gespalten und nach dorsal auf dem Retinaculum extensorum präpariert (Abb. 6.84c). Das 3. Strecksehnenfach wird eröffnet und die Daumenstrecksehne herausgehoben, um einer Verletzung bei der Osteotomie oder durch eine Schraubenspitze vorzubeugen (Abb. 6.84d). Der M. brachioradialis wird partiell oder komplett an seinem Ansatz am Processus styloideus des Radius zur Erleichterung des Längengewinns abgelöst. Dann werden sämtliche Weichteile der

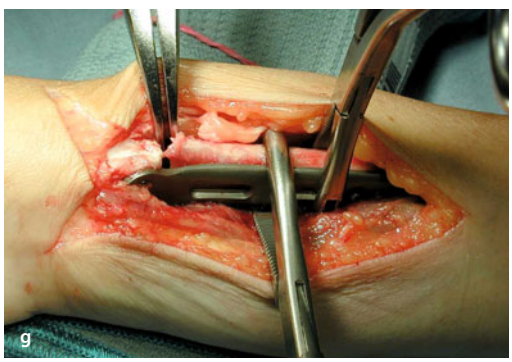












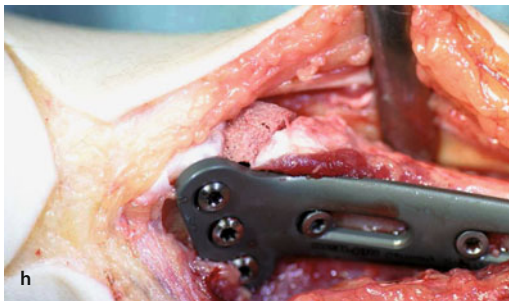


Abb. 6.84a–h **a** Y-förmiger Zugang zum distalen Radius radio-palmar. **b** Sorgfältige Schonung der Endäste des R. superficialis des N. radialis bei der Präparation nach dorsal, Endäste verbleiben möglichst im Verbund mit dem Subkutangewebe. **c** Spalten des 1. Strecksehnenfachs und eines Unterstrecksehnenfachs. **d** Nach Spaltung des 3. Strecksehnenfach wird die Sehne des M. extensor pollicis longus herausgehoben und verbleibt subkutan. **e** Partielles Ablösen des M. brachioradialis an seinem Ansatz am Radius und Abpräparieren der Mm. pronator quadratus, flexor pollicis longus und der A. radialis. **f** Befestigen der Platte in Gelenknähe. Die Platte steht entsprechend dem Korrekturwinkel vom Schaft ab. **g** Aufspreizen der Osteotomie nach Wiederanbringen der Platte und Reposition. **h** Auffüllen des Osteotomiespalts mit einem Knochenblock aus dem Beckenkamm

M. pronator quadratus, M. flexor pollicis longus nach ulnar und die A. radialis nach radial vom Radius abgeschoben (Abb. 6.84e). Die Platte wird zunächst distal vormontiert. Zur Orientierung kann ein K-Draht ins Radiokarpalgelenk eingebracht werden. Nach Einbringen der ersten Schraube wird die Platte nach dem geplanten Korrekturwinkel der Ulnarinklination ausgerichtet. Anschließend werden die restlichen Löcher des distalen queren Plattenschenkels mit Schrauben besetzt. Der proximale Plattenstiel steht in dieser Phase der Operation weit vom Radiusschaft ab (Abb. 6.84f).

Dann wird die Osteotomiestelle markiert, die Platte wieder entfernt und die Osteotomie im Verlauf der Winkelhalbierenden des geplanten Korrekturwinkels in Bezug auf beide Röntgenebenen mit der oszillierenden Säge durchgeführt. Die Osteotomiestelle sollte möglichst dem Ort der ursprünglichen Fraktur entsprechen und knapp proximal der distalen Schraubenlöcher liegen. Nach der Osteotomie wird die Platte distal wieder fixiert, der Osteotomiespalt mit einem Arthrodesenspreizer aufgedehnt und der sich dabei an den Radiusschaft annähernde Plattenstiel mit Repositionszangen dort vorfixiert (Abb. 6.84g). Unter Bildwandlerkontrolle wird die korrekte Länge des Radius durch Aufspreizen des Osteotomiespalts eingestellt. Die Autoren empfehlen, dabei eher eine Ulna-minus-Situation anzustreben, um eine ausreichende Druckentlastung ulnokarpal zu erzielen. Dann wird die Platte am Radiusschaft befestigt und der Osteotomiespalt mit einem kortikospongiösen Block oder Knochenersatzmaterial aufgefüllt (Abb. 6.84h). Die Wunde wird nach Einlage einer Redondrainage verschlossen. Das gespaltene Retinaculum extensorum bleibt offen, und die lange Daumenstrecksehne subkutan verlagert. Der M. pronator quadratus wird nur locker an die Sehne des M. brachioradialis geheftet. Die Ruhigstellung in einer leicht gepolsterten, palmaren Schiene, die das Handgelenk ulnar umgreift, wird nur bis zur gesicherten Wundheilung empfohlen.

Komplikationen und Prognose

Trotz der Vielfalt der therapeutischen Ansätze und der großen Erfahrung mit ihrem Umgang, die sich allein aufgrund des häufigen Vorkommens dieser Brüche ergibt, sind die funktionellen Ergebnisse dieser als »gutartig« geltenden Verletzung nicht immer zufriedenstellend. Tscherne u. Jähne (1990) haben gefunden, dass selbst nach sachgerechter Behandlung 20–30% unbefriedigende Ergebnisse entstehen und bei 16% der Patienten die Arbeitsunfähigkeit länger als 30 Wochen dauert.

Neuere Ergebnisse eines Frakturregisters, das 1201 Patienten einschloss, waren deutlich besser (Smektala et al. 2009). Die Qualität der stationären Behandlung sollte ermittelt werden. In der prospektiven Kohortenstudie an 242 Akutkliniken in Deutschland, durchgeführt zwischen Januar 2002 und Februar 2003, wurden nur Patienten mit distaler Radiusfraktur berücksichtigt, die über 65 Jahre alt waren. In 56% der Fälle wurde eine perkutane Bohrdrahtosteosynthese durchgeführt und in 44% eine Plattenosteosynthese. Nur bei 10% der Patienten kam es zu verfahrenstypischen Komplikationen, was auf einen hohen qualitativen Standard der Verfahrensweisen hinweist.

Bei distalen Radiusfrakturen ist die alleinige Retention im Gips ein äußerst unsicheres Verfahren und die Redislokation sehr häufig. Deshalb ist eine konservative Therapie strenggenommen nur bei nicht dislozierten Frakturen Erfolg versprechend. Dislozierte Frakturen müssen nach erfolgter Reposition stabilisiert, nicht reponierbare offen eingerichtet werden.

Nachuntersuchungsergebnisse von Gabel et al. (1992) belegen dies eindrucksvoll. Bei 100 Patienten war innerhalb von 9 Jahren nach einer distalen Radiusfraktur vom Extensionstyp das distale Fragment wieder in den dorsalen Stauchungsdefekt zurückgesunken. Nur bei Frakturen, die nicht mehr als maximal 2 mm verkürzt waren, konnte ein exaktes Repositionsergebnis durch konservative Therapie gehalten werden. Betrug die Verkürzung primär 3–4 mm, sank die reponierte Fraktur nahe an die Ausgangssituation zurück. Betrug sie dagegen 5–6 mm, war die Sinterung sogar größer als die ursprüngliche Verkürzung. Vermutlich maskiert die posttraumatische Spontanreposition zunächst das wahre Ausmaß der Zerstörung.

Die winkelstabile Plattenosteosynthese distaler Radiusfrakturen von palmar wird allgemein als einfach anwendbares und sicheres Therapieverfahren beschrieben. Mit zunehmender Verbreitung mehren sich aber auch die Berichte über die möglichen Komplikationen. Verschiedene Autoren fanden hohe Komplikationsraten. Die höchste betrug 34%. Im Vordergrund stehen dabei Sehnenirritationen und -rupturen. Wenn die Implantate beugeseitig zu weit abstehen oder zu weit distal platziert sind, kann die Sehne des M. flexor pollicis longus durchgescheuert werden. Streckseitig sind es v.a. überstehende Schrauben, die zu Sehnenrissen führen – insbesondere des langen Daumenstreckers, der durch die Fraktur ohnehin gefährdet ist. Des Weiteren wurden postoperative Karpaltunnelsyndrome, Reflexdystrophien, Pseudarthrosen, Korrekturverluste und Implantatlockerungen beobachtet (Windolf et al. 2008).

Karpaltunnelsyndrom. Wenn distale Radiusfrakturen in dorsaler Abkippung ausheilen, kann sekundär ein Karpaltunnelsyndrom auftreten, weil der N. medianus zwischen der volaren Gelenklippe und dem Retinaculum flexorum eingeklemmt wird. Dann ist eine Korrekturosteotomie von einem dorsoradialen Zugang aus indiziert (▶ Kap. 21, Standardzugänge) (Kwasny et al. 1991). Die Radiusbasis wird durch Osteotomie im metaphysären Bereich und Interposition eines keilförmigen trikortikalen Beckenkammspans aufgerichtet und das Korrekturergebnis mit einer 3,5er T-Platte abgestützt.

Ellenvorschub. Ein nach distaler Radiusfraktur verbleibender relativer ulnarer Vorschub ist auf eine Verkürzung der distalen Radiusmetaphyse zurückzuführen. Weil meist auch eine Verkippung nach dorsal vorliegt, empfiehlt es sich, den relativen Ellenvorschub durch Aufrichtung und Verlängerung des Radius vorzunehmen, wie oben beschrieben. Selten wird die Elle verkürzt. Bei der Wahl der richtigen Länge orientiert man sich an der unverletzten Gegenseite. Präoperativ muss deshalb die relative Überlänge der Elle gegenüber der Radiusbasis radiologisch ermittelt werden (Abb. 6.85).

Algodystrophie. Wegbereiter des Morbus Sudeck sind Disposition, wiederholte Repositionsmanöver, schlecht sitzende Gipsverbände, die durch Druck oder mangelnde Ruhigstellung Schmerzen verursachen. Deshalb muss man gerade bei Disposition zur Dystrophiekrankheit eine möglichst frühzeitige definitive Versorgung anstreben, evtl. gepaart mit einer kurzfristigen prophylaktischen Schmerzmittelgabe (▶ Kap. 17, Komplikationen).

Pseudarthrose. Selbst nach Korrekturosteotomien ist die Gefahr, dass sich eine Pseudarthrose ausbildet, gering und beträgt nur 1% (Prommersberger et al. 2004).

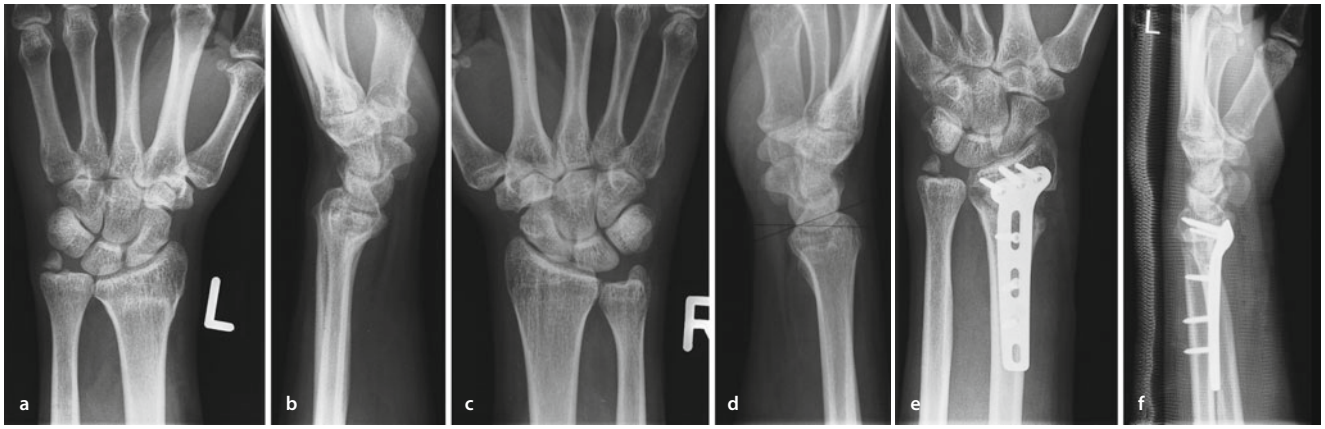


Abb. 6.85a–f **a,b** Ulnavorschub bei unter Verkürzung (**a**) und Abkippung (**b**) nach volar fehlverheilter Radiusbasisfraktur eines 31-jährigen Mannes. Es bestehen Belastungsbeschwerden und eine Bewegungseinschränkung. **c,d** Präoperativer Seitenvergleich zur Planung der Korrektur. **e,f** Verlängerungsosteotomie mit Beckenkammspan, Stabilisierung mit volarer Abstützplatte unter Ausgleich der Verkippung (**f**). Nach 3 Monaten war der Patient beschwerdefrei und hatte keine Bewegungseinschränkung mehr

6.4.5 Verletzungen des distalen Radioulnargelenks (DRUG)

Störungen im distalen Radioulnargelenk (DRUG) nach distaler Radiusfraktur

Pathogenese/Ätiologie

Nach distalen Radiusfrakturen können Beschwerden im ulnaren Handgelenkkompartment verbleiben mit Einschränkung der Umkehrbewegung, Veränderung der Weichteilsilhouette und Instabilität im DRUG (Prommersberger u. van Schoonhoven 2008).

Jede verbleibende Fehlstellung nach Radiusfraktur in Form einer Gelenkstufe oder einer Verkürzung, Verkippung oder Verdrehung der Radiusbasis stellt eine präarthrotische Deformität dar, weil die Kontaktfläche der Gelenkpartner verkleinert wird. Prommersberger und van Schoonhoven (2008) haben in einer Übersichtsarbeit den Einfluss verschiedener Fehlstellungen des distalen Radius auf das DRUG zusammengetragen. In der Tab. 6.9 ist der Einfluss der Fehlstellung auf die Größe der Kontaktfläche der Gelenkpartner des DRUG aufgeführt.

Inkongruenzen im DRUG schränken die Umkehrbewegung ein. Bei einer Verkürzung des Radius um 10 mm wird die Pronation um fast die Hälfte limitiert und die Supination um ein Drittel; bei einer Verkürzung von 15 mm wird die Umkehrbewegung vollständig blockiert. Verkippungen nach dorsal oder volar schränken die Pro- und Supination ebenfalls ein. Die Einschränkung korreliert mit dem Ausmaß der Fehlstellung. Überdies hängt diese vom Zustand des TFCC ab. Bei intaktem TFCC sind die Einschränkungen stärker ausgeprägt, weil die Fehlstellung im distalen Radius die Vorspannung des Bandkomplexes erhöht.

Die Kraftübertragung erfolgt beim unverletzten Handgelenk zu 70–85% auf den Radius und nur zu 15–30% über die Ulna. Bei einer Verkürzung des Radius um 2 mm verdoppelt sich die Last im ulnokarpalen Gelenkkompartment, bei einer Dorsalkippung um 20° beträgt sie bereits 50%. Eine erhöhte Vorspannung des TFCC und eine vermehrte Druckbelastung des ulnokarpalen Kompartments sind die Ursachen für das Ulnaimpaktionssyndrom der posttraumatischen Ulna-plus-Situation des Handgelenks (Friedman SL, Palmer AK 1991).

Tab. 6.9 Einfluss verschiedener Fehlstellungen auf die Größe der Kontaktfläche der Gelenkpartner des DRUG (Prommersberger u. van Schoonhoven 2008)

Art der Fehlstellung des distalen Radius	Größe der verbleibenden Kontaktfläche im DRUG in %
Verkürzung 1 mm	77
Verkürzung 2 mm	58
Verkürzung 4 mm	52
Verkürzung 6 mm	45
Dorsalkippung 5°	55
Palmarkippung 5°	29
Supinatorische Malrotation 10°	60
Pronatorische Malrotation 10°	33

Therapie

Bei eingeschränkter Umkehrbewegung nach Behandlung einer Radiusfraktur ist zunächst eine physiotherapeutische Behandlung angezeigt. Prommersberger und van Schoonhoven (2008) raten ihren Patienten, bewusst Tätigkeiten im Haushalt wahrzunehmen, die ein Drehung des Unterarms erfordern, z.B. Kartoffeln schälen, Geschirr abtrocknen oder Stricken. Ergänzend zur Physiotherapie benutzen sie ggf. Unterarmquengelschienen (Abb. 6.86). Wenn nach 6 Monaten konsequenter konservativer Therapie die Supination und/oder Pronation nur bis 50° möglich sind, kann eine Arthrolyse des DRUG angezeigt sein. Bei eingeschränkter Supination erfolgt die Kapsulotomie beugeseitig, bei limitierter Pronation streckseitig. Die Autoren raten von einer gleichzeitigen Radiuskorrekturosteotomie ab, weil durch die Notwendigkeit einer postoperativen Ruhigstellung der Effekt der Arthrolyse wieder verloren ginge, und empfehlen diese ggf. erst nach Ausheilung der Osteotomie im Rahmen der Implantatentfernung vorzunehmen.

Abb. 6.86 Unterarmdrehquengelschiene. (Aus: Prommersberger u. van Schoonhoven 2008)

Durch ein arthroskopisches Débridement des TFCC lassen sich sowohl bei posttraumatischen als auch degenerativen Veränderungen in einem hohen Prozentsatz die Beschwerden reduzieren, insbesondere wenn keine Ulna-plus-Situation vorliegt (Beyermann et al. 1999). Bestehen ellenseitige Handgelenksbeschwerden nach dieser Maßnahme über 3 Monate fort, empfehlen Prommersberger und van Schoonhoven (2008) insbesondere bei statischem, aber auch dynamischem Ulnaimpaktionssyndrom die Verkürzungsosteotomie.

Eine Refixation eines abgerissenen TFCC kann arthroskopisch, offen oder kombiniert vorgenommen werden. Dabei wird der Bandkomplex mit einer kräftigen, nicht resorbierbaren Naht transossär in Neutralstellung des Unterarms an der distalen Ulna refixiert. Zur Sicherung der Naht werden Radius und Ulna mit einem K-Draht temporär transfixiert. Die Stellschraube ist obsolet. Ist der TFCC bei einer ausgeprägten Instabilität des DRUG aufgebraucht, empfiehlt sich eine Rekonstruktion der Ligamenta radioulnare palmare und dorsale nach Adams und Berger (2002). Eine ausgeprägte Instabilität liegt vor bei Verschiebbarkeit des Ulnakopfs aus der Incisura ulnaris um mehr als zwei Drittel Schaftbreite des Radius.

Ein ulnarer Handgelenksschmerz kann aber auch durch einen pseudarthrotisch angeschlossenen Ellengriffelfortsatz bedingt sein. Wenn eine vorausgegangene Radiusfraktur in anatomischer Stellung ausgeheilt ist und eine TFCC-Läsion als mögliche Ursache ausgeschlossen wurde, ist eine Resektion des Griffelfortsatzes zu erwägen.

Bei einer direkten Inkongruenz des DRUG ist eine Korrektur nur dann Erfolg versprechend, solange keine Arthrose vorliegt. Bei der indirekten Verwerfung des Gelenks durch extraartikulär gelegene posttraumatische Fehlstellungen wie Verkürzung, Verkippung oder Malrotation hingegen ist eine Korrektur auch bei bereits eingetretenen degenerativen Veränderungen noch sinnvoll. Van Schoonhoven und Prommersberger (2008) verwenden bei schmerzhaften Arthrosen des DRUG unter anderem Ulnakopfprothesen. Eine Ulnaverkürzungsosteotomie ist nur indiziert, wenn keine Arthrose im DRUG vorliegt und wenn der distale Radius neben einer Verkürzung lediglich eine tolerable Verkippung bis zu 10° nach dorsal oder bis zu 20° nach palmar aufweist (Abb. 6.87).

6.4.6 Weichteilläsionen

Ruptur der distalen Bizepssehne

Ätiologie

Der Ansatz des M. biceps am Unterarm wird hauptsächlich über die distale Bizepssehne an der Tuberositas radii vermittelt und nur zu einem geringeren Teil über den Lacertus fibrosus an der Unterarmfaszie. Die Sehne reißt häufig durch eine akute Überlastung auf dem Boden einer degenerativen Vorschädigung. Deshalb ist insbesondere der Gebrauchsarm schwer arbeitender Männer betroffen. Der Häufigkeitsgipfel liegt zwischen dem 3. und 5. Lebensjahrzehnt.

Klinik

Im Moment der Ruptur verspüren die Betroffenen einen heftigen schmerzhaften Schlag, der ohne Fremdeinwirkung eintritt. Die Sehne kann in der Ellenbeuge nicht mehr getastet werden. Der Muskelbauch ist als kugeliger Wulst nach proximal verlagert. Dieses klinische Zeichen kann jedoch maskiert sein, wenn der Ansatz am Lacertus fibrosus intakt geblieben ist. Die Kraft bei Beugung und Supination ist deutlich eingeschränkt, denn der Bizeps ist nicht nur der wichtigste Beuger des Ellenbogengelenks, sondern auch der stärkste Supinator des Unterarms.

Diagnostik

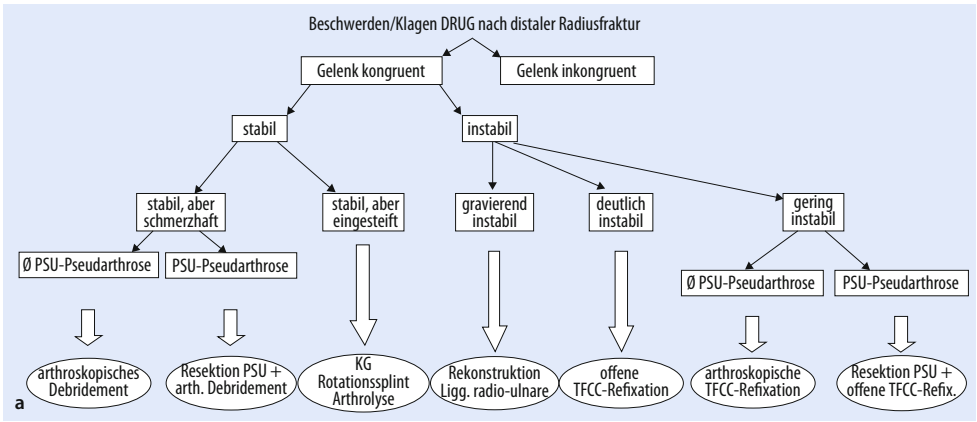
Man orientiert sich an den klinischen Zeichen. Die Diagnostik wird durch eine seitliche Röntgenaufnahme des Ellenbogengelenks in Weichteiltechnik ergänzt. Darauf können u.U. begleitende kortikale Abrisse von der Tuberositas gesehen werden. Sonografisch kann man im Seitenvergleich den fehlenden Tonus der Bizepssehne und den ansatznahen Defekt auf der verletzten Seite sehen. In der MRT kommt der rupturierte und nach kranial verlagerte Sehnenstumpf zur Darstellung.

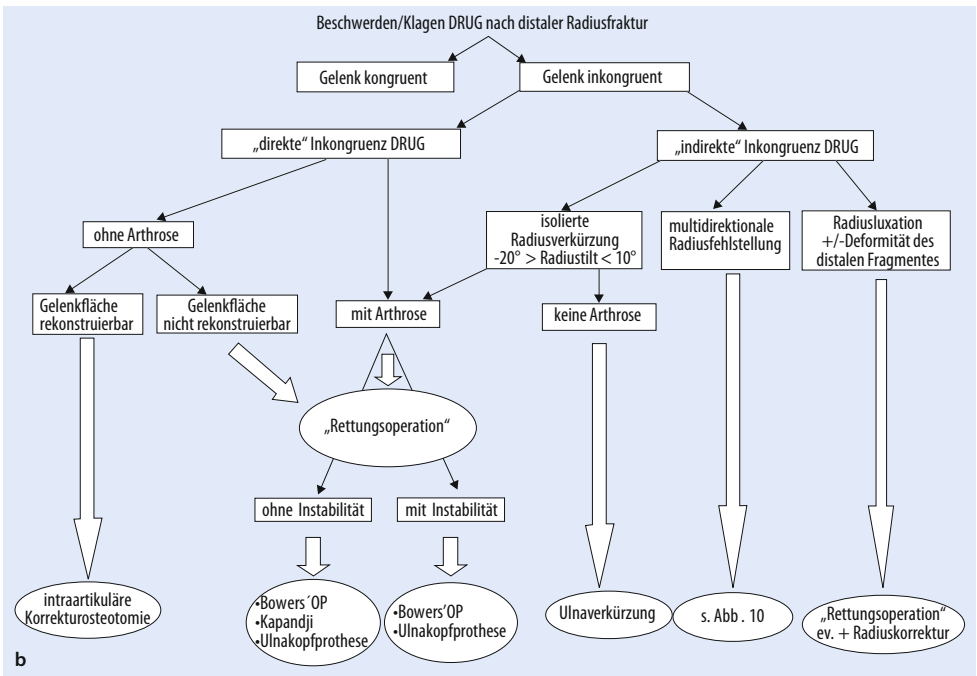
Therapie

Insbesondere bei jüngeren Patienten, die noch längere Zeit körperlich schwer arbeiten müssen, sollte die Sehne reinseriert werden, weil durch den Ausfall der Bizepssehne eine deutliche Kraft- und Funktionseinbuße resultiert. Mittlerweile findet sich bei Durchsicht der Literatur ein Konsens darüber, dass eine absolute Indikation zur Reinsertion besteht (Großstück et al. 2002). Bei konservativer Therapie muss mit einem Kraftverlust von 40–50% für die Beugung und von mehr als 50% für die Supination gerechnet werden (Klonz et al. 2000). Dazu kommt, dass der Bizeps, der ja funktionell auch Teil der Rotatorenmanschette ist, seine den Humeruskopf senkende Kraft nur dann voll entfalten kann, wenn auch der distale Muskelansatz intakt ist.

Methode nach Lange

Eine gängige Methode ist die von Lange (Krüger-Franke u. Refior 1991) beschriebene, inzwischen modifizierte Methode, bei der die Sehne transossär reinseriert wird. Über einen ventralen Zugang zum Ellenbogengelenk werden Sehnenstumpf und Tuberositas radii dargestellt (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der Stumpf wird mit 2 Mersilenefäden der Stärke 1 armiert. Im Bereich der Tuberositas radii wird bei der Originalmethode mit einem Meißel eine 0,5 cm breite und ebenso tiefe Nut gekerbt. Für das sichere Anwachsen der Sehne genügt es aber auch, die Kortikalis in diesem Bereich lediglich anzufrischen, ohne deren Substanz zu schwächen. Am proximalen und distalen Eck der Tuberositas wird jeweils ein 2 mm dünner Bohrkanal zur Gegenkortikalis geschaffen. Mit einer dünnen Drahtschlinge, die von der Gegenseite aus in die Bohrlöcher





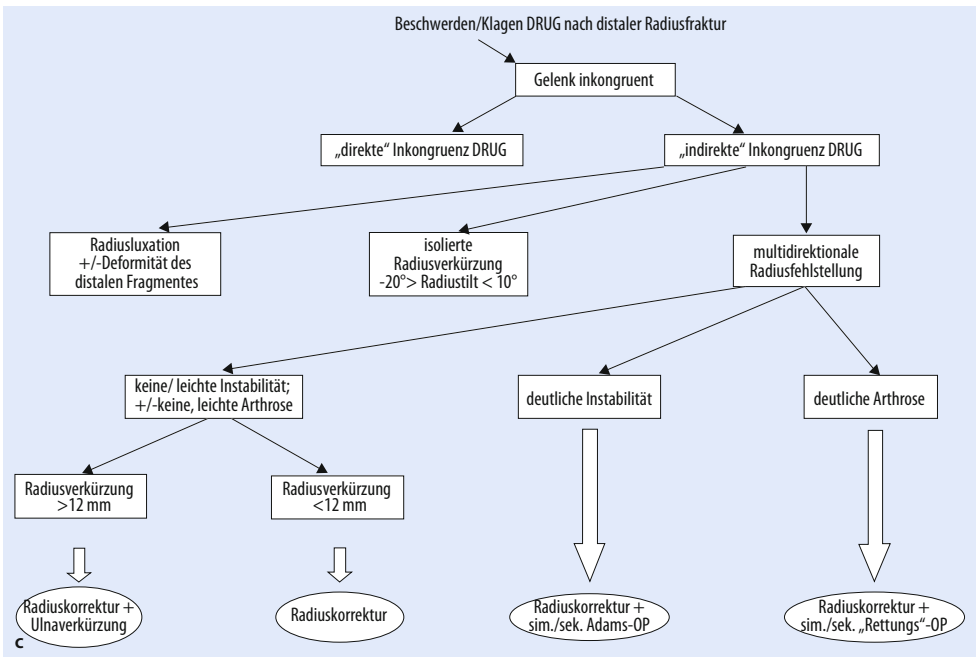


Abb. 6.87a–c **a** Behandlungsalgorithmus für ellenseitige Handgelenkbeschwerden nach distaler Radiusfraktur bei Gelenkkongruenz. **b** Behandlungsalgorithmus für ellenseitige Handgelenkbeschwerden nach distaler Radiusfraktur bei Gelenkinkongruenz. **c** Behandlungsalgorithmus für ellenseitige Handgelenkbeschwerden bei multidirektional fehlverheilter distaler Radiusfraktur. (Aus: Prommersberger u. van Schoonhoven 2008)

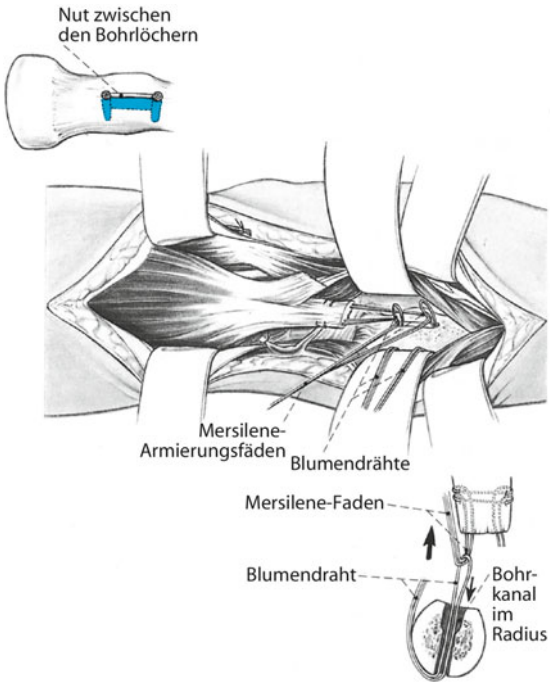


Abb. 6.88 Durchziehen der Mersilenefäden mit Drahtschlingen durch die beiden Bohrlöcher. (Aus: Krüger-Franke u. Refior 1991)

eingefädelt wird, kann nun pro Bohrloch je ein Mersilenefaden durchgezogen werden. Die Fäden werden dann in maximaler Pronation miteinander verknotet (Abb. 6.88).

Nachteilig an der Methode ist der hohe Präparationsaufwand auf engstem Raum, der zu einer Traumatisierung der Weichteile führt, verbunden mit der Gefahr von Nervenschäden. Viel eleganter ist es, den Sehnenstumpf mit Hilfe von 2 Knochenankern zu reinserieren. Die Methode ist technisch vergleichsweise einfach, weil man den proximalen Radius nur im Bereich der Tuberositas radii darstellen muss und die Fäden für die Reinsertion nicht transossär geführt werden müssen. Zur Prophylaxe extoper Ossifikationen empfiehlt sich die Gabe eines NSAR-Präparats für 3 Wochen (Großstück et al. 2002).

Bei jeder operativen Refixation einer ausgerissenen Bizepssehne sollte eine Gewebeprobe gewonnen und histologisch beurteilt werden, weil im Rahmen solcher Verletzungen häufig gutachterliche Fragestellungen bezüglich eines möglichen Unfallzusammenhangs zu beantworten sind.

Nachbehandlung

Der Arm wird in Beugestellung und Supination in einer Schiene gelagert, um den Zug auf den Sehnenansatz zu verringern. Nach gesicherter Wundheilung wird eine Übungsbehandlung begonnen, bei der der Arm täglich aus der Schiene herausgenommen wird. Die Übungsbehandlung respektiert die Schmerzgrenzen und vermeidet die aktive Beugung und Supination. Nach 6 Wochen kann die Schiene wegbleiben, und der Bizeps aktiv beübt und bis zur Schmerzgrenze gedehnt werden. Eine stärkere Belastung sollte erst nach 12 Wochen erfolgen.

Komplikationen und Prognose

Eine Verletzung des tiefen Asts des N. radialis kann durch das operative Vorgehen erfolgen, ebenso wie eine Verletzung der A. brachialis.

Kompartment-Syndrom

Ätiologie

Der Unterarm ist nach dem Unterschenkel am zweithäufigsten durch ein Kompartment-Syndrom gefährdet. Als Ursache kommen neben Unterarmfrakturen auch die suprakondylären Humerusfrakturen in Betracht. Daneben spielen Gefäßverletzungen, Quetschungen, Verbrennungen, intraartikuläre Drogeninjektionen und komprimierende Verbände eine Rolle (Wippermann et al. 1991).

Klinik und Diagnostik

Ein Frühsymptom am Unterarm ist die Schmerzprovokation durch passive Streckung der Langfinger (weitere Beschreibung: ▶ Kap. 17, Komplikationen).

Therapie

Nach anatomischen Studien bestehen 10 isolierte Kompartimente am Unterarm, streckseitig 4, beugeseitig 6. Für das operative Vorgehen ist es jedoch ausreichend, zwischen 3 Räumen zu unterscheiden, die es zu entlasten gilt:

- Das dorsale Kompartiment mit Handgelenk- und Fingerstreckern sowie den R. profundus des N. radialis,
- das volare Kompartiment mit den oberflächlichen Beugern und
- das Kompartiment der tiefen Beuger mit dem N. medianus.

Beim isolierten Kompartment-Syndrom der Unterarmbeuger wird die Muskulatur durch eine volare Inzision entlastet. Dabei kommt es darauf an, proximal den Lacertus fibrosus und distal das Retinaculum flexorum mitzuspalten. Die Loge der oberflächlichen Beuger eröffnet man über dem M. flexor carpi ulnaris. Wenn man diesen Muskel nach ulnar abdrängt, erreicht man das tiefe Kompartiment, bei dessen Eröffnung man auf das ulnare Gefäß-Nerven-Bündel achten muss. Auch der N. medianus, der zwischen M. flexor digitorum superficialis und M. flexor pollicis longus verläuft, muss laut Echtermeyer (1991) dekomprimiert werden.

Streckseitig geht man über dem gedachten Verlauf des Radiusschafts ein. Die Mm. brachioradialis, extensor carpi radialis longus et brevis entspringen im distalen Anteil des ventralen Kompartiments des Oberarms und müssen, da sie in eine eigene Faszienhülle eingescheidet sind, isoliert entlastet werden (Echtermeyer 1991).

Wenn die Hand oder der Oberarm mit betroffen sind, wird der Schnitt nach distal bis in die Hohlhand oder proximal ins Beugerfach des Oberarms jeweils S-förmig erweitert. Am Handrücken werden die Mm. interossei von dorsal durch je einen Zugang über dem 2. und 4. Mittelhandknochen eröffnet. Thenar und Hypothenar werden von palmar entlastet. Laut Lanz (1982) ist die einfachste Form der palmaren Entlastung die Querinzision oder Exzision der Palmaraponeurose. Zusätzlich werden über einen palmaren Zugang zum Handgelenk der Karpaltunnel und die Guyon-Loge gespalten (Abb. 6.89). Die Nachbehandlung entspricht der in ▶ Abschnitt 6.2.3 beschriebenen.

TFCC-Läsion

C. Schuster

Ätiologie

Der ulnokarpale Komplex (▶ Abschnitt 6.1.1) ist funktionell für 2 Gelenke verantwortlich. Zum einen stabilisiert er in transversaler Richtung das distale Radioulnargelenk (DRUG), welches v.a. bei extremen Umwendbewegungen durch die geringe Kontaktfläche eine kräftige Zügelung benötigt. Zum anderen puffert er im Ulnokarpalgelenk die axial auf die ulnare Handwurzel einwirkenden

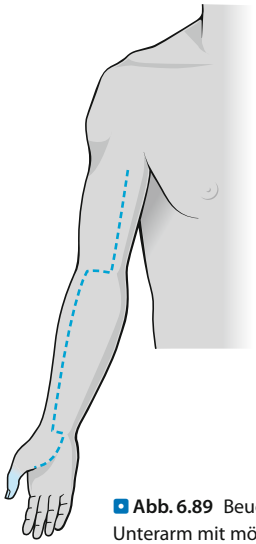


Abb. 6.89 Beugeseitiger Verlauf der Dermatofasziotomie am Unterarm mit möglicher Erweiterung nach distal oder proximal

Tab. 6.10 TFCC-Einteilung nach Palmer

Typ 1 traumatisch	Typ 2 degenerativ
1a Zentraler Diskusriss	2a Oberflächlicher degenerativer Diskusschaden
1b Ulnarer Diskusabriss Mit/ohne Fraktur des Processus styl. ulnae	2b Degenerative Diskusläsion mit Knorpelschaden am Lunatum und/oder Ulna
1c Distaler Diskusabriss	2c Degenerative Diskusperforation mit Knorpelschaden an Ulna und/oder Lunatum
1d Radialer Diskusabriss mit/ohne Fraktur des Radius	2d Degenerative Diskusperforation mit zusätzlicher lunotriquetraler Instabilität
	2e Degenerative Diskusperforation mit Knorpelschaden am Lunatum und/oder Ulna, ulno-karpale Arthrose bei lunotriquetraler Instabilität

Kräfte ab. So weicht bei der transversalen Instabilität der Ulnakopf nach palmar, dorsal oder ulnar aus. Beim so genannten Ulna-Impaction-Syndrom, also der axialen Verletzungsform, kommt es wegen des Vorschubs des Ulnakopfs zu einer Einklemmung des TFCC zwischen Caput ulnae und Os lunatum bzw. Os triquetrum. TFCC-Läsionen finden sich nach Handgelenksdistorsionen als isolierte Verletzungen, aber auch als Begleitverletzungen nach Radiusfrakturen, Handwurzelfrakturen bzw. -luxationen und ligamentären Verletzungen.

Klinik

Häufig klagen die Patienten über ulnokarpale Schmerzen mit Schwellung, Kraftminderung und Bewegungseinschränkungen hauptsächlich bei der Umwendbewegung. Ein »Reiben« oder »Schnappen« weisen auf eine Einklemmung oder Instabilität hin. Bei deutlicher Instabilität im distalen Radioulnargelenk zeigt sich eine schmerzhafte Prominenz des Ulnakopfs nach dorsal (»Klaviertastenphänomen«).

Bei der Abrissfraktur des Processus styloideus ulnae, bei Galeazzi-Verletzungen und bei Essex-Lopresti-Läsionen muss immer an die Läsion des TFCC gedacht werden.

Nach Essex-Lopresti (1951) kommt es durch eine manifeste axiale Krafteinwirkung zur Radiuskopftrümmerfraktur mit Zerreißung der Membrana interossea und Luxation des distalen Radioulnargelenks.

Diagnostik

Standardröntgenaufnahmen in 2 Ebenen zeigen das Längenverhältnis zwischen Ulna und Radius. Im Zweifelsfall werden Vergleichsaufnahmen der unverletzten Seite ergänzt. Wichtig ist, dass das Handgelenk streng seitlich aufgenommen wird, um die Versetzung von Radius und Handwurzel gegenüber dem Ulnakopf nach dorsal oder volar erkennen zu können. Die CT in Neutralstellung, Pronation und Supination des Handgelenks kann im Vergleich zur gesunden Seite geringgradige Verschiebungen aufdecken. Bei Verdacht auf eine TFCC-Läsion sollte eine hochauflösende MRT angeschlossen werden. Arthrografien sind dagegen nur noch Ausnahmefällen vorbehalten, denn die Tendenz geht eindeutig zur Arthroskopie, zum einen deshalb, weil die Sensitivität und Spezifität dieser Untersuchung am höchsten ist, zum anderen deshalb, weil sie gleichzeitig therapeutische Möglichkeiten bietet (s. unten).

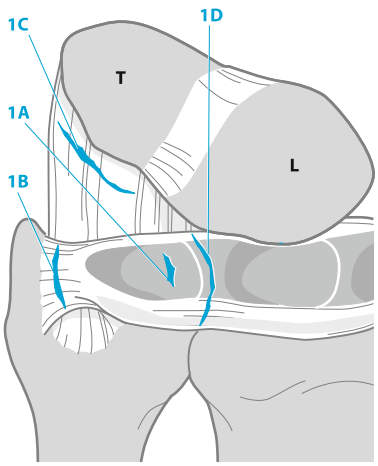


Abb. 6.90 Klassifikation der TFCC-Verletzungen nach Palmer. (Aus: Böhringer 2001)

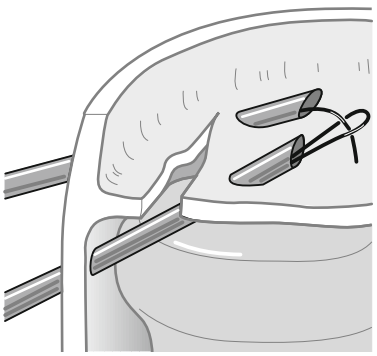


Abb. 6.91 Schema der Outside-inside-Naht einer 1b-Verletzung nach Palmer. (Aus: Böhringer 2001)

Klassifikation

Entsprechend der Einteilung nach Palmer (1989) werden die TFCC-Läsionen neben Schweregrad und Lokalisation in akute traumatische und degenerative Veränderungen eingeteilt (Tab. 6.10 und Abb. 6.90).

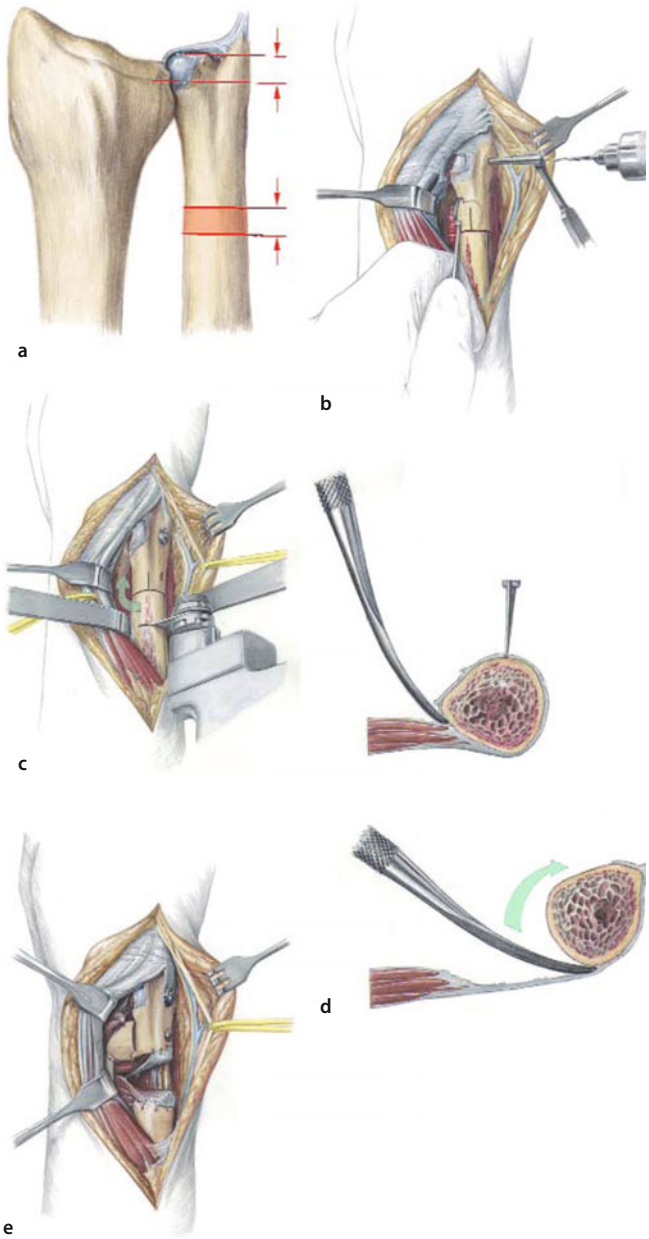


Abb. 6.92a–e Modifizierte Sauvé-Kapandji-Operation. Dorsoulnarer Hautschnitt über der distalen Elle, Schonung des Ramus dorsalis des N. ulnaris. **a** Ausgleich eines relativen Ellenvorschubs durch Resektion eines entsprechenden Ellensegments 3,5 cm proximal des distalen Ellenendes. **b** Schraubenarthrodese des DRUG in Neutralrotation. **c** Resektion eines 1,5 cm langen Ellensegments, Interposition und Schraubenosteosynthese des resezierten Segments zwischen Elle und Speiche. **d** Subperiostale Mobilisierung des proximalen Ellenschafts. **e** Ummantelung beider Resektionsenden mit Stabilisierung des proximalen Ellenstumpfes mit dem Periostreifen und dem Ansatz des M. pronator quadratus. (Aus: Zimmermann et al. 2003)

Therapie

Bei Verdacht auf eine isolierte TFCC-Läsion ohne Instabilität kann als erstes ein konservativer Behandlungsversuch mit Ruhigstellung und lokaler Injektionstherapie mit Kortisonpräparat und Lokalanästhetikum etwa 3-mal in Zeitintervallen von mehreren Wochen unternommen werden. Kommt es dadurch zu keiner Beschwerdebesserung, ist die Arthroskopie das Mittel der Wahl.

Ähnlich der Meniskuschirurgie am Knie ist die Sanierung instabiler Diskusbezirke entweder durch ein Débridement bei zentralen Defekten (Klassifikation 1a nach Palmer) oder eine arthroskopische Naht bzw. Refixation bei ulnaren Rupturen (1b, aber auch 1c und 1d) indiziert (Abb. 6.91). Die Operation wird üblicherweise in Leitungsanästhesie oder seltener in ITN durchgeführt. Die Patienten werden in Rückenlage gelagert. Zur Arthroskopie (2,7 mm 30° Optik) wird am 2. bis 4. Finger eine Distraktion von 3–5 kg je nach Schwere des Patienten über 3 Mädchenfänger angebracht. Zur Diagnostik des TFCC wird das Arthroskop ins 3/4-Portal 1 und der Tasthaken ins 4/5-Portal 2 oder auch 6R-Portal 3 eingeführt. Bei schlechter Sicht kommt ein Shaver (2,9 mm full radius) oder ein Vaporisator zum Einsatz. Eine exakte Exploration des Diskus unter Zuhilfenahme des Tasthakens ist unbedingt erforderlich, da lappenförmige Diskuseinrisse die Perforation kulissenartig überdecken können.

Bei instabilem distalen Radioulnargelenk empfiehlt sich eine zusätzliche K-Drahttransfixation in Neutralstellung über ca. 6 Wochen kombiniert mit einer Ruhigstellung im rigiden Oberarmkunststoffverband.

Nicht selten verbleibt eine Beschwerdepersistenz. Für die weitere Therapie stehen dann in Abhängigkeit von den vorhandenen Veränderungen unterschiedlichste Methoden zur Verfügung:

Findet sich eine Ulna-plus-Variante oder Ulna-neutral-Variante ohne Begleitveränderung wie Arthrose oder Fehlstellung des Radius, so ist eine Ulnaverkürzungsosteotomie angezeigt. Wünschenswert ist dabei eine negative Ulnavariante von etwa 2 mm, um im distalen Radioulnargelenk keine Inkongruenz zu erhalten. Durch eine doppelte Schrägosteotomie an der Ulna mit entsprechend parallel eingestellten Distanzsägeblättern kann einerseits die Verkürzung exakt bestimmt, andererseits eine breitere Knochenkontaktfläche zur besseren Stabilität erzielt werden. Die Osteosynthese wird mit einer 7-Loch-Kleinfragment-DC-Platte und interfragmentärer Zugschraube durchgeführt.

Bei zusätzlichen arthrotischen Veränderungen im distalen Radioulnargelenk sind anatomisch rekonstruktive Verfahren dann nicht mehr möglich. Alternative Verfahren sind dann die Operation nach Sauvé und Kapandji (1936), wie in Abb. 6.92 dargestellt sowie die Ulnakopf-Hemiresektionssehneninterpositionsarthroplastik nach Bowers (1985).

Bei fortbestehender schmerzhafter Instabilität liegt in der Implantation einer Ulnakopfprothese bestehend aus einem Titanschaft und einem Keramikkopf eine Rückzugsmöglichkeit. Die Rekonstruktion des distalen Radioulnargelenks unter Verwendung oben vorgestellter Prothese erfolgte erstmalig 1995. Die bisherigen Ergebnisse im Rahmen einer Multicenter-Studie sind Erfolg versprechend (van Schoonhoven 1998) (s. oben).

6.5 Amputationen an der oberen Extremität

R. Baumgartner

6.5.1 Grundlagen

An der oberen Extremität sind Amputationen 20-mal seltener als an der unteren. Anders als bei der unteren Extremität spielen arterielle Durchblutungsstörungen kaum eine Rolle. Im Bereich der Schulter sind Tumoren die wichtigste Ursache.

Wenn ein Gliedmaßenabschnitt so schwer geschädigt ist, dass eine Amputation unvermeidlich wird, muss die richtige Amputati-

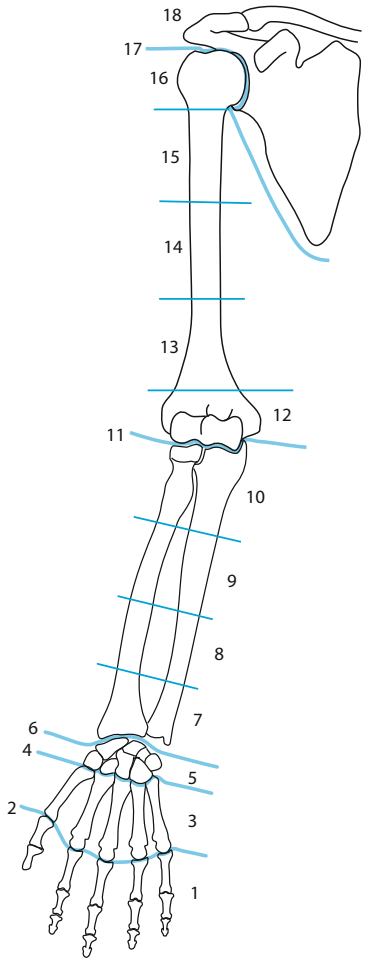


Abb. 6.93 Amputationshöhen an der oberen Extremität: 1 Finger, 2 Fingergrundgelenke, 3 Metakarpalia, 4 karpometakarpal, 5 transkarpal, 6 Handgelenk, 7 Unterarm lang, 8 mittel, 9 kurz, 10 ultrakurz, 11 Ellenbogengelenk, 12 transkondylär, 13 Oberarm lang, 14 mittel, 15 kurz, 16 ultrakurz, 17 Schultergelenk, 18 Schultergürtel

onshöhe gewählt werden. Dabei gilt es einerseits in Hinblick auf die spätere prothetische Versorgung, den Stumpf mit einer gut durchbluteten, schmerzfreien Weichteildeckung zu bilden. Andererseits muss man versuchen, soweit peripher wie möglich zu amputieren, denn die spätere Funktion verschlechtert sich mit jeder Kürzung, v.a. aber durch den Verlust von Gelenken. Doppelseitig Amputierte können unabhängig bleiben, wenn wenigstens ein Ellenbogengelenk erhalten werden konnte. Ohne Ellenbogengelenk sind sie auf fremde Hilfe angewiesen.

Entscheidend für die Wahl der Amputationshöhe ist die Vitalität des Gewebes bzw. der minimale Sicherheitsabstand von Tumoren. Dabei darf sich der Operateur präoperativ nicht auf eine bestimmte Amputationshöhe festlegen lassen, denn während des Eingriffs könnten sich Umstände ergeben, die ihn zwingen, höher abzusetzen als besprochen war. Das Ziel ist ein möglichst peripherer, schmerzfreier, auf seiner ganzen Oberfläche – mit und ohne Prothese – belastbarer Stumpf. Eine volle Sensibilität ist erwünscht, jedoch nicht Bedingung (Abb. 6.93).

Zur präoperativen Vorbereitung gehören neben Anamnese, Befund und Standardröntgenaufnahmen möglichst auch eine Fotodokumentation der Weichteilsituation. Der Patient sollte ausreichend Gelegenheit bekommen, sich mit dem notwendigen Eingriff und seinen Konsequenzen auseinanderzusetzen. Mit einer Aufklärung allein wird es in der Regel nicht getan sein. Es ist unerlässlich, das Gespräch mit dem Patienten und seinen Angehörigen so lange neu aufzunehmen, bis Einverständnis mit dem geplanten Vorgehen herrscht und alle Fragen dazu so weit möglich beantwortet sind. Andererseits können Infektionen zu einem raschen Handeln zwingen, sodass kaum Bedenkzeit für den Patienten verbleibt.

6.5.2 Allgemeine Operationstechnik

Die Extremität wird beweglich abgedeckt. Eine Blutsperre erleichtert die Präparation.

Bei der Stumpfdeckung an den Fingern, der Hand und am Unterarm soll möglichst ein asymmetrischer palmarer Weichteillappen gebildet werden. Hingegen verwendet man vom Ellenbogengelenk an nach proximal einen Lappen aus der dorsalen Weichteildecke. Die Narbe verläuft dementsprechend entweder streckseitig oder beugeseitig quer und befindet sich außerhalb der Hauptbelastungszone. Sie besteht dann idealer Weise aus intakten Weichteilen mit ungestörter Sensibilität und adäquater Verschieblichkeit zur Unterlage.

Die Schnittführung zeichnet man sich am besten an und integriert dabei, wenn möglich, etwaige Narben. Fisteln kann man vor der Amputation mit Blaulösung anspritzen. Dann lassen sie sich einfacher bei der Stumpfbildung abgrenzen und mit entfernen. Zuerst wird die Haut und Subkutis auf der ganzen Länge senkrecht (!) zur Oberfläche inzidiert. (Bei tangentialer Schnittführung schieben sich die Wundränder beim späteren Verschluss übereinander.) Als nächstes wird der kurze Lappen präpariert – das wäre an Fingern, Hand und Unterarm der dorsale Lappen. Von hier aus werden alle Gewebe bis auf den Knochen durchtrennt und die Gefäße und Nerven versorgt. Bei der Präparation werden die Weichteile nur nach distal, nicht nach proximal abgeschoben. Das Periost wird inzidiert und der Knochen mit der oszillierenden Säge oder der Gigli-Säge osteotomiert.

Bei Exartikulationen wird das Gelenk von dorsal eröffnet (außer Ellenbogengelenk) und der Kapselbandapparat am proximalen Rand abgesetzt. Anschließend lässt sich das Gelenk um 90° aufklappen. Dann kann man unter gleichzeitigem Zug am Amputat den palmaren Lappen bilden, indem man den bereits gesetzten Haut-Subkutis-Schnitt quer durch alle Schichten in einem Zug vervollständigt. Dann wird geprüft, ob eine spannungsfreie Stumpfbildung möglich ist. Der Knochen wird ggf. nachreseziert. Scharfe Knochenkanten werden gebrochen, Gefäße und Nerven versorgt (s. unten) und lange Sehnen auf Höhe des Knochens eingekürzt.

Zu beachten ist weiterhin:

- Anatomische Strukturen sollen berücksichtigt und Gewebeschichten nicht unnötig von einander getrennt werden. Für versenkte Nähte ist nur resorbierbares Material zu verwenden.
- Vor der Stumpfbildung bei Verwendung einer Blutsperre sollte dieselbe geöffnet und eine Blutstillung vorgenommen werden.
- Der Stumpf ist ausreichend zu drainieren.

Es wird ein Kompressionsverband mit nach proximal hin abnehmendem Druck angelegt.

Besondere Hinweise: Haut

Bestehende Narben sind möglichst in die Schnittführung einzubeziehen. Haut und Subkutis sollten nur senkrecht durchtrennt werden. Bei ungleich langen Hautlappen soll der Längenunter-

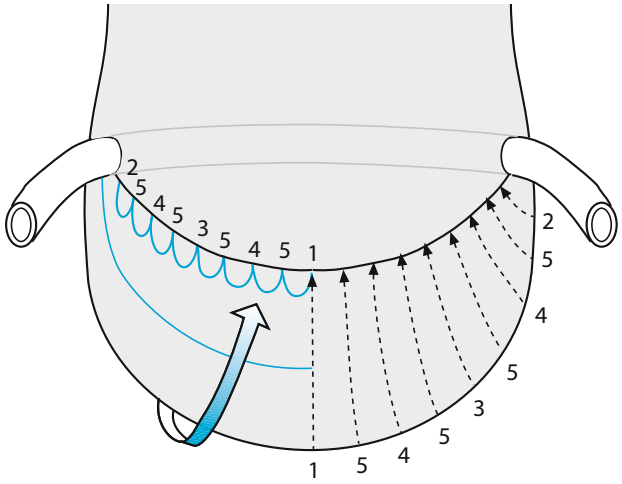


Abb. 6.94 So genannte Mokassinnaht. Die Überbreite eines Lappens wird gleichmäßig auf die geringere Breite des anderen Lappens verteilt. Die Ziffern geben die Reihenfolge an, in der die Nähte gelegt werden

schied gleichmäßig auf die ganze Hautnaht mit der sogenannten Mokassin-Naht verteilt werden (Abb. 6.94). Der Hautverschluss soll möglichst spannungsfrei erfolgen.

Verschiebelappen. Kein einziges Transplantat erreicht auch nur annähernd die sensorischen und mechanischen Eigenschaften der autochtonen Haut. Deshalb werden für die Stumpfdeckung an den Fingern bevorzugt alle Arten von Verschiebeplastiken eingesetzt (▶ Kap. 7, Hand, Abschnitt 7.6.3, Lokale Schwenk- oder Verschiebelappen).

Spalthautplastiken. Mit Spalthaut kann man Defekte einfach decken und damit Stumpflänge gewinnen. Die Spalthaut soll aber nicht am ipsilateralen Arm entnommen werden, weil der Hebedefekt mit der prothetischen Versorgung interferieren kann. Am einfachsten ist die Entnahme vom Amputat selbst. Die Haut kann tiefgekühlt wochenlang aufbewahrt werden.

Vollhautlappen. Freie gefäßgestielte Lappen haben Nachteile. Sie sind auf ihrer Unterlage hypermobil und die an der oberen Extremität besonders wichtige sensorische Innervation fehlt.

Ein Hautlappen darf nicht länger sein als er an seiner Basis breit ist.

Besondere Hinweise: Muskulatur

Bei der Bestimmung der Amputationshöhe kann man sich an der Farbe und Kontraktilität der Muskulatur orientieren. Thrombosierte Venen weisen auf eine Minderdurchblutung hin. Beim Vernähen von Muskeln mit dem Knochen werden dieselben in Neutralstellung des Stumpfs unter leichter Vorspannung über dem Knochenende refixiert. Im Idealfall bedeckt ein Haut-Muskel-Lappen den Knochenstumpf. Muskulatur darf man nicht strangulierend nähen.

Besondere Hinweise: Knochen und Knorpel

Bei der Osteotomie eines Röhrenknochen wird das Periost auf der gewählten Höhe zunächst inzidiert und anschließend nach distal abgeschoben. Die Osteotomie selbst sollte unter ständiger Kühlung eines unverbrauchten, scharfen Sägeblatts erfolgen. Die scharfen Knochenkanten werden ebenfalls mit der Säge gebrochen. Wenn nach der Osteotomie kein spannungsfreier Verschluss der Weichteile möglich ist, muss der Knochenstumpf entsprechend gekürzt werden.

Bei Exartikulationen sollte man den Knorpel grundsätzlich stehen lassen, denn diese Schicht bildet den physiologischen Abschluss des Knochens. Sie braucht nur dann entfernt zu werden, wenn Kondylen aufgrund einer nicht ausreichenden Weichteildeckung eingekürzt werden sollen.

Besondere Hinweise: Nerven

Die zarten Nervengewebe sollten möglichst schonend freigelegt werden. Sie sollen nicht überdehnt oder gequetscht werden. Die begleitenden Gefäße der Nerven der oberen Extremität brauchen nicht gesondert ligiert zu werden. Man durchtrennt die Nerven dort, wo ihre Stümpfe in gut durchblutetem Weichteilgewebe zu liegen kommen und später zwischen Knochen und Prothesenschaft nicht unter Druck geraten werden.

Die großen Armnerven werden gemäß der jeweiligen Topografie aufgesucht, schonend präpariert und 3–5 cm proximal des Knochenstumpfendes mit dem Skalpell glatt durchtrennt.

Bei der Bildung kurzer Unterarmstümpfe wird der N. ulnaris über einen separaten kurzen Zugang in Höhe der Oberarmmitte aufgesucht und hier abgesetzt. Die Stümpfe des distalen Armplexus werden in die Pektoralismuskulatur versenkt. Hautnerven sollen gesondert identifiziert, 1–2 cm frei gelegt und glatt durchtrennt werden (Abb. 6.95).

Besondere Hinweise: Gefäße

Im Gegensatz zu den Nerven werden Arterien und Venen möglichst distal abgesetzt.

6.5.3 Stumpfbildung

Zu den Verfahrensweisen an der Hand: ▶ Kap. 7.

Unterarm

Bei schweren Knochen- und Weichteilschäden der oberen Extremität verläuft die Amputationshöhe am häufigsten im Bereich des Unterarms. Amputationen können bei Knochensepsis, Morbus Buerger-Winiwarter, nach Starkstromverbrennungen und nach Explosionen eines in den Händen gehaltenen Sprengkörpers oft auf beiden Seiten notwendig werden. Bei Sprengkörperverletzung können sie mit Erblindung und Hörschaden einhergehen (»blinder Ohnhänder«).

Mit jeder Kürzung verliert der Stumpf an Kraft. Der Hebelarm verringert sich und die Umkehrbeweglichkeit wird eingeschränkt.

Beim ultrakurzen Stumpf ist die Ulna nur noch 4–6 cm lang. Trotz des kurzen Hebelarms ist er aufgrund des intakten Ellenbogengelenks jeder höheren Amputation funktionell überlegen. Der Radius wird bei der Stumpfbildung vollständig reseziert und die Bizepssehne nicht angeschlossen.

Zur Stumpfdeckung wird ein palmarer Lappen verwendet. Wenn zu wenig Material vorhanden ist, können auch in der Frontal oder Sagittalebene verlaufende symmetrische oder asymmetrische Lappen gebildet werden. Entscheidend ist der Längenerhalt bei adäquater Weichteildeckung. Ulna und Radius werden auf gleicher Höhe abgesetzt, ohne die Membrana interossea von den Knochenenden zu lösen. Die Nerven werden gekürzt, Knochenkanten abgerundet und Knochenenden möglichst mit einem Haut-Muskel-Lappen gedeckt.

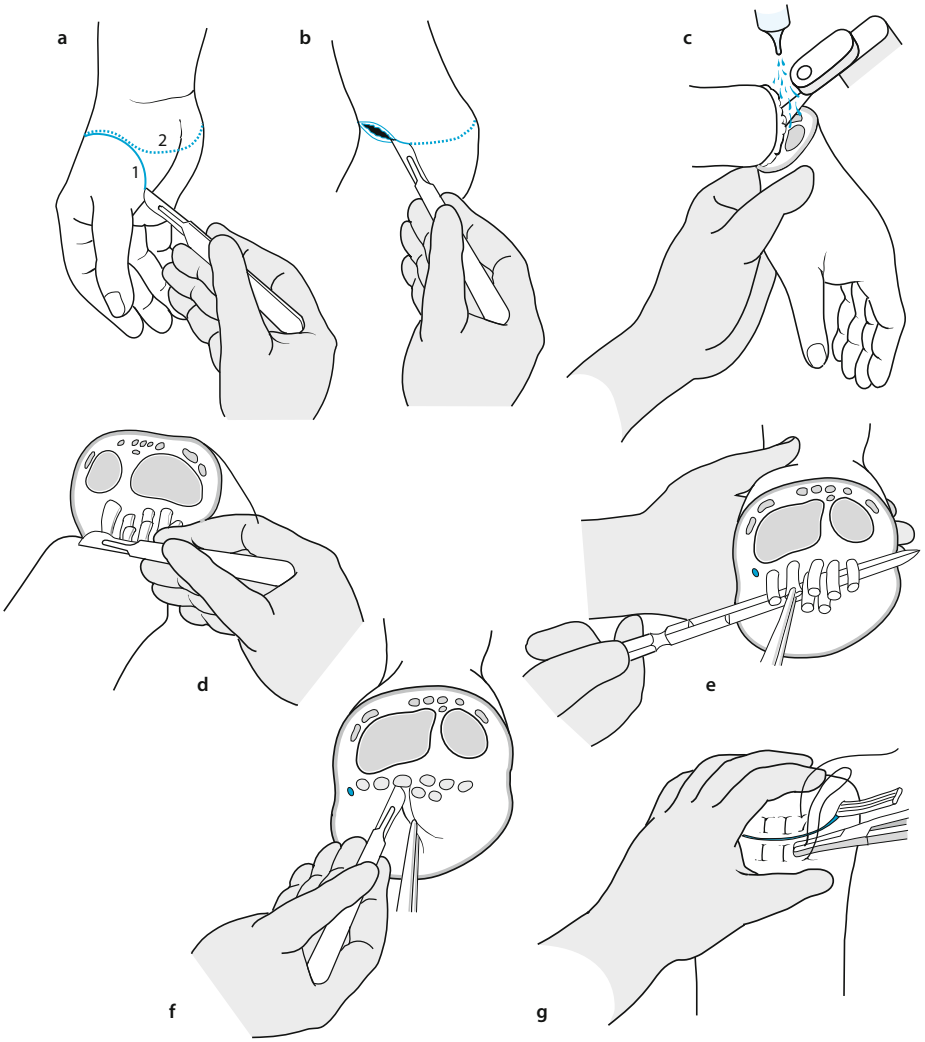


Abb. 6.95a–g Handwurzel- oder Handgelenkamputation. **a** 1 transkarpal, 2 Handgelenk, **b** Schnittführung durch Haut und Unterhautgewebe. **c** Durchtrennen der Knochen unter Kühlung von der Streckseite aus, Knochenkanten brechen. **d** Hand rechtwinklig kippen, palmaren Lappen unter Zug setzen, Amputation vervollständigen. **e** Palmarfaszie und Sehnen kürzen. **f** Nerven kürzen. **g** Wundverschluss einschichtig atraumatisch, Drainage

Verbesserung der Funktion

Krukenberg-Plastik

Bei der seltenen Krukenberg-Plastik wird aus einem mittellangen oder langen Unterarmstumpf eine sensible Greifzange gebildet. Der Eingriff erfolgt 4–6 Monate nach einer stattgehabten Amputation. Ulna und Radius werden im Bereich der Membrana interossea samt zugehöriger Muskulatur voneinander getrennt. Die Innenseite der Greifzange soll zur Verbesserung der Greiffunktion mit sensorisch innervierter Vollhaut bedeckt sein. Der gewöhnungsbedürftige Anblick lässt sich mit einer passiven Prothese tarnen. Indiziert ist diese Verfahrensweise bei blinden oder sehenden Ohnhändern. Im tropischem Klima, wo das Tragen einer Prothese häufig zu Hautmazerationen im Stumpfbereich führt, kann eine Krukenberg-Zange ein geeigneter Ausweg sein, oder auch in Entwicklungsländern, wenn Geld und Logistik für eine gute Prothetik fehlen. Die funktionellen Ergebnisse sind aber ohnehin besser als die jeder bisherigen Prothese (Abb. 6.96).

Kineplastik nach Sauerbruch-Lebsche

Das Prinzip des Verfahrens besteht in der direkten mechanischen Kraftübertragung von einem Muskel auf die Kunsthand durch Bildung eines mit Vollhaut ausgekleideten, fingerdicken Kanals durch den desinserierten Bauch des M. biceps. Im Kanal wird ein Stab eingelegt, der sich durch die Kontraktionen des Muskels auf- und abbewegen lässt. Über einen Steigbügel und über Kabelzüge lässt sich die Kunsthand öffnen. Der Prothesenträger erhält eine indirekte Rückmeldung über den Druck des Stabs im Vollhautkanal. Indiziert ist das Verfahren bei doppelseitiger Unterarmamputation. Es setzt Lernfähigkeit und Compliance beim Patienten voraus und eignet sich nicht für schwere Arbeiten.

Offene Mobilisation des Ellenbogengelenks

Starkstromverletzungen, die eine Amputation des Unterarms zur Folge haben, münden häufig in einer Kontraktur des Ellenbogengelenks in Streckstellung. Dann können Stumpf und Prothese den Mund nicht erreichen. Eine offene Mobilisation des Gelenks ist dann indiziert. Über einen dorsalen Längsschnitt mit V-förmiger Inzision der Trizepssehne wird das Gelenk eröffnet, Kapsel und Bänder werden durchtrennt, und der N. ulnaris wird gekürzt. In einer Beugestellung von 110° wird die nun relativ zu kurze Trizepssehne in Form einer V-Y-Plastik reinseriert und anschließend das Gelenk in einem Fixateur externe in 90° Beugung gehalten, bis die Wundheilung abgeschlossen ist. Zuletzt können die häufig vorhandenen, begleitenden Weichteildefekte in der Beugefalte des Ellenbogengelenks angefrischt und adaptiert werden.

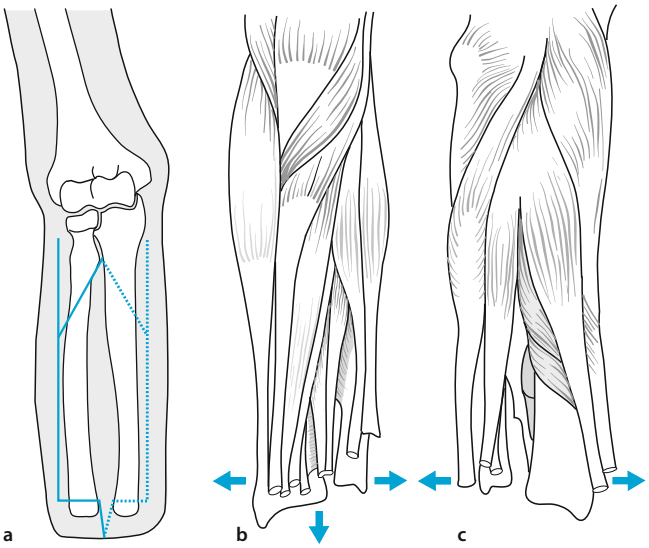


Abb. 6.96a–c Krukenberg-Greifzange. **a** Schnittführung nach E. Marquardt: Die durchgängige Linie liegt beugeseitig, die gepunktete streckseitig. **b** Die palmare Muskulatur wird auf die beiden Röhrenknochen verteilt, die Mm. pronator quadratus, flexor indicis proprius und der ulnare Anteil des M. flexor digitorum profundus werden entfernt. **c** Verteilen der streckseitigen Muskeln auf die beiden Röhrenknochen. Die Membrana interossea wird entlang der Ulna abgelöst

Exartikulation im Ellenbogengelenk, transkondyläre Amputation

Durch eine Exartikulation entsteht ein birnenförmiger flacher Stumpf, der sich gut eignet, um daran eine Prothese sicher und rotationsstabil anzulegen. Die Amputation wird am extendierten Ellenbogengelenk von der Beugeseite aus vorgenommen. Zuerst wird das Humeroradialgelenk eröffnet, anschließend das Humeroulnargelenk. Dann wird das distale Humerusende abgerundet. Bei nicht ausreichender Weichteildeckung kann das Humerusende in der transkondylären Ebene nachgekürzt werden (Abb. 6.97).

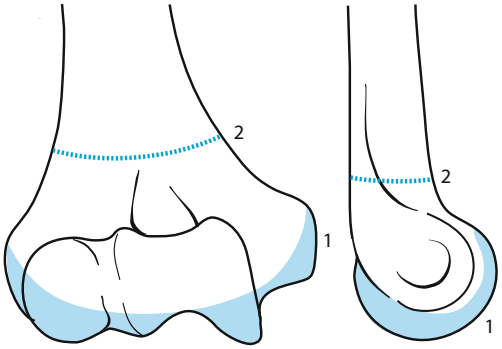


Abb. 6.97 1 Exartikulation im Ellenbogengelenk und 2 transkondylär

Oberarm

Im Bereich der Humerusdiaphyse erfolgt ein Fischmaulschnitt mit Bildung eines ventralen und dorsalen Haut-Muskel-Lappens. Man beginnt beugeseitig vorzugsweise mit der Durchstichmethode. Die großen Gefäße werden ligiert. Anschließend wird der Knochen durchtrennt und dann ein dorsaler Lappen gebildet. Die Muskelstümpfe fixiert man transossär in Neutralstellung. Bei schlechter Durchblutung oder Infektion werden sie nur adaptiert, nicht transossär fixiert. Der Prothesenschaft muss die Schulter umgreifen, um rotationsstabil am Stumpf befestigt werden zu können (Abb. 6.98, Abb. 6.23).

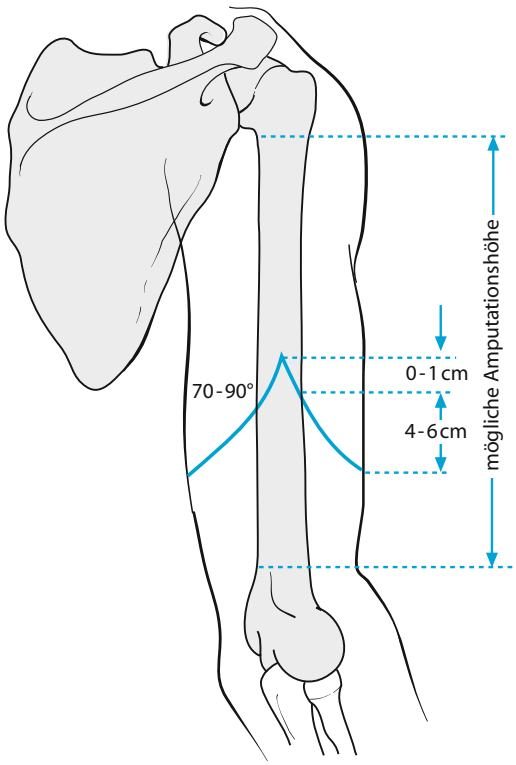


Abb. 6.98 Transhumerale Amputation durch die Diaphyse. Schematische Darstellung der symmetrischen Weichteillappen, gebildet aus der Streck- und Beugeseite

Verfahren

Winkelosteotomie nach E. Marquardt

Eine rechtwinklige, zur Beugeseite gerichtete Osteotomie verbessert den Halt und die Rotationsstabilität eines Oberarmstumpfs. Voraussetzung ist ein ausreichend langer Stumpf. Das Verfahren kann nur dann erfolgreich sein, wenn das neu geformte Knochenende frühzeitig belastet wird, denn bei Inaktivität wird die neu geformte Knochennase rasch wieder resorbiert.

Stumpfkappenplastik nach E. Marquardt

Eine runde Stumpfkappe verhindert oder behebt die drohende wachstumsbedingte Durchspießung eines Humerusstumpfs im Kindesalter.

Schulterarthrodese nach Laumann-Kuhn

Wenn keine Schultermuskulatur mehr vorhanden ist, kann der Oberarmstumpf durch eine Arthrodese stabilisiert werden. Gleichzeitig wird eine subkapitale Varisierungsosteotomie durchgeführt, damit eine für den Prothesenschaft ausreichend weite Achselhöhle entsteht.

Arthrodese bei subkapitaler Amputation

Durch den Zug der Rotatorenmanschette weicht der Humeruskopf in eine Abduktionsfehlstellung ab. Dem kann man mit einer Arthrodese in Neutralstellung entgegenwirken. Die Arthrodese wird über einen anterioren Zugang zur Schulter durchgeführt. Die Stumpfdeckung erfolgt in der tiefen Schicht mit den Mm. biceps

Abb. 6.99 Myoplastische Deckung einer subkapitalen transhumeralen Amputation

und brachioradialis und in einer oberflächlichen Schicht, in der die Mm. deltoideus und pectoralis miteinander vernäht werden (Abb. 6.99).

Exartikulation im Schultergelenk

Über einen anterioren Zugang wird das Gelenk exartikuliert. Die leere Pfanne wird mit Muskellappen aufgefüllt. Das Akromion wird gekürzt oder osteotomiert und anschließend nach kaudal gekippt fusioniert.

Amputation im Schultergürtel (forequarter amputation)

Der Patient wird in Seitenlage operiert. Dadurch hat man sowohl von dorsal als auch von ventral einen guten Zugang. Zunächst wird das Schulterblatt mobilisiert, dann die Klavikula durchtrennt und das Gefäß-Nerven-Bündel dargestellt und ligiert. Mit den reichlich vorhandenen ortsständigen Muskeln erfolgt die Deckung des Wundgebiets. Falls nicht ausreichend Haut zur Verfügung steht, kommt Spalthaut zum Einsatz.

Prothesenversorgung

Für jeden Patienten mit Amputationsverletzung müssen die Möglichkeiten und Grenzen einer Versorgung mit einer Prothese in Zusammenarbeit mit der Orthopädietechnik und der Ergotherapie individuell abgeklärt werden. Es geht um die Rückgewinnung der Selbstständigkeit bei den täglichen Verrichtungen wie Essen, Kleiden, Toilettengang, Schreiben, Autofahren und den Anforderungen am Arbeitsplatz.

Viele Patienten empfinden ihre Prothese als hilfreich. Andere ziehen es vor, ganz auf sie zu verzichten und kommen ohne besser aus. Letzteres ist v.a. bei Verlusten im Bereich der Finger und der Hand oder bei Amputationen oberhalb des Ellenbogengelenks der Fall.

Entscheidend dafür, ob eine Prothese von seinem Träger als hilfreich empfunden wird, ist eine feste, aber dennoch bequeme Verbindung zwischen Stumpf und Schaft.

Form und Funktion sind oft nur schwer unter einen Hut zu bringen. Steht eine möglichst naturgetreue Imitation im Vordergrund, bietet die Silikontechnik heute ganz hervorragende Möglichkeiten der täuschend echten Nachbildung.

Die bestmögliche Funktion liefert der Greifhaken oder Hook. Die Bewegungen von Thorax und Schulter werden über Bandagen und Kabel auf den Greifhaken oder eine Kunsthand übertragen. Sie übermitteln dem Amputierten wichtige indirekte Rückinformationen. Der Greifhaken ist ein nützliches Werkzeug. Er ist z.B. in den USA allgemein akzeptiert.

Bei uns wird der Greifhaken aber bei den Betroffenen aufgrund seines kosmetisch unbefriedigenden Aussehens mehr und mehr abgelehnt. Hierzulande arbeitet man deshalb zunehmend mit aktiv beweglichen Kunsthänden mit myoelektrischer Steuerung. Die Myosignale werden von der Muskulatur des Amputationsstumpfs abgeleitet. Der Patient hat die Wahl zwischen elektrischer Hand und Elektrogreifer.

Von Hybrid-Prothese spricht man, wenn die Eigenkraft z.B. des Ellenbogengelenks mit Myoelektrik aus einem Unterarmstumpf für die Beweglichkeit einer Kunsthand kombiniert wird.

Literatur

Adams B, Berger RA (2002) An anatomic reconstruction of the distal radioulnar ligaments for posttraumatic distal radioulnar joint instability. J Hand Surg 27A: 243-251

Bakalim C (1970) Fractures of radial head and their treatment. Acta Orthop Scandinav 41: 320–331

Baumgartner R (2007) Amputationen an der oberen Extremität. OP-Journal 23: 186-199

Baumgartner R, Botta P (2008) Amputation und Prothesenversorgung. 3. Aufl. Thieme Verlag, Stuttgart

Bauer G, Wörsdörfer O, Braun K (1990) Radioulnarer Brückenkallus nach Osteosynthesen von Unterarmschaftfrakturen. Aktuelle Traumatol 20: 194–198

Beickert R, Bühren V (2003) Arthrolyse des Ellengelenks. Trauma und Berufskrankheit 5: 41–54

Berger A, Becker MH (1994) Brachial plexus surgery: our concept of the twelve years. Microsurgery 15: 760–767

Berlemann U, Barnbeck F (1994) Die operative Therapie der Radiusköpfchenfraktur – Ergebnisse der Osteosynthesen und der Resektionsbehandlung. Unfallchirurg 97: 639–644

Bernard M, Hertel P (1991) Luxationsverletzungen von Ellenbogen und Unterarm. In: Breitner B (Hrsg) Chirurgische Operationslehre, Bd X. Urban & Schwarzenberg, München, S 161–179

Beyermann K, Krimmer H, Lanz U (1999) Läsionen des triangularen fibrokartilaginären Komlexes. Diagnostik und Therapie. Orthopäde 28:891-898
Blatter G, Papp P, Magerl F (1994) Ein Vergleich von zwei Gipsfixationsmethoden bei der Behandlung der Radiusfraktur in loco classico. Eine prospektive, randomisierte Studie. Unfallchirurg 97: 534–540
Blauth M (1991) Ellenbogenarthrolyse. Operat Orthop Traumatol 3:1 69–185
Blauth M, Gösling T (2001) Rekonstruktive Eingriffe am Ellenbogen. In: Schmit-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm, Hand (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg: 77–148 (Tscherne Unfallchirurgie)
Blauth M, Haas NP, Südkamp NP, Happa T (1990) Die Ellenbogenarthrolyse bei postraumatischer Gelenksteife. Orthopäde 19: 332–342
Böhringer G (2001) Arthroskopie des Handgelenks. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 267–289 (Tscherne Unfallchirurgie)
Bongers KJ, Muhr G (1984) Primär operative Behandlung der Oberarmschaftbrüche? Neth J Surg 36: 163–167
Bowers WH (1985) Distal Radioulnar Joint Arthroplasty: The Hemiresection – Interposition Technique. J. Hand Surg. 10A: 169–178
Boyd HB, McLeod AC (1973) Tennis elbow. J Bone Joint Surg Am 55: 1183
Brand D, Nonnenmacher J (1994) Die interfragmentäre Spickung distaler Radiusfrakturen nach Kapandji. Operat Orthop Traumatol 6: 248–259
Breitfuß H, Schaiger R (1999) Arthrolysen nach posttraumatischer Ellenbogensteife – Wann und Wie? Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Breyer HG (2008) Indikation zur Entfernung winkelstabiler Radiusplatten. Versuch einer evidenzbasierten Darstellung. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 256-258
Brug E, Westphal T, Schäfers G (1994) Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen. Unfallchirurg 97: 633–638
Buchbinder R, Green SE, Youd JM (2005) Shock wave therapy for lateral elbow pain. Cpchrane Database Syst Rev 2005, CD003524
Carson S, Woolridge DP, Coletti J (2006) Pediatric upper extremity injuries. Pediatric Clin North Am 53: 41–67
Daecke W, Geiger F (2008) Radialisparese – gesicherte Literaturergebnisse. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 267–271
Demmer PJ v, Rettig H (1982) Degenerative Erkrankungen und Osteonekrosen. In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orthopädie in Praxis und Klinik, Bd VI, Teil 2. Thieme, Stuttgart, S 6.7–6.18
DiPaola M, Geissler WB, Osterman AL (2008) Complex elbow instability. Hand Clin 24: 39–52
Echtermeyer V (1991) Kompartmentsyndrom. Unfallchirurg 94: 225–230
Essex-Lopresti P (1951) Fractures of the Radial Head with Distal Radioulnar Dislocation: Report of Two Cases. J.Bone Joint Surg. 33B: 244–247
Faschingbauer M, Meiners J, Wallstabe S, Seide K, Jürgens C (2007) Ellengelenknahe Unterarmfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 9[Supp 2]: S192–S196
Feil J, Burri C, Kiefer H (1988) Offene Frakturen des Ellenbogengelenkes. Orthopäde 17: 272–278
Fernandez DL, Jupiter JB (1996) Fractures of the distal radius. Springer, Berlin
Friedl H-P, Trentz O (1995) Distaler Radius. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg) Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 521–531
Friedman SL, Palmer AK (1991) The ulna impaction Syndrom. Hand Clin 7: 295–310
Friedl H-P, Trentz O (1995) Unterarmschaft. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg) Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 521–531
Frosch KH, Knopp W, Dresing K (2003) A bipolar radial head prosthesis after comminuted radial head fractures: indications, treatment and outcome after 5 years. Unfallchirurg 106: 367–373
Fyfe IS, Mossad MM, Holdsworth BF (1985) Methods of fixation of olecranon fractures. j Bone Joint Surg Br 67-B: 367–372
Gabel M, Pechlaner S, Ailer R, Frießnig P (1992) Dorsale Stauchungsbrüche der distalen Radiusmetaphyse. Aktuelle Traumatol 22: 15–18
Garden RS (1961) Tennis Elbow. J Bone Joint Surg Br 43: 100–106
Gebauer M, Rücker AH, Barvencik F, Rueger JM (2005) Therapie der Radiusköpfchenfraktur. Unfallchirurg 108: 657-668
Georgoulis A, Hertel P (1991) Partielle Fallhand durch R. profundus nervi radialis Verletzung. Unfallchirurg 94: 139–143
Gradl G, Wendt M, Gierer P, Beck M, Mittlmeier T (2008) Intramedulläre Versorgung der distalen Radiusfraktur. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 241–244
Großstück R, Wohlgemuth G, Otto W (2002) Bizepssehnenruptur. Trauma und Berufskrankheit 4[Supp 1]: S59–S64
Hausmann M, Panozzo A (2004) Treatment of distal humeral fractures in the elderly. Clin Orthop 425: 55–63
Heppert V, Malze K, Wentzensen A (2000) Konservative versus Operative Behandlung bei Oberarmschaftfrakturen. Fixatuer externe. Trauma und Berufskrankheit 2[Supp 4]: S479-S484
Herbertsson P, Josefsson PO, Hasserius R, Besjakov J, Nyqvist F, Karlsson MK (2004) Fractures of the radial head and neck treated with radial head excision.J Bone Joint Surg Am 86-A(9): 1925–1930
Hertel R, Wolfram L (2001) Offene Ellenbogenarthrolyse bei erhaltener Gelenk-Flächengeometrie. Orthopäde 30: 619–625
Hertz H (1999) Monokondyläre Frakturen und Frakturen des Capitulum humeri radialis. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Hobgood ER, Khan SO, Field LD (2008) Acute dislocations of the adult elbow. Hand Clin 24: 1–7
Hohmann G (1933) Das Wesen und die Behandlung des sog. Tennisellenbogens. Münch Med Wochenschr 89: 250–255
Hölzl A, Verheyden AP (2008) Isolierte Olekranonfrakturen. Unfallchirurg 111: 727–734
Huang TL, Chiu FY, Chuang TY (2004) Surgical treatment of acute displaced fractures of adult distal humerus with reconstruction plate. Injury 35: 1143–1148
Hughes RE, Schneeberger AG, An KN, Morrey BF, O'Driscoll SW (1997) Reduction of triceps muscle force after shortening of the distal humerus: A computational model. J Shoulder Elbow Surg 6: 444–448
Inhofe PD, Moneim MS (1996) Late presentation of triceps rupture. A case report and review of the literature. Am J Orthop 25: 790–792
Jaskulka R, Harm T (1991) Conservative therapy of closed, dislocated fractures of the olecranon in geriatric patients. Unfallchirurg 94: 424–429
Josten C (1999) Radiusköpfchentrümmerfrakturen – Wann ist ein Ersatz notwendig? Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Josten C, Lill H (1999) Heterotope Ossifikationen. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Josten C, Lill H (2002) Ellenbogenverletzungen. Steinkopf, Darmstadt, S 108-137
Käch K, Trentz O (1995) Humerusschaft. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg) Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 496–508
Klestil T, Rangger C, Kathrein A, Brenner, Beck E (1997) Konservative und operative Therapie traumatischer Oberarmschaftbrüche. Chirurg 68: 1132–1136
Klonz A, Eggers C, Reilmann H (2000) Die proximale und distale Bizepssehnenruptur – Operationsindikation. Trauma und Berufskrankheit 2 [Supp 1]: S110–S114
Kolb K, Koller H, Holz U, et al. (2008) Die offene Arthrolyse der posttraumatischen Ellenbogensteife. Unfallchirurg 111: 299–307
Kolb W, Guhlmann H, Windisch C, et al. (2008) Komplexe osteoligamentäre Verletzungen des Ellenbogens. Therapie mit dem Bewegungsfixateur. Unfallchirurg 111:584-591Kraus E, Harstall R, Borisch N, Weber D (2009) Primär endoprothetischer Ellenbogengelenkersatz bei komplexen intraartikulären distalen Humerusfrakturen. Unfallchirurg 112: 692–698
Krimmer H (2008) Neues und Zukünftiges in der Versorgung von Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 259–262
Krüger-Franke M, Refior HJ (1991) Die Operation der distalen Bizepssehnenruptur nach M. Lange. Operat Orthop Traumatol 3: 265–269
Kundel K, Braun W, Rüter A (1992) Distale intraartikuläre Humerusfrakturen bei Erwachsenen. Unfallchirurg 95: 219–223
Kundel K, Braun W, Wieberneit J, Rüter A (1996) Intraarticular distal humerus fractures. Results of 412 follow-up-cases (AO-collected statistics) Langenbecks Arch Chir 364: 359–361
Kwasny O, Fuchs M, Schabus R (1995) Der palmare Zugang zur Plattenosteosynthese der Radiusschaftfraktur. Operat Orthop Traumatol 7: 8–15

Kwasny O, Maier R, Kutscha-Lissberg F, Scharf W (1992) Vorgehen bei Oberarmschaftfrakturen mit primärem oder sekundärem Radialisschaden. Unfallchirurgie 18: 168–173
Kwasny O, Maier R, Scharf W (1990) Die operative Versorgung von Humerusschaftfrakturen. Aktuelle Traumatol 20: 187–192
Kwasny O, Schabus R, Fuchs M (1991) Die Korrekturosteotomie zur Behandlung des Karpaltunnelsyndroms bei in Fehlstellung verheilter distaler Radiusfraktur. Unfallchirurg 94: 478–481
Langenhan R, Weihe R, Kohler G (2007) Traumatische Ruptur der Trizepsbrachii-Sehne sowie der ipsilateralen Achillessehne. Unfallchirurg 110: 997–980
Lanz U (1982) Diskussion zum Hauptthema VIII. Hefte Unfallheilkd 158: 728–741
Letsch R, Schmit-Neuerburg K-P (2001) Distale Humerusfrakturen. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 11–36 (Tscherne Unfallchirurgie)
Letsch R, Schmit-Neuerburg K-P (2001) Frakturen der proximalen Ulna. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 37–52 (Tscherne Unfallchirurgie)
Letsch R, Schmit-Neuerburg K-P (2001) Bandverletzung und Luxationen des Ellenbogengelenks. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 67–76 (Tscherne Unfallchirurgie)
Letsch R, Schmit-Neuerburg K-P (2001) Überlastungsschäden, Entzündungen und Weichteilprobleme. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 155–165 (Tscherne Unfallchirurgie)
Lill H, Josten C (2000) Proximale und distale Humerusfrakturen im hohen Alter. Orthopäde 29: 327–341
Lob G, Burri C, Feil J (1984) Die operative Behandlung von distalen intraartikulären Humerusfrakturen: Ergebnis von 412 nachkontrollierten Fällen (AO-Sammelstatistik). Langenbecks Arch Chir 364: 359–361
Mader K, Pennig D, Gausepohl T (2004) Arthrolyse des Ellenbogengelenkes. Unfallchirurg 107: 403–414
McDougall A, White J (1957) Subluxation of the inferior radioulnar joint complicating fracture of the radial head. J Bone Joint Surg Br 39: 278–287
McKee MD, Miranda MA, Riemer BL, et al. (1996) Management of humeral non-union after the failure of locking intramedullary nails. J Orthop Trauma 10: 492–499
Mittlmeier T, Beck M (2009) Luxation des Ellenbogengelenks des Erwachsenen. Unfallchirurg 112: 487–505
Moed BR, Ede DE, Brown TD (2002) Fractures of the olecranon: an in vitro study of elbow joint stresses after tension-band wire fixation versus proximal fracture fragment excision. J Trauma 53: 1088–1093
Moneim MS, Garst JR (1995) Vascular injuries associated with elbow fracturs and dislocations. Int Angiol 14: 307–312
Morrey BF (2000) Surgical treatment of extraarticular elbow contracture. Clin orthop 370: 5–64
Morrey BF, An KN (2000) Functional evaluation of the elbow. In: Morrey BF (ed) The elbow and its disorders. 3rd edn. WB Saunders, Philadelphia, pp 74-83
Morrey BF, An KN, Chao EYS (1993) Funcional evaluation of the elbow. In: Morrey BF (ed) The elbow and its disorders. Saunders, Philadelphia
Morrey BF, Askew LJ, Chao EY (1981) A biomechanical study of normal functional elbow motion. J Bone Joint Surg [Am] 63:872-877Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller LP, Kamineni S, Rommens PM (2005) Primäre totale Ellenbogenprothese zur Versorgung distaler Humerusfrakturen. Operative Orthop Traumatol 17: 119–142
Müller-Mai C, Ekkernkamp A (2010) Frakturen. Klassifikation und Behandlungsoptionen. 1. Aufl. Springer Verlag, Heidelberg
Muhr G (1999) Das infizierte Ellenbogengelenk. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Mumenthaler M, Schliack H (1987) Läsionen peripherer Nerven. Springer, Berlin Heidelberg New York
Nigst H (1993) Kompressionsyndrome des N. medianus. Operat Orthop Traumatol 5: 40–47
O'Driscoll SW, Jupiter JB, King GJ et al (2001) The unstable ellbow. J Bone Joint Surg Am 82: 724–738
Oestern HJ (1991) Unterarmfrakturen – Radiusfrakturen – Ulnafrakturen. In: Breitner B (Hrsg) Chirurgische Operationslehre, Bd X. Urban & Schwarzenberg, München, S 181–206
Oestern HJ (1999) Distale Radiusfrakturen – Teil II: Operative Therapien. Chirurg 70: 1381–1394
Oestern HJ (2001) Unterarmschaftfrakturen. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 181–196 (Tscherne Unfallchirurgie)
Oestern HJ (2001) Distale Radiusfrakturen. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 217–223 (Tscherne Unfallchirurgie)
Oestern HJ (2001) Behandlung der distalen Radiusfrakturen. In: Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1), Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 225–248 (Tscherne Unfallchirurgie)
Opitz A (1983) Mechanische Dehnung am Unterarmskelett. Beilage zur Wien Klin Wochenschr 95[Suppl]:141–166
Palmer AK (1988) Fractures of the distal radius. In: Green D. Operative Hand Surgery. Churchill-Livingstone, New York: 991–1026
Palmer AK (1989) Triangular Fibrocartilage Complex Lesions: A Classification. J. Hand Surg A 14: 594–606
Petracic B (1993) Treatment of distal multi-fragment joint fractures of the radius. Indications, technique and results. Chirurg 64: 894–898
Pfeil J, Siebert W, Janousek A, Josten C (Hrsg) (2000) Minimal-invasive Verfahren in der Orthopädie und Traumatologie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Poeck K (1992) Neurologie, 8. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 410–411
Prommersberger KJ, Fernandez D (2004) Nonunion of distal radius fractures. Clin Orthop 419: 51–56
Prommersberger KJ, van Schoonhoven J (2007) Korrektureingriffe nach distaler Radiusfraktur. Unfallchirurg 110: 617–630
Prommersberger KJ, van Schoonhoven J (2007) Fehlverheilte Extensionsfraktur des distalen Radius. Korrekturosteotomie von palmar. Unfallchirurg 110: 631–636
Prommersberger KJ, van Schoonhoven J (2008) Störungen des distalen Radioulnargelenkes nach distaler Radiusfraktur. Unfallchirurg 111: 173–186
Reckling FW (1982) Unstable fracture-dislocations of the forearm (Monteggia and Galeazzi lesions). J Bone Joint Surg Am 64: 857–863
Regan WD, Morrey BF (1989) Fractures of the coronoid process of the ulna. J Bone Joint Surg Am 71A9: 1348–1354
Reichenheim PP (1947) Transplantation of the biceps tendon as a treatment for recurrent dislocation of the elbow. Br J Surg 35: 201–204
Rieger H, Pennig D, Grünert J, Brug E (1991) Heterotope Ossifikationen aus unfallchirurgischer Sicht. Unfallchirurg 94: 144–152
Rogers JF, Bennett JB, Tullos HS (1984) Management of concomittant ipsilateral fractures of the humerus and forearm. J Bone Joint Surg Am 66: 552–556
Rosen H (1990) The treatment of nonunions and pseudarthroses of the humeral shaft. Orthop Clin North Am 21: 725–742
Rothe M, Rudy T, Stankovic P, Stürmer KM (2001) Die Therapie der Galeazzifraktur – ist die Revision des distalen Radioulnargelenks zwingend notwendig? Handchir Mikrochir Plast Chir 33: 252–257
Rübberdt A, Surke C, Fuchs T, Frerichmann U, Matuszewski L, Vieth V, Raschke MJ (2008) Das präformierte LCP-Plattenfixateursystem bei distalen Humerusfrakturen AO-Typ 13C3. Unfallchirurg 111: 308–322
Rueger JM, Janssen A, Barvencik F, Briem D (2005) Distale Humerusfraktur. Unfallchirurg 108: 49–58
Sauvé L, Kapandji M (1936) Nouvelle technique de traitement chirurgical des luxations récidivantes isolées de l'extrémité inferieure du cubitus. J. Chir Surg 47: 589–594
Schädel-Höpfner M, Diener M, Windolf J (2008) Gesicherte Literaturergebnisse zur Therapie distaler Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 230–235

Schiebler TH, Schmidt W (1991) Anatomie, 5. korr. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 214–396
Schmickal T, Hoentzsch D, Wentzensen A (2007) Der Bewegungsfixateur zur frühfunktionellen Behandlung osteoligamentärer Verletzungen des Ellenbogengelenks. Unfallchirurg 110: 320–326
Schmidt H-M, Lanz U (1992) Chirurgische Anatomie der Hand. Hippokrates, Stuttgart, S 46–80
Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) (2001) Ellenbogen, Unterarm (Teil 1); Hand (Teil 2). Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie)
Schoonhoven van J, Lanz U (1998) Rund um den Ellenkopf. Verletzungsmuster und Klassifikation. Handchir. Mikrochir. Plastische Chirurgie 30: 351–360
Schoonhoven van J, Prommersberger KJ (2008) Ulnakopfprothese. Unfallchirurg 111: 187–192
Schwarz N (2003) Die distale Radiusfraktur – konservative Behandlung. OP-Journal 19: 16–20
Seddon HJ (1945) Three types of nerve injury. Brain 66: 237–286
Shepard MF, Markolf KL, Dunbar AM (2001) Effects of radial head excision and distal radial shortening on loadsharing in cadaver forearms. J Bone Joint Surg Am 83: 92–100
Siakos G, Poigenfürst J (1996) Spätergebnisse nach intermuskulären Ulnarisverlagerungen aus unfallchirurgischer Indikation. Unfallchirurg 99: 784–787
Sjobjerg JO (1996) The stiff ellbow. Acta Orthop Scand 67: 626–631
Smektala R, Endres HG, Dasch B, Bonnaire F, Trampisch HJ, Pientka L (2009) Die stationäre Behandlungsqualität der distalen Radiusfraktur in Deutschland. Ergebnisse eines Frakturregisters mit 1201 älteren Patienten. Unfallchirurg 112: 46–54
Srinivasan K, Agarwal M, Matthews SJE, Giannoudis PV (2005) Fractures of the distal humerus in the elderly. Clin Orthop Relat Res 434: 222–230
Stahel PF, Infanger M, Bleif IM, Heyde CE, Ertel W (2005) Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese. Trauma und Berufskrankheit 7[Supp 1]: S27–S32
Strobel M (1998) Ellenbogengelenk. In: Strobel M (Hrsg) Arthroskopische Chirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 731–791
Strobel M, Eichhorn J (1998) Arthroskopische Eingriffe. In: Bauch J, Halsband H, Hempel K, Rehner M, Schreiber HW (Hrsg) Manual Ambulante Chirurgie II. Fischer, Stuttgart, S 710–776
Szyszkowitz R (1999) Supra- und diakondyläre Oberarmfrakturen – Zugänge, OP-Technik und Resultate. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Tashijan RZ, Katarincic JA (2006) Complex elbow instability. J Am Acad Orthop Surg 14: 278–286
Taylor TKF, O'Connor BT (1968) The effect upon the inferior radio-ulnar-joint of excision of the head of the radius in adults. J Bone Joint Surg Br 46: 83–88
Thöni H (1999) Möglichkeiten und Grenzen des Magerl'schen Zuganges zum distalen Humerus. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Tscherne H (1973) Ellenbogenfrakturen beim Erwachsenen – Luxationsfrakturen. H Unfallheilk 114: 58
Tscherne H (1999) Die komplexe Ellenbogengelenksfraktur – Behandlungsstrategie und Ergebnisse. Vortrag auf dem 18. AO-Symposium »Das Ellenbogentrauma« 12.03.99, Salzburg
Tscherne H, Jähne J (1990) Aktueller Stand der Therapie der distalen Radiusfraktur. Unfallchirurg 93: 157–164
UHN-Operationstechnik. Solider Humerusnagel. Firma Synthes
Vanderwilde RS, Morrey BF, Melberg MW, Vinh TN (1994) Inflammatory arthritis after failure of silicone rubber replacement of the radial head. J Bone Joint Surg Br 76: 78–81
van Glabbeek F, van Riet RP, Baumfeld JA (2005) The kinemativ importance of radial neck length in radial head replacement. Med Eng Phys 27: 336–342
Vock B, Matschke S, Wentzensen A (2000) Konservative versus operative Behandlung bei Orberarmschaftfrakturen. Plattenosteosynthese. Trauma und Berufskrankheit 2[Supp 4]: S473-s478
Wallenböck E, Plecko M (1992) Komplikationen nach operativer Versorgung von Radiusköpfchenfrakturen. Unfallchirurgie 18: 339–343
Walz M, Auerbach F (2006) Die distale intraartikuläre Humerusfraktur beim alten Menschen. Kombinierte Versorgung mit perkutaner Schraubenosteosynthese und Fixateur externe. Unfallchirurg 109: 940–947
Walz M, Kolbow B, Auerbach F (2004) Was leistet die winkelstabile Plattenosteosynthese bei der distalen Radiusfraktur des alten Menschen? Unfallchirurg 107: 664–670
Wartenberg R (1932) Cheiralgia paresthetica. Z. Neurol. Psychiatr. 141: 145–155
Wening JV, Wobig B, Jungbluth KH (1993) Radiusköpfchenresektion bei Mehrfach- und Trümmerfrakturen. Unfallchirurgie 19: 175–182
Wenzl ME, Raimund F, Fuchs S, Paech A, Jürgens C (2007) Distale Humerusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 9[Supp 2]: S183–S191
Wiemer P, Köster G, Felderhoff J, Weber U (1999) Frakturen am distalen Radius: Wandel der therapeutischen Strategien. Orthopädie 28: 846–852
Wilhelm A, Gieseler H (1962) Die Behandlung der Epicondylitis humeri radialis durch Denervation. Chirurg 33: 118–122
Wilhelm K, Kreusser T, Kaiser E, Euler E (1990) Nervenkompressionssyndrome im Bereich des Ellenbogens und der Hand. Unfallchirurg 93: 165–180
Windolf J, Hakimi M, Schädel-Höpfner M (2008) Ergebnisse der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese am distalen Radius. Trauma und Berufskrankheit 10[Supp 2]: 236–240
Wippermann B, Schmidt U, Nerlich M (1991) Behandlungsergebnisse beim Kompartmentsyndrom des Oberarms. Unfallchirurg 94: 231–235
Wittner B, Holz U (1993) Die geschlossene Reposition und Spickdrahtosteosynthese dislozierter distaler Radiusfrakturen. Operat Orthop Traumatol 5: 286–290
Zettl RP, Clauberg E, Nat-Kolb D, Ruchholtz S, Kühne CA (2009) Volare winkelstabile versus dorsale Plattenosteosynthese bei der distalen Radiusextensionsfraktur. Eine prospektive randomisierte Untersuchung. Unfallchirurg 112: 712–718
Zimmermann R, Gabl M, Angermann P, Lutz M, Pechlaner S (2003) Langzeitergebnisse nach modifizierter Sauvé-Kapandji-Operation. Unfallchirurg 106: 561–565

Hand

C. Schuster

7.1 Basiswissen – 388
7.2 Handgelenk und Handwurzel – 390
7.3 Mittelhand – 412
7.4 Finger – 419
7.5 Sehnen, Bänder, Faszien – 428
7.6 Weichteilverletzungen – 443
7.7 Nervenverletzungen – 454
7.8 Amputationsverletzungen – 457
7.9 Infektionen der Hand – 461
Literatur – 466

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_7,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

7.1 Basiswissen

Die komplexe Darstellung der Funktion einer menschlichen Hand hat in den letzten 5 Jahrzehnten eine verstärkte Aufmerksamkeit erhalten. Da Erkrankungen und Verletzungen der Hand oftmals als leicht zu behandeln eingestuft wurden, zeigte sich erst im weiteren Verlauf die notwendige subtile Differenzierung in der Diagnostik und Therapie der Verletzungen. Handverletzungen werden von Handchirurgen, Unfallchirurgen, Orthopäden, Allgemeinchirurgen und plastischen Chirurgen ebenso behandelt wie vom Hausarzt. Durch zunehmende Spezialisierung gelang es jedoch – insbesondere durch die Weiterentwicklung der Mikrochirurgie – neue Therapieformen zu entwickeln. Zwischenzeitlich hat sich auch der hohe Stellenwert der korrekten Nachbehandlung als Eckstein für eine erfolgreiche Therapie herausgestellt.

Man muss daher bei Verletzungen und Erkrankungen der Hand zwischen einfacher und schwieriger zu behandelnden Fällen unterscheiden. Zu ersteren gehören unkomplizierte Frakturen im Bereich der Phalangen und der Metakarpalia sowie Strecksehnenverletzungen, die keine hochspezialisierte Nahttechnik erfordern. Verletzungen, die jedoch einer spezialisierten Behandlung bedürfen, sind Beugesehnenverletzungen, Verletzungen, die einen mikrochirurgischen Eingriff benötigen, wie Nervenverletzungen und Gefäßverletzungen, komplizierte Frakturen mit Gelenkbeteiligung oder Mehrfachverletzungen sowie die gesamte Karpuschirurgie mit frischen und degenerativen Veränderungen.

7.1.1 Anatomische Besonderheiten

Das Handskelett selbst wird durch eine hohe Anzahl von Bändern im Bereich der Handwurzel und der Gelenke gehalten, von denen klinische Verletzungen des ulnaren Seitenbandes am Daumengrundgelenk und am skapholunären Bandapparat eine besondere Rolle spielen. Der Verlauf der Gefäß-Nerven-Bündel verlässt die normale Anatomie insbesondere beim Morbus Dupuytren, was bei der Präparationstechnik zu beachten ist. Da die gesamte Hand nur einen geringen Weichteilmantel aufweist, sind Verletzungen desselben gravierend. Häufig müssen Nahlappen, Fernlappen oder bei schwersten Handverletzungen mikrovaskuläre freie Transplantate eingesetzt werden. Auch der anatomische Verlauf der Hautspaltlinien ist im Fingerbereich wichtig, da die Narbenbildung allein zu einer Funktionsbehinderung führen kann.

Für die Stabilität sämtlicher Fingergelenke sind die dorsale Kapsel, die eigentlichen und akzessorischen Kollateralbänder sowie die palmare Kapsel entscheidend. Letztere wird durch eine Faser-Knorpel-Platte verstärkt, die so genannte Fibrocartilago palmaris. In diese strahlen von proximal beiderseits Zügelbänder (Ligamente) ein. Obwohl die Langfingergrundgelenke von ihrer Gelenkbeschaffenheit eigentlich Kugelgelenke darstellen, funktionieren sie hauptsächlich wie Scharniergelenke mit Flexion und Extension. Nur minimal ist eine Ab- und Adduktion sowie Zirkumduktion möglich. Dagegen sind die Mittel- und Endgelenke sowie das Daumengrund- und -interphalangealgelenk reine Scharniergelenke mit ebenfalls inkongruenten Gelenkflächen, denn am Daumen gehen Ad- und Zirkumduktion vom Sattelgelenk aus.

Während an den Grundgelenken die eigentlichen Kollateralbänder bei Beugung gespannt und in Streckstellung entspannt sind, verhält es sich an den Interphalangealgelenken genau umgekehrt. Diesem Umstand wird bei der Immobilisierung der Hand durch die so genannte Sicherheitsstellung (Intrinsic-plus-Position) Rechnung getragen. Das Handgelenk ist dabei bei ca. 35° gestreckt,

Abb. 7.1 Dorsale Gipslonguette in »Intrinsic-plus-Stellung«

die Langfingergrundgelenke sind bei 70–90° gebeugt und die Mittel- und Endgelenke gestreckt (0–10°). Dadurch werden Gelenkeinsteifungen vermieden, die durch Retraktion der ligamentären Strukturen verursacht werden können (Abb. 7.1).

Am Daumengrundgelenk wird darüber hinaus die Gelenkkapsel sowohl ligamentär als auch muskulär durch die Mm. adductor pollicis, flexor pollicis brevis und abduktor pollicis brevis verstärkt.

Eine Sonderstellung nimmt das Langfingermittelgelenk nicht nur wegen der besonders fest verankerten palmaren Platte ein. Die Seitenbänder überlagern sich im Gegensatz zum Grundgelenk kulissenartig und sind fest mit den Seiten der palmaren Platte verwachsen, was die seitliche und palmare Stabilisierung gewährleistet. Die dorsale Kapsel geht in den Mittelzügel der Strecksehne über, welche am Mittelgliedschaft ansetzt.

Der **Strecksehnenapparat** – auch Dorsalaponeurose genannt – setzt sich aus dem ex- und intrinsischen Streckersystem zusammen. Zum extrinsischen System zählen all die Sehnen, deren Muskelursprung am Unterarm liegt, während das intrinsische System von den 7 Mm. interossei, den 4 Mm. lumbricales und den Sehnen der Mm. flexor pollicis brevis, adductor pollicis und abductor pollicis brevis gebildet werden. Beide Systeme sind für den komplizierten anatomischen Aufbau des Fingerstreckapparats verantwortlich.

Sowohl am Daumen als auch an den Langfingern beugt das intrinsische System die Grundgelenke, während es Mittel- und Endgelenk streckt. Proximal der Grundgelenke sind die Strecksehnen der Langfinger über Connexus intertendinei verbunden. Durch die Kompensation der Nachbarsehnen können deshalb Verletzungen proximal davon leicht übersehen werden. In Höhe des Handgelenks werden vom Retinaculum extensorum 6 osteofibröse Kanäle, die so genannten Strecksehnenfächer gebildet, die ein seitliches Abgleiten bzw. ein dorsales Abheben der Sehnen verhindern (Abb. 7.2).

Ebenso wichtig für die Kenntnis der Anatomie ist der Verlauf der tiefen Beugesehne (FDP/Flexor digitorum profundus), die die oberflächliche Beugesehne (FDS/Flexor digitorum superficialis) in Höhe des Grundgliedes am Chiasma überkreuzt und die Endgliedbeugung durchführt. Dagegen beugt die oberflächliche Beugesehne die proximalen Interphalangealgelenke (PIP-Gelenke). Während der M. flexor digitorum profundus für die Langfinger III–V einen gemeinsamen Muskelbauch aufweist, besitzt der M. flexor digitorum superficialis in der Regel einen Muskelbauch pro Langfinger. Für die Beugung der Grundgelenke sind die Mm. interossei verantwortlich; die Mm. lumbricales regulieren die gegenseitige Spannung der Extensoren und Flexoren. Das Ringbandsystem dient zur

»Führung« der Beugesehnen. Es besteht an den Langfingern aus 5 queren, stärkeren so genannten Ringbändern bzw. 4 dünneren so genannten Kreuzbändern, während sich am Daumen nur 2 Ringbänder befinden. Sind v.a. die A2- und A4-Ringbänder verletzt, kommt es bei zunehmender Beugung zu einem Pfeilbogeneffekt (Bow Stringing), was einen endgradigen Bewegungsverlust zur Folge hat (Abb. 7.3).

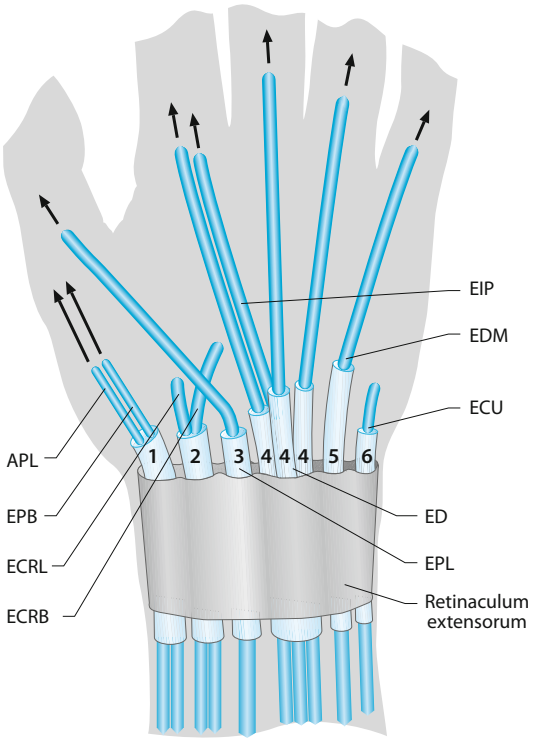


Abb. 7.2 Darstellung der 6 Strecksehnenfächer

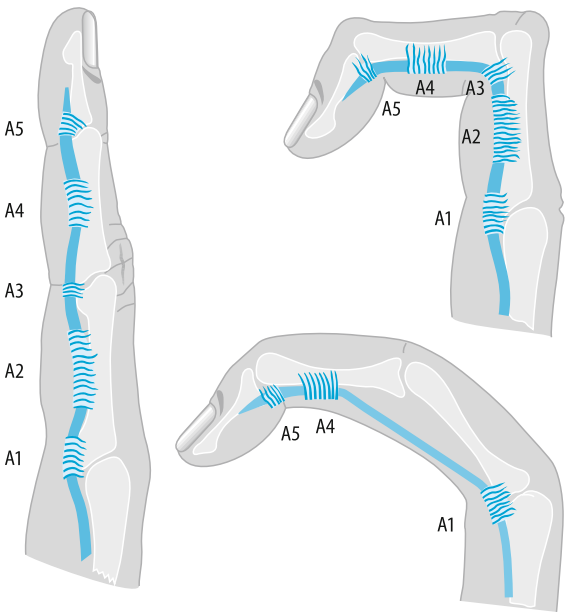


Abb. 7.3 Das sogenannte Bow-Stringing-Phänomen bei einem A2- und A3-Ringbandverlust

7.1.2 Leitsymptome

Tab. 7.1 fasst die Leitsymptome bei Beschwerden der Hand mit entsprechenden möglichen Befunden zusammen.

7.1.3 Diagnostik

Grundsätzlich sollte die Untersuchung einer verletzten Hand nach einem bestimmten Schema ablaufen. Zuvor muss jedoch eine detaillierte Anamnese mit dem exakten Unfallmechanismus und dem persönlichen, für den Gebrauch der Hand wichtigen Bedarf (Beruf, Hobby, sportliche Betätigung, Musikinstrumente), erhoben werden.

Vor Setzen jeglicher Anästhesie sollte immer die gesamte Hand und nicht nur die Wunde untersucht werden.

Bei der Inspektion der Hand muss auf Hautfarbe, Schwellung, Ödem, abnorme Fingerstellung und aktive Beweglichkeit geachtet werden. Die Palpation mit Überprüfung der Hauttemperatur, der Durchblutungssituation, der Sensibilität und der lokalen Hauptdruckschmerzhaftigkeit gibt weitere Aufschlüsse über das vorliegende Verletzungsmuster. Danach werden die aktiven Bewegungsabläufe und Kraftverhältnisse kontrolliert und die entsprechenden Funktionstests durchgeführt (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Erst danach werden die bildgebenden Verfahren eingesetzt. Zunächst wird je nach Lokalisation der Verletzung die Nativröntgendiagnostik in den entsprechenden Einstelltechniken (s. unten) vorgenommen. Diese geben in aller Regel Aufschluss über knöcherne Beteiligungen bzw. Fremdkörpereinschlüsse.

Die CT kommt bei komplexen Luxationsfrakturen, fraglichen oder okkulten Frakturen, Skaphoidpseudarthrosen und für die Verlaufsbeurteilung zur Anwendung.

Dagegen wird die MRT grundsätzlich mit Kontrastmittelgabe bei avaskulären Knochennekrosen, entzündlichen Prozessen, Sehnenrupturen, Weichteiltumoren und TFCC-Läsionen (TFCC: Triangular Fibrocartilage Complex) (Discus-triangularis-Läsionen) eingesetzt (▶ Kap. 6, Arm).

Die Ultraschalluntersuchung kann zur Tumordifferenzierung, bei Sehnenscheiden- bzw. Sehnenpathologien und Kollateralbandrupturen unter Einsatz geeigneter Schallköpfe ihren Beitrag leisten.

Die Tomografie an der Hand spielt heutzutage nur noch eine untergeordnete Rolle.

Tab. 7.1 Typische Symptome und zugehörige denkbare Befunde

Symptom	Befund
Bewegungseinschränkung	Knöcherne Fehlstellung, Gelenkkontrakturen, Sehnenverletzungen
Unspezifischer Schmerz	Arthrose, Arthritis, chronische Instabilität, Verletzungen des Discus articularis, Nervenkompression, Subluxationen, Synovitis, Sehnenansatztendinitiden
Durchblutungsstörung	Arteriosklerose, Embolie, Raynaud-Syndrom
Nervenfunktionsstörung	Nervenkompression durch anatomische Engstellen oder Narben, Polyneuropathie, Neuritis

Die Arthrografie wurde mehr oder weniger durch die Arthroskopie ersetzt. Ihr Vorteil besteht neben diagnostischen auch in therapeutischen Möglichkeiten, wie Naht oder Teilentfernung des Discus articularis, Synovektomien, Entfernung freier Gelenkkörper und der assistierten Frakturbehandlung im Handgelenkbereich.

Die Szintigrafie ist als Screeningverfahren bei posttraumatischen Schmerzsituationen sowie zur Aufdeckung einer Algodystrophie hilfreich.

7.1.4 Standardvorgehen bei handchirurgischen Eingriffen

Nach Gabe einer Single-Shot-Antibiose, je nach Art und Dauer der Operation und Befund der Verletzung, wird in der Regel in Plexusanästhesie in Rückenlage des Patienten der betroffene Arm auf einem Handtisch ausgelagert. Grundsätzlich empfiehlt es sich, alle handchirurgischen Eingriffe bis auf vereinzelte Ausnahmen in Oberarmblutleere durchzuführen. Dazu ist ein geeichtes Blutleeregerät und unter der Manschette eine Wattepolsterung zur Vermeidung von Druckstellen erforderlich. Damit beim Desinfizieren wegen der Hautreizungsgefahr keine Flüssigkeit unter die Manschette gelangt, wird auf die Manschette bzw. den distalen Oberarm ein Klebestreifen aufgebracht. Die Abdeckung erfolgt am besten durch eine U-Folie mit klebendem Rand, wobei die Ellenbeuge frei zugänglich bleiben sollte. Dadurch wird trotz Anlage der Blutleere ermöglicht, ggf. ein Haut- bzw. Nerventransplantat in der Ellenbeuge oder dem proximalen Unterarm zu entnehmen.

7.1.5 Hautinzisionen an der Hand

Palmare Hautschnitte dürfen wegen postoperativer Kontrakturen grundsätzlich nie über eine Gelenkbeugefalte geführt werden. Die bekannteste Schnittführung bei beugeseitigen Zugängen ist die zickzackförmige diagonale Inzision nach Bruner. Bei offenen Verletzungen ist die Schnittführung natürlich vorgegeben. Spezielle Inzisionen werden in den entsprechenden Abschnitten dargestellt und sind in ▶ Kap. 21, Standardzugänge, ausführlich beschrieben.

7.2 Handgelenk und Handwurzel

7.2.1 Skaphoidfraktur

Ätiologie

Die Fraktur entsteht in aller Regel durch einen Sturz auf die über 90° dorsalflektierte Hand mit Gewalteinwirkung auf die radiale Hälfte der Hand. Dabei ist die Höhe der Fraktur abhängig vom Ausmaß der Dorsalflexion und der Radialduktion im Moment des Aufpralls. Das Kahnbein frakturiert laut Saffar (1990) mit ungefähr 75% von allen Handwurzelknochen am häufigsten.

Biomechanik

Von allen Handwurzelknochen hat das Skaphoid die größte Beweglichkeit. Es steht mit dem Radius und den Ossa lunatum, capitatum, trapezium und trapezoideum durch verschiedene Bänder in Verbindung. Bei Radialabduktion (Abb. 7.4a,c) flektiert der distale Pol des Skaphoids unter dorsaler Translation des proximalen Pols, bei Ulnarabduktion (Abb. 7.4b,d) richtet es sich dagegen unter palmarer Translation des proximalen Pols auf. Darüber hinaus sind Skaphoid und Lunatum rotatorisch gekoppelt, das Kapitatum führt dazu Ausgleichsbewegungen durch. Das Kahnbein unterzieht sich somit Flexions-, Translations- und Rotationsbewegungen.

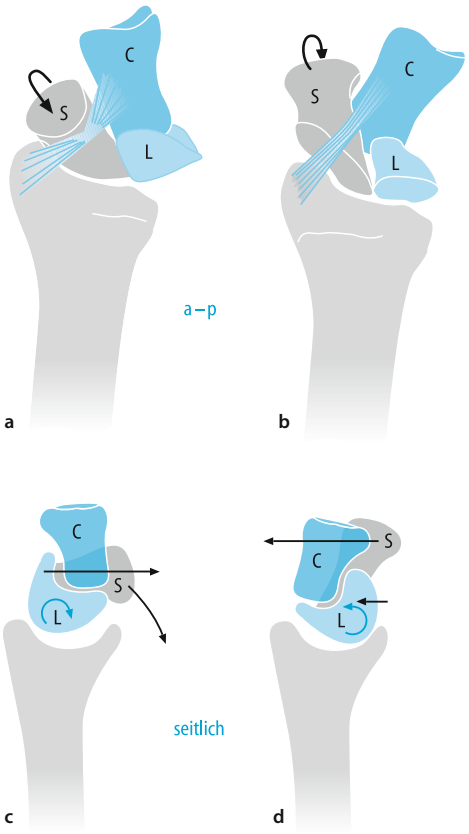


Abb. 7.4a–d Flexions-, Translations- und Rotationsbewegung des Kahnbeins

Gefäßversorgung

Die häufigen Heilungsstörungen im proximalen Skaphoidanteil erklären sich damit, dass die Hauptgefäßversorgung des Skaphoids von distal von Arterien aus der A. radialis stammt und die proximale Hälfte nur unregelmäßig von einem Gefäß aus der dorsalen Knochenkante des Radius versorgt wird. Proximal ist dieser Handwurzelknochen fast ausschließlich mit Gelenkknorpel überzogen, durch den keine Gefäße eintreten können.

Diagnostik

Bei Verdacht auf eine Skaphoidfraktur werden vielfach noch 6 Röntgenaufnahmen angefertigt. Neben den beiden Standardebenen a.p. und streng seitlich wird zusätzlich eine Kahnbeinserie, bestehend aus 4 weiteren Aufnahmen, durchgeführt. Zur Vereinfachung der Bildbeurteilung empfiehlt sich jedoch, neben der standardmäßigen Handgelenkaufnahme in 2 Ebenen zusätzlich nur die sogenannte Stecher-Aufnahme durchzuführen. Bei dieser Aufnahme muss der Patient eine Faust machen und die Hand nach ulnar abduziert halten. Dadurch wird das Skaphoid gestreckt und in gesamter Länge dargestellt. Mit Hilfe dieser 3 Projektionen lassen sich fast alle Skaphoidfrakturen erkennen.

Falls im Rahmen dieser Erstdiagnostik keine Fraktur nachgewiesen werden kann, klinisch jedoch weiterhin der Verdacht

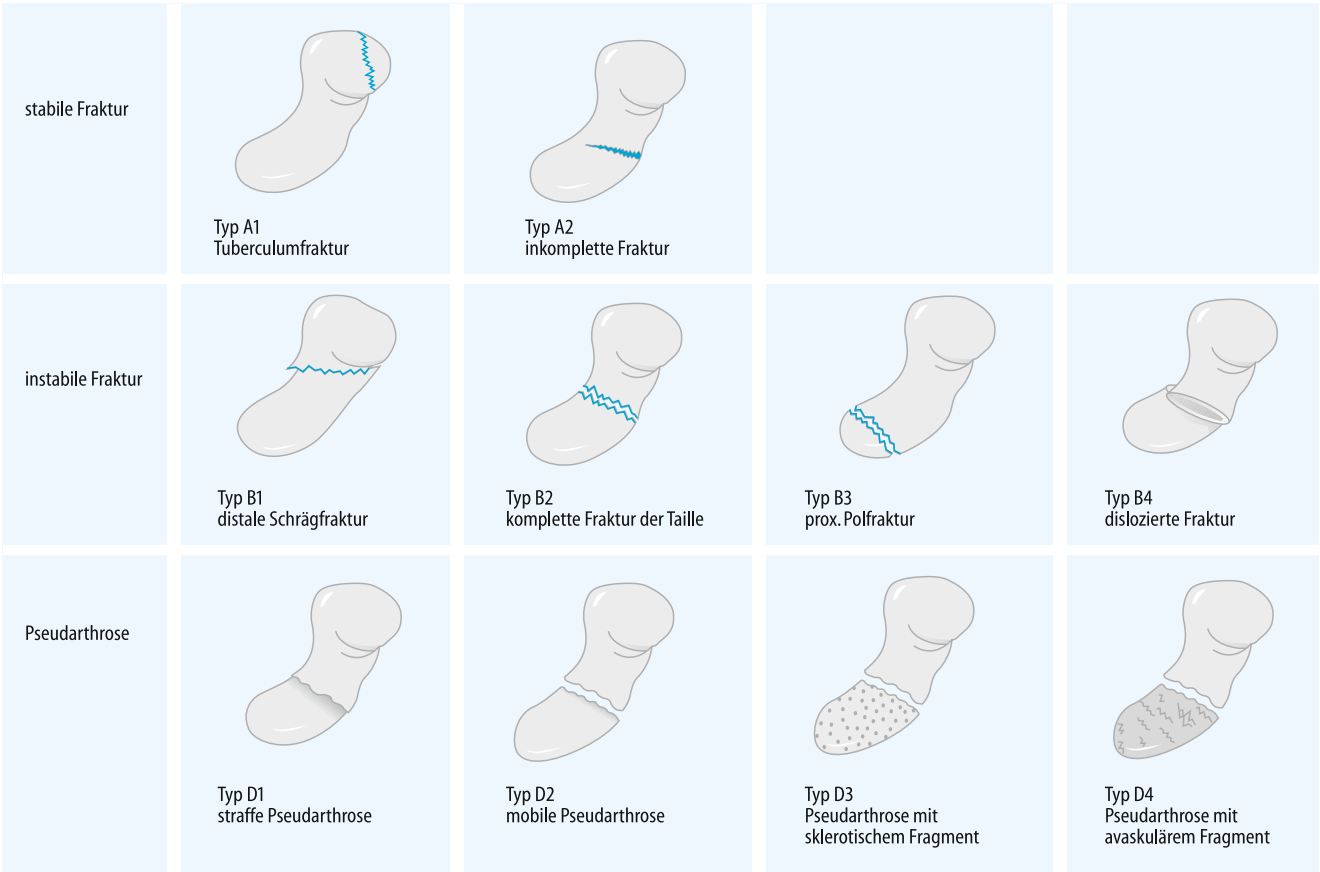


Abb. 7.5 Modifizierte Einteilung der Kahnbeinfrakturen bzw. -pseudarthrosen nach Herbert

besteht, sollte das Handgelenk in einer Unterarmgipsschiene für etwa 10 Tage ruhiggestellt werden. Anschließend erfolgt eine radiologische Kontrolle. Bei erneutem negativem Befund, aber anhaltenden Beschwerden und entsprechender Klinik, empfiehlt sich eine CT in Längsrichtung des Skaphoids parallel zum abduzierten 1. Mittelhandstrahl mit einer Schichtdicke zwischen 1 und 2 mm. Selbstverständlich kann eine CT-Untersuchung bei entsprechendem Verdacht auch unmittelbar nach einem Trauma erfolgen, um keine weitere Zeit bis zur definitiven Therapie zu verlieren. Eine konventionelle Tomografie sollte nur noch dann eingesetzt werden, wenn eine CT nicht zur Verfügung steht. Die MRT dagegen hat sich bei der Diagnostik einer Skaphoidfraktur aufgrund von Interpretationsschwierigkeiten noch nicht ganz durchgesetzt; dies könnte sich aber in den nächsten Jahren ändern.

Klinik

Klinische Symptome, die auf eine Skaphoidfraktur hinweisen, sind:

- Schmerzen bei passiver Pro-/Supination
- Schmerzen bei Druck in der Tabatière
- Schmerzen bei Stauchung und Zug am Daumen
- Bewegungseinschränkung im Handgelenk
- Kraftlosigkeit
- Schwellung des Handgelenks mit verstrichener Tabatière

Klassifikation

Eine genaue Einteilung hinsichtlich Frakturstabilität und einzuschlagendem Therapieverfahren stammt von Herbert (Herbert u. Fisher 1984, Abb. 7.5).

Konservative Therapie

Der konservativen Therapie mittels Gipsruhigstellung sollten knöcherne Abrissfrakturen des Tuberkulums (so genannte A1-Frakturen nach Herbert) und nicht dislozierte Querbrüche (A2-Frakturen) zugeführt werden. Bei den Tuberkulumfrakturen genügt eine etwa 6-wöchige Ruhigstellung, während nicht dislozierte Querbrüche insgesamt 12 Wochen ruhiggestellt werden sollten. Dabei empfehlen wir einen wenig gepolsterten Unterarmkunststoffverband mit Einschluss des Daumengrundgliedes, ein Oberarmgips ist heute obsolet. Aufgrund der doch langfristigen Ruhigstellung wird der zuletzt genannte Frakturtyp jedoch zunehmend operativ durch eine perkutane Verschraubung versorgt (Brauer et al. 1997, Haddad u. Goddard 1998).

Operative Therapie

Indikationen

Neben den Frakturen im proximalen Drittel und den Schrägfrakturen sollten alle instabilen Kahnbeinfrakturen operativ stabilisiert werden. Als instabil sind sämtliche Brüche mit einem Achsenknick, einer Seitverschiebung oder Diastase um >1 mm als Hinweis auf ein Interponat oder Frakturen mit Zusatzfragmenten bzw. zusätzlichen Bandverletzungen zu werten. Auch offene Frakturen sollten unbedingt operativ angegangen werden.

Relative Operationsindikationen sind Begleitfrakturen desselben Arms, die per se nicht zwingend einer operativen Versorgung bedürfen, sondern die erforderliche Ruhigstellungszeit verkürzen können.

Kontraindikation

Bei kompletter avaskulärer Nekrose eines Fragments ist eine operative Stabilisierung im Sinne einer Skaphoidrekonstruktion nur selten möglich bzw. wenig sinnvoll.

Aufklärung

Neben den üblichen Wundkomplikationen am Handgelenk, wie Hämatom oder Infektion, sollte auf eine mögliche Schädigung des N. medianus, hier v.a. des R. palmaris des N. medianus und der A. radialis aufmerksam gemacht werden. Darüber hinaus können sich eine schmerzhafte Narbe beugeseitig am Handgelenk, eine Bewegungseinschränkung im Handgelenk, eine Pseudarthrose und ganz selten eine Algodystrophie ausbilden. Mit einer Arbeitsunfähigkeit von ca. 6–8 Wochen muss gerechnet werden.

Herbert-Schraube

Die operative Versorgung sollte so früh wie möglich erfolgen. Das Osteosyntheseverfahren der Wahl ist heute die Doppelgewindeschraube nach Herbert (Herbert u. Fisher 1984). Daneben kommen Bohrdrähte, Zugschrauben und kaum mehr die Ender-Platte (Böhler u. Ender 1986) zur Anwendung. Der Vorteil der Herbert-Schraube gegenüber anderen Implantaten liegt darin, dass sie einen geringen Durchmesser hat, subchondral versenkbar ist und durch die beiden verschieden steilen Gewinde eine interfragmentäre Kompression aufbaut. Die Schraube besteht aus Reintitan. Eine Entfernung ist eigentlich nie erforderlich. Zudem ist die notwenige Ruhigstellungszeit wesentlich kürzer als bei den übrigen Osteosyntheseverfahren.

Operationstechnik. Über einen palmaren Zugang wird das Skaphoid aufgesucht (▶ Kap. 21, Standardzugänge). In Extension des Handgelenks nach Unterlage einer aus Bauchtüchern geformten Rolle kann nun der Frakturspalt eingesehen werden. Weichteilinterponate werden, soweit erforderlich, entfernt, Zusatzfragmente und die Fraktur in Bezug auf Länge und Rotation exakt reponiert. Bei Tendenz zur Dislokation muss ggf. Knochen transplantiert oder eine temporäre Kirschner-Draht-Fixation (KD) der Stärke 1,0 mm durchgeführt werden. Nun wird das Herbert-Zielgerät (so genannter Jig) möglichst senkrecht zur Fraktur platziert. Dabei zieht der Assistent am Daumen, dann wird der Haken durch das Radiokarpalgelenk auf die Dorsalseite des proximalen Kahnbeinpols in mindestens 45° Neigung zur Unterarmlängsachse gesetzt (Abb. 7.6).

Nach Extension des Handgelenks wird der distale Kahnbeinpol durch ein Elevatorium hochgehebelt und das Zielgerät auf den distalen Skaphoidpol durch Daumendruck aufgesetzt. Bei Schwierigkeiten mit dem Einsetzen des Zielgeräts muss gelegentlich eine Knochenrinne aus dem Os trapezium ausgemeißelt werden. Nach einer Bildwandlerkontrolle wird die notwendige Schraubenlänge am Zielgerät abgelesen. Zuerst wird das distale, dann das proximale Fragment aufgebohrt, anschließend das Gewinde vorgeschnitten und die Schraube über das liegende Zielgerät eingebracht. Das Zielgerät wird nun entfernt und die Schraube um 1–2 Umdrehungen nachgezogen, um den Gewindekopf vollends subchondral zu versenken. Nach Stabilitätsprüfung durch Durchbewegen des Handgelenks wird die Lage der Schraube im Bildwandler möglichst in 3 Ebenen überprüft. Es erfolgt die Naht des Ligamentum radioscaphocapitatum bzw. des skaphotrapezialen Bandapparats und der Gelenkkapsel mit langsam resorbierbarem, monofilem Nahtmaterial der Stärke 4/0. Bei sorgfältiger Blutstillung kann auf die Einlage einer Drainage verzichtet werden. Zur Ruhigstellung legen wir einen Unterarmgips mit Daumengrundgliedeinschluss an, der je nach erzielter Stabilität zwischen 2 und 4 Wochen belassen wird. Im Gegensatz zum eigenen Vorgehen verzichtet Herbert (Herbert u. Fisher 1984) gänzlich auf eine postoperative Immobilisierung.

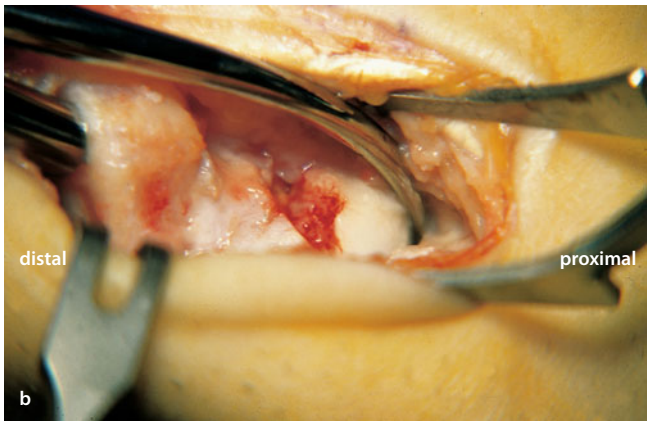


Abb. 7.6a,b **a** Korrekte Position des Herbert-Zielgeräts von palmar. **b** Intraoperativer Situs bei liegendem so genanntem Jig

Seit einigen Jahren gibt es von verschiedenen Firmen eine kanülierte Herbert-Schraube, die die Versorgung mit einem Jig nahezu vollständig verdrängt hat. Mit dieser so genannten Freihandtechnik kann der palmare Zugang wesentlich kleiner gehalten werden. Das Tuberkulum scaphoidei wird dargestellt, das ST-Gelenk (Gelenk zwischen distalem Skaphoidpol und Trapezium) eröffnet und das Ligamentum radioscaphocapitatum intakt belassen.

Stellvertretend für die verschiedensten Schraubenanbieter soll die Technik mit der Schraube der Firma Martin Medizin Technik, Tuttlingen beschrieben werden. Nach Reposition der Fraktur wird zum Einbringen des Zieldrahts eine Zielhilfe auf den distalen Pol des Skaphoids platziert. Anschließend wird ein 1,0 mm dicker und 125 mm langer genormter Führungsdraht mit einer Bohrmaschine unter Bildwandlerkontrolle von distal nach proximal eingebracht und über die Fraktur in das proximale Skaphoidfragment vorgebohrt. Er sollte zentral liegen und die Gegenkortikalis nicht durchbohren. Anschließend wird die Messhülse über den K-Draht geführt, wobei die Reduzierhülse im Zielgerät verbleibt. Nun kann die korrekte Länge ermittelt werden, indem etwa 4 mm vom ab-

Abb. 7.7a–f Skaphoidfraktur und Versorgung mit kanülierter Herbert-Schraube von palmar mittels Miniinzision. **a–d** Präoperative Quartettaufnahme. **e,f** Postoperative Kontrolle

gelesenen Wert abgezogen werden. Nachdem über dem K-Draht das entsprechende Kernloch entweder manuell oder mit einer Bohrmaschine möglichst unter Bildwandlerkontrolle aufgebohrt wurde, wird die entsprechende Schraube eingedreht. Ein Gewinde muss nicht vorgeschnitten werden, da die Schraube im Bereich beider Gewindeanteile selbstschneidend ist. Lediglich bei sehr hartem Knochen kann der entsprechende Gewindeschneider eingesetzt werden. Bevor die Schraube vollständig subchondral versenkt wird, muss zum einen der Führungsdraht entfernt werden, um einen möglichen Drahtbruch zu vermeiden. Zum anderen muss die Führungshülse abgenommen werden, damit es nicht zu einem Ausreißen der Schraubengewinde im Knochen kommt. Außerdem enthält das Zielgerät zusätzliche Öffnungen, über die bei Bedarf zur Sicherung der Rotationsstabilität ein weiterer K-Draht parallel zum Führungsdraht platziert werden kann (Abb. 7.7).

Dorsaler Zugang. Frakturen, die im proximalen Skaphoidviertel und darunter liegen, werden mit einer ebenfalls kanülierten Mini-Herbert-Schraube über einen dorsalen Zugang versorgt. Dabei wird das Handgelenk palmar flektiert und der Daumen abduziert. Die Inzision erfolgt über einen dorsalen länglichen oder leicht S-förmig geschwungenen, etwa 3 cm langen Hautschnitt ulnarseitig des Tuberculum Listeri zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach, wobei die Extensor-pollicis-longus-Sehne nach radial weggehalten wird. Nach Inzision der distal gelegenen Fasern des Retinaculum extensorum wird die Handgelenkskapsel T-förmig über dem gut tastbaren proximalen Skaphoidpol aufgeschnitten. In maximaler Beugung und Ulnarduktion des Handgelenks kann nun der proximale Pol gut eingesehen werden. Nach Darstellung, Säuberung und Reposition der Fraktur wird nach Aufsetzen der entsprechenden Zielhilfe ein 1,0 mm dicker K-Draht in Längsrichtung des Skaphoids zentral eingebohrt, wobei man auf den abduzierten Daumen zielt (Abb. 7.8). Es erfolgt die entsprechende Bildwandlerkontrolle. Anschließend wird die kanülierte Minischraube über den Zieldraht mit dem speziellen Handgriff eingedreht und ebenfalls subchondral versenkt. Ein Gewindeschneiden ist bei selbstschneidender Schraube nicht zwingend erforderlich. Erfahrungsgemäß genügt eine etwa 16 mm lange Schraube. Wundverschluss und Nachbehandlung entsprechen dem Vorgehen beim palmaren Zugang. Die Extensor-pollicis-longus-Sehne wird in der Regel subkutan verlagert. Da meist die proximalen Polfrakturen langsamer durchbauen, sollte die Zeitdauer der postoperativen Ruhigstellung länger gewählt werden.

Manche Autoren (Adamany et al. 2008) bevorzugen grundsätzlich die dorsale Verschraubung, da sich eine dorsale Schraube besser zentral positionieren lässt und es dadurch zu einer besseren Heilung kommt.

Nachbehandlung

Postoperativ wird dorsoradial eine Gipslonguette mit Daumeneinschluss angelegt. Der erste Verbandswechsel erfolgt am 2. postoperativen Tag, evtl. verbunden mit der Entfernung einer fakultativ eingebrachten Drainage. Anschließend wird eine Röntgenkontrolle in 2 Ebenen angefertigt. Je nach Rückgang der Schwellung – unterstützt durch eine antiphlogistische Medikation und Hochlagerung der betroffenen oberen Extremität in einem Handsack – kann dann vor Entlassung, etwa am 4. postoperativen Tag, ein gespaltener Daumenkunststoffgips anmodelliert werden. Nach Entfernung des Nahtmaterials am 12. postoperativen Tag sollte dieser je nach Länge der Ruhigstellungszeit zirkuliert werden. Anschließend kann mit eigentätigen Bewegungsübungen begonnen werden. Gelegentlich ist

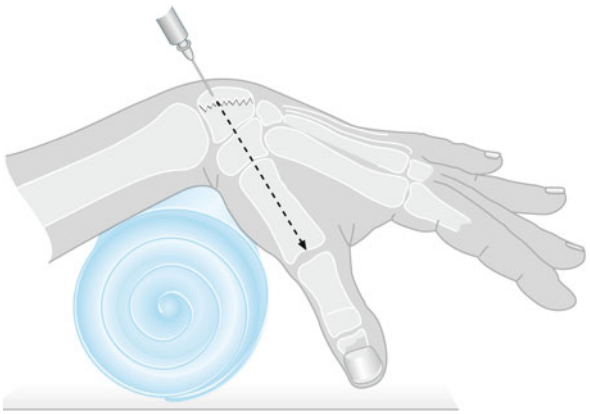


Abb. 7.8 Korrekte Bohrrichtung bei dorsaler Verschraubung einer proximalen Skaphoidfraktur. Der Daumen ist abduziert und das Handgelenk maximal flektiert

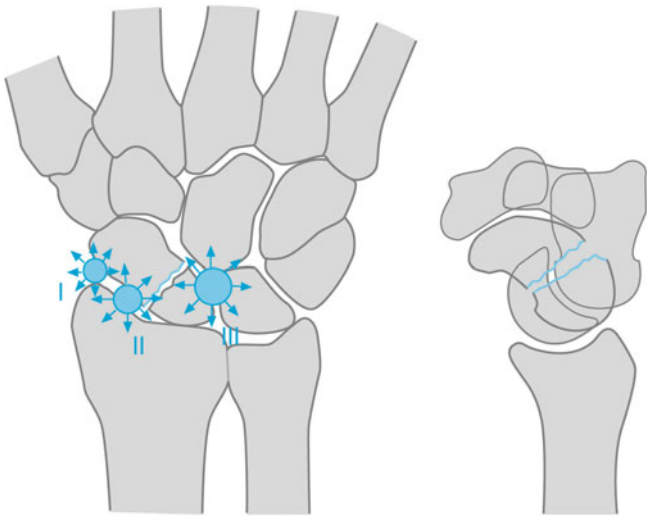


Abb. 7.9 Stadieneinteilung des SNAC-Wrist. Stadium I: Arthrose zwischen Skaphoid und Processus styloideus radii, Stadium II: Radiokarpalarthrose, Stadium III: Mediokarpalarthrose ohne Beteiligung des Radiolunargelenks. (Aus: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

eine unterstützende physikalische Therapie erforderlich. Eine Überlastung sollte für 6 Wochen vermieden werden, die normale Belastbarkeit ist nach etwa 8 Wochen gegeben. Röntgenkontrollen sind postoperativ, nach 6 und 12 Wochen sowie 1 Jahr nach Versorgung vorgesehen. Manche Autoren empfehlen zusätzlich CT-Kontrollen mit parallel zur Skaphoidlängsachse angelegten Schichten zwischen 1 und 2 mm Dicke, da dadurch der knöcherne Durchbau, die postoperative Skaphoidmorphologie, sowie die Schraubenlage exakt beurteilt werden können (Müller et al. 2006).

Komplikationen

Wenn intraoperativ die A. radialis oder in seltenen Fällen der N. medianus verletzt wurden, muss umgehend die mikrochirurgische Rekonstruktion erfolgen. In Ausnahmefällen kann aufgrund einer zu starken Krümmung des Skaphoids das Zielgerät nicht platziert werden, sodass ein Verfahrenswechsel mit einer K-Draht-Osteosynthese erforderlich wird. Bei einer fehlerhaften Schraubenlage muss evtl. ebenfalls auf eine andere Methode umgestiegen werden. Bleibt ein knöcherner Durchbau aus, muss eine Revisionsoperation mit Knochenspanplastik (s. unten) angestrebt werden. Gelegentlich kann es postoperativ zu einem vorübergehenden Bewegungsdefizit und Kraftverlust kommen. Eine Verbesserung kann jedoch noch nach 6 Monaten und mehr erwartet werden.

Prognose

Laut Literatur liegt die Erfolgsquote bei der Herbert-Schrauben-Osteosynthese bei >92%.

7.2.2 Skaphoidpseudarthrose

Ätiologie

Obwohl die meisten Skaphoidfrakturen knöchern durchbauen, werden nach Cooney (1988) in 5–10% Pseudarthrosen beobachtet. Ursächlich werden eine übersehene oder unzureichend behandelte Kahnbeinfraktur, eine weiterbestehende starke Fragmentdislokation, begleitende Bandverletzungen, schlechte Durchblutungsverhältnisse sowie die Größe des proximalen Fragments angeschuldigt.

Von einer Pseudarthrose darf erst nach 8-monatigem Verlauf ohne Konsolidierung gesprochen werden. Vorher spricht man von einer verzögerten Bruchheilung.

Biomechanik

Die Kahnbeinpseudarthrose führt in aller Regel zu einer gestörten Biomechanik des gesamten Karpus und dadurch je nach Alter zu unterschiedlichen arthrotischen Veränderungen, die von radial nach ulnar fortschreiten. Instabile Pseudarthrosen entwickeln schneller eine Arthrose, während stabile des Öfteren beschwerde- bzw. arthrosefrei bleiben. Im Laufe der Jahre entwickelt sich ein karpaler Kollaps mit entsprechenden arthrotischen Veränderungen. Dieser wird nach Krakauer (Krakauer et al. 1994) als »Scaphoid Non-Union Advanced Collaps«-Wrist (SNAC-Wrist) bezeichnet (Abb. 7.9).

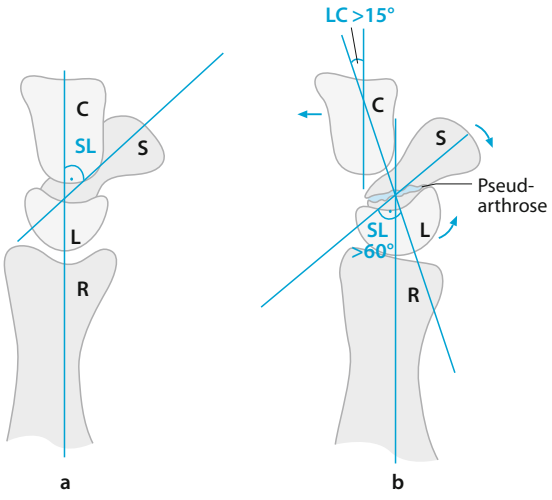
Als radiologische Veränderungen finden sich beim karpalen Kollaps eine verminderte Kahnbeinlänge, eine palmare Abkippung des distalen Fragments, eine dorsale Abkippung des proximalen Fragments (so genannte Humpback-Deformität, Abb. 7.10) und des Lunatum sowie eine Deformierung und Verkleinerung des proximalen Skaphoidfragments. Es entsteht eine »Dorsiflexed-Intercalated-Segmental-Instability-Fehlstellung« (DISI-Fehlstellung, s. unten) nach Linscheid (Linscheid et al. 1972) des Os lunatum mit vergrößertem skapholunärem Winkel in der Seitaufnahme.

Klinik

Meist klagen die Patienten zunächst über gelegentliche belastungsabhängige Beschwerden im Handgelenk, die nach Fortschreiten der Arthrose an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Klinisch besteht ein Druckschmerz über dem radiodorsalseitigen Handgelenk, gelegentlich ist der Skaphoidsubluxationstest nach Watson (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) positiv. Bei Ausbildung einer Arthrose fallen häufig eine Schwellneigung, eine Bewegungseinschränkung und eine Krafteinbuße der betroffenen Hand auf.

Diagnostik

Die röntgendiagnostische Vorgehensweise entspricht derjenigen bei frischen Skaphoidfrakturen (s. oben). Bei nach palmar abgekippten Skaphoidpseudarthrosen sollten zur präoperativen Planung zusätzlich Vergleichsaufnahmen der unverletzten Seite angefertigt werden. Dadurch kann im Vergleich das Ausmaß des karpalen Kollapses durch den pathologischen skapho- und kapitolunären Winkeln bestimmt werden.



Regelrechte Gefügeanordnung zwischen Radius (R), Lunatum (L), Scaphoid (S) und Cepitatum (C)

Scaphoidpseudarthrose mit Palmarflexion des distalen und Dorsalextension des proximalen Fragments (sog. Humpback-Deformität) und konsekutiver DISI-Fehlstellung

Das Scaphoid ist wieder aufgerichtet, die korrekte Gefügeanordnung ist wieder hergestellt

Retention der korrekten Stellung durch einen palmaren kortikospongiösen Span

Abb. 7.10a–d **a** Regelrechte Gefügeanordnung zwischen Radius, Lunatum, Skaphoid und Capitatum. **b** Skaphoidpseudarthrose mit Palmarflexion des distalen und Dorsalextension des proximalen Fragments (so genannte Humpback-Deformität) und konsekutiver DISI-Fehlstellung. **c** Das Skaphoid ist wieder aufgerichtet, die korrekte Gefügeanordnung wieder hergestellt. **d** Retention der korrekten Stellung durch einen palmaren kortikospongiösen Span

Bei Nachweis von Fragmentverschiebungen und von Rotationsfehlstellungen sowie Arthroseveränderungen sollte eine CT durchgeführt werden. Die MRT mit i.v.-Applikation von Kontrastmittel (Gadolinium-DTPA) gibt Aufschluss über die Vitalität kleiner proximaler Fragmente. Für die Beurteilung der Knorpelverhältnisse kann eine diagnostische Handgelenkarthroskopie sowohl für die Radio- als auch Mediokarpalgelenke hilfreich sein.

Operative Therapie

Indikation

Da eine Pseudarthrose des Kahnbeins als präarthrotische Deformität mit konsekutiver Handgelenkarthrose angesehen werden muss, besteht selbst im schmerzfreien Zustand nach Auffassung von Martini u. Schiltenwolf (1995) eine absolute Operationsindikation.

Aufklärung

Wegen der erforderlichen Spanentnahme am Beckenkamm sollte der Eingriff in Vollnarkose des Patienten durchgeführt werden. Neben den bereits erwähnten Komplikationen (s. oben) muss auf mögliche Wundinfekte am Beckenkamm sowie auf die Verletzungsmöglichkeit des N. cutaneus femoris lateralis mit Gefühlsstörungen am lateralen Oberschenkel hingewiesen werden. Bei vorbestehender Arthrose kann postoperativ ein Belastungsschmerz verbleiben. Mit einer Arbeitsunfähigkeit von etwa 4 Monaten muss gerechnet werden.

Vorgehen

Im Gegensatz zur frischen Skaphoidfraktur handelt es sich hier um einen elektiven Operationszeitpunkt. Wegen der bekannten Problematiken gibt es bis heute unter der Vielzahl der Operationsverfahren keine eindeutige Methode der Wahl (Renner et al. 1996). Tab. 7.2 soll in Abhängigkeit der Lokalisation, Stabilität, des Arthrosestadiums und der Durchblutungsverhältnisse der Pseudarthrose die Entscheidung erleichtern.

Herbert-Schrauben-Osteosynthese

Da die Herbert-Schraube auch bei Problemfällen wie Rezidivpseudarthrosen und bei Fällen mit einem kleinen proximalen Fragment einsetzbar ist, stellt sie in Kombination mit einer Spongiosaplastik das Verfahren der Wahl dar (Preißer 1996). Zum einen gewährt die Schraube selbst bei fehlendem Durchbau eine ausreichende Stabilität, zum anderen können die postoperative Ruhigstellungszeit und somit die Rehabilitationsphase gegenüber anderen Verfahren verkürzt werden. Wir führen die Operation in Allgemeinnarkose durch. Nach Lagerung des Patienten in bereits erwähnter Weise wird in der Regel der gleichseitige Beckenkamm unterpolstert und mit abgedeckt. Aufgrund der besseren Spongiosaqualität entnehmen wir den Knochenspan immer vom Beckenkamm.

Für Skaphoidpseudarthrosen im mittleren und distalen Drittel wählen wir den beschriebenen palmaren Zugang, für kleine proximale vitale Fragmente den dorsalseitigen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Nach Lagerung der Hand auf einer aus Bauchtüchern geformten Rolle in Überstreckung des Handgelenks kann die Pseudarthrose in aller Regel gut eingesehen werden. Sämtliches pseudarthrotisches und sklerotisches Knochenmaterial wird mit kleinen Meißeln reseziert, bis gesunder spongiöser Knochen freigelegt ist. Bei zystischen Veränderungen muss gelegentlich der gesamte proximale Pol bzw. bis zum Skaphoidtuberkel ausgeräumt werden. Die palmare Verkippung des distalen Skaphoidpols muss vollständig ausgeglichen werden. Dies gelingt durch Hyperextension des Handgelenks und zusätzlichen Zug am distalen Fragment über den Daumen. Nach erfolgter Reposition wird der würfelförmig zurechtgeschnittene Beckenkammspan eingebracht. Toträume müssen zuvor mit Spongiosachips ausgefüllt werden. Zum Ausschluss einer Bewegungseinschränkung oder einer Gelenkspaltverschmälerung sollte das Handgelenk durchbewegt werden. Eventuell überstehender kortikaler Knochen vom Interponat sollte mit dem Luer abgetragen werden. Die Platzierung des Zielgeräts und das Einbringen der Schraube sind identisch mit dem Vorgehen bei einer frischen Skaphoidfraktur (s. oben).

Auch die Versorgung proximaler Skaphoidpseudarthrosen entspricht dem bei einfachen Frakturen des proximalen Drittels beschriebenen Vorgehen (s. dort). Nach Darstellung des Pseudarthrosenspalts werden die jeweiligen Frakturränder angefrischt bis Blutungspunkte

Tab. 7.2 Verfahrenswahl bei der Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen in Abhängigkeit von Lokalisation, Stabilität, Arthrosestadium und Durchblutung. Die 3 letztgenannten Verfahren sind palliative Eingriffe (in Anlehnung an Prommersberger et al. 1995)

Lokalisation	Stabilität	Arthrose	Durchblutung proximales Fragment	OP-Verfahren	Zugang
Mittleres/distales Drittel	Ja	Nein	Ja	Herbert-Schraube (alternativ: Russe 1)	Palmar
Mittleres/distales Drittel	Nein	Nein	Ja	Herbert-Schraube	Palmar
Proximales Drittel	Ja	Nein	Ja	Mini-Herbert-Schraube	Dorsal
Proximales bis distales Drittel	Ja	Nein	Nein	Freies gefäßgestieltes Knorpel-Knochen-Transplantat aus dem medialen Fenurkondylus	Palmar
Mittleres/distales Drittel	Nein	Ja (SNAC I)	Ja	Herbert-Schraube und Resektion des Processus styloideus radii	Palmar
Proximales bis distales Drittel	Nein	Ja (SNAC II)	Ja/nein	Proximal row carpectomy (alternativ: mediokarpale Teilarthrodese)	Dorsal
Proximales bis distales Drittel	Nein	Ja (SNAC III)	Ja/nein	Mediokarpale Teilarthrodese (alternativ: Panarthrodese)	Dorsal
Proximales bis distales Drittel	Nein	Ja (gesamtes Handgelenk)	Ja/nein	Panarthrodese (alternativ: Denervierung nach Wilhelm)	Dorsal

sichtbar werden. Anschließend wird die vom Beckenkamm oder auch vom Radius entnommene Spongiosa in den Spalt eingefalzt und in der Regel je nach Lokalisation der Pseudarthrose eine Mini-Herbert-Schraube in Freihandtechnik eingebracht (Abb. 7.11).

Russe 1

Falls keine formrekonstruktiven Maßnahmen am Skaphoid erforderlich sind, genügt eine Spongiosaplastik nach Russe 1 (Russe 1977). Dieses Verfahren ist aber nur dann Erfolg versprechend, wenn der proximale Pol beim Anbohren punktförmige Blutungen aufweist. Das Operationsprinzip besteht im Aushöhlen der beiden Kahnbeinfragmente durch ein palmares Kortikalisfenster mit einem Hohlmeißel oder einer Kugelfräse. Nach Entnahme eines kortikospongiösen Spans und freier Spongiosa aus dem Beckenkamm (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird die Höhle mit 2 Knochenspänen aufgefüllt. Diese sollten nach Pechlaner (Pechlaner et al. 1998) etwa 17 mm lang und 5 mm breit sein und die Kortikalis am Rand angelagert werden. Die verbliebenen Hohlräume werden mit zusätzlichen Spongiosachips aufgefüllt.

Gefäßgestielter Knochenspan mit K-Draht-Osteosynthese

Bei Rezidivpseudarthrosen mit einem avitalen proximalen Fragment, aber ohne Arthrosezeichen, wird von Pechlaner und Hussl (Pechlaner et al. 1987) die freie Transplantation eines gestielten kortikospongiösen Beckenkammblocks mit mikrochirurgischem Gefäßanschluss an die radialen Unterarmgefäße beschrieben. Der Knochenblock wird entsprechend eingepasst und mit einem 1,2 mm dicken K-Draht fixiert, anschließend erfolgt eine End-zu-Seit-Anastomose an die A. radialis und eine End-zu-End-Venenanastomose an die Begleitvenen.

Nach Jones et al. 2008 werden lokale gefäßgestielte Knochentransplantate des medialen Femurkondylus favorisiert, da gestielte Radiustransplantate insgesamt schlechter abschneiden und die Hebemorbidität gegenüber den freien vaskularisierten Beckenkammtransplantaten deutlich geringer ist. Die von Kälicke et al. 2008 beschriebene Operationstechnik reduziert die Gefahr einer zunehmenden radiokarpalen Arthrose, da hier nicht nur eine reine Knochentransplantation, sondern eine Knorpel-Knochen-Transplantation erfolgt. Aufgrund der anspruchsvollen Techniken sollten die zuletzt beschriebenen Eingriffe jedoch mikrochirurgisch erfahrenen Zentren vorbehalten bleiben.

Palliative Eingriffe bei der Skaphoidpseudarthrose

Bei Vorhandensein einer fortgeschrittenen Arthrose im gesamten Radiokarpalgelenk kommen rekonstruktive Maßnahmen am Skaphoid nicht mehr infrage. Unter allen palliativen Eingriffen ist bei uns die Entfernung der ersten Handwurzelreihe (PRC, proximal row carpectomy) die Therapie der Wahl. Voraussetzung hierfür ist jedoch der intakte Knorpelüberzug am proximalen Pol des Os capitatum bzw. in der Fossa lunata des Radius. Im Vorfeld wäre die Abklärung durch eine Arthroskopie wünschenswert, um dabei die Knorpeloberflächen exakt beurteilen zu können. Weitere Indikationen für die Resektion der proximalen Handwurzelreihe ergeben sich bei karpalen Instabilitäten, bei der Lunatumnekrose, nach intraartikulär distalen Radiusfrakturen und manchmal bei schweren offenen Verletzungen an der Handwurzel.

Die Ergebnisse einer Entfernung der proximalen Handwurzelreihe (proximal row carpectomy) sind umso besser, je früher dieser Eingriff durchgeführt wird. Er darf also nicht als ein Ultima-Ratio-Eingriff verstanden werden.

Operationstechnik der PRC (proximal row carpectomy). Als Zugang wählen wir einen dorsalen, leicht S-förmig geschwungenen Hautschnitt in der Verlängerung der Achse des 3. Mittelhandknochens. Unter Schonung der Äste des R. superficialis des N. radialis erfolgt die Darstellung des Retinaculum extensorum und Eröffnung desselben zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach. Die Sehne des M. extensor pollicis longus wird herausgehoben und nach radial gehalten, anschließend die Handgelenkkapsel T-förmig inzidiert. Es erfolgt nun die langstreckige Resektion des nur schmerzleitenden N. interosseus posterior (s. unten). Diese so genannte partielle Denervation führen wir routinemäßig bei allen Eingriffen am dorsalseitigen Handgelenk durch. Unter Schonung sämtlicher

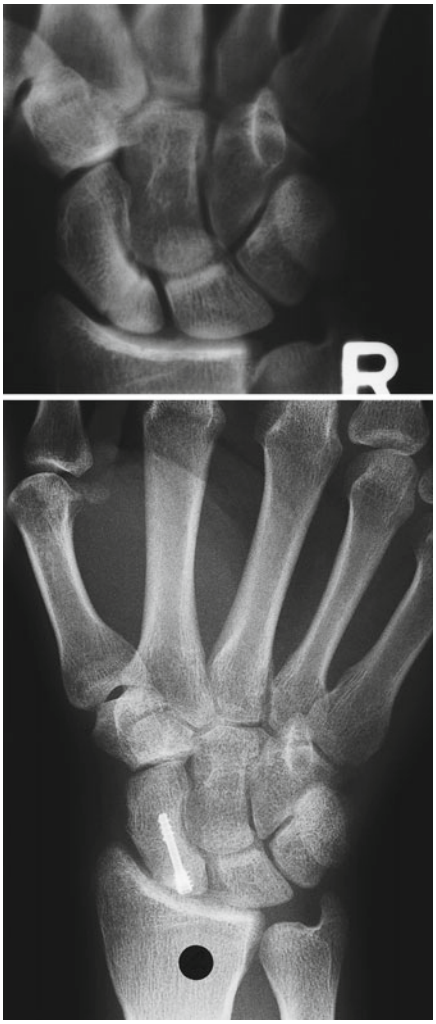


Abb. 7.11 21-jähriger Patient mit einer Skaphoidpseudarthrose im proximalen Drittel und Herbert-Schraubenosteosynthese von dorsal

Abb. 7.12 65-jähriger ehemaliger Maurer mit sichtbarer Radiokarpalarthrose und PRC

palmarer Bänder werden nun der Reihe nach sämtliche 3 Knochen der proximalen Handwurzelreihe – Skaphoid, Lunatum und Triquetrum – entfernt, wobei keine strikte Reihenfolge vorgegeben ist. Meist empfiehlt es sich, mit der Entfernung des Os triquetrum zu beginnen. Anschließend folgt das Os lunatum und zuletzt das Os scaphoideum. Zur Erleichterung der Entfernung des Os triquetum und Os lunatum bohren wir jeweils einen 1,6 mm dicken K-Draht als »Joystick« in den jeweiligen Handwurzelknochen. Dadurch gelingt es häufig, diese beiden Handwurzelknochen nahezu en bloc zu exstirpieren. Gegebenenfalls muss ein Luer oder kleiner Meißel zur Hilfe genommen werden. Da sich das Auslösen des distalen Skaphoidanteils aufgrund der festen Bandverbindungen häufig sehr mühsam gestaltet, wird dieses unter Berücksichtigung der nahe vorbeilaufenden A. radialis mit einem Osteotom oder einer Luer-Zange zerkleinert und stückweise entfernt. Bei Schwierigkeiten kann zusätzlich in der Tabatière eine gesonderte Inzision angelegt und von dort die Bandverbindung zum Os trapezium gelöst werden. Bei all diesen Manipulationen soll der Knorpel des Os capitatum bzw. der Fossa lunata des Radius nicht verletzt werden. Die gleichzeitige Styloidektomie des Radius wird kontrovers diskutiert. Manche Autoren führen sie unter der Vorstellung durch, ein späteres karpales Impingement mit dem Os trapezium verhindern zu können.

Nach Ausspülung kleinster Knochenreste und Einlage einer Redon-Saugdrainage erfolgt der schichtweise Wundverschluss mit Naht der Kapsel und des Retinaculum extensorum. Anschließend wird eine Unterarmgipsschiene mit Daumeneinschluss in 10°-Palmarflexion des Handgelenks anmodelliert. Eine Bildwandlerkontrolle sollte klären, ob das Kapitatum in der Fossa lunata zentriert ist (Abb. 7.12).

Eine Alternativmethode – wenngleich technisch anspruchsvoller – mit ebenfalls guten Ergebnissen (Krimmer u. Lanz 1996; Krimmer et al. 1992) stellt die **mediokarpale Teilarthrodese nach Watson** (Watson et al. 1981) dar. Auch hier wird nach kompletter Entfernung des Os scaphoideum und Resektion der Gelenkflächen zwischen den Ossa capitatum, lunatum, hamatum und triquetrum, autologe Spongiosa interponiert und mit 1,4 mm dicken K-Drähten, Herbert-Schrauben oder einer Spezialplatte (so genannte Spider-Platte) eine Arthrodese der genannten Handwurzelknochen durchgeführt, um eine Schmerzlinderung bei erhaltener Restbeweglichkeit zu erreichen (Abb. 7.13).

Nachbehandlung

Nach einer Pseudarthrosenresektion und Herbert-Schrauben-Osteosynthese beträgt die Ruhigstellungsdauer bis 6 Wochen, ein

Abb. 7.13a–d Mediokarpale Teilarthrodese. **a, b** SNAC-Wrist III. **c, d** Ausheilungsergebnis nach Fusionierung von Os capitatum, lunatum, hamatum und triquetrum

Nachteil der Russe-1-Methode liegt in der langen Ruhigstellungszeit im Skaphoidgipsverband von mindestens 12 Wochen.

Bei einer verzögerten Bruchheilung sollte zur Durchblutungskontrolle eine MRT mit Kontrastmittelgabe durchgeführt werden, um eine mögliche Pseudarthrosenbildung frühzeitig zu erkennen.

Nach der PRC bevorzugen wir eine 3-4-wöchige Ruhigstellungszeit, manche Autoren führen überhaupt keine postoperative Immobilisation mehr durch (Jakob et al. 2008). Anschließend wird eine Handgelenkorthese angelegt und gleichzeitig mit intensiven krankengymnastischen Bewegungsübungen aus der Schiene heraus begonnen. Nach ca. 8 Wochen können zunehmend Kräftigungsübungen durchgeführt werden. Die Patienten müssen präoperativ ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, dass die maximale Muskelkraft möglicherweise erst wieder nach einem Jahr und später erreicht wird.

Die mediokarpale Teilarthrodese benötigt bei einer KD-Arthrodese eine etwa 10-wöchige Gipsruhigstellung. Anschließend werden die K-Drähte ambulant in Lokalanästhesie entfernt und krankengymnastische Übungsbehandlungen begonnen.

Prognose

Komplikationen und Ausheilungsrate nach Pseudarthrosenresektion entsprechen denen der Skaphoidfraktur.

Tomaino et al. (1994a,b) konnten in einer Studie zeigen, dass 20 von 23 Patienten, bei denen eine PRC durchgeführt wurde, nach einer Beobachtungszeit von 6 Jahren sowohl mit der Schmerzerleichterung als auch der Beweglichkeit und der Grobkraft zufrieden waren.

7.2.3 Übrige Handwurzelfrakturen

Ätiologie

Bei den Frakturen der übrigen Handwurzelknochen handelt es sich um seltene Verletzungen der Hand. Am häufigsten betroffen sind das Os triquetrum und das Os trapezium. Ursache sind meist direkte Hohlhandtraumen wie Sturz auf die dorsal extendierte Hand.

Klinik

Bei der klinischen Untersuchung fallen in der Regel eine Schwellung und eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung auf. Ein isolierter, lokaler Druckschmerz gibt gelegentlich Aufschluss über den betroffenen Handwurzelknochen. Oft wird die Fraktur übersehen, wenn Begleitverletzungen vorliegen oder ein Trauma nicht erinnerlich ist.

Diagnostik

Die Standardprojektionen der Handwurzel in 2 Ebenen führen in der Regel nicht zur Diagnose. Bei Verdacht auf eine Handwurzelfraktur müssen Spezialeinstellungen und Zielaufnahmen durchgeführt werden. Als weitere gängige radiologische Diagnostik stehen die konventionelle Karpaltunnelaufnahme, die Szintigrafie und die CT zur Verfügung, wobei letztere die größte diagnostische Sicherheit bietet (Abb. 7.14, Abb. 7.15).

Therapie

Für alle Handwurzelfrakturen gelten die üblichen unfallchirurgischen Behandlungsprinzipien: Nicht dislozierte, isolierte Frakturen werden in einer Unterarmgipsschiene für 4–6 Wochen ruhiggestellt. Dislozierte oder luxierte Frakturen müssen dagegen operativ angegangen werden. Zur Anwendung kommen dabei K-Drähte, Mini-Herbert- und kleindimensionierte Schrauben. Die Behandlung der meist begleitenden Bandverletzungen erfolgt nach den therapeutischen Grundsätzen der karpalen Instabilitäten (s. unten).

Trapezium

Frakturen des Trapezium sind häufiger als gemeinhin angenommen wird. Aufgrund seiner Lage zwischen Metakarpale-I-Basis und Os scaphoideum sind über die Hälfte der Fälle Kombinationsverletzungen, wie Bennett-Luxationsfrakturen, Radiusfrakturen und karpale Instabilitäten (Beyermann et al. 2000 a; Seifert et al. 1996).

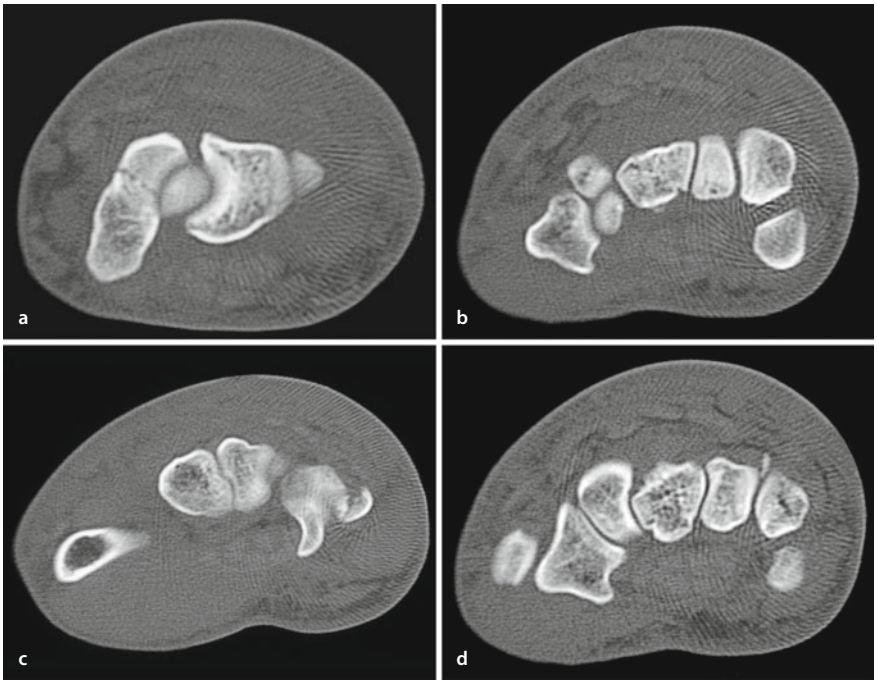


Abb. 7.14a–d Frakturen von Skaphoid (**a**), Kapitatum (**b**), Hamatum (**c**) und Triquetrum (**d**) der rechten Hand bei einem 19-jährigen Motorradfahrer

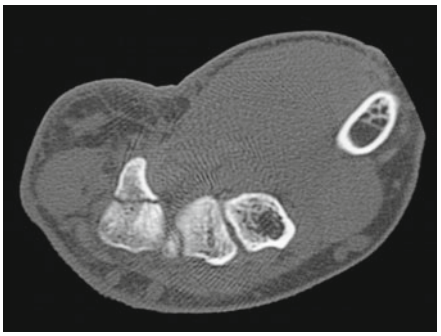


Abb. 7.15 Undislozierte Fraktur des Hamulus ossis hamati bei einem 28-jährigen Mopedfahrer

Klassifiziert werden die Trapeziumfrakturen in Vertikal- und Horizontalfrakturen des Korpus, des Tuberculum ossis trapezii und in Avulsionsfrakturen.

Operativ versorgen sollte man Korpuslängsfrakturen sowie dislozierte Frakturen des Korpus mit Stufenbildung in der Gelenkfläche, wobei über einen Längsschnitt in der Tabatière zugegangen wird. Nach Wiederherstellung des Gelenkblocks, evtl. mit Spongiosaunterfütterung – die Spongiosa kann hier aus dem Radius entnommen werden – erfolgt die Schraubenosteosynthese oder die K-Draht-Spickung. Eine Ruhigstellung im Skaphoidgips für 4 Wochen schließt sich an. Bei Tuberkulumfrakturen kann die operative Entfernung des kleinen knöchernen Fragments mit Spaltung des Retinaculum flexorum zur Linderung der Schmerzen führen. Als Komplikation kann posttraumatisch eine Rhizarthrose entstehen.

Trapezoid

Isolierte Trapezoidfrakturen sind äußerst selten. Entsprechend den allgemein gültigen Behandlungsrichtlinien werden undislozierte Frakturen konservativ behandelt, während man dislozierte je nach Größe der Fragmente entweder geschlossen oder offen reponiert und anschließend mit K-Drähten oder Minischrauben stabilisiert. Veraltete Frakturen werden offen reponiert, ggf. Spongiosa vom Radius angelagert und eine Arthrodese im Karpometakarpalgelenk durchgeführt.

Bei kombinierten oder isolierten Trapezoidfrakturen ist wegen der Gefahr der Proximalisierung und der damit verbundenen Instabilität des Karpometakarpalgelenks eine totale Entfernung des Knochens unbedingt zu vermeiden.

Kapitatum

Frakturen des Kapitatums müssen, sofern sie dislozieren sind, bei proximalen Fragmenten exakt reponiert und stabilisiert werden, um eine Nekrose zu verhindern. Bei Trümmerfrakturen ist eine Spongiosaplastik angezeigt. Der Zugang ist sowohl von dorsal als auch von palmar möglich. Gewarnt werden muss vor einer Exzision des proximalen Pols, denn dies hätte einen Verlust der karpalen Höhe mit Ausbildung eines karpalen Kollapses zur Folge.

Hamatum

Im Bereich des Os hamatum gibt es Frakturen des Korpus und des Hamulus ossis hamati (Witthaut u. Steffens 1996). Bei Gelenkbeteiligung mit Subluxationsstellung empfiehlt sich eine operative Rekonstruktion mit Minischrauben, K-Drähten oder gelenküberbrückenden Miniplatten, die nach knöcherner Durchbauung nach etwa 12 Wochen wieder entfernt werden. Eine zusätzliche Karpaldachspaltung kann man in Erwägung ziehen. Bei veralteten schmerzhaften Hamulusfrakturen oder Pseudarthrosen ist die Exzision des Fragments das Verfahren der Wahl. Über einen kurzen palmaren Hautschnitt über dem Hamulus ossis hamati wird zunächst der N. ulnaris dargestellt und zur Seite gehalten, anschließend das Fragment subperiostal entfernt. Eine postoperative Ruhigstellung erfolgt nur bis zur vollständigen Wundheilung.

Lunatum

Lunatumfrakturen sind aufgrund der geschützten Lage durch den Radius äußerst selten. Meist liegen die Frakturen im Rahmen einer

Kombinationsverletzung vor oder sind das Ergebnis einer fortgeschrittenen Nekrose (Morbus Kienböck oder Lunatummalazie). Bezüglich der stadiengerechten Behandlung einer Lunatumnekrose wird auf die einschlägige handchirurgische Literatur verwiesen (Prommersberger u. Lanz 1997, Sauerbier et al. 2000, Schiltenwolf u. Martini 1994, Schmitt et al. 1998).

Triquetrum

Die Triquetrumfrakturen werden in dorsale Avulsionsfrakturen, die ca. 90% aller Triquetrumfrakturen ausmachen, und in Körperfrakturen eingeteilt. Der Avulsionsfraktur liegt meist ein Bandausriss zugrunde, sie kann jedoch auch Folge einer Impaktion mit dem Processus styloideus ulnae während einer Hyperextensionsbewegung sein. Unter Impaktion versteht man eine vermehrte Kompression der Strukturen zwischen Ulnakopf und Lunatum bzw. Triquetrum. Eine 6-wöchige Ruhigstellung bringt diese Fraktur in der Regel zur Ausheilung. Auch die Körperfrakturen lassen sich gewöhnlich mit einem Unterarmgips, der für 4–6 Wochen getragen werden sollte, erfolgreich behandeln. Bei den seltenen dislozierten Gelenkfrakturen muss die Fraktur über einen dorsalen Zugang reponiert und fixiert werden.

Pisiforme

Eine Fraktur des Os pisiforme kann ebenfalls entweder isoliert oder in Kombination mit anderen Frakturen auftreten, z.B. mit der distalen Radiusfraktur oder der Triquetrumfraktur. Differenzialdiagnostisch muss zwischen einer Avulsionsfraktur und einer periartikulären Kalkablagerung bei pisotriquetraler Arthrose unterschieden werden. Bei Pseudarthrose bzw. einer pisotriquetralen Arthrose wird die subperiostale Entfernung des Os pisiforme empfohlen. Über eine Z-förmige Inzision radiopalmarseitig des tastbaren Knochens wird zunächst der N. ulnaris dargestellt und das Ligamentum pisohamatum durchtrennt und damit die Guyon-Loge (s. unten) dekomprimiert. Wenn die Sehne des M. flexor carpi ulnaris intakt ist, wird diese der Länge nach gespalten und das Os pisiforme subperiostal ausgeschält. Nach gesicherter Wundheilung wird mit Bewegungsübungen begonnen. Ist dagegen der Ansatz der Sehne des M. flexor carpi ulnaris durch eine Querfraktur des Os pisiforme nach proximal retrahiert, wird dieser nach Entfernung der Fragmente lediglich an den umgebenden Weichteilen refixiert und postoperativ für 4 Wochen ein Gipsverband in Entlastungsstellung der Sehne angelegt.

Eine Entfernung des Os pisiforme bei Luxation bzw. Luxationsfraktur sollte aus anatomisch-funktionellen Gründen möglichst vermieden werden.

7.2.4 Karpale Luxation und Luxationsfraktur

Ätiologie

Perilunäre Luxationen und perilunäre Luxationsfrakturen zählen zu den seltenen Verletzungen. Es handelt sich dabei um eine der schwersten Schädigungen der Hand. Sie entstehen nahezu ausschließlich durch eine erhebliche Gewalteinwirkung, meist infolge eines Hyperextensionstraumas, z. B. bei Stürzen aus großer Höhe oder Verkehrsunfällen.

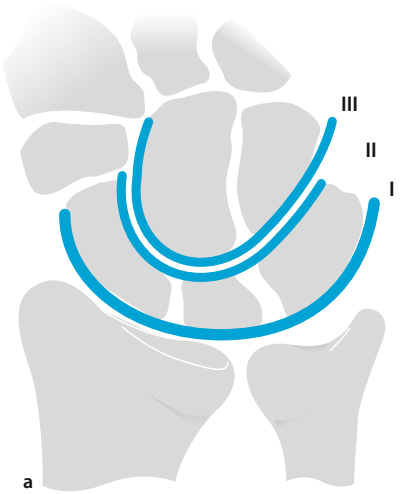
Klinik

Die Klinik reicht von einer nur mäßig reduzierten Bewegungseinschränkung nach Spontanreposition bis hin zur äußerlich erkennbaren Deformierung der Handwurzel mit Schädigung des N. medianus durch die palmare Verlagerung des Os lunatum.

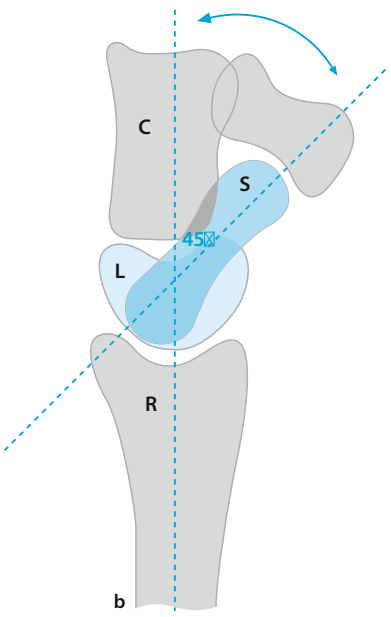
Diagnostik

Um derartige Luxationen und Luxationsfrakturen nicht zu übersehen, bedarf es einer genauen Betrachtung der standardisierten Aufnahmen der Handwurzel (Abb. 7.16). In der a.p.-Aufnahme dürfen die 3 Karpallinien nach Gilula keine Stufe aufweisen, das Lunatum zeigt die Form eines Trapezes. In der seitlichen Projektion darf die Achse Radius-Lunatum-Kapitatum-Metakarpale-III nicht unterbrochen sein, die einzelnen intrakarpalen Winkel müssen entsprechend ausgemessen werden.

Bei unklarem Traumaausmaß mit möglichen feinen Infraktionen und diskreten Subluxationen bringt eine CT in verschiedenen Schichtführungen weiteren Aufschluss.



regelrechte Anordnung sämtlicher Handwurzelknochen (konzentrische Bögen nach Gilala)



skapholunärer Winkel bei regelrechten Verhältnissen an sämtlichen Handwurzelknochen

Abb. 7.16a,b Analyse der Standardaufnahmen. **a** Konzentrische Bögen nach Gilula im a.p.-Strahlengang. **b** Skapholunärer Winkel bei regelrechten Verhältnissen der Handwurzelknochen im seitlichen Strahlengang

Klassifikation

Aufgrund fehlender therapeutischer Wertigkeit unterscheiden wir nicht zwischen reinen Luxationen und Luxationsfrakturen (Pachucki u. Prendinger 1988). Ist eine perilunäre Luxation mit einer Handwurzelfraktur kombiniert, wird die Fraktur in die genaue Bezeichnung mit aufgenommen wie bei der transskaphoidalen perilunären Luxationsfraktur de Quervain. Eine weitere Sonderform stellt das Skaphoid-Kapitatum-Fraktursyndrom nach Fenton dar. Hier verläuft die Luxationslinie durch das Skaphoid und Kapitatum, wobei eine Verkippung des proximalen Kapitatumfragments um 90–180° nach palmar charakteristisch ist (Abb. 7.17).

Konservative Therapie

Nach jüngsten Erkenntnissen scheint eine alleinige geschlossene Reposition nicht mehr ausreichend zu sein. Nur in den seltensten Fällen gelingt eine exakte Reposition und kann dann auch im Gipsverband gehalten werden, sodass eine stabile Bandvernarbung resultiert. Meist bleibt eine Verkippung des Os lunatum oder eine Diastase zwischen den Handwurzelknochen bestehen, was zu einem operativen Vorgehen zwingt. Nichtsdestotrotz empfiehlt sich immer eine primäre geschlossene Reposition, und zwar unabhängig davon, ob weitere Eingriffe geplant sind, denn dann können diese Eingriffe ggf. durch eine eingehende weitere Diagnostik und Therapieplanung entsprechend vorbereitet werden.

Bei der Reposition wird nach entsprechender peripherer Leitungsanästhesie die verletzte Hand mit so genannten Mädchenfängern aufgehängt und die Handwurzel mit einem Gegengewicht von mindestens 8 kg am Oberarm für ca. 10 min distrahiert. Durch den Längszug springt das Lunatum – durch die Spannung der Beugesehnen nach dorsal gedrückt – meist in seine ursprüngliche Position zurück. Manchmal kann eine leichte Palmarflexion im Handgelenk mit gleichzeitigem Gegendruck auf dem Os lunatum durch den Daumen des Operateurs die Reposition erleichtern. Am noch hängenden, aber nicht mehr distrahierten Unterarm wird nach Bildwandlerkontrolle eine dorsale Daumengipsschiene in angedeuteter Flexionsstellung angelegt. Das Repositionsergebnis sollte bereits mit dem Durchleuchtungsgerät auf mögliche verbliebene Instabilitäten überprüft werden. Eine abschließende Röntgenkontrolle in 4 Ebenen (a.p., seitlich und 2 Schrägaufnahmen) ist unerlässlich. Bei Vorliegen einer anatomisch korrekten Reposition kann auf weitere operative Maßnahmen verzichtet werden. Eine wöchentliche Röntgenkontrolle in den ersten 4 Wochen ist jedoch obligat. Um eine Abheilung zerrissener Bandstrukturen zu gewährleisten, sollte eine Ruhigstellungszeit von 6 Wochen nicht unterschritten werden.

Mit einer spontanen Einstellung des primär nicht genau reponierten Mondbeins ist nicht zu rechnen, weil sich häufig abgerissene Kapsel-Band-Anteile interponieren. Deshalb ist schon bei der geringsten verbleibenden Fehlstellung eine frühsekundäre operative Reposition indiziert, um eine drohende chronische Instabilität abzuwenden.

Operative Therapie

Der operative Zugangsweg bei den Luxationen und Luxationsfrakturen wird kontrovers diskutiert: In Übereinstimmung mit Sotereanos und Apergis (Sotereanos et al. 1997, Apergis et al. 1997) erscheint eine gleichzeitige palmare und dorsale Rekonstruktion

Abb. 7.17a–f Fenton-Syndrom ohne Skaphoidfraktur (so genanntes Kapitatum-Fraktursyndrom) und zusätzliche Fraktur des Processus styloideus radii. **a, b** Unfallbilder. **c, d** Postoperative Versorgung. **e, f** Nach Entfernung des KD nach 8 Wochen

Abb. 7.18a–h Transskaphoidale perilunäre Luxationsfraktur De Quervain bei einem 34-jährigen Elektriker. **a, b** Unfallbild. **c, d** Nach sofortiger Reposition im Aushang. **e, f** Postoperative Kontrolle. **g, h** Ausheilungsergebnis nach 12 Wochen

sinnvoll. Über den palmaren Zugang können durch Spaltung des Karpaltunnels bei Affektion des N. medianus das Lunatum respektive Skaphoid reponiert und die palmaren Kapsel-Band-Anteile genäht werden, während sich über den dorsalen Zugang die Reposition der einzelnen Handwurzelknochen besser bewerkstelligen lässt.

Operationstechnik

Zunächst werden über einen nach proximal verlängerten Hautschnitt (▶ Kap. 21, Standardzugänge) der Karpaltunnel gespalten und nach Beiseitehalten des N. medianus und der Flexorensehnen die Ruptur der palmaren Bänder dargestellt. Das evtl. noch luxierte Mondbein wird durch axialen Zug durch den Assistenten und direkten Druck des Daumens des Operateurs reponiert und der Eingriff über den ergänzenden dorsalen Zugang fortgesetzt. Liegt zusätzlich eine Skaphoidfraktur vor, so wird diese je nach Lokalisation von palmar oder dorsal mittels eines temporär eingebrachten K-Drahts der Stärke 1,2 mm retiniert und, wenn möglich, mit einer Herbert-Schraube fixiert. Um die häufig perkutan durchgeführte K-Draht-Bohrung mit den oftmals frustranen Bohrungsversuchen zu vermeiden, kann bei weiter Diastase ein doppelt angespitzter K-Draht der Stärke 1,5 mm in Rückbohrtechnik von dorsal in das Skaphoid senkrecht zum Gelenkknorpel eingebracht und in Höhe des Skaphoidtuberkels herausgeführt werden. Nach Umsetzen der Bohrmaschine wird der Draht so weit zurückgezogen, dass er gerade noch am Gelenkknorpel des Skaphoids sichtbar bleibt. Anschließend wird manuell oder mit Hilfe eines als »Joystick« in das Lunatum von dorsal nach palmar eingebrachten K-Drahts die DISI-Fehlstellung (s. oben) des Mondbeins bzw. Kahnbeins behoben und mit einem gewissen Gegendruck die temporäre skapholunäre K-Draht-Transfixation vervollständigt. Dieser Vorgang kann unter Einsatz von 2 »Joysticks« durch eine von Lanz entwickelte Repositionsklemme erleichtert werden.

Lunotriquetral wird bei Bedarf in gleicher Weise verfahren und das Repositionsergebnis jeweils durch Bildwandlerkontrollen überprüft. Im Anschluss erfolgt eine jetzt perkutan eingebrachte Fixierung mit einem 1,2 mm starken K-Draht vom Skaphoid zum Kapitatum oder gelegentlich auch vom Triquetrum zum Hamatum. Sofern kein ulnarer Shift des Karpus vorliegt, wird auf eine zusätzliche temporäre radiolunäre K-Draht-Transfixation verzichtet. Zuletzt werden die Kapsel-Band-Verbindungen sowohl palmar als auch dorsal mit resorbierbarem Fadenmaterial verschlossen. Eine evtl. skapholunäre Bandrekonstruktion kann mit intraossär eingebrachten Knochenankern durchgeführt werden. Diese werden von dorsal, außerhalb der Gelenkflächen, in das Skaphoid und Lunatum nach zentraler Vorbohrung mit dem entsprechenden Setzinstrument versenkt. Als Nahtmaterial werden nicht resorbierbare Fäden der Stärke 0 verwendet. Die Fadenenden werden sodann mehrfach miteinander verknüpft und die Naht mit einem dorsalen Kapsellappen verstärkt (Wilhelm et al. 2001, ◘ Abb. 7.18).

Nachbehandlung

Je nach Ausmaß der Verletzung stellt man die betroffene Hand in einem Skaphoidgips für 8 Wochen ruhig. Anschließend werden die temporären K-Draht-Transfixationen aufgelöst und eine intensive krankengymnastische Nachbehandlung, ergänzt durch manuelle Therapie und Ergotherapie, begonnen.

Prognose

Nach Gabel et al. (1996) führen die perilunären Luxationen häufiger zum karpalen Kollaps als die perilunären Luxationsfrakturen. Dies hängt sicherlich mit dem Erhalt der Bandverbindungen zwischen Radius, proximalem Skaphoidpol und Lunatum bei der perilunären Luxationsfraktur zusammen. Laut Schaller (Schaller u. Grünert 1998) resultiert immer eine gewisse Bewegungseinschränkung im Handgelenk, langfristig bleibt eine Handgelenkarthrose nicht aus.

7.2.5 Karpale Instabilität

Definition

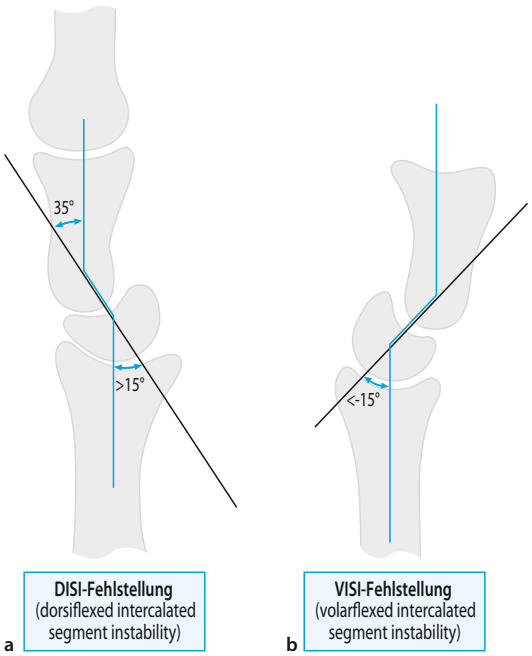
Die karpale Instabilität bezeichnet eine gestörte Stellung und Funktion der Handwurzelknochen. Je nach Ausprägungsgrad werden statische Formen, die bereits unter Ruhebedingungen nachgewiesen werden, von den dynamischen Formen unterschieden, die nur während eines Bewegungsablaufes in Erscheinung treten.

Ätiologie

Als Ursache kommen neben einer angeborenen Bandlaxität chronische Überlastung und seltener auch Arthropathien, hauptsächlich jedoch ein Trauma in Betracht.

Biomechanik des Karpus

Am besten können statische und dynamische Instabilitäten mit dem Konzept des unter Spannung stehenden Rings nach Lichtman u. Martin (1988) erklärt werden, wobei sämtliche Karpalknochen als ein Ring von Knochenelementen betrachtet werden. Jede Sprengung dieser artikulären Ringkette führt zur karpalen Instabilität. Diese hat in der Regel eine Fehlstellung des Lunatums zur Längsachse des Radius und des Kapitatums zur Folge. Das Lunatum hat die Tendenz, bei skapholunären Dissoziationen und Skaphoidfrakturen eine Extensionsstellung und bei Verletzungen des lunotriquetralen Bandapparats oder der ulnaren Handgelenkkapsel eine flektierte Stellung einzunehmen. Man spricht im ersten Fall von einer so genannten DISI- (s. oben), in letzterem von einer VISI-Fehlstellung (volarflexed intercalated segment instability, Garcia-Elias 1997, ◘ Abb. 7.19).



◘ **Abb. 7.19a,b** DISI-Fehlstellung (**a**) und VISI-Fehlstellung (**b**)

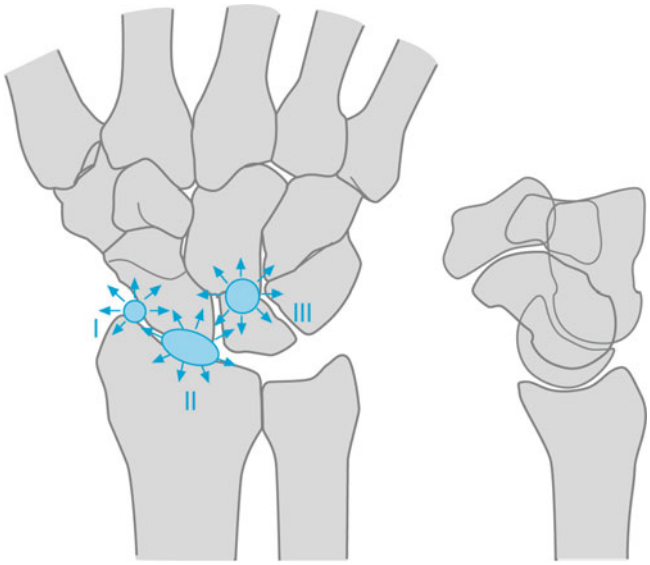


Abb. 7.20 SLAC-Wrist-Stadieneinteilung (Stadium I–III). (Aus: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Im weiteren Verlauf entsteht ein karpaler Kollaps mit typischen arthrotischen Veränderungen. Entsprechend der bei der Skaphoidpseudarthrose erwähnten SNAC-Veränderung (»Scaphoid nonunion advanced collaps«-Veränderung) kommt es bei Läsion der skapholunären Bandverbindung mit dem Tiefertreten des Kapitatums und dem konsekutiven Auseinanderweichen von Lunatum und Skaphoid zur so genannten SLAC-Deformität (»Scapholunate advanced collaps«-Deformität). Diese wird ebenfalls in Abhängigkeit vom Arthroseausmaß in 3 Stadien unterteilt, wie Abb. 7.20 zeigt.

Klinik

Im Vordergrund steht ein belastungsabhängiger Schmerz je nach Lokalisation mit Schwellung und Bewegungseinschränkung. Im weiteren Verlauf kann es zu einem Kraftverlust bis hin zur Handgelenkdeformität kommen. Manche Patienten geben ein Schnapphänomen im Rahmen von Handgelenkbewegungen an.

Diagnostik

Nach der exakten Lokalisation von Druckschmerzpunkten, insbesondere des STT-(skapho-trapezio-trapezoidales-), SLT-(skapholuno-triquetrales-) und SL-(skapholunäres-)Gelenks stehen dem Untersucher verschiedene Provokationstests zur Verfügung, anhand derer die Diagnose eingegrenzt werden kann. Als außerordentlich hilfreich für die Diagnostik einer skapholunären Bandverletzung hat sich der Skaphoid-Shift-Test nach Watson (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) gezeigt.

Zur Erkennung von karpalen Instabilitäten werden die konventionellen Röntgenaufnahmen des Handgelenks in 2 Ebenen durch Stressaufnahmen in maximaler Radialduktion und Ulnarduktion ergänzt. Eine skapholunäre Dissoziation kann zusätzlich mit einer palmodorsalen Aufnahme bei kraftvollem Faustschluss dargestellt werden. Im seitlichen Röntgenbild muss nach einer vermehrten Palmarflexion des Skaphoids sowie Dorsalextension des Lunatums gefahndet werden.

Bei unklaren Befunden können entsprechende Vergleichsaufnahmen von der Gegenseite angefertigt werden. Besteht der Verdacht auf eine Gefügestörung, sollte die Untersuchung unter

Abb. 7.21 Skapholunäre Bandruptur mit Bandnaht und temporärer K-Draht-Transfixation zwischen Skaphoid und Lunatum und zusätzliche Fraktur des Processus styloideus radii

dynamischen Verhältnissen mittels Röntgenbildwandler durchgeführt werden. Weitere Abklärungen bedürfen einer Handgelenkarthroskopie. Darüber hinaus haben sich die Kinematografie, die MRT, die MRT-Arthrografie und Dreikompartiment-Arthrografie klinisch etabliert (Pliefke et al. 2008).

Nach Ausschluss einer Fraktur im Handgelenkbereich einschließlich der Handwurzel darf man sich nicht mit der Diagnose einer Distorsion zufrieden geben, sondern muss eine karpale Instabilität ausschließen. Bei distalen Radiusfrakturen, v.a. mit sagittalen Frakturverläufen (B1-Fraktur nach der AO-Klassifikation), muss immer als Mitverletzung an eine skapholunäre Bandruptur gedacht werden (Peicha et al. 1997).

Tab. 7.3 Verfahrenswahl bei skapholunärer Verletzung in Abhängigkeit von Ausmaß, Alter und vorliegender Arthrose

Skapholunäre Dissoziation	Frisch (1 bis ca. 8 Wochen)	Alt (ab ca. 9.Woche)	Arthrose mit karpalem Kollaps im Sinne eines »SLAC-Wrist«
Grad I	Skaphoidgips für 6 Wochen	Arthroskopisches Débridement	
Grad II	Arthroskopie	Skapholunäre Bandplastik mit temporärer K-Draht-Transfixation vom Skaphoid zum Lunatum und auch vom Skaphoid zum Kapitatum	
	Temporäre K-Draht-Transfixation vom Skaphoid zum Lunatum und vom Skaphoid zum Capitatum	Alternativ: – Mitek-Anker-Refixation – Modifizierte Kapsulodese nach Blatt – Modifizierte Tenodese nach Brunelli – Temporäre Herbertschraubentransfixation zwischen Skaphoid und Lunatum	
	Refixierung des Bandes evtl. mit Mitek-Ankern		
	Skaphoidgips für 6–8 Wochen	Skaphoidgips für 8 Wochen	
Grad III	Offene Reposition	Reponible Fehlstellung: modifizierte Kapsulodese nach Blatt oder modifizierte Tenodese nach Brunelli	PRC (alternativ: mediokarpale Teilarthrodese)
	Temporäre K-Draht-Transfixation vom Skaphoid zum Lunatum oder vom Skaphoid zum Kapitatum	Fixierte Fehlstellung: STT-Arthrodese	
	Transossäre Refixation mit Mitek-Anker		
	Skaphoidgips für 8–10 Wochen		

Klassifikation

Unter den vielen in der Literatur beschriebenen Klassifikationen findet die folgende Einteilung nach Saffar (1996), die sich an den betroffenen Gelenken orientiert, mit die häufigste Anwendung:

- Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe:
  - skapholunäre Dissoziation,
  - lunotriquetrale Dissoziation;
- ediokarpale Instabilitäten;
- proximale (radiokarpale) Instabilitäten.

Die skapholunäre Dissoziation ist mit 85% die häufigste aller karpalen Instabilitäten (Peterson u. Tobolski 1998). Sie kann in 3 Schweregrade eingeteilt werden:

- **Grad 1:** Teilruptur im mittleren membranösen Anteil des Ligaments ohne Achsenfehlstellung
- **Grad 2:** Komplette Ruptur mit dynamischer Instabilität
- **Grad 3:** Komplette Ruptur mit statischer Instabilität und röntgenologisch nachweisbarer Achsenfehlstellung (Abb. 7.21)

Therapie der Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe

Skapholunäre Dissoziation

Das therapeutische Vorgehen bei skapholunären Verletzungen hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie Alter des Schadens, Schweregrad, möglicher achsengerechter Reposition und Arthrosezeichen. Tab. 7.3 gibt eine Übersicht über die in der Literatur bevorzugten Therapieverfahren (Beyermann et al. 2000, Blatt 1994, Van den Abbeele et al. 1998, Van Schoonhoven et al. 1999, Wilhelm et al. 2001, Willebrand 1999). Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Grenze zwischen frischen und alten skapholunären Verletzungen nicht streng gezogen werden kann. Es können durchaus noch nach 9 Wochen und später verwertbare Bandstümpfe nachgewiesen werden.

Die geschlossene Repositon bei einer SL-Bandruptur mit K-Drähten wenden wir nahezu nicht mehr an, da doch in aller Regel der K-Draht nach Verlassen des Kahnbeins das Mondbein, trotz versuchten Gegendrucks, vor sich herschiebt und dadurch die Diastase nicht beseitigt werden kann.

Lunotriquetrale Dissoziation

Auch die frische lunotriquetrale Dissoziation kann, falls die Instabilität bei der dynamischen Untersuchung unter Bildwandlerkontrolle feststellbar ist, durch Gipsimmobilisation für 6–8 Wochen suffizient behandelt werden. Zusätzlich wird eine perkutane K-Draht-Fixation zwischen Triquetrum und Lunatum empfohlen. Für die chronische lunotriquetrale Instabilität stehen wiederum mehrere Therapieverfahren zur Verfügung: von einer Bandplastik mit einem distal gestielten, abgespaltenen Streifen der Extensor-carpi-ulnaris-Sehne über eine lunotriquetrale Arthrodese bis hin zur totalen Handgelenkarthrodese.

Therapie der mediokarpalen Instabilitäten

Bei der mediokarpalen Instabilität, welche meist angeboren ist, wird von Pachucki (1998) eine dorsale Bandplastik zur Verstärkung des Ligamentum radiocarpeum dorsale, das an der dorsalen Speichenlippe zur Dorsalfläche des Triquetrums zieht, empfohlen.

Therapie der proximalen (radiokarpalen) Instabilitäten

Eine statisch fixierte ulnare Translation der proximalen Handwurzelreihe erfordert ebenfalls ein operatives Vorgehen. Dabei wird die Handwurzel korrekt eingestellt und mit K-Drähten transfixiert, anschließend werden die Bänder zwischen Radius, Skaphoid, Kapitatum, Lunatum und das dorsale Ligamentum radiocarpeum rekonstruiert und das Handgelenk für insgesamt 8 Wochen immobilisiert.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Diskussion hinsichtlich des therapeutischen Vorgehens bei karpalen Instabilitäten noch nicht abgeschlossen ist. Gerade die Behandlung veralteter SL-Bandrupturen bleibt weiterhin ein Problem. Aufgrund der enormen Kräfte, die auf das normale SL-Band einwirken, scheinen sich die Bandplastiken nicht durchzusetzen, da sie mit der Zeit der Druck- und Zugkraft nicht standhalten (Hahn et al. 1999).

Denervierung nach Wilhelm

Um bei anhaltenden Schmerzen die noch vorhandene Beweglichkeit des Handgelenks zu erhalten und den radikaleren Eingriff der Arthrodese hinauszuzögern, empfiehlt sich bei einer stabilen Situation die Denervierung des Handgelenks. Dieser operative Eingriff wurde 1966 von Wilhelm zur Behandlung der posttraumatischen Arthrose publiziert. Die Indikation zu einer Denervation wird grundsätzlich erst nach einer positiven Testausschaltung der schmerzleitenden Nervenbahnen gestellt. Die infrage kommenden Nervenbahnen werden durch Injektion eines Lokalanästhetikums nach Grechenig (Grechenig u. Felbinger 1998) folgendermaßen blockiert:

- N. interosseus posterior: Dorsomediane Injektion senkrecht ungefähr 3 cm proximal der Handwurzel
- R. articularis spatii interossei 1: Dorsale Injektion zwischen der Basis des 1. und 2. Mittelhandknochens am ulnaren Rand der meist sichtbaren V. intermetacarpalis 1
- R. articularis nervi cutanei antebrachii radialis: 1 ml eines Lokalanästhetikums im Bereich der Vasa radialia ungefähr 3 cm proximal der Handwurzel
- R. superficialis nervi radialis: ausgehend vom letztgenannten Injektionsort quer angelegte subkutane Infiltration
- N. interosseus anterior: Einstich palmomedian senkrecht etwa 3 cm proximal der distalen Handgelenksbeugefalte am ulnaren Rand der Sehne des M. palmaris longus
- R. dorsalis manus nervi ulnaris einschließlich des R. articularis nervi cutanei antebrachii ulnaris: Einstich an der Ulnarseite des Processus styloideus ulnae und Infiltration bis zum Knochen sowie nach palmar
- R. palmaris nervi mediani: subkutane Infiltration zwischen der A. radialis und der Sehne des M. palmaris longus
- Rr. perforantes 2 und 3: Lokalanästhetikum dorsal direkt über den entsprechenden Intermetakarpalgelenken

Die Blockade des R. palmaris des N. medianus und der Rr. perforantes 2 und 3 sollte nur bei einer gezielten Fragestellung erfolgen (Abb. 7.22).

Operationstechnik

Die Denervierung des Handgelenks wird entweder als alleiniger isolierter Eingriff oder in Kombination mit weiteren Maßnahmen durchgeführt. Dabei sind insgesamt 4 unterschiedliche Zugänge erforderlich (Abb. 7.23).

Lediglich für den N. interosseus posterior und den R. articularis spatii interossei 1 sind exakte Nervenpräparationen erforderlich, die weitere sensible Neurotomie erfolgt blind in Form der Weichteildurchtrennung oder durch epifasziales Ablösen des Haut-Subkutis-Mantels.

Zur Durchtrennung des N. interosseus posterior empfiehlt sich eine Längsinzision etwa 3 cm proximal der Handwurzel mit Spaltung des Retinaculum extensorum zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach. Nach Präparation und Darstellung des Nerven in der Tiefe sollte dieser möglichst weit proximal durchtrennt und entfernt werden, um auch den abzweigenden isolierten Gelenknerv für das distale Radioulnargelenk zu erreichen. Vom gleichen Schnitt aus werden durch epifasziales Unterminieren alle sensiblen Äste unterbrochen, die vom R. superficialis nervi radialis ausgehen.

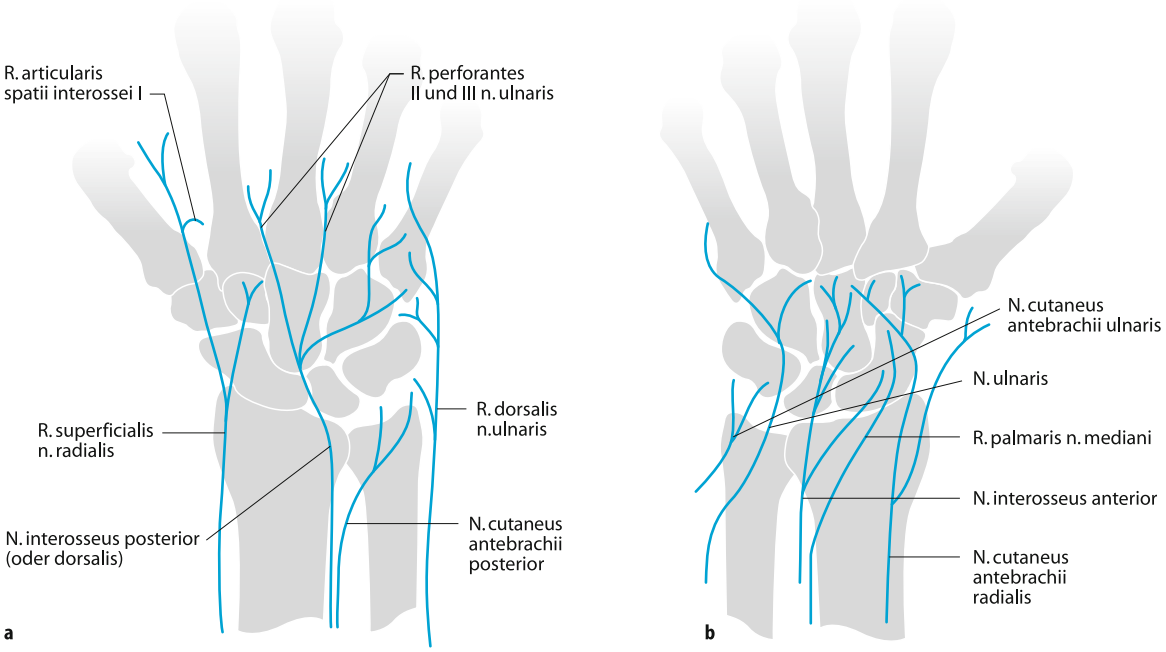


Abb. 7.22a,b Schematische Darstellung der zu durchtrennenden Nervenäste bei der Denervierungsoperation nach Wilhelm. **a** Von dorsal. **b** Von palmar

Es schließt sich die Darstellung des R. articularis spatii interossei 1 an. Dazu wird dorsalseitig über dem 1. Karpometakarpalgelenk längsinzidiert und ulnarseits der 1. intermetakarpalen Vene der dorsoradialseitige Zeigefingernerv aufgesucht. Dieser Nerv gibt dann den genannten Gelenkast ab, der meist mit einer kleinen Vene zu der hier subfaszial verlaufenden und nach palmar perforierenden A. radialis zieht.

Zur Unterbrechnung des N. cutaneus antebrachii radialis und des N. interosseus anterior wird über eine bogenförmige Inzision volar über dem distalen Radiusende die A. radialis dargestellt. Die mit der A. radialis verlaufenden Gelenkäste des N. cutaneus antebrachii radialis werden durch Ligatur und Durchtrennung des paravasalen Gewebes einschließlich der Begleitvenen zerstört. Von der gleichen Inzision aus wird auch der N. interosseus anterior unterbrochen. Zwischen A. radialis und der Sehne des M. flexor carpi radialis stellt man den distalen M. pronator quadratus dar. Anschließend werden mit einem langen Haken der M. flexor carpi radialis, die Beugesehnen und der N. medianus geschützt und mit dem Elektrokauter das Bindegewebe am distalen Rand des Muskels parallel zur Gelenkfläche mit den darin befindlichen Nerven durchtrennt. Am distalen Ende des gleichen Schnitts im Bereich der Handwurzelbeugefalte kann auch noch der subkutan verlaufende Gelenkast des R. palmaris nervi mediani erreicht werden. Eine Verletzung dieses Nervs sollte unbedingt vermieden werden, da es sonst postoperativ zu unangenehmen Sensibilitätsstörungen im Ausbreitungsgebiet am Thenar kommen kann.

Die Ausschaltung der Gelenkäste des R. dorsalis manus des N. ulnaris und des N. cutaneus antebrachii dorsalis erfolgt über eine bogenförmige Schnittführung ulnarseits des Processus styloideus ulnae und weitere epifasziale Ablösung des Weichteilmantels von beiden Seiten der Inzision.

Eher selten wird eine Denervierung der Rr. perforantes nervi ulnaris über dem 2. und 3. Intermetakarpalgelenk erforderlich. Der Zugang erfolgt über eine Längsinzision, die von der Basis des 2. bis 4. Mittelhandknochens reicht.

Nachbehandlung

Eine zu frühe Belastung des Handgelenks sollte unbedingt vermieden werden. Folglich empfiehlt sich eine dorsale Unterarmgipsschiene für ca. 2 Wochen, welche zu einer sofortigen Physiotherapie mit desensibilisierenden Maßnahmen an den Narben abgenommen werden kann.

Prognose

Eine vollständige Schmerzfreiheit kann nicht erreicht werden. In der Literatur (Geldmacher et al. 1972) wird berichtet von einer Schmerzreduktion bei etwa 70% der Patienten. Ein weiterer Nachteil dieses Eingriffs liegt in der fehlenden Möglichkeit der objektiven Überprüfung des Operationserfolgs. Außerdem kann nach anfänglicher Schmerzfreiheit die Symptomatik nach Jahren wiederkehren. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass alle Nervenstämme zwischen den einzelnen Gelenkästen miteinander verkettet sind.

Panarthrodese

Bei Versagen anderer Therapieverfahren wie Teilarthrodesen, Entfernung der proximalen Handwurzelreihe und Denervation bleibt als Rückzugsmöglichkeit immer noch die Panarthrodese, die somit weiterhin ihren festen Stellenwert im Repertoire des Hand- und Unfallchirurgen besitzt. Im Zuge der präoperativen Planung ist es jedoch unumgänglich, in einem ausführlichen Gespräch die Bedürfnisse des Patienten zu eruieren und danach die definitive Handgelenkposition auszurichten.

Operationstechnik

Für die Panarthrodese eignet sich die seit 1994 zur Verfügung stehende spezielle Handgelenkarthrodesenplatte der AO. Hierbei handelt es sich um eine Kompressionsplatte aus Reintitan, die sich in ihrem distalen Anteil verjüngt und so am Metakarpale kaum aufträgt. Am Radius wird die Platte mit Kleinfragmentschrauben der Stärke 3,5 mm, am Metakarpalknochen mit Minifragmentschrauben der Stärke 2,7 mm fixiert. Die Platte liegt in 3 verschiedenen Formen, als gerade, kurzstreckig und langstreckig gebogene Platte vor (Hastings et al. 1993), in jüngster Zeit auch in der winkelstabilen Variante.

Nach dem üblichen S-förmig geschwungenen Hautschnitt dorsoradial und nach Durchführung einer partiellen Denervation (s. oben) wird die Handgelenkkapsel zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach türflügelartig inzidiert. Dann wird das Tuberculum Listeri entfernt und anschließend mit dem Meißel oder dem Luer das spätere Plattenlager vorbereitet, indem die dorsale Kortikalis des Lunatums, Kapitatums und des Karpometakarpalgelenks 3 abgetragen wird. Das Radiokarpalgelenk, die Gelenke zwischen Skaphoid und Kapitatum sowie zwischen Lunatum und Kapitatum sowie das Karpometakarpalgelenk II und III werden entknorpelt. Im Gegensatz zu Hastings (Hastings et al. 1993) wird im eigenen Vorgehen immer eine Spongiosaplastik aus dem Beckenkamm

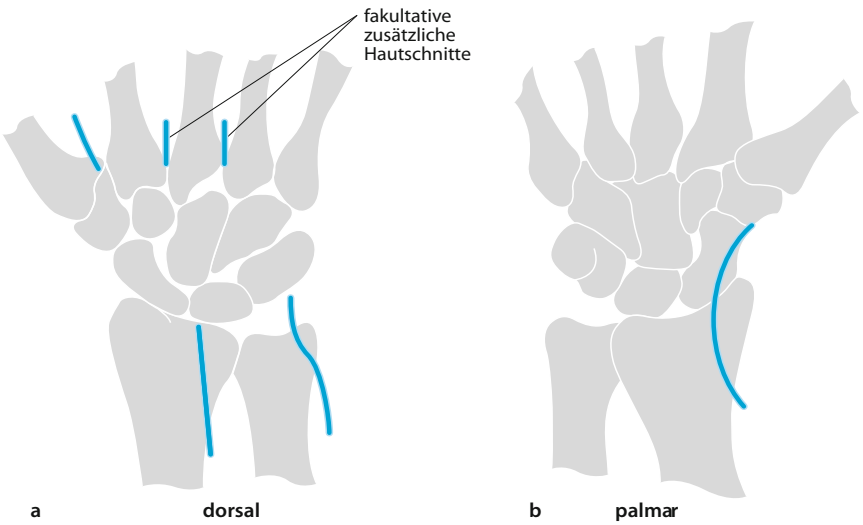


Abb. 7.23a,b Hautinzisionen für die Denervierung des Handgelenks. **a** Von dorsal. **b** Von palmar

Abb. 7.24a–d 48-jähriger Patient mit SNAC-Wrist Grad III und durchgeführter Panarthrodese mit der AO-Platte

durchgeführt, um die Gelenkspalten ausreichend mit Spongiosa zu überbrücken. Anschließend wird die Platte fixiert, wobei zuerst die Schraubenlöcher entweder am Metakarpale II oder III und erst anschließend diejenigen am Radius unter Anwendung des Kompressionsprinzips besetzt werden. Zuletzt wird das Kapitatum mit einer Schraube gefasst (Abb. 7.24).

Nachbehandlung

Eine volare Unterarmgipsschiene wird bis zur gesicherten Wundheilung angelegt, danach kann eine vorgefertigte Handgelenkschiene angelegt und mit aktiven und passiven Bewegungsübungen für Finger und Unterarm begonnen werden. Die Schiene wird so lange getragen, bis eine knöcherne Durchbauung etwa ab der 4. postoperativen Woche radiologisch nachgewiesen werden kann. Eine uneingeschränkte Belastung der Hand ist in der Regel nach ca. 10–12 Wochen erlaubt. Eine verlängerte Ruhigstellungszeit könnte Mikrobewegungen im Karpalbereich, die zu Schmerzen führen, entgegenwirken.

Komplikationen

Bei Nagy u. Büchler (1998), die 109 Patienten mit AO-Plattenarthrodesen nachuntersuchten, war die Komplikationsrate mit 36% sehr hoch, lediglich 56% der Patienten waren absolut schmerzfrei und nur 6% erreichten die Kraft der gesunden Seite.

An Komplikationen wurden dabei eine Läsion der A. radialis, des R. dorsalis n. ulnaris, Hämatome, Wundinfekte, plattenbedingte Rotationsfehler des Mittelfingers sowie akute Karpaltunnelsyndrome, Pseudarthrosen v.a. karpometakarpal, Plattenbrüche und Schraubenlockerungen gesehen. 20 Handgelenke mussten nachoperiert werden. Deshalb sollte die Indikation zur Panarthrodese erst nach Ausschöpfung aller übrigen Therapiemaßnahmen gestellt werden.

7.2.6 Karpaltunnelsyndrom

Ätiologie

Das Karpaltunnelsyndrom ist mit einer geschätzten Inzidenz von etwa 1% der gesamten Bevölkerung das häufigste Kompressionssyndrom peripherer Nerven. Frauen sind wesentlich häufiger betroffen als Männer (72% Frauen, Geoghegan et al. 2004), ebenso Übergewichtige im Vergleich mit Normalgewichtigen (Nathan et al. 2005). Der Verteilungsgipfel liegt zwischen dem 40. und 70. Lebensjahr.

Die distale Medianuskompression entsteht durch ein Missverhältnis zwischen Volumen und Inhalt des Karpaltunnels. Durch die engen räumlichen Verhältnisse im Karpaltunnel kann eine Vielzahl von Pathomechanismen das Karpaltunnelsyndrom verursachen (Übersicht).

Pathomechanismen des Karpaltunnelsyndroms

1. Idiopathisch ohne erkennbare pathologische Veränderungen in 35–80%
2. Veränderungen des Karpalkanals:
   - Verdickung des Retinaculum flexorum
   - Wiederholte Flexions- und Extensionsstellungen mit entsprechender Druckerhöhung
3. Veränderungen des Tunnelinhalts:
   - Tenosynovialitis (Rheuma, Gicht, Tuberkulose)
   - Raumforderungen (Neurinome, Tumoren, Lipome, Ganglien, Kalzifikationen)
   - Anomalien (überzählige Muskeln oder Sehnen, vaskulär persistierende A. mediana)
   - Posttraumatisch (ossär, tenogen, Hämatom, Thrombose, Infektion)
4. Andere Ursachen:
   - Hormonell (Gravidität, postpartal)
   - Endokrin (Akromegalie)
   - Interne Erkrankungen (Mukopolysaccharidose, Mukolipidose, Amyloidose und Diabetes mellitus)

Klinik

In aller Regel entwickeln sich die Beschwerden über Monate bis Jahre; in seltenen Fällen kommen auch akute heftige Schmerzzustände vor. Typischerweise tritt zunächst ein Taubheitsgefühl oder

Kribbeln im Bereich der Mittelfingerkuppe auf, das sich dann auf die radialen 3,5 Finger der Hand ausbreitet. Meist kann in diesem Stadium durch Massieren oder Kühlen der Hand eine Besserung der Beschwerden erzielt werden. Im weiteren Verlauf klagen die Patienten über ein Kältegefühl oder Schwitzen der Hand, was sich durch die sympathische Innervation der Hand zum größten Teil über den N. medianus erklären lässt. Nach Skorpik u. Zachs (1998) haben etwa 80% der Patienten eine Brachialgia peraesthetica nocturna, die teilweise in Oberarm und Schulter ausstrahlt und auf Schütteln besser wird. Im fortgeschrittenen Stadium bildet sich eine Muskelatrophie des Daumenballens aus (Abb. 7.25).

Ungeschicklichkeit und Kraftminderung der Hand sind die Folgen. Feinarbeiten können nicht mehr ausgeführt werden. Bei einer noch weiter gehenden Druckschädigung des N. medianus kommt es zum Verlust der Schutzsensibilität. Daraus resultieren typische Störungen im Bereich der radialen 3,5 Finger bis hin zu ausgedehnten Ulzerationen und Nekrosen.

Bei allen Patienten mit unklaren Schmerzen in der Hand oder im Arm, Sensibilitäts- und Greifstörungen muss an ein Karpaltunnelsyndrom gedacht werden.

Abb. 7.25 Daumenballenatrophie bei einem Karpaltunnelsyndrom links

Diagnostik

Die Sensibilität wird durch Prüfung der Medianus-innervierten Finger im Vergleich zum Kleinfinger bewertet. Bei deutlicher subjektiver Sensibilitätsminderung wird diese durch Überprüfung der Zweipunktediskrimination objektiviert, wobei Werte von 0–5 mm normal, Werte >6 mm pathologisch sind. Die bereits erwähnte Thenaratrophie mit Schwäche des M. abductor pollicis brevis und des M. opponens pollicis weist auf ein längeres Bestehen des Karpaltunnelsyndroms hin. Zur Diagnosesicherung hat die elektroneurografische Untersuchung mit einer Sensitivität von >80% eine größere Bedeutung als die konventionelle elektromyografische. Durch die Kompression des N. medianus tritt eine verlängerte motorische und sensible Reizleitungsgeschwindigkeit auf. Bildgebende Verfahren erübrigen sich in aller Regel. Gelegentlich können aber ossär bedingte Einengungen des Karpalkanals durch Röntgenaufnahmen im dorsopalmaren und seitlichen Strahlengang, ergänzt durch eine Karpaltunnelspezialaufnahme aufgedeckt werden.

Die klinische Diagnostik wird durch das Hoffmann-Tinel-Klopfzeichen und den Phalen-Test (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) ergänzt.

Differenzialdiagnose

Das Karpaltunnelsyndrom muss differenzialdiagnostisch gegen Schmerzsyndrome anderer Ursachen abgegrenzt werden. Dazu gehören Bandscheibenvorfälle C5/6 oder C6/7 mit Radikulopathien, intramedulläre Halsmarkprozesse, Armplexusirritationen, Systemerkrankungen peripherer Nerven, das Thoracic-outlet-Syndrom, das Pronator-teres-Syndrom, ein Interosseus-anterior-Syndrom, Muskelhartspann im Nacken- und Schultergürtelbereich sowie Durchblutungsstörungen.

Konservative Therapie

Bei anamnestisch gering ausgeprägter Symptomatik ohne Thenaratrophie sind konservative Therapiemaßnahmen durchaus vertretbar. Gerade in der Spätschwangerschaft oder am Anfang der Menopause ist in der Regel eine Spontanheilung zu erwarten. Zunächst wird dem Patienten eine gepolsterte palmare Unterarmlagerungsgipsschiene bis zu den Langfingergrundgelenken in neutraler Position des Handgelenks angelegt. In dieser Stellung sind die Druckverhältnisse über dem N. medianus am geringsten. Die Schiene sollte hauptsächlich nachts, bei anhaltenden Schmerzen auch tagsüber getragen werden. Zusätzlich kann eine medikamentöse Verordnung von nichtsteroidalen Antiphlogistika, Diuretika und Vitamin B_6 hilfreich sein. Kortikoidinfiltrationen sollten mit Vorsicht angewendet werden. Trotz möglicher vorübergehender Besserung kann es bei Infiltration des N. medianus selbst zu irreversiblen Schäden des Nervs kommen. Darüber hinaus haben sich physiotherapeutische Übungen zur Erhaltung des Gleitens des N. medianus und der Sehnen sowie entzündungshemmende Iontophoresen bewährt. Auch bei grenzwertigen klinischen und elektroneurografischen Befunden kann unter regelmäßiger klinischer Befundkontrolle mit der Operation zugewartet werden.

Operative Therapie

Treten jedoch im weiteren Verlauf sensorische und motorische Ausfälle an der Hand auf oder ist elektroneurografisch eine eindeutige Verschlechterung der Nervenleitgeschwindigkeit nachweisbar, ist die Indikation zur Operation gegeben. Dabei ist prinzipiell jede Anästhesieform möglich. Am günstigsten erscheint jedoch die i.v.-Regionalanästhesie. Einerseits handelt es sich dabei um ein sicheres Anästhesieverfahren, andererseits kann die Präparation im blutleeren Raum ohne Schmerzen für den Patienten erfolgen. Bis vor einigen Jahren war die offene Operationstechnik die Methode der Wahl. Ende der 1980er/Anfang der 1990er Jahre wurde als Alternative dazu die endoskopische Spaltung des Retinaculum flexorum entweder als Zweipfortentechnik nach Chow (1989) oder als Einpfortentechnik nach Agee et al. (1992) entwickelt. Kontraindikationen sind in der Übersicht aufgeführt.

Kontraindikationen zur endoskopischen Karpaltunnelspaltung

- Große Hand (wegen der Gefahr der inkompletten Spaltung)
- Schlecht bewegliches Handgelenk nach Trauma
- Tenosynovialitis
- Chronische Polyarthritis
- Morbus Dupuytren
- Rezidiv nach offener Karpaltunnelspaltung
- Voroperationen an der Beugeseite des Handgelenks
- Massive Thenaratrophie
- Tumoren im Karpaltunnelbereich

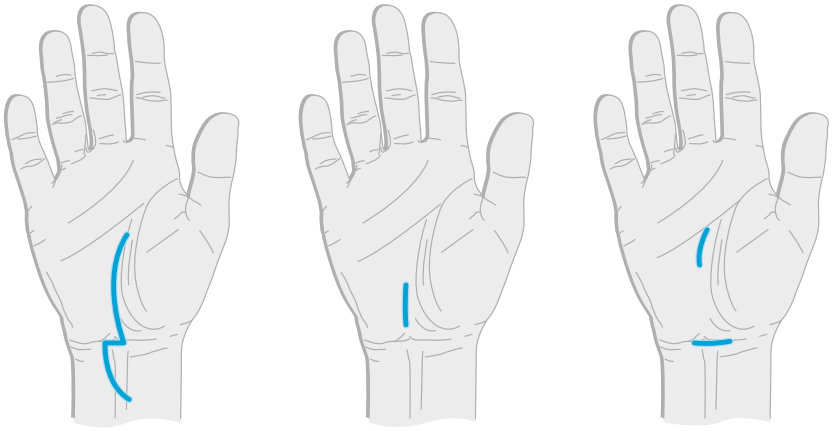


Abb. 7.26a–c Mögliche Schnittführungen bei der offenen Operationstechnik. **a** Standardtechnik. **b** Bromley-Zugang. **c** Modifizierte Schnittführung nach Millesi

Bei der **konventionellen offenen Operationstechnik** wird im eigenen Vorgehen die von Bromley (1994) beschriebene Mini-Inzision im Bereich der distalen Handwurzelreihe am peripheren Drittel des Karpalkanals mit einer Länge von etwa 1,5 cm bevorzugt. In selteneren Fällen wählen wir eine längere Inzision von etwa 4,5 cm, die weiter nach proximal bis zur Rascetta verläuft. Eine Schnittverlängerung proximal der Handgelenkbeugefalte empfiehlt sich zumindest bei der Primäroperation nicht, da dadurch Bewegungseinschränkungen durch Narbenkontrakturen entstehen können (Abb. 7.26).

Nach Freilegung des N. medianus (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wird mit einem feinen Haken der radiale Rand des Retinaculums angehoben und ggf. nach dem motorischen Thenarast zunächst an seiner häufigsten Lokalisation am distalen Ausgang des Karpaltunnels gesucht und bei Bedarf dekomprimiert.

Findet sich palmar des Retinaculum flexorum atypische Muskulatur, muss an eine der zahlreichen Verlaufsvariationen des R. muscularis thenaris gedacht werden.

Nach sicherer Identifikation und ggf. Dekompression des motorischen Asts wird in Handgelenkstreckung unter Einsatz eines schmalen Langenbeck-Hakens die Unterarmfaszie nach proximal gespalten. Dabei muss der R. palmaris des N. medianus geschont werden. Hieran schließt sich eine genaue Inspektion und Palpation des Karpalkanals hinsichtlich einer Synovialitis, anatomischer Normvarianten, Gichttophi, Tumoren und Ganglien an (Abb. 7.27, Abb. 7.28, Abb. 7.29).

Die Notwendigkeit einer epineuralen Neurolyse des N. medianus steht in der Diskussion. Unserer Ansicht nach ist eine epineurale Neurolyse des N. medianus nur bei massiv verdicktem Epineurium indiziert. Beendet wird der Eingriff mit einer partiellen Resektion der Retinakulumränder. Bei Bluttrockenheit und nach Einlage einer 8er Redon-Saugdrainage erfolgt der Wundverschluss ohne Subkutannähte mit monofilen Fäden der Stärke 4/0 bis 5/0, nicht resorbierbar. Diese werden etwa 12 Tage belassen, damit nicht durch zu frühes Entfernen des Nahtmaterials die Hauträndern auseinanderklaffen.

Eine Alternative zur offenen Operation stellt, wie oben ausgeführt, in ausgewählten Fällen (s. oben, Übersicht der Kontraindikationen zur endoskopischen Karpaltunnelspaltung) die **endoskopische Methode** dar. Wir verwenden das Verfahren nach Agee et al. (1992) in der Einportaltechnik. Zuerst werden die anatomischen Orientierungspunkte wie die Sehne des M. flexor carpi ulnaris, die Sehne des M. palmaris longus, das Os pisiforme, der Hamulus ossis hamati und eine Hilfslinie in Verlängerung des 4. Strahls eingezeichnet. Die Haut wird in Höhe der Rascetta am distalen, ulnarseitigen Unterarm etwa in einer Ausdehnung von 1,5 cm quer inzidiert. Es wird nun ein distal gestielter U-förmiger Faszienlappen gebildet und mit einem Haken hochgehoben. Mit einem Dissektor wird entsprechend der Hilfslinie im Verlauf des 4. Strahls die Synovialmembran von der Unterfläche des Retina-

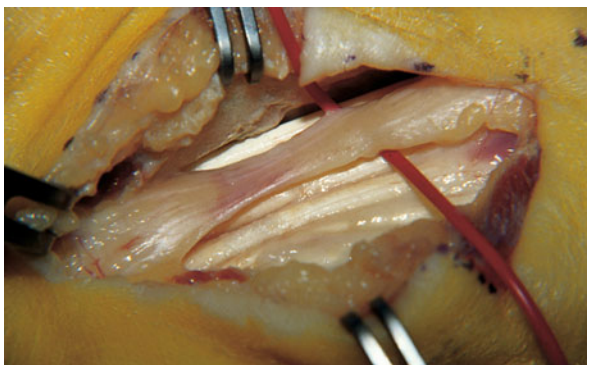


Abb. 7.27 Intraoperativer Situs eines sanduhrförmig eingeengten N. medianus

Abb. 7.28 70-jähriger Patient mit einem Lipom, welches auf den N. medianus drückt

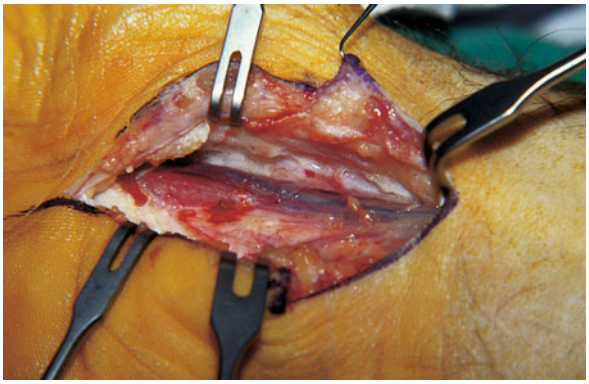


Abb. 7.29 Eine A. mediana als seltene Ursache eines Karpaltunnelsyndroms

culum flexorum abgeschoben. Nach Extension des Handgelenks wird mit zwei unterschiedlich dicken Dilatatoren der Weg für das Agee-Endoskop geschaffen und somit der Karpalkanal ausgetastet. Das Gerät mit dem Klingenvorsatz wird eingeführt. Erst nach eindeutiger Identifikation der queren Fasern und des distalen Rands des Retinaculum flexorum darf das Gerät mit der aufgeklappten Klinge nach proximal zurückgezogen werden. Abschließend muss die Durchtrennung auf Vollständigkeit überprüft werden, wobei prolabiertes Fettpolster im gesamten Verlauf des ehemaligen Retinaculum flexorum sichtbar sein muss. Nach Einlage einer 8er Redon-Saugdrainage erfolgt der Wundverschluss mit 2–3 Einzelknopfnähten.

Nachbehandlung

Trotz der Beobachtung mancher Autoren, dass nach einer Durchtrennung des Retinaculum flexorum die Beugesehnen ihr Bett am Boden des Karpalkanals bei der Handgelenkflexion verlassen und so zu einer Instabilität im Handgelenk führen können, nehmen die meisten Autoren keine Rekonstruktion des Retinakulums vor. Dafür hat sich nach beiden Verfahren eine kurzfristige Ruhigstellung mit einer kurzen volaren Unterarmgipslonguette für 3–5 Tage bewährt. Dadurch sollen postoperative Schwellungen minimiert werden. Eine postoperative Hochlagerung des Arms zur Ödemprophylaxe ist obligat. Bereits unmittelbar postoperativ kann der Patient mit eigentätigen Bewegungsübungen zur Prophylaxe eines Handödems und einer Fingersteife beginnen. Eine zunehmende Belastung des betroffenen Arms ist nach 3–4 Wochen möglich. Eine krankengymnastische Nachbehandlung ist in der Regel nicht erforderlich.

Komplikationen

Die Komplikationsrate beim offenen Vorgehen schwankt in der Literatur zwischen 1 und 13,5%, während sie für die endoskopische Technik mit 2–24% angegeben wird. Sicherlich entstehen hier die meisten Komplikationen bei nicht ausreichender Sicht im Operationsgebiet, z.B. bei einer ausgeprägten Synovialitis. Man sollte sich dann nicht scheuen, die Operation offen weiterzuführen.

Die häufigste Komplikation sowohl bei der offenen als auch bei der endoskopischen Spaltung ist die unvollständige Durchtrennung des Retinaculum flexorum, wobei dies bei der endoskopischen Technik öfter als bei der offenen Methode vorkommt.

Weitere Komplikationen stellen die Schädigung des N. medianus, des N. ulnaris bei zu weit ulnar gelegenem Zugang, des R. palmaris n. mediani und des motorischen Thenarasts dar. Eine Verletzung des oberflächlichen Hohlhandbogens muss entweder mikrochirurgisch durch Naht oder eine Ligatur therapiert werden. Ein Hämatom kann bei ungenügender Blutstillung auftreten. Folglich empfiehlt es sich, grundsätzlich eine Abflussdrainage einzulegen. Gelegentlich können v.a. bei einer traumatischen Operationstechnik schmerzhafte Narbenhypertrophien entstehen. Sehnen- und Gefäßverletzungen sind eher selten zu beobachten. Letztere beiden kommen eher bei endoskopischen Eingriffen vor. Auch ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS) ist extrem selten.

Prognose

In einer Studie von Richter u. Brüser (1996) brachte die endoskopische Technik hinsichtlich postoperativer Schmerzen, Sensibilitätsverbesserung und Arbeitsunfähigkeitszeiten keine Vorteile. Für die Rückbildung von Parästhesien und Taubheit schien sogar die offene Methode Vorteile zu haben. In Anbetracht dieser Ergebnisse sind die Nachteile der endoskopischen Methode wie höhere Komplikationsrate, erhöhter Kostenaufwand und höhere Lernkurve nicht von der Hand zu weisen.

7.2.7 Guyon-Logen-Syndrom

Ätiologie

Das Guyon-Logen-Syndrom tritt wesentlich seltener als ein Karpaltunnelsyndrom auf. Die häufigste Ursache für eine Kompression des N. ulnaris in der Loge de Guyon stellen Ganglien dar. An zweiter Stelle werden berufs- oder beschäftigungsbedingte Kompressionen erwähnt, z.B. nach langem Fahrrad fahren, oder das so genannte Hypothenar-Hammer-Syndrom nach wiederholtem Hämmern mit dem eigenen Hypothenar. Frakturen oder Dislokationen der Metakarpalia, der Karpalia oder der distalen Unterarmknochen, Thrombosen der A. ulnaris, echte oder falsche Aneurysmen, Tumoren, anatomische Variationen an Muskeln, Sehnen und Knochen sowie Narbengewebe sind wesentlich seltenere Ursachen.

Klinik

Die Beschwerdesymptomatik kann je nach Höhe der Ulnariskompression variieren. Gross u. Gelberman (1985) teilen die Guyon-Loge in 3 Zonentypen ein.

- Beim **Typ 1** liegt eine Schädigung der sensiblen und der motorischen Ulnarisfasern vor. Die Läsion kann proximal der Loge de Guyon oder in deren proximalen Anteil liegen.
- **Typ 2** ist durch rein motorische Ausfälle der Handbinnenmuskulatur charakterisiert, da eine Kompression des R. profundus distal des Abgangs des R. superficialis vorliegt.
- **Typ 3** entspricht einer distalen Schädigung im Verlauf des R. superficialis. Neben Sensibilitätsausfällen kommt es zu einer Schädigung des M. palmaris brevis.

Typisch für ein Guyon-Logen-Syndrom ist eine sich innerhalb weniger Wochen einstellende Lähmung des R. profundus des N. ulnaris mit Beeinträchtigung der Interosseusmuskulatur und des M. adductor pollicis. Ziehende Schmerzen verbunden mit Hypästhesien an D4 und D5 sowie über dem Hypothenar, besonders nach für die Hand belastenden manuellen Tätigkeiten, sind ein weiterer charakteristischer Befund.

Diagnostik

Nach einer exakten klinischen Untersuchung mit entsprechender Inspektion und Palpation können Röntgenaufnahmen a.p. und seitlich sowie eine Karpaltunnelaufnahme zum Ausschluss einer Fraktur am Hamulus ossis hamati hilfreich sein. Wesentlicher für die

Diagnose einer distalen Ulnariskompression sind die Elektromyografie und die Nervenleitgeschwindigkeit, die auch zur Abgrenzung eines Sulcus-ulnaris-Syndroms im Ellenbogenbereich (▶ Kap. 6, Arm) gemessen werden sollte. Zum Nachweis eines Ganglions kann eine kernspintomografische Untersuchung indiziert sein.

Aufgrund eines sehr ähnlichen Beschwerdebildes muss differenzialdiagnostisch v.a. ein zervikaler Bandscheibenprolaps in Höhe C7/T1 ausgeschlossen werden.

Therapie

Bei exogen bedingten Beschwerden ist ein konservativer Therapieversuch mit Gabe von Antiphlogistika und Ruhigstellung auf einer Unterarmgipsschiene durchaus gerechtfertigt. Kommt es zu keiner Besserung oder schreiten die motorischen Störungen fort, ist die Indikation zur operativen Neurolyse gegeben (Gelbermann 1991).

Das Prinzip der Operation besteht in der Spaltung des Logendachs. Eine Kompressionsursache im Logenbereich kann dadurch sichergestellt und behoben werden. So werden günstige Voraussetzungen für eine Erholung der sensiblen und motorischen Ausfälle geschaffen.

Außer einer ungenügenden Diagnostik bestehen keine Einwände gegen den operativen Eingriff. Die Patienten sollen präoperativ jedoch auf die Unsicherheit des Operationserfolgs aufmerksam gemacht werden, falls intraoperativ keine organische Ursache gefunden werden kann. Eine postoperative Erholung der Sensibilität ist wahrscheinlicher als diejenige der Motorik, die natürlich abhängig von der Dauer der Lähmung ist. Weitere Gefahren bestehen in der Verletzungsmöglichkeit des N. ulnaris und seiner Äste sowie der A. ulnaris und in der Ausbildung eines Keloids.

Operationstechnik

Als Anästhesieform bevorzugen wir wie beim Karpaltunnelsyndrom den intravenösen Regionalblock. Um nach entsprechendem Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) den N. ulnaris weiter distalwärts verfolgen zu können, werden zunächst der auf ihm liegende M. palmaris brevis und dann das Logendach durchtrennt. Der R. profundus trennt sich nun vom Stamm und zweigt nach ulnopalmar in die Tiefe ab, während der R. superficialis auf der Hypothenarmuskulatur zur sensiblen Versorgung nach distal zieht. Etwa 1,5 cm weiter distal wird der R. profundus von einem muskulotendinösen Bogen überspannt, der sich aus den Mm. flexor et abductor digiti minimi zusammensetzt. Dieser wird als mögliche Kompressionsursache gespalten. Das weitere Vorgehen richtet sich nach dem Lokalbefund. Nach Einlegen einer 8er Redon-Saugdrainage erfolgt der Hautverschluss mit einzelnen Nähten.

Nachbehandlung

Postoperativ legen wir für ca. 10 Tage eine dorsale Gipsschiene an und erlauben dann eigentätige Bewegungen. Nach der Fadenentfernung am 12. postoperativen Tag ist eine zunehmende Belastung erlaubt. Eine elektromyografische Kontrolle sollte nach 3 Monaten durchgeführt werden.

Prognose

Da es sich um ein relativ selten zu operierendes Engpasssyndrom handelt und die Kompressionsursachen sehr mannigfaltig sein können, ist eine statistisch fundierte prognostische Aussage nahezu unmöglich. Eine günstigere Prognose kann sicherlich bei Vorliegen nur sensibler Ausfälle erwartet werden; schlechtere Ergebnisse liegen dann vor, wenn eine motorische Lähmung schon lange bestanden hat (Tackmann et al. 1989).

7.3 Mittelhand

7.3.1 Mittelhandfrakturen

Allgemeines

Ätiologie

Frakturen der Metakarpalia entstehen durch Sturz oder starke Anpralltraumen.

Diagnostik

Die umgebende Handbinnenmuskulatur wird mitbeteiligt, was schnell zu starker Hämatombildung und ausgedehnten Schwellungszuständen führen kann. Vor allem Rotationsfehler mit Überkreuzen der Finger sind zu beachten. Deshalb soll der Patient trotz Verletzung aufgefordert werden, die Faust so weit wie möglich zu schließen. Zeigen dann die Langfinger nicht auf das Skaphoid oder befinden sich die Nagelränder nicht in einer Linie, liegt – nach Seitenvergleich mit der gesunden Seite – ein Rotationsfehler vor.

Für das weitere Vorgehen ist die Beurteilung der Röntgenaufnahmen der Hand in 2 Ebenen notwendig. Hilfreich ist es, bei der Diagnostik eine weitere Schrägaufnahme anzufertigen, da durch die Überlagerung der benachbarten Metakarpalia die Beurteilung der Achsenabweichung insbesondere in palmarer Richtung erschwert ist. So sollte bei der Darstellung des 2. und 3. Metakarpale die Schrägaufnahme in 45°-Pronationsstellung und bei der Darstellung des 4. und 5. Metakarpale die Schrägaufnahme in 45°-Supinationsstellung angefertigt werden (Schaefer u. Siebert 2000).

Zum Nachweis von Metakarpophalangealgelenkfrakturen oder auch Metakarpale-IV/V-Basisfrakturen kann zusätzlich die weniger verbreitete Einstelltechnik nach Brewerton (Kaye u. Lister 1978) verwendet werden. Dabei werden die in etwa 65° gebeugten Metakarpophalangealgelenke der Langfinger dorsalseitig auf die Kassette gelegt. Der Daumen muss abgespreizt werden. Das Röntgengerät wird um 15° nach ulnar gekippt (◘ Abb. 7.30).

Auf die CT und die MRT kann bei der Diagnostik von Mittelhandfrakturen in der Regel verzichtet werden. Lediglich bei Luxationsfrakturen im Karpometakarpalgelenkbereich oder komplexen Basisfrakturen der Metakarpalia kann der Einsatz einer CT erforderlich werden.

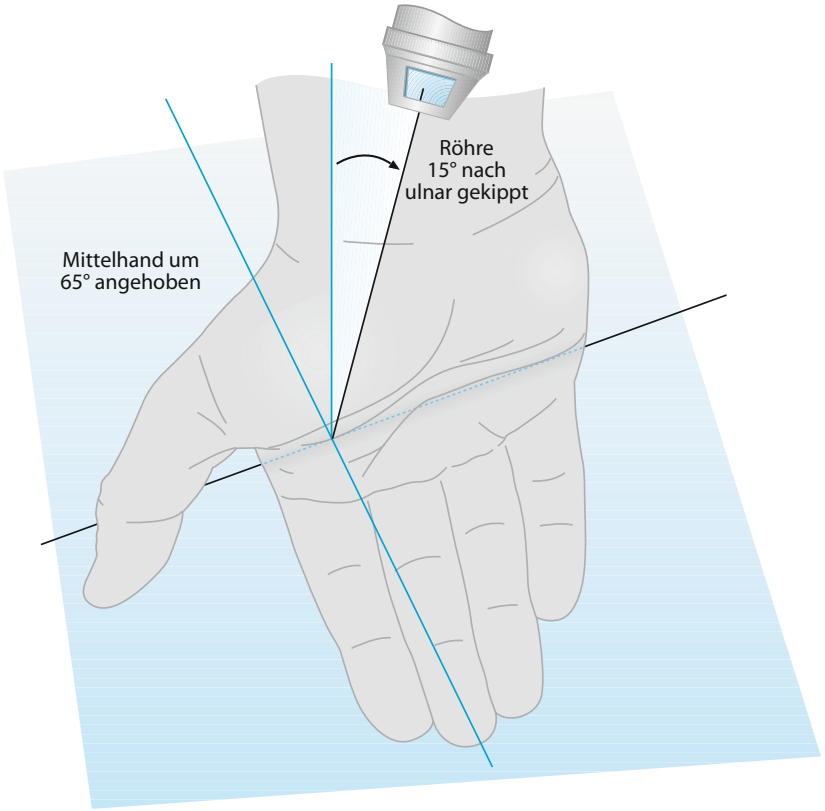
Klassifikation

Eine Einteilung der Frakturen bietet sich nach ihrer Lokalisation an. Am häufigsten entstehen Metakarpalköpfchenfrakturen und subkapitale Frakturen. Schaftfrakturen können als Schrägfraktur oder Torsionsfraktur auftreten. Häufig entsteht ein drittes Fragment als schalenförmige Aussprengung, was bei der Reposition beachtet werden sollte. Seltener sind Basisfrakturen aufgrund der stabilen benachbarten Bandverbindungen.

Konservative Therapie

Trotz Weiterentwicklung der Osteosyntheseverfahren an der Hand kann die Mehrzahl der Metakarpalfrakturen konservativ behandelt werden. Die Therapie besteht in einer maximal 4-wöchigen Gipsruhigstellung in Intrinsic-plus-Stellung (◘ Abb. 7.1). Bei gering dislozierten Schaftfrakturen ist auch eine funktionelle Behandlung mit einer Mittelhandorthese und früher Mobilisation möglich.

Bei Frakturen der ulnaren Mittelhandknochen kann die Schiene den betroffenen Strahl mit dem Nachbarfinger dorsal und palmar umschließen. Wichtig ist dabei die Beugung im Grundgelenk, die zum Erhalt der Spannung der Kollateralbänder sowie zur Aufrichtung der Fraktur notwendig ist.



a Aufnahmetechnik nach Brewerton

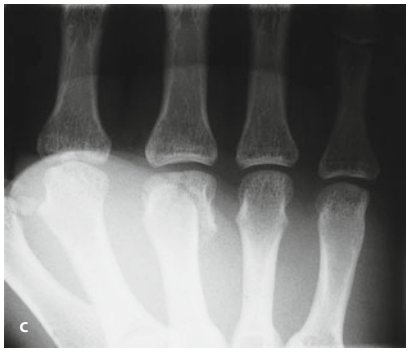


Abb. 7.30a–e **a** Aufnahmetechnik nach Brewerton. **b** Köpfchenfraktur Metakarpale III bei einem 23-jährigen Boxer; normale Aufnahme. **c** Aufnahmetechnik nach Brewerton. **d,e** Postoperatives Ergebnis

Reposition

Kommt es durch die Anlage einer Gipsschiene in Intrinsic-plus-Stellung nicht zur selbstständigen Reposition der Fraktur, sollte in Lokalanästhesie oder leichter Sedierung nachreponiert werden. Dabei müssen durch axialen Zug knöcherne Verkantungen gelöst werden. Zur Reposition bei palmarer Abknickung von Köpfchenfrakturen kommt das Jahss-Manöver (Jahss 1983) zur Anwendung (◘ Abb. 7.31).

Nach zunächst axialem Zug am Finger und manueller Reposition der Fraktur wird der betroffene Finger in sämtlichen Gelenken maximal gebeugt und so durch das Endglied das Metakarpalköpfchen nach dorsal gedrückt und dadurch reponiert. Liegt eine Trümmerfraktur vor, gelingt dies jedoch nur schwer. Unter Bildwandlerkontrolle wird dann das Repositionsergebnis vor und nach Anlage einer Gipsschiene kontrolliert.

Bei der abschließenden Beurteilung können nach gängiger Lehrmeinung Achsendislokationen bis 10°, Verkürzungen bis 0,5 cm und eine palmare Abwinklung bis 30° folgenlos toleriert werden.

Operative Therapie

Indikation

Der Zug der Handbinnenmuskulatur wirkt der Reposition entgegen und kippt das Mittelhandköpfchen nach palmar. In der Literatur wird die Operationsindikation bei Köpfchenfrakturen unterschiedlich beurteilt. Die Angaben schwanken zwischen 20 und 70° palmarer Abkippung, die toleriert werden. Grundsätzlich sollte jedoch eine anatomische Rekonstruktion angestrebt werden, da neben dem kosmetischen Aspekt mit einem posttraumatischen Einsinken der Fingerknöchel auch Schmerzen beim kraftvollen Faustschluss eine Rolle spielen können.

Folgende Mittelhandfrakturtypen sollten einer operativen Therapie zugeführt werden (Schaefer u. Siebert 2000):

- Verkürzung >5 mm,
- Serienfrakturen,
- dorsale Abwinklung >30°,
- Mehretagenfrakturen,
- dislozierte Schräg- und Spiralfrakturen,
- offene Frakturen,
- Rotationsfehler >10°,
- Frakturen mit zusätzlichem Weichteilschaden,
- Defektfrakturen,
- subkapitale Frakturen mit einer palmaren Abkippung der Metakarpalia II/III von mehr als 25° und der Metakarpalia IV/V von mehr als 50° und
- Metakarpale-V-Basisfrakturen (so genannte Pseudo-Bennett-Frakturen).

An Osteosyntheseverfahren werden v.a. die intrafragmentäre Verschraubung, die Plattenosteosynthese, die intramedulläre K-Draht-Schienung und bei ausgeprägten Trümmerfrakturen zum Längenerhalt des Knochens der Minifixateur externe, ggf. kombiniert mit einer Spongiosaplastik oder einem Beckenkammspaninterponat verwendet. Die herkömmliche K-Draht-Spickung über die Metakarpalköpfchen ist nicht empfehlenswert, da die Grundgelenke nur noch eingeschränkt beübt werden können und häufig ausgeprägte Verklebungen im Bereich der Streckerhaube an den Grundgelenken die Folge sind.

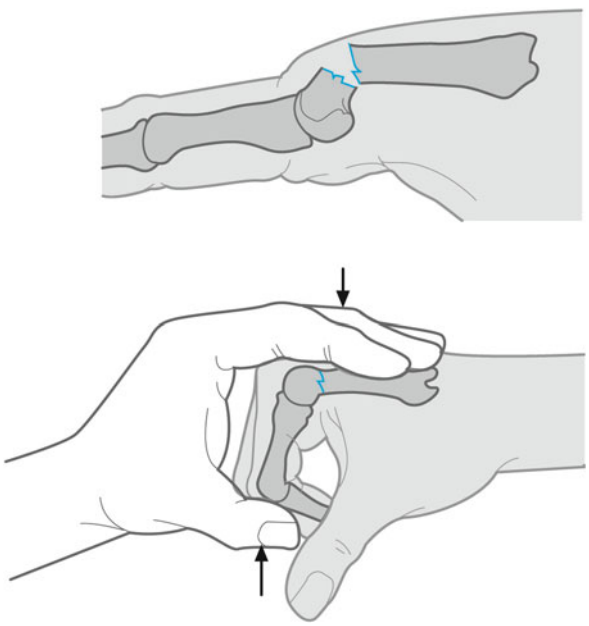


Abb. 7.31 Jahss-Manöver bei einer subkapitalen Metalkarpalfraktur. (Aus: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Abb. 7.32 Beispiel einer Schräg-/Spiralfraktur am MC 3 und 4 der linken Hand, jeweils versorgt mit Zugschrauben

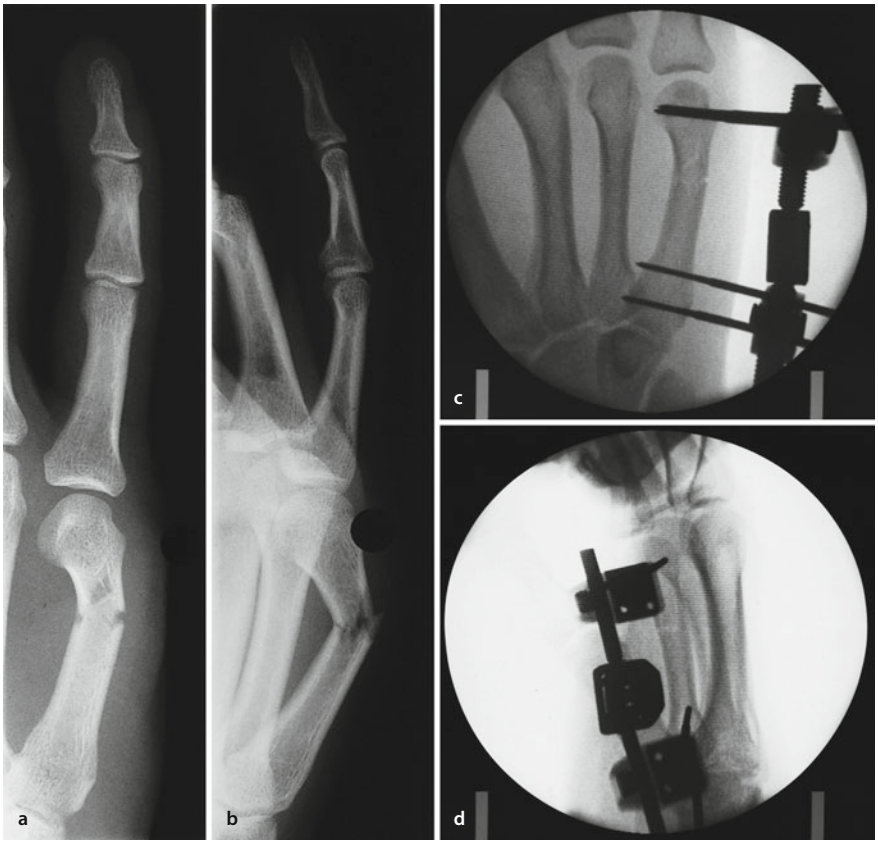


Abb. 7.33a–d Beispiel einer zweitgradig offenen MC5-Schaftquerfraktur der rechten Hand, versorgt mit einem Minifixateur externe (Orthofix)

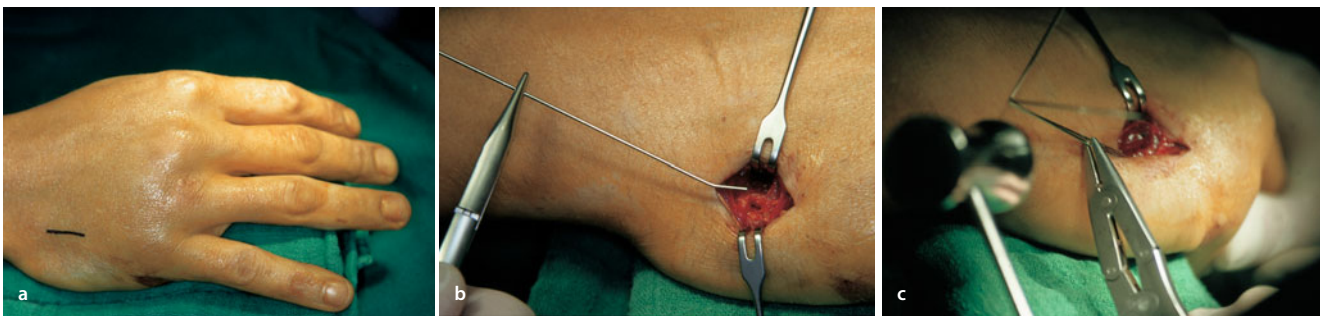


Abb. 7.34a–c Intraoperatives Vorgehen bei intramedullärer K-Draht-Schienung

Operationstechnik

Grundsätzlich erfolgt der Zugang bei Metakarpalfrakturen von dorsal über einen Längsschnitt. Am 4. und 5. Strahl muss der Verlauf des R. dorsalis n. ulnaris, am 2. und 3. Strahl die Endäste des R. superficialis n. radialis beachtet werden. Nach Darstellung der Strecksehnen und möglichst auch Schonung der Connexus intertendinei kann die Fraktur offen reponiert werden. Die Anwendung von so genannten Hirschkäfer- oder Termitenzangen kann zur Erhaltung der Reposition hilfreich sein.

Bei basisnahen Frakturen und queren Schaftfrakturen verwenden wir bevorzugt T-Platten und Mini-H-Platten der Größe 1,5–2,0 mm. Sind mehrere Fragmente vorhanden, sind zusätzliche Zugschrauben sinnvoll. Spiralfrakturen werden durch eine Minimalosteosynthese mit 3–4 Zugschrauben sicher fixiert, wenn dem Frakturverlauf entsprechend die Schrauben senkrecht dazu versetzt eingebracht werden (Abb. 7.32).

K-Draht-Osteosynthesen können bei basisnahen Frakturen eingesetzt werden. Zur besseren Frakturstabilisierung wird dann meist die benachbarte Metakarpalbasis mitgefasst. Drahtzuggurtungen finden im Schaftbereich nur in Ausnahmefällen Anwendung.

Gute Erfahrungen wurden mit der intramedullären K-Draht-Schienung, v.a. bei peripheren Quer- und kurzen Schrägfrakturen des 5. Mittelhandknochens, vornehmlich subkapital gemacht (Müller u. Schauwecker 1996, Schaefer u. Siebert 2000) (Abb. 7.34, Abb. 7.35). Sie ist vergleichsweise einfach, sicher und kostengünstig. Dabei werden unter Bildwandlerkontrolle nach einem etwa 1,5 cm langen Hautschnitt dorsoulnarseitig in Höhe der entsprechenden Metakarpalbasis mit einem kleinen Pfriem die Kortikalis durchbohrt und der Markraum eröffnet. Mehrere 1,0 mm dicke oder ein einzelner 1,4 mm dicker K-Draht werden am stumpfen Ende ca. 1 cm vor seinem Ende um etwa 20° umgebogen und

anschließend mit Hilfe leichter Rotationsbewegungen oder durch vorsichtige Hammerschläge bis zur Fraktur vorgetrieben. Unter Bildwandlerkontrolle wird die Fraktur nach Jahss (1983) reponiert und der Draht mit der gebogenen Spitze nach palmar möglichst subchondral in das Metakarpalköpfchen vorgeschoben, wobei einer neuerlichen Fragmentdislokation durch Gegendruck entgegengewirkt werden muss. Am Ende wird der Draht zur Sicherung der elastischen Dreipunktverklemmung um 180° gedreht. Nach nochmaliger Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen zum Ausschluss eines Rotationsfehlers werden die Drähte bzw. der Draht außerhalb der Basiskortikalis abgezwickt. Das Drahtende soll nicht umgebogen werden. Nach Hautnaht erfolgt die Anlage einer palmaren Unterarmgipsschiene für etwa eine Woche. Nach 4 Wochen darf die Hand wieder belastet werden. Nach 8 Wochen wird das Implantat in Lokalanästhesie entfernt. Röntgenkontrollen werden postoperativ, nach 7 Tagen, nach 4 Wochen und vor der Metallentfernung durchgeführt.

In einer Nachuntersuchung haben Larkin et al. (1997) bei 32 Patienten mit 35 Frakturen durchweg gute postoperative Ergebnisse gefunden. Lediglich in 3 Fällen fanden sich Komplikationen wie Drahtwanderung oder Dislokation der Fraktur. Dystrophe Reaktionen oder Pseudarthrosen wurden nicht gesehen.

Das beschriebene Verfahren sollte bei einer subkapitalen Trümmerzone jedoch nicht angewendet werden, da es zum Verhaken der K-Draht-Enden in den Frakturanteilen und somit zur weiteren Öffnung der Fraktur kommen kann.

Bei instabilen Trümmerfrakturen bietet die offene Osteosynthese keinen Vorteil. Hier ist der geschlossenen Reposition und der Anbringung eines Minifixateur externe der Vorzug zu geben (◘ Abb. 7.33). Dieser wird durch 2 konvergierende oder parallel verlaufende Pins proximal und distal der Fraktur möglichst nicht gelenküberbrückend angebracht und nach Reposition unter Bildwandlerkontrolle fixiert.

◘ **Abb. 7.35a–d** Prä- und postoperative Röntgenbilder einer subkapitalen MC5-Fraktur, versorgt mit intramedullärer K-Draht-Schienung

Nachbehandlung

Da bei konservativer Behandlung häufig Probleme durch Kontrakturen der Grundgelenke auftreten, ist eine Mobilisierung so früh wie möglich notwendig. Im Regelfall zeigt die Knochenheilung nach 3 Wochen ausreichende Stabilität, sodass zu diesem Zeitpunkt mit der Mobilisierung begonnen werden kann. Eine Immobilisation länger als 3–4 Wochen sollte vermieden werden (Prokop et al. 1999).

Postoperativ sollte eine palmare Lagerungsschiene in Intrinsicplus-Stellung angebracht werden. Konnte eine übungsstabile Osteosynthese erreicht werden, genügt eine Ruhigstellungsdauer von 5–7 Tagen. Anschließend kann funktionell evtl. mit einer Schutzschiene nachbehandelt werden. Bei zusätzlichem Weichteilschaden sind engmaschige Verbandswechsel zur Kontrolle der Hautdurchblutung notwendig. Da häufig Probleme mit Kontrakturen der Grundgelenke auftreten, ist zur Wiedererlangung der vollen Beweglichkeit eine krankengymnastische Übungsbehandlung in den meisten Fällen erforderlich.

Komplikationen und Prognose

Metakarpalfrakturen zeigen nach 3–4 Wochen einen knöchern festen Durchbau. In seltenen Fällen entwickelt sich eine Pseudarthrose, die die Ausräumung derselben, eine Osteosynthese unter Kompression und das Einbringen eines Beckenkammspans notwendig macht. Rotationsfehlstellungen, die bei der konservativen Therapie übersehen wurden, sollten möglichst rasch osteotomiert und derotiert werden (◘ Abb. 7.36).

Operationstechnik der Korrekturosteotomie bei Rotationsfehlstellungen

Zunächst müssen durch eine exakte präoperative Diagnostik eine Einteilung in Achsendeviationen, reine Rotationsfehlstellungen, palmare oder dorsale Abkippungen und kombinierte Fehlstellungen vorgenommen und das operative Vorgehen geplant werden. Die Korrektur der Fehlstellung empfiehlt sich in Höhe der Läsion, da auf diese Weise am sichersten eine anatomische Rekonstruktion ohne Veränderung der Gelenkstellung erreicht werden kann.

Bei Achsenfehlstellungen erfolgt die Korrektur durch keilförmige Resektion als zuklappende oder bei gewünschtem Längengewinn als aufklappende Osteotomie mit Einbringung eines adaptierten Beckenkammspans. Zur Fixierung der Korrektur eignen sich gekreuzte K-Drähte, mit denen auch das Interponat gefasst werden kann. Besteht eine dorsale oder palmare Abkippung, kann ebenfalls keilförmig exzidiert und das Ergebnis am besten durch eine Plattenosteosynthese fixiert werden. Bei Rotationsfehlstellungen werden vor der Osteotomie K-Drähte V-förmig entsprechend der zu korrigierenden Drehung eingebracht und diese nach Osteotomie parallel angelegt. Dadurch lässt sich mit den K-Drähten, die man als »Joystick« nutzen kann, die Rotation exakt einstellen. Mini-H-Platten haben sich sehr bewährt, da sie eine ausreichende Stabilisierung und Kompression auch bei unvollständiger Belegung aller Fixierungspunkte ermöglichen.

Pechlaner et al. (1998) empfehlen bei Rotationsfehlstellungen nach Frakturen der Metakarpalia und der Grundphalangen eine Derotationsosteotomie durch eine Z-förmige Osteotomie der Mittelhandknochen. Dabei erfolgt die Derotation durch Drehung am Metakarpale mit sich selbst und die Fixierung durch Zugschrauben oder Drahtcerclagen.

Metakarpale-I-Frakturen

Ätiologie und Klassifikation

Den Frakturen des 1. Mittelhandstrahls kommt aufgrund der großen Beweglichkeit im Daumensattelgelenk eine ganz besondere

Bedeutung zu. Die bekannteste Basisfraktur stellt der **Bennett**-Verrenkungsbruch mit etwa 1,4–2,2% aller Handfrakturen dar. Er entsteht meist durch ein axiales Stauchungstrauma auf den Daumen. Dabei kommt es zu einer unterschiedlich großen Beteiligung der Gelenkfläche: ein ulnopalmares Fragment aus der Metakarpale-I-Basis wird durch das kräftige Ligamentum trapeziometacarpale am Os trapezium gehalten, während der Metakarpale-I-Schaft durch den Zug der Thenarmuskulatur nach radial und durch den Zug des M. abductor pollicis longus nach proximal dorsal subluxiert.

Die **Rolando**-Fraktur ist durch eine Y- oder T-förmige Mehrfragmentfraktur durch die Metakarpale-I-Basis gekennzeichnet, wobei auch hier die Größe der Fragmente variieren kann. Sie kommt bei 9% aller Frakturen des Mittelhandknochens vor.

Bei der **Winterstein**-Fraktur liegt ein extraartikulärer Querbruch der Metakarpale-I-Basis ohne direkte Gelenkbeteiligung vor. Durch den Zug der Thenarmuskulatur kommt es zu einer Angulation mit Adduktion und Flexion des distalen Fragments. Unbehandelt führen diese Frakturen durch ihre Dislokation zu einer Arthrose des Daumensattelgelenks, die meist erst nach Jahren klinisch manifest wird.

Abb. 7.36 Rotationsfehler bei einer in Fehlstellung ausgeheilten MC 4-Fraktur

Klinik

Neben den üblichen Frakturzeichen findet sich eine deutliche dorsalseitige Weichteilschwellung mit schmerzhafter Bewegungseinschränkung im Daumensattelgelenk bzw. der gesamten Hand.

Diagnostik

Eine Röntgenaufnahme des Daumenstrahls in 2 Ebenen reicht in der Regel zum Erkennen des Ausmaßes der Fraktur aus. Manchmal misslingt gerade bei frisch Verletzten die palmodorsale Röntgenaufnahme in Hyperpronation. Bisweilen wird bei Verdacht auf eine Bennett- oder Rolando-Fraktur die Trapeziumspezialaufnahme nach Kapandji angefertigt. Dabei werden die Langfinger samt Mittelhand mit einem Keil unterpolstert und der abduzierte Daumen streng seitlich auf der Kassette gelagert (Schmitt u. Lanz 1996). Eine CT-Diagnostik ist nur bei komplexen Luxationsfrakturen der Basis angezeigt, während eine MRT-Untersuchung generell nicht erforderlich ist.

Konservative Therapie

Prinzipiell ist bei der Bennett- und Rolando-Fraktur eine geschlossene Reposition möglich, aber aufgrund der kräftigen Bandverbindung in der Regel nicht zu halten; trotz korrekter Reposition bleibt die Fraktur instabil. Folglich kann nur in den seltensten Fällen, wenn z.B. bei multimorbiden Patienten erforderlich, konservativ behandelt werden. Denn dies bedeutet, eine nicht exakte anatomische Stellung zu tolerieren. Die Ruhigstellung erfolgt in einer radialen Unterarmgipsschiene mit Daumeneinschluss. Sie wird nach Reposition unter axialem Zug am Daumen und Druck von radial gegen die Metakarpale-I-Basis angebracht.

Operative Therapie

Zur operativen Therapie der Metakarpale-I-Basisfrakturen werden in der Literatur (Hülsbergen-Krüger et al. 1994) die verschiedensten Verfahren angegeben. Gelingt eine geschlossene Reposition, werden die entsprechenden Fragmente unter Bildwandlerkontrolle mit ein bis zwei 1,0–1,2 mm dicken K-Drähten perkutan fixiert, welche von radial eingebracht werden. Zur Sicherung gegen eine erneute Subluxation wird zusätzlich ein jetzt etwas stärkerer K-Draht (1,2–1,4 mm) zur temporären Fixation vom Metakarpale-I-Schaft entweder über das Daumensattelgelenk in das Os trapezium oder weiter distal in den 2. Mittelhandknochen gebohrt (Abb. 7.37).

Eine exakte Reposition gelingt geschlossen aber nur in den wenigsten Fällen, weshalb meistens offen vorgegangen werden muss. Auch hinsichtlich des Zugangs herrscht keine einheitliche Meinung. Durch den modifizierten Zugang (▶ Kap. 21, Standardzu-

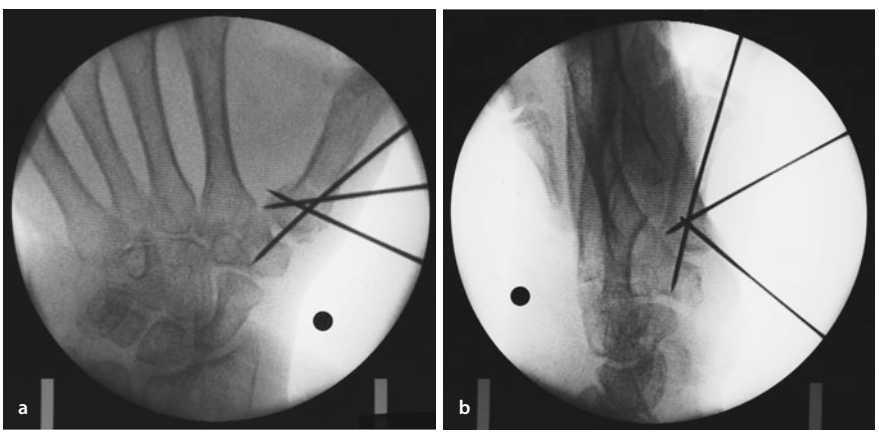


Abb. 7.37a,b Operative Versorgung einer erstgradig offenen Bennett-Fraktur bei einer 64-jährigen Chorea-Huntington-Patientin

gänge) wird die so genannte Bennett-Ecke besser eingesehen und die Reposition erleichtert. Nach Schonung des subkutanen radialen Nervenasts wird die Muskulatur am Metakarpale I abgeschoben und das Gelenk eröffnet. Es erfolgt nun die Gelenkrevision mit Darstellung des ulnaren palmaren Fragments. Meist ist die Reposition mit Hilfe von Zahnarzthaken oder Elevatorien notwendig. Durch die Entwicklung neuer Zielgeräte konnte sie jedoch vereinfacht werden, weil sich mit deren Hilfe die reponierten Fragmente bis zur definitiven Stabilisierung retinieren lassen. Nach Bohren eines Gleitlochs durch das Schaftfragment wird das Gewindeloch im ulnopalmaren Fragment für die entsprechende Kompression geschaffen. Anschließend wird eine 2,0 mm dicke Zugschraube eingedreht. Zur Sicherung des Fragments gegen Rotation wird der zu Anfang eingebrachte K-Draht belassen.

Bei der Rolando-Fraktur werden die einzelnen Fragmente über den oben beschriebenen Zugang reponiert und mit einer Minikondylenplatte oder einer kleinen T-Platte (2,0 mm) am Schaft fixiert. Bei offenen Verletzungen mit entsprechender Weichteilläsion oder ausgeprägter Trümmerbildung besteht die Indikation für einen gelenküberbrückenden Minifixateur externe, ggf. kombiniert mit K-Drähten. Dabei werden 2 Pins parallel distal der Fraktur in den Metakarpale-I-Schaft und 2 weitere Pins konvergierend in das Os trapezium eingebohrt, anschließend die Länge wieder hergestellt und der Fixateur externe definitiv festgezogen. Größere Knochendefekte müssen mit Spongiosa aus dem distalen Radius aufgefüllt werden.

Winterstein-Frakturen werden in aller Regel mit einem 2,0er T-Plättchen versorgt (◘ Abb. 7.38).

Nachbehandlung

Postoperativ wird eine radiale Daumen-Unterarm-Gipsschiene ohne Einschluss des Interphalangealgelenks angelegt. Diese verbleibt bei perkutaner K-Draht-Fixation bis zu 6 Wochen. Liegt eine übungsstabile Schraubenosteosynthese vor, kann nach sicherer Wundheilung funktionell nachbehandelt werden.

Aufgrund der Muskelzugkräfte empfiehlt sich nach K-Draht-Osteosynthese zumindest in den ersten beiden postoperativen Wochen eine wöchentliche Röntgenkontrolle. Nach Frakturkonsolidierung werden die K-Drähte in Lokalanästhesie entfernt und krankengymnastische Übungsbehandlungen rezeptiert. Dabei sollen vor allem Übungen der Daumenab-, -ad- und -opposition durchgeführt werden.

Komplikationen und Prognose

Bei offener Reposition droht die Gefahr, einen Radialisast oder den R. palmaris n. mediani zu verletzen. Dann ist eine sofortige mikrochirurgische Nervenkoaptation angezeigt. Auch eine verletzte A. radialis sollte v.a. bei jungen Patienten genäht werden. Beim Bohren oder Eindrehen der Schraube kann, falls das Fragment sehr klein ist, das ulnopalmare Fragment brechen. In diesem Fall müssen die einzelnen Fragmente mit einem Cerclagendraht gefasst werden.

Falls es nicht gelingt, die Gelenkfläche zu rekonstruieren, ist eine frühe Arthrose zu erwarten. Bartelmann et al. (2000) konnten durch das spätere Auftreten einer symptomatischen Arthrose zeigen, dass das operative Verfahren dem konservativen Vorgehen auf jeden Fall überlegen ist. Die Studie von Demir et al. (2006) ergab jedoch keine Korrelation zwischen Repositionsergebnis und dem radiologischen Rizarthrosegrad bzw. den Patientenbeschwerden.

7.3.2 Kompartment-Syndrom der Hand

Ätiologie

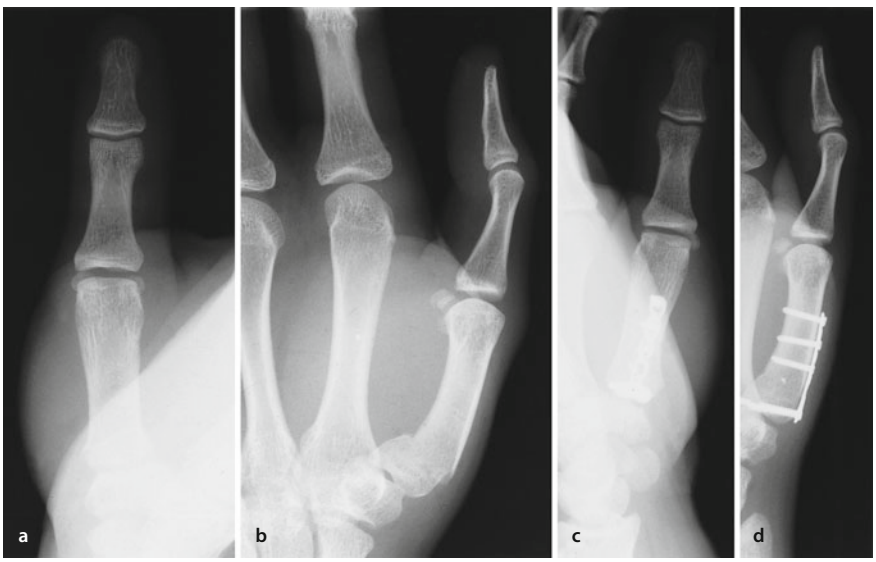
Definition, Pathophysiologie und Ätiologie des Kompartment-Syndroms sind im ▶ Kap. 17, Komplikationen, abgehandelt. In seltenen Fällen können die intrinsische Handmuskulatur und im Extremfall auch die Finger betroffen sein.

Klinik

Die Symptomatik unterscheidet sich nicht von der an anderen Lokalisationen. Meist zeigt sich neben der diffusen Schwellung und dem lokalen Druckschmerz eine Minderdurchblutung. Häufig bestehen Sensibilitätsstörungen. Leitsymptom ist jedoch der lokale Schmerz in Verbindung mit dem Tastbefund einer verstärkten Resistenz. Im Fingerbereich sind Durchblutungsstörungen unsichere Anzeichen eines Kompartment-Syndroms und können auch vollständig fehlen.

Diagnostik

Bei bewusstlosen oder polytraumatisierten Patienten wird eine direkte Kompartmentdruckmessung im Bereich der Mm. interossei oder im Thenar- und Hypothenarbereich der Hand durchgeführt. Werte zwischen 30 und 40 mmHg sind alarmierend. Bei Hypovolä-



◘ **Abb. 7.38a–d** Operative Versorgung einer Winterstein-Fraktur mit einer 2,0er T-Platte

mie oder niedrigem Blutdruck kann sich ein Kompartment-Syndrom allerdings auch schon bei niedrigeren Werten manifestieren (▶ Kap. 17, Komplikationen).

Konservative Therapie

Die Hochlagerung der betroffenen Extremität, ihre Kühlung sowie Medikamente zur Abschwellung können bei klinisch wenig ausgeprägtem Bild versucht werden. Bei drohendem Kompartment ist allerdings die Flachlagerung angezeigt, weil der arteriovenöse Druckgradient bei Hochlagerung einer Extremität abfällt und damit der drohenden Minderfusion der Muskelloge Vorschub leistet. Im Zweifelsfall müssen aber die konservativen Ansätze frühzeitig abgebrochen und alle betroffenen Logen gespalten werden.

Operative Therapie

Indikation

Es besteht in der Literatur allgemeine Übereinstimmung, dass nur eine rechtzeitige Druckentlastung die zunehmende Muskelischämie behebt und die größte Chance auf vollständige Wiederherstellung bietet. Daher müssen nicht erst zunehmende Schmerzen und erhöhte Messwerte abgewartet werden. Aufgrund der zunehmenden Ischämie besteht eine Notfallindikation, die eine sofortige Operation erfordert, also ohne jegliche Zeitverzögerung, z.B. durch das Abwarten der Nüchternheitsgrenze.

Operationstechnik

Die ausgedehnte Fasziotomie ist die Methode der Wahl. Die zusätzliche Epimysiotomie der Muskelbäuche scheint keinen weiteren Vorteil zu bringen. In den seltensten Fällen müssen auch die Finger entlastet werden. Hierzu werden an der nichtdominanten Fingerseite mediolaterale Inzisionen gelegt und unter Schonung der palmar gelegenen Gefäß-Nerven-Bündel die fasziokutanen Fingerbänder durchtrennt.

Im Bereich der dorsalen Hand müssen zwischen den Strecksehnen alle Faszien der Interosseusmuskulatur gespalten werden. Dazu werden nach Darstellung der Strecksehnen die Faszien der Mm. interossei über 2 longitudinale Hautinzisionen über dem 2. und 4. Mittelhandknochen durchtrennt. Das langstreckige Freilegen von Nerv und Arterie sollte vermieden werden. Palmar wird entweder durch einen zickzackförmig oder ulnopalmar bogenförmig verlaufenden Hautschnitt im Handgelenkbereich der N. medianus im Karpalkanal und das ulnare Gefäß-Nerven-Bündel in der Guyon-Loge dekomprimiert. Zusätzlich wird das Thenar- und Hypothenarkompartment durch eine gesonderte Längsinzision entlang der radialen Seite des 1. Metakarpale und der Ulnarseite des 5. Metakarpale entlastet.

Die Wunden werden in der Regel offen gelassen, aber mit Kunsthaut abgedeckt, und nach Abschwellung wird 2–3 Tage später in weiteren Sitzungen eine Sekundärnaht angestrebt (■ Abb. 7.39).

Nachbehandlung

Um Muskelnekrosen und die Notwendigkeit von weiteren Débridements zu erfassen, muss eine regelmäßige Kontrolle des Befundes erfolgen, am besten 2-mal täglich. Eine zu frühe vollständige Mobilisierung kann den Heilungsprozess verzögern. Wir empfehlen daher bereits ab dem 1. postoperativen Tag passive Bewegungsübungen und aktive nach 1 Woche.

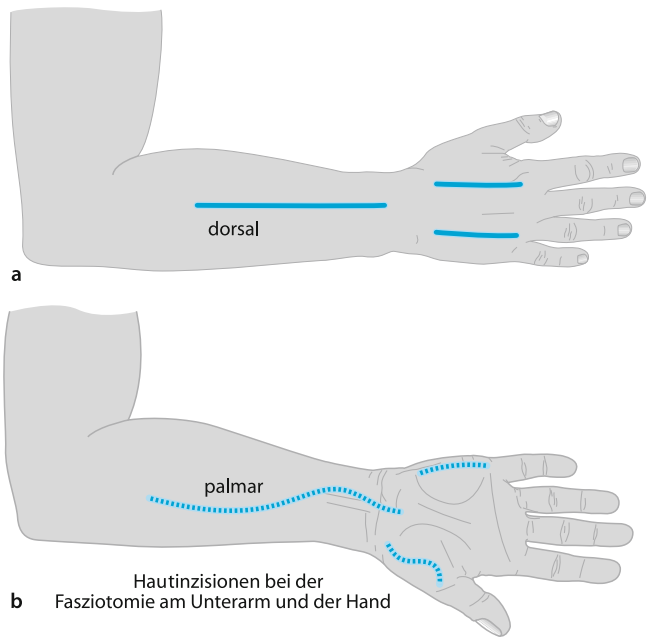
Komplikationen und Prognose

Je frühzeitiger die Fasziotomie stattfindet, desto besser ist die Prognose. Funktionsdefizite durch Muskelnekrosen erfordern neben einer langwierigen Physiotherapie manchmal Muskeltransfers. Durch Fibrosierung können auch Spätdefekte auftreten. Bei einer Kombination von Ischämie der Nerven und Druckschädigung ist eine mehrmonatige Erholungsphase nicht ungewöhnlich.

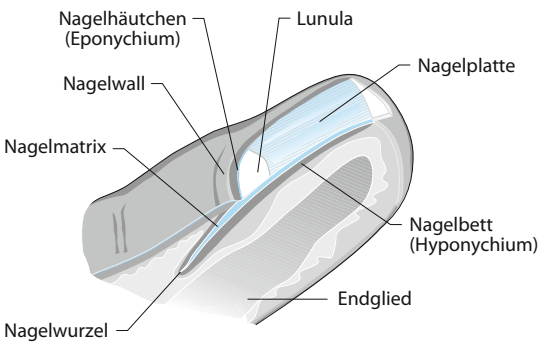
7.4 Finger

7.4.1 Verletzungen des Nagels

Die Fingernagelverletzung gehört wegen der exponierten Lage des Nagels zu den häufigsten Verletzungen an der Hand. Sie darf nicht bagatellisiert werden. Vielmehr bedarf sie einer korrekten handchirurgischen Sofortversorgung, um sekundären Veränderungen des Fingernagels und des Nagelbetts vorzubeugen. Neben seiner kosmetischen Rolle schützt der Fingernagel das Endglied und ist das Widerlager der tastenden Fingerkuppe. Um die Behandlung eines traumatisierten Nagels korrekt durchführen zu können, ist die Grundkenntnis der anatomischen Struktur unerlässlich (■ Abb. 7.40).



■ **Abb. 7.39a,b** Hautinzisionen bei der Fasziotomie am Unterarm und der Hand. **a** Von dorsal. **b** Von palmar



■ **Abb. 7.40** Anatomischer Aufbau des Fingernagels

Ätiologie und Klinik

Am häufigsten sind Quetschverletzungen, hervorgerufen durch zuschlagende Türen oder Werkzeugschläge. Wegen der guten Gefäßversorgung des Nagelkomplexes entsteht nach stattgehabter Gewalteinwirkung rasch ein subunguales Hämatom, das zu einem starken, pochenden Schmerz führen kann. Bei größerer Gewalteinwirkung auf das Endglied kann der Nagel luxieren und der Nagelkranz frakturieren.

Diagnostik

Bei Quetschtraumen des Fingerendgliedes lässt sich eine Blickdiagnose stellen. Auf jeden Fall ist die Sensibilität sowie die Beug- und Streckbarkeit des Fingers zu überprüfen. Zur Verifizierung einer knöchernen Beteiligung sollte eine Standardröntgendiagnostik durchgeführt werden.

Therapie

Ziel der Behandlung sind die Schmerzbeseitigung und die Rekonstruktion des Nagelbetts, ggf. mit Refixation des Nagels. Lediglich bei ganz einfachen Verletzungen kann ein auf den Nagel aufgeklebtes Klammerpflaster eine ausreichende Kompression am Nagelbett erzeugen. In der Regel ist jedoch eine Naht in Oberst-Leitungsanästhesie erforderlich. Die Lagerung und Abdeckung entspricht dem handchirurgischen Standard einschließlich der Benutzung einer Lupenbrille. Als Nahtmaterial verwendet man resorbierbare Vicrylfäden der Stärke 6/0 oder 7/0.

Der Patient muss unbedingt auf mögliche sekundäre Nageldeformitäten aufmerksam gemacht werden. Außerdem kann das Endglied aufgrund des erforderlichen Débridements verkürzt werden.

Subunguales Hämatom

Die Therapie der Wahl beim subungualen Hämatom besteht in der Trepanation des Nagels. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass nur ein geringer Teil der Nageloberfläche betroffen ist. Mit einer Kanüle oder einer heißen aufgebogenen Büroklammer wird der Nagel an 2 Stellen distal der Lunula perforiert, sodass sich das Hämatom entleeren kann.

Nagelbettverletzung

Nagelbettverletzungen müssen exakt rekonstruiert werden, v.a. am Nagelwall und an der Nagelwurzel. Gegebenenfalls muss der Nagel vollständig vom Nagelbett aufgehoben werden. Dies geschieht mit einem kleinen Elevatorium. Nach Naht des Nagelbetts wird der Nagel im proximalen Bereich zugeschnitten und wieder aufgelegt, um als Nagelbettschienung zu fungieren. Die Fixation erfolgt mit durchgreifenden U-Nähten, die sowohl proximal am Nagelwall als auch distal quer über dem Nagel verlaufen, um eine ausreichende Kompression auf das Bett auszuüben.

Bei Verlust des Nagels empfiehlt sich die Implantation eines künstlichen Nagels, eines Silasticblatts oder eines zurechtgeschnittenen Anteils aus einer sterilen Einmalspritze. Damit die Nagelränder nicht verkleben, werden sie mit Salbengaze unterfüttert. Hautdefekte des Nagelwalls werden mit lokalen Transpositionslappen (s. unten) gedeckt, um einer Wachstumsstörung vorzubeugen. Der Hebedefekt wird mit einem Vollhauttransplantat verschlossen.

Nachbehandlung

Postoperativ wird für ca. 10 Tage eine palmare Alufingerschiene angewickelt. Die Nähte zur Fingernagelrefixation verbleiben etwa 3 Wochen. Gazeverbände müssen regelmäßig bis zum neuen Nagelwachstum gewechselt werden. Eine nochmalige Röntgenkontrolle bei Knochenbeteiligung ist in der Regel nicht erforderlich.

Komplikationen

Die häufigsten Komplikationen nach Nagelverletzungen stellen die Infektion, die Nachblutung, die Ausbildung einer Nekrose sowie Nageldeformitäten wie Krallen- und Spaltnägel dar. Gerade die Korrektur letztgenannter, sekundär veränderter Fingernägel ist schwierig und oft nur bedingt möglich.

Konservative Therapie von Fingerkuppendefekten

Zunehmender Anwendung erfreut sich die konservative Behandlung von Fingerkuppendefekten, auch mit freiliegendem Knochen, mit einem semiokklusiven Folienverband, welche auf Mennen u. Wiese von 1993 zurückgeht. Die Methode ist einfach, kostengünstig und die Ergebnisse sind hinsichtlich des Aussehens der Fingerkuppe und ihrer Sensibilität hervorragend.

Bevor der Verband angelegt wird, wird der verletzte Finger in einem desinfizierenden Fingerbad gereinigt. Sodann wird der Finger mit einer selbsthaftenden semiokklusiven Folie (z.B. Cutifilm) bis zum Mittelgelenk flüssigkeitsdicht abgeklebt. Dabei muss über der Wunde ein Hohlraum von etwa der Größe des Defekts verbleiben, sodass sich hier das gebildete Wundsekret sammeln kann. Darüber wird zum Schutz ein normaler Fingerverband bei uneingeschränkter Beweglichkeit angelegt. Eine Antibiotikagabe ist nicht obligat. Der Patient wird auf eine mögliche Geruchsbildung durch das angestaute Wundsekret aufmerksam gemacht und zu wöchentlichen Verbandswechseln einbestellt. Bei Erneuerung des Folienverbandes dürfen die im Wundbereich anhaftenden Koagel nicht entfernt werden. Es wird lediglich die unverletzte Haut der Umgebung gereinigt, damit die neue Folie gut haftet. Die Behandlung wird so lange fortgeführt, bis die Wunde vollständig mit Haut bedeckt ist oder zumindest ausreichend sauberer Granulationsboden vorliegt, was in der Regel je nach Ausmaß des Defekts etwa nach 3 Wochen der Fall ist, bei Beteiligung des Knochens oder Nagelbetts auch später. So betrug im Krankengut von Quell et al. (1998) bei einem 68-jährigen Patienten die Behandlung einer Amputationsverletzung des Mittelfingerendglieds proximal der Nagelbasis 9 Wochen.

7.4.2 Frakturen der Finger

Klassifikation

Frakturen der Phalangen gehören nach der Radiusfraktur zu den häufigsten Frakturen des Menschen. Petracic u. Siebert (1998) ergänzten die AO-Klassifikation zu Frakturen des Handskeletts, wobei die Frakturlokalisation durch Zahlen und der Frakturtyp mit Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet sind.

Für das therapeutische Vorgehen ist jedoch die Einteilung in stabile und instabile Frakturen und begleitende Sehnen-, Nerven- und Weichteilverletzungen bedeutender. Durch das Risiko der posttraumatischen Arthrose und der Gelenksteife müssen Frakturen mit Gelenkbeteiligung besondere Beachtung finden. Die Einteilung nach Schenk (1999) eignet sich gut zur Klassifikation der Mittelgelenkfrakturen. Dabei werden das prozentuale Ausmaß der Gelenkläsion und die dorsale Dislokation erfasst. Grad 1 (<10%) und Grad 2 (11–20%) werden noch konservativ behandelt, Grad 3 (21–40%) und Grad 4 (>40%) bedürfen einer operativen Stabilisierung.

Klinik

Auch im Bereich der Finger sind die klinischen Zeichen einer Fraktur Schmerzen, Bewegungseinschränkung und Krepitation. Achsenabweichungen und Rotationsfehlstellungen beim Faustschluss sind augenfällige Hinweise. Weit distal gelegene Frakturen

gehen mitunter nur mit einer vergleichsweise geringen Schwellung und einer weniger ausgeprägten Schmerzsymptomatik einher.

Diagnostik

Die Standarddiagnostik besteht in Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen. Um Überlagerungen auszuschließen, empfiehlt es sich, jeden Finger einzeln aufzunehmen. Kleinere knöcherne Absprengungen stellen sich manchmal nur auf einer 3. schrägen Ebene dar, weshalb manche Autoren routinemäßig diese Zusatzaufnahme durchführen. Bei Trümmerfrakturen hilft sie, das Ausmaß der Verletzung besser einzuschätzen.

Konservative Therapie

In den letzten Jahren erfolgte eine intensive Weiterentwicklung des Osteosynthesematerials für den Bereich der Hand. Dennoch wird der größte Teil der Frakturen weiter konservativ durch Reposition und Ruhigstellung mit frühfunktioneller Nachbehandlung therapiert – und dies aus gutem Grund, denn ein operativer Eingriff ist nur dann angebracht, wenn das postoperative Ergebnis der konservativen Therapie klar überlegen ist. Gerade im Fingerbereich, in dem der Weichteilmantel vergleichsweise dünn ist, kann ein ausgedehnter operativer Eingriff trotz guter knöcherner Stellung zu Spätschäden führen, in Form von Sehnenadhäsionen und Narbenbildungen.

Oft ist es nicht möglich, kleinere Fragmente anatomisch zu reponieren. Deshalb besteht bei nichtdislozierten Schaftfrakturen und Mehrfragmentfrakturen die Indikation zur Ruhigstellung in Fingerschiene oder Unterarmgips. Nagelkranzfrakturen mit der Komplikation eines subungualen Hämatoms werden ebenso konservativ behandelt wie knöcherne Ausrisse ohne Dislokation, insbesondere am Strecksehnenansatz distal.

Operative Therapie

Indikation

Liegt eine instabile Fraktur vor, besteht die Indikation zur Operation ebenso wie bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung und Dislokation. Wenn aufgrund einer Weichteilverletzung ein Eingriff unumgänglich ist, kann die Indikation für eine gleichzeitige stabilisierende Osteosynthese auch großzügiger gestellt werden. Operativ werden auch all diejenigen dislozierten Frakturen angegangen, die geschlossen nicht reponierbar sind. Auch die dislozierten knöchernen Sehnen- oder Bandausrisse müssen rekonstruiert werden, um die volle Beweglichkeit des Fingers zu erhalten.

Gerade im Fingerbereich lassen sich die Vorteile der Blutleere auf erdenklich einfache Weise nutzen. Um das Infektionsrisiko zu vermindern, empfiehlt sich eine Single-shot-Antibiose, die noch vor dem Anlegen der Blutleere verabreicht wird.

Endglieder

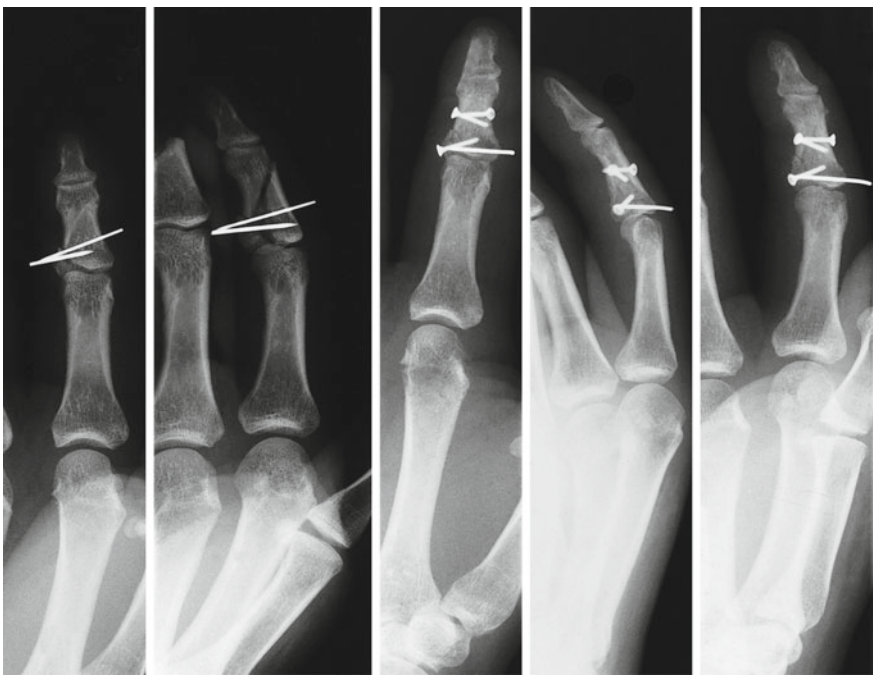
Im Endgliedbereich wird am häufigsten mit K-Drähten der Stärke 1,0–1,2 mm gearbeitet, die nur einen minimalen Weichteilschaden verursachen und überdies sehr kostengünstig sind. Bei Frakturen der distalen Phalanx können Fragmente der Basis unter Bildwandlerkontrolle in axialer Richtung fixiert werden. Während Nagelkranzfrakturen konservativ behandelt werden, sollten Frakturen knapp distal der Basis ebenfalls mit einem Draht stabilisiert werden. In wenigen Fällen kommen bei größeren Fragmenten Zugschrauben bis 2,0 mm oder Drahtcerclagen infrage.

Mittelglieder

Auch am Mittelglied sind K-Drähte, die in diesem Bereich bevorzugt gekreuzt eingebracht werden, zur Frakturstabilisierung gut geeignet. Die Art der Dislokation hängt von der Lage der Fraktur zum Ansatz der oberflächlichen Beugesehne ab. Bei Schaftfrakturen können sehr kleine 1,5er Plättchen eingesetzt werden. Für abgesprengte Fragmente oder Kondylenfrakturen eignen sich Zugschrauben (◘ Abb. 7.41, ◘ Abb. 7.42). Gute Ergebnisse lassen sich auch mit Gewindedrähten erzielen, die perkutan eingebracht werden. Bei Querfrakturen im mittleren Drittel kann durch eine intraossäre Drahtnaht, kombiniert mit einem Kirschnerdraht, ebenfalls gute Stabilität erzielt werden.

Grundglieder

Im Grundgliedbereich gelten gleiche Bedingungen wie am Mittelglied. Durch das größere Knochenvolumen bieten sich jedoch et-



◘ **Abb. 7.41** Mittelgliedmehrfragmentfraktur mit intraartikulärem Ausläufer: notfallmäßiger Versuch einer geschlossenen Reposition und K-Draht-Osteosynthese, wegen eingeschlagenem Strecksehnenanteil offene Reposition und Fixierung mit Minischrauben und einzelnem K-Draht

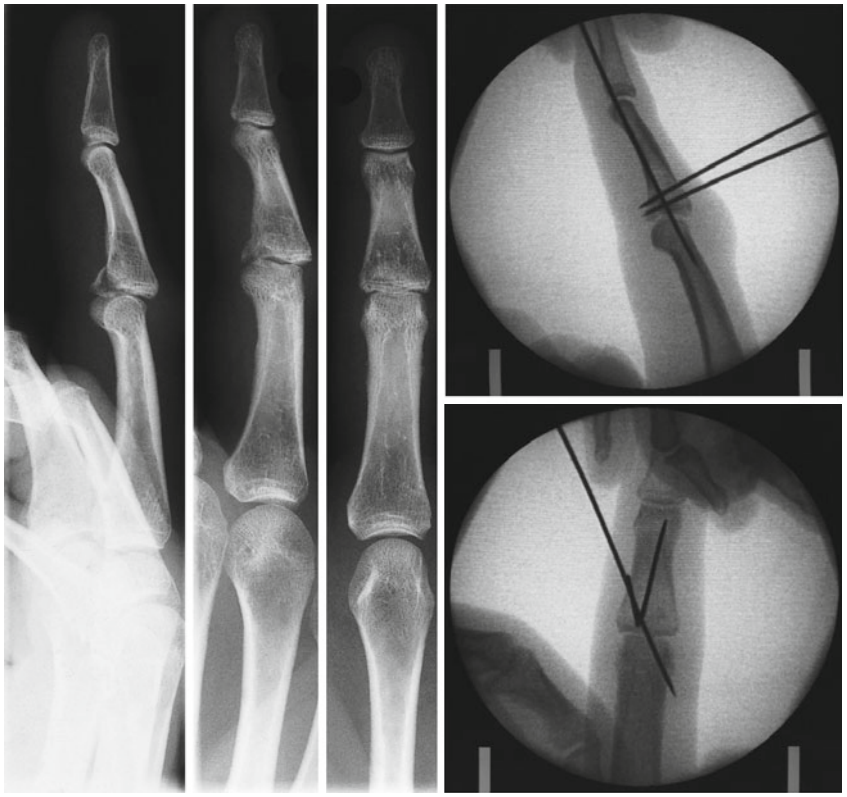


Abb. 7.42 Mittelgliedbasisluxationsfraktur D3: geschlossene Reposition, zweifache K-Draht-Osteosynthese und temporäre PIP-Gelenkstransfixation

was größere Osteosyntheseplättchen, H- und Minikondylenplatten für die Versorgung an (Abb. 7.43).

An der Hand sollte immer ein minimal-invasives Vorgehen angestrebt werden, um nicht die nahe beieinander liegenden Strukturen zu gefährden und durch postoperative Adhäsionen das Operationsergebnis zu verschlechtern. Bei offenen Frakturen muss das Infektionsrisiko abgewogen werden.

Besondere Osteosynthesen

Bei kompletter Zerstörung von Gelenken empfehlen wir im Endgelenksbereich 2 konvergierend eingebrachte K-Drähte zur Arthrodese. Alternativ kann eine Zugschraube von proximal-dorsal oder von distal unter dem Nagelbett verlaufend verwendet werden. Für eine Mittelgelenkarthrodese ist eine Drahtzuggurtung oder eine Zugschraube am stabilsten.

Größere knöcherne Ausrisse der palmaren Platte werden nach Bruner-Inzision ebenfalls durch eine Zugschraube refixiert. Trümmerfrakturen der Phalangen können durch einen Fixateur externe stabilisiert werden (Abb. 7.44). Monokondyläre und bikondyläre Frakturen mit Gelenkbeteiligung sind nach offener Reposition gut durch 2 versetzte Zugschrauben von radial oder ulnar stabilisierbar. Bei dislozierten Stauchungsmehrfragmentfrakturen der Mittelgliedbasis kann die Gelenkfläche in der Aufstopftechnik nach Hintringer (1986) rekonstruiert und mit gitterartig angeordneten dünnen Drähten stabilisiert werden. Auch die dynamische Traktion nach Schenk (1999) zeigt bei Gelenkfrakturen der Mittelgliedbasis gute Ergebnisse. Dabei wird ein querer K-Draht durch das Mittelglied gebracht und über eine Schiene eine Extension nach distal durchgeführt. Der Vorteil dieser Methode liegt in der sofortigen Beübbarkeit in Reposition. Alternativ kann nach der Reposition ein sehr schönes Remodeling der Gelenkfläche durch eine Extensionbehandlung nach Suzuki (1994) erreicht werden.

Abb. 7.43 T-Platten-Osteosynthese bei einer dislozierten instabilen Grundgliedfraktur D4 rechts

Abb. 7.44 Zweitgradig offene Grundgliedtrümmerfraktur: Geschlossene Reposition und Anlage eines Minifixateur externe (Orthofix) sowie Ausheilungsergebnis

Es besteht aus Kirschnerdrähten und Gummizügeln und bringt für den Patienten eine sofortige Übungsstabilität im Gelenk. Der Eingriff kann in Lokalanästhesie durchgeführt werden, eine Fingerblutleere ist fakultativ. Unter Bildwandlerkontrolle wird ein K-Draht parallel zur Rotationsachse des PIP-Gelenks in das Köpfchen des Grundgliedes in das Rotationszentrum eingebohrt. Der Draht wird sodann an beiden Seiten in Richtung Fingerspitze um 90° umgebogen und die den Finger überragenden Enden zu Häkchen geformt. Ein zweiter KD wird anschließend parallel zum ersten in das Köpfchen des Mittelgliedes eingebracht und die Drahtenden nahe der Haut wiederum zu Häkchen umgebogen. Ein dritter Draht wird parallel zu den anderen beiden in die Basis des Mittelgliedes als Retentionsdraht eingebracht und von palmar rechtwinklig um den ersten Draht herumgebogen, um eine dorsale Luxation des frakturierten Mittelgliedes bei der Beugung zu vermeiden (Ruland 2008, Goldberg 2009). Am Ende werden zwischen die Häkchen

Tab. 7.4 Vor- und Nachteile der einzelnen Osteosyntheseverfahren. (In Anlehnung an Stern 1999)

Osteosyntheseverfahren	Indikation	Vorteile	Nachteile
K-Drähte	Quer-, Schräg-, Spiralfrakturen	Einfache Anwendung, geringer Weichteilschaden, kostengünstig	Stabilitätsprobleme, Gipsruhigstellung erforderlich, Infektionsgefahr
Intraossäre Drahtnaht	Schräg-, Quer-, Spiralfrakturen	Geringe Weichteilpräparation, Übungsstabilität, Stabilitätsgewinn durch zusätzlichen K-Draht	Drahtentfernung, störender Drahtzwirbel
Intramedulläre Schienung	Quer-, kurze Schrägfrakturen	Stabile Frakturverkeilung, keine Frakturöffnung, einfache Anwendung	Ungenaue Reposition, fragliche Rotationsstabilität
Zugschraubenosteosynthese	Lange Spiralfraktur	Stabilität, wenig Osteosynthesematerial, keine Materialentfernung erforderlich, anatomische Reposition	Technisch anspruchsvoll
Verplattung	Schaft-, Gelenk-, dislozierte Frakturen, Korrektureingriffe	Übungsstabilität, keine Materialentfernung erforderlich	Große Weichteileröffnung, postoperative Sehnenadhäsionen, technisch anspruchsvoll
Externe Fixateure	Trümmer-, Defektfraktur, intraartikuläre Frakturen, Infektionen, Weichteilläsionen	Perkutane Anwendung, Längenausgleich möglich, rasche Fixierung, kostengünstig, Patientenkomfort	Verletzung von Strukturen bei der Pineinbringung, Pininfektion, unsichere Frakturkompression

des proximalen und distalen Drahts auf jeder Seite des Fingers handelsübliche Gummiringe angebracht. Regelmäßige klinische und radiologische Kontrollen sind erforderlich. Eine aktive und passive Nachbehandlung sollte baldmöglichst begonnen werden. Die gesamte Montage kann nach entsprechender Frakturheilung nach 4–6 Wochen entfernt werden.

Tab. 7.4 stellt die Vor- und Nachteile der einzelnen Osteosyntheseverfahren gegenüber.

Nachbehandlung

Zur Ruhigstellung wird nochmals auf die Intrinsic-plus-Position hingewiesen, um eine Verkürzung der Kollateralbänder während der Knochenheilung zu vermeiden. Durch klinische Kontrollen während der Phase der Ruhigstellung können Rotationsfehlstellungen und Deviationen frühzeitig erkannt werden. Prinzipiell wird der frühfunktionellen Behandlung der Vorzug gegeben. Das bedeutet, dass der Patient bereits nach 2 Wochen trotz der noch unvollständigen knöchernen Durchbauung mit Bewegungsübungen aus der Schiene heraus beginnt.

Die möglichst frühzeitige Mobilisierung ist notwendig, um – wie nach allen Frakturen und operativen Eingriffen an der Hand – einer Algodystrophie vorzubeugen. Anhand wöchentlich angefertigter Röntgenkontrollen kann der früheste Termin der Mobilisierung abgeschätzt werden. Besonderer Wert ist auf die Beweglichkeit der Grundgelenke und Mittelgelenke zu legen, da Kapselkontrakturen und Bandverkürzungen hier die Handfunktion am stärksten beeinträchtigen (Schaefer u. Siebert 2000).

Durch eine frühzeitig einsetzende, passive krankengymnastische Übungsbehandlung sollte Kontrakturen vorgebeugt werden. Bei instabilen Frakturen können zumindest die nichtbeteiligten Finger vor Kontrakturen geschützt werden.

Komplikationen und Prognose

Bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung findet sich häufig sekundär eine Arthrose, die weitere Maßnahmen wie Arthrodesen (Abb. 7.45) oder den Gelenkersatz z.B. durch eine Swanson-Prothese oder eine Pyrocarbonprothese (Ascension Orthopedics, Texas, USA) notwendig macht. Korrekturosteotomien in der oben beschriebenen Technik sind bei Störung des Faustschlusses und konsekutiver Einschränkung der Greiffunktion indiziert. Teno- und Kapsulolysen ermöglichen die sekundäre Wiederherstellung der Beweglichkeit 4–6 Monate postoperativ bei abgeschlossener Frakturheilung.

Abb. 7.45 Posttraumatische Arthrose im PIP-Gelenk D2 bei einem 59-jährigen Hausmeister und Schraubenarthrodese 8 Wochen postoperativ

7.4.3 Kapsel-Band-Verletzungen

Ätiologie

Luxationen sind Verrenkungen der Gelenke, die in der Regel durch starke Traumen ausgelöst werden. Wie an anderen Gelenken auch, sind sie im Fingerbereich immer mit Kapsel-Band-Verletzungen sowie Läsionen der Faserknorpelplatte vergesellschaftet. Die Verletzungen entstehen meist durch eine forcierte Hyperextension und Stauchung, z.B. durch Sturz auf den ausgestreckten Langfinger oder durch das Auftreffen eines Balls mit großer Wucht auf den Finger. Durch gewaltsame Radialabduktion des Daumens

nach Hängenbleiben in der Stockschlaufe beim Skifahren oder am Fahrradlenker kommt es zu ulnaren Kollateralbandrupturen im Daumengrundgelenk.

Klinik

Klinisch imponieren neben der deutlich sichtbaren Fehlstellung bei Luxationen die Schwellung, schmerzhafte Bewegungseinschränkung, Hämatombildung und vermehrte seitliche Aufklappbarkeit.

Diagnostik

Diagnostisch sind Standardröntgenaufnahmen der betroffenen Finger in 3 Ebenen notwendig, um auch kleinste knöcherne Ausrisse zu erfassen. Bei Luxation findet sich meist eine federnde Fixation. Nach Ausschluss einer knöchernen Beteiligung erfolgt die klinische Prüfung der Gelenkstabilität sowohl in Streckung als auch in Beugung. Die Stabilität der palmaren Platte erfasst man durch den palmaren Stress, wobei die Metakarpalknochen bzw. die entsprechenden Fingerphalangen jeweils mit einer Hand des Untersuchers gefasst und in palmodorsaler Richtung gegeneinander verschoben werden. Bei sämtlichen Gelenkprüfungen sollte die unverletzte Seite zum Vergleich herangezogen werden, da eine große individuelle Bandbreite des »normalen« Bewegungsausmaßes existiert.

Die Diagnosefindung einer ulnaren Kollateralbandruptur des Daumengrundgelenks beispielsweise erfolgt durch eine beidseitige Funktionsprüfung, indem das Metakarpophalangealgelenk in Valgusstellung gebracht wird. Manche Autoren empfehlen dafür eine Schmerzausschaltung durch ein Lokalanästhetikum. Die Untersuchung wird in etwa 30°-Flexion durchgeführt, um das akzessorische Kollateralband zu entspannen und somit das eigentliche Seitenband zu überprüfen. Eine Abweichung von mehr als 30° nach radial im Vergleich zur Gegenseite lässt auf eine Bandruptur schließen. Ist das Metakarpophalangealgelenk bereits in Streckstellung aufklappbar, bedeutet dies, dass das akzessorische Kollateralband samt palmarer Platte ebenfalls gerissen sein muss. Die immer wieder empfohlenen so genannten gehaltenen Aufnahmen sind aus 2 Gründen abzulehnen: Zum einen kann es bei starker Schwellung, Hämatom und Schmerzangabe des Patienten durch unzureichenden Druck beim Aufklappen sehr leicht zu falsch-negativen Ergebnissen kommen, zum anderen bergen die funktionellen Stressaufnahmen stets die Gefahr der sekundären kompletten Bandruptur oder gar eines knöchernen Bandausrisses in sich.

Um bei der Ruptur des ulnaren Kollateralbandes des Daumengrundgelenks die Indikation zur Operation zu stellen, reicht die alleinige klinische Prüfung der Instabilität aus.

So genannte Stener-Läsionen (Stener 1962), die durch Umschlagen des rupturierten ulnaren Seitenbandes nach proximal über die Adduktoraponeurose gekennzeichnet sind, erfordern immer eine operative Bandrekonstruktion, da ein anatomisch korrektes Anheilen des Bands nicht möglich ist. Ob eine solche Läsion vorliegt, ist durch die klinische Untersuchung allein nicht zu erfassen. Die Sonographie mit einem 10-MHz-Linearschallkopf könnte bei entsprechender Erfahrung in naher Zukunft ein wegweisendes Diagnostikum werden. Entscheidend für die Operationsindikation bleibt jedoch die Instabilität allein.

Die Überprüfung der Stabilität an Fingermittel- und Fingerendgelenken gelingt in der Regel ohne Probleme durch radialen und ulnaren Stress in Streckstellung. Höhergradige Verletzungen der palmaren Platte zeigen sich durch eine Instabilität mit Überstreckbarkeit in palmodorsaler Richtung.

Therapie bei Luxationen

Daumen- und Langfingergrundgelenke

Jede Luxation bedarf der sofortigen Reposition. Diese sollte in Oberst-Leitungsanästhesie durchgeführt werden. Verrenkungen vor allem im 3. und 4. Langfingergrundgelenk sind wegen ihrer geschützten Lage durch den Zeige- und Kleinfinger extrem selten, die Luxation im Daumengrundgelenk stellt jedoch die häufigste im Bereich der Hand dar. Dabei luxiert immer nach Zerreißung der palmaren Gelenkkapsel das Grundglied nach dorsal und proximal, wobei dieses in Überstreckung federnd fixiert ist. Die Reposition erfolgt nun durch Längszug und Beugung des Grundgliedes sowie durch dorsalen Druck auf die Basis der Grundphalanx. Im Bereich des Daumengrundgelenks gelingt sie oftmals erst nach erneuter Hyperextension, wenn eine Verhakung im Sesambeinbereich ein Repositionshindernis darstellt. Anschließend sind eine Stabilitätsprüfung und eine Röntgenkontrolle obligat, denn nicht selten verbleibt eine Subluxationsstellung. Bei regelrechten stabilen Verhältnissen genügt eine Ruhigstellung für ca. 3 Wochen. Danach ist eine krankengymnastische Übungsbehandlung notwendig, um der Gefahr einer Kapselkontraktur zu begegnen.

Neben einer Gelenkblockierung durch ein Sesambein sind eine Interposition der palmaren Platte und eine Einklemmung der Sehnen des M. flexor pollicis longus oder tiefer Beugesehnen weitere mögliche Repositionshindernisse. Folglich zwingen fehlgeschlagene Einrenkversuche zum operativen Vorgehen. Hierbei muss besonders weichteilschonend vorgegangen werden, um die Gelenkstabilität nicht noch weiter zu schwächen.

Die offene Reposition erfolgt meist über einen palmaren Zugang durch eine Bruner-Inzision über dem luxierten Gelenk. Die rupturierte Kapsel bzw. begleitende Kollateralbandrupturen werden durch 4/0-Nähte aus langsam resorbierbarem Material in U-Nahttechnik rekonstruiert. Auch hier erfolgt eine postoperative Immobilisation von ca. 3 Wochen.

Eine unzureichende Reposition führt zur Subluxationsstellung und der Ausbildung einer Sekundärarthrose. Deshalb empfiehlt es sich, nicht nur unmittelbar postoperativ zu röntgen, sondern noch einmal nach ca. 1 Woche.

Mittelgelenk

Ursache einer Mittelgelenkluxation ist fast ausschließlich ein Hyperextensionstrauma. Das Mittelgelenk luxiert nach dorsoradial oder dorsoulnar. Das Gelenk ist wiederum in Fehlstellung federnd fixiert. Die Verrenkung ist zusätzlich charakterisiert durch einen ligamentären oder knöchernen Ausriss der palmaren Platte, manchmal auch mit einem Ausriss der Kollateralbänder.

Die Therapie besteht im Allgemeinen konservativ durch eine Reposition mit Längszug am Finger und Druck auf die Basis der Mittelphalanx. Anschließend wird in Anlehnung an die Untersuchungen von Lutz et al. (2001) besser frühfunktionell als durch eine Gipsimmobilisation in Intrinsic-plus-Stellung nachbehandelt. Hierbei wird eine Kunststoffschiene mit U-förmigem Querschnitt dorsal angelegt und mit 2 Klettverschlüssen über Grund- und Mittelglied fixiert. Wird nun der distale Klettverschluss entfernt, kann das Gelenk mehrmals täglich durchbewegt werden. Die operative Therapie bleibt hier Ausnahmen vorbehalten, z.B. einer Einklemmung des Grundgliedköpfchens zwischen Tractus intermedius und Seitenband.

Die offene Reposition erfolgt wiederum von palmarseitig. Wesentlich seltener kommt es zu einer palmarseitigen Luxation mit Verletzung des Strecksehnenmittelzügels. Zur Verhinderung einer so genannten Knopflochdeformität (s. unten) sollte von einem dor-

salen geraden oder bogenförmigen Schnitt die Naht des Mittelzügels bzw. bei knochennahem Ausriss aus der Mittelgliedbasis seine Reinsertion mit kleinen Knochenankern durchgeführt werden. Zusätzlich wird das PIP-Gelenk mit einem 1,0 mm K-Draht für ungefähr 4 Wochen transfixiert. Daran schließt sich eine krankengymnastische Mobilisationsbehandlung an.

Endgelenk

Reine Luxationen im Endgelenk sind in der Regel leicht zu reponieren und bedürfen nur einer kurzfristigen Ruhigstellungsphase von etwa 14 Tagen. Bei einer dorsalen Luxation reißt nur selten die an der Endgliedbasis ansetzende tiefe Beugesehne. In diesem Fall wäre natürlich ein operatives Vorgehen indiziert (s. unten). Dagegen kommt es bei einer Luxation nach palmar fast immer zu einer subkutanen Strecksehnenruptur.

7

Therapie bei Kapsel- und Bandverletzungen

Daumengrundgelenk

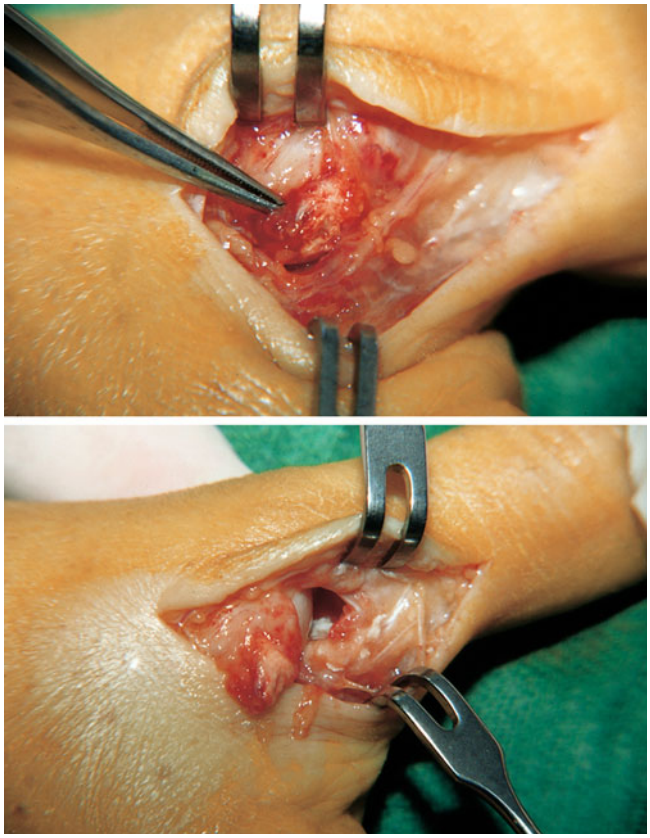
Die radiale Bandruptur am Daumengrundgelenk ist nicht nur wesentlich seltener als die ulnarseitige, sondern auch aufgrund der geringeren Belastung von eher untergeordneter Bedeutung. Folglich ist hier das operative Vorgehen eher die Ausnahme. Dagegen besteht bei ulnarer Bandinstabilität eine klare Indikation zur Bandrekonstruktion, da eine dauernde Abkippung des Daumengrundgliedes nach radial bei der Greiffunktion zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung und später immer zu einer Arthrose des Metakarpophalangealgelenks führt. Aufgrund der narbigen Verkürzungstendenz des Bandes sollte der Eingriff möglichst innerhalb der ersten beiden Wochen nach Trauma erfolgen.

Auch bei rechtzeitiger Operation kann eine Bewegungseinschränkung im Grund- und Endgelenk des Daumens verbleiben. Auf spätere Missempfindungen im Verlauf des dorsoulnaren Nervenasts sollte ebenso aufmerksam gemacht werden wie auf das mögliche Risiko einer bleibenden Verdickung der Daumengrundgelenkkapsel.

Der Eingriff erfolgt in Plexus- oder i.v.-Regionalanästhesie. Der Zugang zum ulnaren Kollateralband ist in ▶ Kap. 21, Standardzugänge, beschrieben. Liegt eine Stener-Läsion (Stener 1962) vor, ist der proximal umgeschlagene rupturierte Bandanteil bereits subkutan sichtbar. In diesem Fall erfolgt die Längsöffnung der Adduktoraponeurose am Bandriss. Grundsätzlich müssen beide Bandanteile sorgfältig dargestellt werden. Bei nicht mehr frischen Rupturen müssen Verklebungen und beginnende Verwachsungen gelöst werden. Vor Beginn der eigentlichen Naht wird das Gelenk ausgespült und auf zusätzliche Verletzungen der dorsalen Kapsel oder der palmaren Platte inspiziert (◘ Abb. 7.46).

Handelt es sich nun um eine interligamentäre Bandläsion, was eher selten vorkommt, werden zunächst etwa 3 Nähte in U-Nahttechnik (z.B. PDS 4/0) gemäß dem Faserverlauf vorgelegt und anschließend in Adduktionsstellung des Daumens verknotet. Am Ende wird die Adduktoraponeurose mit einem resorbierbaren 5/0-Faden fortlaufend vernäht; gelegentlich kann auch die Subkutanfaszie verschlossen werden. Nach Hautverschluss und Lascheneinlage wird eine radiale Gipsschiene mit Daumeneinschluss bis in Höhe des Interphalangealgelenks anmodelliert.

Liegt ein knöcherner Bandausriss vor, muss zunächst das Fragment, welches meist verdreht ist, reponiert werden. Die Fixierung erfolgt je nach Größe des Fragments mit einem K-Draht, einer Minischraube oder einem Lengemann-Ausziehdraht. Letzterer wird kaum noch verwendet. Zum einen ist seine Entfernung schmerzhaft, weshalb diese in Lokalanästhesie vorgenommen werden sollte, zum anderen kann der dorsoulnare Nervenast verletzt werden. Außerdem kommt es trotz der Verwendung einer Distanzhülse häufig zu Druckschäden und Hautmazeration unter der Gipsschiene oder der Orthese. Viel eleganter ist es, das Band, das meist an der ulnopalmaren Grundgliedbasis ausgerissen ist, mit kleinen Knochenankern zu reinserieren (◘ Abb. 7.47).



◘ **Abb. 7.46** Intraoperativer Situs einer ulnaren Kollateralbandruptur MP-Gelenk D1 rechts

Kommt es aufgrund einer traumatischen Überstreckung im Daumengrundgelenk zu einem distalen Ausriss der palmaren Platte mit einem Einschlagen in das Gelenk, muss diese entweder von einem radialen Zugang oder zur besseren Übersicht durch eine Bruner-Inzision palmarseits rekonstruiert werden. Nähte im fibrösen Bereich sollten mit resorbierbarem Nahtmaterial in Beugestellung von 30° durchgeführt werden. Ansonsten kommen transossäre Nähte oder Mikro-Mitek-Anker infrage.

Die radiopalmare Gipsschiene verbleibt bis zur gesicherten Wundheilung für etwa 10–14 Tage. Anschließend kann je nach Schwellungszustand für weitere 4 Wochen eine Mittelhandorthese aus Kunststoff angepasst werden. Nach dieser Zeit darf dann zunehmend belastet werden, wenngleich eine zu starke körperliche Beanspruchung des genähten Bandes für insgesamt 12 Wochen vermieden werden sollte. Eine von manchen Autoren durchgeführte temporäre K-Draht-Transfixation des Metakarpophalangealgelenks halten wir nicht für erforderlich, zumal diese den Knorpel schädigen kann. Bei einer stabilen Osteosynthese im Zugschraubenprinzip kann natürlich bereits nach 3–4 Wochen die Ruhigstellung aufgehoben werden.

Eine insuffizient behandelte Kollateralbandverletzung führt ausnahmslos zu einem schmerzhaften instabilen Daumengrundgelenk. Als Alternative bleibt dann nur eine Bandplastik z.B. mit der Palmaris-longus-Sehne, die achtertourförmig, transossär in

Abb. 7.47 Refixation des ulnaren Kollateralbandes mit einem Mini-Mitek-Anker

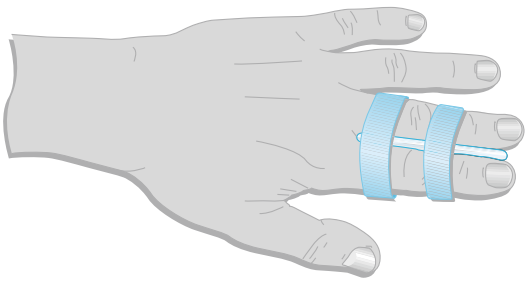


Abb. 7.48 Twin-taping-Verband

das Metakarpale-I-Köpfchen einerseits und die Grundgliedbasis andererseits eingeflochten wird, oder eine metakarpophalangeale Arthrodese, falls bereits eine manifeste Arthrose des Grundgelenks vorliegt.

Langfingergrundgelenke

Seitenbandrupturen der Langfingergrundgelenke sind wesentlich seltener als im Bereich des Daumengrundgelenks. Handelt es sich nicht gerade um knöcherne Bandausrisse, v.a. an den beiden randständigen Fingern D2 und D5, empfiehlt sich die konservative frühfunktionelle Therapie in Form des twin-taping (Synonym: body-tape; Abb. 7.48).

Dabei dient der gesunde längere Nachbarfinger als mobilisierende Schiene. Mittels 2 Pflastern im Schaftbereich des Grund- und Mittelglieds und einer dazwischen liegenden, polsternden Kompresse, die eine Hautmazeration vermeiden soll, wird der verletzte Finger geschient. Die Beugung bis hin zum Faustschluss bleibt aber möglich. Diese stabilisierende Schienungstherapie sollte für mindestens 3 Wochen durchgeführt werden, um eine Vernarbung der Kollateralbandläsion zu erlauben. Manche Autoren empfehlen wegen des monatelangen Beschwerdebilds bei besonderer Beanspruchung die Fortsetzung des Body-tape bis zur Schmerzfreiheit. Alternativ kann bei ausgeprägter schmerzhafter Schwellung zunächst eine 10-tägige Ruhigstellung in einer Gips- oder Aluschiene

Abb. 7.49 Patient mit streckseitiger Instabilität: Refixation der palmaren Platte mit Mikro-Mitek-Ankern und zusätzlicher temporärer Transfixation des PIP-Gelenks

in Intrinsic-plus-Stellung vorgenommen und danach erst die oben beschriebene funktionelle Therapie eingeschlagen werden.

PIP-Kollateralbänder

Verletzungen gerade im PIP-Gelenkbereich sind v.a. beim Sport sehr häufig. Während reine Seitenbandrupturen eher selten vorkommen, sieht man die Überstreckverletzung oder die axiale Stauchung des Mittelgelenks mit Ruptur der Fibrocartilago palmaris nahezu täglich in der Notfallambulanz. Die reinen Seitenbandläsionen werden eigentlich ausschließlich konservativ behandelt, wobei im eigenen Vorgehen keine Gipsruhigstellung mehr erfolgt, sondern gleich zu Therapiebeginn ein Twin-taping. Ein operativer Eingriff bringt keine Vorteile, sondern würde nur die Kapsel-Band-Verdickung verstärken.

Palmare Platte

Der knöcherne Abriss der palmaren Platte wird nach Hintringer u. Leixnering (1991) in verschiedene Stadien klassifiziert, wobei Stadium 5 und 6 kombinierte Instabilitäten darstellen.

Generell sind die Therapieempfehlungen in der Literatur sehr uneinheitlich. Die empfohlenen Ruhigstellungszeiten reichen von der primären frühfunktionellen Behandlung mit einer dynamischen Extensionsschiene nach Capener (Strässle et al. 1984) bis hin zur 6-wöchigen Immobilisierung. Das Gupta et al. (1996) empfehlen bei konservativem Vorgehen eine kurzfristige Ruhigstellung mit einer Gipsschiene in 15°- bis 20°-Beugung, anschließend eine Fingerschiene für insgesamt 3 Wochen und danach Physiotherapie.

Im eigenen Vorgehen hat sich die frühfunktionelle Therapie bewährt. Das Gelenk wird in einer Aluschiene nur etwa 1 Woche ruhiggestellt. Danach soll der Patient aktiv beugen und strecken, eine Hyperextension jedoch für insgesamt 6 Wochen vermeiden. Die Patienten haben nämlich meist schon nach 1 Woche kaum

mehr Beschwerden und können in der Regel das Gelenk bis auf eine endgradige Einschränkung beugen und strecken. Eine längere Ruhigstellungsphase wäre nur bei Luxationstendenz oder größerem Kantenfragment nötig.

Muss die palmare Platte aufgrund eines großen knöchernen Ausrisses mit verdrehtem Fragment oder einer streckseitigen Instabilität refixiert werden, erfolgt der Zugang zickzackförmig nach Bruner. Nähte im fibrösen Bereich sollten mit langsam resorbierbarem Nahtmaterial durchgeführt werden. Eine Rekonstruktion am Ansatz ist durch transossäre Fixierungsnähte, kleine Knochenanker (◘ Abb. 7.49) oder Lengemann-Draht-Nähte möglich. Die postoperative Ruhigstellung soll nicht länger als 3 Wochen dauern.

Endgelenke

Die Therapie unterscheidet sich nicht von der der Mittelgelenke. Kapsel-Band-Läsionen sind insgesamt wesentlich seltener, was sicherlich durch die gelenknahe Insertion sowohl der tiefen Beugesehne als auch der Strecksehne begründet werden kann.

7.5 Sehnen, Bänder, Faszien

7.5.1 Beugesehnenruptur

Pathophysiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Pathophysiologie

Beugesehnendurchtrennungen stellen nach wie vor eine Herausforderung für den behandelnden Chirurgen dar. Um diese erfolgreich therapieren zu können, sind exakte Kenntnisse der funktionellen Anatomie, der Blutversorgung und der Regenerationsmechanismen der Beugesehnen im Handbereich unerlässlich.

Bezüglich der Sehnenheilung unterscheidet man zwischen intrinsischen und extrinsischen Heilungsvorgängen. Bei vorwiegend intrinsischer Sehnenheilung läuft die hauptsächliche Sehnenregeneration im Sehneninneren ab, was zu einer Heilung ohne Verwachsungen mit der Umgebung führt. Dies erfordert eine atraumatische Operationstechnik ohne Zerstörung der gefäßreichen Vinculae, die Platzierung der Naht in der palmaren Sehnenhälfte, eine exakte Adaptation der Sehnenstümpfe, die Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Sehnenscheide sowie die frühe Mobilisierung. Dagegen kommt es bei einer vorwiegend extrinsischen Sehnenheilung zu Reparationsvorgängen im Bereich der Sehnenwunde von der Umgebung her. Vernarbungen zwischen der Sehne und dem benachbarten Gewebe entstehen. Ursache dafür können eine Traumatisierung der Sehne und ihrer Hülle, eine schlechte Adaptation der Sehnenstümpfe und eine zu lange Immobilisierung sein.

Klinik

Bereits inspektorisch kann meist eine Beugesehnendurchtrennung aufgrund der fehlenden Funktion erkannt werden. So zeigt sich bei einer isolierten Durchtrennung der oberflächlichen Beugesehne ein verminderter Beugetonus, während bei Durchtrennung der tiefen Sehne oder der langen Daumenbeugesehne das jeweilige Endglied in Streckstellung steht. Bei kombinierter Durchtrennung beider Beugesehnen am Langfinger ist der Beugetonus gänzlich aufgehoben.

Diagnostik

Aufschluss geben detaillierte Funktionsprüfungen (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Eine Befragung nach dem Verletzungshergang, insbesondere der Fingerstellung im Moment des Schnitts, gibt Aufschluss über die Lokalisation der Sehnenstümpfe. So befinden sich bei gebeugtem Finger während der Verletzung die distalen und proximalen Sehnenenden nach erfolgter Fingerstreckung weit entfernt von der Hautwunde, was eine großzügige explorative Schnitterweiterung manchmal über 2 Fingerglieder erforderlich machen kann.

Bei jeder scheinbaren Bagatellverletzung auf der Beugeseite von Finger, Hand und Unterarm muss an die Mitverletzung einer Sehne gedacht werden. Um Verletzungen benachbarter Fingernerven nicht zu übersehen, wird gleichzeitig die Sensibilität mitgeprüft. Bei Kleinkindern sind aktive Funktionsprüfungen kaum durchführbar, sodass man im Zweifelsfall, insbesondere bei fehlendem Beugetonus, gezwungen ist die Wunde zu explorieren.

Klassifikation

Aufgrund der unterschiedlichen Anatomie und Ausheilungsprognose im gesamten Sehnenverlauf der Hand hat sich eine Zoneneinteilung hinsichtlich der Lokalisation der verletzten Beugesehne bewährt. Die modifizierte Klassifikation der internationalen Vereinigung der handchirurgischen Gesellschaften (IFSSH) unterteilt nach Pechlaner et al. (1998) die Langfinger in 5 und den Daumen in 3 Zonen (◘ Abb. 7.50).

Operative Therapie

Primäre Naht

Indikation

Grundsätzlich sollten alle Beugesehnendurchtrennungen an der Hand oder am Handgelenk primär genäht werden, da durch Retraktion, Degeneration und Verwachsung der Sehnenstümpfe die Sehnennaht zu einem späteren Zeitpunkt auf jeden Fall erschwert ist. Lediglich bei besonders stark infektionsgefährdeten Wunden, wie bei Metzgerverletzungen und Menschenbissverletzungen oder bei ausgedehnten Quetschverletzungen mit entsprechenden Begleitläsionen kann zugewartet werden. In dieser Situation empfiehlt sich eine offene, desinfizierende Wundbehandlung für ca. 3 Tage. Weitere Kontraindikationen für ein primäres Vorgehen sind lebensbedrohliche Begleitverletzungen oder ein sehr schlechter Allgemeinzustand.

Aufklärung

Eine genaue Schilderung der Operation und der sich anschließenden postoperativen Nachbehandlung ist unerlässlich. Der Patient muss auf die Risiken Reruptur, Verwachsungen und verbleibendes Beugedefizit aufmerksam gemacht werden. Auf notwendige Sekundäroperationen wie Tenolysen, Arthrolysen bzw. Tenodesen und Arthrodesen bei komplizierten Heilungsverläufen muss hingewiesen werden.

Dringlichkeit

Optimal ist die primäre Wiederherstellung der Sehnenfunktion innerhalb der ersten 24 h nach der Verletzung. Die spätprimäre Naht erfolgt zwischen dem 2. und 14. Tag, die frühsekundäre zwischen der 2. und 5. Woche. Eine spätsekundäre Versorgung nach der 5. Woche bleibt Ausnahmefällen vorbehalten. Nach diesem Zeitraum sollte eine einzeitige oder zweizeitige Sehnentransplantation angestrebt werden.

Operationstechnik für Zone Dp 2

Lagerung und Abdeckung entsprechen unserem Standard bei handchirurgischen Eingriffen (▶ Abschnitt 7.1, Basiswissen). Eine Lupenbrille ist allein schon im Hinblick auf mögliche Begleitverlet-

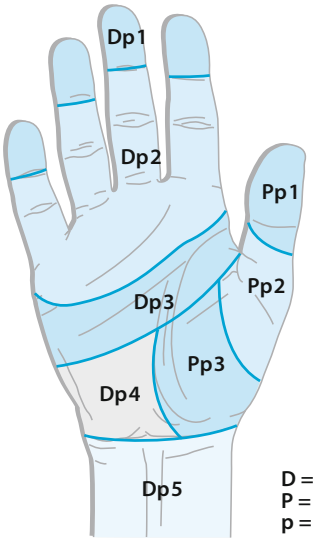


Abb. 7.50 Zoneneinteilung der Beugesehnen nach Pechlaner

zungen unentbehrlich. Voraussetzung für eine atraumatische Operationstechnik ist eine adäquate Anästhesie. In der Regel wird eine Plexusanästhesie oder, insbesondere bei Kindern, eine Vollnarkose vorgenommen.

Eine Oberst-Leitungsanästhesie ist bei Beugesehnenrupturen an den Fingern wegen der möglichen Retraktion des Sehnenstumpfs weit nach proximal und der dadurch häufig notwendigen Schnitterweiterung nicht ausreichend. Außerdem sollte diese Verletzung immer unter den bestmöglichen Voraussetzungen, also im Operationssaal, versorgt werden und nicht unter provisorischen, wie sie z.B. in einer Nothilfe gegeben sein können.

Die Wunde wird zickzackförmig im Sinne von Bruner-Diagonalschnitten erweitert, wobei zu spitze Winkel vermieden werden sollen. Um genügend Übersicht zu erhalten, soll die Schnittführung nicht zu knapp ausfallen. Die entstandenen Hautlappen werden unter Schonung der Gefäß-Nerven-Bündel abpräpariert und an den Ecken mit Haltefäden fixiert. Anschließend wird in der Mittellinie in der Tiefe die Beugesehnenscheide in ganzer Länge dargestellt. Diese ist in der Regel an einer Stelle eröffnet. Der Sehnenstumpf schimmert distal und proximal davon bläulich durch die Sehnenscheide. Ist der proximale Sehnenstumpf bis in die Hohlhand zurückgeglitten, wird das Handgelenk gebeugt und die Vorderarmmuskulatur nach distal »ausgemolken« (Reill 1991). Kommen die Sehnenstümpfe dadurch nicht in die Wunde, kann mit einer Sehnenfasszange versucht werden, den proximalen Sehnenstumpf hervorzuziehen. Anschließend wird der Stumpf mit einer 16er Kanüle proximal quer transfixiert. Der distale Stumpf wird durch passives Beugen des betroffenen Fingers hervorluxiert. Die Beugesehnenscheide wird dann, falls erforderlich, L-förmig nach distal eröffnet. Die A2- und A4-Ringbänder müssen dabei unbedingt geschont oder, wenn sie mitverletzt sind, rekonstruiert werden, weil es sonst zu einem so genannten Bow-stringing-Phänomen (▶ Abschnitt 7.1, Basiswissen) mit fehlender Beugung und Kraftminderung kommt.

Auch wenn bei Durchtrennung der oberflächlichen und tiefen Beugesehne eines Fingers in der Regel die Naht beider Sehnen proklamiert wird, so stellt in bestimmten Fällen die alleinige Naht der tiefen Beugesehne nicht nur die einfachere, sondern auch die sichere Methode dar. Dazu zählen eine ausgedehnte Traumatisierung des Gleitlagers sowie große Defektwunden mit entsprechendem erforderlichen langstreckigen Sehnenersatz. Vor allem im geteilten Bereich der Flexor-superficialis-Zügel kann die Naht beider Beugesehnen aufgrund des Missverhältnisses des Volumens zwischen Sehnenstumpf und Sehnenscheide problematisch werden. Es empfiehlt sich in solchen Fällen, die oberflächliche Beugesehne unter Belassung eines Stumpfs von etwa 1,5 cm Länge zu resezieren.

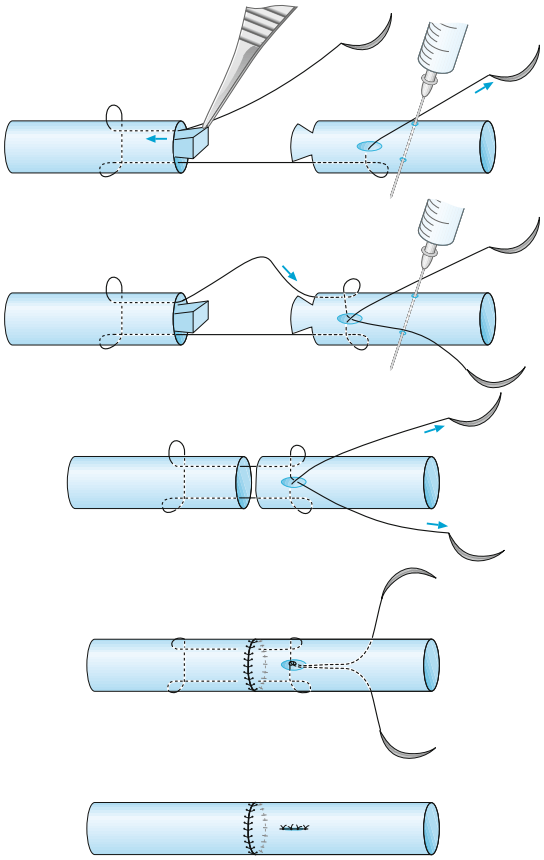


Abb. 7.51 Nahttechnik nach Zechner

Sollen beide Sehnen genäht werden, wird am Finger zuerst die oberflächliche, im Hohlhand- und Handgelenkbereich dagegen zuerst die tiefe genäht.

Unter einer Vielzahl von Nahttechniken bei durchtrennten Beugesehnen überzeugt die von Zechner et al. (1985) vorgeschlagene Nahttechnik am meisten (Abb. 7.51). Dabei handelt es sich um eine Kernnaht, wobei der Knoten im proximalen Sehnenstumpf in einem Sehnenlängsschlitz versenkt wird. Komplettiert wird die Naht durch eine zirkuläre fortlaufende Adaptationsnaht. Bei bestimmten Verletzungslokalisationen können die Sehnenstümpfe zur Feinadaptation nicht gewendet werden. Deshalb legt man sich die Kernnaht vor und führt im Bereich der »Hinterwand« die eine Hälfte der Feinadaptationsnaht durch. Anschließend wird die Kernnaht festgezogen und die »Vorderwand« der Feinadaptation fertiggestellt.

Welches Nahtmaterial sich am besten eignet, wird bis heute kontrovers diskutiert (Brug 1997). Wegen der besseren Gleit- und Reißfestigkeit verwenden viele Autoren für die Kernnaht beim Erwachsenen einen 3/0- und beim Kind einen 4/0- und für die Adaptationsnaht einen 5/0- bis 6/0-starken Prolenefaden, mög-

lichst doppelt armiert, um den Knoten im Sehnenschlitz versenken zu können. Die genaue Vorgehensweise der Nahttechnik wird in Abb. 7.51 Schritt für Schritt dargestellt.

Die oben beschriebene Nahttechnik ist nur für Sehnen mit rundem oder auch ovalem Querschnitt geeignet. Im Bereich ihres Ansatzes ist die superfiziale Beugesehne jedoch sehr flach. Dann wird sie U-förmig oder durch kreuzende Adaptationsnähte reinseriert, ggf. ergänzt durch eine Feinadaptationsnaht. Dabei kann auch ein geflochtener Faden der Stärke 4/0 verwendet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Knoten nicht unmittelbar an anderen genähten Strukturen zu liegen kommen, um Verwachsungen vorzubeugen.

Nach Fertigstellung der Sehnennaht soll die Sehnenscheide, soweit möglich, rekonstruiert werden, weil dies günstig für die Ernährung und Gleitfähigkeit der Sehne ist. In der Regel gelingt dies jedoch nicht.

Zuletzt wird nach Blutstillung und Spülung des Operationsgebiets die Wunde mit feinen Einzelknopfnähten verschlossen. Bei Kindern bis etwa zum 6. Lebensjahr verwenden wir schnell resorbierbares Nahtmaterial (z.B. Vicryl rapid), um dem Kind die Entfernung der Fäden zu ersparen. Damit die Verbandswechsel nicht schmerzhaft sind, wird die Wunde mit Fettgaze abgedeckt.

Die Frage, ob partielle Sehnenrupturen versorgt werden sollen, wird in der Literatur unterschiedlich beantwortet. Um durch Reparationsvorgänge entstehende große narbige Sehnenknoten mit konsekutivem Bewegungsdefizit zu vermeiden, empfiehlt sich die Rekonstruktion, wenn ein Drittel und mehr vom Sehnenquerschnitt durchtrennt sind.

Technische Besonderheiten in den unterschiedlichen Verletzungszonen

Ist in Zone Dp1 die Profundussehne durchtrennt, kann im Idealfall bei entsprechender Länge des distalen Stumpfs die direkte Vereinigung mit Kernnaht und adaptierender Naht durchgeführt werden. Beträgt der distale Stumpf jedoch weniger als 1,5 cm, muss eine transossäre Fixation des proximalen Sehnenendes erfolgen. Dazu wird zunächst ein schräger Kanal mit einem 1,5 mm dicken Bohrer durch das Endglied gebohrt, anschließend die palmare Endgliedbasis bis auf etwa 2,0 mm weiter aufgebohrt, sodass das proximale Sehnenende transossär zu liegen kommen kann. Ein Faden der Stärke 3/0 mit doppelt armierter gerader Nadel wird durch den proximalen Sehnenstumpf in der Schnürsenkelnahttechnik nach Bunnell und anschließend durch das Bohrloch gezogen und über einem Orthoplastknopf mit weicher Unterlegscheibe am Fingernagel fixiert. Nach Resektion des distalen Sehnenstumpfs bis auf etwa 0,5 cm wird dieser distale Sehnenrest zur Verstärkung auf den inserierten proximalen Sehnenanteil mit U-Nähten aufgesteppt.

Manche Autoren verwenden zur basisnahen ossären Refixation der Beugesehne kleine Knochenanker. Dieses Vorgehen ist nicht nur zeitsparend, sondern bietet auch einen höheren Patientenkomfort, weil der Fingernagel nicht kompromittiert wird. Allerdings dürfte diese Technik eine geringere Ausreißfestigkeit haben und die höheren Kosten sind ebenfalls zu bedenken.

In den Zonen Dp3, Dp4 und Dp5 gelten die gleichen Versorgungsrichtlinien wie für Zone Dp2 beschrieben. Die Palmaraponeurose sollte im Operationsgebiet entfernt werden, während das Retinaculum flexorum in der Regel offen bleibt.

In den Zonen Dp4 und Dp5 dürfen bei Durchtrennung mehrerer Sehnen die korrespondierenden Sehnenstümpfe nicht verwechselt werden, meist sind sie jedoch durch den Querschnitt zuzuordnen (Abb. 7.52).

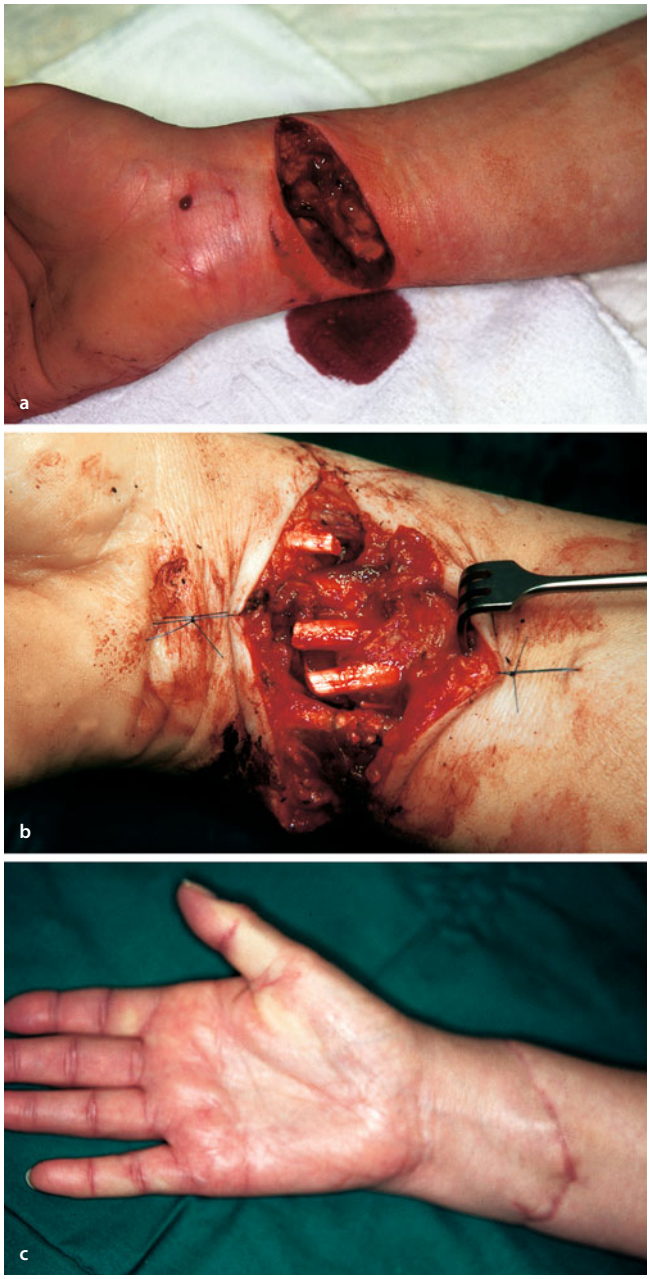


Abb. 7.52a–c So genannte Spaghetti-Wrist-Verletzung in Zone Dp5 mit entsprechender Zuordnung der korrespondierenden Sehnenstümpfe und Ausheilungsergebnis

Bei Durchtrennung der Sehne des M. flexor pollicis longus in Zone Pp2 empfiehlt sich die transossäre Fixation kombiniert mit einer Z- bzw. stufenförmigen Verlängerung der Sehne in ihrem muskulotendinösen Übergang am Unterarm. Dadurch wird die Nahtstelle außerhalb der Sehnenscheide und somit distal des A2-Ringbands gebracht und die Verwachsungsgefahr minimiert.

Nachbehandlung

Um einerseits die Nahtstelle nicht wesentlich zu belasten und andererseits Verwachsungen im Nahtbereich zu vermeiden, erfolgt die so genannte funktionell dynamische Nachbehandlung nach Kleinert et al. (1973). Am Fingernagel des verletzten Fingers wird mittels Fadenschlaufe aus einem geflochtenen Faden der Stärke 3/0

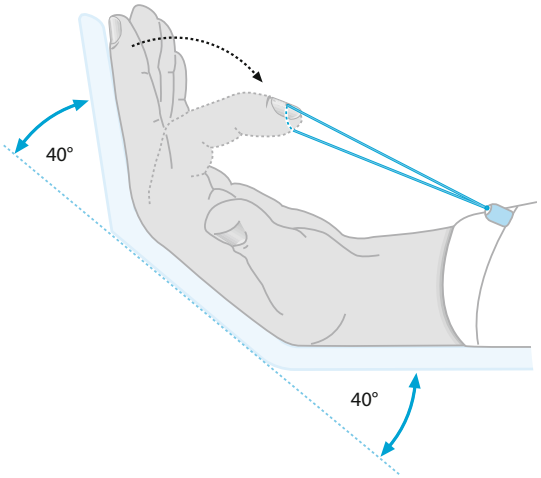


Abb. 7.53 Dynamische Nachbehandlungsanordnung nach Kleinert. (Mod. nach Schmit-Neuerburg et al. 2001)

oder aufgeklebten Metallhäkchen ein Gummizügel angebracht. Dieser soll die passive Beugung der Interphalangealgelenke gewährleisten. Unmittelbar nach Beendigung der Operation wird eine bis zu den Endgliedern reichende dorsale Schiene aus Gips oder thermoplastischem Material angelegt. Dabei wird im Handgelenk die maximale Beugung um ca. 40° reduziert, die Langfingergrundgelenke werden ca. 40° gebeugt und die Mittel- und Endgelenke jeweils in Streckstellung fixiert. Der Gummizügel wird mit dem anderen Ende etwa in Höhe des Skaphoids mit einer Sicherheitsnadel am Verband befestigt. Die dadurch erzielte passive Beugung der Interphalangealgelenke entlastet die genähte Sehne. Die aktive Streckung der Fingergelenke gegen den Widerstand des Gummizügels führt zu einer reflektorischen Erschlaffung der Beugemuskulatur und somit zu einer geringeren Belastung der Sehnennaht (Abb. 7.53).

Die aktive Bewegungstherapie beginnt schon am 1. postoperativen Tag, wobei der Patient nach krankengymnastischer Anleitung noch während des stationären Aufenthalts tagsüber etwa 10-mal pro Stunde die Fingermittel- und -endgelenke aktiv voll strecken soll. Die Spannung der Gummizügel sollte so eingestellt sein, dass der Finger ohne größere Anstrengung komplett gestreckt werden kann. Die dorsale Schiene verbleibt 3–4 Wochen. Danach wird noch 2 Wochen mit dem Gummizügel geübt, der in einem Handgelenkverband befestigt wird. Während des gesamten Behandlungszeitraums sollten engmaschige Kontrollen durch den Operateur und Krankengymnasten erfolgen. Etwa ab der 8. Woche ist eine zunehmende Belastung erlaubt. Patienten, die leichte Arbeit verrichten, können am Ende der 10. Woche ihre Arbeit wieder aufnehmen (Tab. 7.5).

Bei Verletzung der Daumenbeugesehne erfolgt der Zug in ulnarer Richtung. Bei gleicher Handgelenkstellung werden das Sattelgelenk in mittlerer Oppositionsstellung, das Grundgelenk in mittlerer Beugestellung und das Interphalangealgelenk in Streckstellung in einer Schiene eingestellt. Die Langfingergelenke können dagegen frei bleiben.

Kinder im Vorschulalter sind für eine dynamische Nachbehandlung noch nicht geeignet. In diesem Fall wird die verletzte Hand in einem Faustgipsverband ruhig gestellt, wobei darin die Fingergrundgelenke ungefähr 60°-, die Mittel- und Endgelenke jeweils 20°-flektiert sind. Nach 3 Wochen wird der Gips entfernt und mit aktiven Greifübungen begonnen. Die Eltern müssen in die Behandlung einbezogen werden.

Tab. 7.5 Funktionelle Nachbehandlung nach Kleinert nach primärer Beugesehnennaht

Zeitintervall	Maßnahme
Postoperativ	Ruhigstellung der Hand und des Handgelenks mit dorsaler Gipsschiene oder thermoplastischer Schiene
1.–7. Tag	Ödembehandlung, dorsale Schiene mit Handgelenk in ca. 40°-Flexion, MP-Gelenke in 40°-Flexion und gestreckten IP-Gelenken
2.–3. Woche	Entfernung der Hautfäden, leichte Friktionsmassage
4.–5. Woche	Entfernung der Schiene, aber weitere Zügelung mit Verband am Unterarm
6.–7. Woche	Leichte aktive Flexion der Finger, leichte Flexion und Extension des Handgelenks, isolierte Flexionsübungen, passive Mobilisation der Finger
8.–10. Woche	Flexionsübungen gegen leichten Widerstand
11.–12. Woche	Flexionsübungen gegen Widerstand
Nach 12 Wochen	Arbeitsfähigkeit auch für handwerklich tätige Patienten

Bei fehlender Compliance und bei kombinierten Handverletzungen empfiehlt sich die kontrollierte passive Bewegungstherapie nach Duran u. Houser (1975). In einer dorsalen Schiene werden Handgelenk und Fingergrundgelenke in gebeugter Stellung ruhiggestellt und die Mittel- und Endgelenke tagsüber 10-mal pro Stunde passiv voll flektiert und extendiert. Auch die nichtbetroffenen Finger sollen durchbewegt werden, damit sie nicht versteifen. Nach ungefähr 5 Wochen wird die Gipsschiene abgenommen und mit aktiven Flexions- und Extensionsübungen der Finger begonnen. Der Zeitrahmen zur Wiedererlangung der Beugefähigkeit entspricht in etwa dem der Kleinert-Nachbehandlung. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass bei dieser so genannten »controlled passive motion« für einen guten Behandlungsverlauf eine noch intensivere Verlaufskontrolle durch Operateur und Physiotherapeuten erforderlich ist.

Komplikationen

Die häufigsten Komplikationen sind Rerupturen im Bereich der Nahtstelle, Verwachsungen und Beugekontrakturen. Laut Literatur werden sie in bis zu 15% beobachtet. Bei komplexen Handverletzungen ist die Rate noch höher. Einer Reruptur, die innerhalb der ersten Tage nach Versorgung auftritt, liegt in der Regel ein technischer Fehler oder eine zu ungestüme Übungsbehandlung zugrunde. Ursache für Spätrupturen sind Nahtdehiszenz, Durchblutungsstörung und Überbeanspruchung bei Verwachsungen. Beugekontrakturen sind häufig Folge einer insuffizienten Physio- und Ergotherapie. Infektionen, Algodystrophie und Hämatome spielen eine eher untergeordnete Rolle.

Prognose

Auch wenn die Beugesehnenchirurgie in den letzten Jahren einem ständigen Wandel unterzogen war, Nahttechniken und -material variieren und immer ausgeklügeltere Nachbehandlungsregime entwickelt wurden, sind die Ergebnisse dennoch ernüchternd. So

konnten Friedel und Markgraf (Friedel et al. 1998) bei Primärversorgung lediglich 73% sehr gute und gute Ergebnisse erzielen. Dies deckt sich in etwa mit den älteren Zahlen von Lanz (1979).

Sekundäre Naht

Bei missglückter primärer Naht oder in Situationen, die eine Primärnaht unmöglich machten, gibt es eine Reihe von Operationsmethoden zur Wiederherstellung bzw. Verbesserung der Sehnenfunktion. Bei Reruptur sollte die Sekundärnaht so früh wie möglich erfolgen, wenngleich sie wegen Verwachsungen erschwert sein wird. Je nach Zustand der Sehne und ihres Gleitgewebes lässt sie sich bis etwa 3 Wochen nach Ruptur noch mit gutem Erfolg sekundär nähen. Die Operationstechnik unterscheidet sich dabei nicht von der bei primärer Naht.

Die häufigste Ursache für eine unbefriedigende Fingerbeugefähigkeit ist die Verwachsung der rekonstruierten Sehne. Wenn sich trotz intensiver Physio- und Ergotherapie, unterstützt von einer Schienenbehandlung, die Adhäsionen nicht lösen, besteht die Indikation zur Tenolyse. Notwendige Voraussetzungen sind Compliance, erhaltene, passiv freie Beweglichkeit der Gelenke und regelrechte Knochen- und Weichteilverhältnisse. Die Revision sollte nicht vor Abschluss der Heilphase des vorausgegangenen Ersteingriffs, also frühestens nach 5 Monaten, erfolgen. Bis dahin sollte die physikalische Therapie konsequent fortgesetzt werden.

Tenolyse

Operationstechnik

Der Eingriff wird in aller Regel in Plexusanästhesie durchgeführt. Gelegentlich reicht auch eine i.v.-Regionalanästhesie aus. Der Zugang sollte großzügig sein und über Bruner-Inzisionen von der Hohlhand bis zum distalen Interphalangealgelenk (DIP-Gelenk) reichen, wobei vorbestehende Narben in die Schnittführung einbezogen werden.

Je nach Lokalisation und Ausmaß der Adhäsionen wird die Sehnenscheide über mehrere quere Inzisionen zwischen den fibrösen Ringbändern gefenstert, gelegentlich ist auch ein Zugang im Zentrum des A2-Ringbandes erforderlich. Ist der Finger präoperativ gestreckt, erfolgt die Lyse von distal nach proximal, ist der Finger dagegen in Beugestellung fixiert, wird die Kapsel von proximal nach distal gelöst, bis sich der Finger komplett strecken lässt.

Nach der Sehnenscheidenfensterung werden die Sehnen, evtl. mit einer abgerundeten Skalpellklinge, zirkulär möglichst vollständig befreit. Dann wird unter die angrenzenden Ringbandanteile weitreichend stumpf disseziert, wobei die einzelnen Ringbänder geschont werden müssen. Mit einem feinen Dissektor wird nun ein angefeuchteter 1er Mersilenefaden durch die gefensterte Sehnenscheide platziert. Er verläuft zwischen Sehnenscheide bzw. Ringband und Sehnen, kommt dann unter den Sehnen auf der gegenüber liegenden Seite zu liegen, um »in derselben Mittellinie« wieder nach distal zum Ausgangspunkt zu gelangen. Die jeweilige Fadenpassage sollte nicht länger als 1,5 cm betragen. Die Sehnen werden am Faden hochgezogen und die Lyse durch Exzision der restlichen Adhäsionen komplettiert (Abb. 7.54).

In Zone Dp2 werden FDS und FDP (s. oben) zunächst gemeinsam, dann erst die einzelnen Sehnen voneinander gelöst.

Ist zusätzlich eine Kapsulolyse bzw. Arthrolyse erforderlich, müssen zunächst die Zügelbänder (check rein Ligamente) durchtrennt werden. Bei weiterhin unbefriedigender passiver Streckung werden nacheinander die palmare Platte am proximalen Anteil und die akzessorischen Seitenbänder inzidiert.

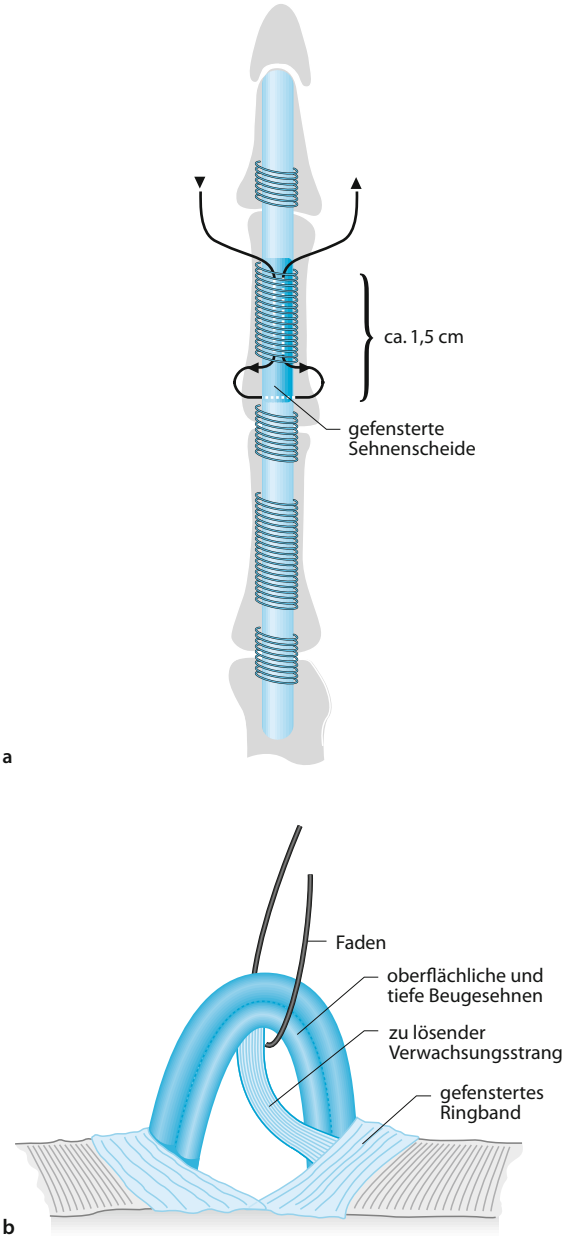


Abb. 7.54 Darstellung der Tenolyse (Einzelschritte s. Text)

Bei ausgedehnten Verwachsungen v.a. in Zone Dp2 in einem engen Fingerkanal kann zum Erhalt der tiefen Beugesehne die oberflächliche geopfert werden. Allerdings sollte dann zumindest ein distaler Zügel der oberflächlichen Beugesehne am Grundglied fixiert werden, um eine Schwanenhalsdeformität zu verhindern.

Nach Beendigung der Tenolyse mit Entfernung sämtlicher Verwachsungsstränge zeigt sich häufig das Fehlen der verschiedenen Ringbänder. Um einem so genannten Bow-string-Phänomen entgegenzuwirken, müssen das A2- und A4-Ringband unbedingt rekonstruiert werden. Dazu sind in der Literatur mehrere Methoden beschrieben. Ist eine lokale Verschiebeplastik mit Restgewebe nicht mehr möglich, nimmt man einen aus dem Retinaculum extensorum gewonnenen Streifen, der an das narbige Gewebe der ursprünglichen Ringbänder genäht wird. Dazu wird die be-

troffene Hand proniert, die Haut in Höhe des distalen Endes des Retinaculum extensorum quer inzidiert und auf das Retinaculum extensorum eingegangen. Nach weiterer Präparation wird in querer Richtung ein entsprechender Streifen aus dem Retinakulum entnommen und dieser als Ringbandersatz verwendet.

Beendet wird der Eingriff durch die obligatorische Prüfung der Sehnenfunktion. Dazu fordert man, abhängig von der gewählten Anästhesieform, den Patienten auf, aktiv zu beugen, oder man zieht an der Sehne mit Hilfe eines stumpfen Einzinkers proximal der zuvor gelösten Verwachsung. Das erzielte Ergebnis sollte dem Patienten zur Motivation für die Nachbehandlung möglichst intraoperativ demonstriert werden.

Nachbehandlung

Damit das intraoperativ erzielte Bewegungsausmaß erhalten bleibt, empfiehlt es sich, die Tenolyse zu Wochenbeginn durchzuführen. Bereits 12 h nach der Operation sollte unter entsprechender Schmerzmedikation mit der aktiven Mobilisation begonnen werden, ggf. bei Bedarf unterstützt durch Elektrostimulation oder dynamische Schienen. Wurden intraoperativ Ringbänder wiederhergestellt, müssen diese nach Beendigung der Krankengymnastik durch Tragen von Kunststoff- oder Lederringen für etwa 6 Wochen entlastet werden. Während der täglich mehrfach nötigen Beübung sollte der Physiotherapeut die rekonstruierten Ringbänder durch direkten Druck auf die entsprechenden Lokalisationen schützen. Die Übungsbehandlungen sollten mindestens während der ersten 6 Wochen durchgeführt werden. Übungen gegen Widerstand empfehlen sich wegen der Ausreißgefahr erst nach 5 Wochen.

Transplantation

Konnte aufgrund der lokalen Weichteilsituation keine Primär- oder auch Sekundärnaht durchgeführt werden, bleibt nur noch die Transplantation, die bei guten Weichteilverhältnissen einzeitig erfolgen kann. Meistens ist jedoch zunächst die Implantation eines Sehnenplatzhalters aus Silastic erforderlich. Rekonstruiert wird nur die tiefe Beugesehne. Als Sehnentransplantat bietet sich – falls vorhanden – die Sehne des M. palmaris oder plantaris longus bzw. die Strecksehne der 2. Zehe an.

Bei der zweizeitigen Sehnentransplantation unterscheidet man das kurze Transplantat zwischen Finger und Hohlhand vom langen zwischen Finger und distalem Unterarm. Bei den am häufigsten vorkommenden Verletzungen in Zone Dp2 eignet sich die zweizeitige kurze Beugesehnentransplantation. Voraussetzung für diese zeitaufwändige Rekonstruktionsmethode sind eine freie passive Beweglichkeit, intakte Durchblutung und Sensibilität sowie ein kooperativer Patient.

Operationstechnik

In der 1. Sitzung wird der betroffene Finger bis in die Hohlhand zickzackförmig nach Bruner eröffnet und die vernarbte Sehnenscheide und Sehnenreste reseziert. Nach Wiederherstellung der Ringbänder – v.a. des A2- und A4-Ringbandes – wird ein Silastic-Stab in das Sehnengleitlager eingelegt, wobei der Querschnitt des Stabes etwas größer als der des zu verwendenden Sehnentransplantats in der 2. Sitzung sein soll. Eine häufig verwendete Größe ist die Charge 4 mit ovalem Durchmesser. Sie wird nach Längenbestimmung mit dem abgeschnittenen Ende am etwa 1 cm langen Profundusstumpf mit Einzelknopfnähten End-zu-End fixiert. Das ovale Ende des Silasticstabs liegt in Streckstellung des Fingers proximal des A1-Ringbands in der Hohlhand. Proximal braucht der Stab nicht angenäht zu werden. Die Elastizität der späteren Motorsehne kann auch durch Fixierung derselben an das A1-Ringband erhalten werden (Abb. 7.55).

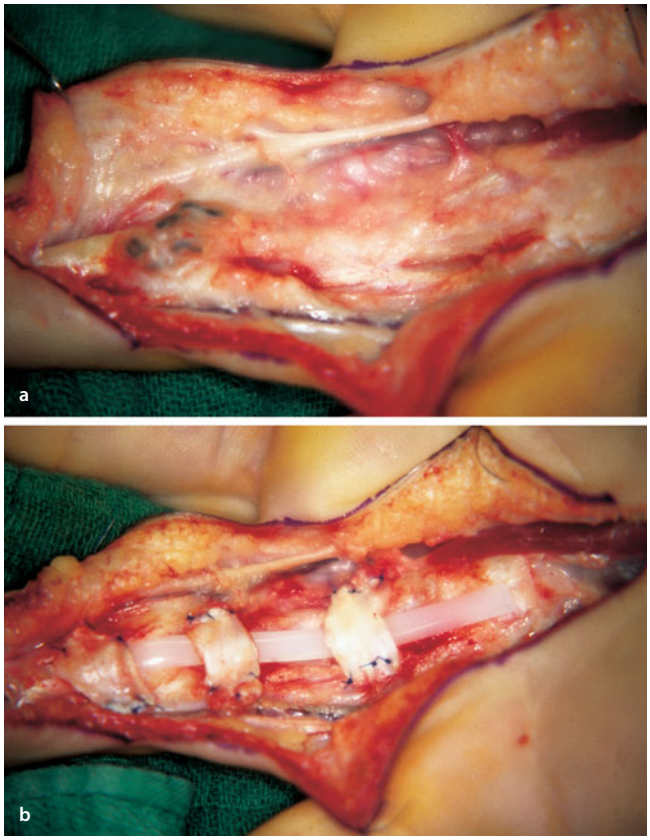


Abb. 7.55a,b **a** Intraoperativer Situs vor der 1. Sitzung. **b** Eingelegter Silastic-Stab und rekonstruierte Ringbänder aus einem Streifen des Retinaculum extensorum

Ausgiebige Wundspülungen und die Einlage einer Redon-Saugdrainage beenden die 1. Sitzung, die unter antibiotischer Abdeckung durchgeführt werden sollte. Postoperativ ist eine etwa 2-wöchige Ruhigstellung in einer palmaren Gipslonguette sinnvoll. Zu frühe intensive Krankengymnastik kann nämlich zu einer durch den Silastic-Stab induzierten Entzündung des umliegenden Gewebes führen.

Bis zur 2. Sitzung nach 12 Wochen muss der Patient eine völlig freie passive Fingergelenkbeweglichkeit erzielt haben. Nun werden die Stabenden durch 2 kleine Inzisionen über der Endgelenkbeugefalte und der Hohlhandnarbe aufgesucht. Ein Transplantat wird entweder mit Hilfe eines Sehnenstrippers oder durch mehrere kleine quere Hautinzisionen im Verlauf der Sehne des M. palmaris longus gehoben. Dann wird es am proximalen Ende des Stabs angenäht. Anschließend löst man den Stab am Endglied und zieht ihn nach distal heraus. Dabei wird das Transplantat in das neu geschaffene fibröse Gleitlager gezogen und anschließend transossär am Endglied fixiert.

Von entscheidender Bedeutung ist die richtige Längenbestimmung des Transplantats. Sowohl in maximaler Extensions- als auch Flexionsstellung soll der betroffene Finger in einer etwa um 1 cm vermehrten Beugestellung eingestellt werden, da der Beugemuskel zwischenzeitlich geschrumpft ist, sich aber im weiteren Verlauf wieder dehnen wird.

Transplantat und Sehne werden mit End-zu-End-Naht in Zechner- (Abb. 7.51) oder Pulvertaft-Technik (Abb. 7.56) ge-

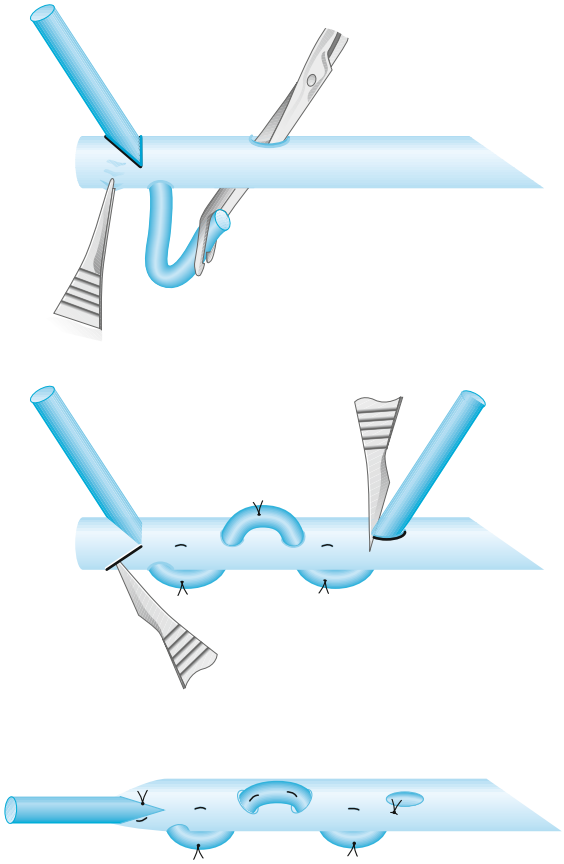


Abb. 7.56 Nahttechnik nach Pulvertaft

Abb. 7.57 Postoperatives funktionelles Ergebnis nach 2. Sitzung bei dem Patienten aus Abb. 7.55

näht. Zur Deckung der Naht kann die oberflächliche Beugesehne gesplittet und aufgesteppt werden. Nun wird der Situs ausgiebig gespült, drainiert und verschlossen. Für die funktionelle Nachbehandlung wird eine dorsale Schiene aus Gips oder thermoplastischem Material anmodelliert.

Prognose

Brug et al. (1998) untersuchten 256 Patienten nach, bei denen zweizeitige Beugesehnentransplantationen vorgenommen worden waren, und fanden nur in etwa 56% gute bis sehr gute Resultate. Dies unterstreicht, wie wichtig es ist, den Patienten über das Risiko verbleibender Funktionseinbußen eingehend aufzuklären. Außerdem muss man ihn darauf aufmerksam machen, dass die Nachbehandlung langwierig sein wird (Abb. 7.57).

Tenodese

Lässt sich die Endgelenkbeugefähigkeit nicht wiederherstellen, sind Tenodese oder Arthrodese in funktionell günstiger Beugestellung des Endgelenks Alternativen. Da bei einer Tenodese die Beugestellung durch starke Belastung nachgeben kann, empfiehlt sich dieses Verfahren nur bei Kindern und nicht handwerklich tätigen Erwachsenen. Nach zickzackförmiger Eröffnung nach Bruner über dem End- und Mittelglied wird der Profundussehnenstumpf je nach den Bedürfnissen des Patienten in etwa 25°-Beugestellung am Periost oder am A4-Ringband mit einem monofilen Faden der Stärke 4/0 mittels U-Nähten fixiert. Die Stellung soll durch eine temporäre K-Draht-Transfixation (Stärke 1,0 mm) für etwa 5 Wochen zusätzlich gehalten werden. Für Handwerker im weitesten Sinne eignen sich Arthrodesen in Form einer Zuggurtung oder durch Zugschrauben.

Zu weiteren Techniken des Beugesehnenersatzes wird auf die handchirurgische Literatur verwiesen. In diesem Zusammenhang ist die Technik der gestielten zweizeitigen Transplantation mit Schlaufenbildung aus dem proximalen Stumpf der oberflächlichen und tiefen Beugesehne (Paneva-Holevich 1969) und die der Sehnentransposition der oberflächlichen Beugesehne von D4 als lange Daumen- oder tiefe Kleinfingerbeugesehne zu nennen (Geldmacher u. Köckerling 1991, Schneider u. Wehbe 1988).

7.5.2 Strecksehnenruptur

Ätiologie

Aufgrund der exponierten subkutanen Lage unmittelbar unter einem dünnen Weichteilmantel kommen Verletzungen der Strecksehnen wesentlich häufiger vor als die der Beugesehnen. Vor allem wegen des anatomisch komplexen Aufbaus des Extensorenapparats distal des Grundgelenks ist eine präzise Wiederherstellung nach einem Trauma für die spätere Funktion unabdingbar.

Bei Strecksehnenverletzungen müssen offene Durchtrennungen durch entsprechende direkte traumatisierende Mechanismen von gedeckten subkutanen Rupturen infolge plötzlicher Überdehnung oder degenerativer Veränderungen unterschieden werden. Aufgrund der engen Lagebeziehung sind bei den meist komplexen Sägeverletzungen Knochen, Gelenke und der Weichteilmantel mitbetroffen. Septische Wunden beispielsweise nach Bissverletzungen sind insbesondere bei Gelenkbeteiligung problematisch. Die Einschätzung einer Strecksehnenverletzung nimmt Einfluss auf die Versorgung und bestimmt somit deren Prognose.

Klinik und Diagnostik

Offene Strecksehnenverletzungen sind in aller Regel mit den typischen Verletzungszeichen wie Schwellung, Blutung und Hautdurchtrennung vergesellschaftet. Je nach Wundlokalisation weist eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Fehlstellung des betroffenen Fingers mit Streckdefizit auf die Art der Verletzung hin. Aufgrund der komplexen anatomischen Verhältnisse der Streckaponeurose (▶ Abschnitt 7.1, Basiswissen) können gerade gedeckte Strecksehnenrupturen unerkannt bleiben. Druckschmerz und Subluxationsstellung weisen auf eine knöcherne Mitbeteiligung hin. Zum Ausschluss oder Nachweis einer knöchernen Verletzung werden Röntgenaufnahmen möglichst in 3 Ebenen angefertigt.

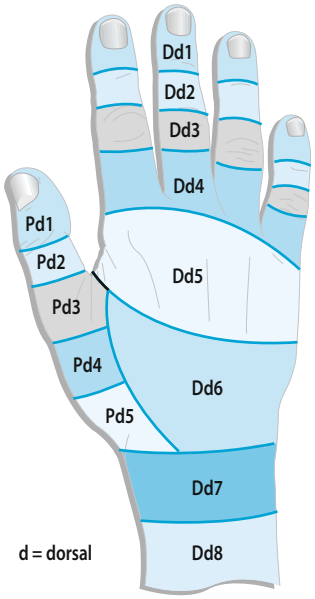
Bei einer Verletzung des Mittelzügels in Zone Dd3 (◘ Abb. 7.58) entsteht nach Tagen oder Wochen die so genannte Knopfloch- oder Boutonniere-Deformität. Dabei gleiten die intakten Strecksehnenseitenzügel nach palmar ab. Bei Beugung im PIP-Gelenk schlüpft das Grundgliedköpfchen wie durch ein Knopfloch durch die beiden Seitenzügel, wodurch es zu einer Beugefehlstellung des Mittelgelenks und zu einer Überstreckung des Endgelenks kommt (◘ Abb. 7.59).

Rupturieren bei einem Faustschlag die radialen Fasern der Streckerhaube in Höhe des Grundgelenks, luxiert die Sehne nach ulnar in den Intermetakarpalraum. Der Nachweis erfolgt durch das Abweichen der Strecksehne beim Faustschluss.

Bei Überprüfung des Daumenstreckapparats muss bei Intaktheit die Streckfähigkeit sowohl im Grundgelenk als auch im Endgelenk gewährleistet sein. Die Sehnenbegrenzung der Tabatière lässt sich beim Abspreizen des Daumens tasten. Im Zweifelsfall hilft die Prüfung gegen Widerstand weiter, ggf. auch im Seitenvergleich. Bei Unsicherheit muss die Sehne revidiert werden.

Zoneneinteilung

In Anlehnung an die Zoneneinteilung bei Beugesehnenverletzungen wird der Streckapparat zur Vereinfachung der Diagnosestellung mit entsprechender Klinik und daraus resultierenden Therapieempfehlungen ebenfalls in Zonen unterteilt. Pechlaner et al. (1998) haben die Klassifikation von Verdan modifiziert. Dabei werden die Langfinger in 8 und der Daumen in 5 Zonen unterteilt, wobei die ungeraden Zahlen die Gelenkbereiche, die geraden die Schaftbereiche kennzeichnen (◘ Abb. 7.58).



◘ **Abb. 7.58** Zoneneinteilung der Strecksehnen nach Pechlaner

◘ **Abb. 7.59** Knopflochdeformität an D4 rechte Hand

Konservative Therapie

Die konservative Therapie wird grundsätzlich bei den häufigen rein ligamentären, geschlossenen Strecksehnenläsionen in der distalen Zone Dd1 angewendet. Damit gute Ergebnisse erzielt werden können, ist eine konsequente und ausreichend lange Immobilisation mit entsprechender Patientenaufklärung und engmaschigen Kontrollen unabdingbar.

Das Endgelenk wird in 10° Überstreckstellung mit einer Aluschiene immobilisiert, die zum Hautschutz mit einem Schaumstoff unterlegt ist. Sie wird zunächst am Endglied, dann am Mittelglied mit einem Pflasterstreifen fixiert. Diese Schiene soll für 8 Wochen permanent und dann nochmals für 4 Wochen zur Nacht getragen werden.

Die Abnahme und Wiederanlage der Schiene sollte unter ärztlicher Anleitung erfolgen.

Die Stack-Schienen haben Nachteile: Sie sind vorgefertigt und nicht individuell angepasst, verursachen häufig Hautmazerationen und strecken das Endgelenk nicht zuverlässig. Die früher praktizierte, perkutan durchgeführte temporäre K-Draht-Transfixation des Endgelenks bei überstrecktem Endglied kann dagegen Hautnekrosen und Arthrosen bis hin zu Osteitiden verursachen. Eine zusätzliche Ruhigstellung des Mittelgelenks in 60°- bis 80°-Beugestellung, wie sie von manchen Autoren unter der Vorstellung einer maximalen Entlastung der Seitenzügel propagiert wird, ist laut Partecke (1998) nicht erforderlich.

Auch die subkutane Ruptur der Pars medialis des Tractus intermedius in Zone Dd3 wird konservativ behandelt. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine intakte Pars lateralis des Tractus intermedius und ein intakter Tractus lateralis. Diese Situation liegt vor, wenn der im Mittelgelenk passiv in Streckstellung gebrachte Finger aktiv über die Seitenzügel in Streckstellung gehalten werden kann. Dann wird das Mittelgelenk in Streckstellung für 6 Wochen ruhiggestellt, wobei Grund- und Endgelenk beübt werden dürfen.

Operative Therapie

In Zone Dd1 wird hauptsächlich der treppenförmige Hautschnitt eingesetzt, während in den Zonen Dd2 bis Dd5 die Schnittführung durch die Art der Verletzung vorgegeben wird. Bei geschlossenen Rupturen ist die bogenförmige Umschneidung des Gelenks günstiger, weil durch die räumliche Trennung der Sehnenheilung

zur Wundheilung weniger Verwachsungen entstehen. In den Zonen Dd6 bis Dd8 soll das Abheben des Hautmantels vermieden werden, weil dies Verwachsungen Vorschub leistet.

Aufgrund des unterschiedlichen Querschnitts und der variierenden Gleitamplituden der Strecksehnen bedarf es einer individuell angepassten Nahttechnik. Bei Verletzungen im Bereich des Handrückens bzw. des Handgelenks kommt die Nahttechnik nach Zechner (s. oben, Abb. 7.51) zum Einsatz. Das Nahtmaterial unterscheidet sich nicht von dem der Beugesehnenchirurgie. Im Fingerbereich kommen U-Nähte oder einfache Einzelknopfnähte zur Anwendung.

Operative Therapie in Zone Dd 1 und Zone Dd 2

Suckert et al. (1987) teilen die subkutanen Strecksehnenverletzungen in den Zonen Dd1 und Dd2 in 4 Typen ein (Abb. 7.60).

Laut Untersuchungen von Hoch et al. (1999) gibt es die Bezeichnung »knöchernen Strecksehnenab- oder –ausriss« überhaupt nicht, da Fasern der Streckaponeurose nicht nur am proximalen Rand der Endgliedbasis inserieren, sondern auch distal des bei dieser Fraktur typischen Fragments ansetzen. Deshalb sollte man lieber den Begriff »Fraktur der dorsalen Endphalanxbasis« nutzen.

Während diese dorsalen Endphalanxbasisfrakturen bisher regelhaft operativ angegangen wurden, wird die Notwendigkeit zur Operation nur noch bei bereits vorhandener palmarer Subluxation des Endgliedes gesehen. So konnte Weber et al. (2008) zeigen, dass die konservative Therapie der großen knöchernen Malletverletzungen mit Beteiligung von ein bis zwei Dritteln der Gelenkfläche ohne palmare Subluxation der operativen Behandlung überlegen ist. Somit besteht ein zwingendes operatives Vorgehen bei Gelenkluxationen mit einem großen Frakturfragment von >40% der Gelenkfläche ohne Kontakt zwischen Fragment und Endgliedbasis sowie stark fehlrotierten Fragmenten. Als Osteosyntheseverfahren kommen K-Drähte, Drahtcerclagen/Ausziehdrähte, Zuggurtungen, Sehnenausziehnähte, Hackendrahtosteosynthesen, Schrauben und kleine Platten zur Anwendung.

Als Nachteile werden eine schwierige anatomische Reposition und Retention, Bruch des Frakturfragmentes, Nagelwachstumsstörung, Wundinfektion, Weichteilaffektion durch ein zu großes Implantat sowie Knorpelläsion des Endgelenks bei temporärer DIP-Gelenktransfixation genannt.

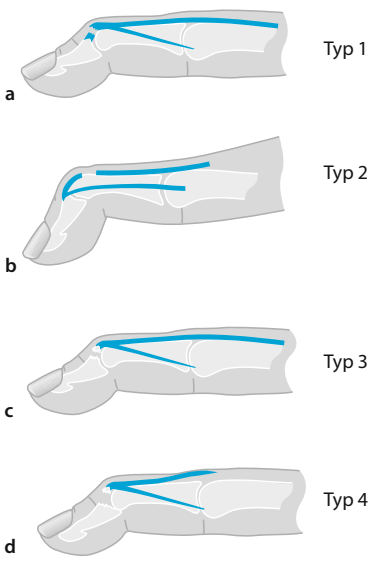


Abb. 7.60a–d Einteilung der Strecksehnenverletzungen in Zone Dd1 und 2 in 4 Typen nach Suckert. **a** Typ 1: Ruptur distal des Landsmeer-Bandes. **b** Ruptur proximal des Landsmeer-Bandes. **c** Knöcherner Ausriss. **d** Luxationsfraktur

Bei der operativen Therapie wird das Fragment nach Y-förmiger Hautinzision unter Bildwandlerkontrolle reponiert, wobei die Strecksehne nicht weiter durchtrennt wird. Anschließend wird das reponierte Fragment mit zwei parallel von dorsal nach palmar schräg eingebrachten 0,6 mm dicken K-Drähten fixiert. Nach Bildwandlerkontrolle werden beide Drähte nacheinander mittels einer Biegehülse umgebogen und zusätzlich an das Fragment angedrückt. Nach Abschlussröntgenkontrolle erfolgt die Anlage einer Castschiene, welche in den nächsten Tagen durch eine thermoplastische Schiene nach Maß ersetzt wird. Diese schließt nur das Mittel- und Endglied des Fingers ein. Sie wird für 6 Wochen belassen, eine ME erfolgt 8 Wochen postoperativ (Lautenbach et al. 2008).

Bei offenen Verletzungen der Streckaponeurose in Zone Dd2 empfehlen sich aufgrund des flachen und dünnen Sehnenquerschnitts U-Nähte. Gleichzeitig kann das Endgelenk in Extension mit einem 1,0 mm dicken K-Draht fixiert werden. Dieser wird nach 4 Wochen entfernt und das Gelenk mittels Aluschiene identisch der konservativen Therapie für nochmals 2 Wochen ruhiggestellt. Die volle Belastung ist nach 8 Wochen möglich.

Operative Therapie bei veralteten Strecksehnenverletzungen in den Zonen Dd1 und Dd2

Liegt eine veraltete oder unbehandelte Strecksehnenläsion in den Zonen Pd1, Dd1 und Dd2 mit einem funktionsstörenden Streckdefizit vor, wird die Dermatotenodese als etabliertes Verfahren mit guten klinischen Ergebnissen favorisiert. Es wird über dem Endgelenk das narbig veränderte Strecksehnengewebe samt Hautanteil in einer Ausdehnung von ca. 3 mm elipsenförmig ausgeschnitten. Anschließend werden Haut und Sehne als eine Einheit mit nicht resorbierbaren U-Nähten in Streckstellung des DIP-Gelenks vernäht. Die Naht wird vorher durch eine temporäre K-Draht-Transfixation (1,0 mm) des DIP-Gelenks für ca. 4 Wochen gesichert. Die Nachbehandlung entspricht der bei frischen Verletzungen im Endgelenkbereich.

Operative Therapie in den Zonen Dd3 oder Dd4

Handelt es sich um geschlossene oder offene Strecksehnenläsionen in den Zonen Dd3 oder Dd4, wird meist nach Schnitterweiterung zunächst das PIP-Gelenk wiederum mit einem K-Draht fixiert. In aller Regel sind selbst bei einem kurzen distalen Mittelzügelstumpf Einzelknopfnähte bzw. U-Nähte möglich. Dabei muss man darauf achten, dass die einzelnen Sehnenanteile wegen der unterschiedlichen Gleitamplitude getrennt genäht werden.

Wenn eine primäre Naht, z.B. bei Defektverletzungen des Tractus intermedius nach Hobelverletzungen, nicht mehr durchführbar ist, muss der Defekt plastisch überbrückt werden, um eine konsekutive Knopflochdeformität zu vermeiden. Dazu sind in der Literatur eine Reihe von Operationstechniken angegeben, u.a. die Umkehrplastik nach Snow, bei der ein Sehnenlappen von proximal umgeschlagen wird. Dieser distal gestielte Lappen wird aus der Pars medialis des Tractus intermedius proximal ausgeschnitten, wobei der Lappen nicht zu breit sein darf. Seine Länge richtet sich danach, ob er nach dem Umschlagen entweder am Ligamentum triangulare über dem Mittelglied vernäht oder mittels Mitek-Ankern an der Mittelgliedbasis knöchern inseriert wird. Bei letzterem Vorgehen kann der Lappen kürzer gehalten werden. Damit ein weiteres Einreißen des Lappens vermieden wird, muss nach Lappenbildung die Umschlagstelle beiderseits mit Nähten gesichert werden. Der umgeklappte Lappen wird dann distal mit der

Streckaponeurose und seitlich mit den Tractus laterales vernäht. Der proximal entstandene Defekt am Tractus intermedius wird durch Einzelknopfnähte überbrückt (Abb. 7.61).

Die Tractus laterales dürfen nicht zu weit streckseitig heraufgezogen werden, da sie sonst nicht mehr nach palmar gleiten können und somit das DIP-Gelenk nicht mehr gebeugt werden kann.

Der Eingriff wird wiederum mit einer temporären K-Draht-Transfixation in Extensionsstellung im PIP-Gelenk beendet. Es erfolgt eine Ruhigstellung zunächst im Gips, dann durch eine Alu-Schiene für insgesamt 6 Wochen. Der Draht wird nach 4 Wochen entfernt und anschließend mit Bewegungsübungen der benachbarten Fingergelenke begonnen.

Diese Technik kann in gleicher Weise auch bei großen Sehnendefekten angewandt werden. Sie geht auf Foucher zurück. Etwa die Hälfte der Langfingerstrecksehne wird in den Zonen Dd6 bis Dd7 proximal abgespalten und distal gestielt nach peripher umgeschlagen, sodass damit ausgedehnte Defekte in den Zonen Dd3 bis Dd5 überbrückt werden können.

Zeichnet sich bei Sehnenverletzungen in der Zone Dd3 eine Knopflochdeformität ab, muss geprüft werden, ob das PIP- und das DIP-Gelenk frei beweglich sind. In diesem Fall kann möglichst bald operiert werden. Hat sich jedoch eine chronische Knopflochdeformität mit fixierter Beugekontraktur durch Schrumpfung der Seitenzügel ausgebildet, bedarf es einer intensiven Vorbehandlung mit Quengelschienen für mindestens 3 Monate.

Operative Therapie in Zone Dd5

Bei offenen Strecksehnenverletzungen in Höhe des Grundgelenks (Zone Dd5) muss nach Schnitterweiterung zunächst das Gelenk, das häufig mit eröffnet ist, revidiert und anschließend die Sehne mittels U-Nähten rekonstruiert werden. Am 2. Strahl sollte die Sehne des Extensor indicis proprius mitgenäht werden. Wird eine Ruptur der Streckerhaube frühzeitig erkannt, reicht in aller Regel die einfache Adaptationsnaht aus. Ist jedoch die alleinige Raffnaht nicht mehr möglich, wird nach Michon ein Sehnenstreifen vom Extensor digitorum communis abgespalten und über dem Defekt an der Gelenkkapsel fixiert. Dadurch kann die Streckaponeurose auf dem Metakarpalknochen zentralisiert werden. Daran schließt sich eine 3-wöchige postoperative Ruhigstellung des Metakarpophalangealgelenks in 30°-Flexionsstellung in einer palmaren Gipsschiene an.

Operative Therapie proximal des Konnexus

Bei Strecksehnenverletzungen proximal der Connexus intertendinei verwenden wir im Allgemeinen eine Kernnaht und eine Adaptationsnaht nach Zechner (s. oben, Abb. 7.51) in Anlehnung an die Versorgung bei Beugesehnenverletzungen. Natürlich eignen sich auch andere Nahttechniken wie U-Nähte oder Schnürsenkelnähte nach Bunnell. Handelt es sich jedoch um größere Defektverletzungen an den Strecksehnen, muss dieser Defekt entweder durch Ersatzsehnen (Mm. extensor indicis proprius bzw. extensor digiti minimi), einen abgespaltenen Sehnenanteil der Nachbarsehne oder ein freies Transplantat (M. palmaris longus) überbrückt werden. Die verwendete Sehne wird dann in die verbliebenen Sehnen eingezogen. Es erfolgt die Ruhigstellung in einer palmaren Gipslonguette für 5 Wochen, die volle Belastung ist nach 8 Wochen erlaubt.

Bei komplexen Handverletzungen muss eine mögliche Osteosynthese mit Weichteilgewebe bedeckt sein, um dadurch Sehnenverklebungen zu vermeiden.
Auch bei Sehnennähten im Verlauf des Retinaculum extensorum besteht die Gefahr der Verwachsung. Im Zweifelsfall ist eine Plastik oder Teilentfernung des Retinaculums erforderlich.

Operative Therapie am Daumen

Verletzungen am Daumen in den Zonen Pd1 bis Pd5 werden in gleicher Weise wie an den Langfingern versorgt. Bei subkutan rupturierten, degenerativ veränderten und aufgefaserten Sehnen-

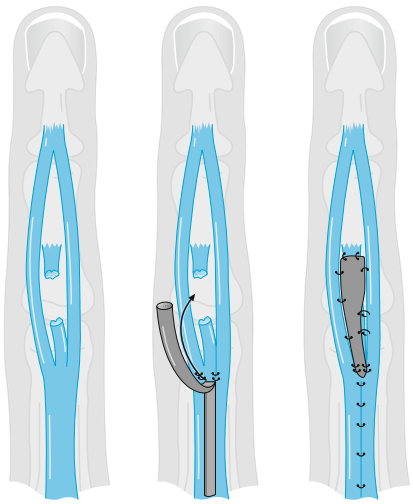


Abb. 7.61 Technik der Umkehrplastik nach Snow

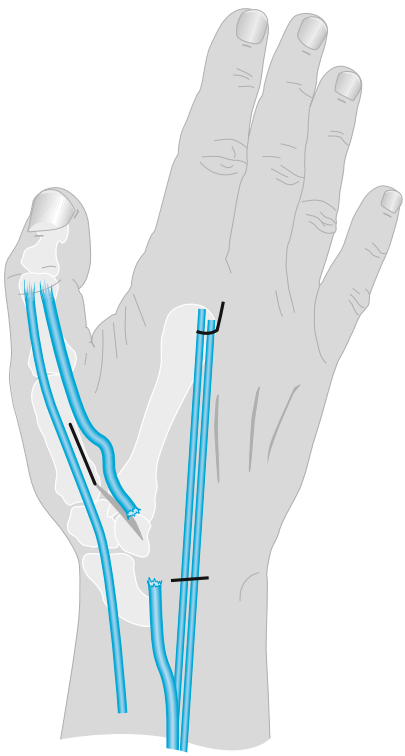


Abb. 7.62 Die erforderlichen Inzisionen beim Indicistransfer

stümpfen der Sehne des M. extensor pollicis longus ist eine direkte Naht der Sehne nicht mehr möglich. Gleiches gilt bei langstreckigen Defektverletzungen und bei verzögert erkannter offener Durchtrennung dieser Sehne mit Retraktion des Muskelbauchs. In diesen Fällen ist der Transfer der Sehne des M. extensor indicis proprius auf die des M. extensor pollicis longus indiziert (Nigst 1990).

Operationstechnik des Indicistransfers. Der Eingriff wird über 3 Inzisionen vorgenommen (Abb. 7.62).

Von einem etwa 1,5 cm langen bogenförmigen Hautschnitt ulnar des Metakarpale-II-Köpfchens wird die Sehne des M. extensor indicis proprius ulnar der Sehne des M. extensor digitorum communis 2 aufgesucht und schräg von ulnar proximal nach radial distal abgetrennt, sodass der periphere Sehnenstumpf mit 2 U-Nähten an die Sehne des M. extensor digitorum communis adaptiert werden kann. Um den Stumpf der Sehne des M. extensor indicis proprius leichter nach proximal verfolgen zu können, wird dieser mit einer Klemme angespannt. Von einer zweiten ca. 2 cm langen Querinzision knapp distal des Retinaculum extensorum wird die angespannte Sehne nach dem Austritt aus dem 4. Strecksehnenfach identifiziert und in die zweite Inzision vorgezogen. Als nächstes wird ein etwa 3 cm messender Längsschnitt über dem Metakarpale-I im Verlauf der Sehne des M. extensor pollicis longus angelegt und der distale Stumpf nach Darstellung angefrischt. Von dieser dritten Inzision aus wird das Subkutangewebe bis zur zweiten distal des Retinaculum extensorum vorsichtig tunneliert und die Sehne des M. extensor indicis proprius unter der des Extensor digitorum communis 2 und den Ästen des R. superficialis n. radialis, jedoch über den Sehnen der Mm. extensoris carpi radialis longus et brevis zum 1. Mittelhandknochen durchgezogen. Die Sehnenvereinigung erfolgt mit der Durchflechtungsnaht nach Pulvertaft (Abb. 7.56).

Nach Anfrischung und Durchstechung der Sehne des M. extensor pollicis longus mit dem Skalpell wird eine Klemme eingeführt, die Sehne des M. extensor indicis proprius an 3 Stellen in einem versetzten Winkel durchgezogen und unter entsprechender Spannung mit U-Nähten fixiert. Die Sehnenspannung wird so gewählt, dass bei neutraler Stellung des Handgelenks das Interphalangealgelenk des Daumens in Überstreckstellung steht (Abb. 7.63).

Die Durchflechtungsnaht darf wegen der konsekutiven Bewegungseinschränkung nicht zu nahe an das Daumengrundgelenk gelegt werden.

Ob durch eine weitere Naht des proximalen Stumpfs der Sehne des M. extensor pollicis longus an den der Sehne des M. extensor indicis proprius in Höhe des distalen Unterarms die Kraft der Daumenstreckung erhöht wird, steht in der Diskussion. Die meisten Autoren verzichten auf diese zusätzliche Naht.

Während früher noch postoperativ der Daumen unter Einschluss des IP-Gelenks in Extensionsstellung für ca. 3 Wochen in einer Cast-Longuette konsequent ruhiggestellt wurde (so genannter Autostopp-Gips), setzt sich immer mehr die frühaktive Nachbehandlung durch. Dies erklärt sich durch die Einflechtnähte nach Pulvertaft, die zu den stabilsten Sehnennähten gehören und deshalb eine frühe aktive Nachbehandlung ermöglichen. So konnten K. Megerle et al. 2008 zeigen, dass selbst die sofortige Freigabe der rekonstruierten Daumenstrecksehne mit aktiver Daumenstreckung in einer dynamischen Schiene nicht zu einer höheren Komplikationsrate führte.

Wesentlicher Vorteil gegenüber einer Transplantation ist, dass man nur eine Naht braucht und die Sehne im Vergleich zum Transplantat besser durchblutet ist, bei annähernd gleicher Zugrichtung und Gleitamplitude. Demgegenüber stehen mögliche Nachteile wie die Irritation des R. superficialis n. radialis, die mögliche Schwächung der Zeigefingerstreckung (Cave: Musiker!) und der Verlust der Retropulsion des Daumens.

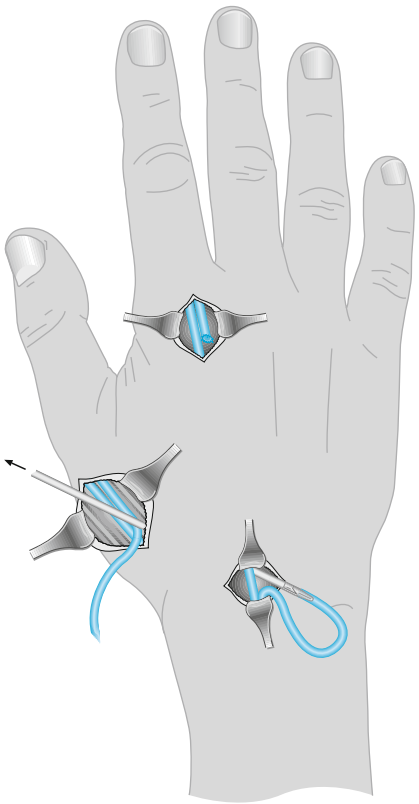


Abb. 7.63 Schematische Darstellung des Sehnentransfers Extensor indicis auf Extensor pollicis longus

Nachbehandlung

Während Strecksehnenverletzungen in den Zonen Dd1 bis Dd4 bzw. Pd1 bis Pd3 in der Regel mit einer palmaren Gipsschiene in 40°-Handgelenkextension und 20°-Grundgelenkflexion für 3–4 Wochen mit guten Ergebnissen nachbehandelt werden können, hat sich in den letzten Jahren für die Zonen Dd5 bis Dd 8 bzw. Pd4 bis Pd5 die dynamische Nachbehandlung im Sinne einer umgekehrten Kleinert-Schienen-Behandlung mehr und mehr durchgesetzt. Dabei wird die Beugung aktiv und die Streckung passiv durchgeführt. Dadurch sollen gerade bei komplexen Strecksehnenverletzungen Vernarbungen, Beuge- und Streckdefizite sowie Gelenkeinsteifungen vermieden werden. Grundvoraussetzung ist allerdings ein in die Behandlung eingewiesener, motivierter Patient (Tab. 7.6).

Komplikationen und Prognose

Am häufigsten werden Sehnenläsionen im Bereich des Mittelzügels und am Handrücken übersehen. Nach komplexen Strecksehnenverletzungen sind narbige Verkürzungen der Sehnen und des umgebenden Gewebes mit konsekutiver Bewegungseinschränkung keine Seltenheit. Deshalb verzichtet man auch heute auf zu lange Ruhigstellungszeiten.

Die allgemeine Ausheilungsrate liegt nach Vaienti und Merle (Vaienti 1997) bei 98%. Chow u. Ip (1997) fanden 6 Monate nach

Tab. 7.6 Funktionelle Nachbehandlung nach primärer Strecksehnennaht. (Nach Chow u. Ip 1997)

Zeitintervall	Maßnahme
Postoperativ	Hochlagerung, abschwellende Maßnahmen, palmare Gipsschiene mit Handgelenk in 30°-Extension und MP- bzw. IP-Gelenke in Streckstellung
1. bis 7.Tag	Regelmäßige Verbandswechsel, dynamische Schiene mit 30°-Handgelenkextension und voller Extension von PIP-Gelenk, passive Extension von MP/PIP-Gelenken, aktive Flexion bis 30° im MP-Gelenk
1. bis 2.Woche	Aktive Flexion bis 45° im MP-Gelenk gegen Zügel, Entfernung der Fäden
2. bis 3.Woche	Aktive Flexion bis 60° im MP-Gelenk gegen Zügel
3. bis 4.Woche	Volle aktive Flexion im MP-Gelenk möglich
Nach 5 Wochen	Entfernung der dynamischen Schiene. Aktive Flexion und Extension der Finger, Handgelenkmobilisierung
Nach 6 Wochen	Bewegung gegen Widerstand
Nach 7 Wochen	Kräftigungsübungen

dynamischer Schienenbehandlung von Strecksehnenläsionen der Zonen Pd1 bis Pd5 in 92% und für Dd4 bis Dd8 in 93% der Fälle sehr gute bis gute Ergebnisse.

7.5.3 Tendovaginitiden

Tendovaginitiden gehören zu den nichttraumatischen Erkrankungen der Handsehnen, die dem Unfallchirurgen in seiner täglichen Praxis nicht selten begegnen. Sie treten meist nur an Stellen auf, an denen Sehnen zusammen mit ihren Sehnenscheiden in osteofibrösen Kanälen oder unter fibrösen Bändern hindurchziehen. Zu den häufigsten Sehnenscheidenerkrankungen bzw. Entzündungen zählt die Tendovaginitis stenosans, welche als Quervain-Form und als schnellender Finger vorkommt, auch Digitus saltans oder Triggerfinger genannt. Beide Formen betreffen hauptsächlich Frauen mittleren Alters.

Tendovaginitis stenosans de Quervain

Ätiologie

Bei der Tendovaginitis stenosans de Quervain handelt es sich um eine Entzündung des Gleitgewebes der Sehnen der Mm. abductor pollicis longus und extensor pollicis brevis im 1. Strecksehnenfach. Aufgrund einer bindegewebigen Verdickung der Sehnenscheide entwickelt sich eine schmerzhafte Einengung der Sehnen in ihrem osteofibrösen Kanal. Auslösender Faktor ist meist eine übermäßige Beanspruchung, z.B. durch Schreibmaschine schreiben, Stricken, Hausarbeit oder Klavier spielen.

Klinik und Diagnostik

Die Patienten klagen meist über Schmerzen an der Radialseite des Handgelenks proximal der Tabatière v.a. bei Ulnarabduktion. Gelegentlich findet sich über dem Processus styloideus radii ein verdicktes Retinaculum extensorum. Das 1. Strecksehnenfach ist äußerst druckschmerzhaft. Pathognomonisch für das Krankheitsbild ist ein positiver Finkelstein-Test (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Aus differenzialdiagnostischen Überlegungen sollte immer eine Röntgenuntersuchung des Handgelenks bzw. der Hand durchgeführt werden.

Differenzialdiagnosen der Tendovaginitis stenosans de Quervain

- Tendovaginitis crepitans
- Tendovaginitis rheumatica
- Tendovaginitis tuberculosa
- Paratenonitis crepitans
- Styloiditis radii
- Intersection-Syndrom (s. unten)
- Rhizarthrose
- Skaphoidpseudarthrose
- Radiokarpalarthrose
- Wartenberg-Syndrom (▶ Kap. 6, Arm)

Konservative Therapie

Im Frühstadium der Erkrankung kann eine konservative Therapie mit kurzfristiger Gipsruhigstellung des Daumens in Funktionsstellung und lokalen nichtsteroidalen Antiphlogistika zum Erfolg führen. Ein möglicher Wechsel des Arbeitsplatzes mit Änderung der körperlichen Aktivitäten sollte erwogen werden. Kortisoninjektionen können spontane Sehnenrupturen verursachen und sind deshalb nicht unproblematisch.

Operative Therapie

Bessern sich unter konservativer Therapie die Beschwerden innerhalb von ca. 4 Wochen nicht, ist die operative Spaltung des 1. Strecksehnenfachs indiziert (Nigst 1989). Im Patientenaufklärungsgespräch sollte auf Narbenprobleme, Verletzungen des R. superficialis n. radialis und eine Luxationsneigung der dekomprimierten Sehnen hingewiesen werden.

Operationstechnik

In i.v.-Regionalanästhesie wird ein bogenförmiger radiopalmar konvex verlaufender Hautschnitt über dem 1. Strecksehnenfach in Höhe des radialseitigen Processus styloideus radii gewählt. Durch diese Schnittführung wird eine Verwachsung der Narbe mit der Sehne vermieden. Wegen möglicher Keloidbildungen favorisieren manche Autoren trotz schlechterer Übersicht im Hinblick auf die sensiblen Radialisendäste die Querinzision im Verlauf der Spaltlinien. Unter Schonung der oberflächlich verlaufenden R. superficialis n. radialis und R. posterior n. cutaneus antebrachii radialis wird das 1. Strecksehnenfach in seiner ganzen Länge dargestellt und ulnodorsalseitig längs gespalten. Diese Schnittführung soll einer späteren radialseitigen Sehnenluxation vorbeugen. Nach Entfernung entzündlichen Gewebes kann ein schmaler Streifen des Sehnenfachs exzidiert werden, um eine erneute Stenosierung zu verhindern. Mit dem Sehnenhaken erfolgt nun die gezielte Suche nach akzessorischen Sehnen sowie nach einer Septierung des Sehnenfachs. Nach Einlage einer Redon-Saugdrainage wird die Wunde durch einzelne Hautnähte verschlossen.

In den wenigsten Fällen befindet sich im 1. Strecksehnenfach nur eine Sehne des M. abductor pollicis longus und eine des M. extensor pollicis brevis. Es gibt zahlreiche anatomische Varianten. In Zweifelsfällen sollte immer der jeweilige Sehnenzug überprüft werden.

Nachbehandlung

Postoperativ ist ein Kompressionsverband für Handgelenk und distalen Unterarm ausreichend. Nach ungefähr 1 Woche kann mit leichteren Aktivitäten begonnen werden. Die normale Belastbarkeit wird in aller Regel nach etwa 3 Wochen erreicht.

Komplikationen und Prognose

Neben einer Irritation der sensiblen Radialisendäste ist die Beschwerdepersistenz, bedingt durch eine unvollständige Spaltung des 1. Strecksehnenfachs, die häufigste Komplikation. Wetterkamp et al. (1998) fanden unter den operativ versorgten Patienten in 82% der Fälle eine postoperativ rasch erzielte Schmerzfreiheit bei wiederhergestellter Beweglichkeit. Dies spricht dafür, dass man die konservative Therapie nicht unnötig ausdehnen und die Indikation zur Operation frühzeitig stellen sollte.

Schnellender Finger

Ätiologie

Beim schnellenden Finger, auch Digitus saltans, Schnapp- oder Triggerfinger genannt, ist die Beugesehnenscheide in Grundgelenkhöhe verdickt. Dadurch entsteht eine relative Enge im A1-Ringband. Als Ursachen werden ein degenerativ-entzündliches Geschehen oder rezidivierende Druckeinwirkungen auf die Sehnenscheide diskutiert.

Klinik und Diagnostik

Im Frühstadium finden sich nur gelegentlich Schmerzen und Schwellung im Bereich des Finger- oder Daumengrundgelenks. Später bleibt dann der gebeugte Finger beim Versuch, ihn zu strecken, hängen. Durch erhöhten Kraftaufwand kann dieser Widerstand jedoch überwunden und dadurch ein Schnappen ausgelöst werden. Am häufigsten betroffen sind Daumen, Mittel- und Ringfinger.

Eine Vergesellschaftung mit einem Karpaltunnelsyndrom und einer Tendovaginitis stenosans de Quervain ist nicht selten.

Bei der kindlichen Form fehlt in aller Regel das Schnappphänomen. Hier fallen nur die fixierte Beugestellung des Daumengrundgelenks und gelegentlich ein derber tastbarer Knoten in der Grundgelenkbeugefalte auf. Differenzialdiagnostisch davon abzugrenzen sind das Schnappen bei Luxation eines Strecksehnenseitenzügels am Mittelgelenk und bei einer Streckerhaubenruptur (s. oben) über dem Grundgelenk. Dagegen fehlt bei einem Sehnenscheidenganglion mit einem tastbaren kugeligen Tumor das Schnappen. Die Dupuytren-Kontraktur (s. unten) ist gekennzeichnet durch die Strangbildung.

Therapie

Konservative Therapieansätze bringen in der Regel keinen dauerhaften Erfolg. Bei Patienten, die einer Operation eher ablehnend gegenüber stehen, und bei denen, die nur über gelegentliches schmerzloses Schnappen berichten, kann eine Indometazin-Spray-Behandlung mit Einmassieren der Substanz versucht werden.

Operationstechnik

Der operative Eingriff erfolgt wegen der besseren Übersichtlichkeit in i.v.-Regionalanästhesie und Blutleere. Aber auch die Lokalanästhesie ist ausreichend. Bei Kindern ist die Allgemeinnarkose unumgänglich. Ein querer, 1 cm langer Hautschnitt wird zwischen den Beugefalten des Grundgelenks und der distalen Hohlhand angelegt. Nach Spreizen des Subkutangewebes in Längsrichtung werden kleine Häkchen eingesetzt und die beiden Gefäß-Nerven-Bündel bei Seite gehalten. Das jetzt sichtbare A1-Ringband kann nun der Länge nach gespalten werden, wobei in der Mitte ein etwa 2 mm breiter Sehnenstreifen aus dem Band exzidiert wird. Mit dem Sehnenhäkchen werden dann die Sehnen dargestellt und kontrolliert, ob das Schnappphänomen beseitigt ist. Eine Redon-Drainage ist nicht erforderlich.

Nachbehandlung

Ein Druckverband beendet den Eingriff. Um Verwachsungen vorzubeugen, soll mit frühzeitiger aktiver Fingermobilisierung begonnen werden. Bei Problemen kann eine unterstützende Krankengymnastik rezeptiert werden. Die volle Belastbarkeit der Hand sollte nach knapp 3 Wochen erreicht werden.

Komplikationen

Bei mangelnder Übersicht besteht die Gefahr der Verletzung der seitlich verlaufenden Gefäß-Nerven-Bündel. Eine korrekte Spaltung des A1-Ringbandes sollte Rezidive vermeiden, das A2-Ringband darf dabei wegen eines möglichen Bogensehneneffekts nicht tangiert werden.

Tendovaginitis crepitans

Die wesentlich seltenere Tendovaginitis crepitans, bzw. Paratenonitis crepitans, tritt meist nach Überanstrengung bei ungewohnter Belastung auf. Betroffen sind sowohl die Beuge- als auch die Strecksehnen im Bereich der Sehnenfächer. Schwellung, bewegungsabhängige Schmerzen, diskrete Rötung, tastbare Krepitationen und das so genannte hörbare »Schneeballknirschen« stellen die Leitsymptome dar.

Die Therapie ist immer konservativ. Die betroffene Extremität wird mit einer Unterarmfingergipsschiene in Intrinsic-plus-Stellung für etwa 1 Woche ruhig gestellt, ggf. kann die Therapie durch Antiphlogistika bzw. Eispackungen unterstützt werden.

Die Prognose ist in der Regel sehr gut, die Arbeitsunfähigkeit kann jedoch abhängig von der Tätigkeit bis zu 3 Wochen andauern.

Intersection-Syndrom

Vollständigkeitshalber soll an dieser Stelle das relativ seltene so genannte Intersection-Syndrom (Wulle 1993) erwähnt werden. Dabei handelt es sich um einen Reizzustand im Kanal des 2. Strecksehnenfachs an der Kreuzungsstelle der Sehnen des 1. und 2. Strecksehnenfachs dorsoradial am distalen Unterarm. Klinisch zeigt sich ca. 3 Querfinger proximal der Handgelenkstreckfalte dorsoradial eine druckschmerzhafte Schwellung v.a. bei Daumenabduktion und Handgelenkstreckung. Oft findet sich ein positiver Finkelstein-Test (► Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Nach fehlgeschlagenem konservativem Versuch besteht die Therapie der Wahl in der operativen Faszienspaltung über dem M. abductor pollicis longus und der Synovialektomie des 2. Strecksehnenfachs. Die Nachbehandlung entspricht derjenigen der Tendovaginitis stenosans de Quervain (s. oben).

7.5.4 Morbus Dupuytren

Ätiologie

Die Dupuytren-Kontraktur ist eine Erkrankung der Palmaraponeurose der Hand. Die für die chirurgische Therapie relevante Erstbeschreibung erfolgte durch Baron Guillaume de Dupuytren 1832 in Paris. Trotz intensiver Forschung gelang bislang keine Zuordnung zu auslösenden Faktoren. Neben dem gehäuften familiären Auftreten gelten v.a. der Diabetes mellitus, aber auch Alkoholabusus, Leberparenchymschaden, neurologische Anfallsleiden und Immundefekte als prädisponierende Faktoren. Das männliche Geschlecht ist 7-mal häufiger als das weibliche betroffen, wobei sich der Unterschied mit zunehmendem Alter abschwächt.

Klinik

Diese gutartige Erkrankung ist gekennzeichnet durch flächige, knotige und strangartige Verhärtungen der Hohlhand und der Finger. Mit Zunahme des erkrankten Bindegewebes kommt es zur Beugekontraktur der Fingergelenke. Klinisch zeigt sich eine große Variabilität sowohl im zeitlichen Verlauf der Kontrakturentstehung als auch in der Lokalisation der Erkrankung. Am häufigsten sind der 4. und 5. Strahl mit Beugung der Grund- und Mittelgelenke betroffen. Die Erkrankung kann jedoch auch selektiv den 2. Strahl, die 1. Interdigitalfalte und den Daumen betreffen. Erste Anzeichen der Erkrankung können trichterförmige Einziehungen der Haut distal der Hohlhandbeugefalte sein. Als Erstmanifestation kommen aber auch so genannte »knuckle pads« (Knochenpölsterchen) vor, die besonders dorsalseitig der Mittelgelenke auftreten. Man kann klinisch die flächenhaft indurative Form von der knotigen und strangförmigen Form unterscheiden. Die Krankheit wird von den Patienten anfänglich nicht bemerkt. Ein Leidensdruck mit Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit der Hand entsteht erst sehr spät. Ähnliche Veränderungen der Dupuytren-Erkrankung können als ektope Form an der Fußsohle (Morbus Ledderhose, ca. 4%) und am Penis (Induratio penis plastica, ca. 1%) vorkommen.

Diagnostik

Die Inspektion und Palpation der Hohlhand sowie der Fingerbeugeseiten reicht in der Regel zur Diagnosestellung aus. Nur in sehr frühen Stadien können knotige Erscheinungsformen der Hohlhand nicht eindeutig von Beugesehnenganglien oder Fibromen abgegrenzt werden. Es sollte sich immer eine Funktionsprüfung der Fingerbeugung und -streckung sowie eine Überprüfung der Sensibilität und Durchblutung der Finger anschließen. Bei kontrakten Fingergelenken sind Röntgenbilder zur Beurteilung möglicher arthrotischer Veränderungen sinnvoll.

Klassifikation

Durch die variablen Erscheinungsformen halten wir eine Einteilung für problematisch, sie ist aber für die Operationsindikation oftmals hilfreich. Am gebräuchlichsten sind die Einteilungen nach Iselin u. Dieckmann (1951) und Tubiana u. Hueston (1985), wobei bei letzterer die Beugungen im Grund-, Mittel- und Endgelenk addiert werden. Hierbei bleibt die im Stadium 4 auftretende Überstreckung der Endgelenke nicht berücksichtigt (Tab. 7.7).

Tab. 7.7 Klassifikationen des Morbus Dupuytren: Die Einteilungen nach Tubiana und nach Iselin im Vergleich

Einteilung nach Tubiana	Einteilung nach Iselin
Stadium 0: Stränge und Knoten ohne Gelenkkontraktur	
Stadium 1: Kontrakturen von 0–45°	Stadium 1: Knoten in der Hohlhand
Stadium 2: Kontrakturen von 46–90°	Stadium 2: Beugekontraktur im Grundgelenk
Stadium 3: Kontrakturen von 91–135°	Stadium 3: Beugekontraktur im Grundgelenk und im Mittelgelenk
Stadium 4: Kontrakturen über 135°	Stadium 4: zusätzlich zu Stadium 3 eine Überstreckung im Endgelenk

Konservative Therapie

Neuere Studien belegen einen Effekt für die einmalige oder mehrmalige Injektion von Kortison oder Kollagenase in die Stränge. Weitere Maßnahmen wie Ultraschallbehandlungen, Massagen, Laseranwendungen, Vitamin-E-Gabe und Röntgenbestrahlung spielen eine untergeordnete Rolle, da ein sicherer Erfolgsnachweis fehlt.

Operative Therapie

Indikation

Da eine merkbare Behinderung der Handfunktion erst im Stadium 2 auftritt und frühere Stadien oft eine langsame Zunahme der Beugekontraktur über mehrere Jahre zeigen, empfehlen wir die Operation ab dem Stadium 2. Bei Knoten der Hohlhand kann es beim kräftigen Zupacken zu Irritationen der Digitalnerven und Schmerzen kommen, sodass nur in diesem Fall die Operation auch im Stadium 0 (Tubiana) bzw. 1 (Iselin) gerechtfertigt ist. Ansonsten stellen isolierte Knotenbildungen ohne entsprechende Kontraktur keine Indikation zur Operation dar. Es gibt nämlich immer wieder Patienten, bei denen erst nach Operation eines isolierten Dupuytrenstrangs eine rasche Ausbreitung der Erkrankung mit entsprechenden Beugekontrakturen folgt. Kapselkontrakturen der Mittelgelenke mit Beugekontrakturen von ca. 90° komplizieren die operative Therapie und das zu erreichende Ergebnis. Bei ausgedehnten Rezidivbefunden, insbesondere am 5. Strahl, muss die Amputation des Fingers in Erwägung gezogen werden.

Kontraindikation

Die Operation der Dupuytren-Kontraktur ist ein elektiver Eingriff. Bei schwerwiegenden Allgemeinerkrankungen, zu erwartenden Wundheilungsstörungen (z.B. Diabetes mellitus) und peripheren Durchblutungsstörungen sollte das Operationsrisiko mit dem Grad der Behinderung sorgfältig abgewogen werden. Es ist empfehlenswert, Thrombozytenaggregationshemmer ca. 5 Tage präoperativ abzusetzen. Mangelnde Intelligenz und nichtkooperatives Verhalten des Patienten v.a. in der postoperativen Phase können ebenfalls eine Kontraindikation darstellen.

Aufklärung

Durch die krankheitsbedingte Verlagerung der Gefäß-Nerven-Bündel und die Ummauerung derselben durch knotenbildende Stränge besteht ein hohes Risiko für eine Gefäß- und Nervenläsion. Angaben zur Häufigkeit intraoperativer Läsionen sind in der Literatur widersprüchlich. Bei radikaler Gewebeexzision sind ebenso Wundheilungsstörungen im Bereich der ausgedünnten Hautläppchen zu erwarten. Häufig verbleiben langdauernde Hypästhesien trotz vollständiger Schonung der Kollateralnerven aufgrund zwangsweiser Durchtrennung der Nervenendäste bei der Gewebeentfernung. Der Patient sollte daher über den möglichen monatelangen Verlauf der Nervenerholung aufgeklärt werden.

Operationstechnik

Ziel der Operation ist die Verbesserung der Beweglichkeit und die Wiederherstellung der Streckfähigkeit der Hand. Da der Morbus Dupuytren als systemische Gewebeerkrankung anzusehen ist, ist eine sichere und vollständige Eliminierung der Erkrankung nicht möglich. Es stehen verschiedene operative Verfahren zur Verfügung:

Strangdurchtrennung (Fasziotomie). Als minimal-invasives Verfahren kann die alleinige Fasziotomie auch transkutan durchgeführt werden. Da die Rezidivrate bei ca. 80% liegt und ein hohes Risiko der Läsion von Gefäß-Nerven-Bündeln besteht, empfiehlt sich jedoch im Allgemeinen dieses Verfahren allenfalls als palliative Maßnahme bei schwer kranken Patienten.

Begrenzte Strangexzision. Einzelne knotige Veränderungen lassen sich über einen kleinen Hautschnitt entfernen. Dies ist jedoch

nur für lokoregionäre Probleme sinnvoll, da auch hier die Rezidivgefahr hoch ist.

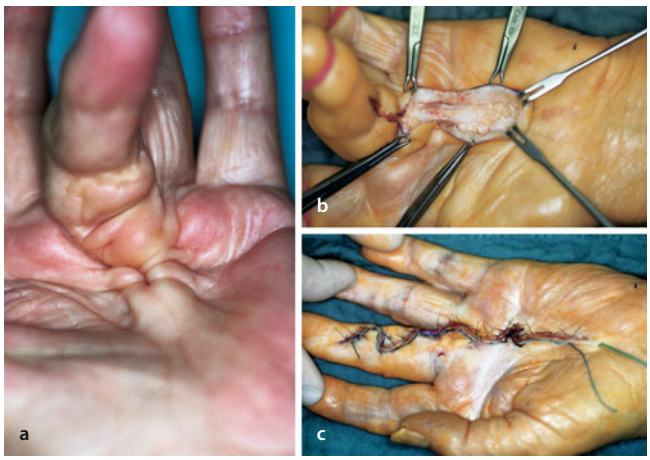
Partielle Aponeurektomie. Dieses Verfahren ist die Methode der Wahl zur Wiedererlangung der Streckfähigkeit und Rezidivprophylaxe. Das Operationsprinzip beruht auf der Entfernung aller sichtbaren fibrös veränderten Stränge und des makroskopisch nicht veränderten Fasziengewebes. Ist die Erkrankung alleine auf die Hohlhand limitiert, empfehlen wir die Y-förmige Inzision in der distalen Hohlhandbeugefalte nach Millesi (1981). Setzen sich die Knoten und Stränge in den Fingerbereich fort, kann bei einzelnen Strängen und bis zum Stadium 2 die aufgebrochene Inzision nach Bruner verwendet werden. In allen höhergradigen Stadien sollte jedoch ein längsverlaufender Schnitt in der Medianlinie des Fingers nach Iselin durchgeführt werden. Dies verlangt jedoch am Ende der Operation die Anlage von Z-Plastiken (s. unten) zur Rekonstruktion der Beugefalten des Mittel- und Grundgelenks. Eine dritte Z-Plastik kann die Narbenspannung in der Hohlhand verringern (◘ Abb. 7.64).

Nach längs verlaufender Inzision erfolgt die quere Durchtrennung der Palmaraponeurose in Höhe des distalen Karpaldachrands. Nach Aufsuchen der Gefäß-Nerven-Bündel des betroffenen Fingerstrahls wird über den Nerven das häufig massiv verdickte Gewebe durchtrennt. Die Präparation des Hauptstrangs in der Hohlhand muss unter Mitnahme der vertikalen Septen erfolgen. Bei zunehmender Kontraktur ist die Medialverlagerung der Gefäß-Nerven-Bündel insbesondere in Grundgelenkhöhe zu beachten, da hier besonders leicht Verletzungen der Nerven iatrogen entstehen können, zumal das Gefäß-Nerven-Bündel dann direkt subkutan über dem Strang liegen kann und bereits durch die Hautinzision gefährdet ist.

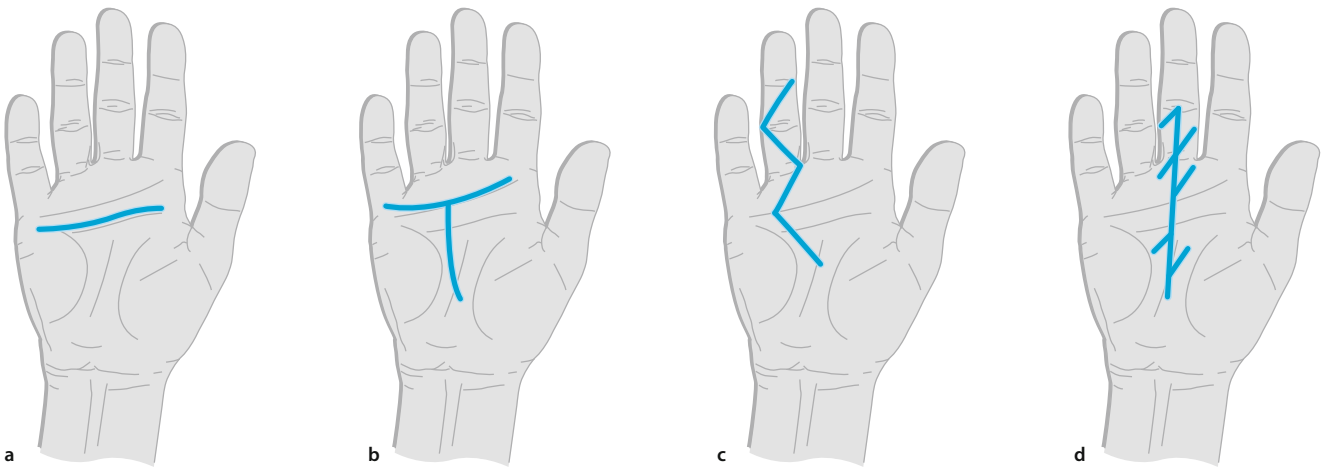
Die Einbeziehung des M. abductor digiti minimi durch den Morbus Dupuytren führt häufig zur Beugekontraktur des PIP-Gelenks des Kleinfingers. Erst wenn der hinter dem Gefäß-Nerven-Bündel gelegene Strang präpariert und exzidiert ist, lässt sich die Kontraktur beheben. Eine seltene anatomische Variante ergibt sich durch die mögliche ausschließliche Versorgung des Kleinfingers über eine einzige Arterie, die proximal des Grundgelenks die Beugesehne unterkreuzt. Wird diese radiale Arterie distal der distalen Hohlhandbeugefalte verletzt, kann der Finger nekrotisch werden (Hahn et al. 2008).

Sind die Gefäß-Nerven-Bündel bis distal freipräpariert, kann das Dupuytren-Gewebe leicht von der Beugesehnenscheide abpräpariert und exzidiert werden. Die zum A3- und A4-Ringband reichenden Fasern sind häufig nur unter Mitnahme von Teilen der Sehnenscheide resezierbar. Zusätzliche, häufig ulnar gelegene Knoten werden scharf mit dem Skalpell von der Haut gelöst. Nach Entfernung aller makroskopisch erkrankten Stränge kann die Blutleere geöffnet und so eine exakte punktuelle Blutstillung durchgeführt werden. Etwaige Verletzungen von Digitalnerven oder Digitalarterien werden sofort mikroskopisch rekonstruiert. Nach Einlage einer Redon-Drainage erfolgt der Hautverschluss durch Einzelknopfnähte in Rückstichnahttechnik mit einem Ziehfaden, um dadurch die Fadenentfernung nach frühestens 14 Tagen zu erleichtern (◘ Abb. 7.65).

Sollte nach Entfernung des Dupuytren-Gewebes keine vollständige Streckung möglich sein, muss eine Arthrolyse, meist der PIP-Gelenke, angeschlossen werden, welche jedoch die postoperative Schmerzsymptomatik und Schwellneigung in der Regel erhöht. Hierbei wird zunächst die Beugesehnenscheide zwischen dem A2- und A3-Ringband eingeschnitten, da sich die Beugesehnenscheide durch die lang anhaltende Kontraktur häufig verkürzt. Danach werden die Zügelbänder (Ligamente) durchtrennt. Darunter versteht man die proximalen zipfelförmigen Ausläufer der Fibrocartilago palmaris. Ist anschließend weiterhin keine passive Streckung mög-



◘ **Abb. 7.65a–c** **a** Morbus Dupuytren D3 präoperativ. **b** Intraoperativer Situs. **c** Unmittelbar postoperativ mit Z-Plastiken, Ziehfaden und Redon-Drainage



◘ **Abb. 7.64a–d** Mögliche Schnittführung bei der partiellen Aponeurektomie. **a** Schnittführung nach McIndoe. **b** Schnittführung nach Millesi. **c** Schnittführung nach Bruner. **d** Schnittführung nach Iselin mit Z-Plastiken

lich, müssen zusätzlich die palmare Platte im proximalen Anteil und die akzessorischen Kollateralbänder eingeschnitten werden.

Nachbehandlung

Um dem Auftreten von postoperativen Hämatomen als häufigste Komplikation zu begegnen, sollte am Ende der Operation palmarseitig aus Kompressen und Watte ein entsprechendes Druckpolster und dorsalseitig eine Fingerunterarmgipsschiene in Streckstellung zur Kompression angebracht werden. Wichtig ist die regelmäßige Durchblutungs- und Sensibilitätskontrolle am Operationstag, um Schmerzen durch einen zu eng angelegten Verband zu vermeiden.

Mit einer sofortigen Mobilisierung durch die Therapeuten der Krankengymnastik aus der Schiene heraus sollte bereits am 1. postoperativen Tag begonnen werden. Die Redon-Drainage kann je nach Förderung am 1. oder 2. postoperativen Tag gezogen werden, die dorsale Gipsschiene mit Streckung aller Fingergelenke sollte für etwa 2 Tage beibehalten werden. Um die Streckbarkeit der Finger in den PIP-Gelenken zu erhalten, ist gelegentlich der Einsatz einer Quengelschiene im weiteren Verlauf erforderlich. Auf die zusätzliche Narbenpflege mit entsprechenden Salben oder Ultraschallbehandlung sollte an dieser Stelle ebenfalls hingewiesen werden.

Komplikationen und Prognose

Die Gesamtkomplikationsrate liegt in der Literatur bei etwa 17% (Prosser u. Conolley 1996). Dazu zählen Rezidive, Hautnekrosen, Hämatome, Kontrakturen, Nahtdehiszenzen, Nerven- und Arterienverletzungen, Wundheilungsstörungen und die Ausbildung einer Algodystrophie. Die alleinige Rezidivquote wird je nach Literaturangaben mit bis zu 80% angegeben, wobei natürlich nicht jedes Rezidiv gleich wieder eine Operationsindikation darstellt.

7.6 Weichteilverletzungen

7.6.1 Grundlagen

Anatomie

Der Hautweichteilmantel der Hand weist in seinem Aufbau einige anatomische Besonderheiten auf. So ist die Streckseite der Hand mit dünner, gut verschieblicher Haut mit Haaren und Talgdrüsen gedeckt, während sich beugeseitig eine wesentlich dickere, widerstandsfähigere Haut mit zahlreichen Schweißdrüsen findet.

Klinik und Diagnostik

Damit eine Mitbeteiligung tieferer Anteile wie Sehnen, Knochen, Nerven und Gefäße rechtzeitig erkannt wird, muss eine exakte Inspektion der Wunde mit Funktionsprüfung vorgenommen werden. Spätestens intraoperativ sollte das gesamte Verletzungsausmaß durch eine genaue Exploration bestimmt und möglichst in gleicher Sitzung mitversorgt werden. Die Untersuchung einer offenen akuten Weichteilverletzung an der Hand erfolgt unter sterilen Kautelen, also mit Handschuhen, Kopf- und Mundschutz. Häufig kann schon durch eine bestimmte Hand- oder Fingerstellung ein komplexeres Verletzungsmuster erkannt werden. So fehlt z.B. bei beugeseitigen Wunden mit Durchtrennung der oberflächlichen und tiefen Beugesehne der physiologische Beugetonus, ein nicht vorhandener Kapillarpuls legt eine Durchblutungsstörung nahe und die Aufhebung der Spitz-/Stumpfdiskriminierung weist auf eine Nervenbeteiligung hin. Nach der Erstuntersuchung müssen alle für eine operative Versorgung erforderlichen Untersuchungen in die Wege geleitet werden (◘ Abb. 7.66).

◘ **Abb. 7.66a–e** Explosionsverletzung der linken Hand bei einem 26-jährigen Mechaniker. **a,b** Unfallbild. **c** Knöcherne Verletzung. **d,e** Unmittelbar postoperatives Ergebnis mit Erhalt von D1, Strahlresektion von D2 und Stumpfbildung von D5

Da Patienten mit Weichteilverletzungen der Hand äußerst schmerzgeplagt sind und auch der Blutverlust nicht zu unterschätzen ist, sollten sie immer auf einer Untersuchungsliege gelagert werden und nicht zu Fuß zu den unterschiedlichen Untersuchungen geschickt werden.

Therapie

Grundsätzlich ist bei der Versorgung von Weichteilverletzungen der primäre Hautverschluss ohne jegliche Spannung anzustreben, um somit tiefer liegende wichtige anatomische Strukturen zu schützen. Dies gelingt in der Regel bei einfachen Schnittverletzungen. Lediglich bei stark verschmutzten Wunden kann eine sparsame Wundexzision nach Friedrich mit Ausnahme des Hohlhandbereichs durchgeführt werden. Nach einem ausgiebigen Débridement mit Wundspülung und evtl. Lascheneinlagen wird dann die Wunde primär verschlossen. Bei Wunden mit hohem Infektionsrisiko ist an eine antibiotische Abdeckung zu denken. Um sicher zu gehen, dass bei tiefreichenden Wunden keine wichtigen anatomischen Strukturen mitverletzt sind, müssen diese durch Erweiterungsschnitte dargestellt werden (Abb. 7.67). Dabei darf ein Hautschnitt wegen der Gefahr einer Narbenkontraktur nie senkrecht über eine Gelenkbeugefalte geführt werden. Sollte eine Schnittwunde eine Beugefalte der Länge nach im 90°-Winkel überqueren, muss dieser Längsschnitt mittels Z-Plastik in einen Querschnitt verwandelt werden (s. unten, Abb. 7.68).

In der Regel verwenden wir beim beugeseitigen Wundverschluss Rückstichnähte nach Allgöwer unter Einlage eines so genannten Ziehfadens, während streckseitig auch Einzelknopfnähte möglich sind. Als Nahtmaterial hat sich ein monofiler Faden der Stärke 4/0 bis 6/0 bewährt. Subkutannähte werden wegen häufig störender Fadengranulombildungen nicht mehr durchgeführt.

Kann eine Wunde trotz Wundrandmobilisierung nicht spannungsfrei verschlossen werden, muss eine der zahlreichen möglichen Hautplastiken ausgewählt werden. Infrage kommen:

1. freie Hauttransplantate,
2. lokale Schwenk- oder Verschiebelappen,
3. gestielte Nah- und Fernlappen,
4. vaskulär oder neurovaskulär gestielte Insellappen,
5. freie Hautlappen mit mikrovaskulären Anastomosen.

7.6.2 Freie Hauttransplantate

Voraussetzung für freie Hauttransplantate ist ein gut vaskularisierter sauberer Wundgrund; freiliegende Knochen, Sehnen, Nerven und Gefäße eignen sich nicht für eine freie Hauttransplantation. An Transplantatformen gibt es die Spalthaut, bestehend aus Epidermis und Anteilen des Koriums in unterschiedlicher Dicke, sowie die Vollhaut bestehend aus Epidermis, dem gesamten Korium und Anteilen des subkutanen Fettgewebes (Abb. 7.69).

Der Vorteil des Vollhauttransplantats besteht in der hohen mechanischen Belastbarkeit und der guten Resensibilisierung. Außerdem ist die Schrumpfungstendenz wesentlich geringer als bei der Spalthaut. Folglich sollte man möglichst Vollhauttransplantate einsetzen und lediglich bei großflächigen streckseitigen Wunden ein Meshgraft-Transplantat in einer Vergrößerung von 1:1,5–3 verwenden. Da die Ernährung des Vollhauttransplantats zunächst durch Diffusion vom Wundboden erfolgt, wird das Transplantat durch einen Überknüpfverband auf sein Lager angedrückt. Dabei wird ein feuchter Tupfer auf das mit einer Fettgaze bedeckte Transplantat aufgenäht. Diese Kompression verhindert die Ansammlung eines Hämatoms, welches das Transplantat vom Wundgrund abheben könnte. Der erste Verbandswechsel erfolgt nicht vor dem

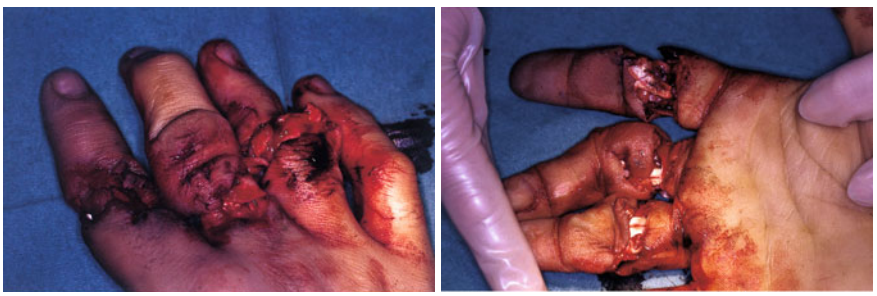


Abb. 7.67 Quetschverletzung bei einem 38-jährigen Maschinenbauer

Abb. 7.68 Intraoperativer Situs bei angelegten Z-Plastiken an D5

4. Tag, vorausgesetzt Infektzeichen fehlen. Eine postoperative Ruhigstellung der Hand auf einer Unterarmgipslonguette für ca. 8 Tage schließt sich an. Dadurch können Transplantatverschiebungen vermieden werden.

Größe, Hautqualität im Empfängerbereich sowie funktionelles und kosmetisches Resultat müssen bei der Wahl der Entnahmestellen für Vollhauttransplantate berücksichtigt werden. Mögliche Entnahmestellen sind der Hypothenarbereich und die ulnare Handkante. Hier ist jedoch nur die Hebung eines kleineren Transplantats von einer Ausdehnung von etwa 1,5×4 cm möglich. Des Weiteren kommen die mediale Oberarmfläche, die medialseitige Ellenbeuge und die ulnare palmare Unterarmseite infrage. Die Entnahme vom beugeseitigen Handgelenk ist wegen möglicher störender Narben beim Tragen von Schmuck oder einer Armbanduhr weniger geeignet. Außerhalb der oberen Extremität sind die Leistengegend und die Fußsohle wichtige Entnahmestellen, wobei in der Leistenregion gerade im lateralen Bereich wegen der Abnahme der Haardichte sehr große Transplantate gewonnen werden können. Für die Entnahme von Spalthauttransplantaten stehen Dermatome und Humby-Messer zur Verfügung, bekanntestes Spendergebiet ist die Oberschenkelvorderseite.

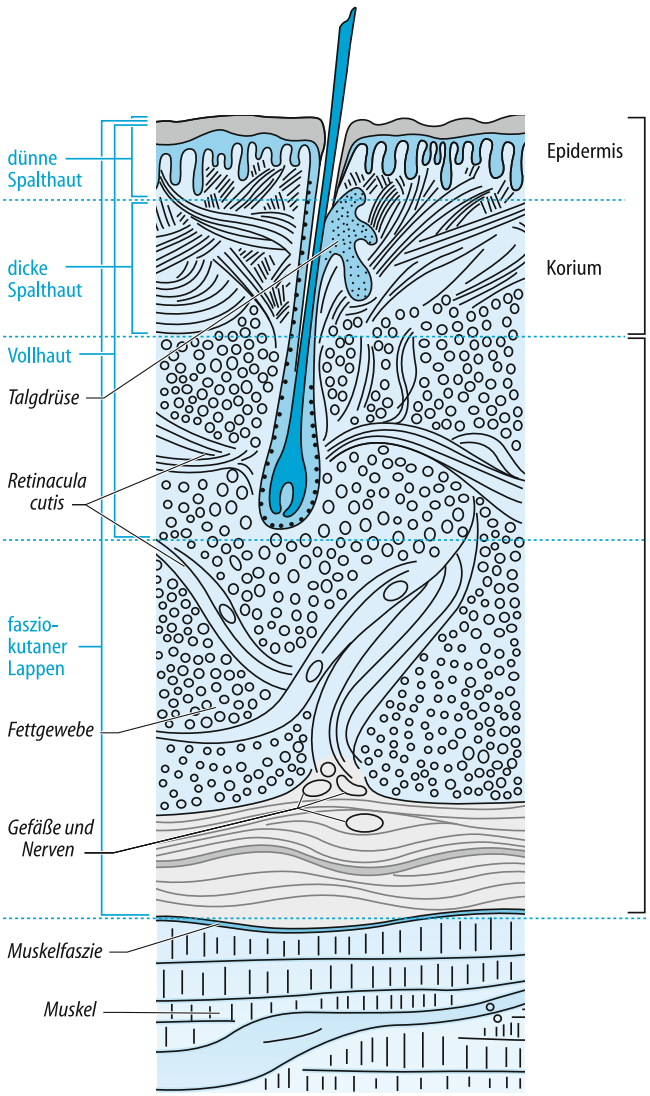


Abb. 7.69 Anatomischer Aufbau der Haut sowie die unterschiedlichen Schichten der Hauttransplantate

7.6.3 Lokale Schwenk- oder Verschiebelappen

Lokale Verschiebelappen bieten das beste ästhetische und funktionelle Ergebnis mit einer annähernd normalen Sensibilität. Weitere Vorteile stellen die kurze Heilungsdauer und ein einziger erforderlicher Eingriff dar. Man unterscheidet 3 Formen:

1. Dehnungslappen (Abb. 7.70a)
2. Rotationslappen (Abb. 7.70b)
3. Transpositionslappen (Abb. 7.70c)

Sie finden Anwendung zur primären Deckung kleinerer Substanzdefekte der Haut mit frei liegenden Knochen, Sehnen und/oder Nerven. Folglich muss in der Umgebung des zu deckenden Defekts genügend verschiebliche Haut zur Verfügung stehen. Im Gegensatz zum Transpositionslappen (Abb. 7.72) kann beim Dehnungs- und Rotationslappen (Abb. 7.71) ein primärer spannungsfreier Hautverschluss angestrebt werden. Alle Verschiebelappen müssen ausreichend lang um ihren Drehpunkt gehoben werden, um dann auch den Defekt ohne jegliche Spannung mit der sonst resultierenden Lappennekrose decken zu können.

Die **Z-Lappenplastik** stellt eine Sonderform des Transpositionslappens dar. Sie wird am häufigsten zur Aufhebung von Narbenkontrakturen und zur Vertiefung der Zwischenfingerfalte angewandt. Hauptindikation für die häufigste einfache Z-Plastik sind Narbenkontrakturen im ersten Interdigitalraum. Dabei sind alle 3 Schenkel gleich lang, die eingeschlossenen Winkel betragen 60°. Nach dem Austausch der beiden Lappen kann eine Verlänge-

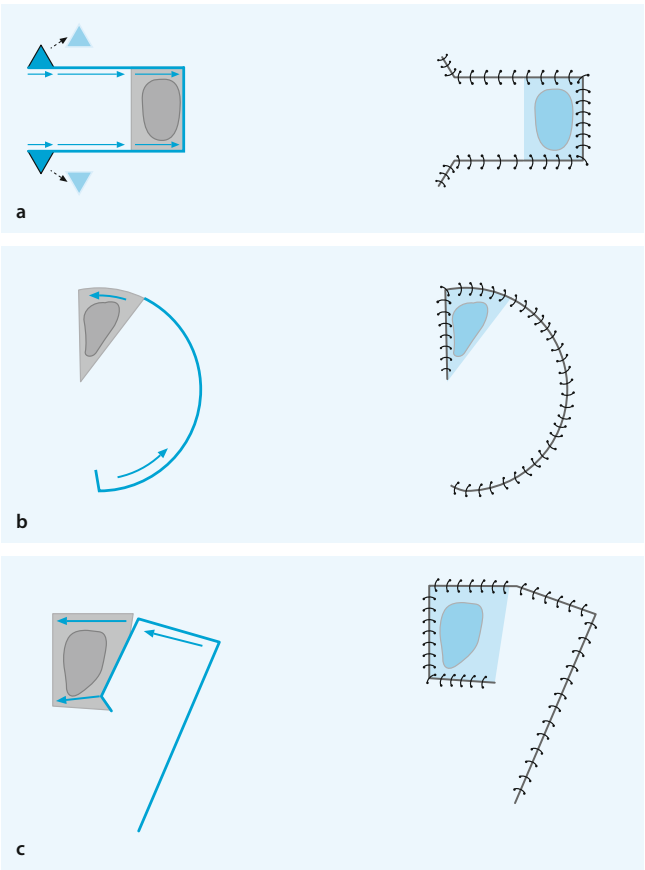


Abb. 7.70a–c Schematische Darstellung der lokalen Schwenklappen

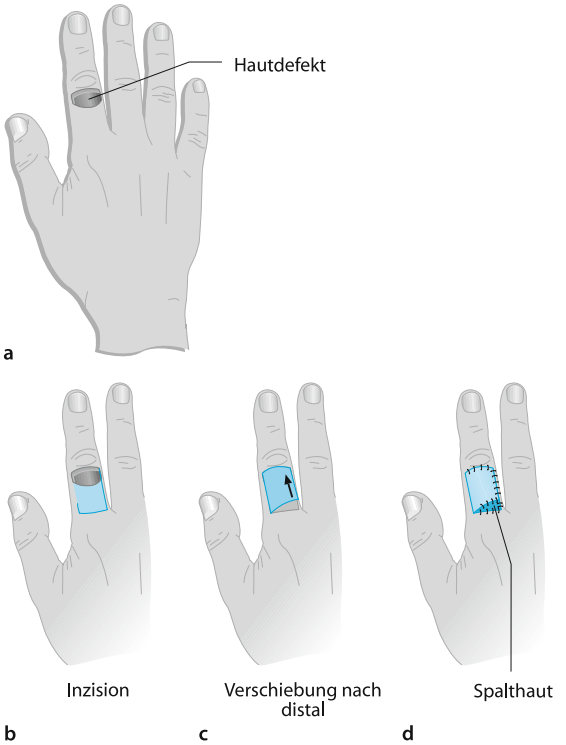


Abb. 7.71a–d Dorsaler Hueston-Lappen als Beispiel eines Rotationslappens

rung von ca. 70% auf Kosten der Breite erzielt werden. Werden die Schenkel zu schmal oder die Lappen zu lang gewählt, besteht die Gefahr einer Lappennekrose.

Eine postoperative Ruhigstellung im sterilen Watteverband für ca. 8 Tage schließt sich an.

Aufgrund der exponierten Stellung der Finger- bzw. Daumenkuppen ist deren Verletzung immer folgenschwer, da die Finger durch schmerzhafte Narbenbildung oder Sensibilitätsverlust in ihrer Gebrauchsfähigkeit beeinträchtigt sein können. Infolgedessen steht bei jeder Endgliedamputation die Wiederherstellung einer schmerzfreien belastungsfähigen und normalen sensiblen Haut an der Fingergreifseite an erster Stelle. Für die Rekonstruktion solcher Fingerkuppendefekte mit Knochenverlust existieren zahlreiche Operationsverfahren. Die erste Beschreibung eines palmaren **VY-Dehnungslappens** stammt von Tranquilli-Leali (Dautel 1997, Partecke 1987, Wilhelm et al. 1996). Er eignet sich für Verletzungen in der Zone 2 distal der Lunula (Abb. 7.86), welche entweder quer oder leicht schräg verlaufen. Der palmar-proximale Neigungswinkel sollte nicht mehr als 30° betragen.

VY-Plastik

Nach entsprechender Einwirkzeit der Oberst-Leitungsanästhesie wird die Fingerblutsperre aktiviert. Dazu wird aus einem sterilen Operationshandschuh ein »Finger« abgeschnitten und am distalen Fingerende ein kleinstes Loch eingeschnitten. Dieser so vorbereitete Fingerling wird nun mit der kleinen Öffnung beginnend über den verletzten Finger geschoben und in Höhe der Grundgliedbasis zusammengerollt, sodass jetzt eine ausreichende Blutsperre vorliegt.

Anschließend erfolgt das Anzeichnen eines palmaren V-förmigen Lappens mit dem sterilen Stift. Hierbei sollte die Basis distal mindestens die Breite des dorsalen Defektrands am Fingernagelbett betragen, die Lappenspitze kann v.a. bei weiter proximal

Abb. 7.72a–e Ulnar-dorsalseitige Handrückentranspositionslappenplastik mit Vollhautplastik nach ausgiebigem Débridement nach Stanzverletzung. **a** Ausmessen des Defekts. **b** Lappenplanung. **c** Einnaht des rotierten Lappens. **d** Weiterer Wundverschluss. **e** Zusätzliches Vollhauttransplantat

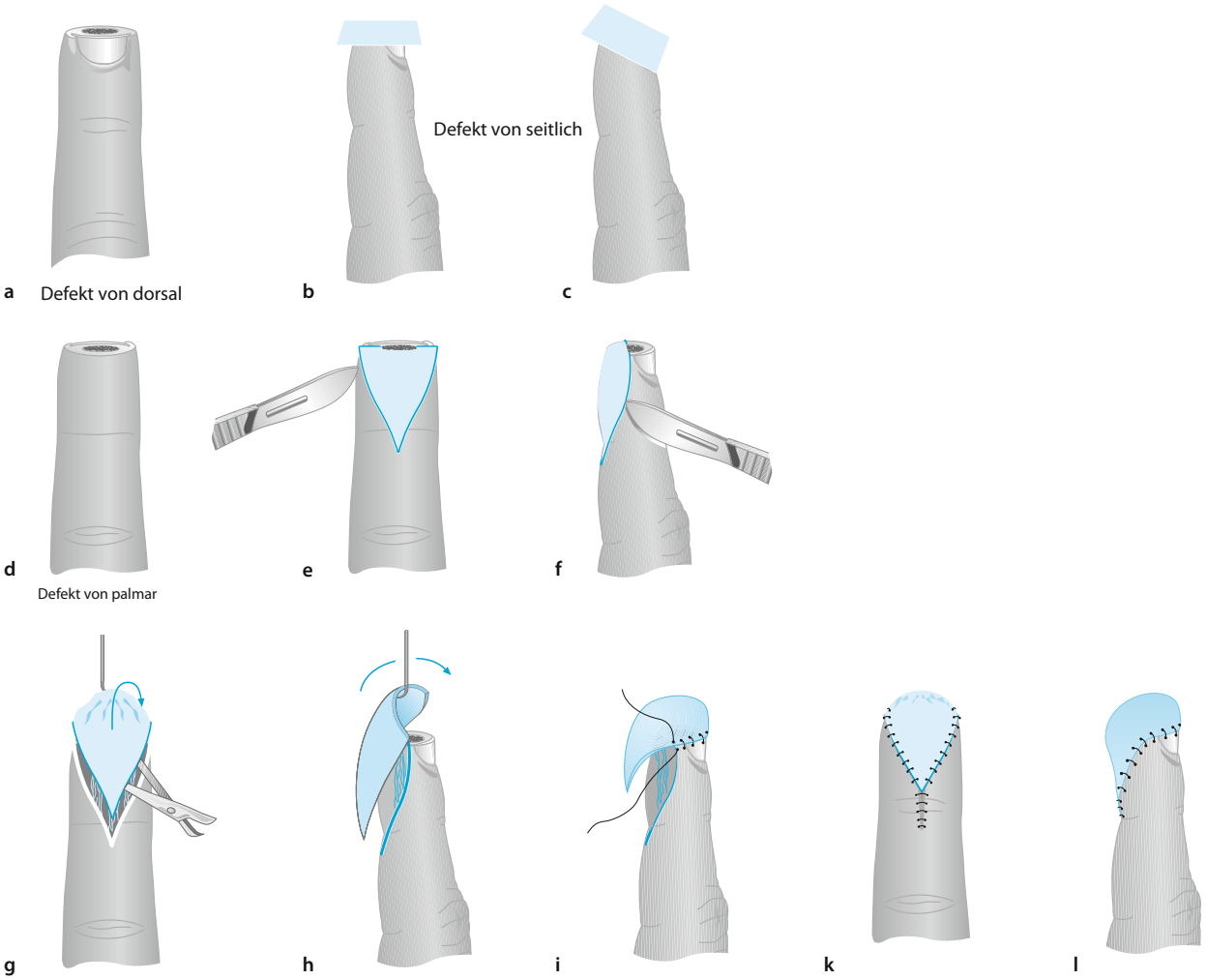


Abb. 7.73a–l Palmare VY-Lappenplastik zur Defektdeckung bei quer verlaufendem oder auch dorsalseits abfallendem Fingerkuppendefekt

liegenden Endgliedamputationen bis gut 0,5 cm proximal der Endgelenkbeugefalte zu liegen kommen. Die beiden seitlichen Lappenschenkel werden nach lateral konvex gebogen angelegt. Bei der Inzision wird lediglich die Haut durchtrennt, um das Subkutangewebe mit der neurovaskulären Versorgung der Fingerkuppe nicht zu tangieren.

Die weißlich glänzenden Bindegewebesepten werden nun mit einer kleinen Schere zur Endphalanx und zur Beugesehnenscheide von distal her durchtrennt, wobei die Präparierrichtung der Schere in Längsrichtung erfolgen sollte. Der nun an seinen Gefäßen und Nerven gestielte Lappen wird mit einem Gillis-Häkchen etwa 1 cm nach distal gezogen, restliche Septen können dabei noch nachträglich inzidiert werden. Sodann wird der Lappen mit einem 6/0 nicht resorbierbaren Nahtmaterial zunächst distal spannungsfrei mit dem Nagelbett vernäht, um somit eine Krallennagelentwicklung zu vermeiden. Der proximale V-förmige Hebedefekt wird locker adaptierend Y-förmig eingenäht. Die Blutsperre wird aufgehoben und der eingenähte Lappen auf dessen Durchblutung hin kontrolliert. Bei kritischen Durchblutungsverhältnissen müssen einzelne Hautnähte entfernt und eine Sekundärheilung angestrebt werden. Postoperativ wird ein Fingerverband mit einer nicht klebenden Gaze angelegt. Gelegentlich sind im weiteren Verlauf ergotherapeutische Maßnahmen erforderlich (Abb. 7.73).

Bei kurzen palmaren oder schräg verlaufenden Kuppendefekten eignet sich die laterale VY-Plastik nach Kutler bzw. Geissendörfer (1943/1947; Partecke 1987, Wilhelm et al. 1996). Bei diesem Dehnungslappen werden 2 seitliche Dreiecke gebildet, welche nach deren Mobilisierung über dem Defekt miteinander vernäht werden. Aufgrund der seitlich kräftiger angelegten Bindegewebesepten ist die Präparation insgesamt technisch anspruchsvoller, außerdem kann in Fingerkuppenmitte eine störende Narbe entstehen. Deshalb sollte diese Technik möglichst nicht mehr durchgeführt werden.

Epping-Lappen

Da bei Weichteildefekten oder Amputationsverletzungen gerade der Daumenkuppen die bestehende Länge grundsätzlich erhalten werden sollte, hat sich bei 2–3 cm großen symmetrischen Daumenkuppendefekten der beide Gefäß-Nerven-Bündel einschließende palmare Dehnungslappen nach Epping (1992) bewährt.

Zunächst wird mit dem sterilen Stift die radiale und ulnare Inzision, die von distal nach proximal bis in Höhe des Grundgelenks reicht, eingezeichnet. Von dort führt dann im Gegensatz zu den einfachen palmaren Dehnungslappen der Schnitt V-förmig weiter auf den Thenarbereich. In Höhe der Daumenbeugefalte muss bei der Präparation den beiden Gefäß-Nerven-Bündeln nicht nur we-

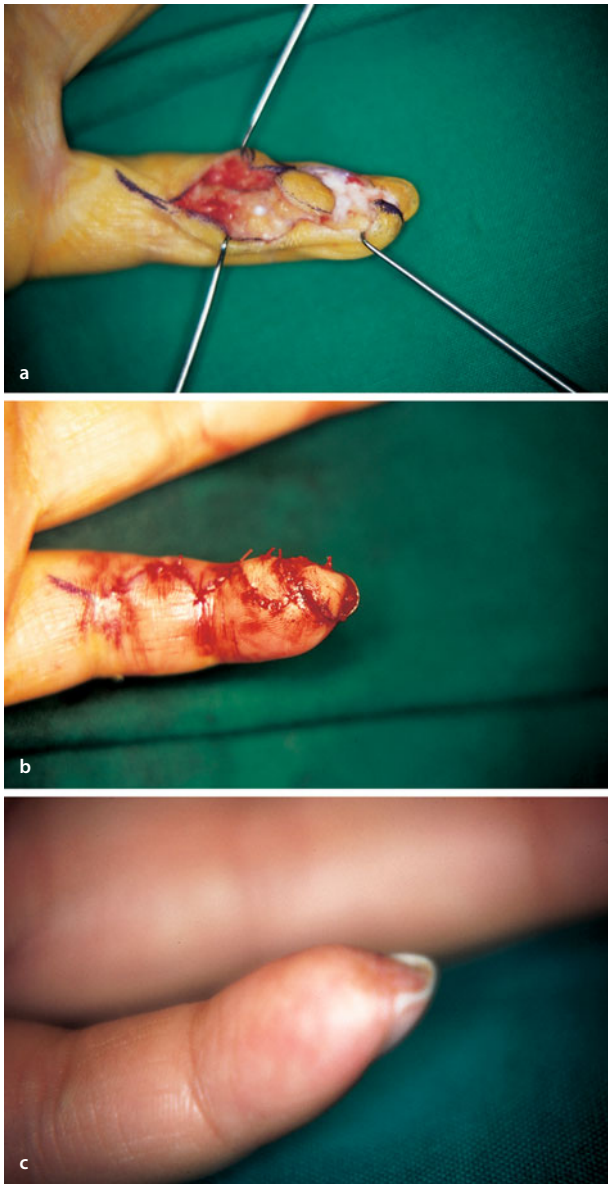
gen anatomischer Varianten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Nach Mobilisierung der Gefäße und Nerven auch nach proximal wird der Lappen von der Beugesehnenscheide gelöst, wobei möglichst viele abzweigende Äste der Digitalarterien und -nerven erhalten werden sollten. Der so gelöste Verschiebelappen wird bei gestrecktem Endgelenk mit so genannten Haltefäden nach distal gezogen und anschließend am Daumennagelrand oder am Hyponychium fixiert. Eine zu große Spannung sollte wegen der Gefahr einer Krallennagelbildung vermieden werden. Bevor man nun den Lappen vollständig einnäht, wird die Blutleere geöffnet und eine sorgfältige Blutstillung durchgeführt. Dafür muss gelegentlich der bereits fixierte Lappen wieder gelöst werden, um auch an der Unterseite Blutungen koagulieren zu können. Der am Thenar entstandene V-förmige Defekt wird am Ende Y-förmig verschlossen.

Nach üblicher Wundsäuberung werden sterile Handschuhlaschen zwischen die Einzelknopfnähte eingelegt und ein Gazeverband aufgelegt. Der Daumen wird nun in einer dorsalen Gipslonguette möglichst in Streckstellung des Interphalangealgelenks und in leichter Beugestellung des Metakarpophalangealgelenks bis zur gesicherten Wundheilung ruhig gestellt. Bei blanden Wundverhältnissen sollte sich eine intensive Physiotherapie anschließen, da Beugekontrakturen gerade bei älteren Patienten keine Seltenheit sind. Zur Unterstützung empfiehlt sich gelegentlich eine dynamische Extensionsschiene am Daumen (◘ Abb. 7.74).

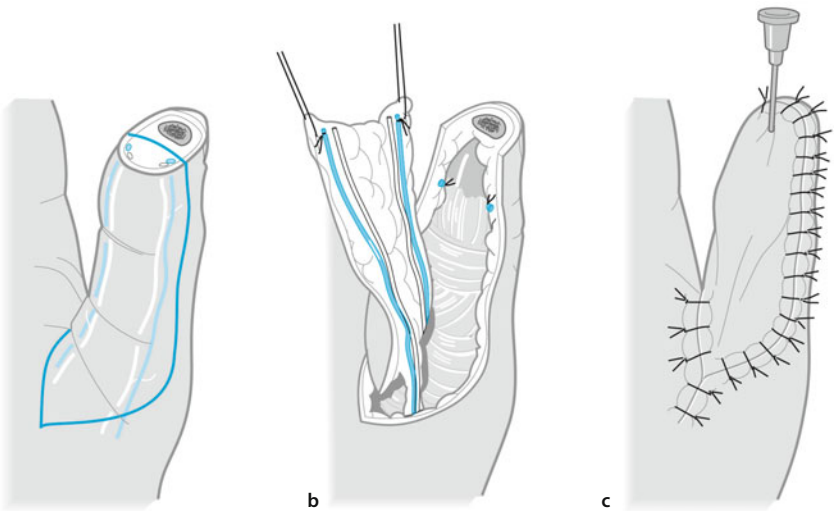
Dorsolateraler homodaktyler Inselpulpalappen

Wenn der Defekt eine größere Verschiebekapazität erfordert, sodass eine palmare VY-Lappenplastik nach Tranquilli-Leali oder eine bilaterale VY-Lappenplastik nach Kutler nicht mehr möglich sind, hat sich der unipedikuläre homodaktyle Insellappen bewährt, der auf Joshi und Pho (Dautel 1997, Wilhelm et al. 1996) zurückzuführen ist. Gewählt wird die nichtdominante Hemipulpa des Fingers. Voraussetzung zur Durchführung dieses Lappens stellt die Durchgängigkeit beider Fingerarterien dar, welche durch den digitalen Allen-Test (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) überprüft werden sollte.

Mit dem sterilen Hautstift wird ein der Größe des Defekts entsprechender Hautlappen an der nichtdominanten Fingerseite angezeichnet. Das Gefäß-Nerven-Bündel wird über einen mediolateralen Zugang aufgesucht, da die Bruner-Inzision die Gefahr einer Nekrose an der dreieckigen Spitze bergen würde. Nach Lösung des Inselhautlappens von der Sehnenscheide der tiefen Beugesehne



◘ **Abb. 7.75a–c** Homodaktyle Insellappenplastik an D5. **a** Präparation des angezeichneten Pedikels. **b** Einschwenken nach distal. **c** Postoperatives Ergebnis



◘ **Abb. 7.74a–c** Palmare Dehnungslappenplastik nach Epping. (Aus: Schmit-Neuerburg et al. 2001)

wird das Gefäß-Nerven-Bündel zusammen mit dem Fettgewebe wegen des venösen Rückflusses bis zur Grundgelenkbeugefalte präpariert. Dabei müssen sämtliche Arterienabgänge exakt koaguliert werden. Nach vollständiger Präparation des Pedikels kann der Lappen durch entsprechende Beugestellung der Fingergelenke nach distal in den Defekt eingeschwenkt werden. Die Entnahmestelle wird durch ein Vollhauttransplantat z.B. vom Hypothenar gedeckt. Nach Öffnen der Oberarmblutsperre kommt es meist zu einer Hyperämie des Lappens, die sich aber nach einigen Tagen normalisiert.

Postoperativ wird eine Fingergipslonguette angelegt, um jegliche Fingerextension zu verhindern. Nach ca. 10 Tagen wird mit einer physikalischen Therapie begonnen, um einer Beugefehlstellung der Fingergelenke vorzubeugen (Abb. 7.75).

7.6.4 Gestielte Nah- und Fernlappen

Diesen Lappen gemeinsam ist eine dreiseitige Umschneidung. Nach Hebung werden sie in den Defekt eingenäht. Die 4. Seite stellt immer den Stiel dar, welcher nach etwa 3 Wochen unter der Vorstellung der ausreichenden Gefäßeinsprossungen durchtrennt wird.

Der bekannteste Nahlappen ist sicherlich die Cross-Finger-Lappenplastik. Er wird bei Haut- und Weichteildefekten an der Palmarseite von Grund- und Mittelphalanx der Langfinger eingesetzt bzw. als umgekehrter »Cross-Finger-flap« bei dorsalseitigen Defekten. Hierbei handelt es sich um einen so genannten »random pattern flap«, also um einen Lappen ohne klar definierte Blutversorgung. Bei der Hebung muss das übliche Länge-zu-Breite-Verhältnis von etwa 2:1 eingehalten werden, da es sonst im Bereich der Lappenspitze zu einer Nekrose kommt.

Die größte Bedeutung unter den Fernlappen hat immer noch der gestielte Leistenlappen bei großen Haut- und Weichteildefekten an der Hand, v.a. in der Akutsituation bei nicht mikrochirurgisch erfahrenen Chirurgen. Dieser Lappen gehört zu den so genannten »axial pattern flaps«, deren Durchblutung über eine bekannte, anatomisch bezeichnete Gefäßachse erfolgt. Wegen ihrer guten Durchblutungsqualität muss die Längen-Breiten-Beziehung von 2:1 nicht berücksichtigt werden. Folglich haben sie im Allgemeinen große Stiellängen, woraus eine bessere Bewegungsfreiheit resultiert. In der Regel lassen sich nach Wundrandmobilisierung die Hebungsdefekte direkt verschließen. Des weiteren kann der Lappenstiel ohne Gefahr der Gefäßkompression mit sich selbst vernäht werden.

Cross-Finger-Lappenplastik

Der betroffene Arm wird auf dem Armtisch ausgelagert. Als Anästhesieform wird die Plexus- oder Leitungsanästhesie gewählt. Meist handelt es sich um einen tiefen palmarseitigen Defekt in Höhe des Grund- oder Mittelglieds. In der Regel wird als Spenderfinger der längere Nachbarfinger des verletzten Fingers ausgesucht.

Der Eingriff beginnt am palmarseitigen Hautdefekt, welcher zu einem rechteckigen Defekt begradigt wird. Dieser sollte beide Mediolaterallinien nicht überschreiten. Anschließend wird ein gestielter Hautlappen an der Dorsalseite des ausgewählten Spenderfingers präpariert, welcher wegen der Schrumpfungstendenz etwas größer ausfallen sollte. Der Hautlappen darf aber lateralseitig die Mediolaterallinie nicht überschreiten. Die oberflächlichen Hautvenen werden unterbunden und durchtrennt. Die Hebung der dorsalseitigen Haut erfolgt in der lockeren Bindegewebeschicht über dem Paratenon der Streckaponeurose bis zu der im verletzten Finger zugewandten Mediolaterallinie. Durch die zusätzliche Durchtrennung der dorsalseitigen Cleland-Ligamente – dünne fibröse Septen – unter Schonung der Gefäß-Nerven-Bündel wird die Hautbrücke besser mobilisiert, wodurch eine Kompression der Hautlappenbasis nach der Wendung vermieden werden kann. Der streckseitige Hautlappen wird sodann in den beugeseitigen Hautdefekt des verletzten Fingers eingeschwenkt. Die Blutsperre wird nun geöffnet

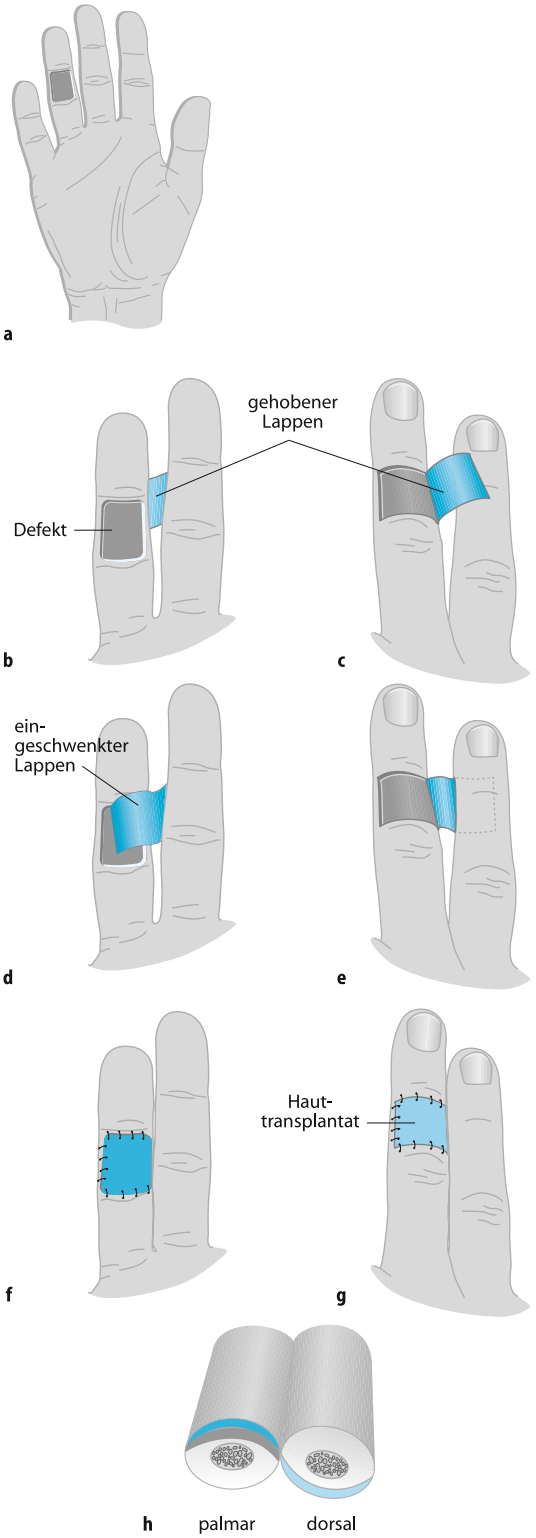


Abb. 7.76a–h Cross-Finger-Lappenplastik

Abb. 7.77a–c Cross-Finger-Lappenplastik bei einem fünfeinhalb-jährigen Buben mit einer Defektverletzung an D2: Situs vor und nach Stieldurchtrennung

und die Lappendurchblutung kontrolliert, daran schließt sich die Blutstillung an. Am Ende wird der Cross-Finger-Lappen spannungsfrei eingenäht. Zusätzlich werden beide Finger mit dickeren Nähten gegeneinander fixiert, um so jegliche Spannung auf den Lappen zu vermeiden. Der Hebedefekt und die frei liegende Fläche der Hautbrücke werden mit einem Vollhauttransplantat gedeckt. Wiederum wird ein Überknüpfverband fixiert.

Postoperativ wird eine palmare Zweifingergipsschiene anmodelliert und, um der Gefahr der Gelenkeinsteifung zu begegnen, bereits nach 6 Tagen mit einer physikalischen Therapie begonnen. Nach gut 14 Tagen wird der Lappenstiel in Lokalanästhesie und Blutleere durchtrennt. Die Wunden am Stiel an beiden Fingern werden mit Einzelknopfnähten locker adaptiert. Anschließend wird mit einer intensiven Fingermobilisierung begonnen (Abb. 7.76, Abb. 7.77).

Eine wichtige Modifikation bei dorsalseitigen Langfingerdefekten, besonders an Grund- und Mittelglied, stellt der umgekehrte **Cross-Finger-Lappen nach Pakiam** (der so genannte RCFF/reversed cross finger flap; Dautel 1997, Wilhelm et al. 1996) dar. Dieser besteht lediglich aus dem subkutanen Gewebe vom Spenderfinger. Mit Hilfe der Lupenbrille wird zunächst ein Vollhautlappen nach der Seite des gesunden Nachbarfingers gehoben, daraufhin wird die eigentliche Lappenplastik, der subkutane Lappen, gegen den verletzten Nachbarfinger hin präpariert und in das Defektgebiet eingeschwenkt, sodann wird die Vollhaut auf den Hebedefekt zurückgeschlagen und ein zweites Vollhauttransplantat am Empfängerort eingenäht (Abb. 7.78).

Eine weitere Variante stellt die mikrochirurgisch resensibilisierte **Cross-Finger-Lappenplastik nach Berger u. Meissl** dar (Partecke 1987; Wilhelm et al. 1996). Dabei werden die dem Lappen zugehörenden Nervenäste präpariert und am Empfängerort mittels mikrochirurgischer Nervennaht angeschlossen.

Leistenlappen

Der Leistenlappen wurde erstmals von McGregor u. Jackson (Dautel 1997, Partecke 1997, Wilhelm et al. 1996) 1972 beschrieben. Seine Gefäßversorgung stammt von der A. circumflexa iliaca superficialis, welche etwa 2–3 cm unterhalb des Leistenbandes lateral

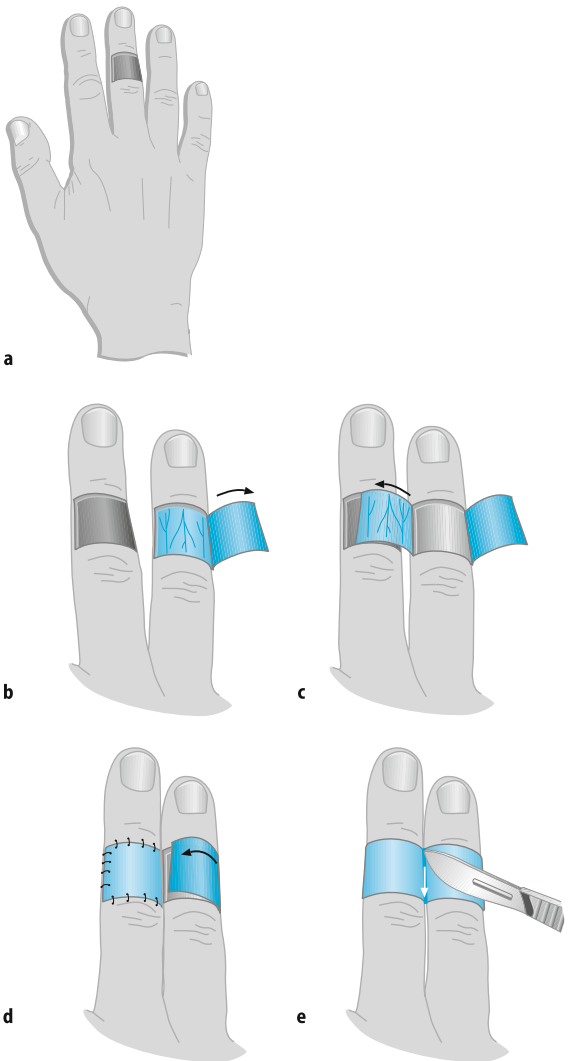


Abb. 7.78a–e Reversed Cross-Finger-Lappenplastik nach Pakiam

aus der A. femoralis entspringt. Sie verläuft in nahezu paralleler Richtung zum Leistenband zur Spina iliaca anterior superior. Für die Präparation dieser Arterie ist ihre Lage im Verhältnis zur Fascia superficialis eminent wichtig; sie wird nämlich in ihrem Verlauf immer oberflächlicher. Zunächst liegt sie subfaszial und durchtritt dann nach Abgabe eines Muskelasts zum M. sartorius etwa in der Mitte zwischen der A. femoralis und der Spina iliaca anterior superior die Faszie. Von jetzt an verlaufen die Gefäße auf der Faszie und geben Äste an die umliegende Haut ab. Aufgrund der hervorragenden Durchblutungsverhältnisse in diesem Bereich ist eine Lappenpräparation bis ca. 8 cm oberhalb und dorsal der Spina iliaca anterior superior ohne größeres Risiko einer Lappennekrose möglich. Der venöse Abfluss erfolgt durch die V. circumflexa iliaca superficialis und die Vv. commitantes.

Der Patient wird auf dem Rücken mit einem Kissen unter der entsprechenden Beckenhälfte gelagert, um somit einen ausreichenden Zugang oberhalb und hinter der Spina iliaca anterior superior zu ermöglichen. In Vollnarkose wird die Leistengegend großzügig desinfiziert, anschließend entsprechend weit abgedeckt, sodass die Hüfte bei Verschluss des Hebedefekts ohne Probleme gebeugt werden kann. Mit dem sterilen Stift werden nun die anatomischen Landmarken wie Spina iliaca anterior superior, A. femoralis, Leistenband, der mediale Rand des M. sartorius und der Verlauf der A. circumflexa iliaca superficialis aufgezeichnet. Anschließend wird die Größe des zu hebenden Lappens mit einer zurechtgeschnittenen Kompresse bestimmt, in der Leistengegend aufgelegt und mit dem sterilen Stift umfahren. Dabei sollte der Verlauf der A. circumflexa iliaca superficialis im Zentrum des geplanten Lappens liegen.

Um einen entsprechenden Rundstiel bilden zu können, darf die Hautbrücke in Anbetracht des unterschiedlich dicken Fettpolsters des Patienten nicht zu schmal gewählt werden, da sonst die versorgenden Gefäße komprimiert werden können.

In der Regel ist ein Leistenlappen etwa 30 cm lang und 15 cm breit und ermöglicht einen primären Verschluss des Hebedefekts durch direkte Naht. Nach Umschneidung des Lappens wird er von lateral nach medial gehoben, wobei die Faszie in der Tiefe belassen wird. Dadurch wird eine Schädigung des N. cutaneus femoris lateralis und seiner Äste vermieden. Der Patient soll aber trotzdem präoperativ über einen möglichen Sensibilitätsverlust im Oberschenkelbereich aufgeklärt werden. Bei der weiteren Präparation stößt man am kranialen Lappenrand auf die A. und V. epigastrica superficialis, welche unterbunden werden müssen. Anschließend wird der laterale Rand des M. sartorius dargestellt. Seine Faszie wird nun inzidiert und bei der weiteren medialen Präparation am Lappen belassen. Diese endet in aller Regel am medialen Rand des M. sartorius. Muss der Lappen bis zur Lacuna vasorum freipräpariert werden, wird ein Muskelast am medialen Rand des M. sartorius ligiert. Der Lappen wird nun in feuchte Kompressen gelegt und eine Wundrandmobilisierung des Hebedefekts vorgenommen. Nach sorgfältiger Blutstillung und Einlage einer Redon-Saugdrainage erfolgen subkutane Nähte mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 3/0 und der Hautverschluss relativ dicht mit 4/0er Fäden. Um den primären Wundverschluss zu erleichtern, muss zur Entlastung der Wundrandspannung das entsprechende Bein im Hüftgelenk gebeugt werden. Der Lappenstiel wird nun eingerollt und mit sich spannungsfrei primär verschlossen. Ist die Durchblutung der Lappenplastik wegen einer zu hohen Spannung als kritisch anzusehen, sollte auf eine Spalthautplastik zurückgegriffen werden.

Nach entsprechender Lagerung der Hand mit dem zu deckenden Weichteildefekt wird der Lappen ohne jegliche Spannung mit

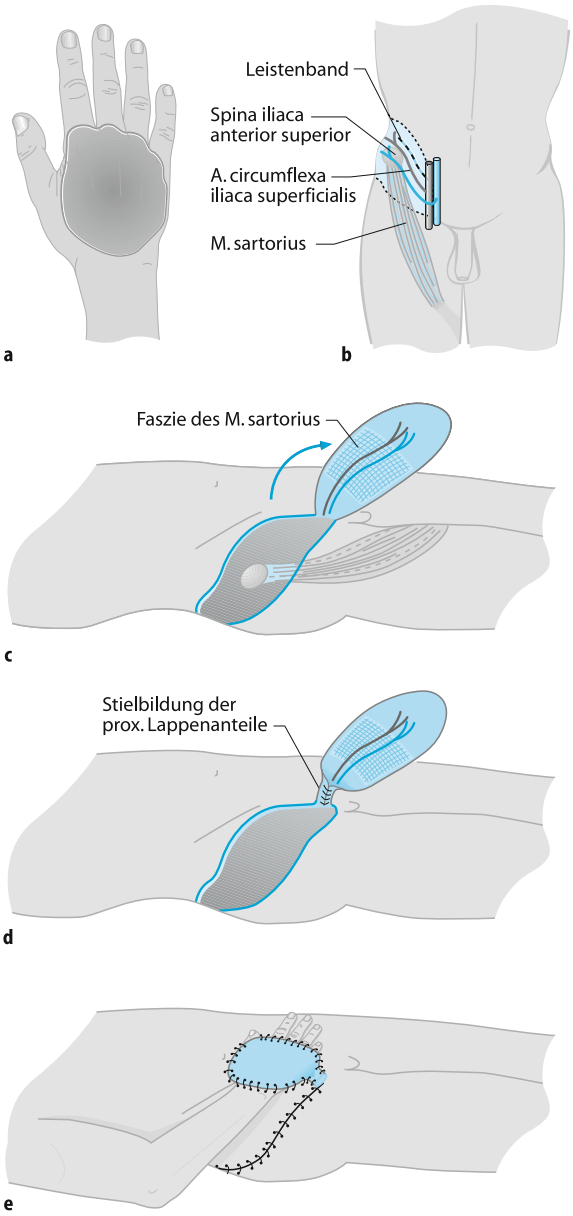


Abb. 7.79a–e Leistenlappen nach McGregor

Einzelknopfnähten in den Defekt eingenäht. Je länger die Stielbildung ausgefallen ist, desto effektiver können die Fingergelenke und das Handgelenk krankengymnastisch beübt werden. Außerdem wird dadurch die postoperative Pflege deutlich erleichtert (Abb. 7.79).

Bevor der Patient aus der Narkose erwacht, müssen die Hand am Bauch und der Arm am Thorax mit elastischen Binden entsprechend fixiert sein. Dabei muss auf eine exakte Lappenstiellänge geachtet werden, zu starker Zug oder gar eine Abknickung des Lappenstiels muss unbedingt vermieden werden.

Postoperativ sollte der eingenähte Lappen rund um die Uhr kontrolliert und zur Wundentlastung das Bein bis zum 10. postoperativen Tag auf einer Schiene hochgelagert werden. Bereits ab dem 2. oder 3. postoperativen Tag wird mit regelmäßiger Krankengymnastik begonnen. Damit wird einer Gelenkeinsteifung vorgebeugt. Das Lappentraining, also die Abklemmung des Lappens mit einer weichen Darmklemme, empfiehlt sich ab dem 12. Tag, anfangs mit

3-mal 5 min bis zu 2 h am Ende. Die endgültige Durchtrennung des Lappenstiels erfolgt nach 3 Wochen. Wird der Lappenstiel selbst noch zur Deckung verwendet, wird nach 3 Wochen zunächst nur die Arterie ligiert und durchtrennt. Eine Woche später erfolgt die endgültige Abtrennung und Einnähung des Lappens.

Häufig ist eine sekundäre Lappenausdünnung erforderlich, zumal ein sofortiges Entfetten eher kritisch zu sehen ist. Sie sollte aber nicht vor Ablauf eines halben Jahres nach Lappeneinnaht vorgenommen werden. Dabei stehen 2 Möglichkeiten zur Verfügung. Entweder wird der Lappen in einem Schritt bis auf eine dünne Gleitschicht auf den tieferen Strukturen ausgedünnt und die Haut des Lappens als Vollhauttransplantat zurückgenäht oder das Fettgewebe wird unter Berücksichtigung einer ausreichenden Lappendurchblutung radikal entfernt. Dafür braucht man aber mindestens 2 Operationen, da nie mehr als 50% abgehoben werden sollten. Die 2. Operation sollte nach etwa 6 Wochen erfolgen. Damit sekundär keine Narbenkontrakturen entstehen, sollte der entfettete Hautanteil mittels Z-Plastiken zurückgenäht werden. Insgesamt stellt der McGregor-Leistenlappen (Blatt 1994) v.a. in der Notfallsituation gerade für einen mikrochirurgisch nicht versierten Chirurgen ein relativ einfaches und zuverlässiges Verfahren zur Deckung bei ausgedehnten Weichteildefekten an Handrücken und Hohlhand dar. Als freier mikrovaskulär anzuschließender Lappen hat er wegen des kurzen Gefäßstiels und der Dicke des Lappens an Bedeutung verloren.

7.6.5 Vaskulär und neurovaskulär gestielte Insellappen

Im Gegensatz zu den gestielten Nah- und Fernlappen werden die gestielten Insellappen an allen 4 Seiten umschnitten und nur am Gefäßbündel mit der Arterie und der Vene bzw. am Gefäß-Nerven-Bündel belassen. Präoperativ sollte immer die Durchgängigkeit der beiden Fingerarterien an dem für den Insellappen infrage kommenden Finger überprüft werden.

Einer der bekanntesten neurovaskulären Insellappen ist der von Littler (Dautel 1997, Partecke 1987, Wilhelm et al. 1996) 1956 beschriebene, der von der Ulnarseite des Ringfingers zur sensiblen Defektdeckung an der Greifseite des Daumens gehoben wird. Aufgrund seiner erheblichen Nachteile – wie Hebedefekte, Öffnung der Hohlhand und Sensibilitätsstörung durch fehlendes Umlernen gerade bei älteren Patienten – wird er nicht mehr verwendet.

Zur Hautdefektdeckung von Grund- und Endglied des Daumens sowie im Bereich der ersten Kommissur hat sich dagegen die A.-metacarpalis-dorsalis-1-Lappenplastik in der Variante nach Foucher und Braun durchgesetzt (Dautel et al. 1997, Partecke 1987, Wilhelm et al. 1996). Durch diese Lappenplastik wird versucht, den Daumenstumpf in der Länge zu erhalten und zugleich einen sensiblen Hautlappen zu bilden.

Wie üblich wird die Operation in Rückenlage des Patienten mit ausgelagerter Hand auf dem Armtisch in Plexusanästhesie und Oberarmblutleere durchgeführt. Die Begrenzungen des Zeigefingerlappens sind nach distal die Streckfalte des Mittelgelenks, nach radial und ulnar die Mediolaterallinie und nach proximal das Mittelhandköpfchen. Präpariert wird von einem S-förmig geschwungenen Hautschnitt etwas radialseitig des 2. Mittelhandknochens bis in Höhe der Metakarpale-I- und -II-Basis. Distal der Sehne des M. extensor pollicis longus werden nun das Gefäß-Nerven-Bündel mit der A. metacarpalis dorsalis I, die Nn. digitales dorsales, der R. superficialis n. radialis sowie 1–2 oberflächliche Hautvenen aufgesucht. Für die Präparation wird zumindest eine Lupenbrille benötigt.

Um möglichst wenig der arteriellen Hautäste zu verletzen, muss der Gefäß-Nerven-Stiel zusammen mit dem umliegenden subkutanen Fettgewebe gehoben werden. Man präpariert dazu einen genügend breiten Faszienstreifen samt Gefäß-Nerven-Bündel und Fettgewebe von möglichst weit radial bis ulnar an das Periost des 2. Mittelhandknochens heran. Dadurch ist die A. metacarpalis dorsalis I sicher im präparierten Pedikel enthalten. Nachdem nun der Gefäß-Nerven-Stiel proximal freipräpariert ist, wird der mit einem sterilen Stift vorgezeichnete Lappen weiter von distal nach proximal ausgelöst. Dabei sollte das Peritendineum der Strecksehnen geschont werden (Abb. 7.80).

Um beim späteren Einnähen des Lappens in den vorgegebenen Defekt eine Kompression auf den Lappenstiel zu vermeiden, muss am proximalen Rand des Lappens im Bereich des Eintrittspunkts des Gefäß-Nerven-Bündels ein spitzwinkliger Hautanteil mitgehoben werden.

Wenn nun alle Lappenanteile umschnitten und freipräpariert sind, wird in Höhe der proximalen Defektzone ebenfalls ein leicht S-förmig geschwungener Hautschnitt gelegt. Hier kommt später der spitzwinklige Hautanteil des gehobenen Lappens zu liegen. Die übrige Hautbrücke zwischen Defekt und Insellappenstiel wird nun

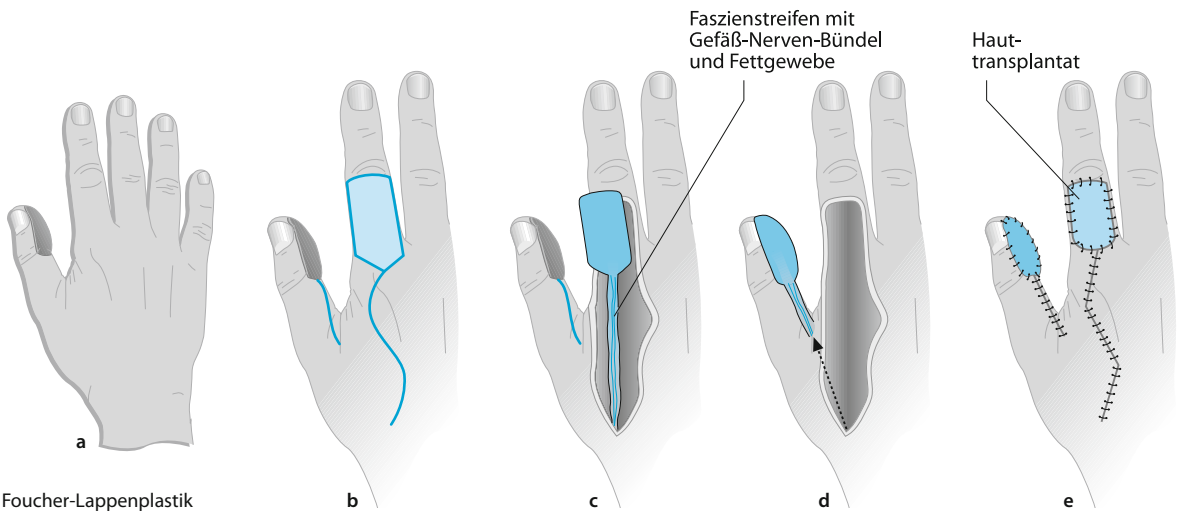


Abb. 7.80a–e Foucher-Lappenplastik

vorsichtig unterminiert, sodass dann der gehobene Lappen ohne Mühe hindurchgezogen werden kann. Eine Torquierung des Lappens muss natürlich vermieden werden. Zuvor wird die Blutleere aufgehoben, um die Durchblutung kontrollieren und eine exakte Blutstillung durchführen zu können. Nach Einnähen des Lappens in den Defekt sollten zur Gewährleistung des Abflusses von Hämatom und Sekret grundsätzlich kleine Gummilaschen in den Wundrand zwischen die Einzelknopfnähte eingelegt werden. Die Laschen werden am 1., spätestens 2. postoperativen Tag entfernt. Der Hebedefekt wird mit einem Hauttransplantat geschlossen. Ein locker gewickelter Verband beendet den Eingriff. Die Lappenregion sollte für eine ständige Durchblutungskontrolle frei bleiben.

Postoperativ wird die Hand bis zur gesicherten Wundheilung auf einer palmaren Unterarmgipslonguette ruhiggestellt. Zur Vermeidung einer Kompression durch inkrustiertes Verbandsmaterial sollte zumindest einmal täglich der Verband gewechselt werden. Zur Verbesserung der lokalen Rheologie kann 500 ml HAES 6%ig pro Tag über etwa 5 Tage gegeben werden. Bei Stauung oder Verfärbung des Lappens ist eine sofortige Revision indiziert. Ist der Lappen samt Hauttransplantat sicher eingeheilt, kann mit krankengymnastischen Bewegungsübungen und Narbenpflege begonnen werden.

7.6.6 Freie Hautlappen mit mikrovaskulären Anastomosen

Stellvertretend für die große Anzahl möglicher freier Lappen soll hier auf den Radialislappen eingegangen werden. Dieser Lappen wurde 1978 in China entwickelt (Partecke 1992). Er heißt daher auch chinese-flap. Er fand schnell Verbreitung als sichere Rekonstruktionsmöglichkeit vom intraoralen Gewebeersatz bis hin zur Fußsohlenrekonstruktion. Die Gefäßversorgung erfolgt über A. und V. radialis.

Im Bereich der Hand kann der Radialislappen frei oder gestielt eingesetzt werden, erfolgt aber zur Defektdeckung der Hand aufgrund seiner großen Reichweite bevorzugt gestielt. Die Vorteile dieses Lappens liegen in seiner Verlässlichkeit, der konstanten Anatomie und seiner Variabilität. So kann der Lappen proximal oder distal am Unterarm entnommen werden, je nachdem ob mehr oder weniger subkutanes Fettgewebe erwünscht ist. Die Größe des Lappens kann sogar den gesamten Unterarm volar einnehmen, für handchirurgische Zwecke reichen jedoch etwa 10×7 cm aus. Über die Äste des R. cutaneus antebrachii lateralis und medialis kann ein Nervenanschluss durchgeführt werden, und unter Mitnahme eines Anteils des palmaren Radius kann er als osteokutanes Transplantat verwendet werden. Auch ein Einsatz als Defektdeckung mit Sehnentransplantat ist möglich. Da die gesamte A. radialis am Unterarm verwendet werden kann, entsteht bei Bedarf ein langer Pedikel mit höherer Variabilität.

Bei seinem Einsatz wird jedoch eine Gefäßachse des Unterarms geopfert, die mit einem Venentransplantat überbrückt werden kann. Der kosmetische Defekt ist beträchtlich und muss mit einem zusätzlichen Hauttransplantat gedeckt werden.

Vor Anwendung des Lappens muss zumindest ein Allen-Test durchgeführt werden, um Sicherheit über die Durchblutung der Hand auch nach Entnahme der A. radialis zu gewinnen. Bei anatomischen Varianten, ausgeprägter Arteriosklerose und vorbestehenden Traumen muss die Indikation zurückhaltend gestellt werden.

Eingesetzt werden kann der Radialislappen bei allen größeren Weichteildefekten der Hand, zur Defektdeckung bei Amputationsverletzungen und bei erwünschter sensibler Rekonstruktion. So eignet er sich als gestielter Lappen gut zur Rekonstruktion bei Avulsionsverletzungen.

Nach Anzeichnung der erwünschten Lappengröße am Unterarm volar unter Einbeziehung der A. radialis erfolgt die Inzision des Lappens bis auf die Faszie. Dann wird die Unterarmfaszie durchtrennt und die A. radialis zwischen dem M. flexor carpi radialis und dem M. brachioradialis aufgesucht und freipräpariert. Die Arterie wird nun distal mit ihren Begleitvenen durchtrennt und zum Lappen hin dargestellt. Dabei kann die Pedikellänge festgelegt

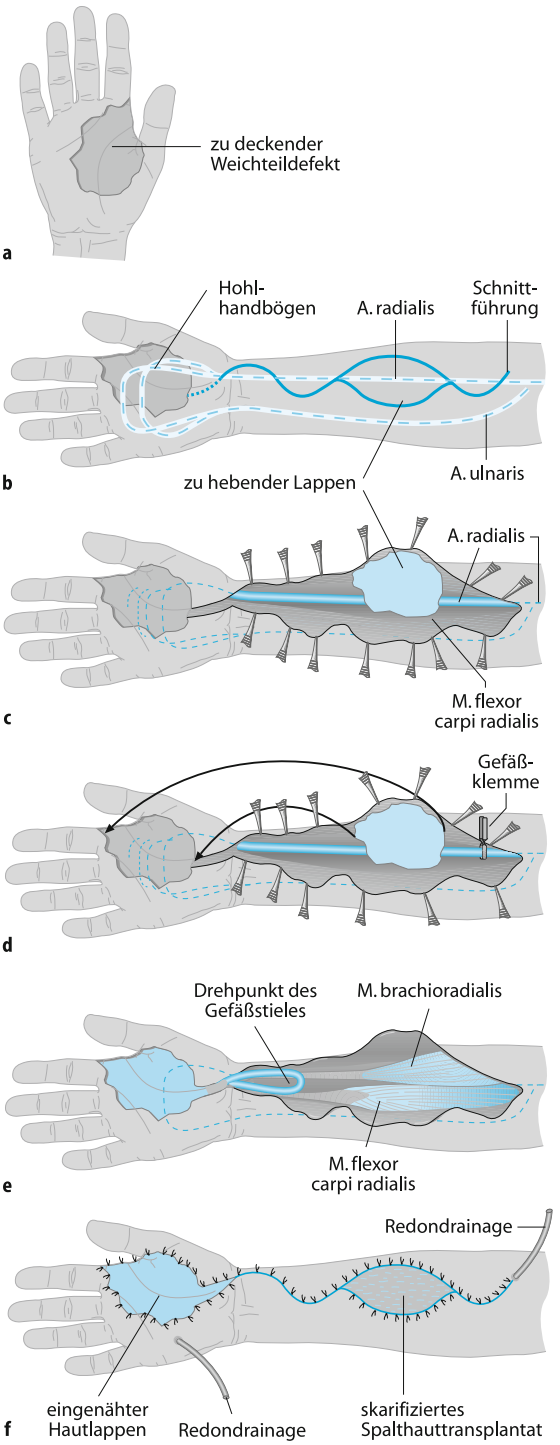


Abb. 7.81a–f Radialislappen als gestielter Lappen

werden. Der Lappen wird dann mit Faszie von der Muskulatur gehoben und die Haut mit der Faszie mittels mehrerer resorbierbarer Nähte zum Schutz vor Abscherung vernäht. Wird er im distalen Bereich am Unterarm entnommen, muss man darauf achten, dass das Sehnengleitgewebe unversehrt bleibt, um die Einheilung des späteren Hauttransplantats nicht zu gefährden. Die Arterie wird danach am proximalen Lappenende durchtrennt und der Lappen mit dem präparierten Gefäßpedikel entnommen. Dann erfolgt der mikrochirurgische Anschluss mit Nähten der Stärke 10/0 oder 9/0. Die Faszie des Lappens sollte dabei mit resorbierbarem Nahtmaterial fixiert werden, ebenfalls um ein Abscheren zu vermeiden. Nach lockerem Anlegen des Lappens werden Hautnähte in Einzelknopfstichtechnik angebracht.

Wird der Radialislappen als gestielter Lappen entnommen, so ist präoperativ der Drehpunkt festzulegen, was die Präparation erleichtert. Nach Durchtrennung der Arterie und der Venen proximal am Unterarm muss die Drehung des Lappens nach distal unbedingt ohne Torsion und Abknickung der Gefäße erfolgen. Gegebenenfalls ist eine weitere Präparation der Gefäße zum Hohlhandbogen hin erforderlich. Im Handbereich ist auch oft eine Tunnelierung zum Durchzug des Lappens notwendig, die eine ausreichende Größe aufweisen muss. Alternativ dazu kann der Lappen an der Hand in eine kanalartig präparierte Gewebelücke gelegt werden. Nach der Lappenentnahme kann der Hebedefekt durch Approximierung der Wundränder und Fixierung der Hauträndern an der Faszie verkleinert werden. Die Einnaht des Lappens muss dann spannungsfrei erfolgen. Insbesondere beim Nachkürzen und Einpassen in den Defekt besteht eine hohe Verletzungsgefahr des zuführenden Pedikels.

Die häufigste Komplikation ist die Durchblutungsstörung durch Kompression auf den Pedikel mit nachfolgendem Lappenverlust. Bei sorgfältiger präoperativer Prüfung mittels Allen-Test reduziert sich das Risiko von Durchblutungsstörungen und Ischämien der Hand. Selten sind Muskelhernien am Unterarm und ein Verlust des Hauttransplantats an der Entnahmestelle bei schlecht durchblutetem Wundbett beschrieben. Bei weiter Präparation nach radial kann der sensible Ast des N. radialis verletzt werden. Bei Einbeziehung eines knöchernen Radiusanteils können Radiusfrakturen entstehen (Abb. 7.81).

7.7 Nervenverletzungen

7.7.1 Grundlagen

Anatomie

Die nervale Versorgung der Hand ist durch den N. radialis, den N. medianus und den N. ulnaris gewährleistet. Die Innervation erfolgt motorisch und sensibel. Je proximaler die Läsion am Arm liegt, umso ausgedehnter ist der motorische Ausfall. Bei distalen Läsionen im Handbereich resultieren fast ausschließlich sensible Ausfälle. Eine Ausnahme besteht im Handbereich durch den R. profundus n. ulnaris und den motorischen Ast des N. medianus. Nicht zu vergessen sind die Innervationsanomalien, insbesondere zwischen N. medianus und N. ulnaris, welche in bis zu 15% der Fälle auftreten. Den anatomischen Aufbau eines peripheren Nervs zeigt Abb. 7.82.

Ätiologie

Verletzungen peripherer Nerven der Hand haben ihre Ursache in scharfen oder stumpfen Traumen, Ischämie oder thermischen Läsionen, wobei am häufigsten durch Stich- oder Schnittwunden komplette oder inkomplette Nervenverletzungen entstehen. Manchmal kommen jedoch auch Läsionen ohne jegliche Kontinuitätsunterbrechungen vor.

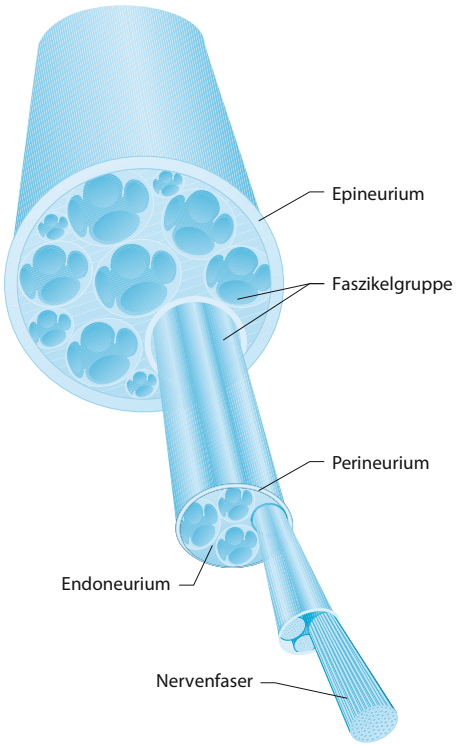


Abb. 7.82 Anatomischer Aufbau eines peripheren Nervs

Klinik

Bei Fingernervenverletzungen resultiert grundsätzlich ein Sensibilitätsausfall in der entsprechenden sensiblen Innervationszone. So kommt es bei einer Stichverletzung in Höhe der distalen Hohlhand zu einem Sensibilitätsdefizit entsprechend dem Versorgungsgebiet des betroffenen N. digitalis palmaris communis.

Diagnostik

Um eine Nervenläsion exakt interpretieren zu können, ist die genaue Kenntnis der Anatomie unabdingbare Voraussetzung. Dazu zählt sowohl die sensible Hautinnervation der einzelnen Handnerven palmar und dorsal als auch die entsprechende Muskelinnervation. Zur Feststellung von Nervenverletzungen sind neben den Angaben des Patienten Sensibilitätsprüfungen erforderlich. Hierzu zählt die Spitz-Stumpf-Diskriminierung, die hilft, operationswürdige von nicht dringlich zu versorgenden Läsionen zu unterscheiden. Dabei wird mit dem spitzen und stumpfen Ende einer Injektionskanüle ohne Sichtkontrolle des Patienten untersucht. Bei kompletter Nervendurchtrennung fehlt in der Regel das Sensibilitätsmerkmal »spitz«. Eine genauere Diagnostik lässt die Prüfung der Zweipunktediskriminierung zu. Der Minimalabstand zwischen 2 Punkten, die voneinander unterschieden werden können, liegt im Fingerbereich zwischen 3 und 6 mm voneinander entfernt. Um pathologische Veränderungen besser erfassen zu können, sollte man die Prüfung immer im Seitenvergleich vornehmen. Mit handelsüblichen Abstandsmessern oder mit Hilfe einer entsprechend gebogenen Büroklammer kann sowohl statisch als auch dynamisch die Innervationsdichte der Nervenfasern im Fingerkuppenbereich gemessen werden.

Tab. 7.8 Stadieneinteilung der Nervenverletzung nach Seddon und Sunderland und deren therapeutische Konsequenz

Seddon	Sunderland	Verlauf	Therapie
Grad 1: Neurapraxie	Grad 1: Unterbrechung der Nervenleitfähigkeit bei axonaler Unversehrtheit	Vollständig reversibel	Keine Operation indiziert
Grad 2: Axonotmesis	Grad 2: Axonale Verletzung bei intaktem Endoneurium	Vollständige Regeneration	Keine Operation indiziert
	Grad 3: Axonale Verletzung mit Waller-Degeneration bei Läsion der faszikulären Struktur und des Endoneuriums	Unvollständige, verzögerte Regeneration	Operation nach Ausbleiben der spontanen Regeneration indiziert
	Grad 4: Bei intaktem Epineurium übrige Nervenanteile geschädigt, Entstehung eines Neuroms	Ausreichende Nervenregeneration unwahrscheinlich	Operation nach Ausbleiben der Regeneration indiziert
Grad 3: Neurotmesis	Grad 5: Vollständige Nervendurchtrennung	Keine Regeneration möglich	Primäre Nervenkoaptation

Weitere weniger aussagekräftige Überprüfungsmöglichkeiten sind die Prüfung der Temperatur und des Berührungsempfindens sowie die Aufleseprobe kleinerer Gegenstände ohne Sichtkontrolle. Vor allem bei länger zurückliegenden Verletzungen weist das Hoffmann-Tinel-Zeichen durch die Empfindlichkeit der Nervenstümpfe oder eines Neuroms auf die Lokalisation eines geschädigten Nerven hin. Hierbei lässt sich durch Beklopfen mit der Fingerkuppe des Untersuchers im Bereich der Verletzung eine elektrisierende Missempfindung auslösen. Letzteres Zeichen und die Zweipunktediskriminierung können auch zur Beurteilung einer Nervenregeneration genutzt werden.

Die elektrophysiologische Diagnostik durch Messung der Nervenleitgeschwindigkeit und die Elektromyografie spielt in der Akutdiagnostik eine eher untergeordnete Rolle; sie empfiehlt sich zur Diagnosesicherung v.a. bei chronischen Nervenschädigungen allein aus forensischen Gründen und zur postoperativen Verlaufsbeurteilung.

Klassifikation

Die Nervenläsionen werden nach Seddon (1942) in 3 Schweregrade unterteilt. Sunderland (1951) hat diese Einteilung nach morphologischen Gesichtspunkten modifiziert und eine Klassifikation in 5 Graden vorgeschlagen. Da letztere das Schädigungsausmaß der einzelnen Nervenstrukturen detaillierter beschreibt, wird hauptsächlich diese verwendet (Tab. 7.8).

7.7.2 Operative Therapie

Die vollständige Durchtrennung der Unterarm-, Hand- und Fingernerven – bei letzteren gibt es unterschiedliche Auffassungen – ist eine Indikation zur operativen Naht. Nur bei oberflächlichen Hautnerven kann die Resensibilisierung über das benachbarte nerval versorgte Hautareal abgewartet werden.

Bei offenen Wunden legt die Lokalisation und Ausdehnung meist die mögliche Nervenverletzung nahe. Teildurchtrennungen sind meist ausgedehnter als zunächst klinisch und diagnostisch zu vermuten war. Bei fraglicher Nervenbeteiligung empfiehlt sich deshalb die Exploration, denn selbst eine sorgfältige klinische Untersuchung erlaubt nicht immer eine klare Aussage über das Vorliegen einer Neurotmesis. Nicht nur die psychische Situation des Patienten kurz nach einem Trauma, sondern auch gut gemeinte, für den Transport des Patienten in die Klinik angebrachte Leitungsanästhesien, zu enge Verbände oder Mehrfachverletzungen machen eine definitive Beurteilung unmöglich. In diesen Fällen ist ebenso wie bei Quetschtraumen eine sofortige Revision nicht indiziert. Des Weiteren empfehlen sich eine Ruhigstellung, allgemein abschwellende Maßnahmen und Kühlung des verletzten Bereichs sowie klinische und ggf. elektromyografische Kontrollen.

Bei Stichverletzungen kann die Nervenverletzung entfernter liegen als es durch die eigentliche Hautwunde zu vermuten wäre. Sollte die Versorgung eines durchtrennten Nerven aus technischen oder sonstigen Gründen nicht möglich sein, wird die Wunde lediglich mit adaptierenden Nähten verschlossen und auf Markierungsnähte an den Nervenstümpfen verzichtet, da sie zu zusätzlichen Schäden und Vernarbungen führen können.

Dringlichkeit

Generell sollte die definitive Versorgung so früh wie möglich angestrebt werden. Bei offenen Verletzungen ist die primäre mikrochirurgische Nervenkoaptation innerhalb der ersten 24 h am günstigsten. Hierbei kann bei glatten Schnittverletzungen auf eine weitreichende Kürzung der Nervenstümpfe verzichtet werden, eine Zuordnung der Faszikel bzw. Faszikelgruppen ist in der Regel möglich. Außerdem begünstigt das Fehlen von Narbenbildungen benachbarter Strukturen die Nervenregeneration nach spannungsfreier Naht. Lediglich bei einem manifesten Infekt oder ausgedehnten Zusatzverletzungen besteht eine Kontraindikation für eine Primärversorgung. Hierbei wird eine frühe sekundäre Versorgung innerhalb der nächsten 2 Wochen angestrebt.

Eine verzögerte Primärversorgung in den ersten Tagen ohne abgeschlossene Wundheilung ist bei unklaren klinischen Angaben oder dem Fehlen technischer Voraussetzungen sinnvoll. Durch die Retraktion der Nervenstümpfe ist jedoch eine weitere Mobilisierung mit Anfrischen der Nervenstümpfe unausweichlich. Eine Sekundärnaht nach 3 Wochen und später wurde lange Zeit propagiert. Die Messung der Neuromaktivität und ihres verbesserten Stoffwechsels ab der 3. Woche nach einer Nervendurchtrennung führte zur Argumentation, dass in diesem Stadium eine bessere Nervenheilung gesichert werden kann. Die spannungsfreie Nervenkoaptation ist jedoch erschwert, was meistens eine Nerventransplantation mit 2 Koaptationsstellen notwendig macht. Nervenverletzungen, die über 6 Monate zurückliegen, müssen spät sekundär wieder hergestellt werden. Dabei muss nach Zurückkürzen der Stümpfe auf eine End-zu-End-Naht verzichtet und ein Nerveninterponat meist vom N. suralis eingebracht werden (s. unten).

Aufklärung

Um Enttäuschungen zu vermeiden, müssen die Patienten präoperativ über den zu erwartenden monatelangen Heilungsverlauf informiert werden. Ist eine Nerventransplantation bei einer Defektstrecke von über 3 cm zu erwarten, muss der Patient über die Hebemorbidität und deren Auswirkungen im Verlauf des N. suralis in Höhe des lateralen Fußrandes aufgeklärt werden. Die Nervenregeneration beginnt ca. 2–3 Wochen nach der Läsion, wobei dann Axone aussprossen und über die Verletzungsstelle hinweg in die distalen Stümpfe einwachsen. Missglückt jedoch die korrekte Nervenkoaptation der beiden Nervenstümpfe, können die Axone nicht weiter durchwachsen und ein Neurom bildet sich am proximalen Nervenstumpf. Als grober Anhaltspunkt kann eine Nervenregenerationsgeschwindigkeit von etwa 1 mm pro Tag angenommen werden.

Nervennahttechnik

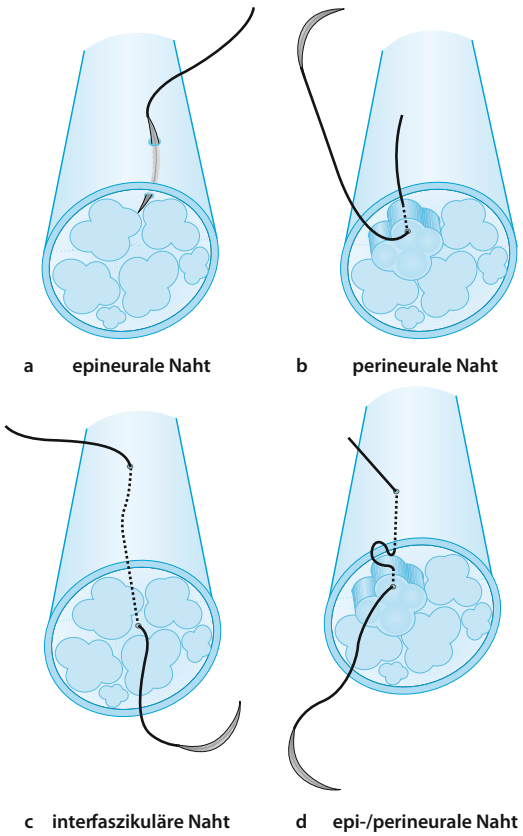
Für die Naht ist eine Lupenbrille und besser noch ein Operationsmikroskop nötig, da es gilt, Nahtmaterial der Stärke 8/0 bis 10/0 zu verarbeiten. Zur Vermeidung von Narbenbildungen sollten die Nervenstümpfe nur am Epineurium und nach Möglichkeit niemals an den einzelnen Faszikeln angefasst werden. Bei sekundärer Nervennaht müssen die Stümpfe durch eine sparsame scheibchenförmige Resektion angefrischt werden. Liegen die beiden Nervenstümpfe zu weit auseinander, können sie entweder durch Beugung der benachbarten Gelenke angenähert oder durch eine temporäre Epineuralnaht mit Fadennahtmaterial der Stärke 6/0 bis 8/0 ca. 1,5 cm vom Schnittrand entfernt zusammengebracht werden. Nicht zu vergessen ist die korrekte Einstellung der beiden Stümpfe hinsichtlich Rotation und Spannung. Hierbei kann man sich an den Begleitgefäßen und der Schnittebene orientieren. Bei dickeren Nerven sollte man bei der Naht immer mit der Rückseite des Nerven beginnen (Weber et al. 1993). Einzelknopfnähte erleichtern es, die einzelnen Faszikelgruppen exakt miteinander zu verbinden. Man sollte nicht zu viel Nahtmaterial einbringen: »So wenig Nähte wie möglich, so viel wie nötig.« Während bei den monofaszikulären Fingernerven 1–3 Nähte zur exakten Koaptation genügen, sind bei Durchtrennung eines polyfaszikulären Nerven mindestens 10 Nähte erforderlich.

Verschiedene Nervennahtarten

Allen unterschiedlichen Nahttechniken gemeinsam ist das Bestreben, nur das Nervenhüllgewebe zu fassen, um dadurch die einzelnen Faszikel zu schonen und die Nervenregeneration nicht zu behindern. Letztendlich entscheidet neben dem Traumaausmaß die Faszikelstruktur der betroffenen Nerven – monofaszikulär, oligofaszikulär und polyfaszikulär – darüber, welche Nervennahttechnik Anwendung finden sollte. In ◘ Abb. 7.83 sind die 4 unterschiedlichen Nahttechniken skizziert, ◘ Tab. 7.9 zeigt deren Vor- und Nachteile sowie Hauptanwendungsbereiche (Merle 1997).

Nerventransplantation

Ist eine direkte spannungsfreie Nervenkoaptation nicht möglich, wird eine Defektüberbrückung durch so genannte Kabeltransplan-



◘ **Abb. 7.83a–d** Die 4 verschiedenen Nervennahttechniken

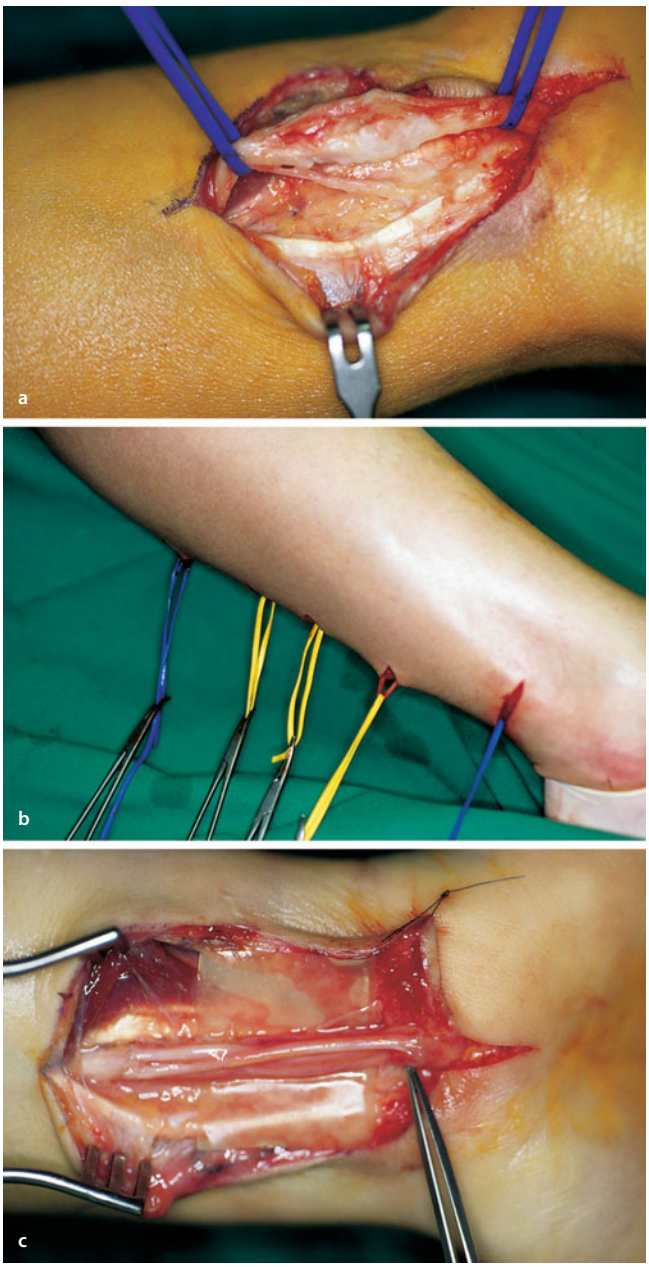
◘ **Tab. 7.9** Die verschiedenen Arten von Nervennähten haben jeweils Vor- und Nachteile sowie eine unterschiedliche Indikation

Art	Technik	Vorteil	Nachteil	Indikation
1. Epineurale Naht	Nähte fassen nur die gefäßtragende Nervenhülle, das Epineurium	Einfachste Nahttechnik, geringste Traumatisierung, am wenigsten Fremdmaterial	Ungenaue Koaptation der einzelnen Faszikelgruppen	Fingernerv
2. Perineurale Naht (faszikuläre Naht)	Nähte fassen das Perineurium der Faszikel	Exakte Faszikeladaptation	Technisch aufwändig, Traumatisierung des Nervengewebes unumgänglich, viel Fremdmaterial	Nerventransplantation
3. Interfaszikuläre Naht	Nähte werden durch das Perineurium oder interfaszikuläre Epineurium geführt (in Kombination mit epineuraler Feinadaptation)	Exakte Faszikelgruppenadaptation	Zusätzliche Läsion der Nervenfaszikel, reichlich Fremdmaterial, Narbenbildung	Glatte Nervendurchtrennung
4. Kombinierte epi-/perineurale Naht	Nähte fassen zunächst das Epineurium und dann das Perineurium	Exakte Faszikeladaptation und gleichzeitig Dichtigkeit des Epineuriums	Technisch anspruchsvoll, zeitaufwändig	Hohlhandnerv, Unterarmnerv

tate unumgänglich (Haerle u. Schaller 2000). Wenngleich ein meist vorhandener Kalibersprung und das Durchwachsen der regenerierenden Axone von 2 Koaptationsstellen bedacht werden müssen, stellt bei einem entsprechenden Transplantatlager eine primäre Nerventransplantation zu einer Naht unter maximaler Spannung die bessere Alternative dar. Die Kabeltransplantate müssen ca. 20% länger sein als die Defektzone, um locker eingenäht werden zu können. Es erfolgt in aller Regel eine faszikuläre Nervenvereinigung durch stufenweise Präparation der einzelnen Faszikelgruppen.

Als freies Nerventransplantat dient bei kleinerem Defekt der N. cutaneus antebrachii ulnaris im Ellenbogenbereich. Der Vorteil dieses autologen Nerven liegt zum einen darin, dass er ohne Probleme am ipsilateralen Arm gehoben werden kann, zum anderen ist der sensible Ausfall eher als gering einzustufen. Da dieser Nerv sehr dünn ist, empfiehlt sich die Präparation mit Hilfe des Mikroskops.

Bei großen Defekten hat sich als Transplantatspender der N. suralis bewährt. Er verläuft 1 cm hinter dem Außenknöchel und wird über eine ca. 3 cm lange Längs- oder Querinzision zwischen Außenknöchel und Achillessehne dorsal und medial der V. saphena parva aufgesucht. Nach proximal werden alle 4 cm weitere, jetzt quere Hautschnitte gesetzt, um den Nerv schrittweise präparieren und mobilisieren zu können. Mit dieser Technik lassen sich sehr lange Transplantate gewinnen. Der proximale Nervenstumpf sollte immer subfaszial versenkt werden, um somit ein schmerzhaftes Neurom zu verhindern (◘ Abb. 7.84).



◘ **Abb. 7.84a–c** N.-suralis-Kabeltransplantation wegen eines langstreckigen Neuroms des N. medianus. **a** Präpariertes Neurom. **b** Präparation des N. suralis. **c** Fertiggestellte Kabeltransplantate

7.7.3 Nachbehandlung und Prognose

Nachbehandlung

Nach primärer spannungsfreier Nervenkoaptation oder Transplantation empfiehlt sich eine 10- bis 14-tägige Ruhigstellung im Gips oder in Alu-Schiene, und zwar in der Position, in der die Naht durchgeführt wurde. Lediglich bei stärkerer Spannung wird die Ruhigstellungsdauer auf 3 Wochen verlängert. Bei kombinierten Nerven- und Beugesehnennähten steht jedoch die Adhäsionsprophylaxe durch die dynamische Nachbehandlung im Vordergrund und erlaubt eine Behandlung ab dem 3. postoperativen Tag auch bei benachbarter Nervennaht. Nach 3–6 Wochen wird mit der krankengymnastischen Rehabilitation begonnen, welche durch periphere Neurofaszilitation (PNF) unterstützt werden kann. Der Nutzen von Stimulationsgeräten für die betroffene gelähmte Muskulatur ist weiterhin umstritten.

Zur Verlaufskontrolle nach Nervenverletzungen eignen sich das bereits erwähnte Hoffmann-Tinel-Zeichen und später Sensibilitätstests, z.B. die Zweipunktediskriminierung. Die Prüfung der elektrischen Nervenleitgeschwindigkeit ist frühestens nach 12 Wochen sinnvoll. Wenn nach ca. einem halben Jahr immer noch keine Regeneration nachweisbar ist, muss eine erneute Revision diskutiert werden.

Da bei Einsatz autologer Nerventransplantate zur Überbrückung von Nervendefekten immer gesunde Nerven verwendet werden müssen, sind »künstliche Nerventransplantate« (Nerven-Konduit) bereits im Hand- und Fingerbereich im Einsatz. Dabei handelt es sich um Röhren aus Silikon oder Polyglykolsäure (PGA), Venen, Kollagen und Basalschicht von Muskeln (G. Lundborg 2004).

Prognose

Die Wiederherstellung der Nervenfunktion hängt von vielen Faktoren wie Alter des Patienten, Vernarbung im Bereich der Nervennaht, Spannung der Koaptationsstelle oder der Vaskularisierung des Transplantatbettes ab. Nach technisch einwandfreier Naht des N. medianus kann damit gerechnet werden, dass sich 50% der motorischen und sensiblen Funktion wiederherstellt, während die Ergebnisse für die Rekonstruktion des N. ulnaris deutlich ungünstiger sind. Im Bereich der Fingernerven kann eine Zweipunktediskriminierung unter 10 mm in ca. 80% der Fälle erwartet werden. Bei Kleinkindern ist eine Restitutio ad integrum möglich.

7.8 Amputationsverletzungen

Definition

Dank der Fortschritte in der mikrovaskulären Chirurgie gibt es heutzutage zahlreiche Möglichkeiten, traumatisch vollständig oder teilweise amputierte Körperteile, v.a. im Handbereich, mit hohen

Erfolgsaussichten zu replantieren und zu revaskularisieren. Ziel jeder operativen Therapie bei Amputationsverletzungen sollte eine möglichst gute Wiederherstellung und Funktionserhaltung sein. Dafür sind neben einer entsprechenden Organisationsstruktur (Hahn et al. 1998) ein mikrochirurgisch versierter Chirurg, die korrekte Indikationsstellung sowie eine effektive krankengymnastische Nachbehandlung erforderlich.

Die Amputation ist eine Verletzungsform, bei der alle anatomischen Strukturen ganz oder bis auf Reste durchtrennt sind und das Amputat keine Zeichen einer Durchblutung aufweist. Unterschieden wird in totale und subtotale Amputation. Erstere meint die völlige Durchtrennung sämtlicher Strukturen, letztere die Durchtrennung der wichtigsten anatomischen Strukturen, insbesondere der Hauptgefäßverbindungen: Die Durchblutung ist nicht mehr nachweisbar und vom Weichteilmantel nicht mehr als maximal ein Viertel der Zirkumferenz erhalten. Eine Replantation bedeutet den zirkulatorischen Wiederanschluss und die operative Wiederherstellung aller für die Funktion des Amputats wichtigen Strukturen, während man unter einer Revaskularisation die Wiederherstellung von Hauptgefäßverbindungen bei sonst weitgehend erhaltenen Strukturen und nachweisbarer Restzirkulation versteht (Biemer u. Duspiva 1980).

Klinik und Diagnostik

Eine exakte Befragung des Amputationsverletzten nach Unfallmechanismus (glatter Schnitt, Säge, Ausriss, Quetschung oder Avulsion), Alter, Beruf, Hobby, Begleiterkrankungen und sozialem Umfeld sowie eine Abklärung von Begleitverletzungen können bereits Aufschluss über eine mögliche Replantation geben. Daran schließt sich die genaue Untersuchung des Stumpfs und des Amputats an. Handelt es sich um eine subtotale Amputation, ist das Ausmaß der Restdurchblutung und Sensibilität von besonderem Interesse. Dazu werden der kapillare Reflux und die Spitz-Stumpf-Diskriminierung überprüft.

Nicht nur die betroffene Gliedmaße, sondern auch das Amputat selbst, sollten geröntgt werden. Vor der Röntgendiagnostik legt man einen sterilen Kompressionsverband zur Blutstillung an. Alle weiteren Maßnahmen wie Reinigungsversuche, Einlegen in desinfizierende Lösungen, Setzen von Ligaturen sind vor der eigentlichen Operation strikt zu unterlassen. Das Amputat sollte bereits am Unfallort in eine sterile Kompresse eingewickelt und in einen wasserdichten Beutel eingepackt werden. Dieser wird nun in einen weiteren, mit etwa 4°C kaltem Eiswasser und Eiswürfeln gefüllten Plastikbeutel gesteckt und beides gut verschlossen.

Wegen der Gefahr eines Erfrierungsschadens darf das Amputat keinen direkten Kontakt mit den Eiswürfeln bekommen.

Verbleibt das Amputat in der erstbehandelnden Klinik, wird es steril verpackt und bis zum Operationsbeginn in einem auf 4°C gekühlten Kühlschrank gelagert. Muss der Verletzte für die Replantation verlegt werden, soll dies in Hinblick auf die totale Ischämiezeit möglichst rasch, ggf. auch über den Luftweg erfolgen. Alle wichtigen Unterlagen und Informationen sollten mitgegeben werden, insbesondere das Amputat und die Röntgenbilder sowie ein Bericht über die stattgehabte Erstversorgung mit aktuellem Tetanusimpfstatus und dem Antibiotikum, das der Patient erhalten hat. Der Patient sollte außerdem für die anstehende Narkose oder Regionalanästhesie nüchtern bleiben.

Therapie

Indikation

Tab. 7.10 soll als Entscheidungshilfe dienen, um zu klären, ob eine Replantation indiziert ist oder nicht, wobei der Zustand des Amputats und die Einstellung des Patienten weitere wesentliche Kriterien sind, die mitberücksichtigt werden müssen.

Aufklärung

Ist die Entscheidung für eine Replantation gefallen, ist ein ausführliches Gespräch mit dem Patienten unerlässlich. Dieses sollte am besten durch den Operateur selbst durchgeführt werden. Der Patient muss über die Länge der Operation, den möglichen Misserfolg und evtl. notwendige Folgeeingriffe in Kenntnis gesetzt werden. Auf eventuelle Funktionsdefizite wie Bewegungseinschränkung, Sensibilitätsstörungen und Kälteintoleranz muss ausdrücklich hingewiesen werden (Abb. 7.85).

Falls eine Replantation nicht sinnvoll ist oder vom Patienten abgelehnt wird, ist eine bloße Stumpfdeckung angezeigt. Für die spätere Funktion und Schmerzfreiheit wichtig sind eine gute Weichteildeckung, Sensibilität und Durchblutung. Eine Nachamputation sollte möglichst vermieden werden. Am Daumen ist dies besonders wichtig, deshalb sollte man hier die Knochenlänge unbedingt erhalten (Berger et al. 1997). Außerdem sind bei Daumen-, aber auch bei Zeige- und Mittelfingerkuppenverletzungen Lappenplastiken (s. oben) vorzuziehen. Abb. 7.86 zeigt die unterschiedlichen Amputationszonen am Endglied; deren therapeutische Konsequenzen sehen wie folgt aus:

- **Zone I**: Sekundärheilung (s. oben)
- **Zone II**: Lappenplastik mit Erhalt der Nagelmatrix
- **Zone III**: Stumpfbildung ohne Erhalt der Nagelmatrix
- **Zone IV**: Stumpfbildung in Höhe des Mittelgliedköpfchens

In Zone III und IV sind in bestimmten Fällen Replantationsversuche möglich.

Tab. 7.10 Die verschiedenen Indikationen und Kontraindikationen für eine Replantation sind abhängig von der Lokalisation der Verletzung, vom Zustand des Amputats und der Einstellung des Patienten. (Nach Friedel u. Markgraf 1996)

Absolute Indikation	Relative Indikation	Kontraindikation
D1 in Höhe des IP-Gelenks und proximal davon	D1 distal des IP-Gelenks bis Mitte Endglied	D1 distal der Nagelwurzel
Isolierter D2, wenn D3 fehlt	D2 distal des DIP-Gelenks	D2 mit zerstörtem MP-Gelenk
Isolierter D3, wenn D2 fehlt	D3 mit zerstörtem PIP-Gelenk	D3 mit zerstörtem MP-Gelenk
Mehrere Langfinger	Isolierter Langfinger bei intakten Nachbarfingern	D4/5 distal des DIP-Gelenks oder mit zerstörtem MP-Gelenk
Alle Amputationen bei Kindern auch distal des Endgelenks		Lebensbedrohliche Begleitverletzungen
Mittelhand und Hand	Ausdrücklicher Patientenwunsch	Massive Schädigung des Amputats, Ablehnung des Patienten

Bei intaktem PIP-Gelenk und erhaltener Flexoren- sowie Extensorensehne befindet sich im distalen Mittelgliedbereich die ideale Amputationshöhe. Ist aufgrund der fehlenden Sehnenansätze keine Funktion im PIP-Gelenk mehr zu erwarten, empfiehlt sich die Stumpfbildung in Grundgliedköpfchenhöhe. Der Stumpf bleibt wegen der intrinsischen Muskulatur und der Sehnen des M. extensor communis im Grundgelenk mobil, außerdem kann er die Grobgriffbewegungen unterstützen. Ein zu kurzer Grundgliedstumpf ist jedoch funktionell wertlos. Bei Amputation im Grundgelenk wird lediglich das Metakarpalköpfchen entknorpelt, die Architektur des Handgewölbes wird somit nicht verändert.

Stumpfbildung

Operationstechnik. Handelt es sich um eine isolierte Amputation distal des Grundgelenks, kann die Stumpfbildung in Oberst-Leitungsanästhesie erfolgen, bei Mehrfachverletzungen ist die Plexus- oder Allgemeinnarkose zu bevorzugen. Je nach Amputationshöhe wird in Finger- oder Oberarmblutsperre ein sparsames Wunddébridement durchgeführt. Da die Stumpfdeckung möglichst mit der festeren palmaren Haut erfolgen soll, empfiehlt es sich, einen asymmetrischen fischmaulförmigen Hautlappen mit Betonung des palmarseitigen Anteils etwa in einem Verhältnis von 2:1 zu bilden. Nach Festsetzen der Amputationshöhe müssen scharfkantige Knochenränder geglättet werden. Bei Amputation im Mittel- oder Grundgliedköpfchenbereich sollten sowohl laterale als auch palmare Kondylenanteile abgetragen werden. Dadurch bildet sich ein besser geformter, schlankerer Stumpf. Die Profundussehne wird mit einer feinen Klemme aufgesucht, hervorgezogen und proximal abgesetzt. Eine intakte Superfizialissehne sollte man aus funktionellen Gründen belassen. Die Strecksehne wird am besten nur im Wundbereich reseziert.

Die Streck- und Beugesehne dürfen nicht miteinander verbunden werden, da die Blockierung der Profundussehne die Beugefähigkeit der übrigen Finger beeinträchtigen kann.

Als nächster Schritt werden beide Gefäß-Nerven-Bündel dargestellt. Die Arterien werden ligiert, die jeweiligen Nerven dagegen hervorluxiert und möglichst weit proximal reseziert. Dadurch kann sich der Nervenstumpf retrahieren und eine Neurombildung vermieden werden. Nach Blutstillung werden die Hautlappen adaptiert, wobei die Hautnaht in der Stumpfmitte begonnen werden sollte und bei guten Durchblutungsverhältnissen evtl. entstandene »Stumpfohren« abgetragen werden können. Kleine zurechtgeschnittene Penrose-Drainagen legen wir für etwa 2 Tage ein.

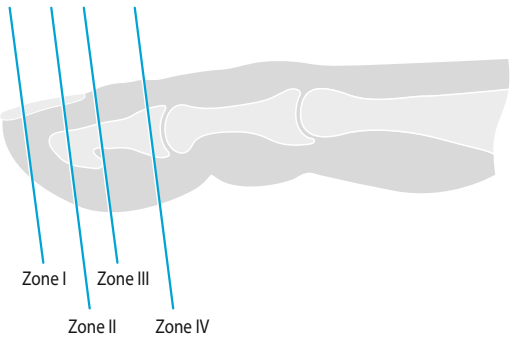


Abb. 7.86 Amputationszonen am Endglied und deren therapeutische Konsequenzen

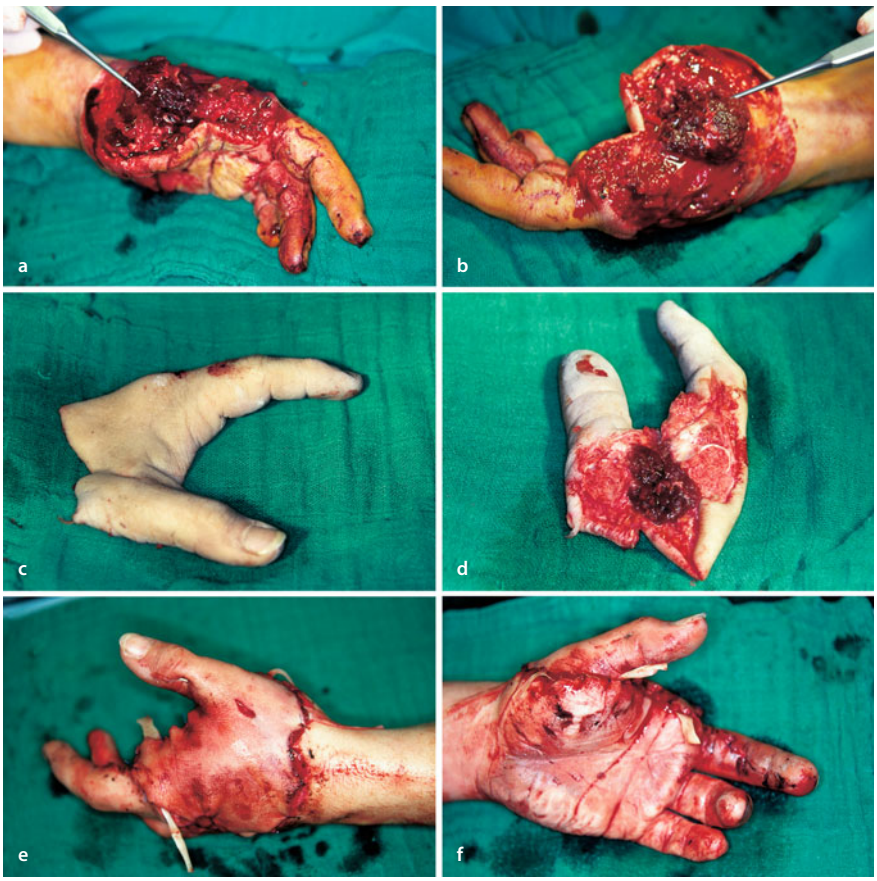


Abb. 7.85a–e Hackverletzung bei einem 19-jährigen Schreiner mit Amputation von D1 und D2 sowie Replantation von D1. **a,b** Unfallbild. **c,d** Amputat. **e,f** Postoperatives Ergebnis. Der Patient arbeitet wieder als Schreiner

Nachbehandlung

Bei starker Schwellneigung kann eine Unterarmgipsschiene in Intrinsic-plus-Stellung mit Einschluss der benachbarten Finger anmodelliert werden, im Allgemeinen ist es jedoch nicht erforderlich. Die krankengymnastische bzw. ergotherapeutische Nachbehandlung sollte bereits in der 2. Woche, noch vor Entfernung der Fäden, begonnen werden. Zu Anfang stehen Ödemprophylaxe und Gelenkmobilisation im Vordergrund. Der Patient muss den Fingerverlust kompensieren lernen. Deshalb sollte die Hand möglichst rasch bei den Aktivitäten des täglichen Lebens wieder eingesetzt werden. Nach Entfernung der Fäden kommen Narbenmassage, Desensibilisierung und Sensibilitätstraining dazu. Zuletzt erfolgen Gelenkmobilisation, Geschicklichkeits- und Krafttraining, um den Patienten auf den Arbeitseinstieg vorzubereiten.

Komplikationen

Neben einer zu knapp bemessenen Weichteildeckung mit Nekrosegefahr und einem zu großen Weichteilkissen mit unförmigem Stumpf, ist nach einer Amputationsverletzung der Schmerz die häufigste Komplikation. Unterschieden werden trophischer Schmerz, Neurom- und Phantomschmerz. Während der trophische Schmerz diffus angegeben wird, ist der Neuromschmerz an einem bestimmten hypersensiblen Punkt lokalisiert. Phantomschmerzen sind meist brennend und treten nachts auf. Sowohl Neurom- als auch Phantomschmerzen können durch konsequentes Reiben oder Klopfen, manchmal auch durch die Verwendung eines so genannten TENS-Geräts positiv beeinflusst werden. Beim Versagen dieser Methoden muss eine Neuromexzision bzw. eine intraossäre Neuromverlagerung diskutiert werden.

Vor allem am Zeigefinger kann ein Grundgliedstumpf für den Feingriff zwischen D1 und D3 hinderlich sein. Eine Resektion des 2. Fingerstrahls in Höhe der Metakarpale-II-Basis verbessert nicht nur die Greiffunktion, sondern ist auch aus ästhetischen Gründen günstig. Dagegen ist eine Kleinfingerstrahlamputation wegen des erheblichen Kraftverlusts nur in Ausnahmefällen indiziert. Beide Eingriffe sollte man erst nach einer Belastungserprobung und ausführlicher Beratung des Patienten durchführen.

Zeigefingerstrahlresektion

Die Hautinzision muss distal bis auf Höhe des radialseitigen mittleren Zeigefinger- und Mittelfingergrundgelenks unter Schonung des Gefäß-Nerven-Bündels an D3 geführt werden, um so eine spannungsfreie Weichteildeckung zu ermöglichen (Abb. 7.87).

Proximal endet der Hautschnitt über der dorsalseitgen Metakarpale-II-Basis, palmar über dem Zeigefingergrundgelenk. Zunächst werden die Sehnen der Mm. extensor digitorum 2 und extensor indicis proprius dargestellt und auf Höhe der Metakarpale-II-Basis durchtrennt. Die distalen Sehnenstümpfe können zur übersichtlicheren Knochenpräparation nach distal umgeklappt werden. Das Periost wird der Länge nach inzidiert und mit dem Raspatorium seitlich abgeschoben. Daraufhin wird die Sehne des 1. dorsalen M. interosseus an der radialen Zeigefingergrundgliedseite abgelöst. Mit einer oszillierenden Säge wird nun der 2. Mittelhandknochen metaphysär etwa 1 cm distal des Karpometakarpalgelenks schräg abgesetzt. Die weitere Präparation erfolgt von palmar. Zunächst werden beide Gefäß-Nerven-Bündel aufgesucht, das ulnare Gefäß-Nerven-Bündel vom Zeigefinger nach proximal verfolgt und in Höhe der Aufteilungsstellen durchtrennt bzw. ligiert. Der radiale Fingernerv und die Arterie vom Mittelfinger müssen geschont werden. Nach Vorziehen und Tenotomie der Beugesehnen lässt man diese nach zentral zurückgleiten. Bevor der 2. Mittelhandknochen aus den Weichteilen herauspräpariert werden kann, muss das Ligamentum metacarpeum transversum profundum aufgesucht und durchtrennt werden. Der M. interosseus dorsalis 1 wird locker auf den M. interosseus dorsalis 2 aufgenäht, damit dadurch eine Intrinsic-plus-Stellung des Mittelfingers vermieden wird. Nach Verschluss des Periostschlauchs und offener Blutstillung wird der Hautlappen eingenäht. Zuvor wird eine Redon-Drainage eingelegt (Abb. 7.88).

Eine Kleinfingerstrahlamputation erfordert ein analoges Vorgehen. Als Besonderheit ist auf die notwendige Schonung des proximal verlaufenden R. dorsalis n. ulnaris und des in der Tiefe verlaufenden N. ulnaris hinzuweisen. Nach ansatznaher Ablösung der Mm. abductor digiti minimi und flexor digiti minimi werden diese am M. interosseus des ulnaren Ringfingergrundgliedes reinseriert.

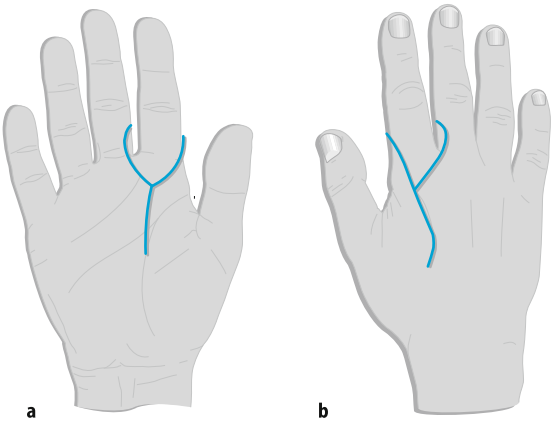


Abb. 7.87a,b Schnittführung bei MC2-Strahlresektion. **a** Von palmar. **b** Von dorsal

Abb. 7.88a,b **a** Strahlresektion bei Quetschtrauma beider Gefäßnervenbündel des rechten Zeigefingers. **b** Postoperatives Bild nach Strahlresektion

7.9 Infektionen der Hand

7.9.1 Grundlagen

Ätiologie

Mit pyogenen Infektionen der Hand als exponiertes Greif- und Tastorgan wird der Chirurg nahezu täglich in seiner Praxis oder Notaufnahme konfrontiert. Grundsätzlich sind alle Verletzungen mit traumatisierten Wunden infektionsgefährdet, hierzu zählen neben banalen Verletzungen z.B. durch einen Holzsplitter oder Rosendorn die Quetsch- und Ausrissverletzungen sowie Hochdruckinjektionsverletzungen. Die häufigsten Erreger sind Staphylococcus aureus gefolgt von Streptokokken, Escherichia coli und Mischinfektionen mit Anaerobiern. Gerade Bissverletzungen an der Hand zeichnen sich durch eine hohe Infektionsrate aus, da bradytrophes Gewebe mitbetroffen ist. Das Erregerspektrum reicht von Pasteurella multocida nach Tierbissen bis zu Eikenella corrodens nach Menschenbissen, welche im Allgemeinen noch gefährlicher und mit einer noch höheren Infektionsrate behaftet sind. Die Schwere der Infektion hängt nicht nur von der Virulenz der Keime ab, sondern auch von der Immunsituation des Patienten (Germann u. Petracic 1997, ◘ Abb. 7.89).

Die Differenzierung von Infektion und Entzündung gestaltet sich oft schwierig. Nichtinfektiöse Ursachen wie z.B. Gichtanfall, rheumatoide Arthritis, Psoriasis, Chondrokalzinose, pyogenes Granulom, chemische Irritationen, Allergien und Tumoren der Hand sollten differenzialdiagnostisch immer in Betracht gezogen werden, gerade wenn keine Ursache der Infektion festzustellen ist.

Wesentlich seltener als bakterielle Infektionen sind Infektionen mit Pilzen (Candida albicans oder Dermatophyten), Viren (Herpes simplex), Chlamydien oder Protozoen (Preisser 2005).

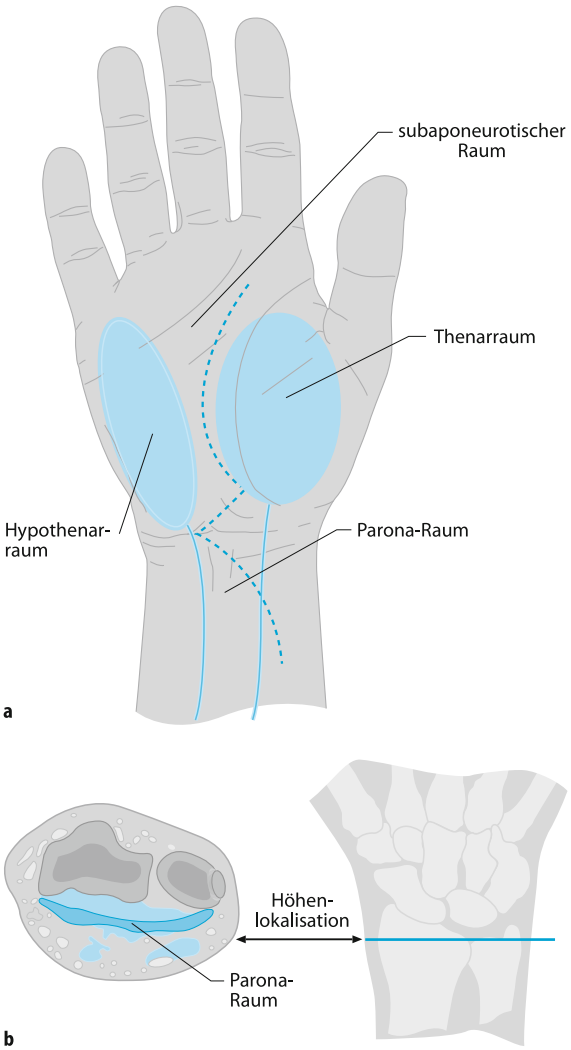
Anatomie

Das subkutane Gewebe der palmarseitigen Hand ist fest mit den Sehnenscheiden der Finger und der Palmaraponeurose der Hohlhand verbunden; die Beugeseite ist insgesamt wesentlich dicker als die Streckseite und folglich resistenter gegen Verletzungen. Wegen der Dehnbarkeit der dorsalseitigen Haut zeigen sich Schwellungen auf dem Handrücken wesentlich deutlicher als beugeseitig.

Mitunter steckt hinter einer vermeintlich dorsal gelegenen Infektion der Hand eine palmarseitige.

Sowohl beuge- als auch streckseitig werden die Sehnen von Sehnenscheiden samt ihrer Synovialflüssigkeit umkleidet. Palmarseitig verlaufen die Daumen- und Kleinfingerbeugesehnen in einer komplett durchgehenden Sehnenscheide, während diese an D2–D4 proximal des Metakarpalköpfchens unterbrochen ist. Diese Tatsache kann zur so genannten V-Phlegmone führen, die jedoch nur ganz selten auftritt. Die meisten Autoren teilen die Hohlhand in 3 unterschiedliche Räume ein: In den Hypothenar- und Thenarraum sowie den subaponeurotischen Raum in Hohlhandmitte, von dem aus die Infektion nach distal in die Interdigitalräume und nach proximal in den Parona-Raum des distalen Unterarms gelangen kann (Plecko u. Fritz 1998, ◘ Abb. 7.90). Unter dem Parona-Raum versteht man ein Kompartiment, das zwischen dem M. pronator quadratus und den tiefen Beugesehnen liegt.

◘ **Abb. 7.89** Streptokokkensepsis linke Hand bzw. Unterarm



◘ **Abb. 7.90a,b** Darstellung der subfaszialen Räume bei palmarer Infektausbreitung in der Hohlhand und am distalen Unterarm

Klinik

Leitsymptom jeglicher Entzündung an Finger und Hand sind die klassischen Symptome wie Schmerz, Schwellung, Rötung, Überwärmung und Funktionsstörung. Dabei darf eine Schwellneigung am Handrücken nicht fehlinterpretiert werden. Hat die Infektion auf die Beugesehnenscheide übergegriffen, findet sich neben einer Druck- und Klopfempfindlichkeit eine Schonhaltung mit Beugung im Mittel- und angedeuteter Überstreckung im Grundgelenk. Bei passiver Fingerstreckung lassen sich starke Schmerzen auslösen.

Allgemeinsymptome wie Lymphangitis und -adenitis im Ellenbeugen- und Axillabereich, Fieber und Schüttelfrost können zusätzlich auftreten (Tassler 1999).

Diagnostik

Nach klinischer Untersuchung mit Inspektion und Palpation sollten zum Ausschluss ursächlicher Fremdkörper oder einer Knochenbeteiligung Röntgenaufnahmen veranlasst werden. Bei unklaren Befunden kann eine MRT weiter helfen.

Eine Labordiagnostik soll bei schweren Infektionen zur Verlaufsbeurteilung sowie zur Differenzialdiagnose nichtinfektiöser entzündlicher Erkrankungen durchgeführt werden.

Konservative Therapie

Lediglich im Anfangsstadium einer oberflächlichen Infektion ist eine konservative abwartende Therapie erlaubt. Eine Lymphangitis ohne Primärherd oder eine Paronychie im Anfangsstadium werden konservativ behandelt. Die Therapie erfolgt mit desinfizierenden Handbädern, feuchten Ringer-Verbänden, Ruhigstellung im Gipsverband in anatomiegerechter Stellung, Hochlagerung der Hand, regelmäßigen Kontrollen und Gabe eines Antibiotikums, wenngleich diese sehr kontrovers diskutiert wird. Zum einen kann ein Antibiotikum das Krankheitsbild maskieren, zum anderen wiegt sich der Chirurg häufig in unberechtigter Sicherheit.

Operative Therapie

Bei sichtbaren Eiteransammlungen, zunehmenden klinischen Entzündungszeichen, Verschlechterung des Lokalbefundes und schmerzbedingter Schlaflosigkeit mit herzschlagsynchronem Pochen im Finger- und Handbereich ist ein rasches operatives Einschreiten indiziert. Als Anästhesieform bleibt bei einer Begleitlymphangitis in der Regel nur die Vollnarkose. Bei lokalen Prozessen kann gelegentlich auf eine Plexusanästhesie ausgewichen werden. Nur bei ganz begrenzten oberflächlichen Infektionen im Endgliedbereich eines einzelnen Fingers kann eine Oberst-Leitungsanästhesie angewendet werden.

Bei Allgemeinsymptomen ist eine notfallmäßige Versorgung indiziert. Die 6-h-Nüchternheitsgrenze braucht in diesem Fall nicht eingehalten zu werden.

Der Eingriff wird wegen der Gefahr der Keimverschleppung durch das Auswickeln des Arms nicht in Blutleere, sondern in Blutsperre vorgenommen. Ein systemisches Antibiotikum sollte bei Narkoseeinleitung verabreicht werden. Nach Inzision (Abb. 7.91) mit vollständiger Exploration des Infektionsgebiets wird zur Keimbestimmung mindestens ein bakteriologischer Abstrich entnommen. Daran schließt sich ein ausgiebiges Débridement mit vollständiger Nekroseentfernung an. Es erfolgt eine intensive Spülung nur mit physiologischer Kochsalz- oder Ringerlösung, um eine zusätzliche Gewebeschädigung zu vermeiden. Der Einsatz desinfizierender Lösungen sollte unterbleiben (Pillukat et al. 2008). Sind die Sehnenscheiden bzw. Sehnen selbst bereits nekrotisch verändert, müssen diese unter Schonung der entsprechenden Ringbänder für eine spätere Transplantation entfernt werden. Der Eingriff endet mit Einlage einer Drainage und einem locker adaptierenden Hautverschluss in Einzelknopfnahttechnik. In besonders schweren Fällen kann man die Wunde auch offen lassen. Manche Autoren legen regelhaft Gentamycin-PMMA-Miniketten ein.

Aufklärung

Eine Sanierung des Infekts ist häufig mit einem einzigen Eingriff allein nicht möglich. Häufig sind zur Beherrschung des Infektes weitere, so genannte »Second-look-Eingriffe« nötig. Außerdem müssen die Patienten auf das Risiko von Nerven-, Gefäß- und Sehnenverletzungen sowie eine verbleibende Funktionseinbuße der Hand aufmerksam gemacht werden.

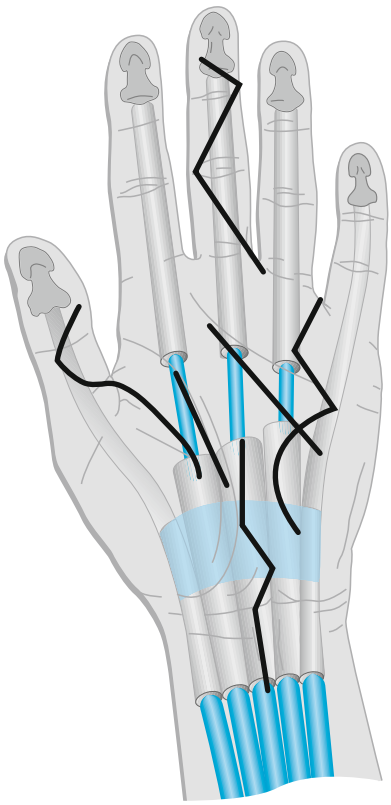


Abb. 7.91 Palmarseitige Schnittführungen bei Handinfektionen

Nachbehandlung

Nach Beendigung des Eingriffs wird zum Schutz vor Mazeration ein Salbengitterverband auf die Wunde gelegt und diese locker verbunden. Zusätzlich muss die Wunde durch Ringer- oder physiologische Kochsalzlösung feucht gehalten werden. Bis zum Rückgang der akuten Infektionszeichen ist eine Ruhigstellung der Hand und der Finger in der Intrinsic-plus-Stellung obligat. Der Patient wird angehalten, die Hand zur Abschwellungsmaßnahme über Herzniveau zu lagern. Bei sauberen Wundverhältnissen kann dann anfangs noch bei liegender Schiene mit krankengymnastischen Bewegungsübungen begonnen werden. Zur Lösung von Wundbelägen haben sich desinfizierende Handbäder bewährt. Manche Autoren (Plecko u. Fritz 1998, Tassler 1999) favorisieren Spülbehandlungen via liegende Katheter. Allerdings sind diese Spülungen meist sehr schmerzhaft und Dislokationen der Katheter häufig. Zudem ist die konsekutive Hautmazeration ein kaum beherrschbares Problem. Die systemische Antibiotikagabe muss nach Eintreffen des Antibiogramms dem Erregerspektrum angepasst werden. Da meist Staphylococcus aureus im Spiel ist, empfiehlt es sich, die perioperative Prophylaxe und postoperative Weiterbehandlung mit einem Cephalosporin oder einem penicillinasefesten Penicillin vorzunehmen. Liegt der Verdacht auf eine Mischinfektion mit Anaerobien nahe, kommt der Einsatz von Clindamycin allein oder in Kombination infrage.

Prognose

Wird eine pyogene Handinfektion rechtzeitig erkannt und nach den oben beschriebenen Grundsätzen angegangen, heilt sie in

der Regel folgenlos aus. Gelegentlich sind jedoch Sekundäreingriffe wie Hautplastiken, Lösungen von Kontrakturen, Tenolysen und Arthrodesen erforderlich. Dabei können Fingeramputationen manchmal funktionell günstiger sein als langwierige rekonstruktive Maßnahmen mit unsicherem Ausgang. Grundsätzlich sollen Spätkorrekturen erst nach einem infektionsfreien Intervall und möglichst erst nach Narbenlockerung nach einigen Monaten vorgenommen werden.

7.9.2 Spezielle Infektionen

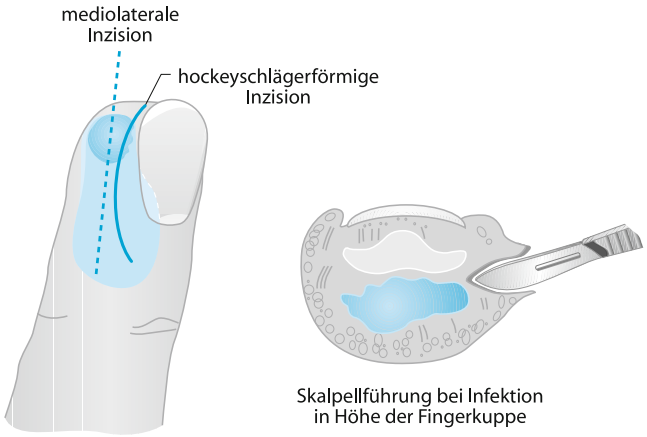
Panaritium

Das Panaritium ist die häufigste Infektionsform im Bereich der Hand. Es handelt sich um eine oberflächliche Infektion im Bereich des proximalen oder lateralen Nagelwalls. Synonyme dafür sind Nagelwallinfektion, Nagelumlauf oder Paronychie. Ursache ist eine Bagatellverletzung nach einer Maniküre, chronische Irritation der Haut oder Nägel kauen bei Kindern. Klinisch zeigt sich eine deutliche Schwellung und Rötung im Nagelwallbereich, der Patient gibt klopfende Schmerzen an.

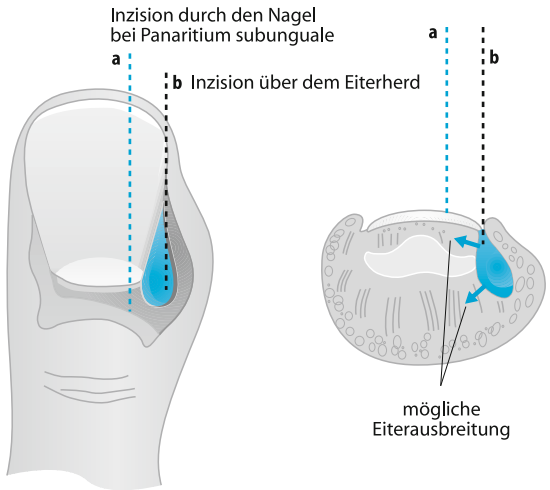
Bei beginnenden Nagelwallentzündungen kann durchaus ein konservativer Therapieversuch erfolgreich sein. Er besteht aus Handbädern, die mehrmals täglich durchgeführt werden sollen, aus feuchten Verbänden, der Ruhigstellung auf einer Schiene und ggf. einer Antibiotikagabe.

Bei fortgeschrittener Entzündung ist eine chirurgische Sanierung unumgänglich. Sie kann in Oberst-Lokalanästhesie in Fingerblutleere durchgeführt werden. Meist genügt ein lateraler Hautschnitt parallel zum Nagelbett, wobei die Hautbrücke nicht zu schmal gewählt werden darf (◘ Abb. 7.92). Manchmal muss unter dem Nagelwall eine Gegeninzision mit Einlage einer kleinen Lasche angelegt werden. Bei Rezidiven hat sich die seitliche Keilexzision bewährt (◘ Abb. 7.93). Bilaterale, längs verlaufende Inzisionen führen zum vollständigen Verlust der vertikalen Septen und damit der Stabilität der Fingerkuppe.

Postoperativ werden der Finger auf einer Alu-Schiene ruhiggestellt, regelmäßige Verbandswechsel und Handbäder durchgeführt und die Lasche nach ca. 3 Tagen entfernt. Der Einsatz systemischer Antibiotika steht in der Diskussion (Brug et al. 1995, Germann u. Petracic 1997).



◘ **Abb. 7.92** Inzisionen bei einem tiefen Panaritium



◘ **Abb. 7.93** Inzision direkt über dem Eiterherd bzw. seitliche Nagelkeilexzision bei Rezidiven

Panaritium subunguale

Breitet sich das oben beschriebene Panaritium periunguale nach proximal aus, spricht man von einem Panaritium subunguale. Dann hat sich die Infektion unter dem Nagel ausgebreitet. In diesem Fall wird das proximale Nageldrittel unter Schonung des Nagelbetts entfernt. Vor dem türflügelartigen Zurückklappen des Hautlappens am proximalen Nagelwall kann wegen schlechter kosmetischer Ergebnisse nur gewarnt werden. Auch sollte der Nagel nicht komplett entfernt werden, weil dann seine schienende Funktion wegfällt und außerdem die Gefahr droht, dass das Nagelbett austrocknet und sich narbig verwirft. Am Ende des Eingriffs wird eine Lasche eingelegt, um eine Verklebung des Eponychiums mit der Nagelmatrix zu verhindern, und der Finger immobilisiert.

Panaritium cutaneum

Das Panaritium cutaneum stellt die harmloseste Weichteilinfektion im Fingerbereich dar. Hier handelt es sich um eine kutane Eiterblase, meist am palmarseitigen Fingerendglied. Die Rötung ist eher gering ausgeprägt, der Eiter aber deutlich sichtbar. Die Blase wird bei Fehlen von Schmerzen ohne Anästhesie mit der Schere oder dem Skalpell abgetragen, der Wundgrund gesäubert und anschließend mit einer Knopfsonde zum Ausschluss eines Kragenknopfabszesses sondiert. Eine Antibiotikagabe und eine Ruhigstellung sind nicht notwendig. Handelt es sich tatsächlich um einen tiefen subkutanen Abszess, also um ein Kragenknopfpanaritium, muss dieser durch einen lateralen oder hockeyschlägerförmigen Längsschnitt nahe dem Nagelwall eröffnet werden. Die Beschwerden sind in diesem Fall jedoch ausgeprägter als beim einfachen Panaritium cutaneum (◘ Abb. 7.92).

Panaritium subcutaneum

Ist bei einem Panaritium subcutaneum Mittel- oder Grundglied betroffen, wird der betroffene Finger gestreckt gehalten. Eine Oberst-Leitungsanästhesie verbietet sich jetzt. Es muss bereits bei entzündlicher Veränderung des Mittelgliedes zumindest eine Plexusanästhesie erwogen werden. Die Schnittführung verläuft schräg, damit sie bei Bedarf zickzackförmig nach Bruner verlängert werden kann. Am Ende des Eingriffs wird eine Lasche zum ausreichenden Sekretabfluss eingelegt. Antibiotikaeinnahme und Immobilisierung gehören zum Nachbehandlungsregime.

Panaritium tendinosum

Vom Panaritium subcutaneum differenzialdiagnostisch zu unterscheiden ist das tiefer liegende Panaritium tendinosum oder die Sehnenscheideninfektion. Die frühzeitige handchirurgische Intervention kann hier eine möglicherweise drohende Nekrose einer Beugesehne verhindern.

Die Patienten klagen meist über stärkste Klopfschmerzen im gesamten Sehnenscheidenverlauf, zusätzlich können Allgemeinsymptome wie Fieber und gelegentlich auch Schüttelfrost auftreten. Der Finger wird in Beugestellung gehalten.

Bei der operativen Revision wird in Höhe der distalen Hohlhandbeugefalte die Sehnenscheide schräg eröffnet. Entleert sich nach gründlicher Inspektion klare Synovialflüssigkeit, kann nach Abnahme eines Wundabstrichs die Wunde wieder verschlossen werden. Findet sich aber putrides Sekret, muss die Sehnenscheide auch am distalen Ende der Beugesehne schräg eröffnet werden, um sie ausgiebig über einen dünnen Katheter mit Ringer-Lösung spülen zu können, bis klares Sekret zurückfließt. Gegebenenfalls müssen die Inzisionen zickzackförmig nach Bruner erweitert werden, damit ausreichend débridiert und nekrotisch verändertes Sehnengewebe unterhalb der Ringbänder entfernt werden kann. Anschließend wird die Wunde locker adaptiert und Laschen, evtl. auch eine Septopal-Minikette eingelegt. Ein Second look ist meist erforderlich. Die gesamte Wundfläche wird inspiziert, ausgiebig gespült und ggf. erneut débridiert. Begleitend erhalten die Patienten eine systemische Antibiotikatherapie nach Antibiogramm. Wenn die akute Entzündung abklingt, sollte frühzeitig physiotherapeutisch behandelt werden, um Verwachsungen vorzubeugen. Eine zweizeitige Sehnentransplantation kommt frühestens nach ca. 3 Monaten in Betracht.

Hohlhandphlegmone

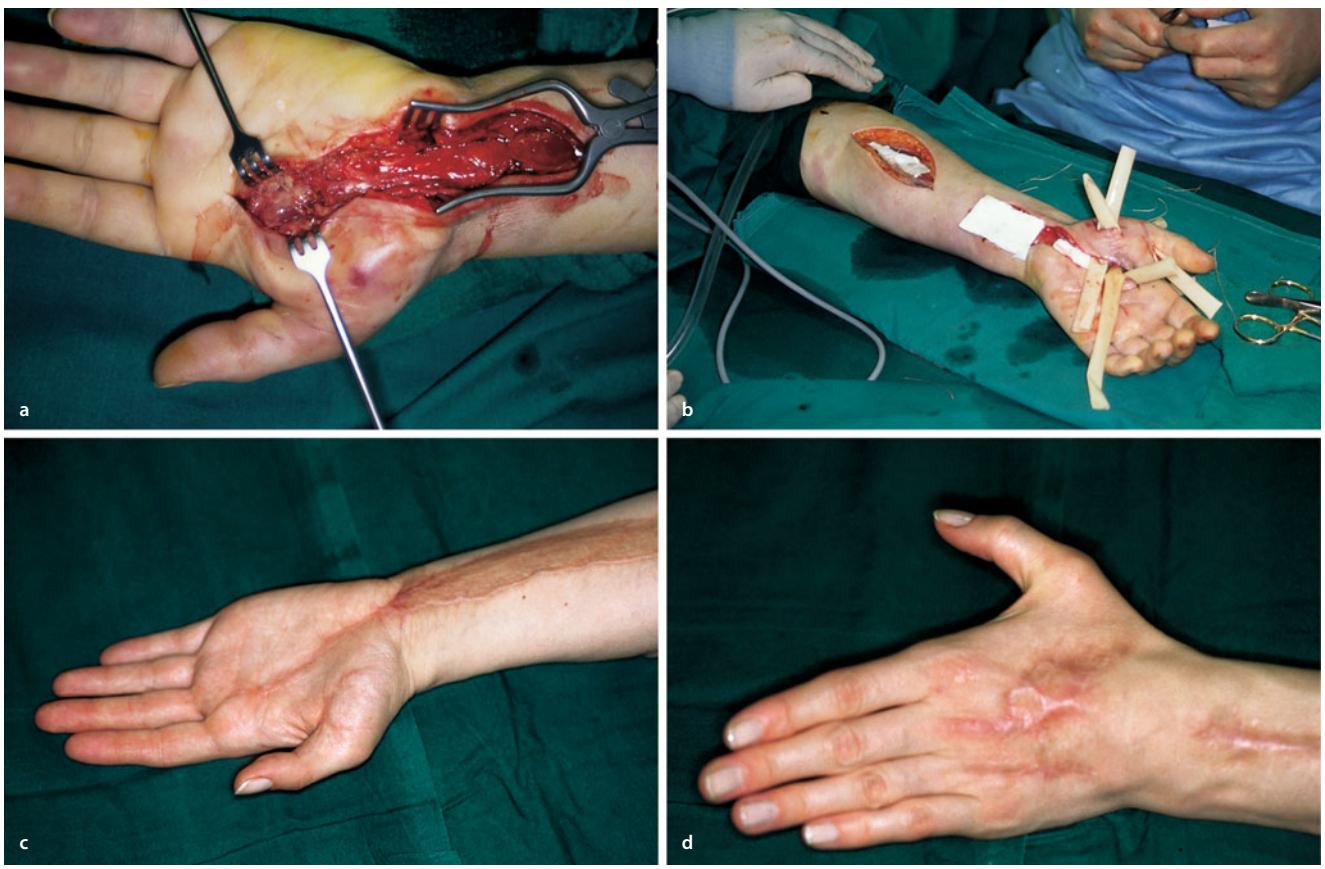
Hat sich der Infekt der Sehnenscheide unter der Palmaraponeurose in die Hohlhand ausgebreitet, spricht man von einer Hohlhandphlegmone. Obwohl der Handrücken meist stark geschwollen ist, liegt der Hauptdruckschmerz in der Hohlhand. Bei der kaum mehr vorkommenden V-Phlegmone zeigt sich neben einer starken Rötung eine Krallenstellung der Finger.

Da die Entzündung auf den Unterarm übergreifen kann, ist bei der operativen Sanierung die Karpaldachspaltung obligat. Die infizierte Palmaraponeurose sollte über einen bogenförmigen Schnitt mit entfernt werden. Nach ausgedehnten Spülungen wird die Wunde nur locker adaptiert. Die Einlage von antibiotikahaltigen Kollagenschwämmchen oder Minikugelketten steht in der Diskussion (Stevanovic et al. 2005), scheint sich im klinischen Alltag jedoch zu bewähren (◘ Abb. 7.94).

Interdigitalphlegmone

Die Interdigitalphlegmone wird hauptsächlich von kleinsten Bagatellverletzungen oder ekzematösen Hautveränderungen hervorgerufen. Neben den üblichen klinischen Symptomen imponiert v.a. eine Spreizstellung der benachbarten Finger.

Die Ausräumung des Infekts erfolgt über eine palmarseitige schräge Inzision, die nach Bedarf nach Bruner zickzackförmig



◘ **Abb. 7.94a–d** **a** 35-jährige Patientin mit einer verschleppten Hohlhandphlegmone. Es erfolgten insgesamt 6 Revisionen bis nahe zum Ellenbogen mit regelmäßigen Wundspülungen und ausgiebigem Débridement. **b** Epigardauflage und Lascheneinlage nach der 3. Revision. **c,d** Postoperativer Zustand nach Hauttransplantation mit gutem funktionellem Ergebnis

sowohl nach distal als auch nach proximal erweitert werden kann. Auf keinen Fall dürfen wegen möglicher späterer Kontrakturen die Schwimmhautfalte sowie das Ligamentum metacarpeum transversum profundum durchtrennt werden. Bei ausgedehntem Befund muss evtl. dorsal gegeninzidiert und eine Drainage eingelegt werden. Die Nachbehandlung sieht wie bei den oben beschriebenen Infektionsformen aus.

Entzündung der Hohlhandräume

Die Entzündung des Thenar- und Hypothenarraums fällt ebenfalls durch eine Rötung, Schwellung und Druckschmerzhaftigkeit der entsprechenden Muskulatur auf. Bei Thenarphlegmone wird der Daumen häufig abgespreizt, v.a. wenn die erste Zwischenfingerfalte betroffen ist. Die Inzision verläuft über der betroffenen Muskulatur, wobei am Thenar bogenförmig und am Hypothenar längs geschnitten werden sollte. Gelegentlich muss proximal der Karpaltunnel erweitert werden.

Panaritium articulare und ossale

Panaritium articulare und ossale betreffen ein Gelenk bzw. den Knochen. Meistens entsteht eine derartige Entzündung durch eine direkte Verletzung dieser Strukturen z.B. im Rahmen von Stich- oder Zahnbissverletzungen, die sich beim Aufschlagen der geballten Faust gegen Zähne ereignen (clenched fist injury) (Abb. 7.95).

Abb. 7.95 Panaritium ossale bei einem 29-jährigen Maschinenschlosser

Klinisch imponieren starke, klopfende Schmerzen, die von den Patienten v.a. nachts als sehr quälend empfunden werden. Das Gelenk bzw. der Knochen ist maximal geschwollen.

Um eine Mitbeteiligung des Knorpels bzw. eine chronische Entzündung des Knochens zu verhindern, empfiehlt sich eine frühzeitige operative Intervention. Man geht am besten über einen bogenförmigen Schnitt streckseitig in das infizierte Gelenk ein. Das infizierte oder nekrotische Gewebe wird débridiert, und in etwaige Defekte werden Antibiotika-Miniketten eingelegt (Abb. 7.96). In der Regel erfolgt der Zugang zum PIP-Gelenk zwischen Mittel- und Seitenzügel. Nach Eröffnung der Gelenkkapsel wird alles veränderte Synovialgewebe entfernt und das Gelenk mit einem Minikatheter ausgiebig gespült. Destruierter Knorpel oder Knochen wird radikal débridiert. Eine Arthrodese oder Endoprothese empfiehlt sich allerdings erst im entzündungsfreien Intervall nach ca. 10 Wochen.

Bei Verdacht auf ein Panaritium ossale ist die radiologische Beurteilung besonders wichtig, wobei der radiologische Befund dem Verlauf der Infektion nachhinkt.

Bei der operativen Therapie wird wiederum das infizierte oder nekrotische Knochengewebe radikal ausgeräumt und in den entstandenen Defekt werden Antibiotika-Miniketten als Platzhalter eingelegt (Brüser 1993). Bis zum Abklingen der Entzündungsparameter hat sich die Ruhigstellung mit einem Minifixateur externe bewährt. Nach etwa 10 Wochen werden die Kugeln entfernt und der Defekt mit einer Spongiosaplastik saniert, evtl. sind auch lokale Verschiebelappen erforderlich. Bei ausgedehntem Befund kann eine Fingeramputation unumgänglich werden.

Nekrotisierende Fasziitis

Darunter versteht man eine rasch fortschreitende nekrotisierende Verlaufsform einer pyogenen Infektion. Auslöser können kleinere Verletzungen sein. Prädisponierend ist eine allgemeine Abwehrschwäche. Ursächlich ist eine Infektion durch eine Mischflora aus Anaerobien und fakultativ anaeroben Bakterien (Typ I) oder durch Streptokokken der Gruppe A, kombiniert mit Staphylo-

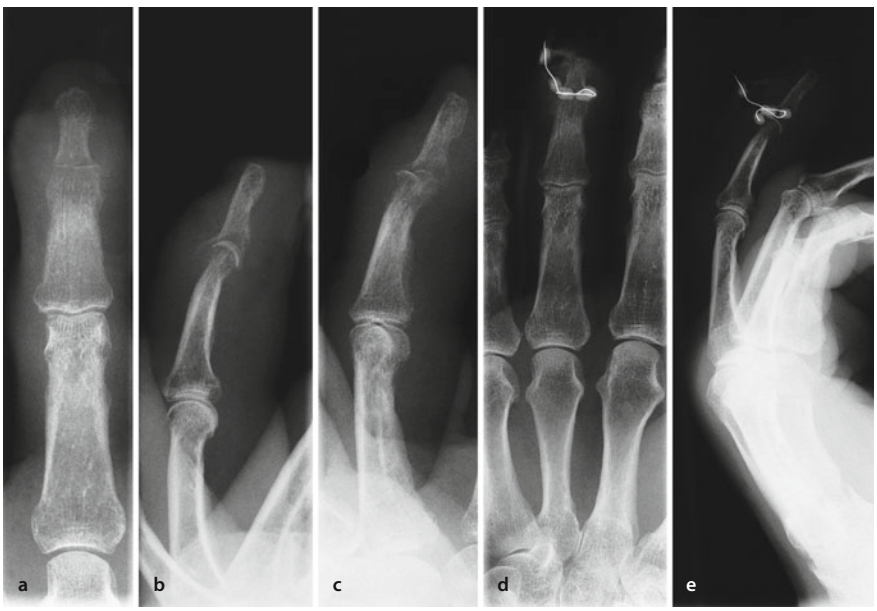


Abb. 7.96a–e Panaritium articulare DIP-Gelenk D4 links bei einem 52-jährigen Landwirt mit Einlage einer Antibiotika-Minikette als Platzhalter

coccus aureus oder Staphylococcus epidermis (Typ II) (Lee et al. 2004).

Die nekrotisierende Fasziitis führt zur rasch fortschreitenden Nekrotisierung von Haut, Unterhaut und der darunter liegenden Faszie sowie Spannungsblasen und Weichteilödem. Klinisch finden sich ausgeprägte Schmerzen, Schwellung und Rötung sowie frühzeitig Allgemeinsymptome. Trotz suffizienter parenteraler antibiotischer Therapie kommt es meist zur weiteren Ausbreitung der Infektion, die sich bis zur generalisierten Sepsis mit kardiorespiratorischem Versagen und Multiorganversagen entwickeln kann.

Die nekrotisierende Fasziitis ist ein chirurgischer Notfall.

Intraoperativ findet sich ein Zerfall des subkutanen Fettgewebes, die Faszien sind gräulich verfärbt; es entleert sich anfangs kein Eiter, sondern zunächst klares, dann trübes Exsudat.

Entscheidend ist eine frühzeitige großzügige chirurgische Behandlung mit einem über den unmittelbar betroffenen Bereich hinausgehenden ausgedehnten Débridement mit Nekrosenabtragung und Eröffnung aller Kompartimente am Arm durch Fasziotomie und Eröffnung des Karpalkanals. Weitere operative Revisionen sind meist notwendig. In Extremfällen kann eine Amputation lebensrettend sein. Die Mortalitätsrate liegt im Mittel bei 32% (Lee et al. 2004).

Literatur

Adamany DC, Mikola EA, Fraser BJ (2008) Percutaneous fixation of the scaphoid through a dorsal approach: An anatomical study. J Hand Surg 33A: 327–331

Agee JM, McCarvoll HR, Tortosa RD, Berry DA, Szabo RM, Peimer CA (1992) Endoscopic release of the carpal tunnel: A randomized prospective multicenter study. J Hand Surg [Am] 17: 987–995

Apergis E, Maris J, Theodoratos G, Parlakis D, Antoniou N (1997) Perilunate dislocations and fracture dislocations. Acta Orthop Scand (Suppl 275) 68: 55–59

Bartelmann U, Dietsch V, Landsleitner B (2000) Basisnahe Frakturen des ersten Mittelhandknochens – Untersuchungsergebnisse von 21 Patienten. Handchir Mikrochir Plast Chir 32: 93–101

Berger A, Hierner R, Becker MH-J, Rieck B, Lassner F (1997) Replantationschirurgie. Unfallchirurg 100: 694–704

Beyermann K, Prommersberger K-J, Krimmer H, Lanz U (2000 a) Frische Verletzungen der Handwurzel I. Knöcherne Verletzungen. Aktuelle Traumatol 30: 100–107

Beyermann K, van Schoonhoven J, Krimmer H, Lanz U (2000 b) Frische Verletzungen der Handwurzel II. Ligamentäre Verletzungen. Aktuelle Traumatol 30: 136–144

Biemer E, Duspiva W (1980) Rekonstruktive Mikrogefäßchirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York

Blatt G (1994) Dorsal capsulodesis for rotary subluxation of the scaphoid. In: Gelbermann RH (ed) Master techniques in orthopaedic surgery. The wrist. Raven, New York, pp 147–165

Böhler J, Ender HG (1986) Die Pseudarthrose des Sacphoids. Orthopäde 15: 109–120

Brauer RB, Dierking M, Werber KD (1997) Die Anwendung der Herbert-Schraube mit der Freehand-Methode zur Osteosynthese der frischen Skaphoidfraktur. Unfallchirurg 100: 776–781

Bromley GS (1994) Minimal-incision open carpal tunnel decompression. J Hand Surg [Am] 19: 119–120

Brug E (1997) Die primäre Versorgung von Beugesehnenverletzungen der Hand. Unfallchirurg 100: 602–612

Brug E, Rieger H, Strobel M (1995) Ambulante Chirurgie. Deutscher Ärzteverlag, Köln, S 336–354

Brug E, Wetterkamp D, Neuber M, Probst A (1998) Die sekundäre Rekonstruktion der Beugesehnenfunktion an den Fingern. Unfallchirurg 101: 415–425

Brunelli GA, Brunelli GR (1995) A new surgical technique for carpal instability with scapholunar dislocations (Eleven cases). Ann Chir Main Member Super 14: 207–213

Brüser P (1993) Die Osteomyelitis im Bereich der Finger. Operat Orthop Traumatol 5: 60–67

Chow JCY (1989) A new technique for carpal tunnel syndrome. Arthroscopy 5: 19–24

Chow SP, Ip WY (1997) Results of dynamic splintage following extensor tendon repair. J Hand Surg [Br] 22: 283–287

Cooney WP (1988) Scaphoid nonunion: Role of anterior interpositional bone grafts. J Hand Surg [Am] 13: 635–650

Das Gupta K, Hornung RW, Bach C, Germann G (1996) Funktionelle Ergebnisse nach operativer Versorgung von Verletzungen der Fibrocartilago palmaris. Handchir Mikrochir Plast Chir 28: 249–253

Dautel G (1997) Hautdeckung. In: Merle M, Dautel G, Rehart S (Hrsg) Chirurgie der Hand, Bd 1: Der Notfall. Thieme, Stuttgart, S 73–171

Demir E, Unglaub F, Wittermann M, Germann G, Sauerbier M (2006) Osteosynthetisch versorgte intraartikuläre Frakturen der Metakarpale-I- Basis. Unfallchirurg 109: 13–21

Duran RJ, Houser RG (1975) Controlled passive motion following flexor tendon repair in zones 2 and 3. In: AAOS Symposium on tendon surgery in the hand. Marly, St. Louis, pp 105–114

Epping W (1992) Der modifizierte Verschiebelappen nach Dellon zur Rekonstruktion der Daumenkuppe. Operat Orthop Traumatol 4: 195–202

Friedel R, Markgraf E (1996) Handout zum Fortbildungskurs Replantation/ Revaskularisation, 60. Jahrestagung der DGU

Friedel R, Appelt S, Markgraf E (1998) Spätergebnisse bei Beugesehnendurchtrennungen im Hand- und Fingerbereich. Unfallchirurg 101: 92–99

Gabl M, Lutz M, Pechlaner S, Fink C (1996) Perilunäre Luxationen und Luxationsfrakturen – Ergebnisse nach operativer Versorgung. Unfallchirurg 99: 650–655

Garcia-Elias M (1997) The treatment of wrist instability. J Bone Joint Surg 4: 684–690

Gelberman RH (1991) Ulnar tunnel syndrome. In: Gelberman RH (ed) Operation nerve repair and reconstruction, vol II. Lippincott, Philadelphia, pp 1131–1143

Geldmacher J, Köckerling F (1991) Sehnenchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore

Geldmacher J, Legal HR, Brug E (1972) Results of denervation of the wrist and wrist joint bei Wilhelm's method. The Hand 4: 57–59

Geoghegan JM, Clark DI, Brainbridge IC, Smith C, Hubbard R (2004). Risk factors in carpal tunnel syndrome. J Hand Surg B 29: 315–320

Germann G, Petracic A (1997) Infektionen an der Hand. In: Krupp S (Hrsg) Plastische Chirurgie, Klinik und Praxis, 7. Ergänzungslieferung. Ecomec, Landsberg/Lech, Kap IX-2.4: 1–10

Goldberg E, Unglaub F, Kneser U, Horch RE (2009). Intraartikuläre Mittelgelenkfrakturen. Unfallchirurg 112: 337–345

Grechenig W, Felbinger M (1998) Rund um die Hand, das Buch zum Grazer Handkurs. Sympomed, München, S 217–224

Groß MS, Gelberman RH (1985) The anatomy of the distal ulnar tunnel. Chir Orthop Rel Res 196: 238–246

Haddad FS, Goddard NJ (1998) Acute percutaneous scaphoid fixation. J Bone Joint Surg Br 80: 95–99

Haerle M, Schaller H-E (2000) Periphere Nervenchirurgie. Aktuelle Traumatol 30: 121–127

Hahn P, Frank U, Genz G, Lanz U (1998) Replantationen, Indikationen und Organisationsstruktur. Orthopäde 27: 414–421

Hahn P, Krimmer H, Prommersberger K-J, van Schoonhoven J (1999) Die scapholunäre Dissoziation. Ergebnisse nach Bandnaht und Bandplastik. Handchir Mikrochir Plast Chir 31: 346–350

Hahn P, Reidel MA (2008) Dupuytren–Erkrankung (palmare Fibromatose). Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 3: 381–394

Hastings H, Weiss A-PC, Strickland JW (1993) Die Arthrodese des Handgelenks: Indikation, Technik und funktionelle Konsequenzen für Hand und Handgelenk. Orthopäde 22: 86–91

Herbert TJ, Fisher WE (1984) Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. J Bone Joint Surg Br 66: 114–123

Hintringer W, Ender HG (1986). Perkutane Versorgung von intraartikulären Frakturen der Fingermittelglieder. Handchir Mikrochir Plast Chir 18: 356-362
Hintringer W, Leixnering M (1991) Knöcherne oder ligamentäre Verletzungen am Mittelgelenk und ihre Behandlung. Handchir Mikrochir Plast Chir 23: 59–66
Hoch J, Fritsch H, Frenz C (1999). Gibt es einen knöchernen Strecksehnenab- oder –ausriß?. Chirurg 70: 705-712
Hülsbergen-Krüger S, Buck-Gramcko D, Partecke B-D (1994) Die operative Behandlung des Bennettschen Verrenkungsbruches. Operat Othop Traumatol 6: 132–142
Iselin F, Levame J, Godoy J (1977). A simplified technique for treating mallet fingers: tenodermodesis. J Hand Surg A 2: 118–121
Iselin M, Dieckmann G-D (1951) Traitement de la maladie de Dupuytren par plastie en Z totale. Presse Med 59: 1394
Jacobs R, Degraff I, De Smet L (2008) Proximal row carpectomy with or without postoperative immobilisation. J Hand Surg 33E 6: 768–770
Jahss SA (1983) Fractures of the metacarpals: A new method of reduction and immobilisation. J Bone Joint Surg Am 20: 178–186
Jones DB, Bürger H, Bishop A T, Shin AY (2008) Treatment of scaphoid waist nonunion with a avascular proximal pole and carpal collapse. J Bone Joint Surg A. 90: 2616–2625
Kaye JJ, Lister GD (1978) An other use for the Brewerton view. J Hand Surg 3: 603
Kälicke T, Bürger H, Müller E J (2008) Freies gefäßgestieltes Knorpel-Knochen-Transplantat bei avaskulärer Nekrose des proximalen Kahnbeinpols. Unfallchirurg 111: 201–205
Kleinert HE, Kutz JE, Atasoy E, Stormo AV (1973) Primary repair of flexor tendons. Orthop Clin North Am 4: 865–876
Krakauer JD, Bishop AT, Cooney WP (1994) Surgical treatment of scapholunate advanced collapse. J Hand Surg [Am] 19: 751–759
Krimmer H, Lanz U (1996) Die mediokarpale Teilarthrodese des Handgelenkes. Operat Orthop Traumatol 8: 175–184
Krimmer H, Sauerbier M, Vispo-Seara JL, Schindler G, Lenz U (1992) Fortgeschrittener karpaler Kollaps (SLAC-Wrist) bei Scaphoidpseudarthrose. Therapiekonzept: mediocarpale Teilarthrodese. Handchir Mikrochir Plast Chir 4: 191–198
Lanz U (1979) Zur direkten Beugesehnen-Naht im Sehnenscheidenbereich der Finger. Handchirurgie 11: 55–60
Larkin G, Brüser P, Safi A (1997) Die Möglichkeiten und Grenzen der intramedullären Kirschner-Drahtosteosynthese zur Behandlung der Metakarpalfrakturen. Handchir Mikrochir Plast Chir 29: 192–196
Lautenbach M, Zach A, Ekkernkamp A, Eisneschenk A (2008). Die dorsale Endphalanxbasisfraktur oder der sog. »knöcherne Strecksehnenausriss«. Orthopäde 37: 1159–1164
Lee D, (2004) Hand infections. In Berger R., Weiss A (eds) Hand Surgery. Philadelphia, 1777–1803
Lichtman RL, Martin RA (1988) Introduction to the carpal instabilities. In: Lichtman DM (ed) The wrist on its disorders. Saunders, Philadelphia, pp 244–250
Linscheid R, Dobyns JH, Beabout JV, Bryan RS (1972) Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification and pathomechanic. J Bone Joint Surg Am 54: 1612–1632
Lundborg G (2004) Alternatives to Autologous Nerve Grafts. Handchir Mikrochir Plast Chir 36: 1–7
Lutz M, Reinhart C, Kathrein A, Kralinger F, Angermann P, Gabl M, Pechlaner S (2001) Dorsale Luxation der PIP-Gelenke der Finger. Ergebnisse nach statischer und nach funktioneller Behandlung. Handchir Mikrochir Plast Chir 33: 207–210
Martini AK, Schiltenwolf M (1995) Das Schicksal des Handgelenkes beim spontanen Verlauf der Kahnbeinpseudarthrose. Handchir Mikrochir Plast Chir 27: 201–207
Megerle K, Przybilski M, Sauerbier M, Germann G, Giessler GA (2008) Die frühaktive Nachbehandlung nach Extensor indicis-Sehnentransposition – Eine prospektiv randomisierte Studie. Handchir Mikrochir Plast Chir 40: 156–159
Mennen U, Wiese A (1993) Fingertip injuries management with semiocclusive dressing. J Hand Surg [Br] 18: 416–422
Merle M (1997) Nervenverletzungen. In: Merle M, Dautel G, Rehart S (Hrsg) Chirurgie der Hand, Bd 1: Der Notfall. Thieme, Stuttgart, S 227–240
Millesi H (1981) Dupuytren-Kontraktur. In: Nigst H, Buck-Gramcko D, Millesi H (Hrsg) Handchirurgie, Bd 1. Thieme, Stuttgart, Kap. 15
Müller C, Schauwecker HH (1996) Intramedulläre Schienung von dislozierten Mittelhandfrakturen. Operat Orthop Traumatol 8: 185–190
Müller M, Chen Z B, al Morshidy A, German G, Sauerbier M (2006)Ergebnisse frischer osteosynthetisch verschraubter Skaphoidfrakturen nach postoperativer CT-Kontrolluntersuchung. Unfallchirurg 109: 185–192
Nagy L, Büchler U (1998) Ist die Panarthrodese der Goldstandard der Handgelenkchirurgie? Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 291–297
Nathan PA, Istvan JA, Meadows KD (20005). A longitudinal study of predictors of research-defined carpal tunnel syndrome in industrial workers: findings at 17 years. J Hand Surg B 30: 593-598
Nigst H (1989) Operation der Tendovaginitis stenosans de Quervain. Operat Orthop Traumatol 1: 259–262
Nigst H (1990) »Extensor-indicis-Transfer« zur Wiederherstellung der Daumenstreckung nach Ruptur der Sehne des M. extensor pollias longus. Operat Orthop Traumatol 2: 65–69
Pachucki A (1998) Carpale Instabilität, Therapie. In: Grechenig W, Fellinger M (Hrsg) Rund um die Hand. Sympomed, München, pp 206–211
Pachucki A, Prendinger G (1988) Perilunäre Luxationen und Luxationsfrakturen – Bewertung der Behandlungsergebnisse nach den neuesten Erkenntnissen der Handwurzelinstabilitäten. Handchir Mikrochir Plast Chir 20: 27–32
Paneva-Holevich E (1969) Two-stage tenoplasty in injury of the flexor tendons of the hand. J Bone Joint Surg Am 51: 21–32
Partecke B-D (1992) Der gestielte Radialislappen. Operat Orthop Traumatol 4: 21–30
Partecke B-D (1987) Der Weichteilschaden an der Hand. In: Buck-Gramcko D, Nigst H (Hrsg) Bibliothek für Handchirurgie. Hippokrates, Stuttgart, S 65–82, S 107–120
Partecke B-D (1998) Die Versorgung und Nachbehandlung von Strecksehnenverletzungen an der Hand. Unfallchirurg 101: 807–812
Pechlaner S, Hussl H, Künzel KH (1987) Alternative Operationsmethode bei Kahnbeinpseudarthrosen. Handchir Mikrochir Plast Chir 19: 302–305
Pechlaner S, Hussl H, Kerschbaumer F (1998) Operationsatlas Handchirurgie. Thieme, Stuttgart
Peicha G, Fellinger M, Seibert JJ, Grechenig W, Schippinger G (1997) Skapholunäre Bandverletzungen beim akuten Handgelenkstrauma. Unfallchirurg 100: 430–437
Peterson T, Tobolski O (1998) Die scapholunäre Dissoziation bei knöcherner Verletzung des Handgelenkes. Unfallchirurgie 24: 149–153
Petracic B, Siebert H (1998) AO-Klassifikation der Frakturen des Handskeletts. Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 40–44
Pillukat T, van Schoonhoven J (2008) Infektionen an der Hand. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 3: 195–214
Plecko M, Fritz G (1998) Therapiekonzept bei septischen Komplikationen an der Hand. In: Grechenig W, Fellinger M (Hrsg) Rund um die Hand. Sympomed, München, S 250–260
Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, Eisenschenk A (2008) Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation. Skeletal Radiol. 37(2): 139-45
Pliefke J, Ekkernkamp A Eisenschenk A (2008). Ligamentäre Strecksehnenausrisse am Endgelenk. Orthopäde 37: 1165–1170
Preißer P (1996) Die Herbert-Schraube zur Behandlung von Pseudarthrosen des mittleren Kahnbeindrittels. Operat Orthop Traumatol 8: 106–116
Preißer P (2005) Infektionen an der Hand. OP-Journal 21: 240–248
Prokop A, Kulus S, Helling HJ, Burger C, Rehm KE (1999) Gibt es Richtlinien zur Behandlung von Mittelhandfrakturen? Unfallchirurg 102: 50–58
Prommersberger K-J, Lanz U (1997) Aseptische Knochennekrosen der Hand. In: Krupp S (Hrsg) Plastische Chirurgie, Klinik und Praxis, 6. Ergänzungslieferung. Ecomed, Landsberg/Lech, Kap IX-3.2: 1–18
Prommersberger K-J, Krimmer H, Lanz U (1996) Aktuelle Therapie der Scaphoidpseudarthrose. Aktuelle Traumatol 26: 173–178
Prosser R, Conolley WB (1996) Complications following surgical treatment for Dupuytren's contracture. J Hand Ther 9: 344–348

Quell M, Neubauer T, Wagner M (1998) Die Behandlung von Fingerkuppendefektverletzungen mit einem semiokklusiven Verband. Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 24–29
Reill P (1991) Die primäre Beugesehnennaht am Unterarm und an der Hand mit sofortiger Übungsbehandlung. Operat Orthop Traumatol 3: 95–106
Renner A, Hardy G, Egri L (1996) Vergleich verschiedener Behandlungsmethoden bei der Scaphoidpseudarthrose. Orthopäde 25: 449–453
Richter M, Brüser P (1996) Die operative Behandlung des Karpaltunnelsyndroms: Ein Vergleich zwischen langer und kurzer Schnittführung sowie endoskopischer Spaltung. Handchir Mikrochir Plast Chir 28: 160–166
Ruland RT, Hogen CJ, Cannon DL (2008). Use of dynamic distraction external fixation for unstable fracture-dislocations of the proximal interphalangeal joint. J Hand Surg A 33: 19–25
Russe O (1977) Operationstechnik bei der Scaphoidpseudarthrose. Aktuelle Probl Chir Orthop 6: 73–76
Saffar P (1990) Carpal injuries: Anatomy, radiology, current treatment. Springer, Paris
Saffar P (1996) Classification of carpal instabilities. In: Büchler U (ed) Wrist instability. Dunitz, London, pp 48–54
Sauerbier M, Tränkle M, Bickert B, Erdmann D, Germann G (2000) Therapeutische Möglichkeiten zur Behandlung der Lunatumnekrose. Trauma Berufskr 2: 232–238
Schaefer M, Siebert HR (2000) Finger- und Mittelhandfrakturen – operative und nicht operative Behandlungsverfahren Teil I und II. Unfallchirurg 103: 482–494 und 582–592
Schaller P, Grünert J (1998) Spätergebnisse nach operativer Behandlung von perilunären Luxationen und Luxationsfrakturen. Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 298–302
Schenk RR (1999) Management of fracture dislocation: Dynamic traction. In: Brüser P, Gilbert A (eds) Finger bone and joint injuries. Dunitz, London, pp 257–261
Schiltenwolf M, Martini AK (1994) Der Spontanverlauf der Lunatumnekrose. Orthopäde 23: 243–248
Schmit-Neuerburg K-P, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) (2001) Tscherne Unfallchirurgie. Ellenbogen, Unterarm, Hand. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Schmitt R, Lanz U (1996) Bildgebende Diagnostik der Hand. Hippokrates, Stuttgart
Schmitt R, Fellner F, Obletter N, Fiedler E, Bautz W (1998) Diagnostik und Stadieneinteilung der Lunatumnekrose. Eine aktuelle Übersicht. Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 142–150
Schneider LH, Wehbe MA (1988) Delayed repair of flexor profundus tendon in the palm (zone 3) with superficialis transfer. J Hand Surg [Am] 13: 227–230
Seddon H (1942) Three types of nerve injury. Brain 66: 237–288
Seifert J, Dreithaler B, Schauwecker H-H (1996) Der seltene Fall einer isolierten Trapeziumfraktur. Unfallchirurgie 22: 176–178
Skorpik G, Zachs I (1998) Das Karpaltunnelsyndrom. Orthopäde 27: 583–598
Sotereanos DG, Mitsionis GJ, Tomaino MM, Herndon JH (1997) Perilunate dislocation and fracture dislocation: A critical analysis of the volardorsal approach. J Hand Surg [Am] 22: 49–56
Stener B (1962) Displacement of the ruptured ulnar collateral ligament of the metacarpo-phalangeal joint of the thumb. J Bone Joint Surg Br 44: 869–879
Stern PJ (1999) Fractures of the metacarpals and phalanges. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC (eds) Green's operative hand surgery, 4th edn, vol 1. Churchill Livingstone, Philadelphia, pp 711–771
Stevanovic M, Sharpe F (2005) Acute infections in the hand. In Green D, Hotchkiss, Pederson W, Wolfe S (eds.). Green's operative hand Surgery. 5th edn, vol 1. Churchill Livingstone, Philadelphia, pp 55–93
Strässle H, Wendling J, Pfeiffer KM (1984) Funktionelle Behandlung palmarer Kantenfrakturen der Mittelphalanx und palmare Kapselrupturen des Fingermittelgelenkes. Handchir Mikrochir Plast Chir 16: 186–188
Suckert K, Pechlaner S, Sailer R (1987) Erfahrungen in der Behandlung gedeckter Strecksehnenverletzungen am Fingerendglied. Unfallchirurg 90: 42–47
Sunderland S (1951) A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. Brain 74: 491–516
Tackmann W, Richter HP, Stöhr M (1989) Kompressionssyndrome peripherer Nerven. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Tassler H (1999) Infektion der Hand – Entstehung, Ausbreitung, Diagnostik und Therapie. Traumalinc 2: 59–64
Tomaino MM, Delsignore J, Burton RJ (1994 a) Long-term results following proximal row carpectomy. J Hand Surg [Am] 19: 694–703
Tomaino MM, Miller RJ, Cole I, Burton RI (1994 b) Scapholunate advanced collapse wrist: Proximal row carpectomy or limited wrist arthrodesis with scaphoid excision? J Hand Surg [Am] 19: 134–142
Tubiana R, Hueston JT (1985) Dupuytren's disease, 2nd edn. Churchill Livingstone, Edinburgh
Vaienti L (1997) Verletzungen des Extensorenapparates. In: Merle M, Dautel G, Rehart S (Hrsg) Chirurgie der Hand, Bd 1: Der Notfall. Thieme, Stuttgart, S 191–207
Van den Abbeele KLS, Loh JC, Stanley JK, Trail IA (1998) Early results of a modified Brunelli procedure for scapholunate instability. J Hand Surg [Br] 23: 258–261
Van Schoonhoven J, Prommersberger K-J, Krimmer H, Lanz U (1999) Läsionen der scapholunären Bandverbindung. Trauma Berufskr 1: 173–181
Watson HK, Goodmann MC, Johnson TR (1981) Limited wrist arthrodosis II. Intercarpal and radiocarpal combinations. J Hand Surg [Br] 6: 223–233
Weber P, Segmüller H (2008). Konservative Behandlung von großen ossären Malletläsionen: 10 Fälle Handchir Mikrochir Plast Chir 40: 145-148
Weber U, Gräulich M, Sparmann M (1993) Orthpädische Mikrochirurgie. Thieme, Stuttgart, S 25–41
Wetterkamp D, Rieger H, Brug E (1998) Die operative Behandlung der Tendovaginitis stenosans de Quervain. Operat Orthop Traumatol 8: 303–308
Wilhelm A (1966) Die Gelenkdenervation und ihre anatomischen Grundlagen: Ein neues Behandlungsprinzip in der Handchirurgie. Heft Unfallheilkunde 86: 1–109
Wilhelm K, Putz R, Hierner R, Giunta R (1996) Lappenplastiken in der Handchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München
Wilhelm K, Kettler M, Strassmair M (2001) SL-Bandrekonstruktion mit Mitek-Fadenankerdübeln. Erste klinische Ergebnisse. Unfallchirurg 104: 127–130
Willebrand J (1999) Scapholunäre Dissoziationen: Diagnostik – Stadieneinteilung – Therapieschemata. Orthopäde 28: 878–882
Windolf J, Siebert H, Werber KD, Schädel-Höpfner M (2008). Behandlung von Fingerfrakturen. Unfallchirurg 111: 331–339
Witthaut J, Steffens K (1996) Hamulusfraktur: Bildgebende Verfahren bestätigen die klinische Diagnose bei gezielter Fragestellung. Aktuelle Traumatol 26: 179–182
Wulle C (1993) Zum Intersection-Syndrom. Handchir Mikrochir Plast Chir 25: 48–50
Zechner W, Buck-Gramcko D, Lohmann H, Goth D, Stock W (1985) Überlegungen zur Verbesserung der Nahttechnik bei Beugesehnenverletzungen. Klinische und experimentelle Studie. Handchirurgie 17: 8–13

Becken

T. Pohlemann, B. Weigel, M. Maghsudi

8.1 Basiswissen – 470
8.2 Beckenringverletzungen – 475
8.3 Acetabulumfrakturen – 489
Literatur – 502

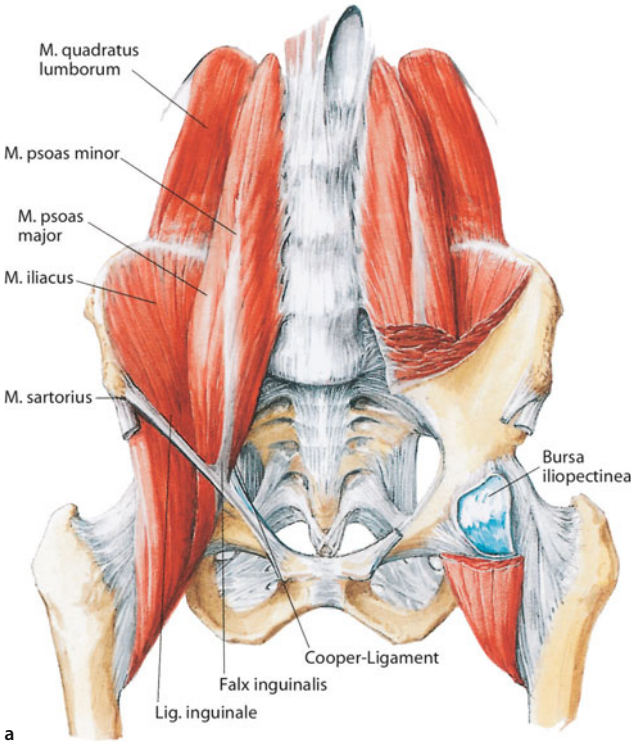
B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_8,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

8.1 Basiswissen

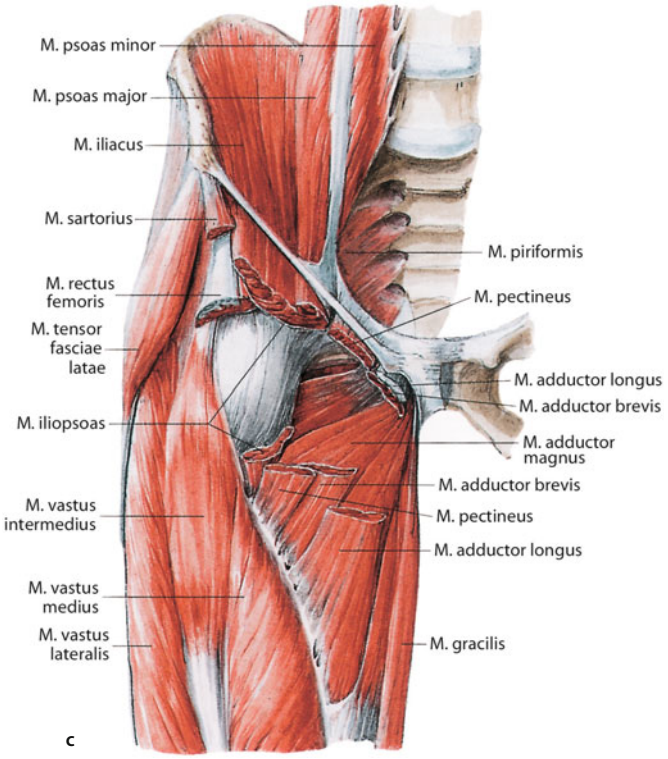
8.1.1 Anatomie

Beckenring

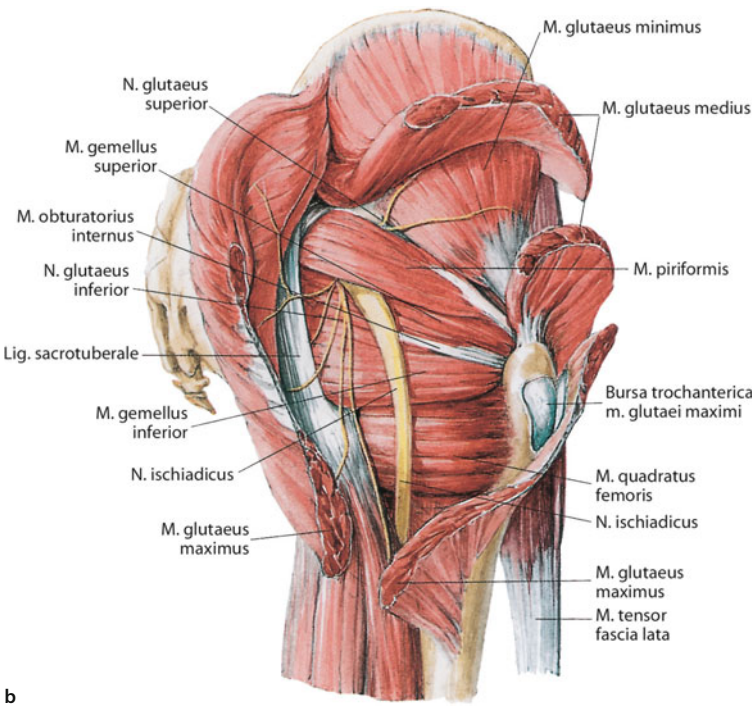
Der Beckenring nimmt eine Schlüsselfunktion in der Verbindung des Rumpfskeletts mit den unteren Extremitäten ein. Neben der Fähigkeit hohe Kräfte überzuleiten ist der Beckenring Ursprung und Ansatz einer Vielzahl von Muskeln, die den aufrechten Gang möglich machen, und umschließt Organe sowie wichtige große Leitungsbahnen für die unteren Extremitäten. Aufgrund seiner äußeren Form und des ausgezeichneten Muskelmantels (Abb. 8.1) werden innere Organe, die großen Gefäße (Abb. 8.2) und Nervenbahnen (Abb. 8.3) recht gut geschützt. Da nur eine massive Gewalteinwirkung die knöcherne Ringstruktur des Beckens eines erwachsenen, knochengesunden Menschen zerstören kann, besteht bei traumatischen Unterbrechungen des Beckenrings immer ein erhöhtes Risiko von Begleitverletzungen der inneren Organe und der Leitungsbahnen.



a

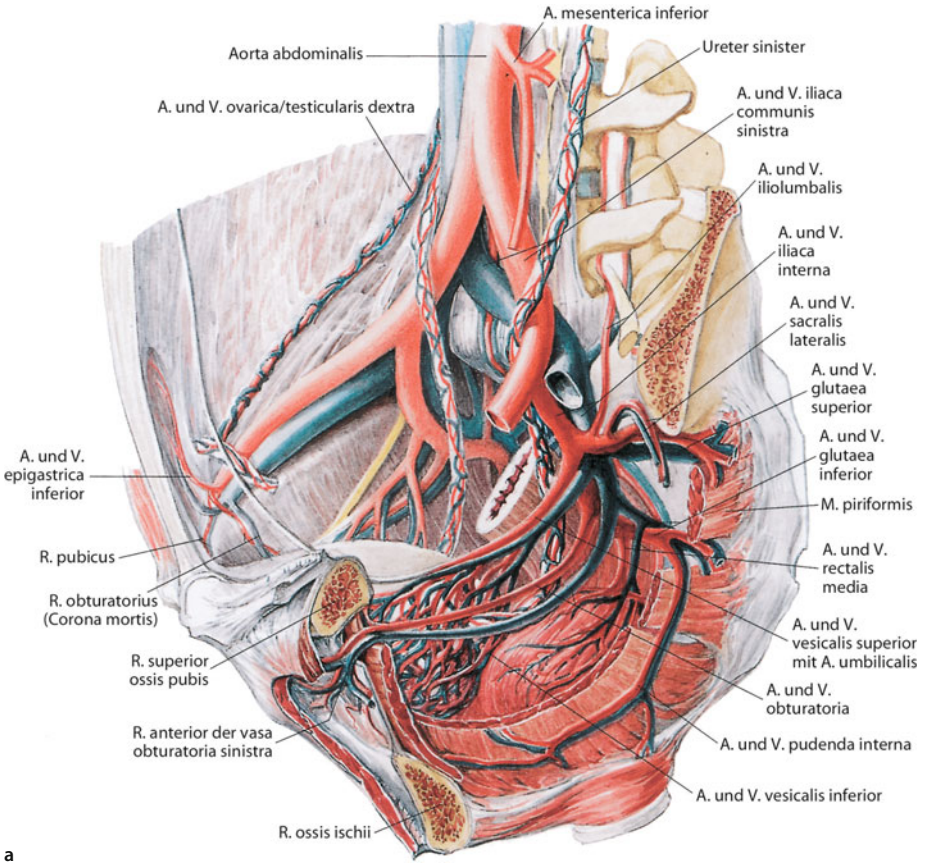


c

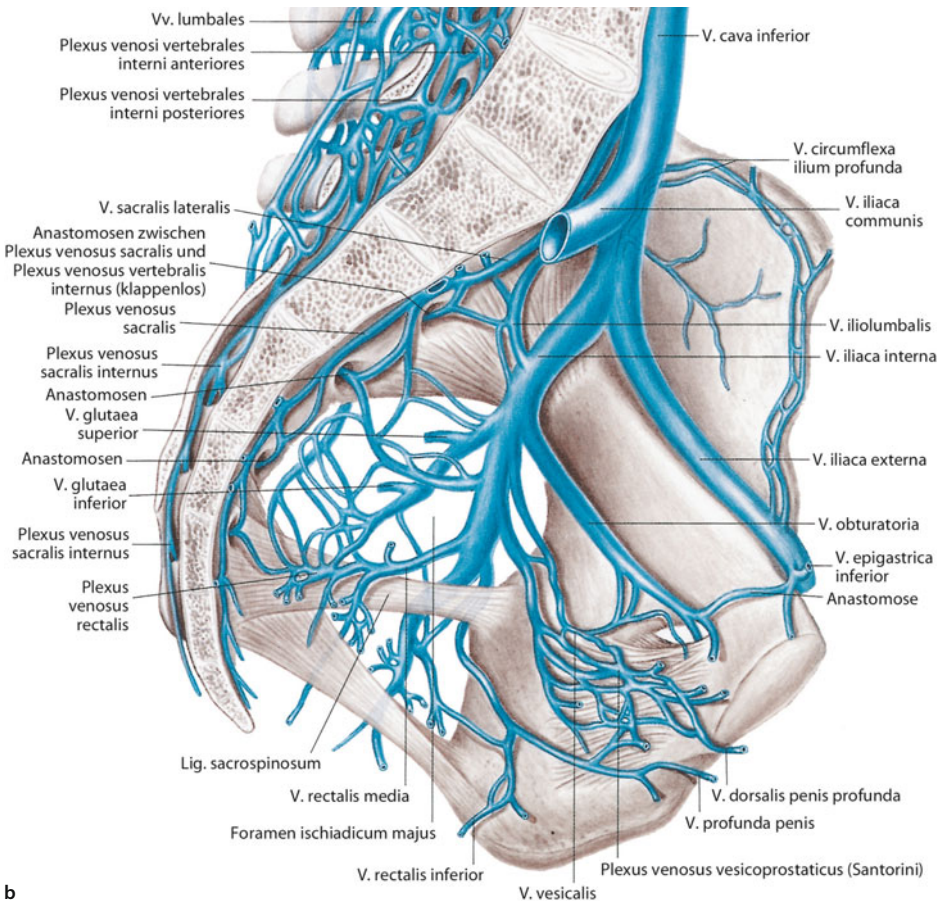


b

Abb. 8.1a–c Hüftgelenkübergreifende Muskulatur: Im Bereich der Hüftgelenke besteht ein mächtiger Muskelmantel, nicht aber im Bereich der Symphyse, die somit nicht muskulär abgestützt wird, hier gibt es keine Muskulatur, die die Mittellinie kreuzt. (Aus: Pohlemann 1998a)



a



b

Abb. 8.2a,b **a** Arterielles Gefäßsystem des Beckens. **b** Venöses Gefäßsystem des Beckens. (Aus: Pohlemann 1998a)

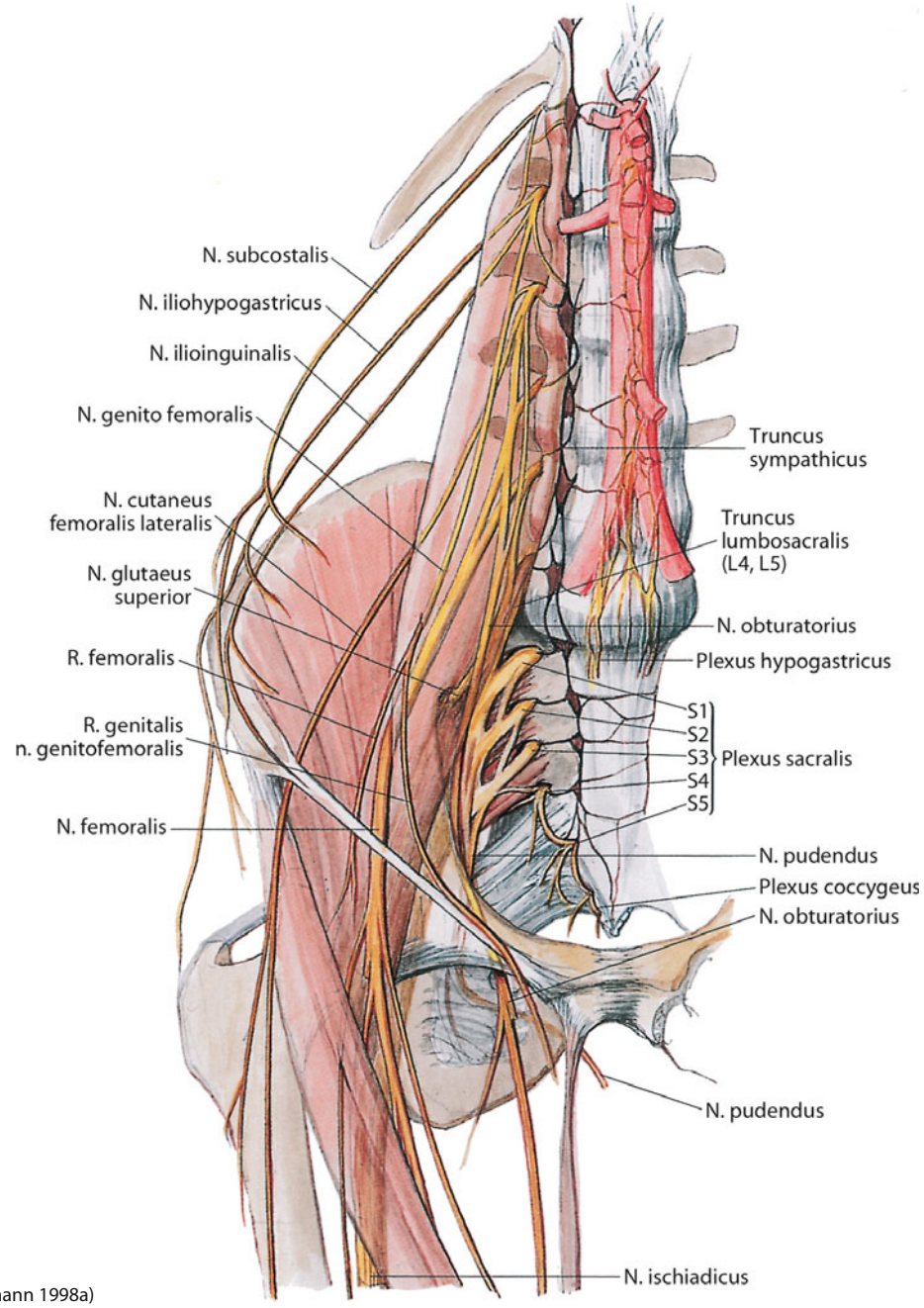


Abb. 8.3 Plexus lumbosacralis. (Aus: Pohlemann 1998a)

Betrachtet man die knöcherne Anatomie, wird der Beckenring aus den paarigen Ossa coxae und dem Os sacrum gebildet. Das Os coxae besteht aus Os ilium, Os pubis und Os ischii. Es ist bei Kindern noch zu differenzieren, beim Erwachsenen ist es hingegen zu einer Funktionseinheit zusammengewachsen. (Abb. 8.4). Das Os coccygis ist als kaudale Verlängerung des Os sacrum der vierte Beckenknochenanteil. Dorsal artikuliert das Os sacrum über die beiden Sakroiliakalgelenke mit dem Os ilium. Das Os sacrum liegt hierbei nicht wie ein Schlussstein eingeklemmt zwischen den beiden Ossa ilia, sondern ist ausschließlich ligamentär, mit seinen straffen Bändern fixiert. Insbesondere die sehr kräftigen dorsalen sakroiliakalen Bänder wirken dabei wie eine Zuggurtung, analog zu einer Hängebrücke, und verhindern das dorsale Auseinanderweichen der Ossa ilia (Abb. 8.5). Bei der traumatischen kompletten Durchtrennung der dorsalen Beckenringstrukturen ist der Abriss des ipsilateralen Querfortsatzes des 5. Lendenwirbels (Ursprung Ligamentum iliolumbale) als recht sicherer radiologischer Hinweis auf eine »translatorische hintere Beckenringinstabilität« (AO/ATA Typ C) zu werten.

Über die sakrotuberalen und sakrospinalen Ligamente des Os sacrum werden Rotationsbewegungen der Ossa coxae limitiert. Die normale Beweglichkeit in der Sagittalebene wurde von Walker (1986) mit durchschnittlich 3 mm gemessen. Sie wird nach kaudomedial hin durch die schräg verlaufende S-Form des Sakroiliakalgelenks mit einer leichten Konvexität im kranialen und Konkavität im kaudalen Anteil limitiert. Mit zunehmendem Alter nimmt die Beweglichkeit der Sakroiliakalgelenke kontinuierlich ab (Bowen u. Cassidy 1981, Colachis et al. 1963).

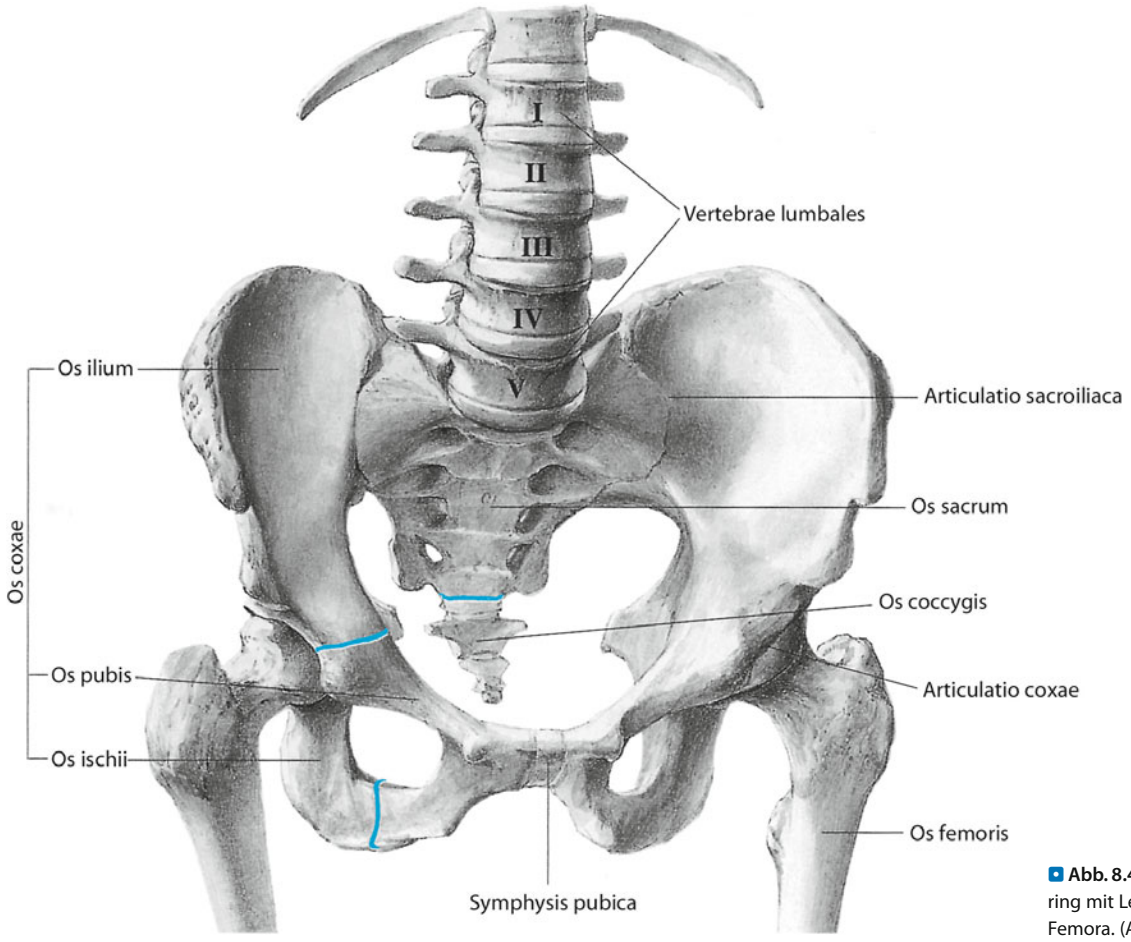


Abb. 8.4 Knöcherner Beckenring mit Lendenwirbelsäule und Femora. (Aus: Pohlemann 1998a)

Die Krafteinleitung der Rumpflast erfolgt über den 5. Lendenwirbelkörper in das Os sacrum und wird über die Sakroiliakalgelenke in das linke und rechte Os ilium weitergeleitet. Die dorsalen Strukturen sind zu etwa 80% an den Lastübertragungen beteiligt und daher deutlich kräftiger ausgebildet. Die Belastungen im vorderen Beckenring hängen von der Position und Belastung (Sitzen, Gehen, Stehen etc.) ab, im vorderen Zusammenschluss der Symphyse wurden sowohl Zug- als auch Druck- und Scherbelastungen gemessen.

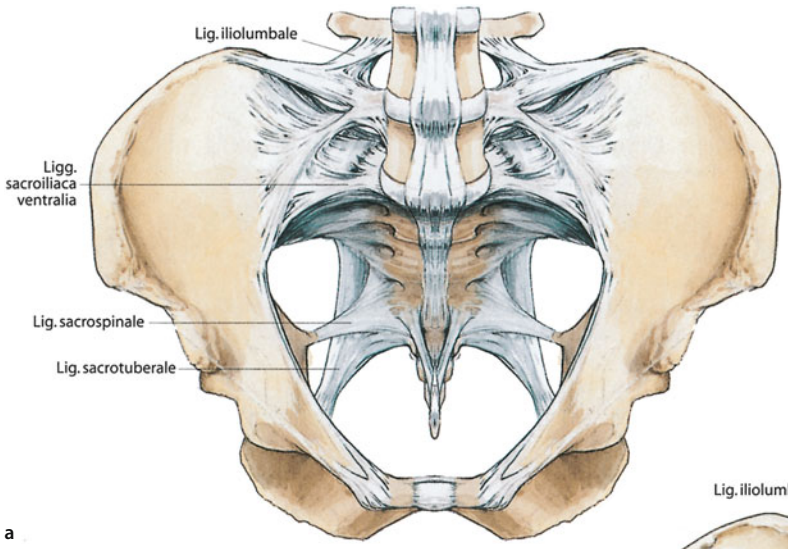
Durch die besondere Form und Anordnung des Sakroiliakalgelenks kommt es bei einer zunehmenden axialen Krafteinwirkung zu einer verstärkten Zugbelastung der sakroiliakalen Bänder und Druckbelastung im Gelenk (»umgekehrte Schlusssteinfunktion«). Die dadurch ausgelöste Kippbewegung des Sakrums in der Sagittalebene (»Nutation«) wird durch die Beckenbodenbänder und die Anspannung der sakroiliakalen Bänder elastisch abgebremst. Bei der Vorneigung kommt es zu einer Gegennutationsbewegung. Dies ist für die Erhaltung des Gleichgewichts und die Optimierung der Muskelfunktionen von Bedeutung.

Diese für die Bewegungsmechanik und Statik elementaren Funktionen, insbesondere im Hinblick auf den aufrechten Gang des Menschen, verdeutlichen, dass posttraumatisch verbliebene Verschiebungen des hinteren Beckenrings nicht nur lokale, sondern auch die angrenzenden Skelettabschnitte betreffende Auswirkungen haben können (Lavignolle et al. 1983, Solonen 1957).

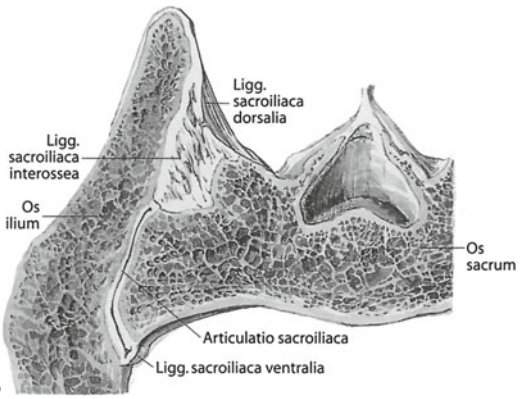
Acetabulum

Acetabulum kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Essignäpfchen. Die rein morphologisch-anatomische Betrachtungsweise wurde durch Rouvière (1940) mit der Beschreibung der so genannten »Pfeilerstruktur« ergänzt. Diese »extraanatomische Betrachtung« erleichtert die Klassifikation der auftretenden Verletzungstypen. Der sich von der Symphyse entlang der Linea terminalis bis hin zur Beckenschaufel erstreckende »vordere Pfeiler« wird der Form des umgekehrt stehenden Buchstaben Y entsprechend durch den kräftigen, im Wesentlichen das Sitzbein umfassenden »hinteren Pfeiler« ergänzt. Beide Pfeiler umfassen die Gelenkfläche des Acetabulum (Abb. 8.6). Davon abzugrenzen sind die acetabulären Wachstumsfugen zwischen Scham-, Sitz- und Darmbein, die ebenfalls als »Y-Fuge« bezeichnet werden (Abb. 8.7).

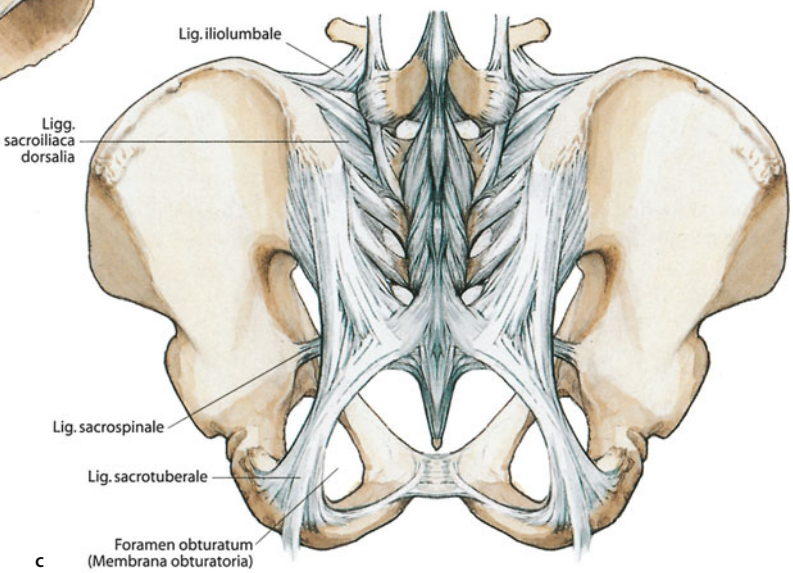
Die Fossa acetabuli ist gelenkbildend von der hufeisenförmigen Knorpelschicht überzogen, mit der größte Knorpeldicke im Bereich der kranial und dorsokranial liegenden Hauptbelastungszone. Ein derber Faserring, das Labrum acetabulare, sitzt dem Pfannenrand auf und umfasst den Hüftkopf über dessen Äquator hinaus. Distal im Bereich der Incisura acetabuli verbindet das kräftige Ligamentum transversum acetabuli den vorderen und hinteren Gelenkflächenausläufer. Die Hüftgelenkkapsel wird von kräftigen Ligamenten verstärkt, die insbesondere eine Überstreckung verhindern. Aus der Fossa acetabuli zieht das Ligamentum capitis femoris mit begleitenden Gefäßen zur Epiphyse im Hüftkopfzentrum. Mit dem Abschluss des Wachstums obliterieren diese Gefäße.



a



b



c

Abb. 8.5a–c Ligamentäre Bandverbindungen am Becken. **a** Ansicht von ventral. **b** Querschnitt durch ein Sakroilikalgelenk: Darauf zeigt sich, wie kräftig die dorsalen Bänder im Vergleich zu den ventralen ausgeprägt sind. Sie bilden die Aufhängung des Kreuzbeins und eine dorsale Zuggurtung. **c** Ansicht von dorsal. (Aus: Pohlemann 1998a)

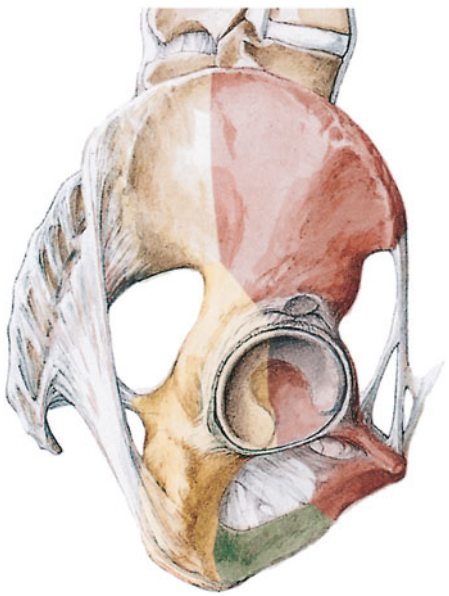


Abb. 8.6 Die Pfeilerstruktur des Hüftbeins: Der vordere Pfeiler ist rot gefärbt, der hintere gelb. (Aus: Pohlemann u. Gänsslen 1998a)

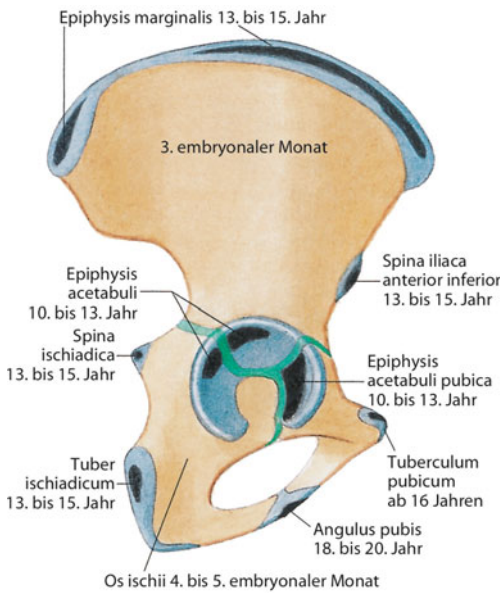


Abb. 8.7 Schematische Darstellung der Wachstumsfugen des Os coxae. (Aus: Pohlemann u. Gänsslen 1998a)

8.2 Beckenringverletzungen

8.2.1 Ätiologie, Klinik und Diagnostik

Ätiologie

Beckenverletzungen werden einerseits als Folge von Hochenergietraumen erlitten, z.B. Überrolltraumen, Verschüttungen, Pkw-Unfälle oder Stürze aus großer Höhe, andererseits treten sie in zunehmendem Maße im Zuge der weiten Verbreitung der Osteoporose schon bei Bagatelltraumen auf. Die schweren Begleitverletzungen sind insgesamt selten, zunehmende Maßnahmen zur Unfallprävention führen auch bei diesen oft lebensbedrohlichen Verletzungen zu einem erfreulichen Rückgang der Inzidenz.

Selbst in Traumazentren sind in Deutschland wissenschaftlich relevante Fallzahlen nur über größere Zeiträume zu beobachten, sodass für prognostische Fragestellungen zunehmend auf multizentrische Register zurückgegriffen wird, z.B. das seit 1991 aktive Register der Arbeitsgruppe Becken der Deutschen Sektion der AO Foundation und der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (Pohlemann et al. 1998 a). Obwohl in Häusern der Grund- und Regelversorgung schwere Verletzungen häufig nur vereinzelt vorkommen, sollte eine ausreichende Vorbereitung zur Bewältigung von Notfallsituationen erfolgen.

Klinik und Basisdiagnostik

Der Unfallmechanismus ist oft richtungsweisend für das zu erwartende Verletzungsausmaß, daher muss insbesondere bei nicht ansprechbaren Patienten eine ausreichend detaillierte Übergabe durch das Rettungsdienstpersonal erfolgen und die Anamnese gezielt erfragt werden. Beispielsweise kann eine stattgehabte Überrollverletzung, auch bei äußerlich vergleichsweise blandem Befund, zu schwerwiegenden Organ- oder Gefäßverletzungen geführt haben.

Weichteilschwellungen, Wunden, Prellmarken und Schürfungen geben außerdem wichtige Hinweise auf Art und Richtung der stattgehabten Gewalteinwirkung. Ausgedehnte Hämatome oder Kontusionsmarken können Hinweise auf ein Kompartment-Syndrom oder ein großflächiges Décollement, die so genannte Morel-Lavallé-Läsion, geben.

Der Blutaustritt aus Körperöffnungen weist auf entsprechende Begleitverletzungen hin. Die immer durchzuführende exakte Inspektion von Urethra, Rektum und Vagina ist deshalb unverzichtbar. Übersehene Hohlorganverletzungen können zu akuten lebensbedrohlichen Blutungen und mittelfristig zu lebensbedrohlichen Infektionen führen.

Nach der Inspektion schließt sich eine Stabilitätsprüfung des osteoligamentären Beckenrings an. Jede bei der manuellen Stabilitätsprüfung (Druck auf die Beckenkämme) fühlbare Relativbewegung muss als pathologisch bewertet werden. Während »federnder Widerstand« auf Rotationsinstabilitäten hinweist, ist eine mehrdimensionale Beweglichkeit nahezu pathognomonisch für die hochgradigen »Translationsinstabilitäten« (zur Untersuchungstechnik: ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Beckeninstabilitäten können lebensgefährlich sein. Durch die wiederholte Stabilitätsprüfung können Blutungen provoziert und unterhalten werden. Deshalb darf die Prüfung, wenn sie einmal durch einen erfahrenen Untersucher vorgenommen wurde und eine eindeutige Instabilität ergeben hat, nicht wiederholt werden. Dies gilt insbesondere für die schwerste Verletzungsform, die Translationsinstabilität.

Zur Klärung der hämodynamischen Situation wird auch unmittelbar nach der Aufnahme des Patienten nach den ATLS-Kriterien Blut abgenommen und u.a. Hämoglobingehalt, Hämatokrit und Gerinnung bestimmt und sonografisch nach intraabdomineller freier Flüssigkeit und retroperitonealen Hämatomen gesucht.

Der Pulsstatus wird erhoben. Man palpiert die Leisten- und die peripheren Pulse. Bei grenzwertiger Kreislaufsituation kann die Palpation aufgrund eines niedrigen Blutdrucks erschwert sein. In dieser Situation muss der Pulsstatus zwingend über Dopplersonografie und ggf. erweiterte Maßnahmen (z.B. Angiografie) geklärt werden.

Die Erhebung eines orientierenden neurologischen Status ist in der Frühphase wichtig, da die Gesamtverletzungsschwere häufig eine ggf. langfristige Intensivtherapie erzwingt, während der keine suffizienten neurologischen Befunde erhoben werden können. Zur Orientierung ausreichend ist die Prüfung der Funktion der Fuß- und Zehenheber und -senker, die Sensibilität im Unterschenkel- und Fußbereich sowie die perianale Sensibilität und Tonus und Kontraktionsfähigkeit des Analsphinkters. Nach Stabilisierung des Allgemeinzustandes wird in der frühen stationären Phase eine neurologische Konsiliaruntersuchung zur unabhängigen Objektivierung des Befundes veranlasst.

Weitergehende Diagnostik

Konventionelle Röntgenaufnahmen

In der Notfallsituation erlaubt die a.p.-Beckenübersichtsaufnahme eine schnelle Übersicht über das Verletzungsausmaß. Bei ausreichender Erfahrung lassen sich anhand dieser Aufnahme schon >90% der Verletzungen sicher erkennen und zuverlässige Entscheidungen zur Notfalltherapie treffen. Sie sollte daher aufgrund der schnellen Verfügbarkeit ganz am Anfang des Notfallalgorithmus stehen. Selbst in vielen Zentren, in denen die Notfall Spiral-CT-Diagnostik im Schockraum verfügbar ist, wird auch heutzutage nicht auf die Thorax- und Beckenaufnahme verzichtet.

Um senkrecht zueinander stehende Röntgenuntersuchungen zu generieren, wurde für die konventionelle Röntgenuntersuchung des Beckenrings die Inlet- und Outletprojektion eingeführt (Abb. 8.8). Zur Untersuchung der Acetabulumverletzungen in konventionller Technik werden die Ala- und Obturator-Projektionen benötigt (▶ Abschnitt 8.3, Acetabulumfrakturen).

Besonders zur Planung der definitiven Reposition und Stabilisierung können mit diesen Projektionen eine Reihe von Zusatzinformationen, z.B. das Ausmaß und die Richtung der Fehlstellungen gewonnen werden (Abb. 8.9). Derzeit wird allerdings diskutiert, inwieweit sekundär rekonstruierte Projektionen aus dem jetzt nahezu immer vorliegenden CT-Datensatz diese Spezialprojektionen ersetzen können.

Computertomografie

Die Überlegenheit der CT in der Detaildiagnostik des hinteren Beckenrings und des Acetabulums ist seit längerem unwidersprochen (Rath et al. 1983, Young et al. 1986). Die schnelle Spiral-CT-Untersuchung lässt schon in der ganz frühen stationären Phase eine präzise Bildgebung zu. Die genaue Analyse der CT-Aufnahmen ist unverzichtbar für die Klassifikation, die Entscheidungsfindung und Indikationsstellung.

Urologische Diagnostik

Schon die Inspektion des Meatus urethrae kann erste Hinweise auf das Vorliegen einer Urogenitalverletzung geben. Urethraverletzungen kommen fast ausschließlich beim Mann vor. Es gibt direkte Verletzungen im Bereich des Penisschafts oder Perineums

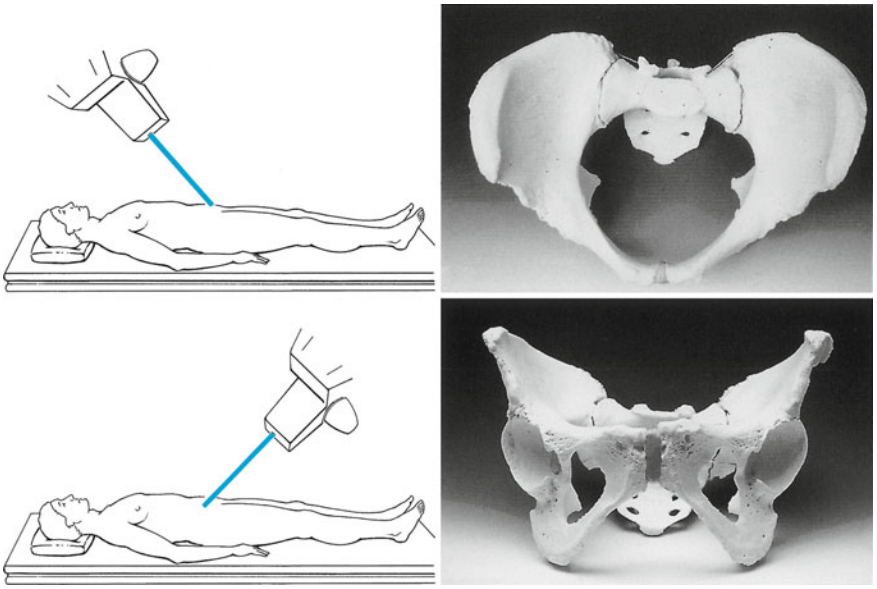


Abb. 8.8 Schrägaufnahmen des Beckens: Strahlengang und Blickrichtung der Inletprojektion (oben) und Outletprojektion (unten). (Aus: Pohlemann et al. 1998c)

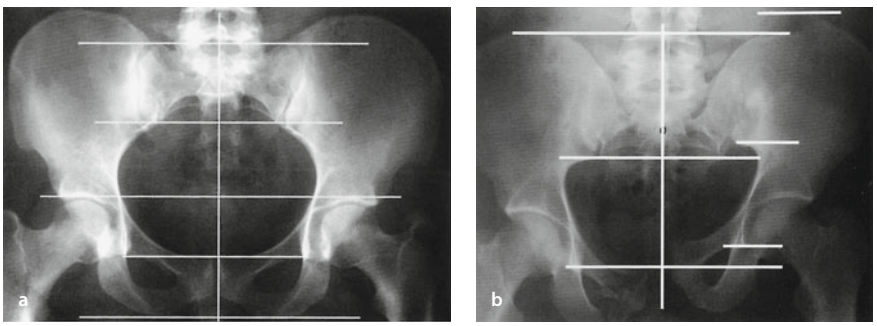


Abb. 8.9a,b Beckenübersichtaufnahme. **a** Verschiedene Hilfslinien erleichtern die Beurteilung. **b** Bei einer translatorischen Fehlstellung sind alle Hilfslinien nach kranial versetzt. (Aus: Pohlemann et al. 1998 e)

mit anterioren Rupturen der Harnröhre und indirekte durch Gewalteinwirkung auf den Unterbauch mit posterioren Rupturen im prostatischen Segment oder Beckenboden (Abb. 8.10). Die posterioren Rupturen entstehen aufgrund der besonders festen bindegewebigen Verankerung von Blase und Prostata. Häufig ist aber nach unauffälliger Inspektion eine nach dem Legen des transurethralen Katheters auffallende Makrohämaturie ein erster Hinweis auf eine Blasenruptur oder eine supravesikale Verletzung. Kritisch ist ein Passagehindernis bei der Katheterisierung nach Beckenfraktur. In diesem Fall erfolgen keine weiteren Versuche, sondern es wird eine bildgebende Diagnostik angeschlossen.

Bei Verdacht auf einen Abriss der Harnröhre ist eine **retrograde Urethrografie** indiziert. Dazu werden 20 ml eines wasserlöslichen Kontrastmittels (Solutrast oder Ultravist) mit einem Katheter in die Harnröhre gespritzt. Dann wird eine seitliche Aufnahme unter dosiertem Zug am Penis in seiner Längsachse angefertigt, auf der sich Kontrastmittelaustritte und -abbrüche zeigen würden.

Erst wenn die Unversehrtheit der Urethra auf diese Weise nachgewiesen ist, kann gefahrlos ein Blasenkatheter gelegt werden.

Bei liegendem Katheter kann nun auch die Harnblase mit Kontrastmittel gefüllt und beurteilt werden. Man instilliert 200 ml

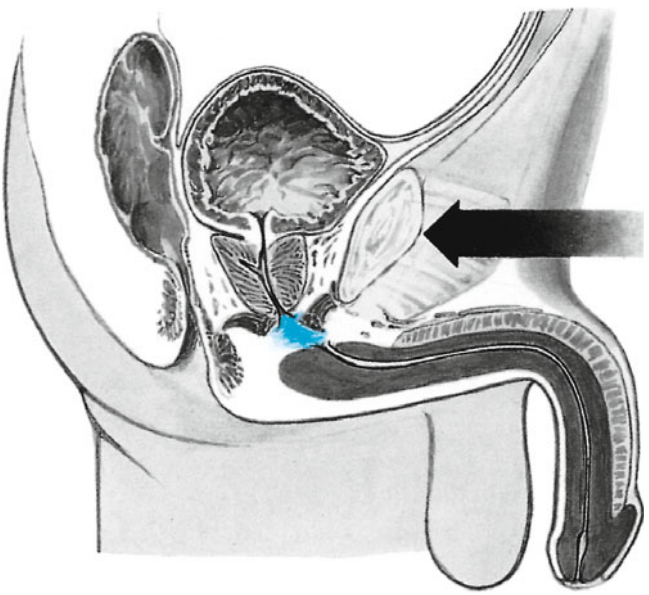


Abb. 8.10 Bei starker Gewalteinwirkung auf den Unterbauch kann die Harnröhre im prostatischen Segment oder im Bereich des Beckenbodens reißen. (Aus: Pohlemann et al. 1998c)

Kontrastmittel und klemmt anschließend den Katheter ab. Im Anschluss daran wird die gefüllte Blase nicht nur im a.p.- und seitlichen Strahlengang geröntgt, sondern auch eine Entleerungsaufnahme der Blase angefertigt, denn kleinere Kontrastmittelaustritte können vom intravesikal liegenden Kontrastmitteldepot überdeckt werden.

Falls bei bestehender Makrohämaturie mittels Urethro- und Zystogramm keine Blutungsquelle gefunden werden konnte, werden die oberen ableitenden Harnwege und das Nierenkelchsystem mittels **Ausscheidungsurogramm** abgeklärt. Dazu infundiert man nach Anfertigung einer Leeraufnahme des Abdomens und Beckens 100 ml eines intravenös applizierbaren Kontrastmittels und röntgt 5 und 15 min nach Kontrastmittelgabe erneut. Diese Untersuchung kann aber auch im CT erfolgen.

8.2.2 Klassifikation und Indikationsstellung

Klassifikation

Die systematische Klassifikation der Beckenringverletzungen war über 150 Jahre Gegenstand ausgedehnter wissenschaftlicher Diskussionen, da sowohl die komplizierte Anatomie, die Ringstruktur und das Zusammenspiel von Verletzungsvektor und Kraft als auch die verbliebene residuale Stabilität des Beckenrings nicht universell und praktisch verwendbar zusammengefasst werden konnten. Erst Tile und Helfet haben mit der derzeit aktuellen Klassifikation der AO-Foundation und Orthopaedic Trauma Association (AO/OTA) ein weltweit weitgehend akzeptiertes System geschaffen (◘ Abb. 8.11). Da über das gewohnte System der langen Röhrenknochen hinausgehend linke, rechte, vordere und hintere Verletzungen in verschiedenen Ausmaßen kombiniert werden müssen, ergibt sich eine sehr umfassende Klassifikation mit allen Nachteilen der Verlässlichkeit. Deswegen hat es sich für die klinische Arbeit bewährt, sich lediglich auf den Frakturtyp zu konzentrieren, um eine sichere Stabilitätsinformation zu erhalten und damit die Indikationsstellung zu ermöglichen. Die Einzelverletzungen werden danach systematisch anatomisch bezeichnet, um die klinische Kommunikation zu erleichtern.

Verletzungen des Beckenrings Typ A bis Typ C

Stabile Verletzungen des Beckenrings (Typ A)

Diese sind durch die Integrität des dorsalen osteoligamentären Beckenrings gekennzeichnet und damit prinzipiell als stabil anzusehen. Stabil bedeutet in diesem Fall, dass eine Mobilisation keine weitere Dislokation innerhalb der Ringstruktur hervorruft. Beispiele sind Frakturen des vorderen Beckenrings, die Abrissfraktur der Spina iliaca, Randabbrüche am Os ilium oder die tiefe Querfraktur des Kreuzbeins.

Partiell instabile Verletzungen des Beckenrings (Typ B)

Charakteristisch für diese Gruppe der Beckenfrakturen ist die inkomplette Unterbrechung der osteoligamentären Strukturen des dorsalen Beckenrings, sodass lediglich eine so genannte Rotationsinstabilität besteht. Um diese Rotationsbewegung zuzulassen, muss im hinteren Beckenring eine ausreichend stabile anatomische Struktur Bestand haben (z.B. Bandverbindung), die eine »scharnierartige« Bewegung der betroffenen Beckenhälfte zulässt. Ein typisches Beispiel für diese Art der Instabilität ist die Außenrotationsverletzung oder auch »**Open-book-Verletzung**« (Typ B3) genannte, bei der neben der Symphysensprengung eine Zerstörung der ventralen ligamentären Strukturen am Sakroiliakalgelenk beidseitig besteht und die intakten dorsalen Bandstrukturen das Becken – wie bei einem Bucheinband der Buchrücken – noch zusammenhalten. Bei **Kompressions- oder Innenrotationsverletzungen** zeigen sich dagegen Überlappungen am vorderen Beckenring.

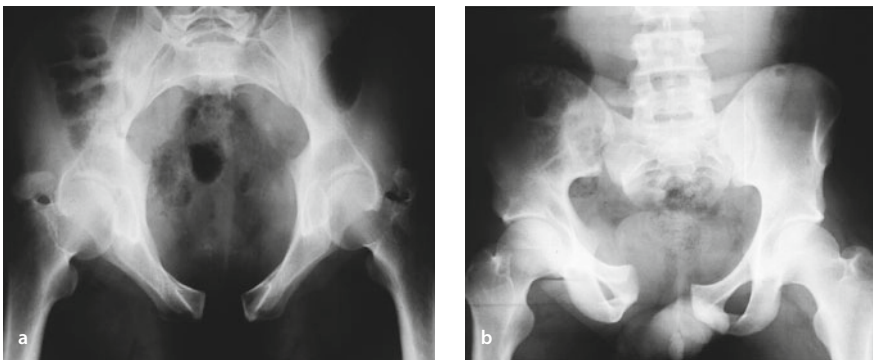
Instabile Verletzungen des Beckenrings (Typ C)

Diese Art der Verletzungen tritt selten als isoliertes Trauma auf und ist immer Ausdruck einer großen Gewalteinwirkung. Kennzeichnend ist die dreidimensionale Instabilität des Beckens bei kompletter Zerreißung der hinteren osteoligamentären Strukturen, ein- oder beidseitig. Der Begriff der »Vertikalverschiebung« in Abgrenzung zur »Rotationsinstabilität« wurde zwischenzeitlich weitgehend zugunsten der »Translationsinstabilität« verlassen, da bei der variablen Ausrichtung des Beckens im Raum der »Vertikalbegriff« irreführend sein kann. Jegliche Translationsbewegung im Bereich des ligamentären und/oder knöchernen hinteren Beckenrings muss zu einer kompletten Unterbrechung aller nennenswerten stabilisierenden Strukturen führen.

Anatomisch relevante Verletzungsregionen

Wie oben ausgeführt hat es sich im klinischen Alltag bewährt, die Einzelverletzungen entsprechend der Verletzungsregion systematisch zu analysieren und anatomisch zu benennen. Die innerklinische Kommunikation auch unter »Nichtspezialisten« wird erheblich erleichtert und eine ggf. notwendige spätere »alphanummerische« Klassifikation bleibt bei der exakten Analyse und Dokumentation dann immer noch möglich. Die Verletzungsregionen umfassen folgende Regionen (◘ Abb. 8.12):

- Transsymphysäre Region
- Transpubische Region
- Transacetabuläre Region (▶ Abschnitt 8.3, Acetabulumfraktur)
- Transiliakale Region
- Transiliosakrale Region (mit reiner transiliosakraler Luxation und transakralen, bzw. transiliakalen Luxationsfrakturen
- Transsakrale Region (mit der Unterklassifikation nach Denis mit transalaren, transforaminalen und zentralen Frakturen)



◘ **Abb. 8.11a,b** Beispiele für verschiedene Instabilitätsgrade am Beckenring. **a** Typ-B-Verletzung mit Symphysensprengung als »Open-book-Läsion«. **b** Translatorisch und rotatorisch instabile Typ-C-Verletzung mit Zerreißung der Symphyse und eines Sakroiliakalgelenks

Symphysenruptur

Die normale Symphysenweite des Erwachsenen ist mit durchschnittlich 10 mm angegeben. Zu beachten ist, dass die Röntgenaufnahme eine Momentaufnahme ist, zum Zeitpunkt der Verletzung kann die Diastase ein deutlich größeres Ausmaß gehabt haben. Bei Schmerzen im Symphysenbereich ist daher jede weitergehende Diastase oder der Versatz in einer der radiologischen Projektionen nahezu beweisend für das Vorliegen einer Symphysensprengung. Im Zweifelsfall werden bei länger zurückliegenden Verletzungen Einbeinstandaufnahmen angefertigt, im Akutfall können ggf. Stressuntersuchungen mit dem Bildwandler hilfreich sein.

Transpubische Verletzung

Eine Fragmentdiastase deutet auf eine Außenrotationsverletzung hin, eine Impressions- oder Fragmentüberlappung auf eine Innenrotations- bzw. Kompressionsverletzung. Innenrotationsverletzungen können mit Blasenperforationen einhergehen. Ggf. muss eine erweiterte bildgebende Diagnostik angeschlossen werden.

Transacetabuläre Verletzung

Als Gelenkfraktur unterliegt sie speziellen Prinzipien der Klassifikation, Entscheidungsfindung und Therapie (s.u.). Relativ selten hat sie als »Zweipfeilerfraktur« Einfluss auf die Gesamtstabilität des Beckenrings.

Transiliakale Instabilität

Sie ist die ventralste Ausprägung der »dorsalen« Verletzungen. Aufgrund der schrägen Projektion der Beckenschaufeln, kann diese Verletzung gelegentlich übersehen werden. Gut darstellen lässt sie sich in der Ala-Projektion oder im CT.

Transiliosakrale Instabilitäten

Hier sind alle Verletzungen zusammengefasst, die das Iliosakralgelenk betreffen. Am häufigsten treten rein ligamentäre Verletzungen als »B« (Stabilität teilweise erhalten) oder »C« (komplette Ruptur) auf. Relativ häufig, insbesondere bei älteren Patienten, sind die transiliosakralen Luxationsfrakturen zu beobachten. Aufgrund der typischen Morphologie werden Frakturen mit Iliumanteilen »Halbmondfrakturen« (crescent fractures) bezeichnet. Auch sie können leicht übersehen werden, führen aber aufgrund der hohen Instabilität leicht zu sekundären Dislokationen.

Transsakrale Instabilitäten

Die Häufigkeit der Sakrumfrakturen konnte erst nach Einführung der CT in die Routinediagnostik definitiv mit einem Anteil von ca. 30% bei allen Beckenringfrakturen bestimmt werden. Schwierigkeiten bestehen in der Detaildiagnostik, insbesondere bei zentralen Frakturen und Ausbruchverletzungen mit und ohne neurologische Ausfälle. In der Regel müssen multiplanare Rekonstruktionen der CT ausgewertet werden.

Indikationsstellung und Entscheidungsfindung

Da Beckenringverletzungen mit lebensbedrohlichen Begleitverletzungen und Blutverlusten einhergehen können, muss die Situation einer »komplexen Beckenfraktur« frühzeitig erkannt und behandelt werden. Hier geht es häufig um lebensrettende Primärmaßnahmen (▶ Abschnitt 8.2.3, Notfalltherapie).

Bei stabilem Allgemeinzustand richtet sich die Indikation nach dem Klassifikationstyp.

Typ A-Verletzungen

Diese werden in der Regel konservativ behandelt. Ganz selten können stark verschobene Einzelfragmente (Crista iliaca, Schambein-

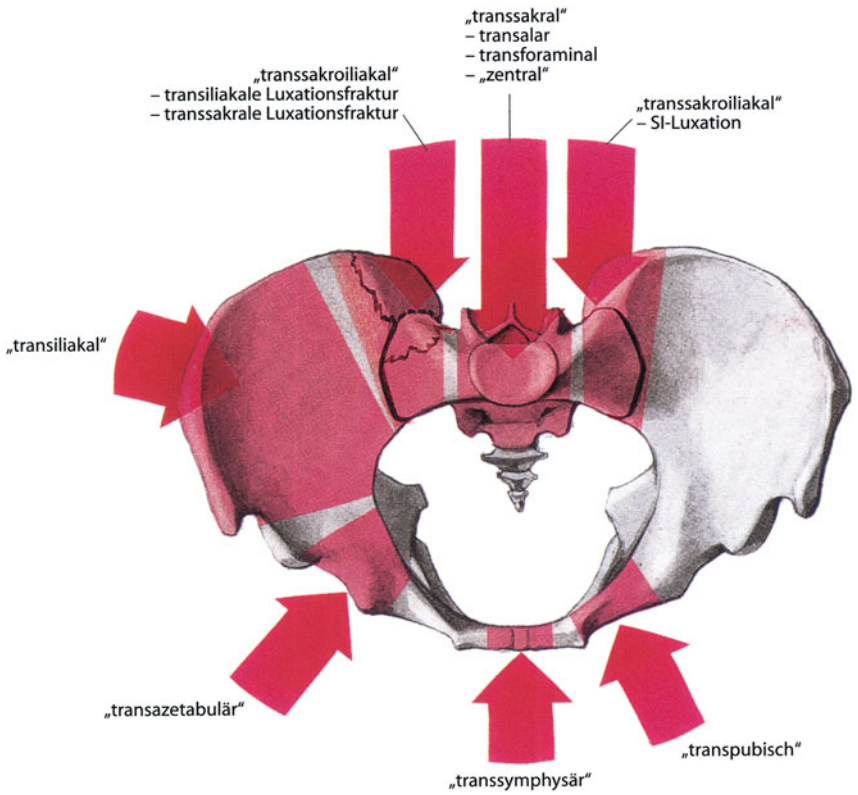


Abb. 8.12 Verletzungsregionen (Instabilitätsrichtungen) am Beckenring. Im eigenen Vorgehen wird zur Klassifikation der Beckenringverletzungen zunächst nur der Frakturtyp (A-B-C) bestimmt. Die anatomische Lokalisation der Verletzung wird durch die Anlehnung an Letournel erweiterten »Verletzungsregionen« oder »Instabilitätsrichtungen« systematisch analysiert und im Klartext beschrieben. Dieses System bewährt sich aufgrund der allgemeinen Verständlichkeit im klinischen Alltag, erlaubt aber auch später noch eine exakte »Nachdokumentation« in einem computergerechten »alphanummerischen« Klassifikationssystem (z.B. AO/OTA-Klassifikation). (Aus: Tscherne u. Pohlemann 1998)

äste) oder Abrissfrakturen Indikationen zur operativen Refixation darstellen.

Typ B-Verletzungen

Bei definitionsgemäß erhaltener Teilstabilität des hinteren Beckenrings ist eine alleinige anteriore Stabilisierung ausreichend für die Mobilisation und den störungsfreien Heilungsverlauf. Da Übergangsformen zu »C-Verletzungen« vorkommen, muss die Klassifikation ggf. anhand des Heilungsfortschritts überprüft und ggf. frühzeitig angepasst werden.

Typ C-Verletzungen

Die komplette Unterbrechung im vorderen und hinteren Beckenring erfordert auch eine Reposition und Stabilisierung in beiden Verletzungsregionen. In der Regel wir zunächst der hintere Beckenring (80% der Stabilität) und anschließend der vordere Beckenring stabilisiert. Ausnahmen können im Rahmen von Notfallmaßnahmen notwendig sein.

Eine rein konservative Therapie instabiler Beckenringverletzungen wird derzeit nur noch in wenigen Ausnahmefällen, insbesondere bei »Inoperabilität« des Patienten aufgrund des Allgemeinzustandes empfohlen. Ziel ist dabei, eine Ausheilung in möglichst geringer Fehlstellung zu erreichen. Techniken umfassen dann die suprakondyläre Oberschenkelextension mit Extensionsgewichten bis zu einem Fünftel des Körpergewichts nach radiologischer Kontrolle. Da eine derartige, langfristige Therapie (Heilungszeiten 8–12 Wochen!) komplikationsträchtig ist, sollte die Indikationsstellung anhand des sich ändernden Allgemeinzustandes überprüft werden, um ggf. verspätet eine operative Therapie mit zumindest externer Fixation anzuschließen. Günstiger ist auf alle Fälle eine Notfallstabilisierung im Rahmen der primären Notfalltherapie, um schwer zu behandelnde Fehlstellungen in der Spätphase zu vermeiden.

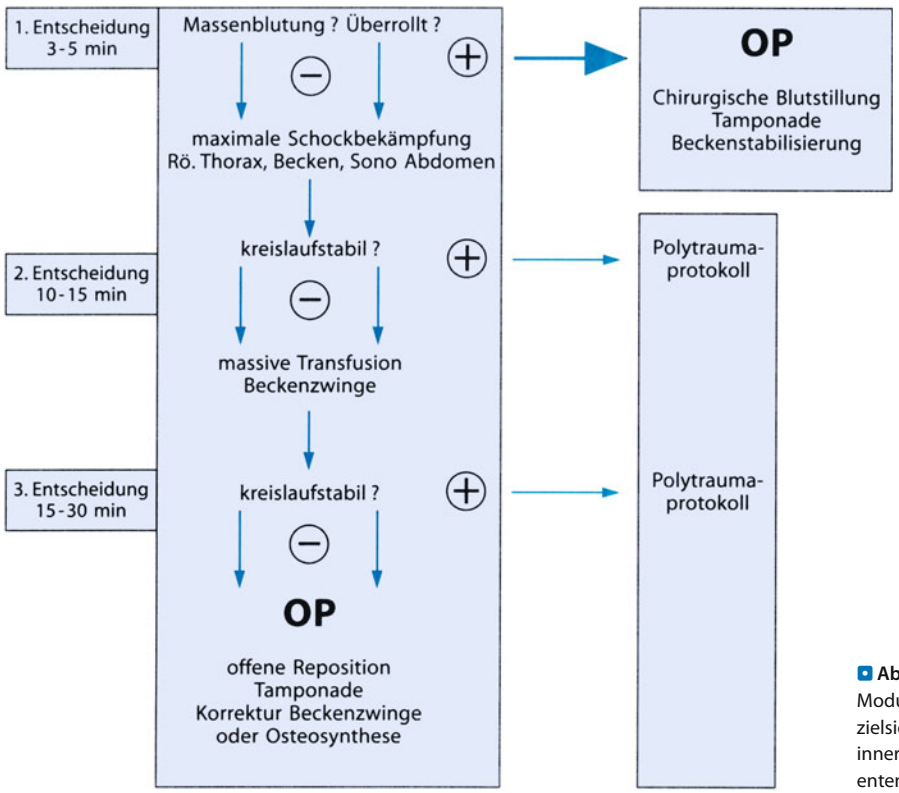
8.2.3 Therapie

Notfalltherapie

Die Notfalltherapie muss sich in einen etablierten Behandlungsalgorithmus einfügen und möglichst ubiquitär verfügbar sein. Im eigenen Vorgehen wird ein einfaches Modul mit 3 Entscheidungen in das ATLS-Konzept eingefügt (◘ Abb. 8.13).

Diese Notfallbehandlungsprinzipien orientieren sich zunächst an der möglichst unmittelbar nach dem Unfall einsetzenden mechanischen Immobilisierung der Beckenhälften, um weitere Blutaustritte zu minimieren und die physiologische Hämostase zu unterstützen. Jede unmittelbar verfügbare und sicher anwendbare Maßnahme ist dabei entsprechend der örtlichen Gegebenheiten einsetzbar (Vakuummatratze, Tuchumschlingungen, Beckengurte oder operativ Beckenzwinge oder Fixateur externe). Als relativ einfache und zugleich effektive Maßnahme hat sich die Beckenzwinge nach Ganz (1991) erwiesen. Sie eignet sich zur Blutstillung bei Frakturen des dorsalen Beckenrings. Die Montage der Zwinge ist in ◘ Abb. 8.14 dargestellt und beschrieben. Es ist aber immer zu bedenken, dass diese Methode auch Gefahren hat, bei Unsicherheiten sollte daher unmittelbar auf Alternativen (Fixateur externe, Beckengurt etc.) ausgewichen werden!

Führt diese mechanische Stabilisierung ebenfalls zur hämodynamischen Beruhigung, kann abgewartet werden. Ist aber nach 20 bis spätestens 30 min nach Aufnahme keine Besserung eingetreten, wird im eigenen Vorgehen eine intrapelvine Tamponade durchgeführt. Eine Laparotomie ist dabei nur notwendig, wenn massiv freie Flüssigkeit im Abdomen nachgewiesen wurde. Ansonsten erfolgt **nach** der Notfallstabilisierung mit Beckenzwinge und/oder Fixateur externe nach Abdeckung des gesamten Abdomens und Thorax eine infraumbilikale Längsinzision. Nach Eröffnung der Faszie muss keine weitere Präparation erfolgen, da durch die Ver-



◘ Abb. 8.13 Der »Notfallalgorithmus Becken« ist ein Modul der Polytraumaerstbehandlung. Zur schnellen, zielsicheren Orientierung wurde auf 3 Entscheidungen innerhalb der ersten 30 min nach Einlieferung des Patienten reduziert. (Aus: Tscherne u. Pohlemann 1998)

letzung die paravesikalen und präsakralen Räume sowieso aufgerissen sind. Ohne wesentliche weitere Exploration wird über die in die Verletzungsräume eingeführte Hand die Tamponade durchgeführt. Bei ausreichend vorhandener oder substituierter Gerinnung ist diese Maßnahme in der Regel sehr effektiv. Zur Erhöhung der mechanischen Stabilität können ggf. einfache Osteosynthesen des vorderen Beckenrings (Symphysenplatte, Fixateur externe) durchgeführt werden. Die Faszie wird zur Verbesserung des Tamponadeeffekts verschlossen.

Die Tamponaden verbleiben in der Regel für 24-48 h und werden je nach Lokalbefund entfernt oder gewechselt.

Grundlagen der Therapie am Beckenring

Das oberste Behandlungsziel bei der Frakturversorgung am Becken ist eine exakte anatomische Reposition mit ausreichender Stabilisierung, um eine frühzeitige Mobilisation zu ermöglichen. Dabei sollten gewebeschonende Zugänge verwendet werden, um möglichst bewährte Implantate und Implantatkombinationen einzusetzen. Die spezifischen Anforderungen der Beckenregion bedingen verschiedene Probleme und Schwierigkeiten bei der Indikationsstellung, Planung und Durchführung von Osteosynthesen: Die Dreidimensionalität des Beckenrings erschwert Visualisierung und Kontrolle von korrekter Reposition und Stabilisierung. Der dorsale Beckenring ist, operationstechnisch gesehen, schwer zugänglich, und Frakturen dieser Region bei der Verwendung limitierter Zugänge bzw. bei minimal-invasiven Techniken sind nur partiell darstellbar. Die Implantate müssen einerseits die bei der Mobilisation auftretenden hohen Kräfte zuverlässig kompensieren können, andererseits ist die Möglichkeit limitiert, Implantate im gesunden Knochen zu verankern. Der operative Eingriff kann bei ungünstiger Zugangswahl weitere Weichteilschäden verursachen, zusätzlich zu den bereits unfallbedingt bestehenden.

Da schwere Beckenfrakturen selten als isoliertes Trauma auftreten, spielt bei der Planung der Frakturversorgung der Gesamtzustand des Patienten häufig die entscheidende Rolle. Gerade bei polytraumatisierten Patienten sollte so früh wie möglich zumindest eine Notfallstabilisierung durchgeführt werden, um negative Einflüsse der Beckenstabilität auf den Gesamtverlauf zu verhindern. Der Zeitpunkt der Definitivversorgung orientiert sich an den üblichen intensivmedizinischen Operabilitätskriterien.

Verfahrenswahl und Operationstechniken

Konservative Therapie

Unter Einschluss der häufiger werdenden A-Verletzungen des geriatrischen Patienten werden weit über 50% aller Beckenverletzungen konservativ behandelt. Es werden allerdings nur noch

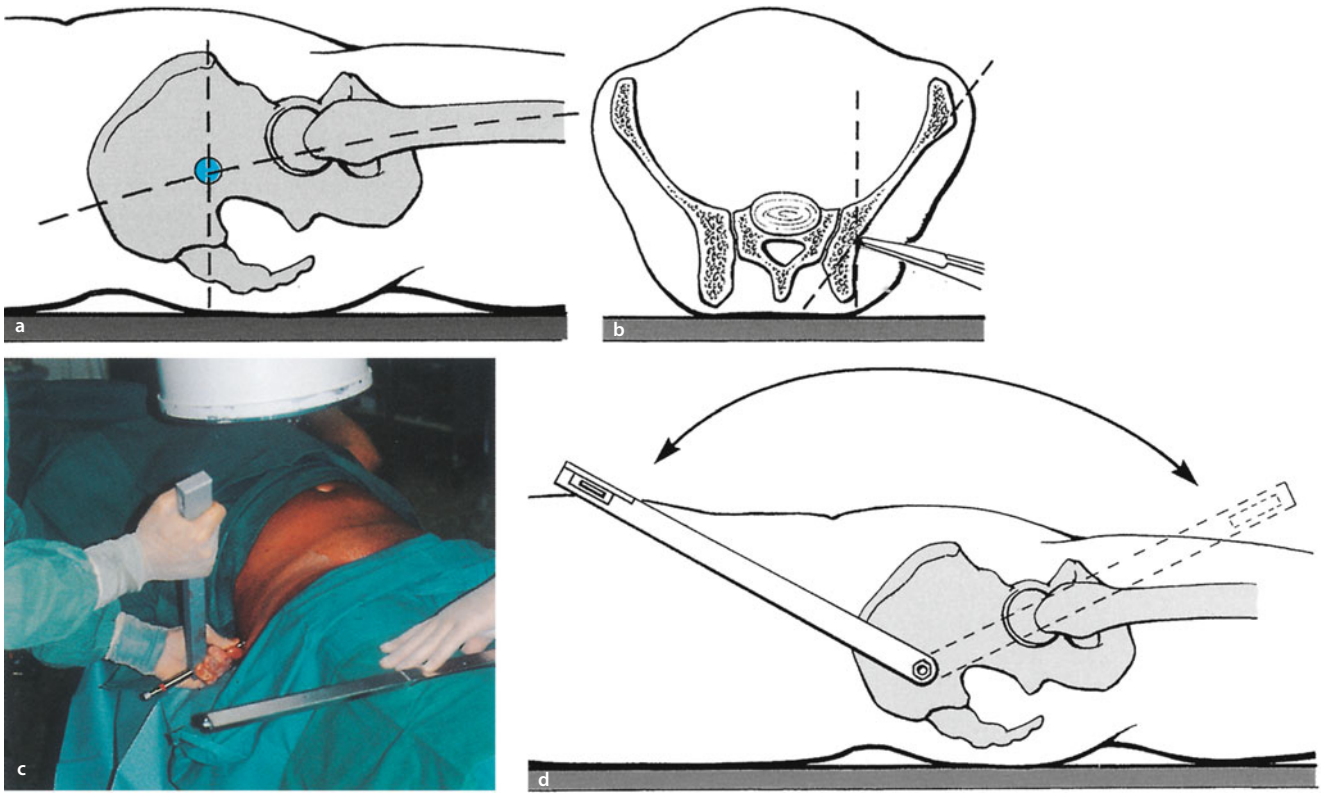


Abb. 8.14a–d Montage der Beckenzwinge nach Ganz. **a** Der Insertionspunkt für die Dorne liegt auf der Kreuzung zwischen der verlängerten Femurachse und dem Lot durch die Spina iliaca anterior superior. Die Orientierung kann bei ausgeprägter Weichteilschwellung, die häufig bei komplexen Beckenverletzungen auftritt, erschwert sein. **b** Es empfiehlt sich, nach Schaffung einer 3–4 cm langen Hautinzision das Gewebe mit einer Klemme oder Schere stumpf zu spreizen und mit dem Instrument den Übergang der schräg überhängenden Beckenschaufel zum senkrecht verlaufenden Aspekt des Os ilium zu tasten. **c** In diese Mulde wird die Spindel mit dem aufgesetzten Spannarm eingebracht und deren Spitze mit einem Hammerschlag in der Kortikalis verankert. Der gegenseitige Spannarm wird vor dem Einsetzen der Spindel auf die Verbindungsschiene gesetzt und in derselben Technik positioniert. Je nach Art der Verletzung wird nun durch Zug oder Innenrotation am Bein eine Grobreposition des Beckens vorgenommen. Anschließend wird die Zwinge manuell und dann mit dem Schraubenschlüssel vorgespannt. **d** Für Untersuchungen oder therapeutische Eingriffe kann die Zwinge nach oben oder unten um ihre Achse geschwenkt werden. (Aus: Pohlemann et al. 1998d)

funktionelle Verfahren zur Realisierung einer Frühmobilisation empfohlen. Die häufigsten Verletzungen am vorderen Beckenring betreffen das Os pubis oder das Os ischii. Hierbei handelt es sich in der Regel um gering dislozierte und stabile Verletzungen des Beckenrings (Typ A). Isolierte geschlossene Frakturen des vorderen Beckenrings betreffen überwiegend Patienten in hohem Alter und bedürfen in der Regel keiner operativen Stabilisierung.

Aber auch stabile Typ-B-Verletzungen, wie die Innenrotationsverletzung mit stabiler Einstauchung des vorderen Beckenrings, können konservativ behandelt werden.

Die Stabilität wenig verschobener transforaminaler und zentraler Sakrumfrakturen ist schwer zu beurteilen, weshalb bei konservativer Therapie engmaschig radiologisch kontrolliert werden muss. Aufgrund der guten Weichteildeckung und dem dicken umliegenden Muskelmantel besteht eine sehr gute Heilungstendenz, sodass man schon innerhalb weniger Wochen tragfähigen Kallus bekommt.

Die funktionelle Therapie beginnt mit initialer Bettruhe für einige Tage unter antiphlogistischer Therapie und Thromboseprophylaxe mit begleitender physiotherapeutischer Betreuung und Gabe eines niedermolekularen Heparins. Nach dieser Phase werden die Patienten mobilisiert, ggf. zunächst mit Hilfe von Unterarmstockstützen oder im Gehwagen. Falls bei der Mobilisierung Schmerzen im hinteren Beckenring auftreten, sollte man eine CT durchführen, um okkulte Instabilitäten dieses Bereichs frühzeitig erkennen und stabilisieren zu können.

Operative Therapie

Die Osteosynthesetechniken am vorderen und hinteren Beckenring haben sich in den letzten 20 Jahren deutlich weiterentwickelt. Insbesondere durch die verbesserte Bildwandlertechnologie und den Einsatz der Navigation konnten eine Reihe rein perkutaner Osteosynthesetechniken etabliert werden. »Implantatversagen« gehen heutzutage in der Regel auf Klassifikationsfehler mit daraus folgender falscher Verfahrenswahl und/oder auf mangelhafte Repositionen mit fehlerhafter Implantatposition zurück. Standardisierte zuverlässige Techniken bestehen für folgende Verletzungen:

- die Symphysensprengung (Plattenosteosynthese),
- die transpubische Instabilität (Fixateur Externe/Schienung der Fraktur durch intramedulläre Schraube),
- transiliakale Instabilitäten (Verplattungen und Verschraubungen über den Zugang zur Fossa ilica) und
- transiliosakrale Instabilitäten (Verplattungen von ventral oder offene/perkutane transiliosakrale Verschraubungen)

In der Diskussion ist weiterhin die Stabilisierung von Sakrumfrakturen. Durch die Einführung der direkten Plattenosteosynthese 1990 konnte eine direkte Nervendekompression mit einer direkten Sakrumstabilisierung kombiniert werden. Eine Reihe von Alternativen (transiliosakrale Verschraubungen, winkelstabile ilioiliakale Überbrückungsosteosynthesen und lumbosakrale Abstützungen mit Fixateur interne) wurden beschrieben und ergänzen die Behandlungsmöglichkeiten je nach jeweiligem Ausmaß einer Instabilität und dem Verlauf der Fraktur.

Bei Verletzungen des Typ B wird der Patient in der Regel in Rückenlage gelagert und das Bein der verletzten Seite zur besseren Repositionsmöglichkeit frei beweglich abgedeckt.

Bei Verletzungen vom Typ C wird idealerweise ebenfalls in Rückenlage vorgegangen. Bei Verletzungskombinationen, die Kombinationen einer Verletzung des SI-Gelenks oder transiliakaler Instabilitäten mit vorderer Beckenringverletzung umfassen, kann ebenfalls in Rückenlage vorgegangen werden. In dieser Lage können hinterer und vorderer Beckenring gleichzeitig exponiert werden, was die Reposition deutlich vereinfacht. Betrifft die hintere Verletzung eine Sakrumfraktur, hängt die Lagerung von der Möglichkeit der geschlossenen Reposition (in Rückenlage möglich) und der Notwendigkeit einer offenen Dekompression der Nervenwurzeln der Cauda equina (Bauchlage notwendig) ab. Muss umgelagert werden, sollte zunächst die dorsale Stabilisierung erfolgen. Die schon zur Notfallstabilisierung durchgeführten Osteosynthesen können Modifikationen notwendig machen, z.B. verbleibt ein ventraler Fixateur auch in Bauchlage in situ (ausreichende Unterpolsterung!), sollte aber gelöst werden, um die Reposition nicht zu behindern.

Osteosyntheseverfahren für die einzelnen Verletzungsregionen

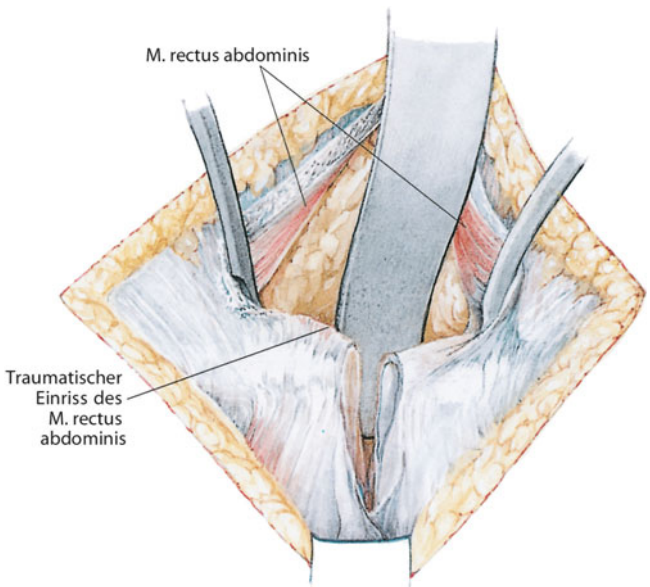
Therapie vorderer Beckenring

Plattenosteosynthese der Symphyse

Bei jüngeren Patienten und Vorliegen einer Begleitverletzung kann die Indikation zur Stabilisierung einer knöchernen Verletzung des vorderen Beckenrings gegeben sein. Insbesondere Symphysensprengungen mit einer Symphysenweite von 20 mm und darüber sowie bestehender Rotationsinstabilität (Typ B) bedürfen einer operativen Stabilisierung (◘ Abb. 8.11).

Der operative Zugang zum vorderen Beckenring erfolgt weitgehend standardisiert über den so genannten Pfannenstielschnitt, etwa ein Querfinger oberhalb der Symphyse quer verlaufend (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Im Falle einer notwendigen Laparotomie bei einer begleitenden inneren Organverletzung ist jedoch der Medianschnitt vorzuziehen. Die Osteosynthese schließt sich dann an die Versorgung der intraabdominellen Verletzungen des vorderen Beckenrings an (◘ Abb. 8.15).

Die klaffende Symphyse lässt sich mit einer großen Repositionszange schließen, die man von ventral auf die beiden Schambeinäste setzt (◘ Abb. 8.16). Dann wird eine 4-Loch-Großfragment-DC-Platte oder -Rekonstruktionsplatte auf den kranialen Symphysenrand positioniert. Speziell anatomisch angeformte Platten auch



◘ **Abb. 8.15** Operationssitus einer Symphysenruptur. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

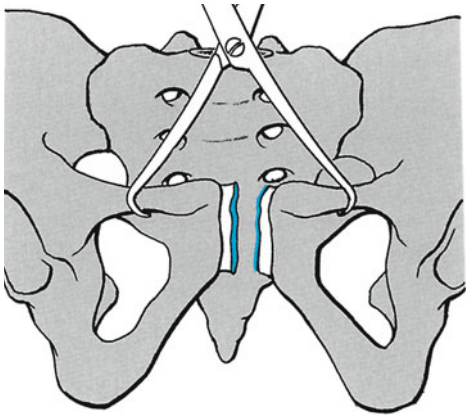


Abb. 8.16 Schließen einer klaffenden Symphysenruptur mit einer großen Repositionszange. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

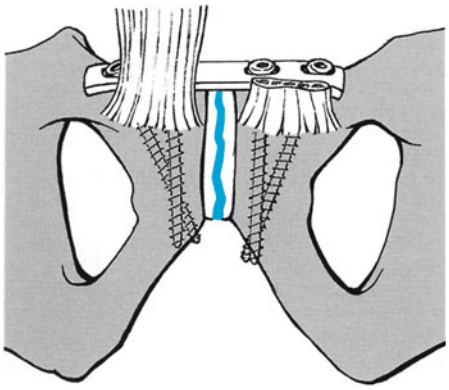
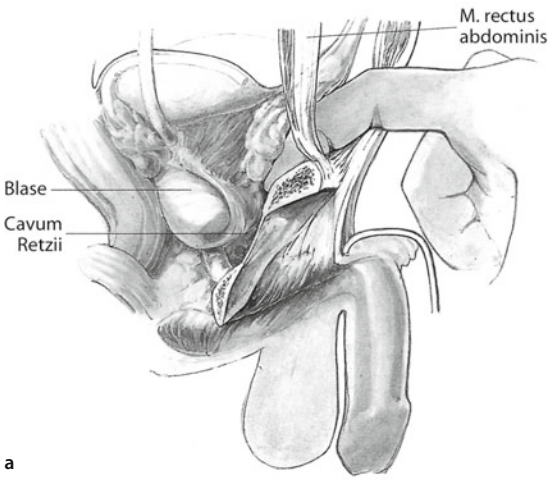
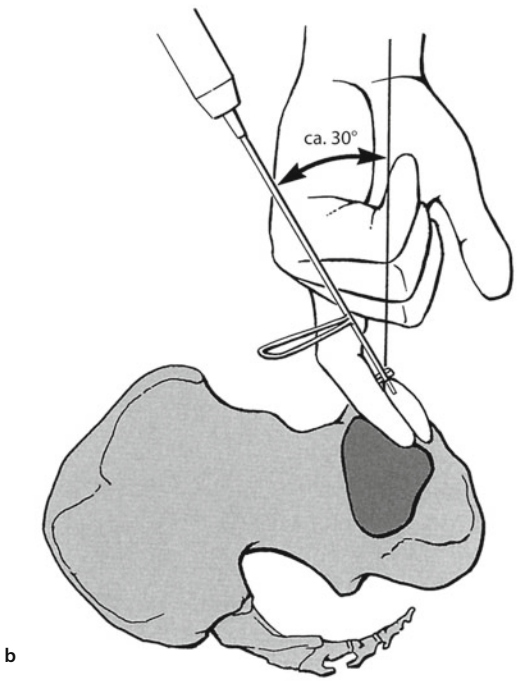


Abb. 8.18 Positionierung der Platte hinter den Rektusansätzen und konvergierende Schraubenlage der beiden äußeren Schrauben. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)



a



b

Abb. 8.17a,b Ertasten der retrosymphysären Region (**a**) zum besseren Erfassen der Bohrrichtung (**b**). (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

in winkelstabiler Ausführung bei verminderter Knochenqualität sind zwischenzeitlich verfügbar und erleichtern die Operation. Bevor man die Platte verschraubt, muss sie mittig ausgerichtet werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Plattenenden nicht ventral überstehen, was insbesondere bei kleinen Personen der Fall sein kann, aufgrund der dann gegebenen stärkeren Krümmung des vorderen Beckenrings. In solchen Fällen empfehlen Pohlemann et al. (1998 a) auf eine Kleinfragment DC-Platte oder, falls sie zur Verfügung steht, auf eine gebogene 6-Loch-Beckenrekonstruktionsplatte auszuweichen.

Da die Weichteile die Sicht teilweise versperren, empfiehlt es sich, beim Bohren der Schraubenlöcher die Hand oder einen Finger hinter die Symphyse zu schieben (Abb. 8.17). Dadurch wird zum einen die Blase geschützt, zum anderen erhält man einen guten Eindruck vom räumlichen Verlauf der Schambeinäste und trifft leichter deren Verlauf in schräger Richtung von ventral und kranial kommend nach dorsal und kaudal zielend. Gleichzeitig wird die Richtung des Bohrkanals mit dem Bildwandler beurteilt. Dazu wird der Strahlengang lotrecht zur Bohrrichtung eingestellt. So kann beurteilt werden, ob die Platte mittig ausgerichtet ist, ob der Bohrkanal den richtigen Abstand vom Symphysenspalt hat und ob die Reposition korrekt ist. Der Bohrkanal wird parallel zum Verlauf der Symphyse gelegt. Zuerst werden die beiden symphysennahen Bohrkanäle geschaffen.

Bei der Platzierung der Schraube auf der Gegenseite sollte darauf geachtet werden, dass diese exzentrisch im Plattenloch und ebenfalls parallel zum Symphysenspalt eingebracht wird. Ein Hinweis, dass die räumliche Flucht des Schambeinasts richtig getroffen ist, ist eine Bohrkanallänge zwischen 50 und 70 mm. Die zur Rotationssicherung notwendigen beiden äußeren Schrauben sollten leicht konvergierend zur Mitte eingebracht werden, um eine Perforation in das Foramen obturatum zu vermeiden (Abb. 8.18). Aus diesem Grund empfiehlt es sich, beide Plattenenden etwas nach unten vorzubiegen.

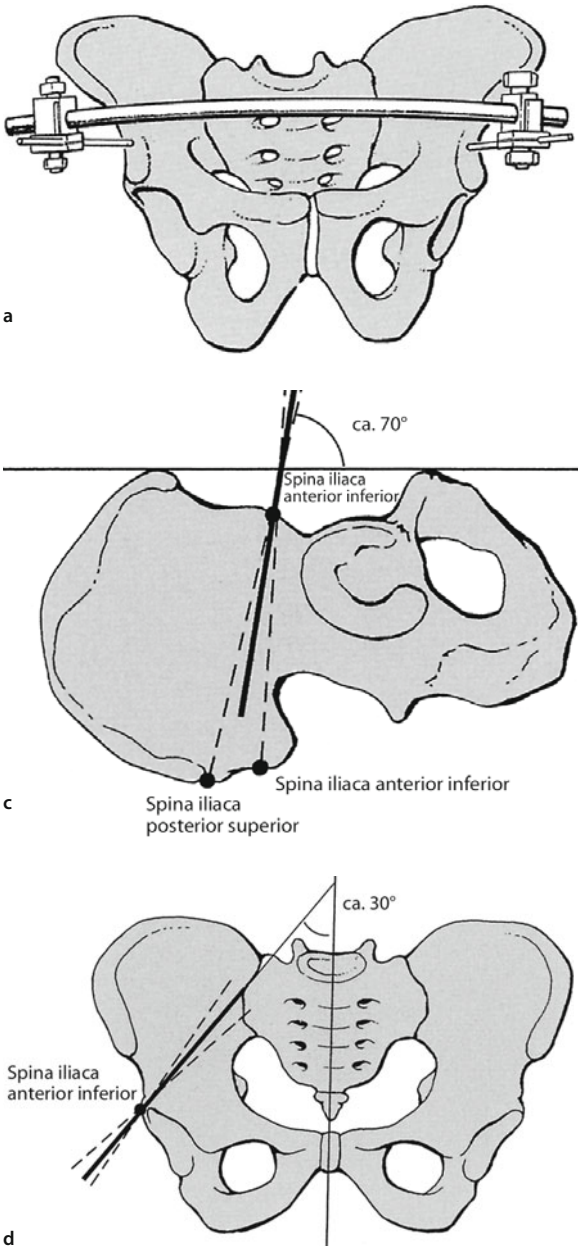
Bei unzureichendem knöchernem Halt der Schrauben können auch Spongiosaschrauben verwendet werden. In Ausnahmefällen mit unzureichender Stabilität kann mittels einer zusätzlichen ventral angelegten 4-Loch-Platte die Stabilität erhöht werden.

Eine Implantatentfernung ist angeraten, da die Symphyse ein physiologisches Bewegungsspiel hat und somit die Implantate häufig auslockern bzw. brechen. Die Platte wird daher in der Regel nach 12 Monaten wieder entfernt.

Transpubische Instabilitäten

Es ist zu prüfen, ob lediglich eine eingestauchte Fraktur (nicht notwendigerweise zu stabilisieren) oder eine regelrechte Instabilität (häufig mit Diastase) vorliegt. Im Gegensatz zur Symphysenruptur heilen Scham- und Sitzbeinastfrakturen aufgrund der ausgezeichneten Muskeldeckung und übergreifender Bandverbindungen sehr schnell und zuverlässig. Schon nach 3 Wochen kann in der Regel von belastbarem Kallus ausgegangen werden. Daher ist häufig der minimal-invasiv einzubringende Fixateur externe eine sichere, einfach einzusetzende und für den Patienten nur wenig behindernde Osteosynthesetechnik. Bevorzugt wird die supraacetabuläre Lage der Schanz-Schrauben. Sie ermöglicht eine langstreckige Verankerung der Schanz-Schrauben im Hüftbein, insbesondere auch bei verminderter Knochenqualität (geriatrische Patienten).

Zusätzlich ist die Weichteildeckung im Vergleich zu einer Pinlage in der Crista iliaca deutlich verbessert. Man geht dabei unter Bildwandlerkontrolle vor und deckt das Operationsgebiet so großzügig ab, dass beide Beckenkämme und die Symphyse zur besseren Orientierung frei bleiben. Die Femoralarterien werden palpiert und deren Lage auf der Haut angezeichnet. Ungefähr 2 cm distal und medial der Spina iliaca anterior superior setzt man zu beiden Seiten einen kurzen Hautschnitt und präpariert stumpf auf die Spina iliaca anterior inferior. Dort ist der Eintrittspunkt für die Schanz-Schraube, die von hier aus 20° nach kranial und 30° nach medial gerichtet unter Einsatz einer Gewebeschutzhülse in die supraacetabuläre Region eingedreht wird. Damit die Schraube nicht an der tangentialen Fläche der Spina abrutscht, empfiehlt es sich, die Kortikalis anzukörnen oder die erste Wegstrecke der Schraube vorzubohren. Die Stabilität der Konstruktion kann bei Bedarf durch Einbringen einer weiteren Schraube pro Seite oberhalb der Spina iliaca anterior superior oder unterhalb davon erhöht werden. Dabei muss man sich die Lage des N. cutaneus femoris lateralis vergegenwärtigen, der variabel medial oder selten lateral der Spina iliaca anterior superior verläuft und somit erheblich gefährdet ist (Abb. 8.19).



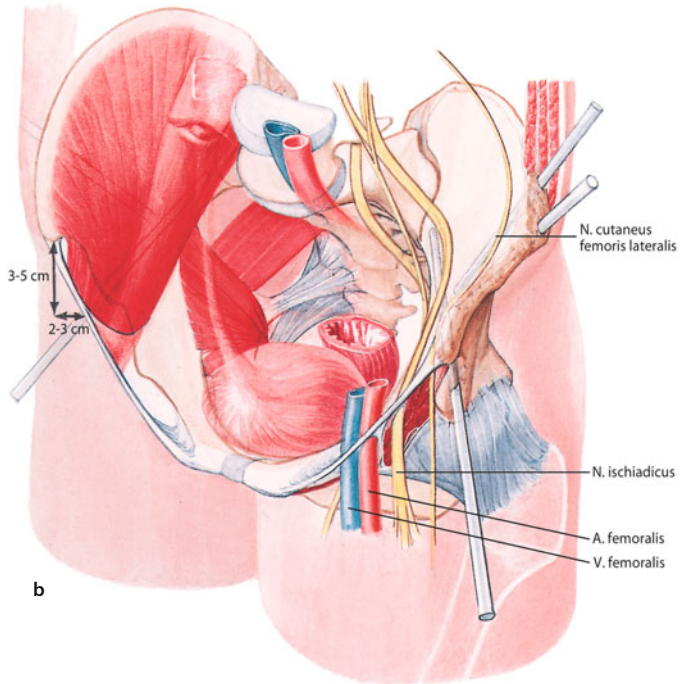


Abb. 8.19a–d Fixateur-externe-Montage am Beckenring: **a** Einfache supraacetabuläre Konstruktion mit jeweils einer Schraube pro Seite. Die Schrauben werden am besten mit einer gebogenen Karbonfaserstange verbunden oder man konstruiert eine Art Giebel mit starrer Verbindung von 2 geraden Stangen. **b** Eintrittspunkte für Schanz-Schrauben und die Topografie gefährdeter Strukturen. **c,d** Die Schrauben werden 20° nach kranial und 30° nach medial gerichtet. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

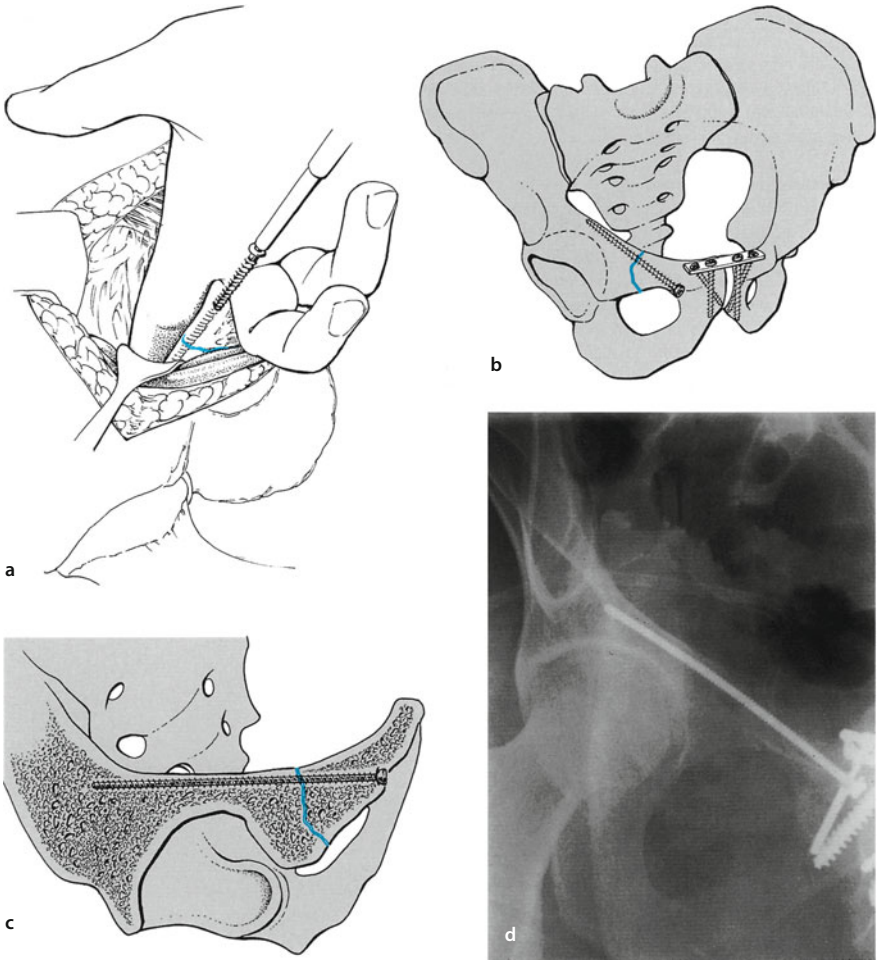


Abb. 8.20a–d Einbringen einer transpubischen Kriechschraube. **a** Der palpierende Finger des Chirurgen entlang der Linea terminalis dient zur Orientierung bei Aufbohren und Eindrehen der Schraube mit der Bohrmaschine. **b,c** Schraubenlage in Beziehung zum Acetabulum. **d** Intraoperativ muss mittels Bildwandler sichergestellt werden, dass die Schraube nicht das Gelenk perforiert. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

Eine direkte Osteosynthese des oberen Schambeinasts wird durchgeführt, wenn bei Symphysenverletzungen sowieso ein offenes Vorgehen gewählt werden muss. Als elegantes Verfahren bietet sich hier die schon 1913 von Lambotte beschriebene intrameduläre Schienung des oberen Schambeinasts an, heute besser bekannt als so genannte »Kriechschraube«. Unter Ausnutzung der Pfannenstielinzision wird möglichst weit lateral im Bereich des Tuberculum pubicum eingegangen. Da die Schraube entlang der Linea terminalis die supraacetabuläre Region erreichen soll, ist ein lateraler Eintrittspunkt Voraussetzung, anderenfalls würde das Implantat zu sehr im oberen Schambeinast gebogen. Der Schraubenkanal wird mit einem oszillierenden Bohrer präformiert. Bei hartem, jugendlichem Knochen muss ein Gleitloch bis zum Bruchspalt angelegt werden, bei weicher Knochenqualität ist dies nicht erforderlich. Man benutzt in diesem Fall eine Unterlegscheibe, um ausreichend Kompression aufbauen zu können. Die Schraube wird unter Bildwandlerkontrolle in mindestens 2 Ebenen mit der Bohrmaschine vorgedreht (Abb. 8.20).

Transiliakale Instabilitäten

Die Versorgung erfolgt in Rückenlage des Patienten über einen direkten Zugang zur Fossa iliaca (Abb. 8.21a,b). Entsprechend des sehr variablen Frakturverlaufs erfolgt eine situationsadaptierte Stabilisierung mit Platten und Zugschraubenosteosynthesen. In der Regel wird im Bereich der Linea terminalis mit Platten, im Bereich der Crista iliaca mit Zugschrauben stabilisiert (Abb. 8.22).

Transiliosakrale Instabilitäten

Zur Versorgung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die ventrale Plattenosteosynthese erlaubt in Rückenlage die simultane Exposition von hinterem und vorderem Beckenring (Abb. 8.21, Abb. 8.23). Alternativen bestehen in der transiliosakralen Schraubenosteosynthese in der offenen Technik, zunehmend auch in der geschlossenen Technik unter Bildwandlerkontrolle oder mit Navigationsunterstützung (Abb. 8.24). Bestehen transiliosakrale Luxationsfrakturen, muss entsprechend der vorgefundenen Frakturform vorgegangen werden. Bei großen iliakalen Fragmenten (»Halbmondfrakturen«) kann eine alleinige Stabilisierung des Os ilium ausreichend sein, ansonsten muss zumindest partiell eine das SI-Gelenk überbrückende Osteosynthese durchgeführt werden.

Sakrumfrakturen

Wie eingangs ausgeführt steht eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, deren endgültige Wertigkeit derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden kann. An dieser Stelle soll eine Auswahl der gängigsten Verfahren dargestellt werden.

Perkutane Versorgung mit Fixateur interne

Bei der Montage des Fixateur interne zur Stabilisierung des dorsalen Beckenrings wird je eine Pedikelschraube von kranial nach kaudal in die Spinae iliacae posteriores superiores eingebracht. Dazu wird – wie beim Vorgehen an der Wirbelsäule – zunächst die Kortikalis mit einem Pfriem eröffnet und anschließend der Schrau-

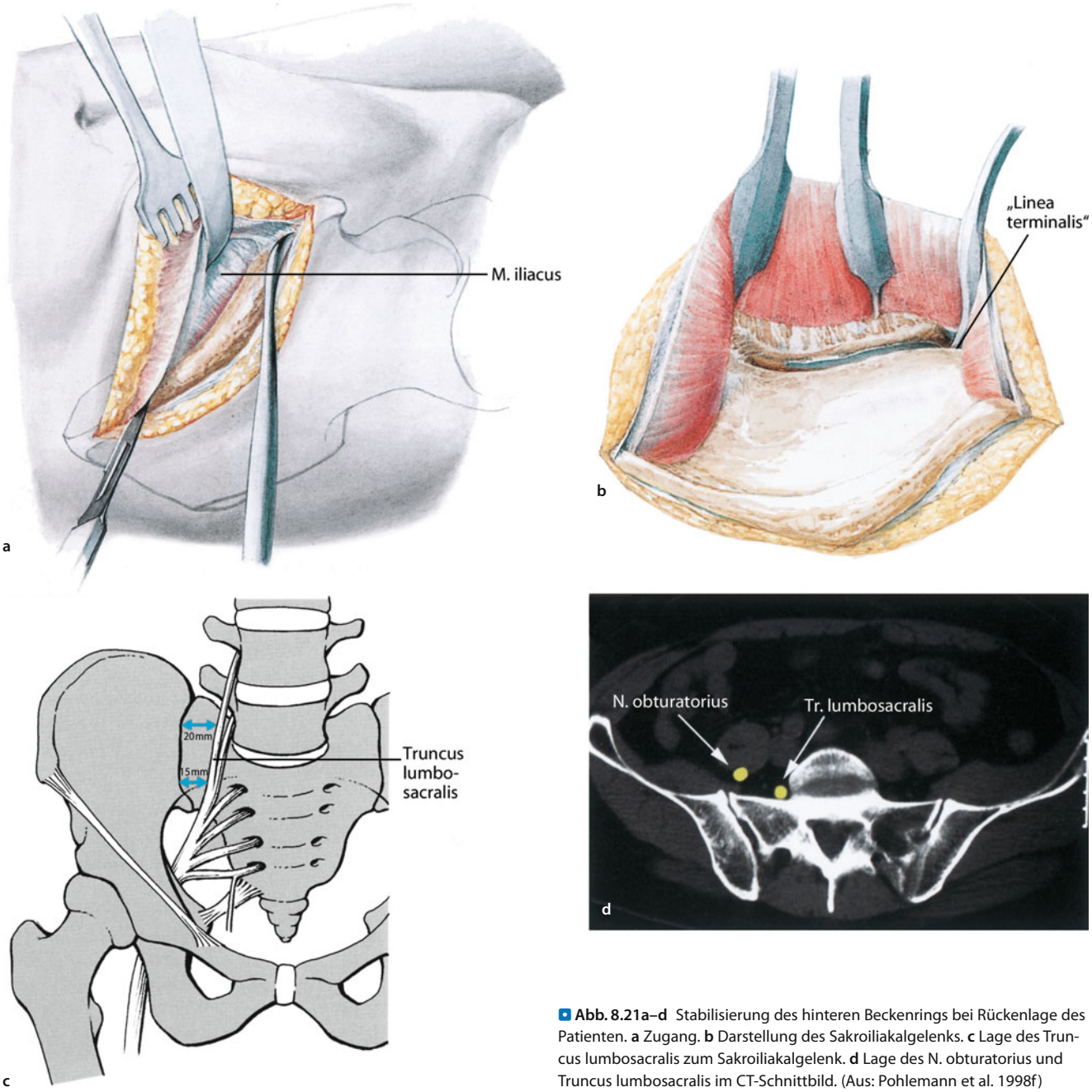
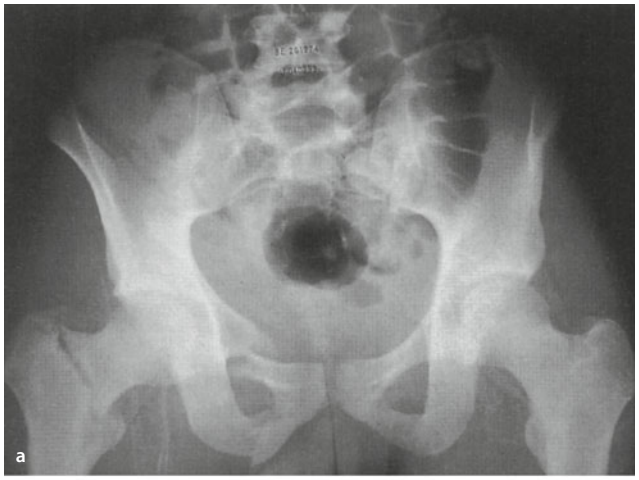


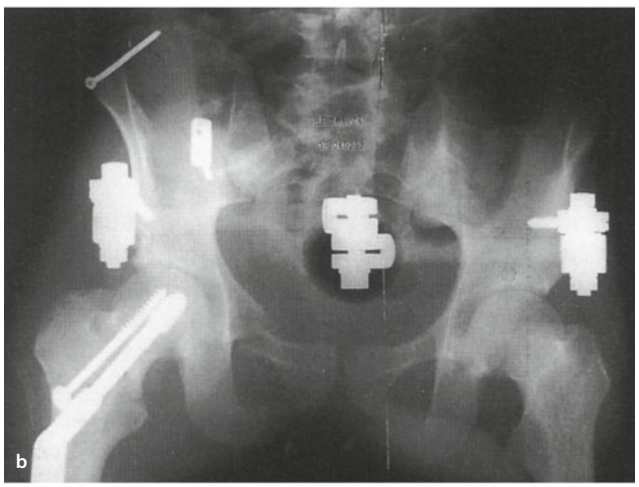
Abb. 8.21a–d Stabilisierung des hinteren Beckenrings bei Rückenlage des Patienten. **a** Zugang. **b** Darstellung des Sakroiliakalgelenks. **c** Lage des Truncus lumbosacralis zum Sakroiliakalgelenk. **d** Lage des N. obturatorius und Truncus lumbosacralis im CT-Schnittbild. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

benkanal mit einem Pedikelfinder oder einem Bohrer präformiert. Es ist wichtig, die Schrauben möglichst steil von kraniodorsal nach kaudoventral ausgerichtet einzubringen, damit die Öffnungen der Pedikelschrauben die Weichteile nicht irritieren, sondern kranial der Spinae unter dem Weichteilmantel zu liegen kommen. Anschließend wird von einer Pedikelschraubenöffnung aus ein Querstab perkutan unter dem Weichteilmantel zur Schraube der Gegenseite auf epifaszialem Niveau durchgeschoben und dort in die vorgesehene Öffnung eingebracht. Zum Schluss wird das System arretiert (Abb. 8.25). Problematisch ist die Validierung der exakten Reposition im hinteren Beckenring (<5 mm residuale Dislokation erforderlich), die entsprechend der anderen Verfahren eine weitere Exposition oder eine ausgezeichnete intraoperative Bildgebung (ideal 3 D-Bildwandler) erfordert.

Fixateur externe

Eine Reihe von biomechanischen Untersuchungen hat sich mit der externen Stabilisierung von Beckenringinstabilitäten mittels Fixateur externe beschäftigt (Egbers u. Rieger 1997, Rubash et al. 1983, Schütz et al. 1996, Simonian et al. 1995). Während für den vorderen Beckenring eine ausreichende Stabilisierung nachgewiesen wurde, hat sich für den dorsalen Beckenring nur die Beckenzwinge nach Ganz (Ganz et al. 1991) als Notfallmaßnahme (▶ Kap. 15, Polytrauma) und zur zeitlichen Überbrückung bewährt (Heini et al. 1996). Zudem bestehen erhebliche Nachteile im Patientenkomfort sowie die Gefahr einer sekundären Pininfektion bzw. -lockerung (Stewart et al. 1986). Auch bei begleitender schwerer respiratorischer Insuffizienz mit der Notwendigkeit einer pulmonalen Lagerungstherapie ist der Fixateur externe hinderlich.





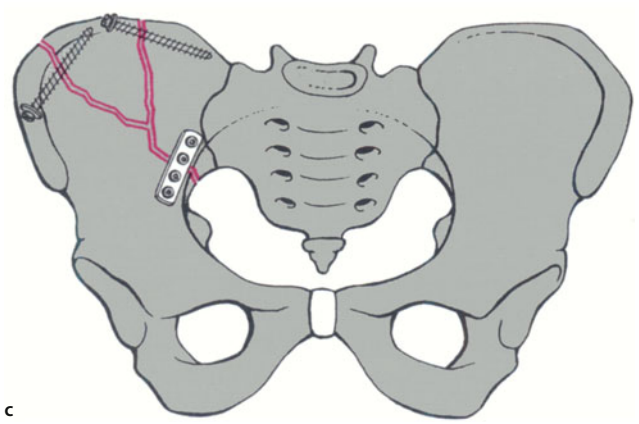
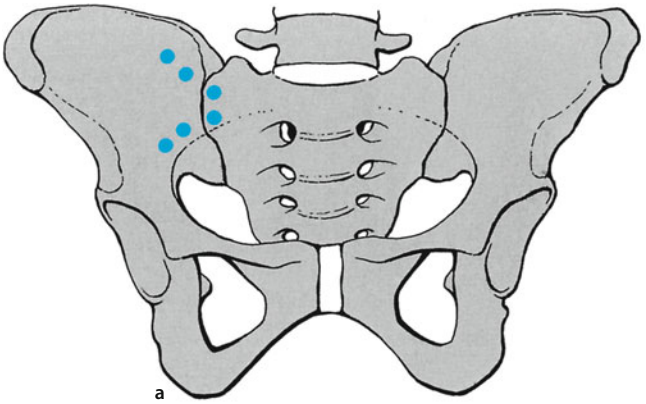
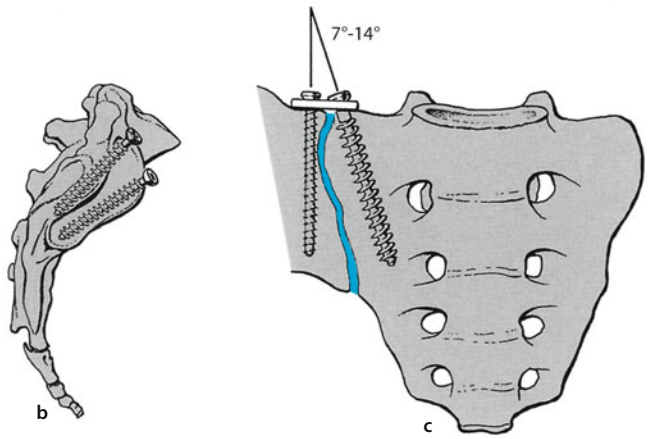


Abb. 8.22a–c Versorgung der transiliakalen Instabilität. **a,b** Versorgung einer transiliakalen Fraktur durch Zugschrauben- und Plattenosteosynthese. **c** Im Bereich des Beckenkamms werden bevorzugt Zugschrauben eingesetzt, im Bereich der Linea terminalis werden Platten verwendet (Zugänglichkeit). (Tscherne u. Pohlemann 1998)





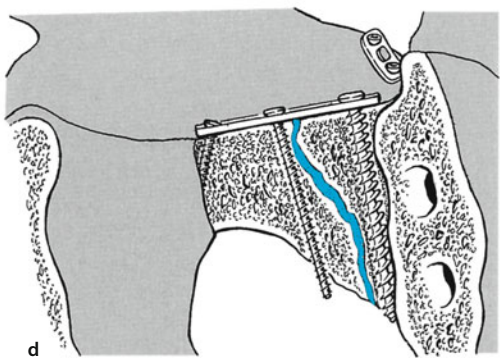


Abb. 8.23a–d Implantatlage bei ventraler Plattenosteosynthese des Sakroiliakalgelenks. **a** Die Platten sollen in einem Winkel von 60–90° zueinander ausgerichtet werden, um die Zonen größerer Knochendicke nutzen zu können. **b–d** Aus dem gleichen Grund ist die Schraubenlage im Os sacrum und im Os ilium parallel und möglichst nahe zum Gelenkspalt bzw. randständig. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

Während sich der Fixateur externe am dorsalen Beckenring als nur bedingt stabil erwiesen hat, ist er aber am vorderen Beckenring zumindest zur passageren Stabilisierung unverzichtbar (s. oben, Therapie vorderer Beckenring). Seine Domäne ist die transpubische Fraktur. Im Bereich des hinteren Beckenrings wird er nur zur notfallmäßigen, vorübergehenden Stabilisierung von C-Verletzungen benutzt, bis der Patient in gebessertem Zustand ist und die definitive Frakturversorgung durchgeführt werden kann.

Kleinfragmentplatten

Von Pohlemann et al. (1993) wurden bei einzelnen transforaminalen Frakturen des Os sacrum die dorsale offene Reposition und lokale Osteosynthese mit Kleinfragmentplatten inauguriert. Diese Technik bietet eine ausgezeichnete Übersicht und erlaubt sowohl eine exakte Nervendekompression als auch die absolut anatomische Reposition. Zugang und Operationstechnik sind allerdings

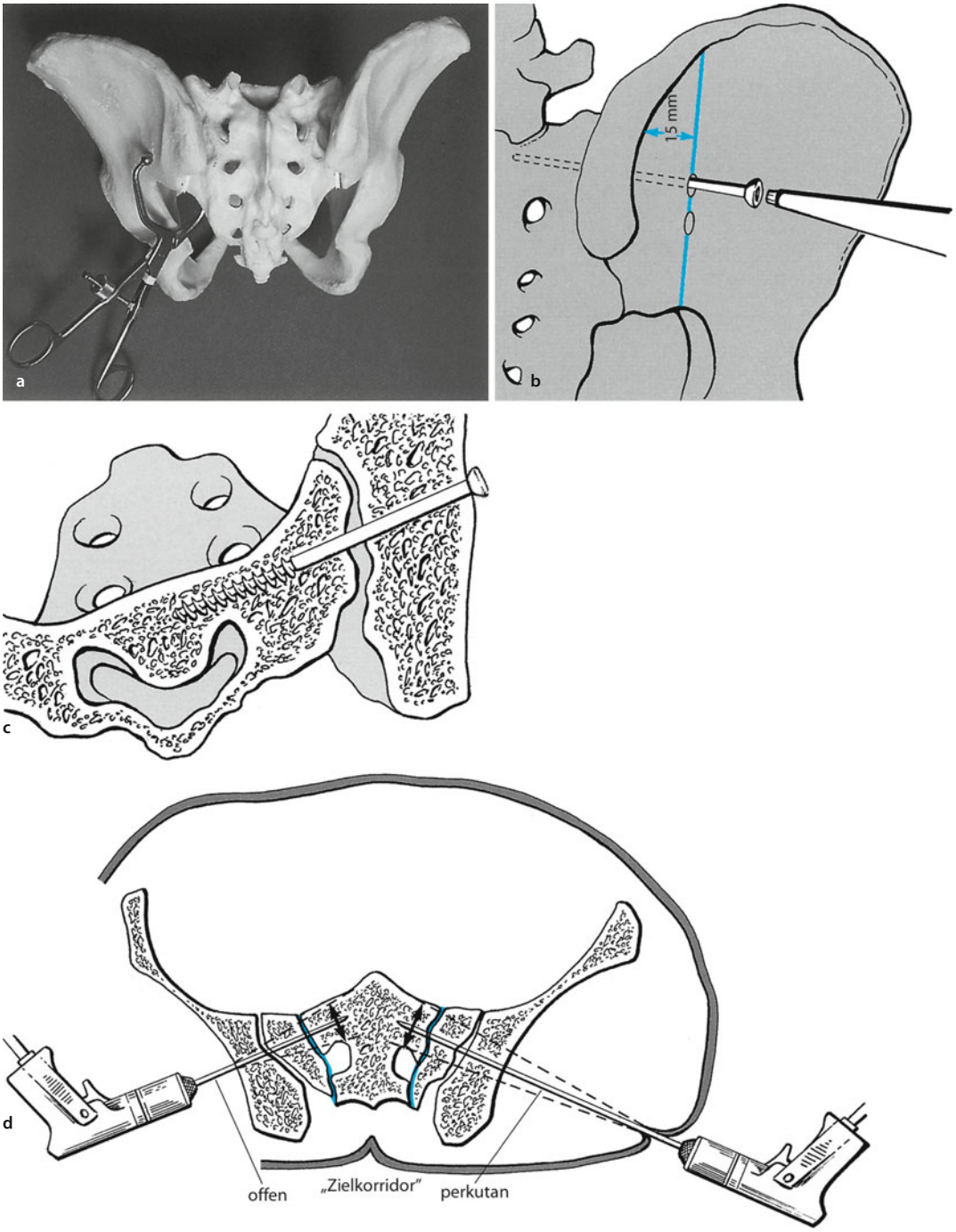


Abb. 8.24a–d Technik der Sakroiliakalverschraubung. **a** Einsatz der Repositionszange beim offenen Vorgehen. **b** Eintrittspunkt in Beziehung zur Linea glutea. **c** Ideallage der 6,5er Schraube. **d** Beim perkutanen Vorgehen ist aufgrund des wesentlich weiteren Wegs durch die dicke Weichteildecke der Zielkorridor deutlich verengt. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

anspruchsvoll und erfordern viel Erfahrung in der Beckenchirurgie. Die Technik, die sich insbesondere bei Nervenkompressionen und schwierigen Repositionen anbietet, sollte daher erfahrenen Spezialisten in der Beckenchirurgie vorbehalten bleiben.

Sakralstäbe

Eine weitere Möglichkeit der operativen Versorgung dorsaler Instabilitäten war die quer verlaufende, ilioiliakale Anlage von Gewindestäben. Diese Methode wird aufgrund von vielfältigen Nachteilen derzeit nur noch vereinzelt angewendet und hat im Grunde nur noch historische Bedeutung (Abb. 8.26). In ähnlicher Technik sind aber auch winkelstabile ilioiliakale Plattenosteosynthesen anwendbar. Sie bieten eine hohe Primärstabilität, insbesondere bei vorliegenden Trümmerzonen im Sakrum. Ihr Einsatz kommt daher insbesondere dann in Betracht, wenn mit den anderen beschriebenen Verfahren nur eine unzureichende Stabilität erreichbar ist.

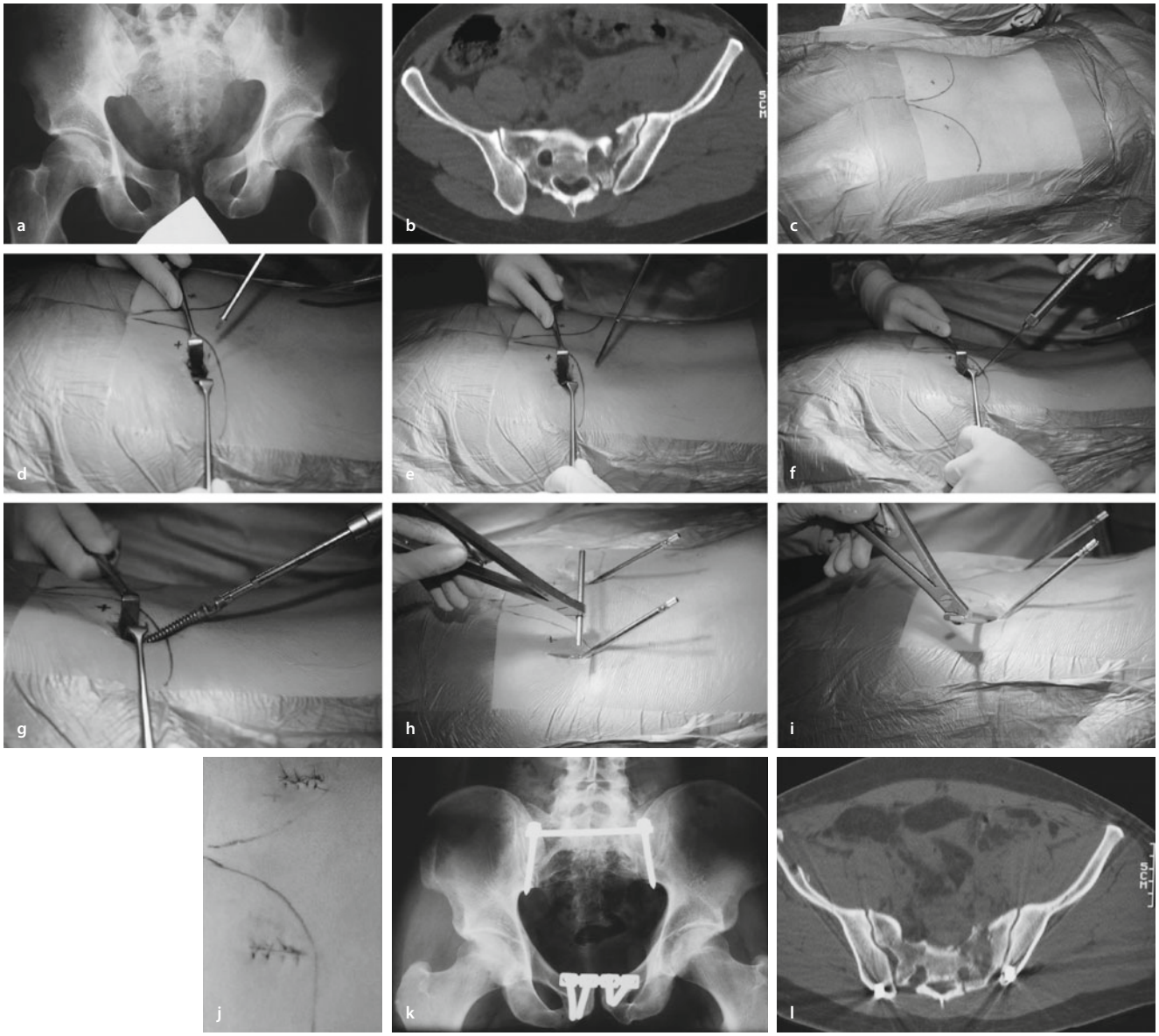


Abb. 8.25a–l Versorgung einer transforaminalen Sakrumfraktur links mit Symphysensprengung mit dem Fixateur interne. **a** Beckenübersicht im Rahmen der Erstversorgung. **b** CT vom dorsalen Beckenring. **c** Lagerung des Patienten zur Operation auf dem Bauch. **d** Inzision 1 cm lateral der Spina iliaca posterior superior nach steriler Abdeckung (Kopf rechts). **e** Stumpfe Präparation des Schraubenkanals mit einem Pedikelfinder. **f** Messung der Schraubenlänge. **g** Eindrehen der Fixateur-interne-Schraube. **h** Ausmessen der Länge des Verbindungsstabs. **i** Subkutanes Einführen des Verbindungsstabs und Fixation desselben. **j** Postoperativer Wundverschluss. **k** Postoperative Beckenübersichtsaufnahme. **l** CT

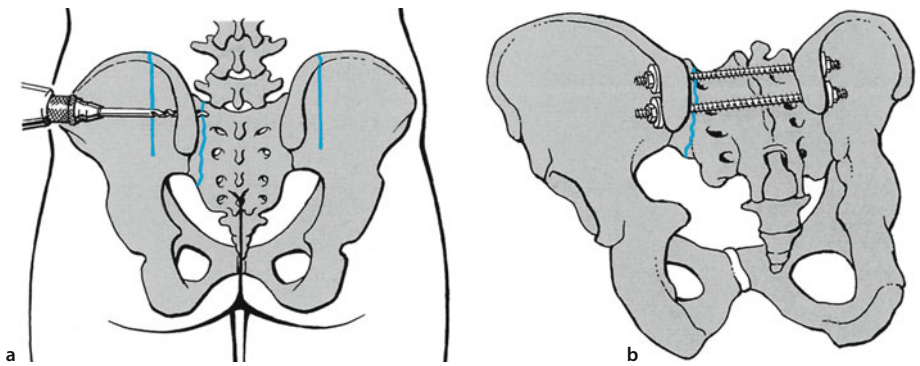


Abb. 8.26a,b Technik der Stabilisierung mit Sakralstäben. Sakralstäbe können unter Durchleuchtungskontrolle perkutan eingeführt werden und sollten der dorsalen Lamina des Os sacrum direkt anliegen. (Aus: Pohlemann et al. 1998f)

8.2.4 Komplikationen und Prognose

Komplikationen

Bei der Anwendung ventraler gelenkübergreifender Platten über dem Sakroiliakalgelenk wurden neben Läsionen des N. cutaneus femoris lateralis (6,1%) Schädigungen des Plexus lumbosacralis (4,3%), Schraubenbrüche (4,3%) und Infektionen (8,1%) beschrieben. Hinzu kommt, dass diese ventrale Plattenstabilisierung auf eine Verletzung des Sakroiliakalgelenks begrenzt ist und Frakturen medial des Gelenks im Os sacrum damit nicht stabilisiert werden können. Implantatspezifische Komplikationen für die Sakroiliakalgelenkschrauben sind v.a. die sekundäre Frakturdislokation (10%), Schraubenlockerungen (13%) und iatrogene irreversible Nervenschädigungen (15%). Auch bei den Sakroiliakalgelenkschrauben ist die Anwendung fast ausschließlich auf eine Verletzung des Sakroiliakalgelenks begrenzt. Jüngere Patienten sind arthrosegefährdet als Folge des transartikulären Verlaufs der Schrauben und der dabei entstandenen Schädigung der Knorpelflächen.

Bei der Anwendung dorsaler Gewindestäbe beschrieben Goldstein et al. (1986) eine Infektionsrate von bis zu 33%. Kellam et al. (1987) fanden in 25% der Fälle eine Wundheilungsstörung oder Infektion und erklärten dies in erster Linie durch die zugangsbedingte Weichteilschädigung.

Die Gefahren der Plattenosteosynthese an der Symphyse sind Verletzungen der Harnblase, paravesikale Blutung, Infektionen und Rektushernien. In seltenen Fällen können auch die Urethra, der Samenstrang oder die Vagina durch zu lange Schrauben in Mitleidenschaft gezogen werden.

Prognose

Noch bis vor etwa 20 Jahren wurden instabile Beckenfrakturen überwiegend konservativ versorgt. Zu dieser Zeit ist noch ein Großteil der Patienten mit schweren Beckenverletzungen verstorben (Gilliland et al. 1982, Henderson 1989, Rothenberger et al. 1978). Fortschritte in der Primärversorgung und Intensivmedizin haben zu einer deutlichen Verbesserung der Überlebensrate beigetragen, schwere Verletzungen des Beckens sind jedoch auch heute noch mit einer hohen Letalität von bis zu 35% verbunden (Rieger et al. 1993, Varney et al. 1990).

Obwohl es in den letzten 10 Jahren auch in der operativen Therapie von Beckenringfrakturen große Fortschritte gab und auch die Weiterentwicklungen der Operationstechniken und Implantate zu einer deutlichen Verbesserung der Ausheilungsergebnisse geführt haben, sind die Ausheilungszustände nach Verletzungen am dorsalen Beckenring immer noch unbefriedigend. Dies zeigte sich in einer Multicenterstudie der Arbeitsgruppe Becken I der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (Pohlemann et al. 1998 a). Bei 95% der Patienten, die über erhebliche funktionelle oder schmerzbedingte Einschränkungen und Beschwerden klagten, lag eine Verletzung des dorsalen Beckenrings vor.

Die Spätfolgen nach schweren Beckenfrakturen sind nach wie vor teilweise mit einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität verbunden. In bis zu 75% der Fälle konnten Ahlers et al. (1979) und Probst (1979) eine erhebliche Beeinträchtigung im täglichen Leben durch Schmerzen im Sitzen, Gehen und Stehen feststellen. Ursache hierfür waren verbliebene Fehlstellungen, Instabilitäten und Pseudarthrosen des Beckens. Ähnliche Ergebnisse fanden LaBan et al. (1978), Semba et al. (1983), Tamm (1984) und Hofmann u. Bredow (1986). Auch in den aktuelleren Studien wird eine deutliche Beeinträchtigung der Lebensqualität infolge einer schweren Beckenverletzung beschrieben (Cole et al. 1996, Miranda et al. 1996, Pohlemann et al. 1996, Poole et al. 1991, Ragnarsson et al. 1993, Tornetta u. Matta 1996, Tornetta et al. 1996).

Die Ausheilungsergebnisse werden nicht zuletzt durch die Schwere der Begleitverletzungen geprägt (Asprinio et al. 1995, Hesp et al. 1985). Von prognostischer Bedeutung sind insbesondere perineale und urogenitale Verletzungen sowie Nerven- und Gefäßläsionen (Henderson 1989, Hersche et al. 1993, Isler 1990, Morehouse 1988, Poole et al. 1991). Darüber hinaus lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der chirurgischen Versorgung und dem Heilungsergebnis bei gleichem Verletzungsmuster vermuten (Draijer et al. 1993, Goris et al. 1982, Matta u. Saucedo 1989).

8.3 Acetabulumfrakturen

8.3.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Acetabulumfrakturen entstehen meist im Rahmen von Kraftfahrzeugunfällen (68%), bei Stürzen aus größerer Höhe (20%), Motorradunfällen (11%), Kollisionen von Fußgängern mit Kraftfahrzeugen (8%) und Crushing-Verletzungen (5%, Tile 1980). Der Frakturverlauf und damit der Frakturtyp wird von der Richtung der Krafteinleitung und der momentanen Position des Femurkopfs im Hüftgelenk beeinflusst (◘ Abb. 8.27). Beim von einem Pkw angefahrenen Fußgänger wird die Energie über den Trochanter major eingeleitet, beim Armaturenbrettanprall über das Knie, beim Sturz aus größerer Höhe über die Füße und bei fixierten unteren Extremitäten über das Becken selbst. Nach Tile gibt es eine gute klinische Korrelation zwischen Unfallmechanismus und Frakturtyp (Tile 1995, Elson 1993).

Klinik

Schmerzen in der Hüfte mit Belastungsunfähigkeit sind wegweisend. Eine begleitende Luxation des Beins ist an der Beinverkürzung sowie Außen- oder Innenrotationsfehlstellung erkennbar. Sensomotorische Nervenausfälle können insbesondere bei hinterer Luxation durch Druck des Hüftkopfs auf den N. ischiadicus vorliegen.

Diagnostik

Zur Standardröntgendiagnostik bei Acetabulumfrakturen gehören neben der Beckenübersichtsaufnahme die beiden senkrecht zueinander stehenden, schrägen Projektionen der Ala- und Obturator-Aufnahme. Anhand dieser 3 Aufnahmen können bei Kontinuitätsunterbrechungen typischer radiologischer Leitlinien die Frakturverläufe beurteilt werden (◘ Abb. 8.28).

Die CT hilft, die Diagnose zu sichern und liefert zusätzliche unentbehrliche Informationen über das Vorhandensein und die Lage intraartikulärer Fragmente oder Impressionszonen sowie über die gesamte Ausdehnung der Fraktur. Sie ist zur Planung der operativen Versorgung unverzichtbar. Die Aussagekraft und Wirtschaftlichkeit der 3D-Rekonstruktion mit ihrem hohen Rechenaufwand wird derzeit noch diskutiert, ist jedoch für das Verständnis von komplizierten Frakturverläufen im Einzelfall eine große Unterstützung (Weise et al. 1997).

Klassifikation

Die ersten grundlegenden und systematischen Untersuchungen zur Ätiologie, Morphologie und Klassifikation der Acetabulum-

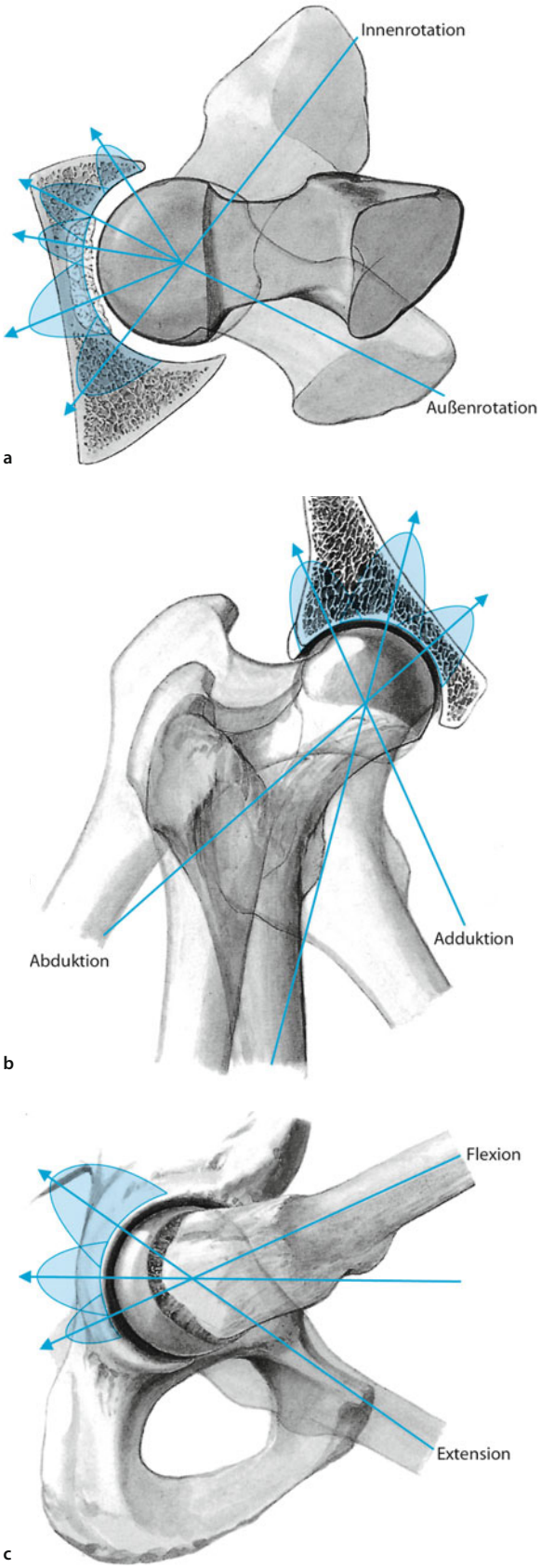


Abb. 8.27a–c Biomechanik der Frakturentstehung: Der Frakturverlauf und damit der Frakturtyp wird von der Richtung der Krafteinleitung und der momentanen Position des Femurkopfs im Hüftgelenk beeinflusst. (Aus: Pohlemann u. Gänsslen 1998a)

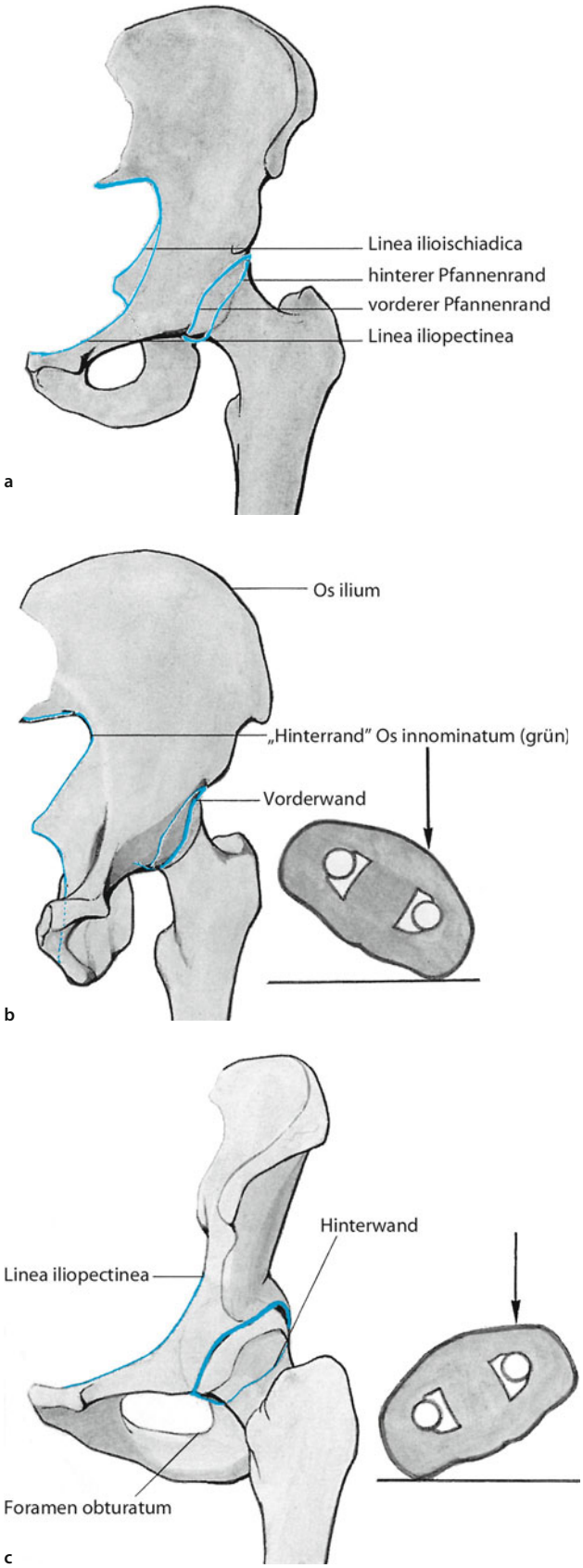


Abb. 8.28a–c Die 3 Standardprojektionen zur Beurteilung des Acetabulums. **a** Die Leitlinien im a.p.-Strahlengang. **b** Ala-Projektion. **c** Obturator-Projektion. (Aus: Pohlemann 1998b)

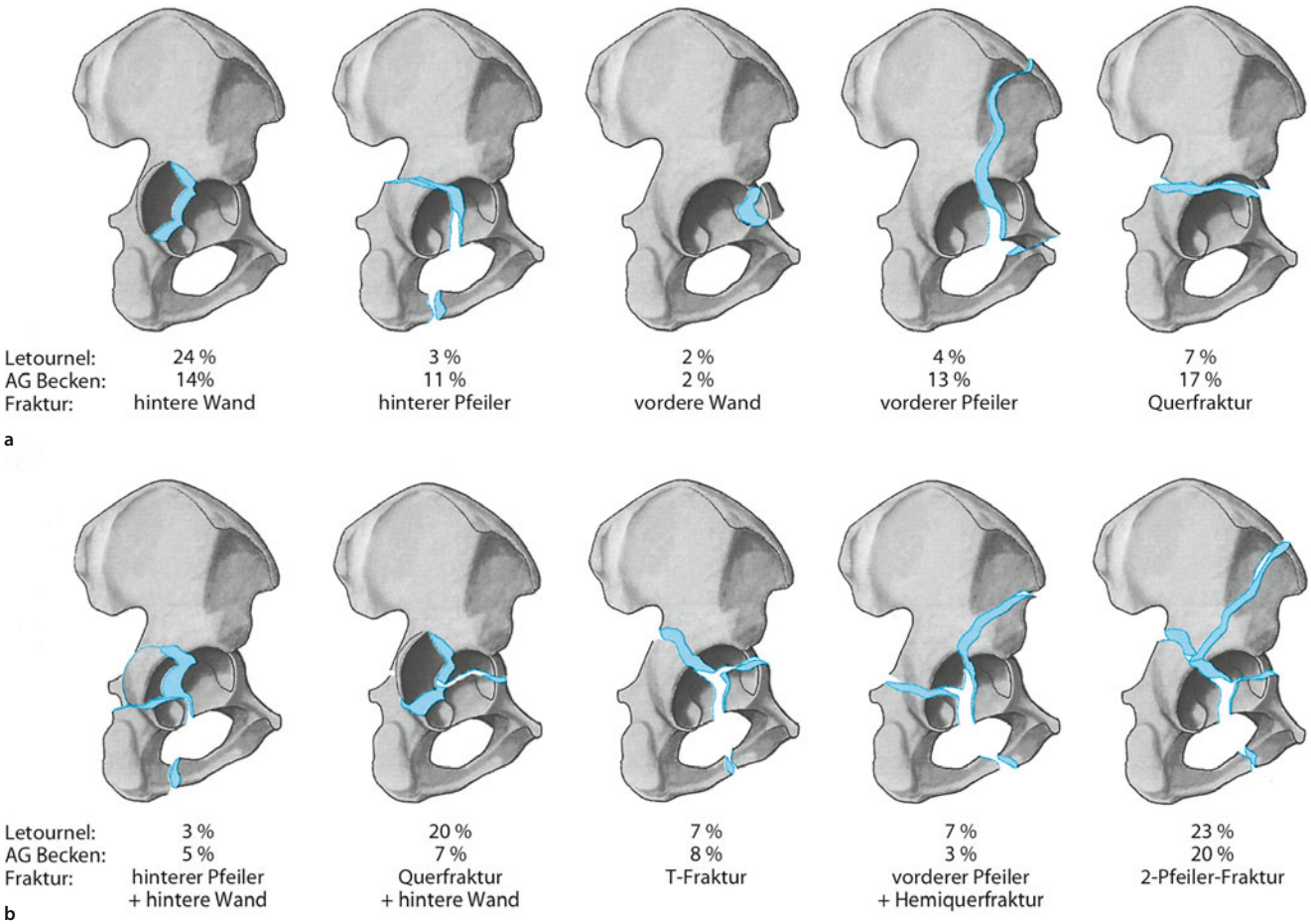


Abb. 8.29a,b Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Letournel. **a** Einfacher Frakturtyp. **b** Zusammengesetzter Frakturtyp. (Aus: Pohlemann u. Gänsslen 1998b)

frakturen wurden durch Letournel und Judet erarbeitet und 1965 publiziert. Diese Klassifikation ist weiterhin Grundlage für das Verständnis der Verletzung, die Indikationsstellung und die operative Technik. Sie stützt sich auf die anatomisch-chirurgische Einteilung des Os coxae in einen vorderen und einen hinteren Pfeiler und beschreibt 5 einfache und 5 kombinierte Frakturtypen und ihre Übergangsformen (Letournel u. Judet 1993, Abb. 8.29). Alle weitergehenden Klassifikationen basieren auf der Einteilung von Letournel, bieten aber in der praktischen Anwendung keinerlei Vorteile und haben sich daher nicht bewährt.

8.3.2 Therapie

Indikation

Einen für die Operationsindikation wichtigen mit entscheidenden Parametern stellt der Zustand des Pfannendachs dar. Im englischsprachigen Raum spricht man vom »weight bearing dome«. Das messbare Korrelat besteht aus dem so genannten Matta-Winkel, auch »roof arc« genannt (Abb. 8.30). Er wird in allen 3 Standardprojektionen gemessen und misst im günstigsten Fall in allen 3 Projektionen >45°. Damit lässt sich nach Pohlemann u. Baumgaertel (1998) bei fehlenden sonstigen absoluten Operationsindikationen mit einer konservativen Therapie ein gutes Behandlungsergebnis erzielen.

Pfannendachmessung

Da die einzelnen Röntgenprojektionen immer nur einen Ausschnitt des Pfannendachs zeigen, müssen alle 3 Standardprojektionen, die a.p.-Ebene (Beckenübersicht) und die beiden Schrägaufnahmen (Ala- und Obturator-Projektion) ausgemessen werden. Dazu legt man jeweils durch das Zentrum des Acetabulums eine Senkrechte. Anschließend wird vom Zentrum aus eine zweite Linie zum nächstgelegenen, in die Pfanne einstrahlenden Frakturausläufer gezogen. Der Winkel zwischen beiden Linien entscheidet über die Art der Therapie. Ist er <40–45°, wird abhängig vom Frakturtyp eher eine operative Therapie gewählt.

Analog zu anderen Gelenken ist bei der Acetabulumfraktur eine stufenfreie Gelenkrekonstruktion und eine übungsstabile Fixation der Frakturfragmente das angestrebte Behandlungsziel. Durch die besonders schwierige anatomische Situation wurde lange Zeit ein suboptimales klinisches und radiologisches Ergebnis nach einer konservativen Behandlung in Kauf genommen. Weiterentwicklungen in der Diagnostik, bei den operativen Zugangswegen und beim Instrumentarium sowie der gesteigerte Anspruch seitens der Patienten und der Operateure führten zu einer Verbesserung der operativen Möglichkeiten.

Die Entscheidung zur konservativen oder operativen Therapie sowie die Art des Zugangs wird von vielerlei Faktoren beeinflusst und muss wie immer sorgfältig abgewogen werden. Unterschieden werden frakturbestimmte und allgemeine Einflussparameter.

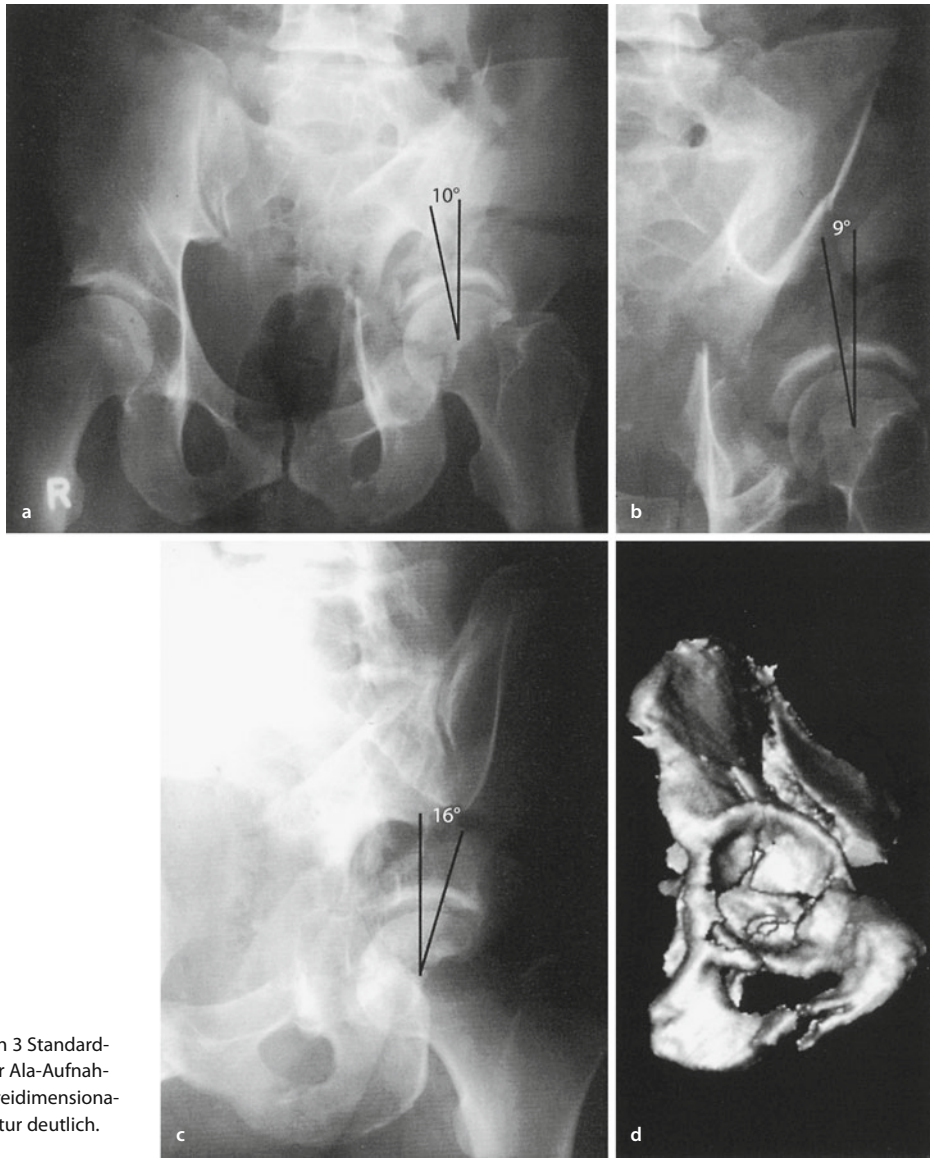


Abb. 8.30a–d Pfannendachmessung in allen 3 Standardprojektionen. **a** Im a.p.-Strahlengang. **b** Auf der Ala-Aufnahme. **c** Auf der Obturator-Aufnahme. **d** In der dreidimensionalen Subtraktions-CT wird das Ausmaß der Fraktur deutlich. (Aus: Pohlemann u. Baumgaertel 1998)

Wichtige Faktoren dabei sind der Frakturtyp, das Ausmaß der verbliebenen Kopfüberdachung, das Vorhandensein von Zusatzpathologien wie Hüftkopfverletzungen oder Knorpelimpressionen, das Alter, der Aktivitätsgrad und Allgemeinzustand des Patienten und das Alter der Fraktur. Zu entscheiden gilt, ob aufgrund der frakturbestimmten Parameter die Indikation zur operativen Rekonstruktion besteht und, falls ja, ob die allgemeinen Parameter eine solche überhaupt zulassen.

Therapieverfahren

Frühfunktionelle konservative Therapie

Frühfunktionell konservativ behandelt werden folgende Frakturen:

- nicht oder nur minimal dislozierte Frakturen,
- deutlich dislozierte Frakturen mit einem Pfannendachwinkel >45°.

Die frühfunktionelle Therapie beginnt mit einer initialen Entlastungsphase. Neben den üblichen Maßnahmen wie Thromboseprophylaxe und Isometrie wird darauf geachtet, dass das Bein möglichst nicht gestreckt von der Unterlage gehoben wird, weil man aus experimentellen Untersuchungen weiß, dass dabei Lasten im Acetabulum entstehen, die ein Mehrfaches des Körpergewichts betragen können. Eine CPM-Schiene kann unterstützend eingesetzt werden. Wenn nach wenigen Tagen die akuten Beschwerden abgeklungen sind, beginnt die Mobilisierung an Unterarmstockstützen unter Teilbelastung der verletzten Seite mit 15–30 kg Sohlenkontakt. Die Teilbelastung wird während der ersten 6 Wochen beibehalten.

Konservative Therapie

Die nichtoperative Therapie dislozierter Acetabulumfrakturen mit langdauernder Extensionsbehandlung ist durch die Standardisierung der Operationsverfahren und die unbefriedigenden Ergebnisse der operativen Therapie im Regelfall nicht mehr indiziert. Bei dorsalen Frakturtypen mit hinteren Luxationen lässt sich durch die Extension keine befriedigende Reposition erreichen und die stabile, knöcherne Heilung der frakturierten Fragmente ist fraglich. Bei Frakturtypen, die typischerweise mit zentralen Dislokationen einhergehen (komplette Fraktur beider Pfeiler, vorderer Pfeiler hintere Hemiquerfraktur, hohe Fraktur des vorderen Pfeilers), fol-

gen die Fragmente in der Regel dem extendierten Hüftkopf nicht, eine Verbesserung der Fragmentposition ist unwahrscheinlich, die benötigte anatomische Gelenkreposition nicht erreichbar. Extensionen werden daher nur als Überbrückungsmaßnahmen bei Inoperabilität des Patienten eingesetzt, z.B. um bei dorsalen Luxationen und/oder intraartikulären Fragmenten eine weitere Schädigung des Knorpels zu verhindern. Die Extension erfolgt suprakondylär am betroffenen Oberschenkel, beginnend mit 10% des Körpergewichts, adaptiert nach Röntgenkontrollen. Seitzüge mit Ansatz am Trochanter major sollten unbedingt vermieden werden, um nicht durch infizierte Eintrittsstellen spätere Operationen zu erschweren oder sogar unmöglich zu machen.

Bei unverschobenen, stabilen Frakturen mit guter Zentrierung des Gelenks ist weiterhin eine konservative, aber funktionelle Therapie indiziert. Es erfolgt unter wöchentlichen Röntgenkontrollen während der ersten 3–4 Wochen eine Teilbelastung an Unterarmgehstützen für 8–12 Wochen. Die frühen Röntgenkontrollen sollen etwaige instabile Situationen rechtzeitig erkennen lassen, um ggf. in dem günstigen Zeitfenster bis maximal 3 Wochen nach der Verletzung auf ein operatives Verfahren wechseln zu können.

Operative Therapie

Zugangswege

Eine Reihe von Zugangswegen wurde für die Versorgung der Acetabulumfrakturen angegeben. Problematisch ist der Frakturverlauf der kombinierten Frakturtypen, der rein anatomisch eine ventrale und dorsale Exposition benötigt. Basierend auf den Arbeiten von Letournel und Judet sind heutzutage nahezu alle frischen Frakturen über den Kocher-Langenbeck-Zugang (dorsal), ggf. in Ergänzung mit der durch Ganz für die Versorgung der Acetabulumfrakturen wiedereingeführten »Trochanter Flip Osteotomie« (Mercati 1978) sowie den ilioinguinalen Zugang (ventral) versorgbar. Insbesondere indirekte Repositionstechniken erlauben es, viele kombinierte Frakturtypen über den aufwändigen, für den Patienten aber schonenden ilioinguinalen Zugang zu reponieren und stabilisieren. Als dritte Variante ist der sehr umfangreiche »erweiterte Zugang« (erweiterter iliofemoraler Zugang nach Letournel, Maryland Modifikation nach Reinert) verfügbar, der allerdings Sonderindikationen vorbehalten bleibt, z.B. späten Rekonstruktionen deutlich über 3 Wochen nach dem Unfall. Die gelegentlich favorisierten Doppelzugänge haben den Nachteil der nicht standardisierbaren Lagerung, jeder Einzelzugang kann nicht optimal genutzt werden. Im eigenen Vorgehen wird diese Technik allenfalls sequenziell, d.h. zweizeitig nach in der postoperativen Diagnostik erkannter unzureichender Reposition durchgeführt (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Repositionshilfen

Für die Reposition von Acetabulumfrakturen benötigt man spezielle Instrumente und Repositionszangen, um den spezifischen anatomischen Gegebenheiten im Becken Rechnung zu tragen. Die Reposition entspricht in der Theorie einer Umkehrung des die Verletzung verursachenden Kraftvektors. Eine genaue Analyse der Fraktur erleichtert daher die Durchführung des Repositionsvorgangs und durch Einsatz der speziellen Repositionsinstrumente kann der häufig komplexe Repositionsvorgang kontrolliert und sicher durchgeführt werden. Ziel ist dabei immer die absolut anatomische Gelenkreposition. Nur diese sichert eine akzeptable Prognose. Schon eine Spaltbildung von über 3 mm und eine Stufenbildung von 2 mm und mehr verschlechtern die langfristige Prognose des Gelenks.

Auch eine Schanz-Schraube mit Handgriff hat sich als Repositionshilfe bewährt. Man kann sie in eines der Hauptfragmente eindrehen und schwer zugängliche Skelettanteile wie mit einem Joystick bewegen (Abb. 8.31).

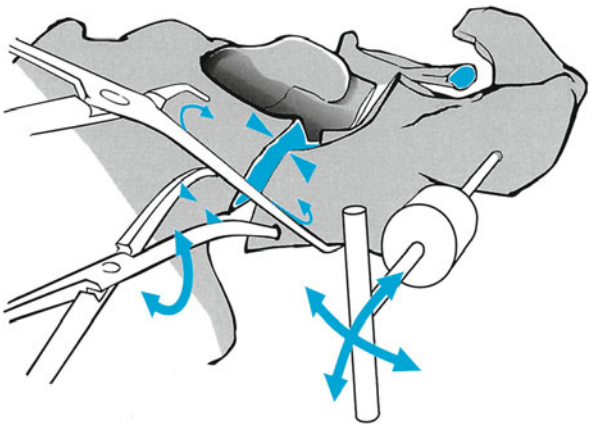


Abb. 8.31 Reposition einer Acetabulumfraktur mit Zangen und einer Schanz-Schraube, die mit einem Handgriff armiert ist. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

Vor der Reposition wird die Fraktur vorsichtig aufgespreizt und das Bruchhämatom ausgespült. Spongiöse Partikel werden entfernt. Zum Aufspreizen benutzt man am besten ein Raspatorium oder einen Arthrodesenspreizer. Gebogene langstielige kleine und mittelgroße Löffel ermöglichen das Entfernen von kleinen knöchernen Fragmenten. Man kann aber auch eine gepulste Lavage einsetzen, um schwer zugängliche Regionen zu erreichen. Manchmal ist es hilfreich, durch gleichzeitiges Rütteln bzw. wiederholtes ruckartiges Ziehen am Bein den Frakturspalt intervallartig stärker zu öffnen und auf diese Weise Material, das die Reposition behindern könnte, auszuspülen.

Weitere Voraussetzungen für das Gelingen der Reposition sind folgende: Das ipsilaterale Bein muss komplett abgewaschen und frei beweglich abgedeckt werden, damit es im Hüftgelenk bei der Reposition in allen Freiheitsgraden je nach Bedarf ausgerichtet werden kann (Umkehrung des Verletzungsvektors!). Für die Reposition benutzt man Tuchrollen, über die Becken oder Bein gehebelt werden können. In Rückenlage wird durch Unterlegen einer großen Tuchrolle unter die Lendenwirbelsäule das Becken gebeugt und der M. iliopsoas entspannt, was hilfreich beim ilioinguinalen Zugang ist. In Seitenlage wirkt eine dem proximalen Oberschenkel untergelegte Rolle als Hypomochlion, und der Assistent kann beim Kocher-Langenbeck-Zugang durch bloßen Druck auf den Hebelarm des gestreckten Beins die Hüfte lateralisieren oder durch Unterlegen in Kniegelenkniveau das Bein abduzieren. Letzteres erleichtert den Wundverschluss.

Stabilisierung

Nach der möglichst anatomischen Reposition werden einzeitig oder sequenziell im Fortgang der Reposition einzelner Fragmente interfragmentäre Zugschrauben eingesetzt. Gewisse Standardpositionen haben sich dabei bewährt, da sie die räumliche Orientierung erleichtern (Abb. 8.32).

Schrauben für den vorderen Pfeiler werden von der Außenseite des Os ilium aus, 3–4 cm kranial des Hüftgelenks in Verlängerung zur Acetabulumachse eingebracht (Abb. 8.33). Wenn dafür der Kocher-Langenbeck-Zugang nicht ausreicht, kann man transkutan mit dem oszillierenden Bohrer vorgehen. Die Bohrrichtung wird durch Einsatz des Bildwandlers, Distraktion des Gelenks und Palpation des vorderen Pfannenrandes kontrolliert.

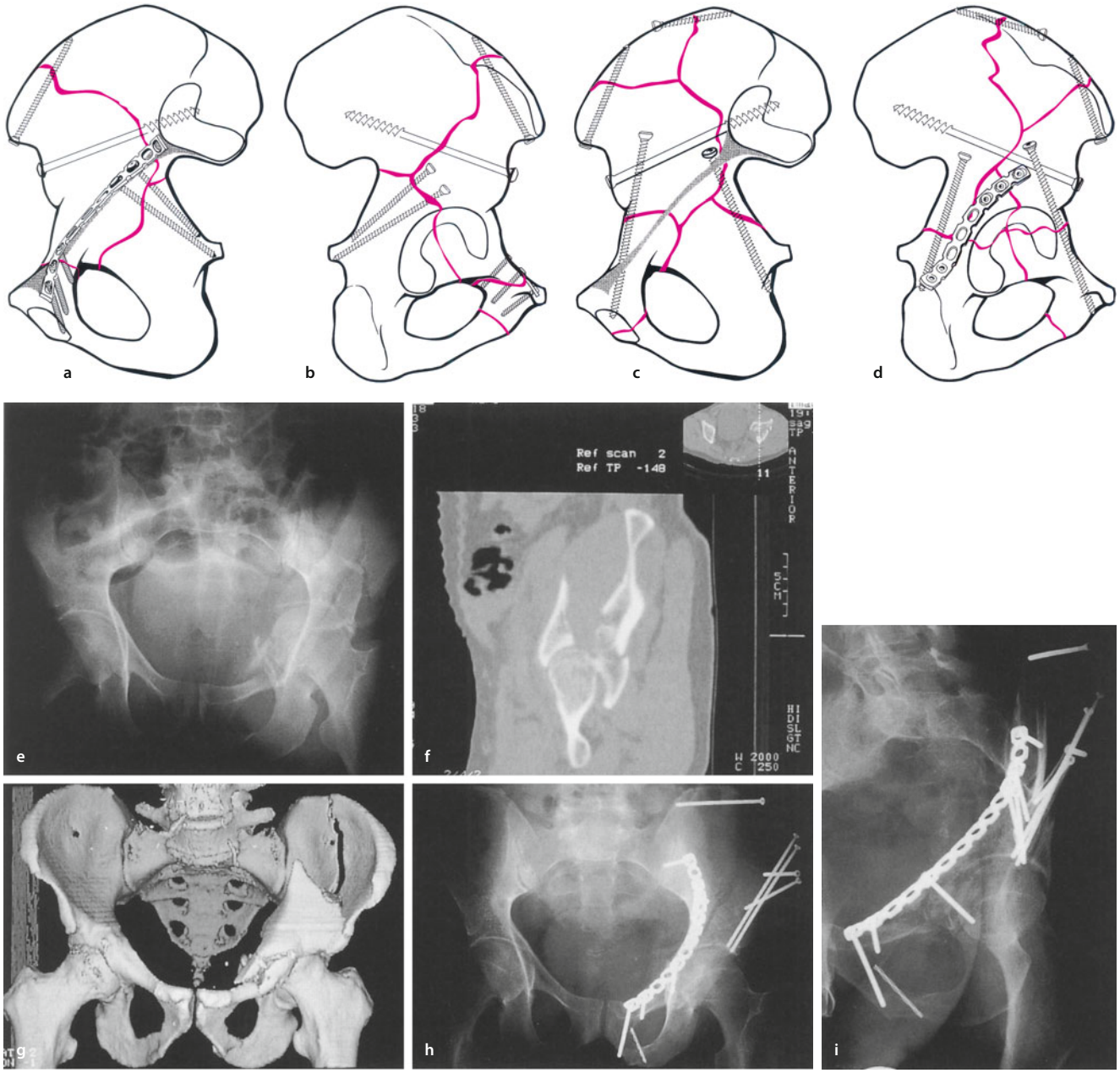


Abb. 8.32a–i Mögliche Implantateinlage bei Versorgung einer Zweipfeilerfraktur. **a,b** Die Implantatlage wird im Wesentlichen durch den gewählten Zugang bestimmt. Aufgrund der geringeren perioperativen Morbidität ist möglichst der ilioinguinale Zugang zu bevorzugen. Von der operativen Taktik her erfolgt prinzipiell zunächst die absolut anatomische Rekonstruktion des vorderen Pfeilers von kranial nach distal. Alle Fragmente werden zunächst mit Zugschrauben stabilisiert; eine lange Rekonstruktionsplatte im Bereich der Linea terminalis erhöht die Stabilität. Der im Zuge der Versorgung schon weitgehend reponierte hintere Pfeiler wird durch Haken oder Zangen endgültig reponiert und mit Zugschrauben an den vorderen Pfeiler »herangezogen«. **c,d** Bei Versorgung über einen erweiterten Zugang werden beide Pfeiler zunächst mit Zugschrauben fixiert und je nach Bedarf zusätzliche Neutralisationsplatten appliziert. **e–g** Beispiel einer Zweipfeilerfraktur, die über einen ilioinguinalen Zugang versorgt wurde (**h,i**). (Aus: Tscherne u. Pohlemann 1998)

Schrauben für den hinteren Pfeiler müssen über einen ilioinguinalen Zugang von der Innenseite des Beckens eingebracht werden. Der Eintrittspunkt liegt in der Fossa iliaca 20 mm lateral der Linea terminalis und 10 mm ventral der Koronarebene des Sakroiliakalgelenks (Abb. 8.34). Man zielt ins Tuber ischiadicum. Gefahren sind die Gelenkperforation und zu kurze Schraubenlängen, da eine direkte Kontrolle der Schraubenlage nicht möglich ist.

Das Einbringen von Zugschrauben am Beckenkamm ist dagegen einfacher. Genutzt wird die randständige Lage, weil hier der Knochen kräftig und eine Orientierung durch Palpation gut möglich ist (Abb. 8.35).

Um den hinteren Pfeiler an den vorderen heranzuziehen, kann eine Zugschraube parallel zur quadrilateralen Fläche über einen ilioinguinalen Zugang eingebracht werden. Der Eintrittspunkt liegt am medialen Fußpunkt der Eminentia iliopectinea (Abb. 8.36). Um die Schraube möglichst distal der Gelenkfläche platzieren zu können, wird die kraniale Begrenzung des Foramen obturatum ertastet. Beim Bohren besteht die Gefahr, nach lateral abzuweichen.

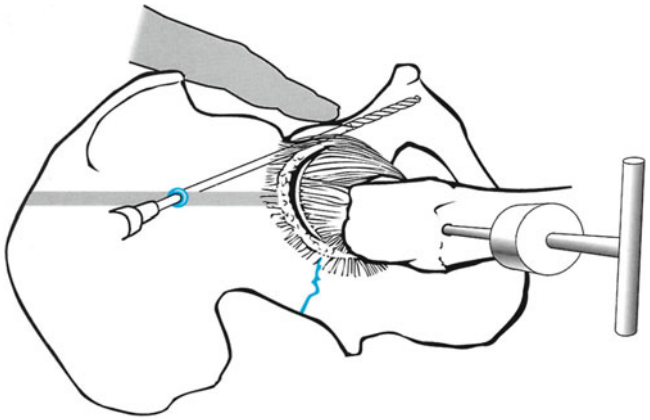


Abb. 8.33 Bohrrichtung und Eintrittspunkt für eine Zugschraube in den vorderen Pfeiler über einen Kocher-Langenbeck-Zugang oder transkutan. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

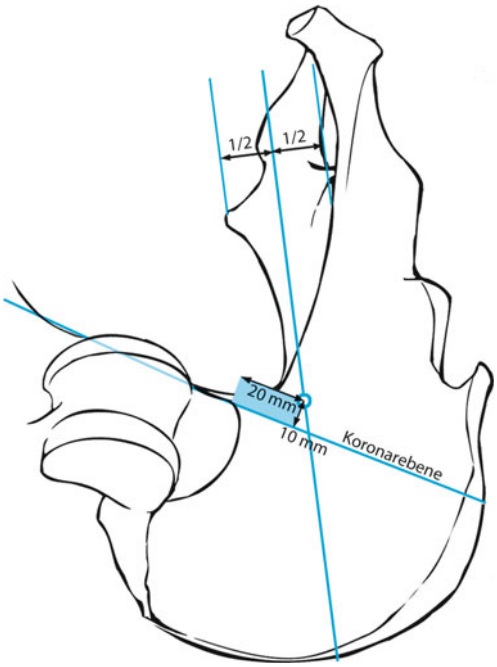


Abb. 8.34 Bohrrichtung und Eintrittspunkt für eine Zugschraube in den hinteren Pfeiler über einen ilioinguinalen Zugang. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

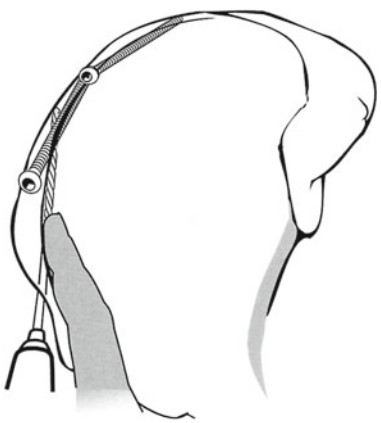


Abb. 8.35 Zugschrauben am Beckenkamm werden randständig positioniert und unter Palpation der Crista iliaca eingebracht. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

Abb. 8.36 Platzierung einer Zugschraube parallel zur quadrilateralen Fläche vom medialen Fußpunkt der Eminentia iliopectinea aus beim ilioinguinalen Zugang. (Aus Pohlemann u. Tscherne 1998b)

Intraoperatives Erkennen einer Schraubenfehllage

Beim Einsatz von Schrauben droht immer die Fehllage mit einer sich schnell entwickelnden Arthrose im Hüftgelenk. Um eine Fehllage bereits intraoperativ zu erkennen, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Eine Perforation ins Gelenk kann man beim Bohren spüren, wenn während des Bohrvorgangs die Hüfte kontinuierlich außen- und innenrotiert wird. Wichtig ist, dabei vorsichtig und langsam vorzugehen, damit der Bohrer nicht versehentlich tief in den Hüftkopf eindringt und beim Außen- und Innendrehen der Hüfte abbricht.
- Mit dem Längenmessgerät kann eine Perforation durch Austasten der spongiösen Wände des Bohrkanals in 4 Richtungen ebenfalls erkannt werden. Wenn sich das Längenmessgerät beim Rotieren der Hüfte mitbewegt, ist eine Perforation wahrscheinlich.
- Eine Schraube, die intraartikulär liegt, krepitiert und blockiert beim Durchbewegen des Gelenks.
- Bei der Bildwandlerkontrolle wird eine Projektion gesucht, in der die Schraube außerhalb des Gelenks liegt. Diese Projektion findet man am leichtesten, wenn der Bildwandler parallel zur Richtung der verdächtigen Schraube eingestellt wird. Es reicht vollkommen aus, nur eine einzige Projektion zu finden, in der diese sicher außerhalb des Gelenks liegt. Diese Projektion sollte dokumentiert werden. Bei einer tatsächlichen Fehllage würde sich in jeder denkbaren Ausrichtung des Bildwandlers die intraartikuläre Perforation darstellen.
- Nach Eingriffen am Acetabulum wird ohnehin eine postoperative Kontroll-CT durchgeführt. Dabei ließe sich in verbleibenden Zweifelsfällen eine intraartikuläre Schraubenlage sicher erkennen. Diese müsste dann selbstverständlich im Rahmen einer Revision umgehend entfernt werden.

Frakturen der hinteren Wand

In Seiten- oder Bauchlage des Patienten wird über einen Kocher-Langenbeck-Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) vorgegangen. Der Schenkelhals wird mit einer Schanz-Schraube mit Handgriff versehen, um damit bei der späteren Gelenkinspektion den Hüftkopf etwas aus der Pfanne ziehen zu können. Nach Exposition der hinteren Wand des Acetabulums wird der Weichteilverbund zu den Fragmenten unbedingt belassen. Man legt lediglich die Frakturränder sparsam frei, um nach erfolgter Reposition an der korrekten Verzahnung der Fragmente die gelenkgerechte Reposition indirekt kontrollieren zu können.

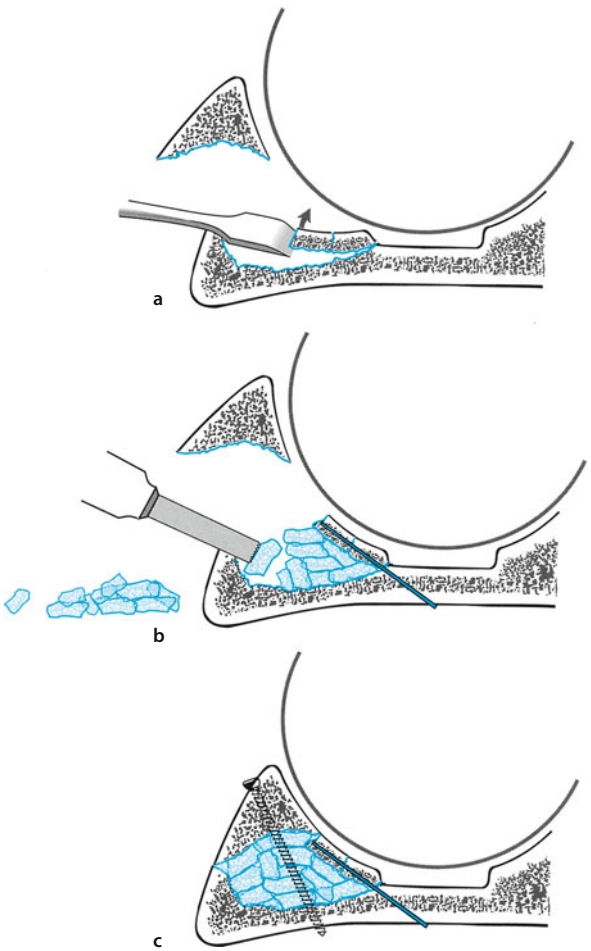
Hintere Wandfrakturen weisen häufig Impressionszonen auf. Diese Zonen sind oft schwer erkennbar. Man muss deshalb, bevor man die hintere Wand rekonstruiert, die Gelenkkongruenz im verbliebenen vorderen Gelenkabschnitt im Bezug zum Hüftkopf kontrollieren. Die Zirkumferenz der Pfanne muss in allen Gelenkabschnitten dem Hüftkopf kapillär aufliegen. In Bereichen, in denen dies nicht der Fall ist, liegt eine Impression vor. Impressionszonen müssen en bloc gehoben werden. Zum Heben verwendet man einen breiten Meißel, damit die Zone im Verbund bleibt. Aus demselben Grund wird nicht gelenkflächennah, sondern wenigstens 10 mm unterhalb eingegangen. Die Impressionszone wird etwas überkorrigiert, bei Bedarf mit einem resorbierbaren Stift in dieser Position fixiert und anschließend mit Spongiosachips unterfüttert, die man aus dem Ilium oder dem Tuber ischiadicum entnehmen kann (◘ Abb. 8.37).

Bevor die im Weichteilverbund gebliebenen Fragmente der hinteren Wand reponiert werden, sucht man den Situs nach etwaigen freien, gelenkflächentragenden Fragmenten ab. Solche Fragmente können tief in die gluteale Muskulatur hinein versprengt sein. Sie werden eingepasst und ebenfalls mit resorbierbaren Stiften vorläufig fixiert, damit sich die Fragmente bei der Reposition derjenigen Fragmente, an denen die Gelenkkapsel ansetzt, nicht unbemerkt verschieben können, denn nach Reposition der kapseltragenden Randfragmente ist das Gelenk nicht mehr einsehbar.

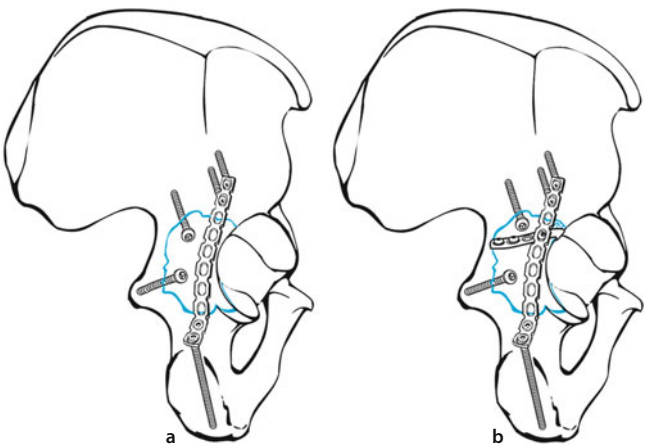
Zuletzt werden die Randfragmente reponiert und die erreichte Stellung an der schlüssig ineinander greifenden Verzahnung der Frakturränder kontrolliert. Zum Einpassen dieser Fragmente eignet sich am besten der Kugelpfriem. Mit diesem Instrument kann man durch Einsatz seines Körpergewichts den nötigen Druck aufbringen, der zum Erreichen einer korrekten Reposition unabdingbar ist. Anschließend werden die Fragmente mit Zugschrauben fixiert.

Die mit Zugschrauben fixierten Hinterwandfragmente werden grundsätzlich mit einer **6- bis 8-Loch-Rekonstruktionsplatte** zusätzlich gesichert (Pohlemann u. Tscherne 1998 b). Die Platte wird etwa 5 mm vom Pfannenrand entfernt angelegt. Sie wird distal mit 2 Schrauben im Tuber ischiadicum und proximal des Gelenks ebenfalls mit mindestens 2 Schrauben fixiert. Zuvor muss sie proximal und distal exakt der Unterfläche angeformt werden, mit der Besonderheit, dass der Krümmungsradius der Platte im Bereich der hinteren Wand etwas größer gewählt wird. Dadurch steht die Platte bei der späteren Fixation proximal und distal etwas ab. Wenn sie dann definitiv festgeschraubt wird, entsteht im Bereich der Osteosynthese ein Anpressdruck, und die Abstützfunktion ist gegeben, ohne dass man in unmittelbarer Nähe zum Gelenk die Platte mit Schrauben besetzen müsste (◘ Abb. 8.38a).

Falls kleine Randfragmente vorliegen, deren Größe für eine Zugschraubenstabilisierung nicht ausreicht, kann man sich mit so genannten **Federplättchen** behelfen. Sie werden aus 3- oder 4-Loch-Drittelrohrplättchen hakenförmig vorgebogen. Mit dem Haken wird das Randfragment gefasst und anschließend durch Besetzen einzelner Schraubenlöcher fixiert. Die Stabilität wird erhöht, wenn das Hakenplättchen später unter der Rekonstruktionsplatte verklemmt wird (◘ Abb. 8.38b).



◘ **Abb. 8.37a–c** Versorgung einer Impressionszone im Acetabulum. **a** Das imprimierte Fragment wird mit dem Meißel gehoben und gegen den Hüftkopf reponiert. **b** Dann wird das Fragment vorläufig mit einem resorbierbaren Stift fixiert und mit Spongiosachips unterfüttert. **c** Zuletzt wird das hintere Wandfragment reponiert und mit einer oder mehreren Zugschrauben fixiert. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)



◘ **Abb. 8.38a,b** **a** Implantatlage bei hinterer Wandfraktur. **b** Verklemmung eines sogenannten Federplättchens unter der Rekonstruktionsplatte. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

Frakturen des hinteren Pfeilers

Man geht ebenfalls über einen Kocher-Langenbeck-Zugang vor (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Reponiert wird mit einer großen Zange, deren eine Branche im Bereich der Incisura ischiadica major auf der Gegenseite positioniert wird. In das Tuber ischiadicum wird eine Schanz-Schraube mit Handgriff gedreht, um damit das distale Hauptfragment in eine korrekte Rotation zum proximalen zu stellen. Das Repositionsergebnis wird palpatorisch im Bereich der quadrilateralen Fläche und durch sparsame Eröffnung des Gelenks überprüft. Bei korrekter Stellung wird die Fraktur mit einer Zugschraube gesichert und anschließend mit einer Rekonstruktionsplatte vom Os ilium zum Tuber ischiadicum stabilisiert (◘ Abb. 8.39). Bei der Plattenmontage ist das gluteale Gefäß-Nerven-Bündel gefährdet. Es sollte deshalb dargestellt werden. Eine Abduktion des frei beweglich abgedeckten Beins reduziert den Muskelzug.

Frakturen der vorderen Wand

Sie werden über einen ilioinguinalen Zugang angegangen (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Eine Inspektion des Gelenks ist nicht möglich. Deshalb kann man sich bei der Stellungskontrolle nur an den äußeren Kortikalisumrissen orientieren, die stufenfrei sein müssen, um Gelenkinkongruenzen zu vermeiden. Die Fragmente werden wie bei hinteren Wandfrakturen mit Zugschrauben vorfixiert. Anschließend wird eine gut anmodellierte, vorgebogene Rekonstruktionsplatte entlang der Linea terminalis wiederum mit jeweils mindestens 2 Schrauben im unverletzten Iliumanteil proximal und im oberen Schambeinast distal verankert (◘ Abb. 8.40).

Frakturen des vorderen Pfeilers

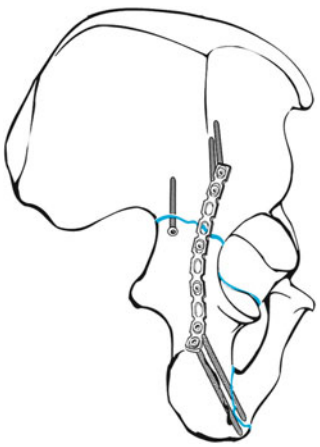
Man geht in der Regel über einen ilioinguinalen, bei hohen Frakturformen über einen iliofemoralen Zugang vor (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Zur Reposition benutzt man große Beckenrepositionszangen, den Kugelpfriem und Zug am Bein. Der Hüftkopf dient als Schablone für eine kongruente Stellung der Gelenkfläche. Die Stabilisierung erfolgt wiederum mit Zugschrauben und einer Rekonstruktionsplatte (◘ Abb. 8.41).

Versorgung von Querfrakturen und kombinierten Frakturtypen

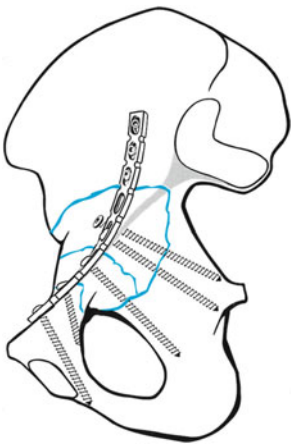
Die Prinzipien der Versorgung komplizierterer Frakturtypen mit kombinierten Frakturen von Acetabulumwänden und -pfeilern folgen den oben skizzierten Prinzipien und sind detailliert von Pohlemann u. Tscherne (1998 b, Abschnitt Therapie) beschrieben.

Fallbeispiele

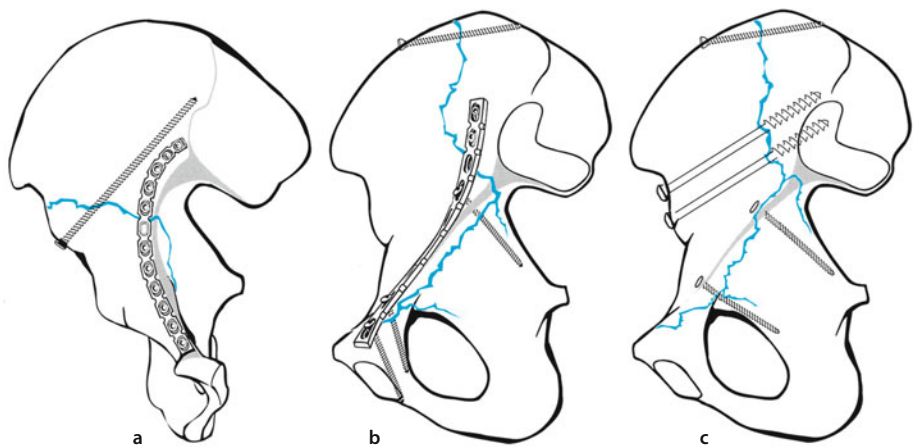
◘ Abb. 8.42, ◘ Abb. 8.43 und ◘ Abb. 8.44 sind Fallbeispiele zu einigen der oben genannten Frakturen.



◘ **Abb. 8.39** Mögliche Implantatlage zur Stabilisierung einer hinteren Pfeilerfraktur. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)



◘ **Abb. 8.40** Mögliche Implantatlage zur Stabilisierung einer vorderen Wandfraktur. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)



◘ **Abb. 8.41a–c** Mögliche Implantatlagen zur Stabilisierung vorderer Pfeilerfrakturen. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998b)

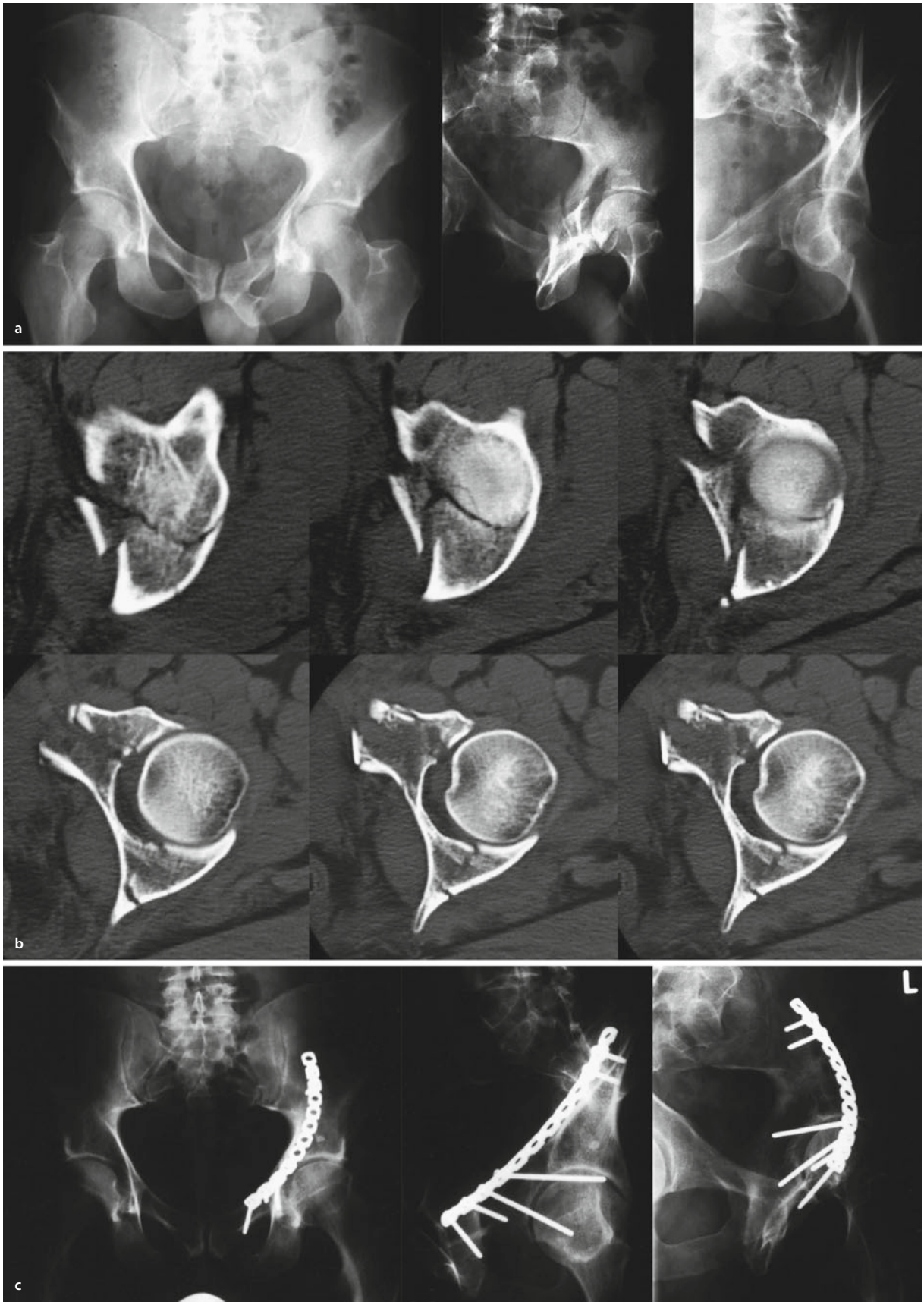


Abb. 8.42a–c Ein 37-jähriger Landwirt fiel beim Sprung von seinem umstürzenden Traktor auf die linke Hüfte. **a** Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Projektion bei Aufnahme. **b** Präoperative CT. **c** Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Aufnahme 29 Monate nach dem Unfall. Der Patient leidet an leichten Anlaufschmerzen, kann aber ansonsten ohne Einschränkungen seiner beruflichen Tätigkeit wieder nachgehen

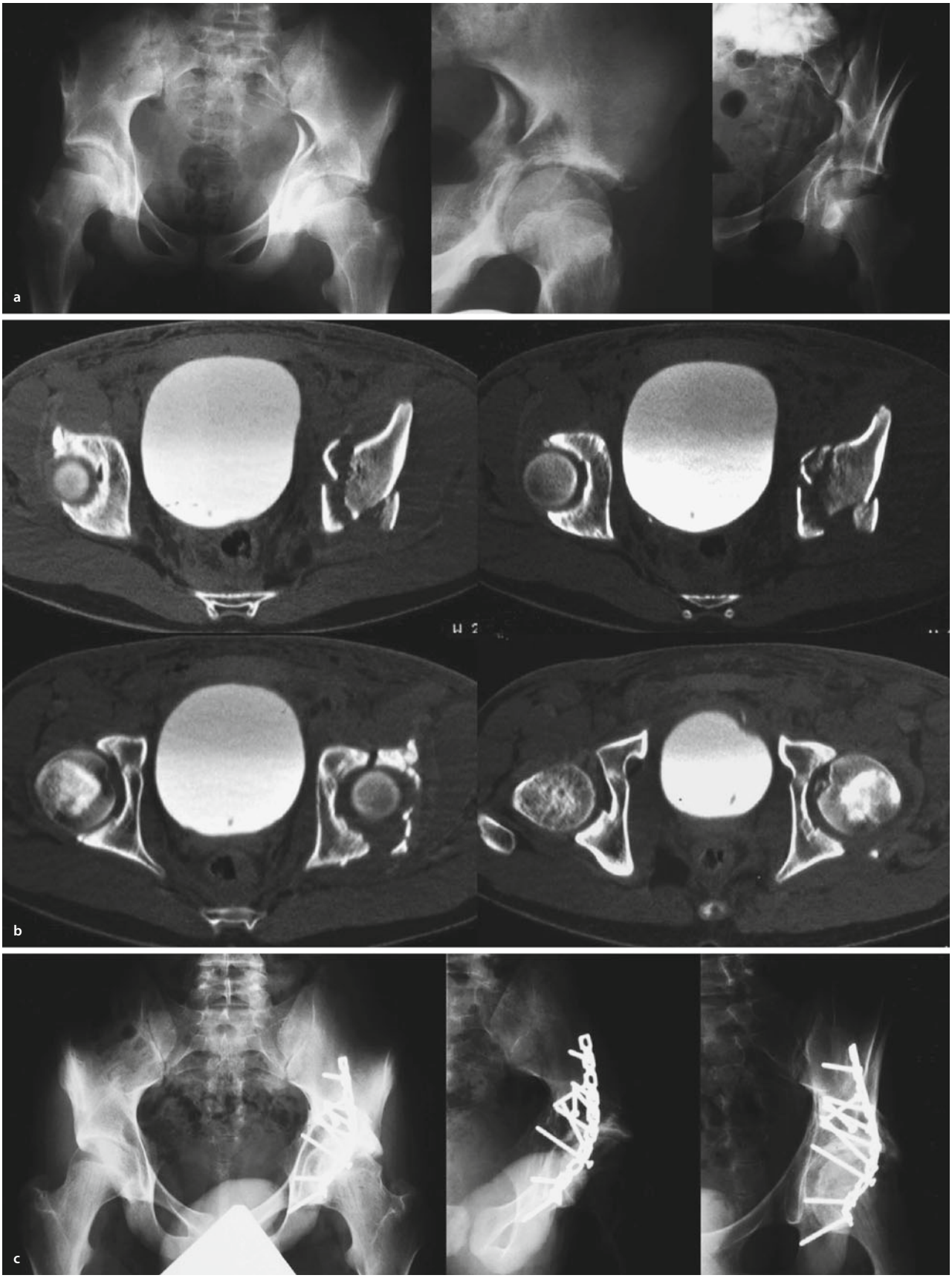


Abb. 8.43a–c Ein 16-Jähriger prallte mit einem Motorrad gegen einen Baum und zog sich u.a. eine Acetabulumfraktur zu. **a** Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Projektion bei Aufnahme. **b** Präoperative CT. **c** Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Aufnahme 27 Monate nach dem Trauma. Der Patient gab zu diesem Zeitpunkt leichte Belastungsbeschwerden in der linken Glutealregion an. Klinisch bestand ein Innenrotationsdefizit von 20° bei ansonsten freier Beweglichkeit

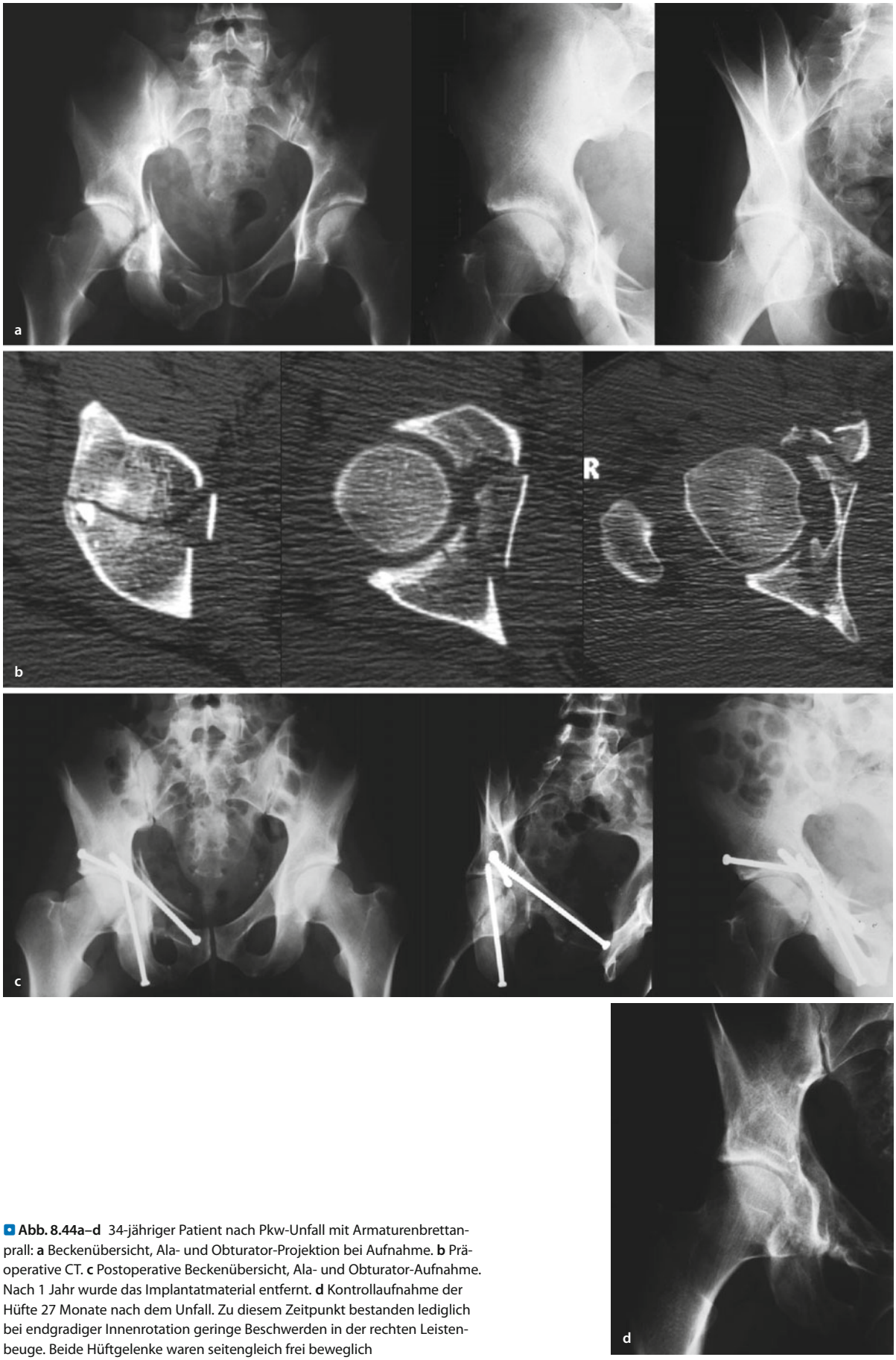


Abb. 8.44a–d 34-jähriger Patient nach Pkw-Unfall mit Armaturenbrettanprall: **a** Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Projektion bei Aufnahme. **b** Präoperative CT. **c** Postoperative Beckenübersicht, Ala- und Obturator-Aufnahme. Nach 1 Jahr wurde das Implantatmaterial entfernt. **d** Kontrollaufnahme der Hüfte 27 Monate nach dem Unfall. Zu diesem Zeitpunkt bestanden lediglich bei endgradiger Innenrotation geringe Beschwerden in der rechten Leistenbeuge. Beide Hüftgelenke waren seitengleich frei beweglich

Altersfrakturen

In zunehmendem Maße werden Acetabulumfrakturen bei geriatrischen Patienten mit relativ hohem Aktivitätsgrad beobachtet. Während für Letournel die Osteoporose noch eine der sicheren Kontraindikationen zur operativen Therapie darstellte, werden diese Patienten heutzutage möglichst versorgt, um sie auf den früheren Aktivitätsgrad zurück zu bringen. Da typische Frakturtypen des alten Menschen Frakturen des vorderen Pfeilers und assoziierte Frakturtypen mit zentraler Dislokation sind, verlangt ein primär endoprothetischer Gelenkersatz eine zusätzliche Frakturstabilisierung, insgesamt besteht also ein deutliches Operationsrisiko. Mit dem Ziel, dieses Operationsrisiko zu mindern, führen wir in entsprechenden Fällen zunächst nur konventionell eine Stabilisierung durch und schließen ggf. bei Auftreten einer Früharthrose den endoprothetischen Ersatz an. Mit diesem Vorgehen wurden im eigenen Krankengut ausgezeichnete Erfahrungen gemacht, auch bei Einsatz des ilioinguinalen Zugangs bei geriatrischen Patienten. Die mittelfristigen Ergebnisse sind insgesamt gesehen gut, lediglich 20% der Patienten benötigten innerhalb der nächsten 2 Jahre einen prothetischen Gelenkersatz. Diese Beobachtung rechtfertigt auch beim alten Patienten eine offene Reposition und interne Stabilisierung, im Wesentlichen nach den beschriebenen Prinzipien.

Arthrolyse

Eine sekundäre Arthrolyse des Hüftgelenks ist indiziert, wenn

- der Patient durch periartikuläre Verkalkungen in seiner Beweglichkeit eingeschränkt wird,
- das Hüftgelenk erhalten ist, also einen normalen Gelenkspalt aufweist mit zentrierter Hüfte ohne Kopfnekrose, und
- der Patient in der Lage ist, die anspruchsvolle Nachbehandlung durchzuführen.

Die Wahl des richtigen Zeitpunkts wird immer noch diskutiert, im eigenen Vorgehen bevorzugen wir ein relativ frühes Eingreifen nach durchschnittlich 4–6 Monaten, wenn:

- sich im Röntgenbild eine normale Knochenstruktur mit Kortikalis und Spongiosa zeigt,
- die Entzündungssymptome abgeklungen sind,
- der Patient schmerzfrei und ausreichend rehabilitiert ist, sodass er ein neuerliches, langwieriges Nachbehandlungsprogramm durchstehen kann.

Die Hüftgelenkkapsel muss erhalten bleiben, weil sie für die Blutversorgung von Bedeutung ist. Gegen erneute Verkalkungen wird eine Prophylaxe mit Indometacin durchgeführt.

8.3.3 Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose

Nachbehandlung

Unmittelbar postoperativ werden Durchblutung, Motorik und Sensibilität und Zeichen einer Nachblutung kontrolliert. Eine Thromboseprophylaxe wird in Hochrisikodosierung verabreicht. Die Prophylaxe wird während der ersten 6 Wochen durchgeführt.

- Ein Antibiotikum ist als »single shot« indiziert. Die Gabe wird jedoch auf die ersten 24 h ausgedehnt bei einer Operationsdauer über 2 h oder stattgehabtem erhöhtem Blutverlust.
- Indometacin wird für die ersten 4–6 postoperativen Wochen in einer Dosierung von 2×50 mg zur Prophylaxe ektopischer Verkalkungen gegeben.
- Eine frühfunktionelle Therapie mit Teilbelastung der stabilisierten Seite mit 15 kg beginnt spätestens nach erfolgter postoperativer Röntgenkontrolle, wenn die Redon-Drainagen entfernt sind. Sie wird mit einer kontinuierlichen Bewegungstherapie auf der Hüftbewegungsschiene (CPM) zur Knorpelernährung kombiniert.
- Die Muskulatur wird mit Isometrie und die Beweglichkeit der Gelenke mit entsprechenden Bewegungsübungen meist im Rahmen einer Anschlussheilbehandlung erhalten.
- Nach 6 Wochen wird erneut geröntgt und über den weiteren Belastungsaufbau entschieden.
- Eine Implantatentfernung ist nur erforderlich und sinnvoll, wenn Implantate das Gelenkspiel stören oder Beschwerden verursachen.

Komplikationen

Neben den allgemeinen operativen Komplikationen wie Wundheilungsstörung, Infektion, Thrombose und evtl. sekundärer Lungenembolie werden periartikuläre Ossifikationen und operationsbedingte Schäden an Muskeln und Nerven beobachtet. Gefürchtet sind v.a. Verletzungen des N. ischiadicus (Rommens 1999).

Blutungen/Thrombosen

Intraoperativ kann es bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen über einen Kocher-Langenbeck-Zugang zu hämodynamisch wirksamen Blutungen aus der A. glutea superior kommen. Unter Umständen sind diese Blutungen sehr schwer zu stillen, insbesondere wenn sich ein abgerissener Gefäßstumpf weit in die Muskulatur hinein zurückzieht und dann nicht mehr zu finden ist. Im Zweifelsfall wird die Blutung tamponiert und von ventral her vorgegangen.

Für den ilioinguinalen Zugang sind iatrogene Gefäßverletzungen beschrieben worden. Außerdem können postoperative Venenthrombosen auftreten. Das Risiko einer tiefen Beckenvenenthrombose ist nach Acetabulumfrakturen höher als bei Eingriffen an der unteren Extremität (Fischmann et al. 1994). Bei einer Studie mit 45 Patienten wurde mittels MRT bei 33% der Patienten eine asymptomatische tiefe Venenthrombose diagnostiziert, die Hälfte davon in den tiefen Beckenvenen. 50% der Thrombosen waren mit der konventionellen Phlebografie nicht darstellbar (Montgomery et al. 1995).

Infektionen

Tiefe Infektionen sind nach Acetabulumfrakturen durch die gute Perfusion und Weichteildeckung eher selten (Rommens 1999). Allerdings muss nach erweiterten Zugängen in 3% der Fälle mit tiefen Infekten gerechnet werden (Tile 1995). Deshalb sollten tiefe Serome und Hämatome durch engmaschige sonografische Kontrollen frühzeitig erkannt und ggf. ausgeräumt werden.

Nervenläsionen

Während der N. femoralis und der N. obturatorius relativ gut geschützt im Becken liegen, besteht bei den dorsalen und lateralen Zugängen die Gefahr der iatrogenen N.-ischiadicus-Läsion. Neben Ausfällen im Bereich des N. tibialis wird hauptsächlich eine Funktionseinschränkung des N. peroneus beobachtet. Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass die peronealen Fasern der Rückwand des Acetabulums anliegen und besonders empfindlich auf Überdehnung reagieren. Die Rate nervaler Komplikationen ist, wie eine Sichtung der neueren Literatur zeigte, mit Werten zwischen 3 und 31% nicht unerheblich. Im Einzelnen bestehen dabei die in ◘ Tab. 8.1 aufgeführten Risiken.

Tab. 8.1 Verletzungsrisiko einzelner Nerven. Das Verletzungsrisiko einzelner Nerven im Rahmen von Acetabulumfrakturen und deren Versorgung ist nicht unerheblich

Nerv	Verletzungsrisiko
N. ischiadicus	In 12–21% der Fälle
N. femoralis	Es wurden nur Einzelfälle beschrieben
N. cutaneus femoris lateralis	Iatrogen bedingte Verletzungen in 12–18% der Fälle
N. gluteus superior	Erhöhtes Verletzungsrisiko (>1%) bei Blutstillung der A. glutea superior
N. pudendus	Druckschaden nach Lagerung am Extensionstisch in 6% der Fälle
N. obturatorius	In 1–3% der Fälle

Tab. 8.2 Literaturergebnisse über das Outcome nach Acetabulumfrakturen. (Nach Rommens 1999)

Autor	Jahr	Anzahl	Zugang	Follow-up	Sehr gut und gut
Letournel u. Judet	1993	195	IL/KL	?	73% (im Röntgen)
Matta	1994	119	IL	3 Jahre	84% (funktionell)
Mayo	1994	163	IL/KL/EXT	3,7 Jahre	75% (funktionell)
Ridder de	1994	51	KL/IL/EXT	3 Jahre	76% (funktionell)
Helfet	1994	84	KL/IL	>6 Monate	90,5% (im Röntgen)
Rommens	1997	175	KL/IL/EXT	2 Jahre	76% (funktionell)

IL ilioinguinal, KL Kocher-Langenbeck, EXT erweiterte Zugänge

8

Nervenschäden nach Acetabulumfrakturen zeigen eine sehr gute Remissionstendenz. Um verletzungsbedingte Schäden von iatrogenen abgrenzen zu können, sollte präoperativ ein möglichst exakter Ausgangsbefund erhoben und dokumentiert werden.

Implantatfehllage

Schrauben, die das Hüftgelenk irritieren, führen in kürzester Zeit zur Knorpeldestruktion und Arthrose. Schrauben können aber auch Gefäße tangieren und verengen. Tiefe Venenthrombosen durch fehlliegende Schrauben wurden bekannt.

Heterotope Ossifikationen

In der Literatur wird die Häufigkeit periartikulärer Ossifikationen zwischen 21 und 90% angegeben (Daum et al. 1992). Die Rate scheint vom Zugang, vom Zeitpunkt der Operation und der Aggressivität der Präparation und der damit verbundenen Weichteilschädigung abhängig zu sein. Vordere Zugänge sind seltener von periartikulären Ossifikationen begleitet als dorsale und laterale (Rommens 1999). Bei begleitenden Schädel-Hirn-Verletzungen wird diese Komplikation ebenfalls gehäuft gesehen. Die Ursache ist nicht geklärt. Die Wirksamkeit von Indometacin 2-mal 50 mg für 4–6 Wochen (Johnson et al. 1994, Matta 1994, Moed u. Karges 1994) und die postoperative Radiotherapie mit 3-mal 7–20 Gy (Moore et al. 1998) als Prophylaxe sind erwiesen, das Nutzen-Risiko-Verhältnis wird noch diskutiert.

Prognose

Bedingt durch die geringe Inzidenz von Acetabulumfrakturen in den einzelnen Kliniken gibt es in der Literatur nur wenige Arbeiten mit einer einigermaßen aussagekräftigen Fallzahl. Das klinisch-funktionelle Ergebnis wurde dabei meist mit der Skala von Merle D'Aubingé zusammengefasst (Tab. 8.2). Hierbei gilt zu beachten, dass es sich um unterschiedliche Patientenkollektive mit einer Vielzahl vermutlich nicht korrekt vergleichbarer Parameter wie Frakturtyp, Begleitverletzungen oder Erfahrung des Operateurs handelt. Eine Rate von 75% mit sehr guten und guten Ergebnissen ist in spezialisierten Zentren realistisch (Rommens 1999).

Die Langzeitergebnisse werden im Wesentlichen vom Auftreten einer Hüftkopfnekrose oder einer posttraumatischen Arthrose bestimmt. Mit schlechten Ergebnissen muss gerechnet werden, wenn

- die Verletzung erst später als 3 Wochen nach dem Unfall operativ versorgt wird,
- T-Frakturen, Hinterwandfrakturen evtl. kombiniert mit Querfrakturen vorliegen,
- der Patient älter als 40 Jahre ist,
- keine anatomische Reposition erzielt werden konnte und/oder
- eine begleitende Hüftkopfläsion besteht (Gänsslen u. Pohlmann 1998).

Hüftkopfnekrosen treten in 3–4% der Fälle auf. Wobei dies oft auch auf fehlliegende Implantate zurückzuführen ist. Insbesondere dorsale Luxationen gehen mit einer Hüftkopfnekrose einher, v.a. dann, wenn die Reposition verspätet erfolgt, weshalb diese wiederum innerhalb der ersten 6 h vorgenommen werden soll. Die Nekrosen manifestieren sich innerhalb der ersten beiden Jahre nach dem Unfall.

Posttraumatische Arthrosen entstehen in 3–24% der Fälle. Ursachen können mangelhafte Reposition und Retention der Fraktur, intraartikulär liegende Implantate, osteochondrale Läsionen, vorbestehende oder kontusionsbedingte Schäden sein.

Literatur

Ahlers J, Schweikert CH, Schwarzkopf W (1979) Ergebnisse nach Symphysensprengungen und Iliosakralgelenksluxationen. Hefte Unfallheilkd 140: 249–258

Asprinio DE, Helfet DL, Tile M (1995) Complications. In: Tile M (ed) Fractures of the pelvis and acetabulum. Part 1: Disruption of the pelvic ring, 2nd edn. Williams & Wilkins, Baltimore Philadelphia Hong Kong London Munich Sydney Tokyo, pp 224–245

Baumgaertel F, Gänsslen A, Hüfner T, Regel G, Pohlemann T (1998) Besondere Frakturtsituationen. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 441–459

Berner W, Oestern HJ, Sorge J (1982) Ligamentäre Beckenringverletzungen – Behandlung und Spätergebnisse. Unfallheilkunde 85: 377–387

Bowen V, Cassidy JD (1981) Macroscopic and microscopic anatomy of the sacroiliac joint from embryonic life until the eighth decade. Spine 6: 620–628

Colachis SC, Worden RE, Bechtol CO et al. (1963) Movement of the sacroiliac joint in the adult male: A preliminary report. Arch Phys Med Rehabil 44: 490–493

Cole JD, Blum DA, Ansel LJ (1996) Outcome after fixation of unstable posterior pelvic ring injuries. Clin Orthop 329: 160–179

Daum WJ, Scarborough MT, Gordon W, Uchida T (1992) Heterotopic ossification and other perioperative complications of acetabular fractures. Orthop Trauma 6: 427–432

Draijer F, Egbers HJ, Zenker W, Havemann D (1993) Pelvic fractures in the Kiel trauma surgery clinic. A one-year evaluation. Unfallchirurgie 19: 339–345

Ebraheim NA, Coombs R, Rusin JJ, Hoeflinger MJ, Jackson WT (1992) Percutaneous CT guided stabilization of complex sacroiliac joint disruption with threaded compression bars. Orthopedics 15: 1427–1430
Egbers HJ, Rieger H. (1997) Die äußere Stabilisierung des Beckens. Marseille, München
Elson RA (1993) Fractures of the acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Fischmann AJ, Greeno RA, Brooks LR, Matta JM (1994) Prevention of deep venous thrombosis and pulmonary embolism in acetabular and pelvic fracture surgery. Clin Orthop 305: 133–137
Ganz R, Krushell RJ, Jakob RP, Kuffer J (1991) The antishock pelvic clamp. Clin Orthop 267: 71–78
Gänsslen A, Pohlemann T (1998) Ergebnisse und Langzeitprognose. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 461–468
Gilliland MD, Ward RE, Barton RM, Miller PW, Duke JH (1982) Factors affecting mortality in pelvic fractures. J Trauma 22: 691–693
Goldstein A, Phillips T, Sclafani SJ et al. (1986) Early open reduction and internal fixation of the disrupted pelvic ring. J Trauma 26: 325–333
Goris RJ, Gimbrere JS, van Niekerk JL, Schoots FJ, Booy LH (1982) Early osteosynthesis and prophylactic mechanical ventilation in the multitrauma patient. J Trauma 22: 895–903
Harrington PR (1962) Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. J Bone Joint Surg Am 44: 591–610
Heini PF, Witt J, Ganz R (1996) The pelvic C-clamp for the emergency treatment of unstable pelvic ring injuries. A report on clinical experience of 30 cases. Injury 27 /Suppl 1): SA 38–SA 45
Henderson RC (1989) The long-term results of nonoperatively treated major pelvic disruptions. J Orthop Trauma 3: 41–47
Hersche O, Isler B, Aebi M (1993) Follow up and prognosis of neurologic sequelae of pelvic ring fractures with involvement of the sacrum and/or the iliosacral joint [Verlauf und Prognose von neurologischen Ausfällen nach Beckenringfrakturen mit Beteiligung des Os sacrum und/oder Iliosacralgelenks]. Unfallchirurg 96: 311–318
Hesp WL, van der Werken C, Keunen RW, Goris RJ (1985) Unstable fractures and dislocations of the pelvic ring – results of treatment in relation to the severity of injury. Neth J Surg 37: 148–152
Hofmann G, Bredow J (1986) Spätergebnisse der Beckenringverletzungen – Behandlung mit dem Fixateur externe. Hefte Unfallheilk 181: 612–619
Isler B (1990) Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries. J Orthop Trauma 4: 1–6
Johnson EE, Kay RM, Dorey FJ (1994) Heterotopic ossification prophylaxis following operative treatment of acetabular fracture. Clin Orthop 305: 88–95
Josten C, Schildhauer TA, Muhr G (1994) Therapie instabiler Sakrumfrakturen bei Beckenringbrüchen – Erstergebnisse einer frühbelastbaren Osteosynthese. Chirurg 65: 970–975
Käch K, Trentz O (1994) Distraktionsspondylodese des Sakrums bei »Vertical shear Läsionen« des Beckens. Unfallchirurg 97: 28–38
Kellam JF, McMurtry RY, Paley D (1987) The unstable pelvic fracture. Operative treatment. Orthop Clin North Am 18: 25–41
LaBan MM, Meerschaert JR, Taylor RS, Tabor HD (1978) Symphyseal and sacroiliac joint pain associated with pubic symphysis instability. Arch Phys Med Rehabil 59: 470–472
Lanz J, Wachsmuth W (Hrsg) (1984) Praktische Anatomie, Bd II 8A: Becken (S 1–96). Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Lavignolle B, Vital JM, Senegas J et al. (1983) An approach to the functional anatomy of the sacroiliac joints in vivo. Anat Clin 5: 169–176
Leighton RK, Waddell JP, Bray TJ, et al. (1991) Biomechanical testing of new and old fixation devices for vertical shear fractures of the pelvis. J Orthop Trauma 5: 313–317
Letournel E, Judet R (1993) Fractures of the acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Maghsudi M, Füchtmeier B, Hente R, Nerlich M (1999) Vergleichende stereophotometrische Deformitätsmessungen bei Beckenringinstabilitäten. Unfallchirurgie 275: 396–397
Matta JM (1994) Operative treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. A 10 years perspective. Clin Orthop 305: 10–19
Matta JM, Saucedo T (1989) Internal fixation of pelvic ring fractures. Clin Orthop 242: 83–97
Miranda MA, Riemer BL, Butterfield SL, Burke CJ 3rd (1996) Pelvic ring injuries. A long term functional outcome study. Clin Orthop 329: 152–159
Moed BR, Karges DE (1994) Prophylactic indomethacin for the prevention of heterotopic ossification after acetabular fracture surgery in high-risk patients. Orthop Trauma 8: 34–39
Montgomery KD, Potter HG, Helfet DL (1995) Magnetic resonance venography to evaluate the deep venous system of the pelvis in patients who have an acetabular fracture. J Bone Joint Surg Am 77: 1639–1649
Moore KD, Goss K, Anglen JO (1998) Indomethacin versus radiotherapy for prophylaxis against heterotopic ossification in acetabular fractures: A prospective randomised study. J Bone Joint Surg Br 80: 259–263
Morehouse DD (1988) Injuries to the urethra and urinary bladder associated with fractures of the pelvis. Can J Surg 31: 85–88
Nelson DW, Duwelius PJ (1991) CT-guided fixation of sacral fractures and sacroiliac joint disruptions. Radiology 180: 527–532
Pohlemann T (1998 a) Chirurgische Anatomie. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 5–34
Pohlemann T (1998 b) Radiologische Anatomie. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 291–302
Pohlemann T, Baumgaertel F (1998) Primärversorgung und Entscheidungsfindung. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 335–347
Pohlemann T, Gänsslen A (1998 a) Anatomie und Pathomechanik. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 279–290
Pohlemann T, Gänsslen A (1998 b) Klassifikation. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 303–333
Pohlemann T, Tscherne H (1998 a) Zugänge zum Acetabulum. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 349–392
Pohlemann T, Tscherne H (1998 b) Therapie. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 393–432
Pohlemann T, Angst M, Schneider E, Ganz R, Tscherne H (1993) Fixation of transforaminal sacrum fractures: A biomechanical study. J Orthop Trauma 7: 107–117
Pohlemann T, Gänsslen A, Schellwald O, Culemann U, Tscherne H (1996) Outcome after pelvic ring injuries. Injury 27 (Suppl 2): B31–B38
Pohlemann T, Gänsslen A, Hartung S (1998 a) Beckenverletzungen/Pelvic injuries. Ergebnisse einer prospektiven, multizentrischen Studie/Results of a German Multicentre Study Group. Hefte Unfallchirurg 266: 165–400
Pohlemann T, Gänsslen A, Hufner T (1998 b) Biomechanik und Pathobiomechanik. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 35–46
Pohlemann T, Müller-Vahl H, Prokop M, Stief Ch (1998 c) Diagnostik. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 69–87
Pohlemann T, Regel G, Bosch U, Stief Ch, Tscherne H (1998 d) Notfallbehandlung und Komplextrauma. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 89–116
Pohlemann T, Gänsslen A, Tscherne H (1998 e) Entscheidungsfindung und Indikationsstellung zur Beckenstabilisierung. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 117–133
Pohlemann T, Lobenhoffer Ph, Tscherne H (1998 f) Therapie. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 135–188
Pohlemann T, Kasperczyk W, Hüfner T, Gänsslen A (1998 g) Behandlung der posttraumatischen Spätfolgen. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 477–487
Poole GV, Ward EF, Muakkassa FF, Hsu HS, Griswold JA, Rhodes RS (1991) Pelvic fracture from major blunt trauma. Outcome is determined by associated injuries. Ann Surg 213: 532–538; discussion 538–539

Probst J (1979) Beckenfrakturen. Spätfolgen und Begutachtung. Unfallheilkunde 82: 340–348
Ragnarsson B, Olerud C, Olerud S (1993) Anterior square-plate fixation of sacroiliac disruption. 2–8 years follow-up of 23 consecutive cases. Acta Orthop Scand 64: 138–142
Rath M, Dittmer H, Lissner J (1983) Computertomographie zur Beurteilung des Beckenringes und des Acetabulums. Langenbecks Arch Chir 361: 169–172
Rieger H, Winckler S, Klein W, Brug E (1993) Ergebnisse der dorsalen Beckenringstabilisierung. Unfallchirurg 96: 363–366
Rommens PM (1999) Azetabulumfrakturen. Unfallchirurg. 102: 591–610
Rothenberger D, Velasco R, Strate R, Fischer RP, Perry JF Jr (1978) Open pelvic fracture: A lethal injury. J Trauma 18: 184–187
Rouvière H (1940) Traité d'anatomie humaine. Masson, Paris
Rubash HE, Brown TD, Nelson DD, Mears DC (1983) Comparative mechanical performances of some new devices for fixation of unstable pelvic ring fractures. Med Biol Eng Comput 21: 657–663
Schütz M, Stockle U, Hoffmann R, Sudkamp N, Haas N (1996) Clinical experience with two types of pelvic C-clamps for unstable pelvic ring injuries. Injury 27 (Suppl 1): SA 46–SA 50
Semba RT, Yasukawa K, Gustilo RB (1983) Critical analysis of results of 53 Malgaigne fractures of the pelvis. J Trauma 23: 535–537
Simonian PT, Routt ML Jr, Harrington RM, Tencer AF (1995) Anterior versus posterior provisional fixation in the unstable pelvis. A biomechanical comparison. Clin Orthop 310: 245–251
Solonen KA (1957) The sacroiliac joint in the light of anatomical roentgenological and clinical studies. Acta Orthop Scand Suppl 27
Stewart MC, Little RE, Highland TR (1986) Osteomyelitis of the ilium secondary to external pelvic fixation. J Trauma 26: 284–286
Stocks GW, Gabel GT, Noble PC, Hanson GW, Tullos HS (1991) Anterior and posterior internal fixation of vertical shear fractures of the pelvis. J Orthop Res 9: 237–245
Strange Vognsen HH, Kiaer T, Tondevold E (1994) The Cotrel-Dubousset instrumentation for unstable sacral fractures. Report of 3 patients. Acta Orthop Scand 65: 219–220
Tamm J (1984) Pseudarthrosen nach Beckenringfrakturen. Hefte Unfallheilkd 164: 248–250
Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I (1996) Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation. Clin Orthop 329: 194–198
Tile M (1980) Fractures of the acetabulum. Clin Orthop North Am 11: 481–506
Tile M (1995) Fractures of the pelvis and acetabulum. Williams & Wilkins, Baltimore,
Tile M, Pennal GF (1980) Pelvic disruption: Principles of management. Clin Orthop 151: 56–64
Tile M, Burri C, Poigenfürst J (1991) Pelvis. In Muller ME, Allgower M, Schneider R (eds) Manual of internal fixation. Techniques recommended by the AO-ASIF-Group. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 485–500
Tornetta P 3rd, Matta JM (1996) Outcome of operatively treated unstable posterior pelvic ring disruptions. Clin Orthop 329: 186–193
Tornetta P, Dickson K, Matta JM (1996) Outcome of rotationally unstable pelvic ring injuries treated operatively. Clin Orthop 329: 147–151
Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) (1998) Tscherne Unfallchirurgie. Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Varney M, Fischer I, Becker H, Derra E, Roher HD (1990) Intraabdominelle Zusatzverletzungen bei Polytraumatisierten mit Beckenfrakturen. Schwierigkeiten in Diagnostik und Therapie. Aktuelle Traumatol 20: 226–230
Walker JM (1986) Age-related differences in the human sacroiliac joint: A histological study; implications for therapy. J Orthop Sports Phys Ther 7: 325
Weise K, Maurer F, Schrade J (1997) Hip dislocations and hip fractures – acetabular fractures. Indication, technique and results of conservative treatment. Orthopaede 26: 336–347
Young JW, Burgess AR, Brumback RJ, Poka A (1986) Lateral compression fractures of the pelvis: The importance of plain radiographs in the diagnosis and surgical management. Skeletal Radiol 15: 103–109

Hüfte und Oberschenkel

B. Weigel, M. Leunig, R. Ganz

9.1 Basiswissen – 506
9.2 Hüftgelenk – 509
9.3 Proximales Femur – 520
9.4 Femurschaftfrakturen – 549
9.5 Distale Femurfrakturen – 567
9.6 Periprothetische Frakturen – 575
9.7 Weichteile – 579
Literatur – 583

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_9,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

9.1 Basiswissen

9.1.1 Anatomie

Knochen und Bänder

Das Femur ist der längste Knochen des Körpers. Das Caput femoris artikuliert im Acetabulum, das den Hüftkopf über seinen Äquator hinaus umschließt und daher funktionell ein Nussgelenk ist. In der Fovea capitis femoris inseriert das Ligamentum capitis femoris. Das Collum femoris steht zum Schaft in einem stumpfen Winkel, dem CCD-Winkel (Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel) von etwa 127° und zur Femurkondylen-Querachse um 12° antevertiert. Die Hüftgelenkkapsel setzt ventral im Bereich der Linea intertrochanterica, dorsal an der Schenkelhalsbasis noch vor der Fossa trochanterica an. Der Femurschaft ist antekurviert. Dorsal verläuft die Linea aspera, die den Röhrenknochen verstärkt und den Muskeln als Ansatz dient. Condylus medialis und lateralis artikulieren mit dem Tibiaplateau. Das Gelenk wird zentral durch 2 kräftige Bänder, die Ligamenta cruciatum anterius und posterius, geführt. Peripher stabilisieren der Innen- und Außenmeniskus sowie das Ligamentum collaterale mediale und laterale (◘ Abb. 9.1, ◘ Abb. 9.2, ◘ Abb. 9.3).

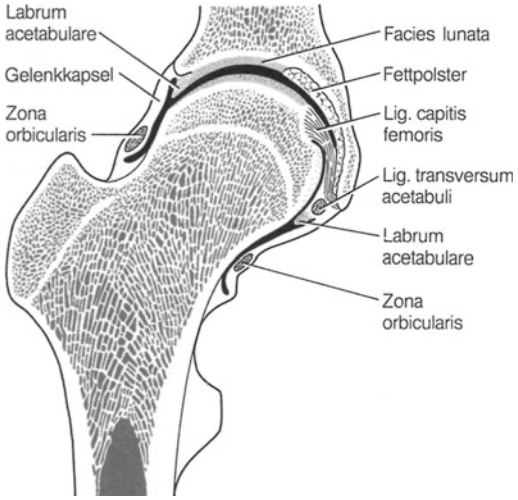
Muskeln

Hüftmuskeln

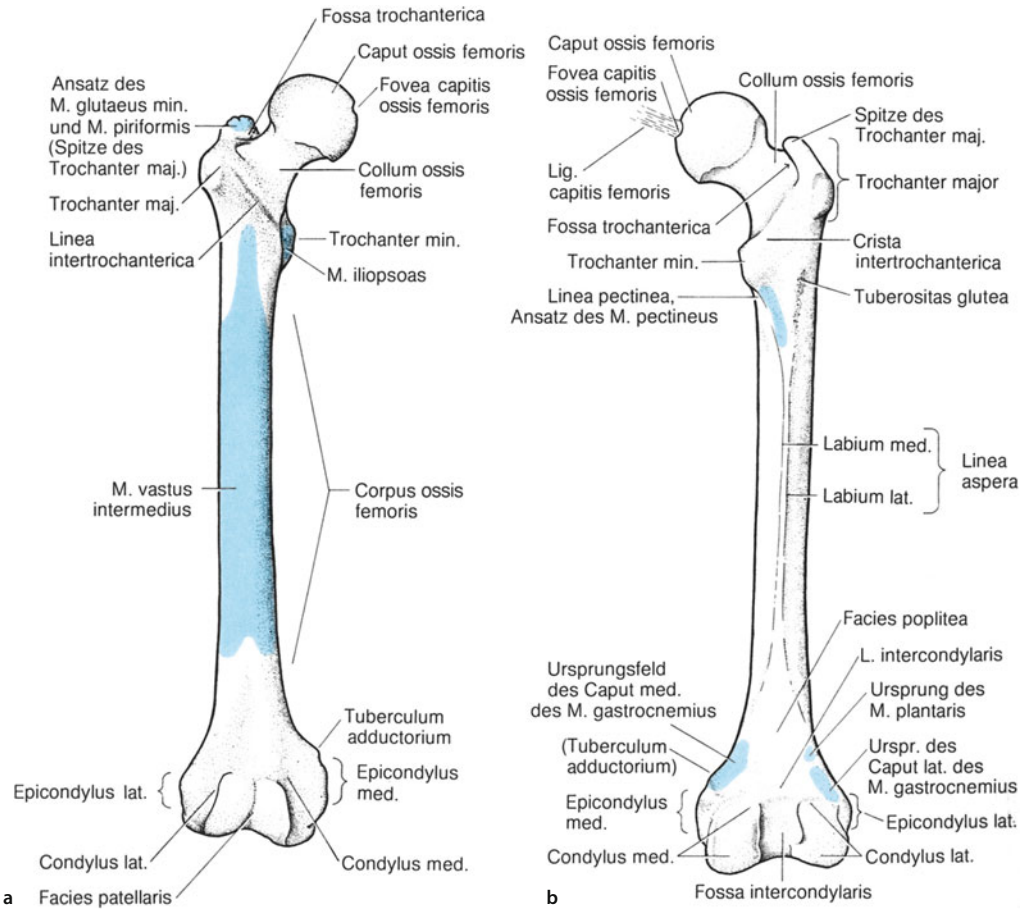
Der M. iliopsoas entspringt vom 12. Brustwirbelkörper bis 4. Lendenwirbelkörper sowie in der Fossa iliaca und setzt am Trochanter minor an, er ist der stärkste Hüftbeuger.

Der M. gluteus maximus zieht vom knöchernen Beckenrand zur Fascia lata und zum Tractus iliotibialis, er ist im Wesentlichen ein Hüftstrecker.

Die Abduktoren Mm. gluteus medius und minimus ziehen von der Darmbeinschaufel zum Trochanter major (◘ Abb. 9.4). Sie sind sehr wichtig für die Stabilisierung des Beckens.



◘ **Abb. 9.2** Frontalschnitt durch das rechte Hüftgelenk. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)



◘ **Abb. 9.1** Rechtes Femur. Ansicht von vorne (**a**) und hinten (**b**). Die Muskelursprünge und -ansätze sind blau markiert. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

Der M. tensor fasciae latae wirkt u.a. als Innenrotator und spannt den Tractus iliotibialis; dieser wiederum wirkt als Zuggurtung für den durch den Schenkelhals nach lateral ausschwingenden Femur.

Außenrotatoren sind der M. piriformis, M. obturatorius internus und externus, die beiden Mm. gemelli und der M. quadratus femoris.

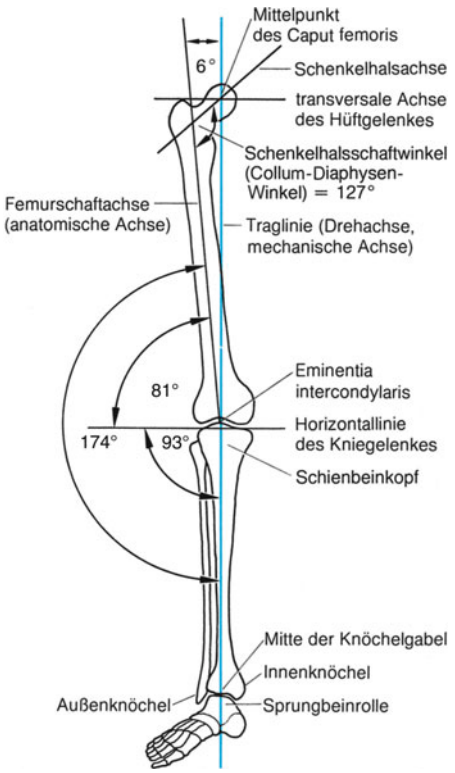


Abb. 9.3 Beinachsen. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

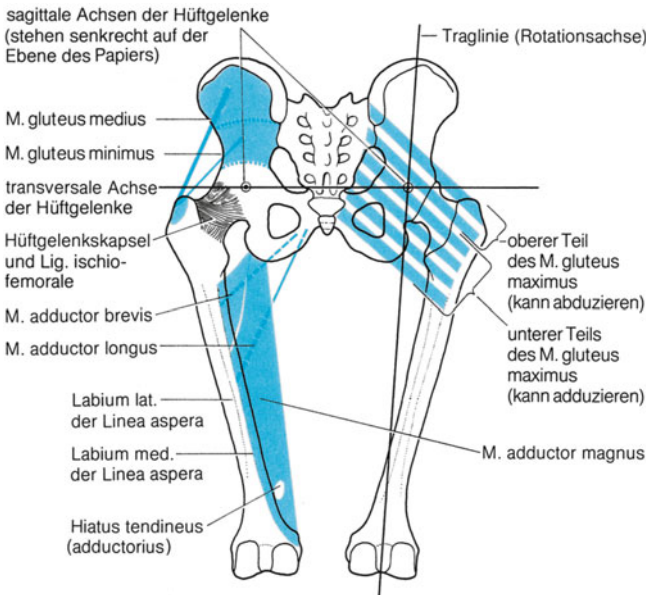


Abb. 9.4 Adduktoren und Mm. glutei von dorsal gesehen. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

Adduktoren sind der M. adductor brevis, longus et magnus, M. gracilis sowie M. pectineus und die unteren Anteile des M. gluteus maximus. Die Adduktoren entspringen in der Hauptsache am vorderen Beckenring und setzen am Femur an.

Oberschenkelmuskeln

Extensoren sind der M. quadriceps femoris, bestehend aus M. rectus femoris sowie Mm. vastus medialis, lateralis und intermedius und M. sartorius (Abb. 9.5).

Flexoren oder auch ischiokrurale Muskulatur genannt, weil sie vom Sitzbeinhöcker zum proximalen Unterschenkel ziehen, sind M. biceps femoris, M. semitendinosus und M. semimembranosus.

Gefäße und Nerven

Arterien

In Höhe des Leistenbandes geht die A. iliaca externa in die A. femoralis über, aus der nach kurzem Verlauf die A. profunda femoris abgeht. Ab dem Adduktorenschlitz wird die A. femoralis zur A. poplitea, die sich am proximalen Unterschenkel in die A. tibialis anterior, A. tibialis posterior und A. peronea aufteilt. Am Fuß wird die A. tibialis anterior zur A. dorsalis pedis.

Venen

Der venöse Rückstrom erfolgt oberflächlich über die V. saphena magna und parva, in der Tiefe über die Vv. tibiales anteriores und posteriores in die V. poplitea und schließlich in die V. femoralis.

Nerven

Aus den Rami ventrales der Spinalnerven T12 bis L4 stammt der Plexus lumbalis, der folgende Äste abgibt: N. iliohypogastricus, N. ilioinguinalis, N. genitofemoralis, N. cutaneus femoris lateralis, N. femoralis und N. obturatorius.

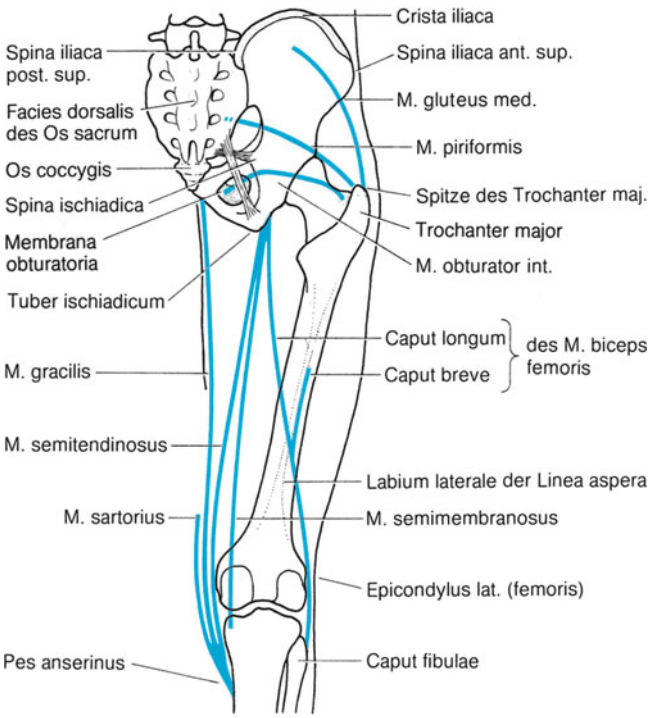


Abb. 9.5 Muskeln der Rückseite von Hüfte und Oberschenkel. (Aus: Schiebler u. Schmidt 1991)

Aus L4 bis S3 stammt der Plexus ischiadicus, aus dem N. gluteus superior und inferior, N. cutaneus femoris posterior sowie der N. ischiadicus kommen, der sich in N. tibialis und N. peroneus communis aufteilt.

9.1.2 Diagnostik

Anamnese

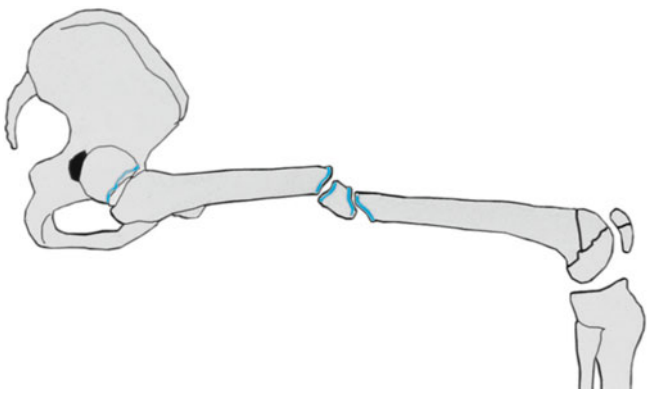
Bei Frakturen, die durch Armaturenbrettanprall entstanden sind, kann auch eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes, eine Hüftluxation oder eine Acetabulumfraktur vorliegen. Allein deshalb ist es von Bedeutung, den Unfallhergang zu erfragen. Bei Stürzen aus großer Höhe mit Frakturen im Fußwurzelbereich kann prinzipiell auch das übrige Achsenskelett betroffen sein (Bein, Becken, Wirbelsäule, Gegenseite; ◘ Abb. 9.6).

Klinische Untersuchung

Beim ersten Überblick geht man die in ◘ Tab. 9.1 aufgeführten Leitsymptome durch. Druckschmerzhafte Bezirke oder Bereiche, die durch eine kontusionierte Haut bzw. Schwellung auffallen, sollten im Rahmen der Schmerzgrenzen vorsichtig palpatorisch untersucht werden, denn ein Teil der Frakturen lassen sich ertasten. Aber auch Rissbildungen, z.B. im Bereich der Quadrizepssehne oder des Tractus iliotibialis, können gut palpiert werden. Der Weichteilmantel wird inspiziert und auf Prellmarken, Hämatomverfärbungen und offene Wunden hin untersucht.

Motorik – Durchblutung – Sensibilität

Diese 3 Parameter sollten an jeder verletzten Extremität routinemäßig überprüft werden, weil dies weitreichende Konsequenzen haben kann.



◘ **Abb. 9.6** Beim Knieanprall kann eine Mehretagenfraktur entstehen mit proximaler Femurfraktur, Schaftfraktur, distaler Fraktur oder Patellafraktur

Peroneusläsion und andere Nervenausfälle sollten – insbesondere vor einer geplanten Operation – dokumentiert werden, um Lagerungsschäden oder Operationsfolgen für spätere forensische Fragestellungen sicher ausgrenzen zu können. Bei Frakturen langer Röhrenknochen und bei Luxationen großer Gelenke können Blutgefäße beteiligt sein, deshalb muss bei Aufnahme ein Gefäßstatus erhoben werden. Zugleich sollte immer an die Möglichkeit eines drohenden Kompartment-Syndroms gedacht werden, da dies eine Notfallindikation zur Dermatofasziotomie darstellt.

Der N. ischiadicus teilt sich in wechselnder Höhe, mitunter aber schon in Höhe des Hüftkopfs, in den N. fibularis (peroneus) und den N. tibialis. Der N. fibularis hebt, proniert und supiniert den Fuß, streckt die Zehen und versorgt den lateralen Unterschenkel, den proximalen Fußrücken und einen dreieckigen Hautbezirk vor den Zehen I und II sensibel. Bei reiner Peroneuslähmung (Spitzfuß) ist der Achillessehnenreflex (ASR) nicht ausgefallen, da er über den N. tibialis verläuft. Der N. tibialis flektiert, adduziert und supiniert den Fuß, beugt und spreizt die Zehen und versorgt Wade, Fußsohle und Fußaußenseite sensibel. Bei komplettem Ausfall des N. ischiadicus ist zusätzlich die Außenrotation des Oberschenkels und die Beugung im Knie beeinträchtigt; die Rückseite des Oberschenkels ist gefühllos, der ASR kann in diesem Fall ausbleiben. Bei einer Läsion des N. femoralis kann das Bein nicht mehr gestreckt von der Unterlage gehoben werden, weil die Hüftbeugung und Kniestreckung beeinträchtigt werden. Die Sensibilität auf der ventralen Oberschenkelseite fehlt, während ein Sensibilitätsausfall lateral und proximal für eine Verletzung des N. cutaneus femoris lateralis spricht. Bei einer Lähmung des N. obturatorius fehlt die Adduktionsfähigkeit, was zu einem breitbeinigen und unsicheren Gangbild führt. An einem handtellergroßen Bezirk an der Innenseite des Oberschenkels oberhalb des Kniegelenks bestehen Dysästhesien.

Bildgebende Diagnostik

Die langen Röhrenknochen werden mit angrenzenden Gelenken in 2 Ebenen geröntgt. Bei unklarem Befund helfen konventionelle Tomogramme oder die CT weiter. Sonografisch lassen sich dagegen ligamentäre oder muskuläre Verletzungen und Hämatome beurteilen. Frakturen, die im konventionellen Röntgenbild nicht eindeutig sichtbar sind, können nach einigen Tagen szintigrafisch nachgewiesen werden. Entscheidend dabei ist der ausreichende zeitliche Abstand zum Trauma.

Der eindeutige szintigrafische Frakturnachweis oder -ausschluss ist an den Extremitäten bereits nach 3 Tagen erhältlich, am Rumpf erst nach 8–10 Tagen. Manche Autoren empfehlen, bei Mehrfachverletzten 10 Tage nach Trauma zum Nachweis okkulter Frakturen routinemäßig ein szintigrafisches Screening durchzuführen.

◘ **Tab. 9.1** Leitsymptome an Hüfte und Oberschenkel. Manche charakteristische Symptome sind beweisend für die Art einer Verletzung

Leitsymptom	Zusatzbefund	Verdachtsdiagnose
Federnde Beinfixation	Schmerzen in der Leistenregion, Belastungsunfähigkeit	Hüftluxation
Außenrotationsfehlstellung des Beins, Beinverkürzung	Schmerzen in der Leistenregion, Belastungsunfähigkeit	Proximale Femurfraktur
Verkürzung, Fehlstellung und Instabilität im Oberschenkel	Schmerzen und Schwellung im Oberschenkel, Belastungsunfähigkeit	Femurschaftfraktur

Invasive Diagnostik

An invasiven Methoden steht die Logendruckmessung bei drohendem Kompartment-Syndrom zur Verfügung, die Angio- oder Dopplersonografie bei Verdacht auf Gefäßverletzungen, die Phlebo- oder Duplexsonografie bei Verdacht auf Thrombose und die Gelenkpunktion zur Entlastung und damit Schmerzbekämpfung sowie zur Sicherung der Diagnose. Das Kernspinarthrogramm und die Arthroskopie ermöglichen heute eine detaillierte Diagnostik des Gelenkbinnenschadens.

9.2 Hüftgelenk

9.2.1 Hüftluxationen

Definition

Man unterscheidet zwischen dorsaler und ventraler Luxation ohne oder mit begleitender knöcherner Verletzung des Acetabulums oder des proximalen Femurs (s. unten, Klassifikation). Der Begriff »zentrale Hüftluxation« meint die Luxation des Hüftkopfs in die Beckenlichtung bei dislozierter Acetabulumfraktur. In einem solchen Fall ist aber die Klassifikation der Acetabulumfraktur vorrangig. Daher spielt dieser Begriff eigentlich keine Rolle mehr. Die Begriffe Luxatio iliaca, ischiadica, pubica und obturatoria beschreiben die Position des Hüftkopfs nach einer stattgehabten Luxation. Therapeutische Konsequenz und outcome ergeben sich aber nur aus der Luxationsrichtung – dorsal oder ventral – und den eingetretenen Begleitverletzungen an Acetabulum und Hüftkopf.

Ätiologie

Insgesamt handelt es sich um eine seltene Verletzung, die meist bei Pkw- oder Motorradunfällen oder bei einem Sturz aus großer Höhe eintritt. Die Krafteinleitung erfolgt über das gebeugte Knie (Armaturenbrett), den gestreckten Fuß (Bremspedal) oder durch Schlag auf den Trochanter major (Aufprall). Axiale Krafteinleitung auf die gebeugte adduzierte Hüfte (frontaler Pkw-Aufprall) führt zur dorsalen Luxation, während bei Gewalteinwirkung auf das abduzierte, in der Hüfte gebeugte und außenrotierte Bein (Motorradfahrer, der sich in die Kurve legt und mit dem Knie gegen die Straße schlägt) der Hüftkopf nach ventral luxieren kann. Ventrale Luxationen sind viel seltener als dorsale. Die derbe Gelenkkapsel kann nur reißen, wenn der Knochen sehr stabil ist; sonst bricht der Schenkelhals oder die Epiphysen geben nach; deshalb sieht man diese Verletzung in der Regel nur bei etwa 20- bis 40-jährigen Patienten.

Klinik

Auffällig sind starke Schmerzen in der luxierten Hüfte und eine federnde Beinfixation, verbunden mit einer Bewegungsunfähigkeit des betroffenen Beins. In bis zu 20% der Fälle von hinteren Luxationen ist der N. ischiadicus geschädigt, und zwar meist dessen peronealer Anteil, während der tibiale, wenn überhaupt, weniger Schaden nimmt (die Ursache dafür ist unbekannt). Bei ventraler Luxation können Durchblutungsstörungen mit Pulslosigkeit durch Druck des Hüftkopfs auf die Leistengefäße auftreten. Die Art, wie das federnd fixierte Bein steht, lässt auf die Luxationsrichtung schließen. Bei dorsaler Luxation steht das Bein in der Hüfte gebeugt, innenrotiert und adduziert, bei ventraler etwas gebeugt, außenrotiert und weit abduziert. Bei begleitenden Frakturen an Acetabulum, Femur oder Tibia können diese typischen Zeichen fehlen oder maskiert sein. Begleitverletzungen am Körperstamm, Femur, Knie und Fuß sind keine Seltenheit (◘ Abb. 9.7).

◘ **Abb. 9.7** Federnde Fixierung des Beins in leichter Hüftbeugung und Adduktion bei dorsaler Hüftluxation.

Diagnostik

Ausgehend von den klinischen Zeichen wird versucht, den Unfallhergang zu rekonstruieren, um mögliche Begleitverletzungen sicherer zu erfassen. Grundsätzlich ist wegen der Schwere des Traumas eine eingehende körperliche Untersuchung notwendig, an deren Ende festgelegt wird, welche Extremitätenabschnitte geröntgt werden müssen.

Beckenübersicht a.p.

Auf der Übersichtsaufnahme müssen die Hüftköpfe gleich groß sein. Bei dorsaler Luxation stellt sich der verrenkte Hüftkopf kleiner als der kontralaterale dar, weil er der Platte näher ist, bei ventraler Luxation größer. Eine unterschiedliche Trochantergröße weist auf eine Rotationsfehlstellung hin. Die Gelenkspaltweite muss symmetrisch sein. Die von den unteren Begrenzungen des oberen Schambeinasts und des Schenkelhalses gebildete Linie, die so genannte Ménard-Linie, muss einen gleichmäßigen Bogen ergeben. Adduktions- bzw. Abduktionsfehlstellungen liegen bei federnder Fixierung durch eine dorsale bzw. ventrale Luxation vor. Acetabulum, Hüftkopf und Schenkelhals werden nach knöchernen Begleitverletzungen abgesucht.

Erweiterte Diagnostik nach erfolgter Reposition

Zunächst wird erneut eine Beckenübersichtaufnahme a.p. als Kontrollaufnahme angefertigt. Zudem wird die verletzte Hüfte a.p. und axial geröntgt zur Suche nach osteochondralen Fragmenten, zur Beurteilung der Gelenkspaltweite und der Kongruenz des Hüftkopfs. Eine unregelmäßige Kongruenz weist auf eine Impressionsfraktur hin. Der Hüftkopf muss genau in der Pfanne zentriert sein. Eine exzentrische Projektion lässt auf eine weiter bestehende Luxation oder ein Interponat schließen.

Computertomografie

Galten früher noch Ala- und Obturatum-Projektionen als notwendige Zusatzaufnahmen zur Beurteilung des hinteren und vorderen Acetabulumpfeilers und der Kongruenz des Hüftkopfs, ist es heute die CT, die als unverzichtbar erachtet wird. Je nach Autor werden unterschiedliche Schichtdicken zwischen 1 und 3 mm empfohlen. Man erkennt Impressionen am Hüftkopf genauso wie Acetabulum- und Schenkelhalsfrakturen sowie im Gelenkspalt interponierte Fragmente, die u.U. im konventionellen Röntgen nicht zur Darstellung kommen.

Magnetresonanztomografie

Eine MRT ist bei ungeklärter Instabilität oder Gelenkspalterweiterung indiziert. Damit, und noch besser mit einem Kernspinarthrogramm, lässt sich beurteilen, ob das Labrum acetabulare abgerissen oder ins Gelenk eingeschlagen ist, ob der Knorpel abgeschert wurde und das Ligamentum capitis femoris gerissen ist. Auch der Knochen ist beurteilbar, allerdings schlechter als mit der CT. Die Untersuchung ist nur beim kreislaufstabilen, schmerzfreien Patienten möglich.

Basistherapie

Versuch der geschlossenen Reposition

Unabhängig von der Art der Verrenkung wird in der Regel notfallmäßig unter Sedierung ein Repositionsversuch unternommen. Wenn dies nicht gelingt, wird eine Reposition in Allgemeinnarkose unter Muskelrelaxation notwendig. In der Regel lässt sich die verrenkte Hüfte spätestens dann reponieren.

Die sofortige Reposition ist deshalb so wichtig, weil die Durchblutung des Hüftkopfs durch die Luxation gefährdet ist, und zwar durch 3 Faktoren:

- **die direkte Gefäßzerreißung synovialer Gefäße beim Austritt des Kopfs aus dem Gelenk,**
- **durch Ischämie aufgrund einer Überdehnung der Gelenkkapsel und**
- **durch die Stagnation des venösen Abflusses.**

Allerdings ist bei begleitender Schenkelhalsfraktur eine geschlossene Reposition nicht möglich.

Repositionstechnik bei dorsaler Luxation

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der behandelnde Arzt steht auf der Untersuchungsliege mit gegrätschten Beinen über dem Patienten. Der Arzt fasst das in der Hüfte und im Knie gebeugte Bein des Patienten mit einer Hand am proximalen Unterschenkel, an dem er Zug ausübt, mit der anderen Hand am distalen Unterschenkel. Dort hält er gegen, um mehr Zugkraft auf die Hüfte entfalten zu können. Je weiter der Hüftkopf um den Pfannenrand herum nach kaudal gelangt, um so mehr kann die Hüfte gebeugt werden, wodurch der Zug der Oberschenkelstrecker nachlässt. Ein Helfer muss bei der Reposition an beiden Beckenkämmen gegenhalten. Mit Hilfe einer Tuchschlinge kann man jetzt noch mehr Zugkraft entwickeln. Dafür legt man die Schlinge in die Kniekehle des luxierten Beins und sich selbst um den Nacken, sodass man beim Reponieren die ganze Kraft des eigenen Körpers dosiert einsetzen kann. Unter stetem Zug wird die Hüfte weiter auf etwa 60–70° gebeugt. Gleichzeitig führt man vorsichtige rotierende Bewegungen über den Hebelarm des distalen Unterschenkels aus. Diese Bewegungen übertragen sich auf den Hüftkopf. Dadurch löst er sich leichter aus seiner Verklemmung hinter dem dorsalen Acetabulumrand. Seitlicher Zug am proximalen Oberschenkel durch einen weiteren Helfer kann die Reposition erleichtern. Beim Einrasten des Hüftkopfs in eine gelenkgerechte Stellung ist ein deutliches Schnappen zu hören und zu spüren (Abb. 9.8).

Nach erfolgter Reposition wird die Stabilität des Gelenks geprüft, denn davon hängt das weitere Vorgehen ab. Bei der Stabilitätsprüfung wird die Hüfte in 90°- bis 95°-Beugung, Neutraladduktion und -rotation gebracht und anschließend das Bein mit einem kräftigen, nach posterior gerichteten Schub axial belastet. Nun ist es möglich, die Hüftluxation zu klassifizieren und das therapeutische Vorgehen festzulegen.

Abb. 9.8 Bei dorsaler Hüftluxation stellt sich der Arzt über den Verletzten auf die Untersuchungsliege und zieht am verrenkten Bein unter zunehmender Hüftbeugung und gleichzeitigen, sachten Rotationsbewegungen.

Klassifikation

Die so genannte »comprehensive classification« aus dem anglo-amerikanischen Sprachraum unterscheidet in Hinblick auf die Art der notwendigen weiteren Therapie 5 verschiedene Typen der Hüftluxation (Levin 1992):

- **Typ I:** Stabil nach Reposition; keine begleitende Fraktur (außer eines funktionell unbedeutenden knöchernen Ausrisses, der das Gelenkspiel nicht beeinträchtigen darf)
- **Typ II:** In Allgemeinnarkose unter Muskelrelaxation wegen Weichteilinterposition nicht reponierbar; keine begleitende Fraktur
- **Typ III:** Instabil nach Reposition oder Einklemmung eines Knorpel-, Knochen- oder Labrumanteils
- **Typ IV:** Begleitende Acetabulumfraktur
- **Typ V:** Begleitende Hüftkopf- oder Schenkelhalsfraktur

Spezielle Therapie

Unabhängig vom Typ der Luxation besteht bei primärer Ischiadikusparese keine zwingende Operationsindikation, bei sekundärer, also nach Reposition eingetretener Parese, jedoch schon. Denn in diesem Fall könnte der Nerv durch Knochenfragmente oder im Gelenkspalt eingeklemmt sein.

Früher wurden nach Reposition oft wochenlange Extensionsbehandlungen angeschlossen, u.a. unter der Vorstellung, die Rate der Hüftkopfnekrosen senken zu können. Davon ist man abgekommen, weil die Hüftkopfnekroserate dadurch nicht beeinflusst wird. Heute wird vielmehr frühzeitig mit Bewegungsübungen begonnen. Sie sind für die Knorpelernährung entscheidend. Mögliche Ausnahmen sind verbleibende Instabilität oder begleitende Frakturen, die keine frühfunktionelle Nachbehandlung erlauben.

Verrenkte Hüften polytraumatisierter Patienten sollten geschlossen reponiert werden, sobald die Narkose eingeleitet ist,

möglichst noch vor Beginn eines Eingriffs am Bauchraum oder Schädel. Wenn eine geschlossene Reposition nicht möglich ist, wird offen vorgegangen; dann allerdings erst im Anschluss an Eingriffe, die aus vitaler Indikation Vorrang haben, und nach erfolgter Stabilisierung der Vitalparameter des Patienten.

Typ-I-Luxation

Nach erfolgter Reposition, Stabilitätsprüfung und Röntgenkontrolle wird das verletzte Bein in einer langen Schaumstoffschiene gelagert. Anschließend wird früh elektiv eine CT zum Ausschluss intraartikulär gelegener Fragmente angefertigt. Kleine Randkantenabbrüche können belassen bleiben, da sie extraartikulär liegen. Sollten später Einklemmungserscheinungen, Schmerzen oder eine Instabilität auftreten, muss neu entschieden werden.

Typ-II-Luxation

Irreponible Luxationen müssen notfallmäßig behoben werden. Um einschätzen zu können, wo das Repositionshindernis liegt, sind Ala- und Obturatum-Projektion und, wenn ohne größeren zeitlichen Aufschub möglich, eine notfallmäßig durchgeführte CT notwendig.

Spezielle Risiken des Eingriffs sind die Ischiadikusläsion, die Reluxation und ektopische Verkalkungen.

Das in Zwangshaltung stehende Bein wird mit Schaumstoffkeilen, Kissen oder Sandsäcken abgestützt. Abhängig vom gewählten Zugang wird der Patient in Rücken- oder Seitenlage auf einen strahlendurchlässigen Knochentisch gelagert.

Bei dorsaler Luxation wird ein posteriorer Zugang zum Hüftgelenk nach Kocher-Langenbeck (▶ Kap. 21, Standardzugänge) in Seitenlage gewählt. Ein Assistent zieht am Bein und achtet darauf, dass das Knie gebeugt bleibt. Dadurch wird zum einen verhindert, dass der noch luxierte Hüftkopf auf den Ischiasnerv drückt, zum anderen wird der Nerv bei gebeugtem Knie entspannt. Beim Spalten des M. gluteus maximus stößt man proximal auf die A. glutea superior und den N. gluteus superior. Die beiden Strukturen müssen geschont werden. Wenn der N. ischiadicus dargestellt ist, wird er auf eingetretene Verletzungen hin untersucht (Quetschung, Dehnung, Einblutung, Teileinriss). Meist sind es die Außenrotatoren oder ein knopflochförmiger Kapseldefekt, die eine geschlossene Reposition verhindern. Die Gelenkkapsel wird, wenn erforderlich, nahe am Acetabulumrand eröffnet, um die den Hüftkopf ernährenden Gefäße nicht zu verletzen, die in der dorsalen Kapsel verlaufen und von der Fossa trochanterica kommen. Vor der Reposition werden Hüftkopf und Pfanne auf Impressionen oder Defekte hin untersucht. Freie Gelenkkörper werden instrumentell oder durch Spülung entfernt. Nach erfolgter Reposition schließt sich erneut eine Stabilitätsprüfung an. Davon hängt das weitere Vorgehen ab. Bei Instabilität muss man nach Kapsel- oder Labrumrissen suchen und diese versorgen.

Bevor man den Eingriff beendet, empfiehlt es sich, mit dem Bildwandler die Gelenkspaltweiten beider Hüften zu vergleichen. Eine etwaige Seitendifferenz wäre ein Hinweis auf einen übersehenen freien Gelenkkörper.

Typ-III-Luxation

Bei Instabilität ohne Gelenkspalterweiterung ist eine weiterführende Diagnostik mittels MRT nötig. Dann wird über das weitere Vorgehen entschieden. Bei größeren Labrumeinrissen und intraartikulären Fragmenten muss operativ vorgegangen werden (s. oben). Bei kleineren Labrum-, Kapsel- oder Bandrupturen kann eine Extensionsbehandlung der Hüfte indiziert sein. Die primäre Mobilisierung mit Phantomgehen und Bewegen der Hüfte in engen Grenzen ist wohl die erstrebenswertere Alternative. Diese Form der Mobilisierung erfolgt schulenabhängig und ist nicht ausreichend standardisiert (wohl auch wegen der Seltenheit der Verletzung). Falls über die 6. Woche hinaus eine Instabilität verbleibt, besteht eine Operationsindikation.

Typ-IV-Luxation

Bei Schwerverletzten mit begleitender Acetabulumfraktur beschränkt man sich auf die Hüftreposition. Die Acetabulumfraktur wird erst sekundär nach Stabilisierung versorgt. Und zwar richtet sich die Versorgung nach den im vorausgegangenen ▶ Kap. 8, Becken, erläuterten Richtlinien (▶ Abschnitt 8.3, Acetabulumfrakturen).

Typ-V-Luxation

Begleitende Hüftkopffrakturen liegen bei der wesentlich häufigeren dorsalen Luxationsrichtung fast immer im anterioren Kalottenbereich. Daher empfiehlt sich ein lateraler oder anterolateraler Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) zur Reposition und Versorgung der begleitenden Hüftkopffraktur (s. unten). Auch bei begleitender Schenkelhalsfraktur kann ein transglutealer Zugang zur Reposition und anschließenden Osteosynthese mit kanülierten Schrauben genutzt werden (s. unten).

Unverschobene Schenkelhalsfrakturen sollten primär offen reponiert werden, denn bei geschlossenem Repositionsversuch könnten die Fraktur dislozieren und die den Hüftkopf versorgenden Gefäße zerrissen werden; eine Hüftkopfnekrose wäre die Folge. Dabei empfiehlt es sich, noch vor der offenen Reposition zumindest eine Schraube provisorisch zur Stabilisierung der unverschobenen Fraktur einzubringen, damit bei der anschließenden Reposition die Fraktur nicht abrutschen kann. Nach Reposition wird die Osteosynthese durch 2 weitere Schrauben, die idealerweise parallel zur ersten eingebracht werden sollten, endgültig stabilisiert.

Nachbehandlung

Nach konservativer Therapie

Die Mobilisierung sollte mit aktiven und passiven Bewegungsübungen erfolgen, wobei während der ersten 6 Wochen 90°-Hüftbeugung und 10°-Innenrotation nicht überschritten werden dürfen. Es gibt Autoren, welche die erlaubte Hüftbeugung während der ersten 6 Wochen auf <70° einschränken. Die Mobilisierung mit Krücken ist schulenabhängig (s. oben). Die Entlassung ist möglich, wenn der Patient weitgehend beschwerdefrei ist und mit Krücken gut zurechtkommt.

Das Procedere sieht eine ambulante Krankengymnastik vor. Eine Befundkontrolle ist vor Aufnahme der Vollbelastung nötig. Dynamische Sportarten sind erst dann möglich, wenn nach erreichter Vollbelastung die Muskulatur in vollem Umfang wiederaufgebaut ist. Eine Röntgenkontrolle nach einem Vierteljahr dient dazu, eine etwaige Hüftkopfnekrose rechtzeitig zu erkennen, denn dies hat evtl. therapeutische Konsequenzen (s. unten), wobei man bedenken muss, dass eine Hüftkopfnekrose auch noch viele Jahre nach einer derartigen Verletzung auftreten kann. Bei Verdacht auf Hüftkopfnekrose sollte eine Szintigrafie durchgeführt werden. Nachuntersuchungen sind wegen möglicher Spätschäden zumindest während der ersten beiden Jahre nach dem Unfall indiziert.

Nach operativer Therapie

Eine Mobilisierung ist innerhalb des intraoperativ ermittelten Bewegungsumfangs möglich, in dem die Hüfte stabil ist und keine

Reluxationstendenz zeigt. Generell gilt, dass bei der häufigeren dorsalen Luxation, bei der die posteriore Kapsel reißt, Sitzen und Innenrotation des Beins vermieden werden müssen; bei stattgehabter vorderer Luxation gilt dies für Überstreckung und Außenrotation. Das Vorgehen im Einzelnen muss der Operateur festlegen, weil er das Ausmaß der Stabilität bzw. Instabilität am besten einschätzen kann.

Die Mobilisierung mit Krücken wird schulenabhängig sehr unterschiedlich gehandhabt, sodass keine allgemeingültige Empfehlung gegeben werden kann. Einige Autoren lassen ihre Patienten lediglich 6 Wochen mit Krücken teilbelasten; andere Autoren erlauben während der ersten 8 Wochen nur Phantomgehen und die Vollbelastung, im Interesse der Knorpelregeneration, erst nach 12 Wochen.

Komplikationen und Prognose

Hüftkopfnekrosen treten in bis zu 17% der Fälle auf (Levin 1992). Die Ursache ist die Gefäßzerreißung im Moment der Luxation; außerdem spielt die Zeitspanne eine Rolle, während der die Hüfte luxiert war. Darum wird allenthalben die möglichst rasche, notfallmäßige Reposition empfohlen. Hier gilt gemeinhin die 6-h-Grenze.

Posttraumatische Arthrosen treten bei bloßer ligamentärer Verletzung in etwa einem Fünftel der Fälle auf (Levin 1992). Bei unbehandelter begleitender Acetabulumfraktur werden fast alle Patienten davon betroffen.

Reluxationen sind sehr selten. In der Literatur wird über vereinzelte Fälle berichtet (Levin 1992).

Übersehene Luxationen gibt es immer wieder bei polytraumatisierten Patienten, wenn das Becken nicht routinemäßig geröntgt wurde. Dann drohen Hüftkopfnekrose, Ischiadikusläsion und Arthrose. Für die übersehene Luxation gibt es keine einheitliche Therapieempfehlung. Manche Unfallchirurgen reponieren sie offen, andere extendieren sie, wieder andere kombinieren konservative und operative Therapie.

Ischiadikusläsionen begleiten Luxationen in bis zu 20% der Fälle (Levin 1992). Die Wahrscheinlichkeit einer kompletten Remission liegt zwischen 30–40%. 3 Wochen nach dem Trauma sollte ein elektromyografischer Ausgangsbefund erhoben werden.

In der Literatur sind mehrere Fälle beschrieben, bei denen durch geschlossene Reposition eine Schenkelhalsfraktur entstand; dabei kann es sich um vorbestehende unverschobene (und deshalb übersehene) Brüche gehandelt haben.

Als Operationsrisiken sind die Infektion (laut Literatur 3–5%), die Ischiadikusläsion (bis zu 10%), die heterotope Ossifikation und die Thromboembolie zu nennen.

9.2.2 Hüftkopffrakturen

Ätiologie

Frakturen des überknorpelten Hüftkopfs entstehen bei Hüftluxationen oder Acetabulumfrakturen (s. oben) häufig im Rahmen von Armaturenbrettanprallverletzungen. Insgesamt handelt es sich um eine sehr seltene Verletzung. Das klinische Erscheinungsbild entspricht dem der Hüftluxation (s. oben). Das gilt auch für das diagnostische Vorgehen. Bis in die 1990er Jahre hinein wurden diese Frakturen noch in einem großen Prozentsatz übersehen (Moed u. Maxey 1993). Heutzutage dürfte dieses Problem weitgehend überwunden sein, denn die CT als Diagnostikum der Wahl steht mittlerweile flächendeckend zur Verfügung.

Klassifikation

Einteilung nach Pipkin (1957; ◘ Abb. 9.9):

- **Typ I:** Hüftluxation mit Hüftkopffraktur kaudal der Fovea capitis femoris (somit außerhalb der Belastungszone)
- **Typ II:** Hüftluxation mit Hüftkopffraktur kranial der Fovea capitis femoris (somit innerhalb der Belastungszone)
- **Typ III:** Typ-I- oder -II-Verletzung mit begleitender Schenkelhalsfraktur
- **Typ IV:** Typ-I- oder -II-Verletzung mit begleitender Acetabulumfraktur

Dazu kommen die bloßen Impressionen am Hüftkopf.

Die Häufigkeit verteilt sich mit jeweils etwa einem Drittel relativ gleichmäßig auf die Typen I, II und IV. Deutlich seltener sind Typ-III-Frakturen (Lederer et al. 2007).

Therapie

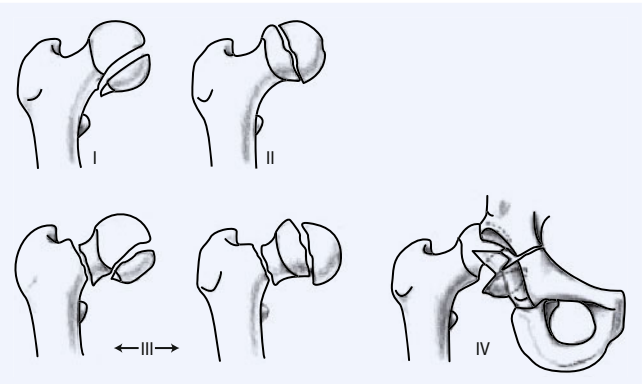
Typ-I-Verletzung

Zunächst wird die luxierte Hüfte reponiert wie im ▶ Abschnitt 9.2.1, Hüftluxation dargestellt, dann schließen sich eine Stabilitätsprüfung und die eingehende Röntgendiagnostik mit Beckenübersichtaufnahme und CT an.

Bei guter Stellung des Fragments kann konservativ behandelt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Dislokation nur gering ist. Eine geringe Verschiebung ist tolerabel, weil das Fragment außerhalb der Belastungszone liegt. In Abhängigkeit von den Beschwerden kann der Patient mit 15 kg Teilbelastung mobilisiert werden. Zunächst sind engmaschige Röntgenkontrollen notwendig, um eine etwaige zunehmende Dislokation rechtzeitig zu erkennen.

Die Indikation zum operativen Vorgehen ergibt sich bei Dislokation des Hüftkopffragments um >1 mm. Spezielle Risiken des Eingriffs sind verbleibende Instabilität, Hüftkopfnekrose, ektopische Ossifikation, Ischiadikusschädigung und Arthrose.

Abhängig von der Fragmentlokalisation geht man iliofemoral nach Smith-Peterson oder posterior nach Kocher-Langenbeck vor (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Wenn der Patient in Seitenlage versorgt wird, bleibt die Möglichkeit, zusätzlich von ventral oder dorsal her einzugehen, falls man nicht an das Hüftkopffragment herankommt. Das Fragment wird mit ein bis zwei 3,5 oder 2,7 mm starken Kleinfragmentschrauben fixiert. Neuerdings finden auch Herbert-Schrauben Verwendung. Letztere bieten sich an, weil die Schraubenköpfe ausreichend tief subchondral versenkt werden müssen. Begleitende Impressionen sollen gehoben und mit autologer Spongiosa unterfüttert werden. Es kommt vor, dass sich der



◘ **Abb. 9.9** Pipkin-Klassifikation. (Aus: Lederer et al. 2007)

Operateur dafür entscheidet, das Hüftkopffragment unfixiert zu lassen; dann kann postoperativ eine 4- bis 6-wöchige Extensionsbehandlung notwendig werden. Kleine oder stark zertrümmerte Fragmente können u.U. gar nicht mehr refixiert und müssen dann entfernt werden. Dies ist insbesondere dann unproblematisch, wenn sie außerhalb der Belastungszone liegen.

Laut Lederer und Mitarbeiter (2007) dürfen kleinere Fragmente, die außerhalb der Hauptbelastungszone liegen, auch dann belassen bleiben, wenn sie nicht optimal stehen. Stärker dislozierte Fragmente sollten je nach Lage operativ fixiert oder entfernt werden, wobei die arthroskopische Exstirpation eine schonende und wenig invasive Alternative zu den großen Zugängen darstellt (▶ Abschnitt 9.2.4, Hüftarthroskopie).

Typ-II-Verletzung

Die Therapie ist identisch mit der für die Typ-I-Verletzung beschriebenen, mit der Einschränkung, dass nur eine absolut anatomische Stellung im Bereich der Belastungszone des Hüftkopfs akzeptabel und somit der konservativen Therapie zugänglich ist. Initial muss engmaschig röntgenologisch kontrolliert werden, wiederum um eine etwaig eintretende Fragmentverschiebung rechtzeitig zu erkennen. Ist ein operatives Vorgehen indiziert, geschieht dies meist über einen iliofemoralen Zugang nach Smith-Peterson (▶ Kap. 21, Standardzugänge) wie oben beschrieben.

Typ-III-Verletzung

Bei jeder Typ-III-Verletzung junger Patienten, die biologisch nicht älter als 65 Jahre sind, ist ein hüftkopferhaltendes Vorgehen indiziert, trotz der hohen Wahrscheinlichkeit einer folgenden avaskulären Hüftkopfnekrose. Ältere Patienten erhalten gleich einen endoprothetischen Ersatz der Hüfte. Für das hüftkopferhaltenden Vorgehen beim jungen Patienten besteht eine Notfallindikation, da die Durchblutung des Hüftkopfs gefährdet ist.

Spezielles Risiko, neben den übrigen Risiken, die im Abschnitt Typ-I-Verletzung (s. oben) aufgeführt sind, ist die hohe Gefahr der avaskulären Hüftkopfnekrose, da die Blutzufuhr gleich an zwei kritischen Stellen unterbrochen werden kann.

Für das operative Vorgehen kann der laterale Zugang nach Watson-Jones gewählt werden (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Vor dem Versuch, die luxierte Hüfte zu reponieren, sollte man, wie bereits oben erwähnt, zumindest eine Schraube setzen, damit bei der Reposition die Fraktur nicht aufklafft und weitere Gefäßschäden eintreten. Die abschließende Stabilisierung der Schenkelhalsfraktur wird, wie im ▶ Abschnitt 9.3.1 zu diesem Thema dargestellt, mit kanülierten Schrauben oder einer DHS vorgenommen. Die Versorgung einer begleitenden Hüftkopffraktur wurde bereits oben beschrieben.

Typ-IV-Verletzung

Die Behandlung richtet sich nach den Kriterien der Acetabulumfraktur (▶ Kap. 8, Becken). Beim operativen Vorgehen am Acetabulum wird die Pipkin-Verletzung mitbehandelt. Frakturen, die nicht rekonstruierbar sind, müssen u.U. in einer Extension zur Konsolidierung gebracht und sekundär mit einer Totalendoprothese des Hüftgelenks versorgt werden.

Nachbehandlung

In aller Regel wird eine Teilbelastung mit 15 kg Körpergewicht für 6–12 Wochen eingehalten werden müssen. Bei stattgehabter dorsaler Luxation sollen Hüftbeugung und Innenrotation des Beins, bei ventraler die Außenrotation limitiert werden. Eine Vollbelastung kann in der Regel nach 12 Wochen erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt sollte zum Ausschluss einer beginnenden Hüftkopfnekrose eine Szintigrafie durchgeführt werden. Schrauben im Schenkelhals werden nach 1 Jahr entfernt. Kleinfragmentschrauben im Hüftkopf und Implantate im Acetabulum können belassen bleiben. Dynamische Sportarten sind erst erlaubt, wenn die Muskulatur komplett wieder aufgebaut ist.

Komplikationen und Prognose

Eine verbleibende Instabilität tritt am häufigsten auf, wenn Hüftkopffragmente entfernt wurden, insbesondere in Kombination mit nicht refixierten oder exzidierten hinteren Pfannenrandfragmenten. Wegen drohender Arthrose ist eine Pfannenrandplastik mittels Beckenkamm-Transplantat indiziert (Levin 1992).

Wundinfektionen sind wegen der guten Weichteildeckung selten, wenn sie aber auftreten, sind sie aus diesem Grund nur schwer erkennbar. Entscheidend für den weiteren Verlauf ist es, die Infektion rechtzeitig nachzuweisen – am besten durch eine durchleuchtungsgezielte Gelenkpunktion und Kontrolle der Entzündungsparameter im Blut.

Heterotope Ossifikationen entstehen insbesondere bei begleitender Acetabulumfraktur. Die Knochenmassen dürfen erst dann exzidiert werden, wenn sich die Serumwerte der alkalischen Phosphatase normalisiert haben und die Aktivität im Szintigramm abnimmt, was jedoch spätestens nach 1,5 Jahren der Fall ist.

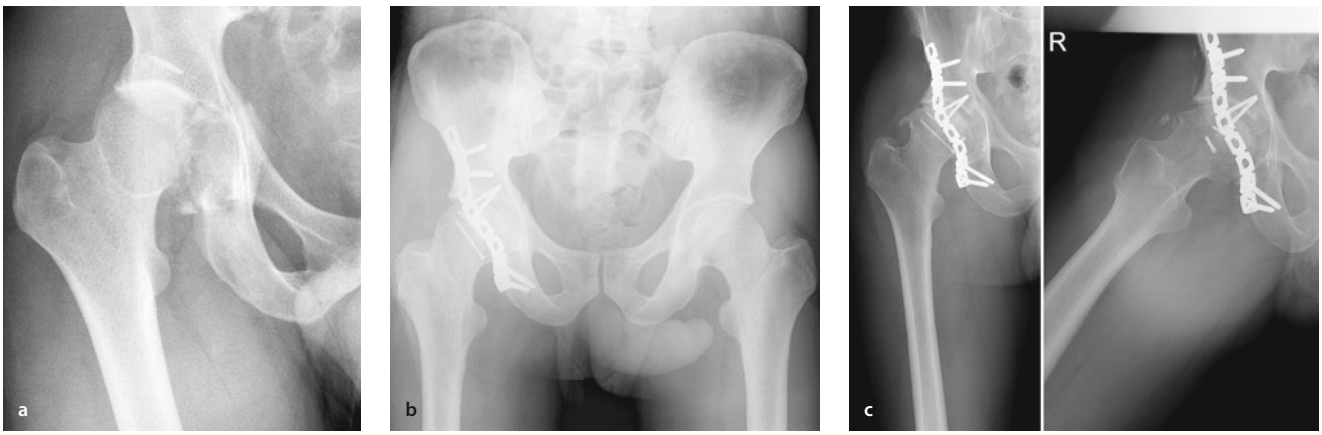


Abb. 9.10a–c Pipkin-IV-Fraktur eines 29-Jährigen nach Motorradsturz mit Erstversorgung im Ausland. Zuverlegung nach 3 Tagen. **a** Unfallbild. **b** Postoperative Beckenübersichtsaufnahme. **c** Nach 3 Jahren deutliche Arthrose mit unregelmäßiger Kontur des Hüftkopfs und Pfannendachsklerose. (Aus: Lederer et al. 2007)

Ischiadikusläsionen treten meist nach verzögerter Reposition bestehender Hüftluxationen auf. Ein elektromyografischer Ausgangsbefund soll 3 Wochen nach dem Trauma erhoben werden. Die Patienten brauchen zur Spitzfußprophylaxe und als Gehhilfe eine Peroneusschiene.

Hüftkopfnekrosen entstehen um so eher, je länger die Hüfte luxiert war, oder wenn Hüftkopffrakturen die Luxation begleiten. Umstellungsosteotomien oder eine Revaskularisierung mittels gefäßgestieltem Beckenkammspan (Eisenschenk et al. 2001) sind denkbare Alternativen zur ultima ratio, der Endoprothese.

Arthrosen entwickeln sich in fast allen Fällen vorderer Hüftluxationen sowie nach Typ-III-Verletzungen und in der Hälfte aller Typ-II- und -IV-Verletzungen. Der endoprothetische Gelenkersatz wird bei jungen Patienten so lange wie möglich hinausgezögert (Abb. 9.10).

Insgesamt gibt es nur wenig Literatur mit geringen Fallzahlen zu diesen seltenen Verletzungen. Lederer et al (2007) konnten in einer multizentrischen Studie ein vergleichsweise großes Kollektiv mit 51 Hüftkopffrakturen bei 46 Patienten retrospektiv erfassen und nachuntersuchen. Nur 9% der Patienten waren konservativ behandelt worden, alle anderen operativ. An Osteosynthesematerial wurden sowohl Herbert-Schrauben als auch Kleinfragmentspongiosaschrauben mit kurzem Gewinde sowie resorbierbare Schrauben verwendet. Letztere haben den Vorteil, dass sie anmodelliert werden können und die postoperative Bildgebung nicht stören.

9.2.3 Femoroacetabuläres Impingement

M. Leunig und R. Ganz

Jüngere Erkenntnisse über die Entstehung der Koxarthrose haben zu neuen therapeutischen Ansätzen in der Hüftchirurgie geführt mit dem Ziel, das freie Gelenkspiel bzw. die Clearance vor Impingement zu erweitern, wobei der Erfolg solcher Maßnahmen natürlich wesentlich vom Ausmaß der bereits eingetretenen Knorpelzerstörung abhängt. Das bedeutet, dass der Operationszeitpunkt möglichst früh gewählt werden muss und »praktisch kein Platz besteht für konservative Therapieversuche dieses bewegungsmechanischen Problems« (Ganz 2005).

Terminologie

Ein femororacetabuläres Impingement (FAI) ist der pathologische, mehrheitlich intrakapsuläre Kontakt zwischen Acetabulum und proximalem Femur beim endgradigen Bewegungsausschlag.

Ätiologie

Der Arthrose liegen genetische, immunologische und v.a. auch mechanische Faktoren zugrunde. Nach bisheriger Ansicht führt die überhöhte Belastung pro Flächeneinheit zur frühen Knorpelabnutzung in der Tiefe des Gelenks, wobei sowohl der Knorpel des Hüftkopfs als auch der der Pfanne betroffen sind. Nach neuesten Erkenntnissen lösen angeborene oder erworbene Deformitäten bereits bei Bewegungen des Alltags ein Impingement im Randbereich des Gelenks aus. Ein asphärischer Hüftkopf (pistol grip deformity) oder eine Retroversion des Kopfs (retrotilt) verursachen ein Cam-Impingement, eine Coxa profunda mit verstärkter knöcherner Überdachung des Hüftkopfs ein Pincer-Impingement (s. unten Klassifikation). Die Prävalenz solcher, FAI-induzierender morphologischer Veränderungen beträgt schätzungsweise 10–15%. Seit den 1990er Jahren wurden viele Erfahrungen bei offenen Hüftgelenkeingriffen gesammelt und es wurden dabei überzeugende Hinweise dafür gefunden, dass vielen so genannten idiopathischen Arthrosen tatsächlich eine angeborene oder erworbene Deformität zugrunde lag, die zu einem FAI führt (Leunig u. Ganz 2005). Dabei wird der Gelenkrand durch direkten Anschlag oder der randnahe Pfannenknorpel durch die bei der Bewegung ausgelösten Scherkräfte geschädigt. Die fehlende Taillierung oder sogar Ausbuchtung der subkapitalen Region tritt bei der Hüftbeugung ins Gelenk ein und abradiert den Knorpel von der Unterfläche des Labrum und dessen knöcherner Basis – deswegen die Bezeichnung Cam-Effekt (cam = Nocken; camshaft = Nockenwelle). Die Schmerzen werden durch das zunehmend mobil werdende Labrum ausgelöst, zu dem nozirezeptive Fasern führen. Ein FAI ist aber auch möglich, wenn bei normalen oder nahezu normalen anatomischen Verhältnissen ständig eine supraphysiologische Beweglichkeit abgerufen wird, z.B. von Balletttänzern.

Klinik

Die Symptomatik mit Leistenschmerzen entwickelt sich meist langsam und intermittierend. Die Patienten bringen diese häufig mit einem stattgehabten Bagatelltrauma in Zusammenhang. Meist liegt eine lange Anamnese mit uncharakteristischen »Muskelschmerzen« und »Adduktorenproblemen« vor. Neben den Leistenbeschwerden bestehen Schmerzen im Bereich der Adduktoren und/oder des Trochanters bei eingeschränkter Innenrotierbarkeit des Beins bei adduzierter und flektierter Hüfte. Die Bewegungseinschränkung ist bei Männern meist stärker ausgeprägt als bei Frauen.

Beim kraniomedialen FAI bestehen Leistenschmerzen, die durch Impingement-Tests provozierbar sind (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Bei den Tests liegt der Patient auf dem Rücken auf einer Untersuchungsliege. Dann wird das betroffene Bein in eine 90° Hüftbeugung gebracht und anschließend ruckartig innenrotiert. Dies führt zu einem Anschlagen des Schenkelhalses am Pfannenrand. Die Schmerzen werden vornehmlich in der Leiste, aber auch über dem Trochanter wahrgenommen und werden verstärkt durch zusätzliche Adduktion des Beins.

Das dorsokaudale FAI prüft man am herabhängenden Bein bei überstreckter Hüfte. Dazu muss sich der Patient so auf den Untersuchungstisch legen, dass seine Beine über das Tischende hinausragen. Das Bein der Gegenseite beugt der Patient in Hüfte und Knie maximal an und hält es mit beiden Händen vor dem Körper fest. Der Untersucher fasst das frei herabhängende Bein und dreht es bei voller Hüftstreckung in eine forcierte Außenrotation. Wenn der dorsale Pfannenrand übersteht und mit dem Schenkelhals Kontakt bekommt, ist die Außenrotierbarkeit des Beins eingeschränkt oder es lässt sich ein Impingement-Schmerz auslösen. Die Schmerzen werden ebenfalls in der Leiste wahrgenommen, aber tiefer als beim kraniomedialen Impingement.

Beim kraniomedialen FAI ist die Innenrotation in Flexion und Adduktion schmerzhaft, beim dorsokaudalen FAI die Außenrotation in voller Extension.

Diagnostik

Als **Standardröntgen** werden zunächst eine Beckenübersicht und die Hüfte axial aufgenommen. Beim FAI fehlen zunächst die klassischen radiologischen Zeichen der Koxarthrose wie Gelenkspaltverschmälerung, Osteophyten Sklerosierungen und subchondrale Zysten. Dafür findet man charakteristische morphologische Veränderungen (Leunig u. Ganz 2005):

- Am Acetabulum spricht man von einer vermehrten Überdachung oder Coxa profunda spricht man, wenn die mediale Begrenzung der Fossa acetabuli medial der ilioischiadischen Linie liegt (Abb. 9.11).

- Kraniale Pfannenrand-Ossikel (Os acetabuli) sind Ermüdungsbrüche.
- Eine Protrusio liegt vor, wenn der mediale Rand des Hüftkopfs die iliochiatische Linie tangiert oder überschreitet.
- Bei der Coxa profunda und der Protrusio findet sich häufig ein horizontales bis negativ gestürztes Pfannendach.
- Eine lokalisiert vermehrte Überdachung findet sich am häufigsten ventral, meist verbunden mit einer Retroversion. Dabei überschneiden sich die Projektionslinien des ventralen und dorsalen Pfannenrandes. Man spricht dann vom so genannten cross-over-sign. Die typischen Linien der Beckenknochengrenzen im a.p.-Strahlengang sind in der Abb. 9.11 dargestellt.
- Bei der so genannten Labrumossifikation ist der hintere oder gesamte Pfannenrand in der Anfangsphase als Doppelkontur sichtbar, später durchgängig prominent. Eigentlich handelt es sich um eine knöcherne Apposition des Randes, der das Labrum vor sich herschiebt.
- Beckenübersichtsaufnahmen mit einem mehrere Zentimeter großen Abstand der Steißbeinspitze von der Symphyse sind in eine Inlet-Projektion verkippt. Dadurch erscheint die ventrale Überdachung vermehrt und kann eine Pfannenretroversion vortäuschen.
- Wenn sich die Steißbeinspitze hingegen auf die Symphyse projiziert, liegt eine Outlet-Tendenz vor, wodurch die ventrale Überdachung reduziert erscheint.
- Seitlich verdrehte Beckenübersichten erkennt man daran, dass die Steißbeinspitze nicht auf die Mitte der Symphyse zentriert ist.

Femoral kann man im a.p.-Bild eine Kopfentrundung erkennen, die den Namen Pistol-grip-Deformität erhielt. Viel häufiger liegt aber die Deformität weiter ventral und entzieht sich damit der Diagnostik im a.p.-Bild. Zur genauen Beurteilung des proximalen Femurs bedarf es deshalb weiterer Projektionen, am besten einer innenrotierten Cross-table-Aufnahme oder einer modifizierten Dunn-Aufnahme in Flexion. Darauf lassen sich epiphysäre Anbauten oder ein fehlendes Offset des Kopf-Hals-Übergangs erkennen.

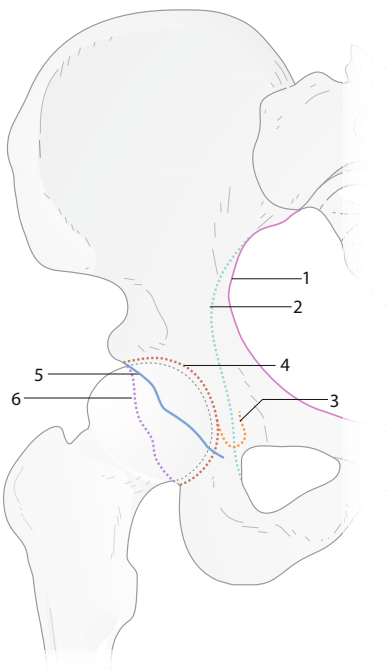


Abb. 9.11 Die typischen Linien der Beckenknochengrenzen im a.p.-Strahlengang im Bereich der Hüftpfanne: *1* Linea iliopectinea, *2* Linea ilioischiadica, *3* Köhler Tränenfigur (Pfannengrundquerschnitt), *4* Pfannendach, *5* ventraler Pfannenrand, *6* dorsaler Pfannenrand. (Aus: Grifka, Kuster 2011)

Sowohl auf der Beckenübersicht als auch in den seitlichen Projektionen finden sich bei etwa einem Drittel aller Patienten mit FAI fibrozystische Veränderungen, die radiologisch als erbsgroße Osteolysen, umgeben von einem sklerotischen Saum, imponieren (impingement-pits). Sie liegen im Epizentrum des femoralen Impingements.

Alle Patienten mit FAI sollten ein **Kernspinarthrogramm** der Hüfte (und nicht des Beckens!) mit Kontrastmittel erhalten, um alle Ursachen für ein Impingement, aber auch die bereits vorhandenen Schäden an Pfannenrand und am acetabulärem Knorpel erfassen zu können. Sphärizität und Offset des proximalen Femur können beurteilt werden. Korrespondierend zu strukturellen Labrum- und Knorpelläsionen zeigen sich kortikale Hypertrophien oder fibrozystische Veränderungen am Schenkelhals. Knorpelläsionen können sich durch eine inhomogene Signalintensität darstellen oder indirekt durch die Migration des Hüftkopfs aus einer kongruenten Position in den Defekt hinein. Entsprechend resultiert eine dorsokaudale Gelenklücke. Knochenanbauten des Pfannenrandes, die das Labrum vor sich her schieben und ausdünnen, sind ebenso erkennbar wie Ganglien im und um das Labrum.

Klassifikation

Acetabuläre Form

Das Beißzangen-(pincer-)FAI ist das Resultat eines linearen Kontakts des Kopf-Hals-Übergangs mit dem Pfannenrand. Man findet es bei fehlorientierten oder zu tiefen Pfannen. Dabei kann die Morphologie des Kopf-Hals-Übergangs normal sein. Die erste Struktur, die durch das Impingement geschädigt wird, ist das Labrum. Später folgt der acetabuläre Knorpel. Zusätzlich hebelt der Kopf-Hals-Übergang am Ort des FAI, wodurch dorsokaudal eine Contre-coup-Knorpelläsion entsteht. Im Anschlagsbereich degeneriert das Labrum. Eine Knochenapposition des Pfannenrandes führt zu einer weiteren Vertiefung des Acetabulums sowie Ausdünnung des Labrums. Eine Verkürzung der Schrittlänge oder Nachtschmerzen, die sich beim Schlafen auf dem Rücken einstellen, weisen auf ein posteroinferiores FAI hin.

Femorale Form

Das Nockenwellen-(cam-)FAI wird durch eine unzureichende Taillierung des Kopf-Hals-Übergangs verursacht. Dadurch wird der Radius des Hüftkopfs peripher größer statt kleiner, und dies führt wiederum dazu, dass bei Beugung und Innenrotation dieser aspärische Bereich in die Pfanne gepresst wird und der randständige Pfannenknorpel starken Scherkräften ausgesetzt wird. Dies induziert eine subchondrale Ablösung des acetabulären Knorpels von außen nach innen mit einer zunehmenden Rissbildung zwischen Labrum und Knorpel. Das Labrum selbst degeneriert erst sekundär. Längeres tiefes Sitzen, z.B. im Auto oder auf einem Sofa, führt zur Schmerzverstärkung.

Das acetabuläre Pincer-FAI findet sich vorwiegend bei 30- bis 40-jährigen Frauen, das femorale Cam-FAI bei 20- bis 30-jährigen Männern. Meist handelt es sich um Frauen mit hohem Bewegungsanspruch und um athletische Männer. Aktive Sportler mit prädisponierenden Hüftmorphologien werden früher symptomatisch als weniger aktive Menschen (Leunig u. Ganz 2005).

Therapie

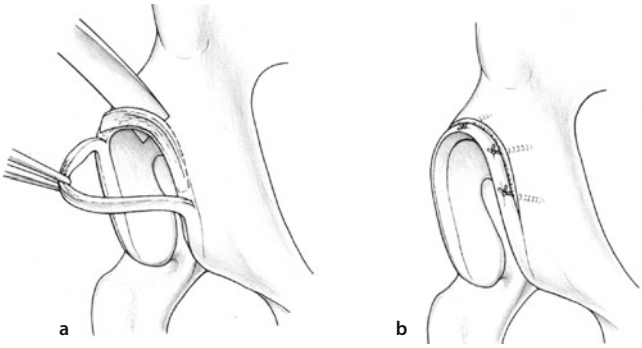
Die meisten Patienten haben mehrere vergebliche Versuche konservativer Therapien hinter sich, bevor die Diagnose gestellt und die kausale Therapie eingeleitet wird. Besonders Physiotherapie, die auf die Verbesserung der eingeschränkten Beweglichkeit ausgerichtet ist, verschlimmert die Beschwerden.

Wie bereits erwähnt, werden die Schmerzen des FAI durch das zunehmend mobil werdende Labrum ausgelöst. Dessen Resektion führt zwar zur Schmerzreduktion, aber nicht zum Stopp der Arthroseentwicklung. Die kausale Therapie besteht in der Beseitigung des Impingements und der Optimierung der Bewegungsfreiheit des Gelenks mit Refixation des für die Lubrikation des Gelenks so wichtigen Labrums. Dabei sollte bei den meist noch jungen Patienten die Therapie früh einsetzen, möglichst noch bevor Schäden am Knorpel aufgetreten sind.

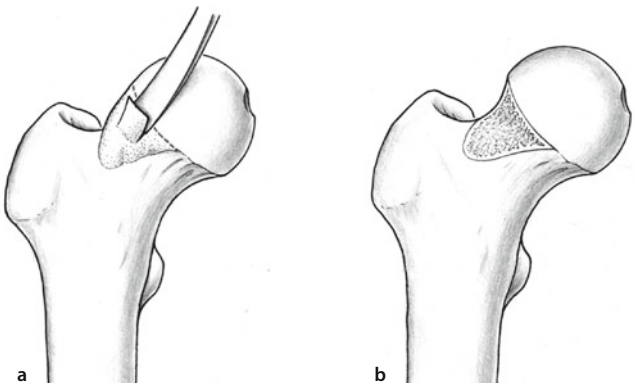
Zur Beurteilung und Korrektur des FAI hat sich die Technik der chirurgischen Luxation der Hüfte bewährt. Früher über einen Kocher-Langenbeck-Zugang, heute über einen den Gluteus maximus schonenden Gibson-Zugang (▶ Kap. 21, Standardzugänge) mit digastrischer Trochanterosteotomie ist eine nahezu zirkumferenzielle Einsicht von Hüftkopf und Pfanne möglich, ohne das Risiko eine avaskuläre Hüftkopfnekrose zu verursachen. Es erlaubt eine präzise und umfassende Erfassung und Behebung des FAI einschließlich der Labrumrefixation (Ganz et al. 2001).

Weniger invasive Techniken, wie limitierte anteriore Zugänge und die Hüftarthroskopie, eignen sich v.a. für das isolierte vordere Impingement (▶ Abschnitt 9.2.4, Hüftarthroskopie, ◘ Tab. 9.2).

Die Behandlung einer vorderen oberen Cam-Deformität ist arthroskopisch gut möglich (Dienst et al. 2001). Dorsal lokalisierte Pathologien und/oder langstreckige Labrumpathologien sind besser mit offenen Verfahren zu behandeln. Das Gleiche gilt für die globale vermehrte Überdachung einer Coxa profunda oder Protrusio und die lokale vermehrte Überdachung bei einer Pfannenretroversion.



◘ **Abb. 9.12a,b** Offene Korrektur des FAI. Schematische Darstellung der Pfannentrimmung (**a**) und der Refixation des Labrums am Pfannenrand (**b**). (Aus: Leunig u. Ganz 2005)



◘ **Abb. 9.13a,b** Offene Korrektur einer Cam-Deformität. **a** Schematische Darstellung der Modellierung der ventralen Ausziehung, bis eine sphärische Kopfform resultiert (**b**). (Aus: Leunig u. Ganz 2005)

◘ **Tab. 9.2** Sinnvolle Indikationen zur arthroskopischen und offenen Hüftchirurgie. (Modifiziert nach Kusma et al. 2008)

Indikationen	Arthroskopie	Offene/chirurgische Luxation
Freie Gelenkkörper	+++	Ggf. sehr große Körper
Labrum	Teilresektion/Resektion, ggf. Refixation (1–2 Anker)	Refixation über größere Strecke bei temporärer Ablösung (Pincer-FAI)
Gelenkknorpel	Abrasion/Mikrofrakturierung Diagnostik/ Gelenkstatus	Ggf. für Mosaikplastik Ggf. für autologe Chondrozytentransplantation
Läsion des Ligamentum capitis femoris	+++	-
Synoviale Erkrankungen	Synovitis Osteo-/Chondromatose Lokale, ggf. diffuse pigmentierte villonoduläre Synovialitis	Osteochondromkonglomerate Ggf. Chondromatose-Rezidiv Ggf. diffuse pigmentierte villonoduläre Synovialitis oder ihr Rezidiv
Femoroacetabuläres Impingement (FAI)	cam ventral/ventrolateral umschriebener anteriorer pincer	cam lateral globaler pincer Deformität proximales Femur
Infektiöse Arthritis	++, Etappen-Arthroskopie	?
Hüftkopfnekrose	? bis –	Stadienabhängig
Morbus Perthes	–	Umstellungsosteotomie

Wenn eine acetabuläre Retroversion vorliegt, der Knorpel im Kernspinarthrogramm noch intakt ist und der dorsale Pfannenrand medial des Kopfzentrums endet, besteht die Möglichkeit einer reversed periacetabulären Osteotomie (Siebenrock et al. 2003). Liegt der dorsale Pfannenrand aber lateral des Drehzentrums oder ist der Knorpel in der Hauptbelastungszone bereits geschädigt, ist weniger eine Umstellung und eher eine Reduktion des Pfannenrandes indiziert.

Das Labrum wird nur reseziert, wenn es verknöchert oder zu sehr degenerativ verändert ist. Wenn es technisch machbar ist, wird es wegen seiner Bedeutung für die Gelenkfunktion (Lubrikation, Druckverteilung, Nozizeption) möglichst erhalten. Dazu wird es scharf vom meist degenerierten knochennahen Bereich abgelöst und nach erfolgtem Débridement am ossären Pfannenrand refixiert (Lavigne et al. 2004). Die Refixation erfolgt mit Knochenankern (◘ Abb. 9.12), deren Fäden nicht in das Gelenk ragen dürfen. Wenn möglich, sollte bei der Pfannenrandresektion der geschädigte Pfannenknorpel mit entfernt werden. Allerdings darf dabei kein Überdachungsdefizit mit Gefahr einer Subluxation des Hüftkopfs resultieren. Aus diesen Gründen kann das geschädigte Knorpelareal nicht vollständig reseziert werden.

Bei großen Defekten bleibt allenfalls die Möglichkeit, gesunden Knorpel durch eine acetabuläre oder femorale Umstellungsosteotomie in die Hauptbelastungszone zu drehen.

Der aspärische Bereich des Hüftkopfs, der bei einer Cam-Deformität das FAI verursacht, weist in der Regel eine samtartige, rötliche Oberfläche auf, anhand derer seine Ausdehnung gut abgegrenzt werden kann. Der Bereich wird mit dünnen, gebogenen Meißeln abgetragen, sodass eine leicht konkav geformte Aussparung entsteht, die eine FAI-freie Beugung und Innenrotation von 30° ermöglicht (◘ Abb. 9.13). Diese Osteochondroplastik ist ventral und ventrolateral für die Kopfdurchblutung wenig gefährlich. Weiter lateral müssen jedoch die Eintrittsstellen der retinakulären Blutgefäße unbedingt geschont werden. Die erhaltene Kopfdurchblutung erkennt man an Blutungen im Bereich der spongiösen Resektionsfläche und der Fovea capitis femoris. Die Blutungen werden anschließend mit Wachs gestillt, um Adhäsionen mit der Kapsel zu verhindern. Beim Verschluss der Kapsel am Ende des Eingriffs muss man darauf achten, dass keine Spannung entsteht, die sich auf das Retinakulum übertragen und einen Perfusionsstopp verursachen kann.

9.2.4 Hüftarthroskopie

Diagnostik/Indikationsstellung

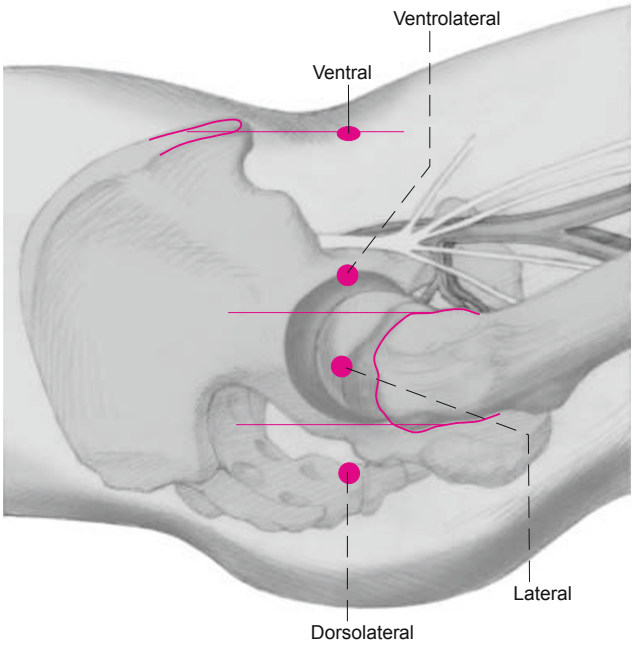
Für die Indikationsstellung ist die differenzialdiagnostische Trennung zwischen extra- und intraartikulären Pathologien wichtig. Schmerzauslöser im Bereich der Psoassehne, des M. piriformis und der Adduktoren lassen sich durch eine eingehende klinische Untersuchung (▶ Abschnitt 9.7.1, Weichteilverletzungen und -überlastungen) genauso gut abgrenzen wie eine Leisten- oder Schenkelhernie. Rückenschmerzen können in die Gluteal- oder Leistenregion ausstrahlen. Zur Differenzierung von Hüftschmerzen leistet in Zweifelsfällen die Infiltration des Gelenks mit einem Lokalanästhetikum wertvolle Hilfe. Bachelier et al. (2007) führen die Injektion unter Bildwandler durch, gehen ventrokaudal am Kopf-Hals-Übergang ein und instillieren 5–10 ml eines Lokalanästhetikums.

Zur Bildgebung werden generell eine Beckenübersichtsaufnahme und axiale Aufnahme in Cross-table- oder Lauenstein-Projektion herangezogen, womit sich bereits eine Vielzahl pathologischer Veränderungen erfassen lässt (s. oben, ▶ Abschnitt 9.2.3, Femoroacetabuläres Impingement). Im konventionellen MRT würden sich eine Nekrose, ein Tumor, Gelenkerguss oder subchondrales Ödem sowie Pfannenerker- oder Kopf-Hals-Zysten zeigen. Eine wirklich gute Darstellung von Knorpel, Labrum, Ligamentum capitis femoris und dem Kopf-Hals-Übergang und den Nachweis von Chondromen erhält man aber nur im Kernspinarthrogramm.

Die **Indikation für eine diagnostische Arthroskopie** besteht, wenn bei anhaltenden Gelenkbeschwerden und positivem Infiltrationstest in der Bildgebung kein pathologischer Befund erhoben werden konnte, denn kleinere freie Gelenkkörper oder ein rupturiertes Ligamentum capitis femoris sind auch auf einem guten Kernspinarthrogramm nicht immer zu erkennen. In solchen Fällen kann im Rahmen der Arthroskopie die Ursache gleich mitbehandelt werden.

Grundlagen/Technik

Bachelier und Mitarbeiter (2007) haben das Vorgehen bei der Arthroskopie des Hüftgelenks eingehend beschrieben. Das Verfahren ist durch die räumliche Enge im Gelenk technisch sehr anspruchsvoll und erfordert zudem spezielle, teils kanülierte und überlange Instrumente. Die kräftige Muskulatur, die dicke Gelenkkapsel, die zusätzliche »Abdichtung« des Gelenkspalts durch das Labrum und die Nähe zu großen neurovaskulären Strukturen erschweren das Vorgehen. Um den zentralen Gelenkbereich einsehen zu können bedarf es einer Traktion, während der periphere Gelenkbereich außerhalb des Labrums ohne diese Traktion bei frei beweglichem Bein besser einsehbar ist. Weil das Gelenk von einem dicken Weichteilmantel umgeben ist, reicht die Orientierung an anatomischen Landmarken zur Anlage der Zugangsportale nicht aus, sondern man braucht zusätzlich den Röntgenbildwandler, zumindest für die Anlage des ersten Portals (◘ Abb. 9.14). Die übrigen kann ein erfahrener Operateur auch unter arthroskopischer Sicht anlegen. Der zentrale Gelenkbereich kann über ein ventrales, ventrolaterales und dorsolaterales Portal nahezu vollständig eingesehen und instrumen-



◘ **Abb. 9.14** Portalzonen. Markieren der knöchernen Orientierungspunkte (Palpation), des femoralen Gefäß-Nerven-Bündels (Palpation) und der Schenkelhalslängsachse (Röntgenbildverstärker) mit einem Fettstift auf der Hautoberfläche. Unterteilung in ventrale, ventrolaterale, laterale und dorsolaterale Portalzonen. (Aus: Dienst et al. 2002)

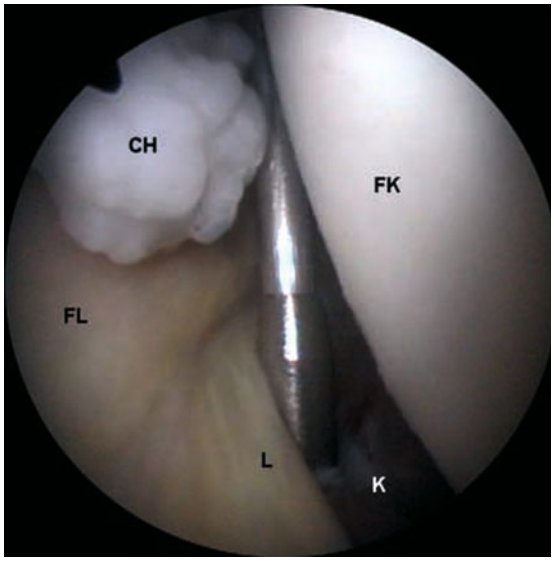


Abb. 9.15 Anlage des dorsolateralen Zweitportals unter arthroskopischer Kontrolle: Kapsel (*K*), dorsales Labrum (*L*), Facies lunata (*FL*), *CH* (Chondrom), Femurkopf (*FK*). (Aus Dienst et al. 2002)

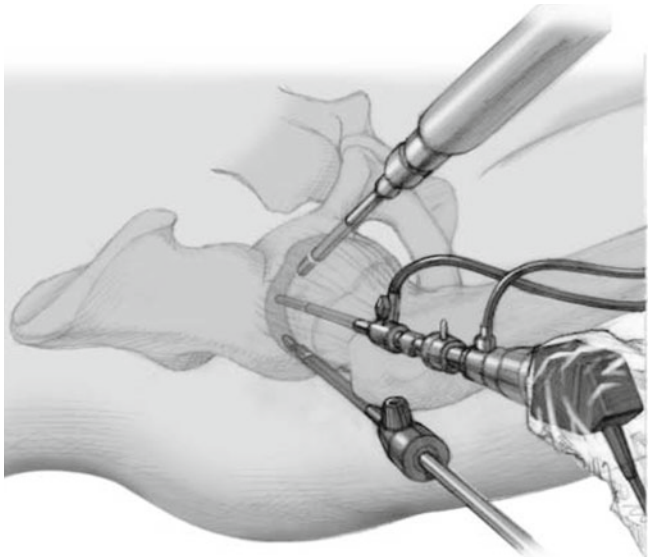
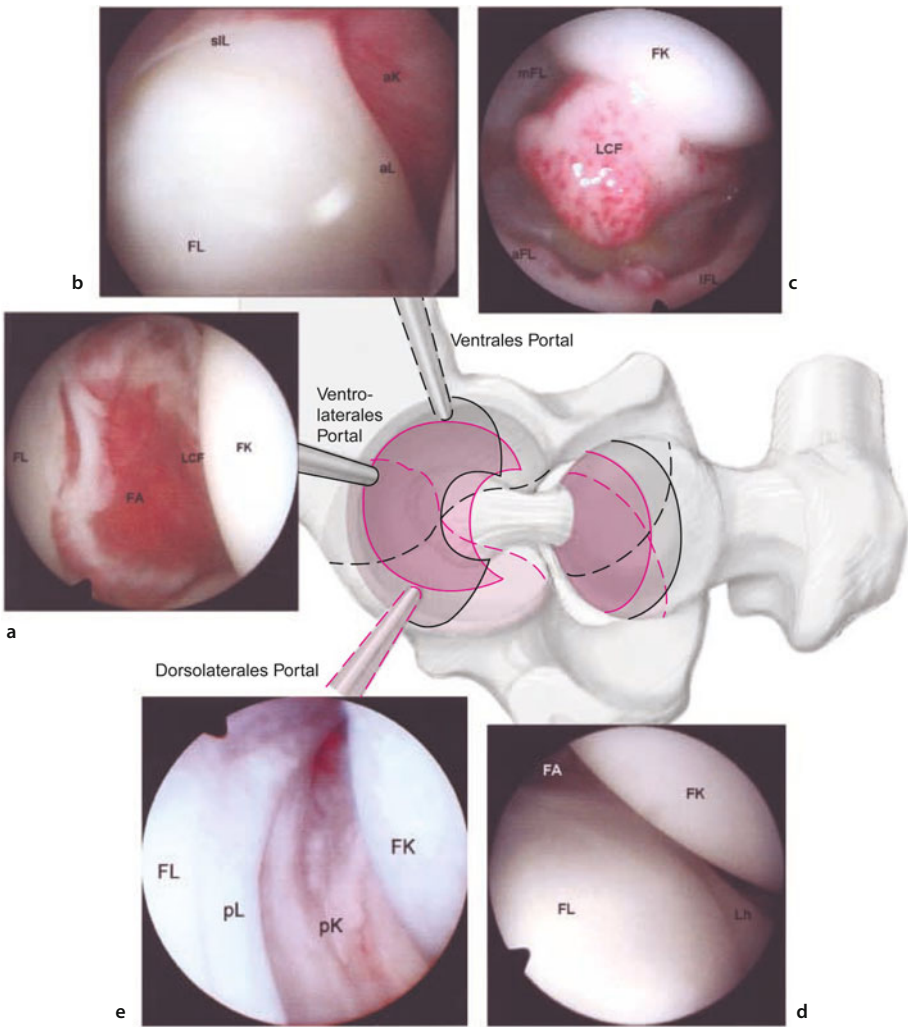


Abb. 9.16 3-Portal-Technik zur Arthroskopie des zentralen Gelenkbereichs. (Aus: Dienst et al. 2002)

Abb. 9.17a–e Diagnostischer Rundgang durch den zentralen Gelenkbereich mit der 30°- und 70°-Optik über alle 3 Portale. Weitgehend unabhängig vom Portal gestattet die 30°-Optik ausschließlich die Inspektion der Fossa acetabuli mit zentralem Belastungsbereich des Femurkopfs. Erst der Einsatz der 70°-Optik ermöglicht eine Inspektion der zirkulär an die Fossa angrenzenden Facies lunata, des Labrum acetabulare, des perilabralen Rezessus und der mehr peripheren Anteile des Femurkopfs. Das laterale oder ventrolaterale Portal gewährt in der Regel einen guten Einblick in den dorsalen peripheren Gelenkbereich. **a** Ventrolaterales Portal (30°-Optik): Fossa acetabuli (*FA*), umgeben von der Facies lunata (*FL*), einstrahlende Fasern aus dem Ligamentum capitis femoris (*LCF*), zentrale Belastungsfläche des Femurkopfs (*FK*). **b** Ventrolaterales/laterales Portal (70°-Optik nach ventral gedreht): ventrale Anteile der Facies lunata (*FL*) und des Labrum acetabulare (*aL*), superolaterales Labrum acetabulare (*slL*), ventrale Kapsel (*aK*). **c** Ventrales Portal (30°-Optik): Fossa acetabuli mit medialer (*mFL*), ventraler (*aFL*) und lateraler Facies lunata (*lFL*), Ligamentum capitis femoris (*LCF*) und Femurkopf (*FK*). **d** Dorsolaterales Portal (70°-Optik nach medial gedreht): Hinterhörner der Facies lunata (*FL*) und Labrum acetabulare (*Lh*), dorsale Anteile des Femurkopfs (*FK*) und kaudale Anteile der Fossa acetabuli (*FA*). **e** Ventrolaterales/laterales Portal (70°-Optik nach dorsal gedreht): dorsokaudale Anteile der Facies lunata (*FL*) und des Labrum acetabulare (*pL*) mit Blick in die periphere dorsale Region mit der dorsalen Gelenkkapsel (*pK*), Femurkopf (*FK*). (Aus Dienst et al. 2002)



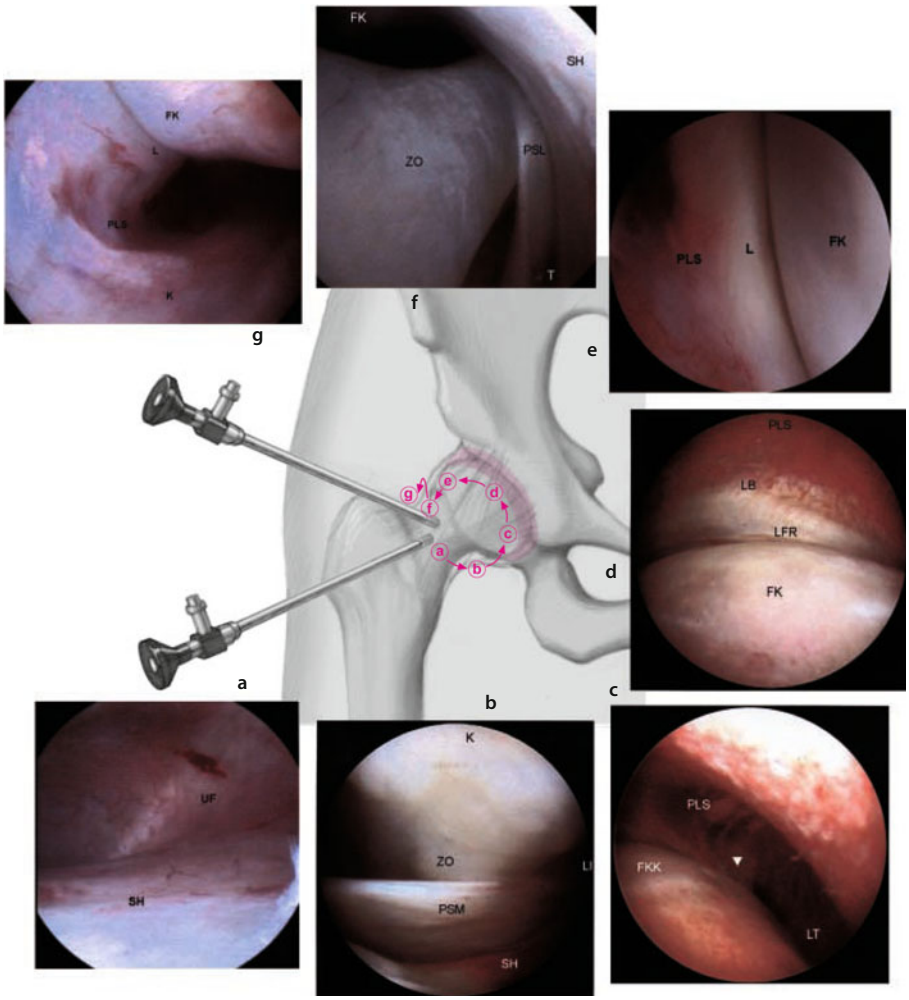


Abb. 9.18a–g Diagnostischer Rundgang durch den peripheren Gelenkbereich: Er findet über das ventrolaterale Erstportal unter Wechsel der 30°- und 70°-Optik statt. Ventrale, mediale und laterale Gelenkhöhle können so meist vollständig eingesehen werden. Die Inspektion der kleineren dorsalen Region ist ohne Traktion technisch anspruchsvoll. Nur bei weiter Gelenkhöhle gelingt es, lateral am Schenkelhals nach dorsal zu gleiten. Die Anlage eines weiteren Portals ist durch die Abdeckung des Trochanter major erschwert. Ergänzend muss in diesen Fällen über das laterale oder ventrolaterale Portal unter Gelenkdistraktion inspiziert werden. **a** Ventrale Schenkelhalsregion: ventraler Schenkelhals (*SH*) mit adhärenten ventralen Synovialfalten und Umschlagfalte (*UF*) auf Höhe der Linea intertrochanterica. **b** Mediale Schenkelhalsregion: periphere mediale Gelenkhöhle mit Schenkelhals (*SH*), kräftiger Plica synovialis medialis (*PSM*), Zona orbicularis (*ZO*) und ventromedialer Gelenkkapsel (*K*), Trochanter minor bzw. Linea intertrochanterica (*LI*). **c** Mediale Kopfregion: knorpelfreier und knorpelbedeckter Femurkopf (*FKK*), Labrumvorderhorn (*Pfeil*), perilabraler Sulkus (*PLS*) und Übergang zum Ligamentum transversum (*LT*). **d** Ventrale Kopfregion: Femurkopfknorpel (*FK*), freier Rand des Labrum acetabulare (*LFR*), Basis des Labrums (*LB*) und perilabraler Sulkus (*PLS*). **e** Laterale Kopfregion: Femurkopfknorpel (*FK*), laterales Labrum acetabulare (*L*) und perilabraler Sulkus (*PLS*). **f** Laterale Schenkelhalsregion: lateraler Anteil des Schenkelhalses (*SH*) und des Femurkopfs (*FK*), zarte Plica synovialis lateralis (*PSL*), die mit dem Schenkelhals typischerweise eine kleine Tasche bildet (*T*), und Zona orbicularis (*ZO*). **g** Dorsale Region: dorsale Flächen des Femurkopfs (*FK*) und Schenkelhalses, Labrum acetabulare (*L*), perilabraler Sulkus (*PLS*) und dorsale Kapsel (*K*). (Aus: Dienst et al. 2002)

tiert werden (Abb. 9.15, Abb. 9.16, Abb. 9.17). Abhängig von den anatomischen Bedingungen wird mit einer 30° oder 70°-Optik gearbeitet. In der Fossa acetabuli finden sich nicht selten pathologische Veränderungen, wie freie Gelenkkörper, Synovitiden oder ein rupturiertes Ligamentum capitis femoris. Für den peripheren Gelenkbereich verwendet man das ventrale und ein proximal ventrolaterales Portal (Abb. 9.18), um z.B. eine Cam-Deformität des Kopf-Hals-Übergangs zu rekonstruieren.

Therapeutische Arthroskopie

Freie Gelenkkörper finden sich nicht selten nach einem Anpralltrauma bei bestehender Koxarthrose, synovialer Chondromatose, Morbus Perthes oder Osteochondrosis dissecans. Sie sammeln sich bevorzugt dorsal und medial im peripheren Gelenkraum und sind oft von Schleimhautfalten bedeckt. Auch große Körper können entfernt werden, müssen aber aufgrund der beengten Platzverhältnisse dafür meist erst einmal im Gelenk zerkleinert werden.

Im Rahmen einer Luxation oder Distorsion können Labrumverletzungen entstehen. Häufig sind diese mit einer Knorpelabscherung oder Ruptur des Ligamentum capitis femoris kombiniert. Solche Verletzungen treten jedoch nur bei hoher kinetischer Energie auf. Beschwerden nach niedrigenergetischen Ereignissen sollten den Verdacht daher eher auf andere Pathologien lenken, wie femoroacetabluäres Impingement (FAI), sekundäre Deformitäten nach Epiphyseolyse, Morbus Perthes und Dysplasie.

Primär arthroskopisch gehen Bachelier et al. (2007) isolierte traumatische Labrumrupturen an, die teilreseziert, geglättet und ggf. mit Nahtankern refixiert werden können. Dagegen entscheidet

beim FAI die Lokalisation und Schwere der Veränderung über ein offenes oder geschlossenes Vorgehen. Bei der Dysplasie dient die diagnostische Arthroskopie der Planung einer periacetabulären Umstellung. Gerade bei der Hüftdysplasie ist der Erhalt der »letzten Leitplanke« des Gelenks wichtig, um die Überlastung des Knorpels zu reduzieren. Nicht selten lassen sich intra- und perilabrale Zysten und Verknöcherungen entlasten bzw. ausschälen, ohne das Labrum entfernen zu müssen. Die arthroskopische temporäre Labrumablösung und Refixation beim Pincer-FAI (▶ Abschnitt 9.2.3, Femoroacetabuläres Impingement) befindet sich in der Entwicklung.

Während das Ligamentum capitis femoris beim Kind noch für die Durchblutung des Hüftkopfs wichtig ist, hat es beim Erwachsenen vermutlich nur noch eine propriozeptive Funktion. Bei Verdacht auf eine partielle oder komplette Ruptur des Bandes ist dessen Resektion angezeigt.

Bei fortgeschrittenen Knorpelschäden mit deutlicher Gelenkspaltverschmälerung, Inkongruenz, Zystenbildung besteht keine Indikation zum Débridement. Sind diese Veränderungen jedoch nur moderat ausgeprägt, kann deren arthroskopische Therapie den Knorpelabbau verlangsamen und anhaltende Remissionen erzielen. Falls sich intraoperativ der Zustand des Gelenks jedoch viel schlechter erweisen sollte als angenommen, fällt es leichter die Indikation zur Endoprothetik zu stellen.

Für die Differenzialdiagnose rheumatoider Erkrankungen, die synoviale Chondromatose, die pigmentierte villonoduläre Synovitis und reaktive Synovitiden bietet sich die arthroskopische Biopsie und Zytologie an. Die Schleimhaut der Fossa actetabuli kann vollständig entfernt werden und auch im peripheren Gelenk sind ausgedehnte Synovektomien möglich.

Bei einer persistierenden Psoastendinitis kann eine Tenotomie indiziert sein. Diesen Eingriff führen Bachelier et al. (2007) arthroskopisch über den peripheren Gelenkanteil durch. Die Autoren stellen die Psoassehne über eine Inzision der ventromedialen Kapsel dar und durchtrennen sie anschließend gezielt.

Auch die akute septische Arthritis ist laut Angaben der Autoren eine gute Indikation für die arthroskopische Lavage und ein Débridement. Nach 2–3 Tagen folgt grundsätzlich eine Rearthroskopie.

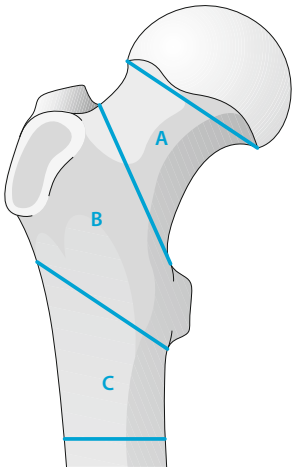
9.3 Proximales Femur

9.3.1 Schenkelhalsfrakturen

Definition, Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Definition

Alle Bruchverläufe, die zwischen Hüftkopf und Trochanteren liegen, werden unter dem Sammelbegriff »Schenkelhalsfrakturen« zusammengefasst, während man bei Frakturen im trochanteren Bereich von »proximalen Femurfrakturen« und knapp distal dieser Region von »subtrochanteren Femurfrakturen« spricht. Innerhalb der Schenkelhalsfrakturen unterscheiden manche Autoren zwischen medialer Fraktur mit hüftkopfnahem Bruchverlauf, intermediärer mit mittigem und lateraler in unmittelbarer Nähe zu den Trochanteren (◘ Abb. 9.19). (Allerdings ist diese Unterscheidung belanglos, weil sie keinen Einfluss auf die Wahl der Therapie hat. Diese ist vielmehr vom Bruchverlauf abhängig, Abschnitt Therapie).



◘ **Abb. 9.19** Schematische Darstellung der verschiedenen Regionen des koxalen Femurendes und der zugehörigen Frakturnomenklatur: Schenkelhalsfrakturen sind in Sektor A lokalisiert, proximale Femurfrakturen in B und subtrochantere in C

Ätiologie

Die Inzidenz der proximalen Femurfrakturen liegt in Deutschland bei 110–130 Fällen pro 100.000 Einwohner und Jahr (Becker et al. 2003). Die Behandlungskosten einer solchen Verletzung belaufen sich im ersten Jahr auf über 20.000 € (Pfeifer et al. 2001). Die Letalität während des stationären Aufenthalts beträgt 6% und innerhalb des ersten Jahres nach einer solchen Fraktur 30% (Schulze Raestrup et al. 2008).

Der seitliche Sturz auf die Hüfte ist die häufigste Ursache, wobei es bei biologisch jungen Patienten einer erheblichen Gewalteinwirkung bedarf. Dagegen erhöht sich mit zunehmendem Alter durch die abnehmende motorische Koordiniertheit, gepaart mit einer zunehmenden Osteoporose, die Gefahr, durch bloßen Sturz ohne zusätzliche Gewalteinwirkung einen Schenkelhalsbruch zu erleiden. Deshalb sind überwiegend geriatrische Patienten betroffen. Bei jungen Menschen handelt es sich meist um Zweiradstürze, Armaturenbrettverletzungen oder einen Sturz aus großer Höhe.

Klinik

Beweisend sind die Außenrotationsfehlstellung des gesamten Beins (Zug der Außenrotatoren) und eine Beinverkürzung (Zug der ischiokruralen Muskulatur und des M. rectus femoris). Schwellung, Klopf- und Bewegungsschmerz im Hüftbereich sowie Belastungsunfähigkeit des betroffenen Beins sind richtungsweisend; das Bein kann nicht von der Unterlage gehoben werden.

Manche Patienten projizieren ihre Beschwerden in den distalen Oberschenkel oder ins Kniegelenk; wird die Röntgendiagnostik auf diesen Bereich begrenzt, kann die proximal gelegene Fraktur übersehen werden.

Diagnostik

Es wird eine Beckenübersichtaufnahme (◘ Abb. 9.20) angefertigt und die betroffene Hüfte axial (Lauenstein-Aufnahme) zusätzlich geröntgt. Wenn der Schenkelhals nicht sicher beurteilbar ist, kann eine Zielaufnahme der Hüfte a.p. weiterhelfen oder die Bildwandleruntersuchung, ein CT oder die Szintigrafie, mit der sich spätestens 8 Tage nach einer eingetretenen knöchernen Verletzung ein gesteigerter Knochenstoffwechsel nachweisen lässt.

Klassifikation

Die bekanntesten Einteilungen sind die nach Garden und Pauwels. Die Einteilung nach Garden (Barnes et al. 1976) orientiert sich an der Stellung des Hüftkopffragments (◘ Abb. 9.21).

- **Garden I:** In Adduktion eingestauchte Fraktur (valgisch)
- **Garden II:** Nichtdislozierte Fraktur
- **Garden III:** Abduktionsfehlstellung (varisch)
- **Garden IV:** Starke Dislokation

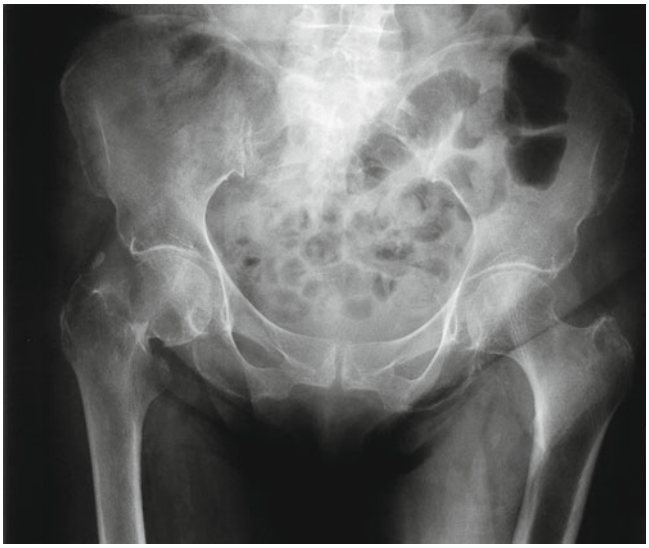


Abb. 9.20 Beckenübersichtaufnahme mit Schenkelhalsfraktur rechts

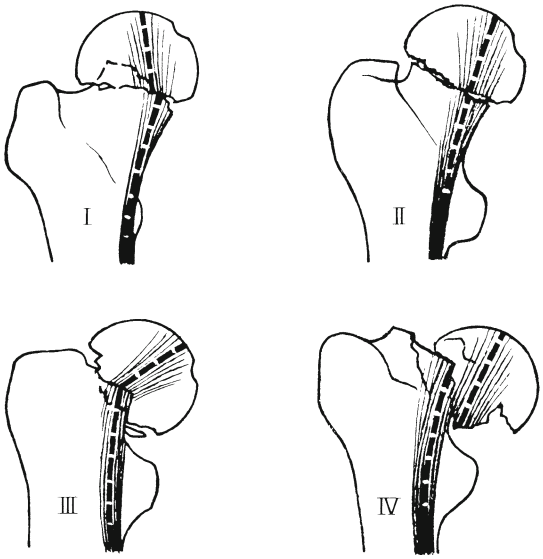


Abb. 9.21 Garden-Klassifikation. (Aus: Schatzker 1996)

Die Gefahr der Hüftkopfnekrose soll mit zunehmender Garden-Zahl von wenigen Prozent auf bis zu 40% ansteigen.

Die Einteilung nach Pauwels (1976) orientiert sich hingegen an der Neigung der Bruchfläche (Abb. 9.22):

- **Pauwels I:** Bruchfläche <30° zur Horizontalebene
- **Pauwels II:** Bruchfläche ca. 50° zur Horizontalebene
- **Pauwels III:** Bruchfläche >70° zur Horizontalebene

Die Gefahr der Pseudarthrosenbildung steigt mit zunehmender Pauwels-Zahl an.

Eine Frakturklassifikation ist nur dann sinnvoll, wenn sich aus ihr die jeweils am besten geeignete Therapie und Prognose ableiten lässt. Einen sehr schlüssigen Kommentar zur Wertigkeit der oben aufgeführten gängigsten Klassifikationen haben Raaymakers und Schafroth (2002) geschrieben. Demnach beruht die Garden-Einteilung auf der Annahme, dass mit zunehmender Dislokation die Kopfdurchblutung reduziert wird und das Risiko der Nekrose steigt

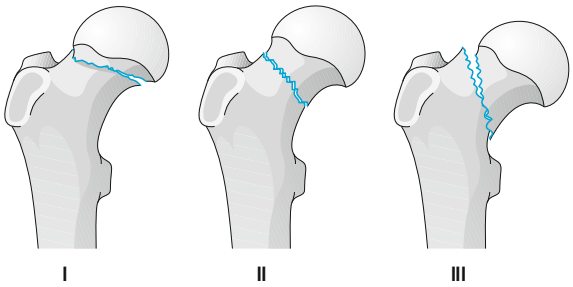


Abb. 9.22 Pauwels-Klassifikation

(Garden 1961). Allerdings ist es fraglich, ob es den Typ Garden-2 überhaupt gibt, denn der Autor hat nie die 2. Röntgenebene, also eine axiale Aufnahme, berücksichtigt. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass Frakturen, die in der a.p.-Ebene unverschoben stehen, in der axialen abgekippt sind. Was die Garden-4-Frakturen anbelangt, schreiben viele Autoren diesen das größte Kopfnekroserisiko zu, während Garden (1974) selbst nur 6% in dieser Gruppe gegenüber 18% in der Typ-3-Gruppe fand. Womöglich hängt dies mit der bekannten viel zu hohen Abweichung der Beurteilung unter verschiedenen Beobachtern zusammen (Interobservervariation). Frandsen et al. (1988) ließen 100 Röntgenbilder medialer Schenkelhalsfrakturen durch 3 Orthopäden, 2 Radiologen und 3 Assistenzärzte klassifizieren und erhielten nur in 22 Fällen Übereinstimmung. All dies schränkt die Brauchbarkeit der Garden-Klassifikation im klinischen Alltag erheblich ein.

Pauwels (1935) hingegen unterscheidet zwischen den eingestauchten (Typ-1) und den dislozierten Frakturen und unter den dislozierten zwischen solchen mit eher flacherem (Typ-2) und solchen mit steilerem Bruchverlauf (Typ-3). Diese Einteilung macht Sinn, weil es für die 3 unterschiedlichen Bruchtypen auch 3 unterschiedliche therapeutische Ansätze gibt (s. unten). Allerdings lassen sich die Pauwels-2- von den -3-Frakturen häufig erst nach erfolgter Reposition auf dem Extensionstisch im Operationssaal sicher abgrenzen, weil das Bein auf den Unfallröntgenaufnahmen in der Regel in Außenrotation fehlsteht und die Steilheit des Bruchverlaufs am distalen Hauptfragment nicht orthograd getroffen wird und damit häufig nicht ausreichend beurteilbar ist.

Therapie

Physiologische Grundlagen

Mediale und intermediäre Schenkelhalsfrakturen sind intrakapsuläre Frakturen, da fast der gesamte Schenkelhals von der Hüftgelenkkapsel umhüllt ist, die vom Acetabulum zu den Trochanteren zieht. Der Hüftkopf wird zu 80–100% über Kapselgefäße ernährt und nur zu einem geringen Anteil über das Ligamentum capitis femoris. Die Kapselgefäße laufen vorwiegend dorsokranial in der Synovia bis zur Randzone des Femurkopfknorpels; erst dort dringen sie in den Knochen ein. Die restlichen Gefäße verlaufen von der Metaphyse intraossär zum Hüftkopf. Wenn die Fraktur lateral oder intermediär liegt, wird der Hüftkopf nur von den metaphysären Gefäßen abgeschnitten. Bei medialen Frakturen sind auch die subkapital einstrahlenden Gefäße unterbrochen; da überdies mit zunehmendem Lebensalter die Blutversorgung über das Ligamentum capitis femoris komplett sistieren kann, wird der Hüftkopf bei diesen Brüchen u.U. überhaupt nicht mehr versorgt. Dazu kommt, dass das Frakturhämatom die Gelenkkapsel tamponiert und dadurch insbesondere die venösen Kapselgefäße komprimiert. Soll also bei der anstehenden Operation der Hüftkopf erhalten

werden, besteht Notfallindikation, denn es gilt, die Fraktur möglichst schnell zu reponieren und zu stabilisieren, damit neue Gefäße in den Hüftkopf einsprossen können bzw. abgeknickte oder überdehnte Gefäße nach erfolgter Reposition wieder durchblutet werden. Zudem muss das Hämarthros entlastet werden, damit der Blutumlauf in den Kapselgefäßen wieder in Gang kommt. Als kritische Grenze gelten 6 h Ischämiezeit.

Die 6-h-Grenze, innerhalb derer bei hüftkopferhalter Therapie operiert werden sollte, hat bereits zu gerichtlichen Auseinandersetzungen und Urteilen geführt. Sachse und Mitarbeiter (2010) waren als Sachverständige wiederholt aufgerufen, den aktuellen Stand des Wissens darzulegen. In einer systematischen Literaturrecherche fanden sie bestätigt, dass die Ursache der Entwicklung einer Hüftkopfnekrose oder Pseudarthrose, die fast 40% der Fälle komplizieren, unstrittig in der physiologischerweise schon limitierten Blutversorgung dieser Region angesehen wird, die durch die Frakturdislokation und Hämatomkompression zusätzlich beeinträchtigt wird. Aber einen Beweis für die Notwendigkeit der Akutversorgung haben die Autoren nicht gefunden. Vielmehr scheint der Einfluss des Zeitintervalls vernachlässigbar zu sein und von größerer Bedeutung die Fragmentverschiebung bzw. Repositionsmanöver und die chirurgische Expertise. Die Autoren kommen zu folgendem Schluss:

- **»Für die Forderung einer ‚Frühoperation' liegt eine gut begründete pathophysiologisch rationale Hypothese vor, die einen Forschungsantrag rechtfertigen würde, aber kein Urteil in einem Behandlungsfehlervorwurf stützen könnte.**
- **In der konkreten Behandlungssituation einer Klinik ist das (begrenzte) Warten auf einen erfahrenen Chirurgen oder andere operationstaktisch günstige Bedingungen sowie das Erzielen einer anatomischen Reposition und stabilen Retention einer die oben genannten Parameter nicht berücksichtigenden Frühoperation vorzuziehen.«**

Laut Chilov et al. (2003) verbessert das frühe Operieren innerhalb von 24–36 h nach Krankenhausaufnahme die Überlebensprognose der Patienten nicht, verkürzt aber den Krankenhausaufenthalt und senkt postoperative Komplikationen wie Dekubitalulzera, Pneumonien und Verwirrtheitszustände. Deshalb fordert die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie in ihrer Leitlinie 2008, betagte Patienten mit Schenkelhalsfraktur – unabhängig davon, ob eine Osteosynthese oder eine Endoprothese geplant ist – innerhalb der ersten 24 h nach Aufnahme zu versorgen.

Der Anteil der aus medizinischen Gründen später versorgten Patienten soll 15% nicht übersteigen, denn selbstverständlich gibt es wichtige Gründe für eine derartige Verzögerung: z.B. Patienten mit gestörter Blutgerinnung oder mit das Operationsrisiko erhöhenden, aber präoperativ verbesserbaren Organdysfunktionen.

Bei der bundesweiten Auswertung der Daten fiel auf, dass der Anteil der verspätet operierten Patienten über 16% liegt und nur in 4 Bundesländern der Referenzbereich eingehalten wird. Außerdem zeigte sich, dass Patienten mit hüftgelenknahen Frakturen, die freitags oder samstags aufgenommen werden, häufiger später als 48 h nach Aufnahme operiert werden als jene, die sonntags bis donnerstags kommen. Smektala und Mitarbeiter (2010) haben im Auftrag des Gemeinsamen Bundesausschusses im Rahmen einer retrospektiven Matched-Pair-Kohortenstudie die Daten von 129.075 Patienten aus der bundesweiten Vollerhebung der Bundesgeschäftsstelle Qualitätssicherung zwischen 2004 und 2006 ausgewertet und gefunden, dass etwas mehr als 17% der Patienten später als 48 h nach Aufnahme operiert worden waren. Unter diesen Patienten war die Rate chirurgischer Komplikationen, allgemeiner Komplikationen und von Dekubitalulzera deutlich erhöht.

Den Hüftkopf zu erhalten heißt, ihn mit dem Schenkelhals verschrauben. Bei medialer und intermediärer Fraktur bietet das Hüftkopffragment für die eingebrachten Schrauben nur wenige Zentimeter Kontaktstrecke und das im relativ weichen, spongiösen Knochen. Da dieser zusätzlich mit steigendem Lebensalter des Patienten an Festigkeit verliert, ergeben sich für diese Art der Osteosynthese zwei weitere limitierende Faktoren:

- Der Patient darf nicht zu alt sein, denn er sollte die Schraubenosteosynthese postoperativ möglichst entlasten können, und
- die Spongiosa seines Hüftkopfs muss ausreichend fest sein, damit die Schrauben genügend Halt finden können.

Den alten Menschen für die Dauer der Bruchheilung, also mindestens für 8–12 Wochen ans Bett zu fesseln, käme in der Mehrzahl der Fälle einem Todesurteil gleich. Wie aus der Vergangenheit bekannt ist, erliegen 60% dieser Patienten Komplikationen wie Pneumonie, Thromboembolie, Durchgangssyndrom oder Dekubitus. Dabei sind Patienten, die schon vorher bettlägerig waren, an diesen Zustand adaptiert und nicht so stark gefährdet wie solche, die vorher noch mobil waren.

Andererseits bedeutet jede Operation und jede Narkose, und sei es nur eine Regionalanästhesie, eine Belastung für das labile organische Gleichgewicht insbesondere multimorbider alter Patienten. Deshalb muss die Indikation zur Operation streng gestellt werden, denn viele eingestauchte Frakturen sind so stabil ineinander verkeilt, dass sie einer Mobilisation unter Belastung standhalten.

Aus diesen Vorgaben ergibt sich das im Folgenden beschriebene Indikationsspektrum.

Konservative versus operative Therapie bei jungen und alten Patienten mit eingestauchter Schenkelhalsfraktur

Raaymakers und Schafroth (2002) behandelten 305 Patienten mit eingestauchter Schenkelhalsfraktur primär konservativ und mussten nur 30% der Fälle sekundär operativ versorgen, weil die Fraktur im Rahmen der Mobilisierung der Patienten abgerutscht war. Dabei ereignete sich die sekundäre Instabilität bei 42% der über 70-jährigen Patienten und nur bei 10% der jüngeren.

Als große Risikofaktoren erwiesen sich Malignome, schwere COPD, Herzinsuffizienz, chronisch venöse Insuffizienz, Parkinson-Krankheit sowie Demenz und – etwas weniger schwerwiegend – ein Lebensalter >70 Jahre.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine eingestauchte Schenkelhalsfraktur bei einem unter 70-jährigen gesunden Patienten sekundär instabil wird, liegt nur bei 5%. Bei älteren Patienten mit mehreren Begleiterkrankungen steigt sie dagegen auf fast 80%. Nach Ansicht der Autoren muss deshalb für die alten, multimorbiden Patienten die primär operative Behandlung erwogen werden, während jüngere gesunde Patienten primär konservativ behandelt werden können.

Die konservative Therapie sieht eine Mobilisierung mit Gehilfen und 15 kg Teilbelastung vor. Patienten, die zu hinfällig sind, um teilbelasten zu können, dürfen dagegen voll belasten. Röntgenkontrollaufnahmen lassen Raaymakers und Schafroth nicht routinemäßig durchführen, sondern ordnen sie bedarfsadaptiert an, wenn der Schmerz nicht abnimmt, wiederkommt oder sich verstärkt. Vollbelastung erlauben sie nach 8 Wochen. Bei sekundärer Dislokation wird genauso behandelt wie bei der primären Versorgung dislozierter

Frakturen, junge Patienten werden auch noch nach Wochen osteosynthetisch versorgt, nur die alten erhalten eine Kopfprothese.

Osteosynthese bei jungen Patienten mit dislozierten Schenkelhalsfrakturen

Patienten mit guter Knochenqualität können hüftkopferhaltend operiert werden, weil die Implantate festen Halt im Knochen finden. Die weiche Knochenqualität der alten Patienten hingegen führt häufig zum Versagen von Osteosynthesen. Bei über 84-jährigen Patienten heilt die Hälfte der osteosynthetisch versorgten Schenkelhalsfrakturen nicht (Barnes et al. 1976) und in einer Metaanalyse fanden Lu-Yao et al. (1994) unabhängig vom Patientenalter 2 Jahre nach Osteosynthese eine Reinterventionsrate von 35%, nach endoprothetischen Ersatz jedoch nur von 14%.

Die Schwierigkeit liegt darin, die Altersgrenze für den jeweiligen Patienten festzulegen, denn durch die alleinige Berücksichtigung des chronologischen Alters würde man der Sache nicht gerecht. Viele über 70-jährige Patienten sind noch sehr vital und biologisch deutlich jünger und umgekehrt. Deshalb orientiert man sich am biologischen Alter nicht am chronologischen.

In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, dass Patienten, die chronologisch nicht älter als 65 Jahre sind, osteosynthetisch versorgt werden sollen, und alte über 85-jährige Patienten einen endoprothetischen Gelenkersatz brauchen. Die Gruppe der 66- bis 84-jährigen Patienten ist jedoch in indikatorischer Hinsicht eine »Grauzone«. In dieser Altersgruppe müssen die Patienten in Hinblick auf ihren biologischen Zustand eigens beurteilt werden, um eine richtige Entscheidung treffen zu können.

Robinson et al. (1994) haben dafür einen Vitalitätstest entwickelt. Darin gehen Daten aus der Wohnungsumgebung, Mobilität, Knochendichte, kognitiven Fähigkeiten und dem Allgemeinzustand ein (Tab. 9.3). Der maximal zu erreichende Wert beträgt 26 Punkte. Die Autoren haben alle Patienten, die weniger als 19 Punkte erreichten, mit einer Endoprothese versorgt, alle anderen osteosynthetisch (Tab. 9.4). Die Rate notwendiger Reinterventionen konnte durch dieses Procedere auf eine sehr tiefes Niveau gesenkt werden: 2% nach Osteosynthesen und 5% nach Prothesen!

Kontraindikationen sind begleitende, lebensbedrohliche Verletzungen, die vorrangig versorgt werden müssen. Bei Neoplasma und anderen chronischen Leiden, welche die Lebenserwartung herabsetzen, und bei Osteoporose oder Koxarthrose ist eine Endoprothese mit und ohne Pfannenersatz (s. unten) vorzuziehen.

Tab. 9.3 Physiologic status Score nach Robinson et al. (1994)

Kriterium (max. Punktzahl)	Mögliche Punktzahl	Erreichte Punktzahl
Mobilität (5)		
Mobil ohne Gehhilfen	5	
Mobil mit einer Gehhilfe	4	
Mobil mit 2 Gehilfen	3	
Patient geht nicht mehr außer Haus	2	
Patient ist auf einen Rollstuhl angewiesen	1	
Wohnsituation (5)		
Lebt eigenständig ohne fremde Hilfe im eigenen häuslichen Umfeld	5	
Lebt mit teilweiser Hilfe im eigenen häuslichen Umfeld	4	
Lebt im betreuten Wohnen	3	
Lebt im Heim ohne Vollzeitpflege	2	
Lebt im Heim mit Vollzeitpflege	1	
Osteoporosegrad (6)		
Alle trabekulären Strukturen des Röntgenbilds der Hüfte gut sichtbar	6	
Abgeschwächte Trabekulae aber noch gut sichtbar	5	
Deutlich abgeschwächte Trabekulae, aber noch verfolgbar	4	
Unterbrochene Trabekulae gegenüber dem Trochanter major	3	
Nur noch die Druck-Trajektoren sind sichtbar	2	
Alle Trabekulae sind deutlich abgeschwächt	1	
Allgemeinzustand (5)		
Gesunder Patient	5	
Leichte systemische Erkrankung	4	
Schwere systemische Erkrankung ohne Gehbehinderung	3	
Lebensbedrohliche systemische Erkrankung mit Gehbehinderung	2	
Moribunder Patient, mit und ohne OP kein Überleben >24 h zu erwarten	1	
Hirnleistung (5)		
Wie alt sind Sie? (±1 Jahr)	0,5	
Wie spät ist es? (±1 h)	0,5	
Wo wohnen Sie? (Die Frage am Ende des Tests wiederholen.)	0,5	
Welches Jahr haben wir?	0,5	
In welchem Krankenhaus befinden Sie sich?	0,5	
Welche Personen sind in diesem Raum?	0,5	
Wie lautet Ihr Geburtsdatum?	0,5	
Wann war der 2. Weltkrieg?	0,5	
Wie heißt unser/e Bundeskanzler/in?	0,5	
Zählen Sie bitte von 20 bis 1 rückwärts.	0,5	
Gesamtwert		

Die maximale Punktzahl beträgt 26. Bei noch gutem physiologischem Status des Patienten mit einem Gesamtpunktewert >19 ist in der Grauzone zwischen 66 und 84 Lebensjahren eine Versorgung der Schenkelhalsfrakturen wie für Patienten <65 Jahren sinnvoll (Raaymakers u. Schafroth 2002).

Vorgehen

Eine hüftkopferhaltende Operation sollte möglichst frühzeitig (s. oben) durchgeführt werden, weil die Durchblutung des Hüftkopfs gefährdet ist. Spezielle Risiken sind die Hüftkopfnekrose und Pseudarthrose, das vorzeitige Auslockern der Implantate und der Schraubenbruch.

Bis zur Versorgung wird das verletzte Bein rotationsstabil in einer langen Schaumstoffschiene gelagert. Eine Frühreposition mit nachfolgender Extension ohne gleichzeitige Hämatomentlastung ist kontraindiziert, denn das Reponieren der Fraktur und das Extendieren des Gelenks bei Innenrotation der Hüfte erhöhen den intraartikulären Druck auf den 3-fachen Wert (Bonnaire et al. 1995). Schmerzen und Nekroserisiko würden demnach durch eine Extension gesteigert.

In manchen unfallchirurgischen Kliniken wird das verletzte Hüftgelenk präoperativ punktiert. Dadurch wird zum einen das intrakapsuläre Hämatom entlastet und damit die Durchblutung des Hüftkopfs verbessert, zum anderen kann am Ende der Punktion ein Lokalanästhetikum instilliert und auf diesem Weg eine Bruchspaltanästhesie durchgeführt werden.

Die Lagerung auf dem Extensionstisch im Operationssaal wäre für den Patienten schmerzhaft und erfolgt deshalb erst nach der Narkoseeinleitung. Auf dem Extensionstisch wird die Fraktur unter

Tab. 9.4 Versorgung von Schenkelhalsfrakturen in Abhängigkeit vom chronologischen bzw. biologischen Alter des Patienten und dem Bruchtyp nach Raaymakers und Schafroth (2002)

Lebensalter <65 Jahre	66–84 Jahre	>85 Jahre
Pauwels-2-Fraktur: Lochschrauben	Vitalitätsprüfung >19 Punkte: Versorgung wie <65 Jahre	Körperlich aktiv, außer Haus mobil, keine schwere Grunderkrankung: Totalprothese
Pauwels-3-Fraktur: DHS	Vitalitätsprüfung <19 Punkte: Versorgung wie >85 Jahre	Nur noch zuhause mobil und/oder schwere Grunderkrankung: Hemiprothese

Bildwandlerkontrolle im a.p. und axialen Strahlengang reponiert. Alternativ kann der Patient auch auf einem Knochentisch versorgt werden. Man braucht allerdings einen zweiten Assistenten, der die Fraktur unter Zug reponiert, bis sie vom Operateur entweder mit einer Repositionszange gefasst oder mit dem Führungsdraht und einem zusätzlichen K-Draht vorläufig stabilisiert ist.

Die Frakturen lassen sich meist durch Innenrotation des Beins und gleichzeitigen axialen Zug gut einstellen. Beim Innendrehen des Beins wird der nach dorsal und lateral dislozierte trochantere Bruchpartner zu seinem Gegenpart dem Hüftkopf anatomiegrecht zurückgedreht. Bei diesen Brüchen erzeugt man durch das Innendrehen des Beins keine Innendrehfehler.

Nach der Hautdesinfektion des Operationsgebiets wird die Umgebung abgedeckt. Mittlerweile gibt es große durchsichtige Folien, die ein selbstklebendes Fenster haben, das auf dem Operationsgebiet angebracht wird. Damit lässt sich ein auf dem Extensionstisch liegender Patient am einfachsten und schnellsten abdecken. Zugleich wird die Übersicht im Operationssaal weniger versperrt (Abb. 9.23).

Abb. 9.23 Abdeckung mit selbstklebender Folie eines auf dem Extensionstisch gelagerten Patienten mit pertrochanterer Femurfraktur

Die Osteosynthese wird mit drei 7,0 oder 7,3 mm starken kanülierten Spongiosaschrauben, so genannten Lochschrauben, durchgeführt. Dazu genügt es, sich einen wenige Zentimeter langen seitlichen Zugang durch den Tractus iliotibialis zu schaffen. Der Zugang wird handbreit unter dem Trochanter major und bereits in der späteren Schraubrichtung, also ca. 45° nach kranial gerichtet, bis auf das proximale Femur angelegt. Unterhalb des Trochanter major im Bereich der lateralen Femurkortikalis wird gegenüber dem Trochanter minor eine etwa 3 cm im Durchmesser große Fläche dargestellt. Das Periost kann dabei belassen bleiben. Hier wird nun der erste Führungsdraht evtl. unter Zuhilfenahme einer Winkelschablone in den Hüftkopf gebohrt. Der zweite und dritte Führungsdraht wird parallel zum ersten ventral und dorsal versetzt darüber oder darunter angebracht, je nachdem, wo ausreichend Platz vorhanden ist. Über die Führungsdrähte werden anschließend die Schraubenlöcher gebohrt, Gewinde geschnitten und die Hohlschrauben eingebracht.

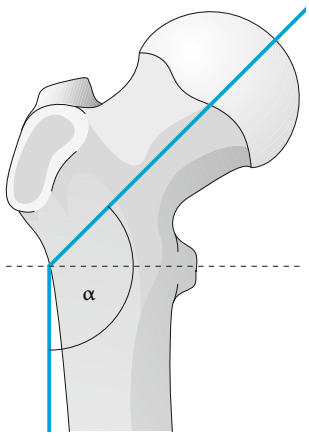


Abb. 9.24 Der richtige Eintrittspunkt für den Führungsdraht liegt auf einer gedachten Horizontalen gegenüber dem Trochanter minor an der lateralen Femurkortikalis, der Winkel α beträgt ungefähr 135°, mit individuellen Abweichungen

Um die richtige Einbringstelle am lateralen Femur zu finden, orientiert man sich am besten am Trochanter minor unter Bildwandlersicht im a.p. Strahlengang (Abb. 9.24).

Es ist wichtig, die Schrauben parallel einzubringen, damit der Bruchbereich sintern kann. Bei divergierender Ausrichtung könnten die Schrauben sperren und eine Pseudarthrose begünstigen. Deshalb sollen auch die Gewinde nur im proximalen Hauptfragment liegen und den Frakturspalt nicht überbrücken.

Der harte, rinnenförmige Kalkar, also die Kortikalis des Adam-Bogens, kann kaudal liegende K-Drähte nach zentral umlenken und dadurch verhindern, dass sie parallel zu den anderen zu liegen kommen. Falls dieses Problem auftritt, sollte versucht werden, die erste Hälfte des Wegs für den K-Draht mit einem 3,5 mm starken Bohrer zu präformieren.

Vor dem Festziehen der Schrauben muss der Zug am Bein nachgelassen werden, damit die Gewindelager im spongiösen Knochen nicht durch die Notwendigkeit, auch noch den Zug am Bein zu überwinden, zusätzlich belastet werden. Dann gelingt es besser durch das wechselweise Anziehen der Schrauben, die Bruchstellung zu manipulieren und eine letzte Korrektur durchzuführen. Will man die Fraktur noch weiter valgisieren, wird die Schraube, die am weitesten kranial liegt, als erste angezogen. Bei den Pauwels-2-Frakturen mit ihrem eher flacheren Bruchverlauf sich eine leichte Valgisierung erwünscht, weil durch diese Maß-

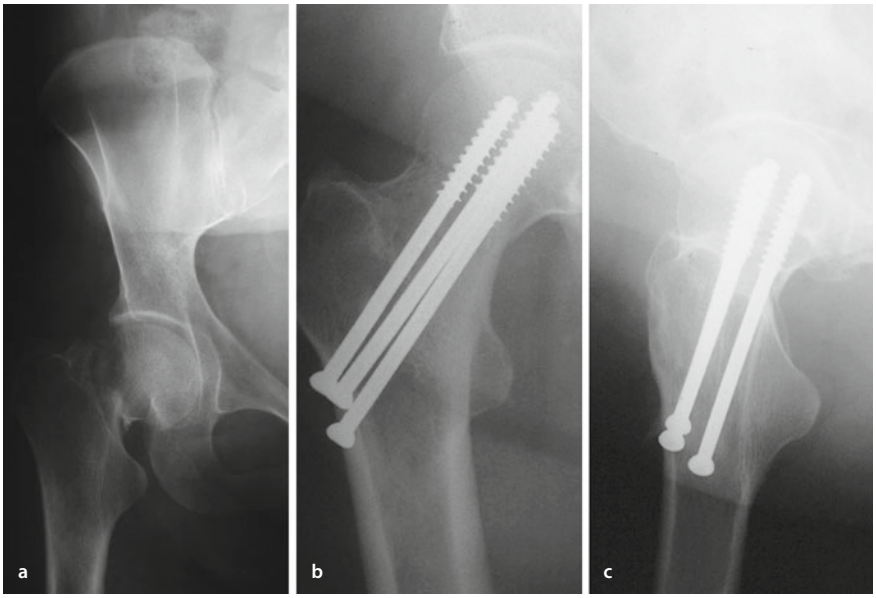


Abb. 9.25a–c 40-jährige Patientin mit dislozierter Schenkelhalsfraktur (Pauwels II). **a** Unfallbild. **b,c** Postoperative Röntgenkontrollen nach Osteosynthese mit 3 Schrauben

nahme die Belastungsachse im Schenkelhals steiler wird und die Scherkräfte reduziert werden; bei den Pauwels-3-Frakturen mit steilem Bruchverlauf, der weit in den Kalkar hineinzieht, ist dagegen die anatomische Reposition besser, weil die Bruchflächen viel sicherer und schneller heilen, wenn sie guten Kontakt haben (s. unten, Abschnitt Lochschrauben oder DHS). Um eine bereits durch die Lagerung am Extensionstisch erreichte anatomische Reposition durch das Festziehen der Schrauben nicht zu gefährden, werden die Schrauben wechselweise gleichmäßig angezogen.

Werden mehr als 3 Schrauben verwendet, sind die Ergebnisse laut Literatur schlechter. Dies könnte damit zusammenhängen, dass mehr Fremdmaterial auch weniger Durchblutung bedeutet. Aber vielleicht ist das schlechtere Ergebnis ja auch in einem statistischen Fehler begründet, weil es sich um Fälle handelt, bei denen 3 Schrauben aufgrund mangelnder Knochenqualität nicht ausreichten. Auf Unterlegscheiben kann man übrigens vollständig verzichten, weil die Schrauben lediglich eine schienende Wirkung entfalten und die Zugwirkung bereits dann aufgebraucht ist, wenn der Patient sein gestrecktes Bein im Liegen anhebt (s. unten, Abschnitt Nachbehandlung). Nach Belastungsbeginn und aufgrund von Sinterungsprozessen während der Bruchheilung wandern die Schrauben regelhaft an der lateralen Femurkortikalis aus. Dann nützen Beilagscheiben nichts, sondern verstärken lediglich die Irritation der Weichteile.

Wenn sich der Bruch geschlossen nicht reponieren lässt, kann eine **offene Einrichtung** versucht werden. Der Schnitt wird zum anterolateralen Zugang zum Hüftgelenk erweitert (▶ Kap. 21, Standardzugänge) und die Gelenkkapsel ventral durch einen kurzen Längsschnitt eröffnet. Über diesen Zugang kann anschließend mit einem stumpfen Instrument (Raspatorium oder Overhold) die Stellung des Kopffragments unter Bildwandlerkontrolle manipuliert werden.

Einige Autoren empfehlen, die Gelenkkapsel generell zu eröffnen, um das Hämarthros suffizient entlasten und das Gelenk drainieren zu können. Andere vertreten die Auffassung, das intrakapsuläre Hämatom entlaste sich beim Aufbohren der Schraubenlöcher spontan. Voraussetzung hierfür sei, dass der Bruchspalt beim Aufbohren nicht anatomisch reponiert ist, denn nur durch den klaffenden Bruchspalt kann das Hämarthros Abfluss über die Schraubenlöcher finden. Deshalb kann, wenn sich die Fraktur geschlossen gut einrichten ließ und schon vor dem Verschrauben gut steht, nach der Osteosynthese eine Gelenkpunktion erwogen werden (Abb. 9.25).

Alternativen

Einige Autoren favorisieren bei diesem Bruchtyp die Dynamische Hüftschraube (DHS, s. unten), andere lehnen sie für die Versorgung medialer und intermediärer Schenkelhalsfrakturen ab und vertreten die Ansicht, dass lediglich die lateral gelegenen Schenkelhalsfrakturen mit Einschränkung dieser Methode zugänglich sind. Folgende Argumente sprächen dabei gegen den Einsatz einer DHS: Das voluminöse Implantat besetze zu viel Revaskularisationsfläche, beim Gewindeschneiden und Einbringen der Schraube könne sich der Hüftkopf mitdrehen, und die Tragschraube finde in der kurzen Strecke des proximalen Hauptfragments zu wenig Halt und sei daher nicht primär belastungsstabil, weshalb das Prinzip dieser Osteosynthese – Kompression des Bruchspalts durch Teleskoping – nicht umgesetzt werden könne.

Parker und Blundell (1998) fanden aber in einer Metaanalyse von 25 randomisierten Studien mit einer Gesamtpatientenzahl von 5000 keinen Unterschied zwischen den Ergebnissen nach Osteosynthese mit Lochschrauben im Vergleich zur DHS, und Bonnaire et al. (2007) z.B. verficht seit Jahrzehnten den Einsatz der DHS für die Osteosynthese bei Schenkelhalsfraktur.

Weil sich beim Aufbohren des Hüftschraubenkanals für die DHS bzw. beim Gewindeschneiden und Eindrehen der Hüftschraube der Hüftkopf mitdrehen kann, wodurch alle bis dahin noch intakten Gefäßanschlüsse unweigerlich zerreißen würden, müssen zur Rotationssicherung immer mindestens ein, besser 2 zusätzliche kräftige K-Drähte der Stärke 2,0 oder dicker eingebracht werden. Dabei wird die Rotation des Kopffragments, bedingt durch die Morphologie der Fraktur und das rechtsdrehende Gewinde der Schenkelhalsschraube, insbesondere bei Schenkelhalsfrakturen der linken Seite beobachtet (Karich 2003). Bei sehr schlechter Knochenqualität ist es ratsam, die Spitzen der Rotationssicherungsdrähte im Acetabulum zu verankern, damit sie ausreichend Halt finden. Beim Vorbereiten des Schraubensitzes für die Tragschraube müssen Fehlbohrungen vermieden werden,

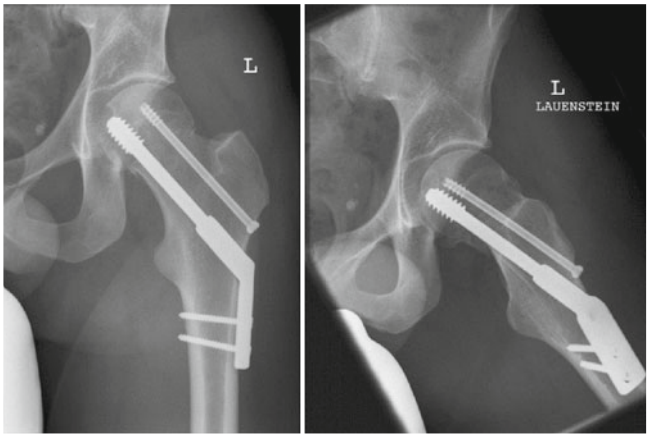


Abb. 9.26 Postoperative Kontrollaufnahmen nach Versorgung einer Schenkelhalsfraktur mit DHS und Zusatzschraube. (Aus: Bonnaire et al. 2007)

weil sonst ein fester Sitz des Implantats nicht mehr gewährleistet ist. Wenn die Hüftschraube zu weit kranial im Hüftkopf zu liegen kommt, besteht die Gefahr, dass sie bei Belastung durchschneidet. Man spricht dann vom cut out oder cutting out. Wenn die Tragschraube liegt, werden die Sicherungsdrähte wieder entfernt. Anschließend wird ggf. eine parallele kraniale Schraube zur dauerhaften Rotationssicherung eingebracht. Dies muss bereits beim Setzen der Tragschraube eingeplant werden, denn nur wenn man diese nahe am Kalkar einbringt, bleibt später ausreichend Platz für eine zusätzliche Schraube (Abb. 9.26). (Die Technik der Implantation einer DHS ist im ▶ Abschnitt 9.3.2, Trochantere Frakturen, eingehend beschrieben.)

Lochschrauben für Pauwels-2-, DHS für Pauwels-3-Frakturen

Aufgrund der lange bestehenden Kontroverse, welches Implantat, Lochschrauben oder die DHS, für die Versorgung von Schenkelhalsfrakturen geeigneter ist, besteht diesbezüglich Verunsicherung. Raaymakers und Schafroth (2002) haben diese Frage aber einleuchtend beantwortet und einen interessanten Therapieansatz empfohlen.

Die Autoren haben in einer Studie an 263 Patienten gefunden, dass 93% der Pauwels-2-Frakturen nach Osteosynthese mit Lochschrauben ausheilten, aber nur 50% der ebenfallls mit Lochschrauben versorgten Pauwels-3-Frakturen. Die Autoren sehen diesen Unterschied in der Frakturmorphologie begründet. Bei der weniger steil verlaufenden Pauwels-2-Fraktur kann das spongiöse Kalottenfragment in leichter Überkorrektur valgisiert und in eine eingestauchte Fraktur überführt werden (Abb. 9.22). Zur Fixation einer derart stabil reponierten Fraktur bei gleichzeitig eher kleinem Kalottenfragmentanteil sind keine großvolumigen Implantate erforderlich und der Kopfdurchblutung vermutlich auch nicht zuträglich. Ganz anders verhält es sich dagegen beim viel steileren Bruchverlauf einer Pauwels-3-Fraktur. Der harte, nicht verformbare kortikale Knochen des Kalkars ist involviert. Der Versuch, die Fraktur in einer leichten Valgusstellung zu reponieren, würde zu einem Klaffen des Bruchspalts im Bereich des Kalkars führen (Abb. 9.22). Deshalb ist nur die anatomische Reposition zielführend, um die Abstützung am Kalkar wiederherzustellen. Aufgrund des steilen Bruchverlaufs, der nicht abgeflacht werden kann, müssen alle Kräfte vom Implantat aufgenommen werden. Ein kräftiges und winkelstabiles Implantat wie die DHS kann das viel besser als Lochschrauben. Weil, wie bereits oben erwähnt, auf den Unfallbildern die Frakturen durch die Außenrotationsfehlstellung des Beins häufig nicht ausreichend exakt beruteilbar sind, entscheiden die Autoren erst nach der Reposition der jeweiligen Schenkelhalsfraktur auf dem Extensionstisch, welches Implantat sie verwenden werden. Erst dann wird klar ersichtlich, wo der Bruch verläuft, und ob es sich um eine Pauwels-2- oder -3-Fraktur handelt. Durch dieses Vorgehen haben die Autoren die Pseudarthroserate auf <10% senken können.

Nachbehandlung

Am 1. postoperativen Tag kann man den Patienten ohne Belastung der verletzten Hüfte vors Bett stellen. Ab dem 2. Tag wird das Gehen mit 15 kg Teilbelastung geübt, je nach Koordinationsfähigkeit des Patienten zunächst im Gehwagen oder gleich mit Unterarmstockstützen. Nach erfolgter Wundheilung kann der Patient auch im Bewegungsbad üben. Nach bloßer Schraubenosteosynthese darf der Patient, wenn er in der Lage dazu ist, ein Vierteljahr lang nur mit 15 kg teilbelasten. Röntgenkontrollen der operierten Hüfte werden im a.p. und axialen Strahlengang durchgeführt. Die erste Kontrolle findet nach Entfernung der Redondrainage statt, die nächsten nach 6 und 12 Wochen sowie nach einem Jahr. Bei ungestörter Heilung wird nach einem Vierteljahr auf Vollbelastung übergegangen. Die Implantatentfernung erfolgt bei Bedarf nach 1–2 Jahren.

Es gibt zahlreiche Studien, die keinen ungünstigen Effekt der Vollbelastung nach Osteosynthese von Schenkelhalsfrakturen nachweisen können.

Koval et al. (1996a) berichten von 265 medialen Schenkelhalsfrakturen über 65-jähriger Patienten, bei denen nach Mobilisierung unter Vollbelastung nur in 5,3% der Fälle wegen Instabilität oder ausbleibender Frakturheilung eine Revision erforderlich geworden war. Dies erscheint auch vor dem Hintergrund plausibel, dass viele Patienten ohnehin viel mehr belasten als ihnen vorgegeben wird – weil nichts weh tut oder weil sie die Vorgaben koordinativ nicht umsetzen können. Mit Hilfe einer Messapparatur in einer Hüftprothese, die wegen einer Coxarthrose eingebaut worden war, haben Bergmann und Mitarbeiter (1989) bei isometrischen Anspannungsübungen des Quadrizeps auf den Femurkopf einwirkende Kräfte ermittelt, die das 1,5-Fache des Körpergewichts betragen haben. Wenn das gestreckte Bein von der Unterlage gehoben wird, entsteht eine 1,6-fache Last und beim Gehen mit nur einer Krücke die 2,25-Fache. Von daher tut man sich schwer zu begründen, warum eine Teilbelastung von 15 kg eingehalten werden muss. Allerdings erinnert das entlastende Gehen mit 2 Unterarmstockstützen die Patienten daran, die frisch operierte Extremität zu schonen, was die Wundheilung fördert.

Komplikationen und Prognose

Hüftkopfnekrosen

Hüftkopfnekrosen können sich je nach Bruchtyp in bis zu 40% der Fälle ereignen. Laut Upadhyay et al. (2004) liegt die durchschnittliche Rate bei 16,3%. Die einsetzende Nekrose ist röntgenologisch daran zu erkennen, dass der nicht mehr durchblutete Hüftkopf im Vergleich zum Schenkelhals zunehmend röntgendichter wird, weil er aufgrund der fehlenden Durchblutung an der inaktivitätsbedingten Entkalkung nicht Teil hat (Abb. 9.27). Ein Szintigramm gibt weiteren Aufschluss.

Anhaltende Belastungsbeschwerden nach erfolgtem Belastungsbeginn sind häufig ein Zeichen für eine eingetretene Hüftkopfnekrose oder eine Pseudarthrosenbildung.

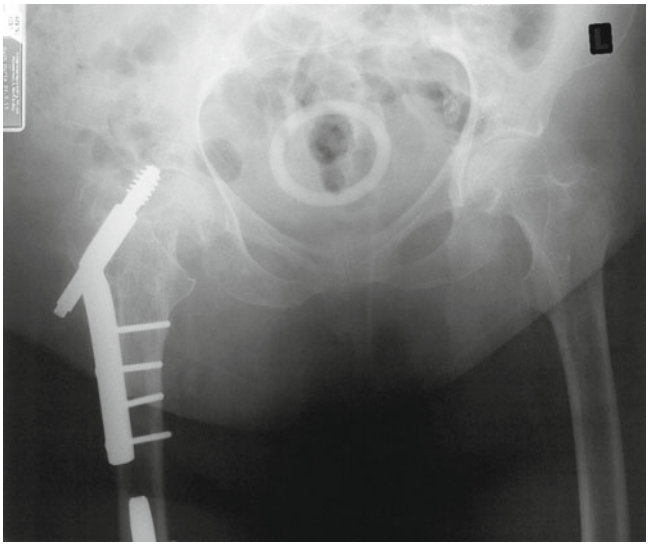


Abb. 9.27 Hüftkopfnekrose bei einer 85-jährigen Patientin, deren Schenkelhalsfraktur mit einer dynamischen Hüftschraube versorgt worden war. Der abgestorbene Hüftkopf ist etwas weniger strahlentransparent als der auf der gesunden Seite. Cutting out der Hüftschraube

Pseudarthrosen

Falschgelenkbildungen ereignen sich insbesondere bei steilem Bruchverlauf und verfrühter Belastung. Laut Parker et al. (2007) beträgt die Rate 19,3%. Dann ist, wenn die Knochenqualität gut ist, eine Umstellungsosteotomie möglich, anderenfalls bleibt nur der Gelenkersatz. Bei der valgisierenden Umstellung nach Pauwels wird subtrochanter ein Knochenkeil herausgeschnitten, der Schenkelhals mit einer Winkelplatte gefasst und steil aufgerichtet. Unter der nunmehr nahezu axialen Krafteinleitung kann die Pseudarthrose ausheilen (Abb. 18.24). Das bestmögliche Resultat ist zu erwarten, wenn es gelingt das Gelenk zu erhalten. Dennoch dürfte der Mangel an Erfahrung mit der anspruchsvollen Technik der valgisierenden Umstellungsosteotomie mit der Winkelplatte einerseits und die andererseits guten Erfolge mit dem endoprothetischen Gelenkersatz dazu führen, dass viele Operateure sich für eine Prothese entscheiden. Bei jungen Patienten, die mit einer oder mehreren Wechseloperationen rechnen müssen, sollte aber der Gelenkerhalt angestrebt werden.

Raaymakers und Schafroth (2002) haben 70 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 50 Jahren (18–72) und Schenkelhalspseudarthrose mit einer Umstellungsosteotomie nach Pauwels behandelt. 87% der Pseudarthrosen heilten anschließend aus. 35 Patienten, bei denen die Pseudarthrose geheilt war, entwickelten im weiteren Verlauf eine Hüftkopfnekrose. 20 dieser Patienten bedurften nach durchschnittlich 8 Jahren eines Gelenkersatzes. Insgesamt haben aber 59% aller umgestellten Patienten keinen weiteren Eingriff mehr gebraucht; bei guter Funktion mit einem durchschnittlichen Harris-Hip-Score-Wert von 85 und bei 28% konnte der Gelenkersatz durchschnittlich um 8 Jahre hinausgezögert werden. Aufgrund dieser guten Erfahrungen empfehlen die Autoren, jüngere Patienten bis 60 Jahre mit Schenkelhalspseudarthrose durch eine Pauwels-Osteotomie zu behandeln und bei Patienten in der 7. Lebensdekade abhängig von der Vitalität und Mobilität des jeweiligen Patienten zwischen Osteotomie und Gelenkersatz individuell zu entscheiden.

Zu den Komplikationen der DHS ▶ Abschnitt 9.3.2, Trochantere Frakturen.

Winkelplatten

Die Osteosynthese mit einer Winkelplatte birgt viele systemimmanente Gefahren. Beim Planen der Klingenlage muss nicht nur der Klingenwinkel, sondern auch die korrekte Rotation berücksichtigt werden, was schwierig ist. Wenn einer der beiden Parameter nicht exakt stimmt, überträgt sich beim Anschrauben der Platte dieser Fehler auf das proximale Hauptfragment und kann eine unerwünschte Kippung des Hüftkopfs in der Frontal- oder Sagittalebene verursachen (Abb. 18.27). Außerdem können beim Einschlagen der Klinge die Fragmente auseinandergetrieben und noch intakte Blutgefäße zerrissen werden. Da – anders als bei der DHS – ein Teleskoping nicht möglich ist, besteht die Gefahr, dass die Klinge den Hüftkopf perforiert, wenn der Bruchbereich sintert. Insgesamt ist die Methode schwierig und damit komplikationsträchtig, aber für manche Indikationen, z.B. die valgisierende Umstellung nach Pauwels (s. oben), nach wie vor das Implantat der Wahl.

Femoroacetabuläres Impingement (FAI)

Schenkelhalsfrakturen können fehlverheilen. Sie stehen dann häufig varisch und retrovertiert. Dadurch kann ein ventrales FAI entstehen mit einer charakteristischen Symptomatik, die eine Taillierung des Schenkelhalses notwendig macht (▶ Abschnitt 9.2.3, Femoroacetabuläres Impingement). Ganz et al (1991) haben erstmals über 6 Patienten mit zum Teil dorsalen Impingements zwischen Kallusformationen ausgeheilter Schenkelhalsfrakturen und dem Pfannenrand berichtet und 2005 über 11 Patienten mit einem ventralen FAI. Suboptimal reponierte Schenkelhalsfrakturen zeitigen schlechte funktionelle Ergebnisse (Sochart 1998). Eine konservative Therapie dieser präarthrotischen Deformität gibt es nicht, es bleibt nur die operative. Ganz et al. (2005) verwenden in der Regel einen Kocher-Langenbeck-Zugang in Kombination mit einer digastrischen Trochanter-Flip-Osteotomie (▶ Kap. 21, Standardzugänge und Ganz et al. 2001). Etwaiges Osteosynthesematerial wird entfernt. Es folgt eine Z-förmige Kapsulotomie. Dann wird das Gelenk unter offener Sicht durchbewegt und der Ort des Impingements ermittelt. Nach Luxation des Hüftkopfs werden die das Impingement verursachenden Knochenanteile in der subkapitalen Region entfernt und damit das Offset zwischen Kopf und Hals wiederhergestellt (Abb. 9.28). Anschließend kann das Bewegungsspiel des Kopfs in der Pfanne erneut beurteilt werden. In 3 Fällen haben die Autoren bei ausgeprägter Varusfehlstellung des Schenkelhalses gleichzeitig eine Korrekturosteotomie vorgenommen. Der Trochanter major wird zum Abschluss des Eingriffs mit 2 Kleinfragmentschrauben refixiert. Die Patienten durften die operierte Hüfte postoperativ 8 Wochen lang nur mit 5–10 kg belasten. Und um das Anheilen des Trochanter majors nicht zu gefährden, durften die Patienten außerdem die Hüfte in diesem Zeitraum nicht mehr als 70° beugen und das Bein nicht über die Mittellinie hinaus ab- und adduzieren.

5 Jahre postoperativ fand sich bei allen Patienten eine deutliche Besserung der Symptomatik bei gleichzeitig verbesserter Beweglichkeit ohne Zunahme der Gelenkschädigung. Die Studie von Ganz und Mitarbeiter (2005) macht deutlich, wie wichtig es ist, eine möglichst anatomische Reposition einer Schenkelhalsfraktur in beiden Ebenen zu erreichen, um ein Impingement von vornherein zu vermeiden. Sollte dennoch eine Retroposition resultieren, muss man an die Möglichkeit eines Impingements denken und dieses ggf. frühzeitig korrigieren, um eine zunehmende Schädigung des Gelenkknorpels und damit die drohende Arthroseentwicklung frühzeitig zu unterbinden.

In den letzten Jahren wird das ventrale FAI zunehmend auch arthroskopisch angegangen (▶ Abschnitt 9.2.4, Hüftarthroskopie). Dies ist zwar ein technisch und vom Equipment her aufwändiger Eingriff, aber in der Hand des Geübten ist er sehr erfolgreich. Außerdem

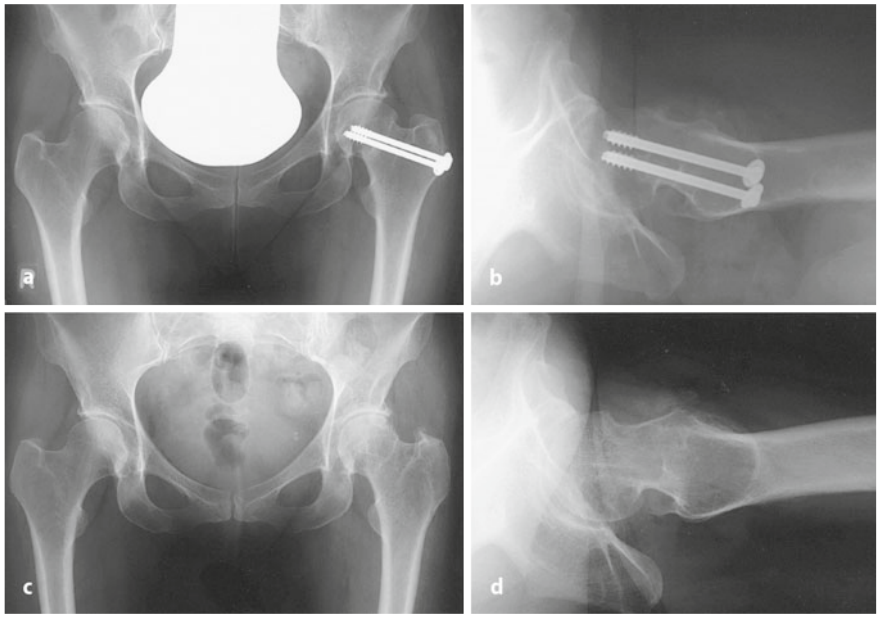


Abb. 9.28a–d Femoroacetabuläres Impingement bei fehlverheilter Schenkelhalsfraktur. **a** Aufsichtsbild nach Schraubenosteosynthese. **b** Die Retroversionsfehlstellung mit Wulstbildung am Kopf-Hals-Übergang zeigt sich erst auf der axialen Aufnahme. **c,d** Postoperative Kontrollaufnahmen nach Implantatentfernung und offener chirurgischer Wiederherstellung des Kopf-Hals-Offsets 4,5 Jahre nach dem Unfall. (Aus: Strehl u. Ganz 2005)

kann man die nicht unerheblichen Nachteile ganz vermeiden, die das invasive Vorgehen mit der Notwendigkeit das Gelenk zu luxieren mit sich bringt. Entsprechend beschleunigt ist die Rehabilitation.

Sekundäre Dislokation

Wie bereits im Abschnitt Therapie beschrieben, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass eine eingestauchte Schenkelhalsfraktur bei einem unter 70-jährigen gesunden Patienten sekundär instabil wird, bei 5%, bei älteren Patienten mit mehreren Begleiterkrankungen steigt sie dagegen auf fast 80%. Aus diesem Grund ist nach Ansicht von Raaymakers und Schafroth (2002), wenn schon, dann für letztere Patientengruppe eine primäre operative Behandlung indiziert.

Gelenkersatz bei alten Patienten mit dislozierten Schenkelhalsfrakturen

Die weiche Knochenqualität der alten Patienten führt häufig zum Versagen von Osteosynthesen. Deshalb herrscht in der Literatur Einigkeit darüber, dass Patienten, die nicht älter als 65 Jahre sind, osteosynthetisch versorgt werden sollen, über 85-jährige Patienten dagegen einen endoprothetischen Gelenkersatz brauchen. In der »Grauzone« der 66- bis 84-jährigen Patienten orientiert man sich an deren biologischen Zustand, der anhand eines Vitalitätstests eingeschätzt werden kann (Robinson et al. 1994). Patienten, die 19 Punkte oder mehr erreichen, eignen sich für eine Osteosynthese, alle anderen erhalten eine Hemi- oder Totalprothese.

Aufklärung

Laut den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (www.dgu-online.de) müssen die Patienten präoperativ über folgende Risiken aufgeklärt werden:

- Durch die Operation kann eine Beinlängendifferenz entstehen. Eine Verlängerung von bis zu 2 cm ist kein Kunstfehler. Dazu gibt es ein Gerichtsurteil. Eine Differenz bis 1,5 cm verlangt überdies, laut Puhl (2000), keinen Schuhsohlenausgleich.
- Es muss über das potenzielle Infektionsrisiko aufgeklärt werden; dazu sind am besten klinikeigene Daten vorzulegen.
- Das Risiko einer postoperativen Luxation hängt von der Erfahrung des Operateurs und der Art des Zugangs ab.
- Die Entscheidung, ob ein unzementiertes oder zementiertes Vorgehen gewählt wird, kann häufig erst intraoperativ gefällt werden. Nicht jeder Patient, der für eine unzementierte Prothese vorgesehen ist, kann letztlich auch eine solche erhalten, weil sich oft erst intraoperativ herausstellt, dass die Knochenqualität viel schlechter ist als zunächst angenommen. Auch können intraoperativ auftretende Schwierigkeiten zum Zementieren zwingen.
- Es muss über die Möglichkeit von intraoperativ entstehenden Frakturen aufgeklärt werden, die dann mit Cerclagen und anderen Mitteln osteosynthetisch versorgt werden müssen.
- Auch ist die prinzipielle Möglichkeit der Prothesenlockerung gegeben. Dabei korreliert der Aktivitätsgrad des Patienten mit der Lockerungsrate. Die durchschnittliche Standzeit von Prothesen beträgt mittlerweile 12 Jahre. Laut Studien erreichen 90% aller Hüftendoprothesen eine Standzeit von mehr als 10 Jahren. Diese Studien scheinen aber die wahren Verhältnisse nicht wirklich wiederzugeben, weil im Jahr 150.000 Hüftendoprothesen bundesweit eingesetzt werden, davon aber 30.000 Wechseloperationen sind. Das bedeutet, dass im günstigsten Fall nur 80% aller Prothesenträger länger als 10 Jahre ohne Wechseloperation auskommen.
- Falls man über eine Knochenbank verfügt, muss über die Möglichkeit der Fremdknochenimplantation und deren Risiken aufgeklärt werden.

Operationsplanung

Zur Operationsvorbereitung braucht man ein tief eingestelltes Becken. Der Zentralstrahl wird dafür einen Querfinger distal der Symphyse ausgerichtet. Zusätzlich wird der Oberschenkel der erkrankten Seite im seitlichen Strahlengang aufgenommen. Die seitliche Aufnahme des Oberschenkels zeigt das Ausmaß der Antekurvation des Femurs. Bei großer Antekurvation kann es sein, dass die ausgemessene Schaftgröße bei Weitem nicht erreicht wird. Dann ist man als Operateur vorgewarnt und kann sich schon präoperativ eine Alternative überlegen oder ein anderes Prothesenmodell verwenden. Die seitlichen Schablonen der Prothesen zeigen schon präoperativ, ob die Schaftgröße, die auf dem Aufsichtsbild gut passt, auch tatsächlich intraoperativ eingebracht werden kann.

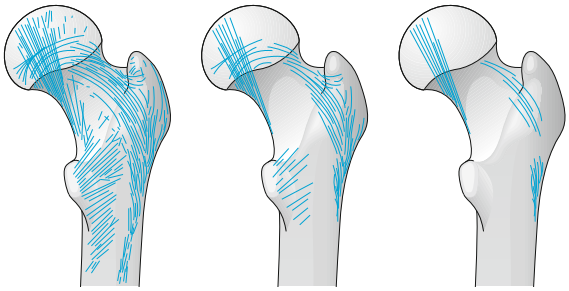


Abb. 9.29 Einteilung der Osteoporose anhand der Zugtrajektoren am Schenkelhals nach Bobyn und Engh in 3 Grade: vorhanden, geschwunden, verarmt

Die zu erwartende Knochenqualität des jeweiligen Patienten kann anhand der Zugtrajektoren am Schenkelhals beurteilt werden. Laut Singh (1970) korreliert das Verschwinden der Zugtrajektoren mit einer zunehmenden Osteoporose. Singh hat 7 Grade unterschieden. Bobyn u. Engh (2000) unterscheiden nur 3 Grade: vorhanden, geschwunden, verarmt (Abb. 9.29).

Zeichnerische Planung

Laut Wagner u. Wagner (2000) ist heutzutage eine präoperative Planung unverzichtbar. Wenn ein Patient wegen eines Kunstfehlers klagt, ist es von Vorteil, wenn das Krankenblatt eine Planung enthält. Die Planung soll aber nicht nur aus forensischen Gründen erfolgen. Sie ist auch ein wichtiger Lerneffekt für den Operateur, der dadurch gezwungen ist, sich präoperativ mit der Situation auseinanderzusetzen, die auf ihn zukommt. Außerdem können präoperativ die zu erwartenden Prothesengrößen angegeben werden. Das hat nicht nur einen »sportlichen« Reiz, sondern erleichtert dem Operationsteam die Organisation.

Bei der Planungszeichnung wird zunächst die Schablone der künstlichen Pfanne auf das Acetabulum der kranken Seite gelegt und anhand der Köhler-Tränenfigur (Abb. 9.11) die Position der Pfanne ausgerichtet. (Köhler war Radiologe in Wiesbaden und lebte von 1874–1947.) Jetzt ist die Pfannengröße bekannt, und die Pfanne kann auf ein darüber gelegtes DIN-A4-Pausepapier gezeichnet werden. Dabei ist es ausreichend, die äußeren Umrisse der zu implantierenden Pfanne und deren Drehzentrum zu skizzieren. Dann wird das Papier auf die kontralaterale Seite (die gesunde) gelegt, sodass die bereits eingezeichnete Pfanne mit der natürlichen Pfanne zur Deckung kommt. Wenn auf der gesunden Seite ein regelrechter Abstand von Drehzentrum zum Femur vorliegt, können nun die trochanteren Umrisse am Trochanter major und minor eingezeichnet werden. Aufgrund dieser 3 Punkte ist eine gelenkgerechte Position von Pfanne zu Schaft festgelegt, die nun spiegelverkehrt durch Umdrehen des Pauspapiers auf die erkrankte Seite übertragen werden kann. Nun kann die passende Schaftkomponente in das proximale Femur eingepasst und das Pauspapier mit den eingezeichneten trochanteren Umrissen und dem Drehzentrum, das auch auf der Schaftschablone markiert ist, zur Deckung gebracht werden. Dadurch ist bereits die korrekte Position von Pfanne, Schaft und Femur zueinander ermittelt und man braucht nun nur noch die anatomischen Umrisse und den Schaft auf das Pauspapier zu zeichnen. Anschließend wird vermerkt, welche Pfannen-, Schaft- und Kopfgröße gewählt wurden, wie der Patient heißt, wann er geboren ist und wer diese Zeichnung an welchem Tag angefertigt hat. Zuletzt wird dieses Dokument in die Krankenakte gegeben.

In den letzten Jahren werden mit der zunehmenden Einführung der digitalen Röntgenbildverarbeitung EDV-gestützte Planungsmodule für die Endoprothetik angeboten und genutzt. Auf kalibrierten Übersichtsaufnahmen ermöglichen sie, die Größe und Lage benötigter Prothesenteile präzise einzuschätzen.

Hemi- oder Totalprothese

Für diese Indikationen werden sowohl Kopfprothesen als auch Totalprothesen verwendet, wobei es die Kopfprothesen in uni- oder bipolarer Form gibt. Bei den unipolaren Prothesen ist anders als bei den bipolaren die Verbindung zwischen Kopf und Hals starr. Verlaufsbeobachtungen haben gezeigt, dass bipolare Prothesen langfristig weniger Beschwerden verursachen und eine größere Mobilität ermöglichen (Kenzora et al. 1998). Einige Autoren vertreten die Ansicht, dass unipolare Prothesen aufgrund finanzieller Überlegungen dennoch für sehr alte und hinfällige Patienten in Betracht kommen. Laut Raaymakers und Schafroth (2002) steht aber der Preisunterschied zwischen unipolaren und bipolaren Kopfprothesen in keinem Verhältnis zu den gesamten Behandlungskosten und dem Nutzen, den die Patienten aus dem schmerzärmeren und beweglicheren System ziehen können, weshalb sie bei der Hemiprothetik ausschließlich bipolare Modelle verwenden.

Viel schwieriger zu beantworten ist aber die Frage, in welchen Fällen eine Hemiprothese ausreicht und wann man besser eine Totalprothese einsetzt. In ihrer großen Metaanalyse an 5000 Patienten kommen Lu-Yao et al. (1994) zu dem Schluss, dass die Luxationsraten nach Versorgung einer Schenkelhalsfraktur mit Totalendoprothese 18% betragen haben im Vergleich zu 5% bei Verwendung einer Kopfprothese. Erste Ergebnisse an 200 Patienten einer randomisierten Studie, in der beide Versorgungsvarianten verglichen werden, waren in der Totalendoprothesen-Gruppe die Mortalität 2-mal und die Luxationsrate 5-mal so hoch wie in der Kopfprothesen-Gruppe. Andererseits traten in der Kopfprothesen-Gruppe 2-mal häufiger Lockerungen auf und 2 Fälle von Kopfprotrusionen (Raaymakers u. Schafroth 2002).

In der Gesamtschau sprechen diese Befunde dafür, den Einsatz der Totalprothese auf die Patienten zu beschränken, die noch mobil und körperlich aktiv sind, sich regelmäßig außer Haus bewegen und keine schweren Grunderkrankungen haben, sodass man noch von einer mehrjährigen Lebenserwartung und Mobilität ausgehen kann (Tab. 9.4).

Timing

Weil der Hüftkopf ersetzt wird, besteht zwar keine Notfallindikation, aber 24 h nach dem Unfall nimmt zumindest während der ersten Woche die Letalität mit jedem weiteren Tag, den die alten Menschen ins Bett »gefesselt« zubringen, signifikant zu. Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass die Patienten durch jeden Tag, an dem sie nicht mobilisierbar waren, in einen schlechteren Zustand geraten.

Deshalb sollte nur dann nicht sofort operiert werden, wenn die Ausgangssituation ein zu hohes Operationsrisiko birgt oder verbessert werden kann. Solche Situationen wären z.B.:

- **frischer Myokardinfarkt,**
- **akuter Apoplex,**
- **entgleister Diabetes mellitus,**
- **instabiler Kreislauf und/oder**
- **noch nicht medikamentös behandelte Herzinsuffizienz.**

In solchen Fällen sollte man zusammen mit den Internisten und Anästhesisten die Therapie festlegen und im weiteren Verlauf den besten Zeitpunkt für die Operation im interdisziplinären Austausch bestimmen.

Zugangswahl

4 Zugänge stehen zur Verfügung (▶ Kap. 21, Standardzugänge):

- Minimal-invasiver Zugang nach Röttinger
- Anterolateraler Zugang nach Watson-Jones
- Transglutealer Zugang nach Bauer (Synonym: lateraler Zugang, »alpenländischer Zugang«)
- Dorsaler Zugang nach Moore

Der **minimal-invasive Zugang nach Röttinger** findet zunehmend Verbreitung, weil er eine gute Übersicht für die Endoprothetik ermöglicht, ohne dass Anteile der gelenkübergreifenden Muskulatur vom Trochanter major abgelöst werden müssen. Dies führt zu einer beschleunigten Rehabilitation. Die Patienten sind postoperativ weniger schmerzgeplagt und schneller mobil. Der Erhalt der muskulären Ansätze reduziert die Luxationsgefahr. Allerdings ist der Zugang anspruchsvoll und braucht eine deutliche Lernkurve. In der Hand des erfahrenen Operateurs bringt er gute Ergebnisse ohne eine erhöhte Gefahr von Fehlpositionierungen, dies ergaben Nachuntersuchungen von Radmer et al. (2009). Die Autoren überblicken die mittelfristigen Ergebnisse von 1000 Patienten, die ausnahmslos über einen vorderen minimal-invasiven Zugang versorgt wurden, wobei die Komplikationsrate mit insgesamt 3,1% sehr niedrig ausfiel (4 Infekte, 5 periprothetische Frakturen, 12 Wundheilungsstörungen, 10 Irritationen des N. cutaneus femoris lateralis).

Beim **anterolateralen Zugang nach Watson-Jones** ist ohne große Präparationsarbeit die Hüftgelenkkapsel sehr schnell erreichbar. Außerdem können die Patienten in Rückenlage operiert werden, was die Orientierung beim Implantieren der Pfanne und die intraoperative Röntgenkontrolle erleichtert. Der Nachteil ist, dass man an der Trochanterspitze den M. gluteus medius partiell lösen und später reinserieren muss. Die Reinsertion des Gluteus ist aber nicht immer suffizient. Die Nähte können leicht ausreißen, und in der Folge leiden einige Patienten postoperativ an einer Glutealinsuffizienz mit positivem Trendelenburg-Zeichen.

Dasselbe Problem besteht beim weit verbreiteten **lateralen Zugang**. Aus neueren kernspintomografischen Untersuchungen weiß man, dass die abgelöste und später wieder reinserierte Portion des M. gluteus medius seine Kontraktilität einbüßt und zur funktionslosen Narbe umgebaut wird. Deshalb empfiehlt es sich nicht, bei Wechseloperationen erneut über den vernarbten transglutealen Zugang zum Hüftgelenk einzugehen, denn jedesmal werden neue vitale Muskelportionen geopfert, was eine vorbestehende gluteale Schwäche zur manifesten Insuffizienz werden lassen kann. Deshalb sollten TEP-Wechsel oder Revisionen über einen gesonderten muskelschonenden Zugang durchgeführt werden (s. unten, Komplikationen und Prognose). Im Vergleich zwischen einem anteriolateralen minimal-invasivem Zugang mit einem transglutealen an 44 Patienten fanden Müller et al. (2009) im postoperativen MRT in der transgluteal operierten Gruppe signifikant mehr fettige Atrophien und Sehnendefekte am M. gluteus medius und es traten signifikant häufiger trochantere Bursitiden auf.

Vorteile des **dorsalen Vorgehens** sind die hervorragende Übersicht und ein besonders guter Zugang zum Femurschaft. Allerdings besteht durch die Notwendigkeit, die dorsale Kapsel zu exzidieren, auch der Nachteil der erhöhten Inzidenz dorsaler Luxationen. Selbst versierte Operateure, die grundsätzlich den dorsalen Zugang verwenden, müssen postoperative Luxationen hinnehmen. Das Risiko liegt zwischen 1 und 7% (Kerschbaumer et al. 2007). In den letzten Jahren wird zunehmend häufiger die dorsale Weichteilrekonstruktion eingesetzt, was das Risiko auf 0–3% reduziert. Die Frühluxation, die innerhalb der ersten 6 Wochen auftritt, hat ihre Ursache meist in einer noch nicht ausgebildeten Neokapsel. Sie kann durch eine geschlossene Reposition behoben werden. Durch eine geeignete Nachbehandlung und Anleitung des Patienten kann sie vermieden werden. Von Spätluxation spricht man ab der 7. postoperativen Woche. Sie hat ihre Ursache meist in einer Malposition oder Migration von Prothesenkomponenten und bedarf häufig einer Reoperation (Mazoochian et al. 2007).

Darum bevorzugten bis zum Aufkommen des minimal-invasiven Zugangs nach Röttinger viele Unfallchirurgen den transglutealen Zugang in Rückenlage.

Vorgehen

Beim **minimal-invasiven Zugang nach Röttinger** wird der Patient in Seitenlage gebracht. Der Rumpf wird an Symphyse und Kreuzbein mit Seitenstützen stabilisiert. Die Hüfte des kontralateralen Beins, die auf dem Operationstisch aufliegt, wird leicht angebeugt. Dadurch entsteht auf der Dorsalseite des Oberschenkels Platz, der später beim Aufraspeln des Femurs und beim Einbringen des Prothesenstiels gebraucht wird. Nach Hautdesinfektion und Abdeckung des Operationsgebiets werden zunächst die anatomischen Landmarken für die Schnittführung identifiziert. Der Hautschnitt zieht vom höchsten Punkt der äußeren Wölbung des Trochanter majors, der in der Mitte seiner ovalären Kontur liegt, zur Spina iliaca anterior superior und ist bei schlanken Patienten nur 6–9 cm lang. Nach Durchtrennung von Haut und Subkutis gelangt man auf die Faszie, die in Schnittrichtung durchtrennt wird. Dann sucht man sich das Intervall zwischen dem Unterrand des M. gluteus medius und dem Oberrand des M. tensor fasciae latae und drängt es stumpf auseinander. Dabei wird regelhaft ein kleines Gefäßbündel sichtbar, das koaguliert wird. In der Tiefe des Intervalls gelangt man auf den durch die Hüftgelenkkapsel bedeckten Schenkelhals. Zunächst wird der Schenkelhals samt Kapsel mit gebogenen Hohmann-Hebeln umfahren und exponiert. Dann wird die Hüftgelenkkapsel teilreseziert. Anschließend werden die Hohmann-Hebel zwischen die Kapselränder und den Schenkelhals nach gesetzt und eine etwa 2,5 cm dicke Knochenscheibe aus dem Schenkelhals herausgesägt. Dadurch bekommt man für die nun folgenden Schritte der Operation mehr Platz, denn durch den vollständigen Verbleib der Muskulatur am Trochanter lässt sich das proximale Femur durch Zug am Bein nur in sehr begrenztem Umfang vom Hüftkopf wegbewegen. Nun werden Labrum- und Kapselreste exzidiert. Dann lässt sich der Kopf meist relativ leicht aus dem Acetabulum hebeln oder mit dem Hüftkopfextraktor herausziehen.

Bevor man die Pfanne einsetzt, sollte man durch ein Kapselrelease am proximalen Femur für ausreichend Platz sorgen. Die Kapselansätze werden, soweit zugänglich, möglichst vollständig vom Knochen gelöst und entfernt. Dann wird die Pfanne durch Einsatz von insgesamt 3 Knochenhebeln exponiert. Ein Hebel wird dorsokaudal, einer ventrokaudal und die Spitze eines dritten oberhalb des Pfannendachs von lateral ins Pfannendach eingeschlagen. Das Setzen der Pfanne erfolgt mit einem speziell vorgebogenen Setzgerät. Beim Einsatz eines geraden Setzinstruments würde man die gluteale Muskulatur quetschen. Dann wird der Femurköcher aufbereitet zur Aufnahme des Prothesenstiels. Dazu wird das Bein bei hängendem Unterschenkel 90° außenrotiert und gleichzeitig adduziert und überstreckt, sodass der Unterschenkel geführt durch den Assistenten seitlich neben dem Tisch gerade herabhängt. Damit das steril verpackte Bein des Patienten nicht unsteril wird, bekommt der Assistent vorne an seinem Operati-

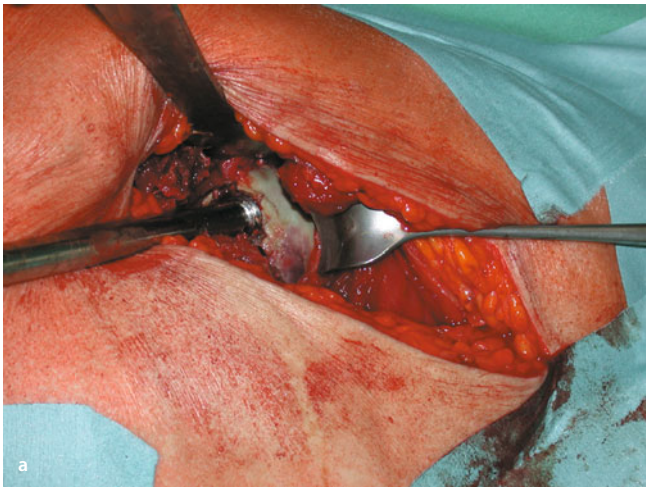


Abb. 9.30 Extraktion des Hüftkopfs mit dem Kopfbohrer

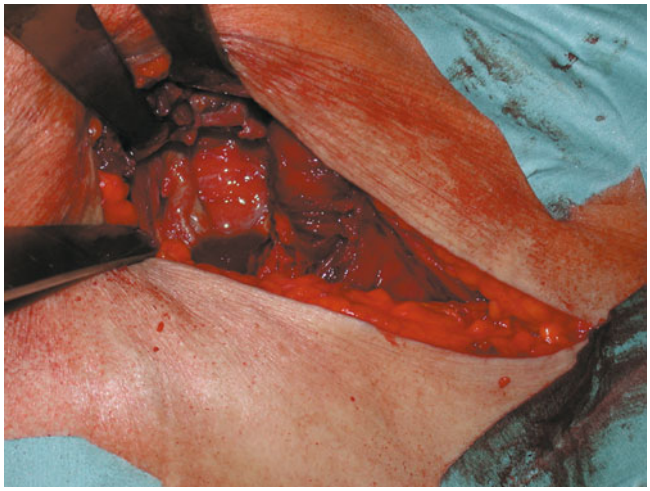


Abb. 9.31 Exposition der Hüftpfanne mit Hohmann-Hebeln. Ein Teil der Gelenkkapsel haftet noch am Pfannenrand

onskittel einen Tischbezug befestigt, ähnlich einem Kängurubeutel. Dort hinein versenkt er das Bein des Patienten während der Schaftpräparation und zwischen den einzelnen Proberepositionen. Die Formraspeln für die Vorbereitung des Femurschafts werden mit speziellen bajonettförmigen Halterungen geführt, mit denen man an der glutealen Muskulatur vorbeikommt, ohne diese zu quetschen. Bei den Proberepositionen mit den Formraspeln kann man deren Lage unter Bildwandler überprüfen und gleichzeitig anhand der glutealen Vorspannung die Beinlänge einstellen. Dadurch, dass die Muskulatur nicht abgelöst wurde, hat man dafür eine relativ gute Orientierungsmöglichkeit, die groben Fehleinschätzungen vorbeugt. Der Zugang ist im ▶ Kap. 21 Standardzugänge detailliert beschrieben.

Der **transgluteale Zugang** wird über der äußeren Zirkumferenz des Trochanter major geschaffen. Die Hautinzision verläuft gerade vom proximalen Femur über die Trochanterspitze nach kranial um etwa Handbreite verlängert. Die Inzision darf 2–3 cm in den Vastus-lateralis-Ursprung hineinreichen und wird nach kranial in die Verlaufsrichtung der glutealen Fasern verlängert. Dann wird die gesamte anterolaterale Hälfte der Sehnenplatte von den muskulären Ansätzen des Trochanter major subperiostal abgelöst. Mit Hohmann-Hebeln wird die ventrale Kapsel exponiert und anschließend reseziert. Dann setzt man die Hebel um den Schenkelhals und osteotomiert diesen. Der Sägeschnitt kann je nach Vorliebe des Operateurs zunächst noch nicht am geplanten Ort erfolgen, sondern etwa 0,5–1 cm nach kranial versetzt, um etwaige Verletzungen der Osteotomieebene, die durch das Extrahieren des Hüftkopfs auftreten können, anschließend durch Nachresektion ausgleichen zu können. Dann wird der Hüftkopf mit dem Kopfbohrer, einem korkenzieherähnlichen Ausziehinstrument, direkt von ventral her transkortikal angebohrt – und nicht vom Markraum aus. Wenn man den Kopfbohrer transkortikal einbringt, sitzt er fester und man hebelt beim Extrahieren des Hüftkopfs nicht am Rand der Osteotomieebene des Schenkelhalses.

Der Kopf kann dann relativ mühelos extrahiert werden, wenn die Kapsel samt Labrum radikal genug exzidiert wurde. Für die Resektion des Labrums muss der Acetabulumrand gut exponiert werden. Dazu setzt man 3 Hohmann-Hebel, ventromedial, dorsomedial und lateral. Beim Setzen des ventromedialen Hebels muss man sich die Lage der neurovaskulären Strukturen der Leistenregion vergegenwärtigen. Nach Extraktion des Hüftkopfs wird die Osteotomieebene des Schenkelhalses bei Bedarf nachreseziert (Abb. 9.30).

Pfannenpräparation

Das Ligamentum transversum acetabuli wird nur bei schlechter Übersicht teilreseziert, da es zur Stabilität der äquatorialen Pfannenabstützung, also des hufeisenförmigen Acetabulums, beitragen soll (Abb. 9.31). Außerdem behindert es in der Regel das Setzen der Pfanne nicht.

Falls die Pfanne arthrotisch verändert ist, muss zunächst der Pfannenbodenosteophyt mit einem geschwungenen Meißel entfernt werden. Erst wenn der gesamte Osteophyt aus dem Pfannenboden herausgebrochen ist, erreicht man in der Kavität der Hüftpfanne das unter dem Osteophyten gelegene Fettpolster und erst dahinter die Knochenschicht, die das kleine Becken abdeckt. Diese Schicht darf beim Fräsvorgang nicht perforiert werden. Sollte dies dennoch passieren, wird aus dem entnommenen Hüftkopf eine spongiöse Scheibe gewonnen und in die Kavität der Pfanne implantiert, um ein späteres Zuheilen des Lochs im Pfannengrund zu ermöglichen und einen ausreichenden Knochenstock für spätere Wechseloperationen bzw. für den dauerhaften stabilen Pfannensitz zu schaffen. Auf diese Weise wird auch mit Geröllzysten und anderen knöchernen Defekten verfahren, die sich beim Fräsvorgang auftun können.

Beim Fräsen der Pfanne beginnt man mit einer kleinen Fräse und arbeitet zunächst in Richtung Beckenlichtung, bis aller Knorpel und Fettgewebe aus dem Pfannengrund entfernt sind und überall Knochen sichtbar ist. Dann erst orientiert man sich an der

geplanten Pfannenposition. Angestrebt wird eine Pfannenneigung von 45° oder etwas weniger. Dabei kann der Rand der künstlichen Pfanne etwas über den seitlichen Rand des Acetabulums hinausragen. Dies verursacht später keine Beschwerden. Entscheidend ist, dass ventral eine ausreichende knöcherne Überdachung der Pfanne erreicht wird. Bei 20% der Patienten ist die Hüftpfanne in diesem Bereich dysplastisch (Siebold et al. 2001). Diese Dysplasien können erst intraoperativ gesehen oder getastet werden. Auf der Beckenübersichtaufnahme kommen sie nur bedingt zur Darstellung.

Bei ventraler Pfannendysplasie muss darauf geachtet werden, dass der Rand der künstlichen Pfanne den knöchernen Pfannenrand nicht überragt, anderenfalls kann ein Impingement der Psoassehne entstehen. Die Sehne reibt bei Extension des Beins unter Belastung über den Rand der künstlichen Pfanne. Die Patienten bekommen dann häufig starke, chronische Beschwerden. Ein Pfannenwechsel kann unumgänglich werden (Abschnitt Komplikationen und Prognose).

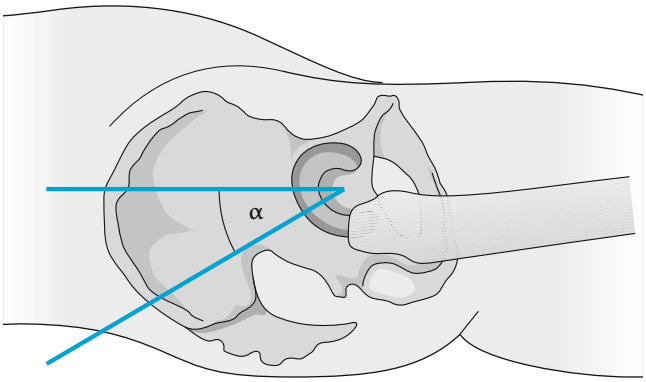


Abb. 9.32 Der Winkel α markiert den 30°-Sektor zwischen supraacetabulärer Belastungszone und dorsal angrenzender Iliosakralfugenregion, in dem die rotationssichernden Schrauben eingebracht werden sollen

Eine ventrale Pfannendysplasie zwingt den Operateur dazu, die Pfanne mit einer vermehrten Anteversion zu implantieren, damit der Rand der künstlichen Pfanne nicht über den Vorderrand des Acetabulums ragt. Dann muss bei der späteren Implantation der Schaftkomponente die Anteversion entsprechend reduziert werden, um die beiden Gelenkpartner richtig aufeinander einstellen zu können.

Auswahl des richtigen Pfannenimplantats

Mehrere Systeme stehen zur Verfügung: Schraub-, Spreiz- oder Pressfitpfannen mit und ohne optionale Verschraubung sowie Polyethylenpfannen zum Zementieren.

Die Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) empfiehlt folgende Implantatwahl:

- Biologisch junge Patienten unter 75 Jahren werden am besten mit Schraub-, Spreiz- oder Pressfitpfannen versorgt. Biologisch jung bedeutet eine gute Knochenqualität. Es darf keine Osteoporose vorliegen, die das altersübliche Maß überschreitet, insbesondere auch keine Erkrankung aus dem rheumatoiden Formenkreis wie Morbus Bechterew, chronische Polyarthritis und Ähnliches, die zu einer langjährigen Kortisoneinnahme gezwungen hat. Deshalb müssen auch Asthmapatienten diesbezüglich befragt werden.
- Patienten, die biologisch älter als 75 Jahre alt sind oder an fortgeschrittener Osteoporose leiden, sollen hingegen mit zementierbaren Pfannensystemen versorgt werden.

Patienten unter 75 Jahre. Bei der Positionierung der Pfanne sollte ein Neigungswinkel von 40–45° und eine Anteversion von 10–20° angestrebt werden. Bei ventraler Pfannendysplasie (s. oben) kann die Anteversion gezwungenermaßen wegen fehlender Überdachung auch mehr als 20° betragen.

Es wird versucht, beim Fräsen für die Pressfitpfanne ein spongiöses Lager zu erhalten. Allerdings kann bei massiver Arthrose eine ausgeprägte Pfannensklerose bestehen. Dann braucht nicht die gesamte Sklerosezone abgefräst zu werden, denn dadurch würde man zu tief ins Acetabulum eindringen und das Rotationszentrum des künstlichen Hüftgelenks kranialisieren und medialisieren. In diesem Fall genügt es, dafür zu sorgen, dass die Verzahnung zwischen Zement und Knochen verbessert wird bzw. beim unzementierten Vorgehen später Blutbestandteile und Granulationsgewebe zwischen Sklerosezone und künstlicher Pfanne einwachsen können. Dies erreicht man durch 2–3 Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 5–8 mm, mit denen man die Sklerosezone aufbricht. Die Bohrungen dürfen nicht so dick sein, dass sie den Knochen schwächen, aber sie müssen stark genug sein, damit Gewebe einwachsen kann.

Charnley, der Pionier der Hüftendoprothetik, hat in seiner ersten Serie die kraniale Sklerosezone des Acetabulums möglichst vollständig entfernt, um eine gute Zementpenetration zu erreichen. Anschließend beobachtete er häufig Pfannenmigrationen mit z.T. ausgeprägten Knochendefekten. Später hat er deshalb die Sklerosezone erhalten. Dadurch reduzierte sich zwar die Zahl der Migrationen, dafür sah er aber vermehrt Säume im Interface zwischen Zement und Knochen. Deshalb ging er letztlich dazu über, die Skleroseschicht an mehreren Stellen in der oben beschriebenen Form aufzubrechen, was zu einer Senkung der Lockerungsraten führte (Özkir et al. 2007).

Unzementierte Spreiz- oder Pressfitpfanne können gegen ein Verkippen gesichert werden; 2 Schrauben oder Zapfen sind ausreichend. Wichtig ist, dass die Stabilisatoren gut sitzen. Die Bohrlöcher lassen sich nur mit einer flexiblen Bohrwelle korrekt ausrichten. Sie sollen in einem Sektor liegen, der sich in einem 30°-Winkel zwischen der supraacetabulären Belastungszone und der dorsal angrenzenden Iliosakralfugenregion ausspannt. Hier liegt die größte Knochenmasse, die es erlaubt, die Schrauben stabil zu verankern (Abb. 9.32). Auch das Gewindeschneiden und Eindrehen der Schrauben muss mit flexiblen Instrumenten (Kardanschraubenzieher) vorgenommen werden, sonst hebelt man einerseits an den Bohrlöchern und quetscht andererseits die Weichteile.

Das Containment der künstlichen Pfanne, also deren knöcherne Umgebung, soll mindestens 80% betragen. Die Pfanne wird äquatorial verklemmt. Das heißt, sie stützt sich im hufeisenförmigen acetabulären Knochenstock ab und nicht polar. Deshalb sind die gängigen Schraub-, Spreiz- und Pressfitpfannen auch im Polbereich leicht abgeflacht.

Patienten über 75 Jahre. Bei Patienten, die biologisch älter als 75 Jahre sind, und bei allen Patienten mit Osteoporose werden zementierte Pfannen verwendet. Wie beim Vorbereiten des Lagers für Spreiz- oder Pressfitpfannen fräst man zunächst auch in Richtung kleines Becken, bis alles Weichteilgewebe aus dem Pfannengrund entfernt ist. Dann wird die Pfanne bis auf die gewünschte Größe weiter aufgefräst. Es ist darauf zu achten, dass nirgendwo der Pfannenrand perforiert wird, sonst ist die spätere Abstützung

beeinträchtigt. Im Zweifelsfall sollte besser eine etwas kleinere Pfanne gewählt werden als eine zu große.

Beim Fräsen für die Flachprofilpfanne braucht nicht der später gewünschte Pfannensitz eingestellt zu werden, sondern man fräst so, dass die Fräse bündig mit dem Pfannenrand ist. Anschließend werden 3 Löcher in das Acetabulum gebohrt, die zwischen 5 und 8 mm dick und etwa 1 cm tief sein sollen. Diese Löcher dienen, wie oben beschrieben, zur Oberflächenvergrößerung für die Knochenzementverankerung.

Vor dem Zementieren muss das Acetabulum von Fett, Blut und Geweberückständen befreit werden, die beim Fräsen entstehen. Von entscheidender Bedeutung für einen dauerhaften Prothesensitz ist, dass sich der Knochenzement in die Spongiosastruktur verteilen kann. In zahlreichen Studien wurde nachgewiesen, dass dies nur dann mit ausreichender Sicherheit möglich ist, wenn der Situs vor dem Zementieren mit einer gepulsten Lavage gereinigt wird (Breusch et al. 1999). Dies ist insbesondere in skandinavischen Ländern schon seit Jahrzehnten Standard. Dort konnten auch die höchsten durchschnittlichen Standzeiten zementierter Endoprothesen beobachtet werden.

Vor jedem Zementiervorgang ist grundsätzlich eine Jet-Lavage anzuwenden! Sie gewährleistet nicht nur eine bessere Verbindung zwischen Spongiosa und Knochenzement, sondern reduziert auch die Einschwemmung thrombogener Markraumbestandteile und damit das Risiko kardiopulmonaler Reaktionen signifikant.

Nach erfolgter Jet-Lavage sickert während der Vorbereitung des Zementierens kontinuierlich Blut in die Pfanne nach. Um zu verhindern, dass das Pfannenlager wieder mit Blut und Markfett vollläuft, saugt man am tiefst gelegenen der zuvor geschaffenen Verankerungslöcher dieses Blut kontinuierlich ab. Die Alternative ist, die Pfanne mit einem Bauchtuch auszustopfen, bis der Zement die richtige Konsistenz hat. Man bringt etwa 30 ml Zement in die Pfanne ein und komprimiert diesen dort vor, z.B. mit einem kleinen Latex-Wasserkissen, das man sich aus einem Operationshandschuh selbst herstellen kann, indem man diesen mit ein paar Millilitern isotoner Lösung füllt und dann dicht verknotet. Der Zement soll in die Verankerungslöcher und die spongiöse Oberflächenstruktur eindringen. Wenn der Zement vorkomprimiert ist und schon etwas zäh wird, setzt man die Polyethylenpfanne in das Zementbett. Damit man einen ausreichend dicken Zementmantel erhält, soll die Pfanne einen 4 mm kleineren Durchmesser haben als die zuletzt verwendete Fräse, mit der das Acetabulum aufbereitet wurde. Wie beim unzementierten Vorgehen beschrieben, muss darauf geachtet werden, dass die Pfanne am ventralen Acetabulumrand bündig abschließt und diesen nicht überragt. Lateral darf sie ggf. etwas überstehen, um die richtige Neigung zu erreichen.

Das Polyethylenimplantat wird mit einem Setzinstrument eingebracht, das eine Metallkappe trägt. Die Metallkappe schließt plan mit dem flachen äußeren Rand der Pfanne ab, sodass man mit dem Setzinstrument die Neigung und Anteversion exakt einstellen kann. Wenn dies erreicht ist, nimmt man das Setzinstrument aus dem Situs heraus, zieht die Metallkappe ab und stabilisiert anschließend die Pfanne nur noch mit dem halbkugeligen Ende des Setzinstruments im aushärtenden Knochenzement. Das halbkugelige Ende des Setzinstruments überträgt keine Schaukelbewegungen. Dadurch wird vermieden, dass der Knochenzement in der Aushärtungsphase Risse bekommt.

Es soll kein Knochenzement den Pfannenrand überragen. Knochenzement enthält ein metallisches Röntgenkontrastmittel, das Zirkonium. Wenn Partikel davon abbröckeln und in das Gelenkspiel geraten, werden sie dort zermahlen. Dann werden Metallteilchen frei und wirken wie Schmirgelpapier. Es entsteht Abrieb am Polyethylen und anderen Komponenten. Die Polyethylenteilchen wiederum induzieren die Bildung eines speziellen, besonders aggressiven Granulationsgewebes, das durch Freisetzung von Interleukin-1b und Tumornekrosefaktor Osteoklasten mobilisiert, die wiederum Schaft und Pfanne durch Knochenabbau vorzeitig auslockern lassen.

Begriffsbestimmung

- Pressfit = Reibschluss; Beispiel: im Markraum sitzender Nagel
- Formfit = Formschluss; Beispiel: Schraube im Knochen
- Materialschluss = Schweißen; Beispiel: Metallschweißung

Implantation des Prothesenstiels

Patienten unter 65 Jahre. Hier gilt Ähnliches wie bereits für die Pfannenkomponente angesprochen. Patienten, die biologisch jünger als 65 Jahre sind, keine Osteoporose haben, keine Erkrankung aus dem rheumatoiden Formenkreis und keine Anamnese einer Langzeitkortisoneinnahme, können mit einer unzementierten Prothese versorgt werden.

Solange allerdings für die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen zementfreien Prothesensysteme keine validen Langzeitergebnisse über 15 Jahre vorliegen, gilt die zementierte Verankerung unter Einsatz einer modernen Zementiertechnik als Qualitätsmaßstab. Moderne Zementiertechnik bedeutet den Einsatz der Jet-Lavage, von Markraumstoppern, Vakuummischtechnik, retrograder Zementapplikation und Druckzementierung (Ewerbeck 2000).

Für die unzementierte Technik benutzt man heute zunehmend Prothesenstiele, die sich metaphysär abstützen. Im Bereich der Metaphyse ist der Knochen reagibler als diaphysär. Hier kann er sich schneller an Be- oder Entlastung anpassen. Für die verschiedenen Prothesentypen gibt es die jeweils passenden Formraspeln, die in aufsteigender Größe eingesetzt werden. Je nach Typ wird mehr oder weniger weit lateral im Bereich der Fossa trochanterica der Markraum mit einem Kastenmeißel, einem scharfen Löffel oder einer Ahle eröffnet. Dann ertastet man sich zunächst mit einem stumpfen Instrument, z.B. einem langen scharfen Löffel, die Richtung des Markraums. Dann werden in aufsteigender Größe die Formraspeln eingebracht.

Es gibt im Wesentlichen zwei Orientierungsmöglichkeiten bezüglich der erforderlichen Größe der Prothese und der Tiefe ihrer Implantation. Die richtige Passform kann am Klang der Kortikalis erspürt werden, wenn die Formraspeln in aufsteigender Größe in den Schaft eingetrieben werden. Wenn die Resonanz des kortikalen Knochens beim Schlagen allmählich höhere Frequenzen annimmt und sich letztlich nur noch unter erhöhtem Kraftaufwand steigern lässt, ist die kritische Grenze des Fassungsvermögens des proximalen Femurschafts erreicht. Gleichzeitig orientiert sich die Prothesengröße am Drehpunkt des Prothesenhalses, der auf einer gedachten Horizontalen, welche die Trochanterspitze tangential schneidet, zu liegen kommen muss. Ist die gewünschte Größe erreicht, kann mit der eingeschlagenen Formraspel eine Probereposition durchgeführt werden.

Ob die Prothese richtig sitzt, wird zunächst klinisch geprüft, indem das Hüftgelenk in Streck- und Beugestellung jeweils außen- und innenrotiert wird. Falls eine Luxationstendenz besteht,

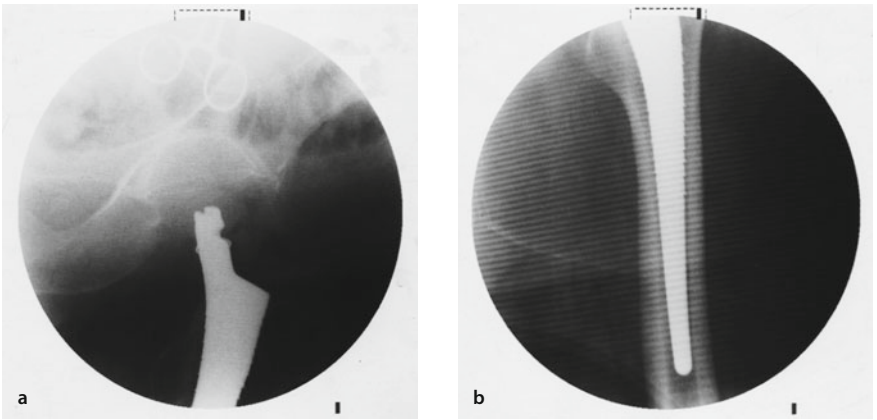


Abb. 9.33a,b Intraoperative Röntgenbildwandler-Kontrollaufnahme vor der endgültigen Implantation des Schafts

stimmt die Positionierung der Prothesenkomponenten zueinander nicht und muss korrigiert werden. Anschließend wird unter dem Röntgenbildwandler der **Sitz der Prothesenkomponenten** nach folgenden Kriterien überprüft:

- Der Stiel muss das proximale Femur formschlüssig ausfüllen. Er darf nicht varisch verkippt im Femurköcher sitzen. Sollte dies der Fall sein, liegt der proximale Eintrittspunkt zu weit medial.
- Der Drehpunkt der Prothese soll auf einer gedachten Horizontalen durch die Trochanterspitze liegen.
- Der Bogen des Unterrandes des oberen Schambeinasts sollte sich ungefähr im Bogen des Prothesenhalses fortsetzen (Ménard-Linie). Dies ist ein weiteres Indiz für die richtige Höheneinstellung der Schaft- und Pfannenkomponente.
- Der Neigungswinkel der Pfanne soll 40–45° betragen, deren Anteversion 10–20°.

Wenn die Prothese keine Luxationstendenz aufweist und röntgenologisch der korrekte Sitz überprüft ist (Abb. 9.33), wird die endgültige Prothese in den Schaft eingeschlagen. Dabei orientiert man sich wiederum am Klang des Femurs. Deshalb wird die Prothese mit möglichst gleichmäßigen Schlägen vorangetrieben, um am zunehmend höher werdenden Schlagton erkennen zu können, wann eine ausreichende Verklemmung erreicht ist.

Falls der Schaft springen und eine Fissur entstehen sollte, ist der Prothesensitz nicht gefährdet. Solche Fissuren sind laut Kirschner (2000) als stabil zu werten; Spotorno habe sogar zeitweise bewusst Fissuren gesetzt, um durch die später einsetzende Kallusbildung ein Einheilen des Stiels zu beschleunigen. Im eigenen Vorgehen werden allerdings sichtbare Fissuren mit einer Zerklage gesichert, um einen verstärkten Sintern des Prothesenstiels vorzubeugen.

Patienten über 75 Jahre. Bei Patienten, die biologisch älter als 75 Jahre sind oder deren Knochen osteoporotisch geschwächt ist, wird der Prothesenstiel zementiert. Dazu wird der Markraum, wie es oben beim unzementierten Vorgehen beschrieben wurde, aufbereitet. Allerdings braucht keine kortikale Verklemmung angestrebt werden, weil ein verbleibender spongiöser Saum im Femurköcher einen besseren Halt des Knochenzements ermöglicht.

Zementiertechnik am Femurschaft

Resorbierbare Markraumstopper machen bei der Revision weniger Probleme als nicht resorbierbare (Ewerbeck 2000). Nachdem der Markraumstopper eingebracht ist, soll eine Jet-Lavage durchgeführt werden; dies gilt als Standard. Dabei geht es im Bereich des Femurköchers nicht nur um die verbesserte Verzahnung des Knochenzements mit der spongiösen Oberfläche, sondern v.a. auch um die Reduzierung der Gefahr einer Fettembolie. Parvizi et al. (1999) fanden unter 38.488 Patienten, die zementierte Prothesen implantiert bekamen, 23 Todesfälle (<1‰) in tabula, während im gleichen Zeitraum unter 15.411 Patienten, die zementfrei versorgt wurden, kein einziger solcher Fall auftrat. Aber die Dunkelziffer dürfte in Wirklichkeit um den Faktor 10 höher sein. Dafür spricht die Beobachtung von Özkir und Mitarbeiter (2007), die bei der Sichtung von 4857 Hüft-TEPs, die zwischen 1972 und 1995 implantiert worden waren, 30 (<1%) solcher Fälle beobachteten; und auch Wenda (1990), der zu diesem Thema intensiv geforscht hat, spricht von 1% solcher Todesfälle.

Breusch et al. (2000) haben bei Schafen den Effekt der Zementierung mit und ohne vorausgegangener Jet-Lavage anhand der Fetteinschwemmung in den Iliakalgefäßen untersucht und herausgefunden, dass nach Jet-Lavage die Fetteinschwemmung um den Faktor 3 herabgesetzt war.

Bevor der Schaft einzementiert wird, muss ein Markraumstopper in die gewünschte Tiefe eingebracht und anschließend eine Jet-Lavage durchgeführt werden.

Nach erfolgter Jet-Lavage wird der Femurköcher mit einer Kompresse ausgestopft und Restflüssigkeit abgesaugt. Anschließend wird der Knochenzement retrograd eingebracht. Dazu legt man zuvor ein dünnes Abflussröhrchen in den Femurköcher, über das beim späteren Einbringen des Zements Luft und Sekret entweichen kann. Nach dem Einbringen des Zements entfernt man das Röhrchen und komprimiert den Zement manuell vor. Dann schiebt man den Prothesenstiel in den zementgefüllten Markraum. Da ein Zementmantel in einer Schichtdicke von 2–3 mm eingeplant ist, lässt sich der Prothesenstiel von Hand vorschieben, ohne dass dafür ein Schlagwerkzeug benutzt werden muss.

Auch beim zementierten Vorgehen müssen Probereposition mit der Formraspel vorgeschaltet werden, bevor der Stiel definitiv eingebaut wird. Es wird geprüft, ob eine Luxationstendenz besteht und ob in Neutral-Null-Stellung des Beins sich die äquatoriale Ebene der Pfanne bzw. des Inlays einerseits und die des Kopfs andererseits parallel zueinander einstellen. Wenn dem nicht so ist, kann beim späteren Zementieren versucht werden, dies durch Änderung der Anteversion auszugleichen. Vor dem endgültigen Einbringen der Hüfte kann nochmals geröntgt werden (Abb. 9.34).

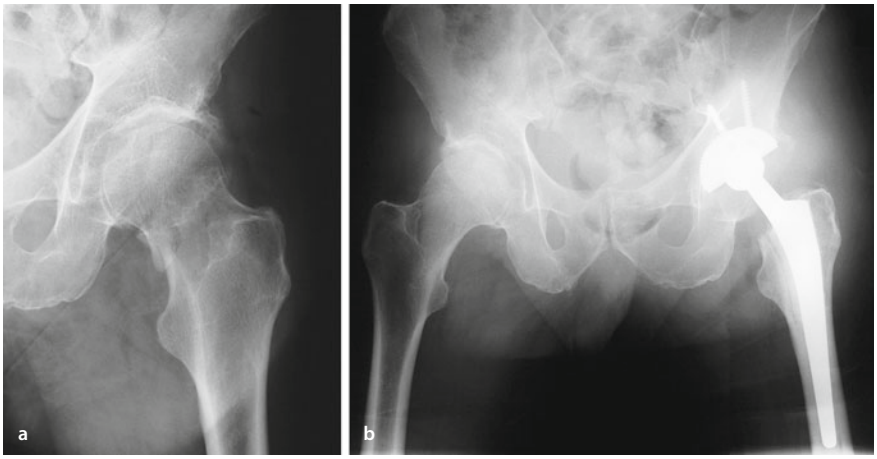


Abb. 9.34a,b Schenkelhalsfraktur eines 70-jährigen Mannes. **a** Unfallbild. **b** Versorgung mit einer Hybrid-TEP mit zementiertem Schaft und Pressfitschraubpfanne

Tribologie

Laut Elke (2001) kommt es u.a. durch Polyethylenabrieb zur Osteolyse. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Partikelkrankheit. Metallabrieb führt zu einer Osteoklastenaktivierung durch Interleukin-1b und dadurch ebenfalls zu Osteolysen. Der Abrieb von Knochenzement (s. oben) lässt die Komponenten im Gelenkbereich verschleißen.

Als Gleitpaarung stehen Keramik-Keramik- und Metall-Metall-Verbindungen sowie Paarungen von Metall oder Keramik mit hochvernetztem Polyethylen zur Verfügung. Keramik-Keramik-Verbindungen haben den Nachteil, dass sie verspröden und brechen können. Metall-Metall-Verbindungen verlangen hohe technische Anforderungen an die Produktion, gleichzeitig können systemische Wirkungen der Metallionen entstehen. Deshalb werden heute vielfach Gleitpaarungen von Metall- oder Keramikköpfen mit hochvernetztem Polyethylen verwendet.

Hemiprothetik bei hinfälligen Patienten

Bei bettlägerigen, sehr alten (>85 Jahre) oder hinfälligen Patienten genügt die Implantation einer Hemiprothese. Der bloße Hüftkopfersatz hat eine kürzere Operationszeit, ist blutärmer und luxiert seltener. Die Prothesenstiele werden zementiert, weil sie im rarefizierten Knochen der sehr alten Patienten unzementiert keine ausreichende Primärstabilität fänden. Risiken der Methode sind die Kopfprotrusion und der anhaltende Hüftschmerz, der immer wieder beobachtet wird. Deshalb beschränken die meisten Unfallchirurgen die Hemiprothetik auf bettlägerige Patienten und solche, die eine Lebenserwartung von 1 Jahr oder weniger haben. Bei starker Osteoporose ist die Gefahr der Protrusion erhöht. Bei Hüftpfannendysplasie können die Prothesen aus dem flachen und steil eingestellten Acetabulum luxieren, deshalb empfiehlt es sich in solchen Fällen die Hüftpfanne mit zu ersetzen.

Operationstechnik

Es stehen, wie bereits oben beschrieben, 4 Zugänge zur Verfügung: der minimalinvasive Zugang nach Röttinger, der transgluteale Zugang nach Bauer, der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones und der dorsale nach Moore (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Beim ventralen Vorgehen wird nach Aufsetzen des spitzen Hohmann-Hebels am Acetabulumrand die Gelenkkapsel T-förmig eröffnet, dabei kommt der quere Schenkel des »T« im Bereich der Schenkelhalsbasis zu liegen. Die beiden Kapsellippen werden entweder mit Haltefäden armiert, damit man sie beim späteren Reponieren des künstlichen Hüftkopfs auseinanderziehen kann, oder gleich reseziert. Nach Osteotomie des Schenkelhalses und Extraktion des Hüftkopfs kann dessen Größe mit einer Schublehre ermittelt und ein entsprechend großer Probierkopf in die Hüfte eingesetzt werden. Meist wird ein etwa 2 mm im Durchmesser größerer Prothesenkopf benötigt als der natürliche, weil sich mit zunehmendem Alter durch Abnutzung der Knorpelflächen das Größenverhältnis zwischen Kopf und Pfanne verschiebt und eine ausreichende Kopfgröße einer Protrusion entgegenwirkt. Schließlich soll sich der Kopf äquatorial abstützen und nicht polar. Wenn er sich äquatorial abstützt, saugt sich das Kopfphantom, das man für die Probereposition benutzt, in der natürlichen Pfanne an, sodass ein schmatzendes Geräusch entsteht, wenn man das Phantom wieder aus der Pfanne herauszieht. Das ist das Zeichen für eine ausreichende Kopfgröße. Alles Weitere läuft nach den oben beschriebenen Prinzipien der Endoprothetik ab. Nach erfolgter endgültiger Reposition kann die Gelenkkapsel, wenn sie erhalten wurde, als Luxationsprophylaxe genäht werden (Abb. 9.35).

Komplikationen und Prognose

Protrusion des Kopfs einer Hemiprothese bedeutet, dass der künstliche Hüftkopf die natürliche Pfanne durchscheuert und allmählich ins kleine Becken einbricht. Diese Gefahr ist insbesondere beim tiefen Infekt und ausgeprägter Osteoporose gegeben. Begünstigt wird die Protrusion außerdem durch zu hohe Resektion am Schenkelhals; dann verstärkt sich die Reibung in der Pfanne, weil die ligamentären Strukturen des Hüftgelenks ständig vermehrt gespannt sind. Aber auch ein zu klein gewählter Prothesenkopf kann durch punktuelle Überbelastung eine Protrusion erzeugen.

Periartikuläre Verkalkungen treten laut Schippinger et al. (1992) nach Implantation einer Hemiprothese nur in etwa 11% der Fälle gegenüber 41% nach Totalendoprothese auf.

Die Hüftgelenkendoprothetik führt ohne spezifische Prophylaxe in 40–80% zu **Thrombosen** am Unterschenkel und in 10–30% am Oberschenkel. Die Rate tödlicher Lungenembolien wird mit <1% angegeben (Pauschert et al. 1998). Thrombosen der V. femoralis können durch Hakendruck oder in Begleitung einer postoperativen Weichteilschwellung entstehen. Barden et al. (2001) haben durch intraoperative Venendoppleruntersuchung nachgewiesen, dass beim transglutealen Zugang während der Präparation des Femurköchers und dem Einbringen des Prothesenstiels bei zwei Drittel der Patienten die Leistenvenen vollständig stenosierten. Ursache dafür ist die Viererstellung des Beins bei gleichzeitiger Adduktion und Druck

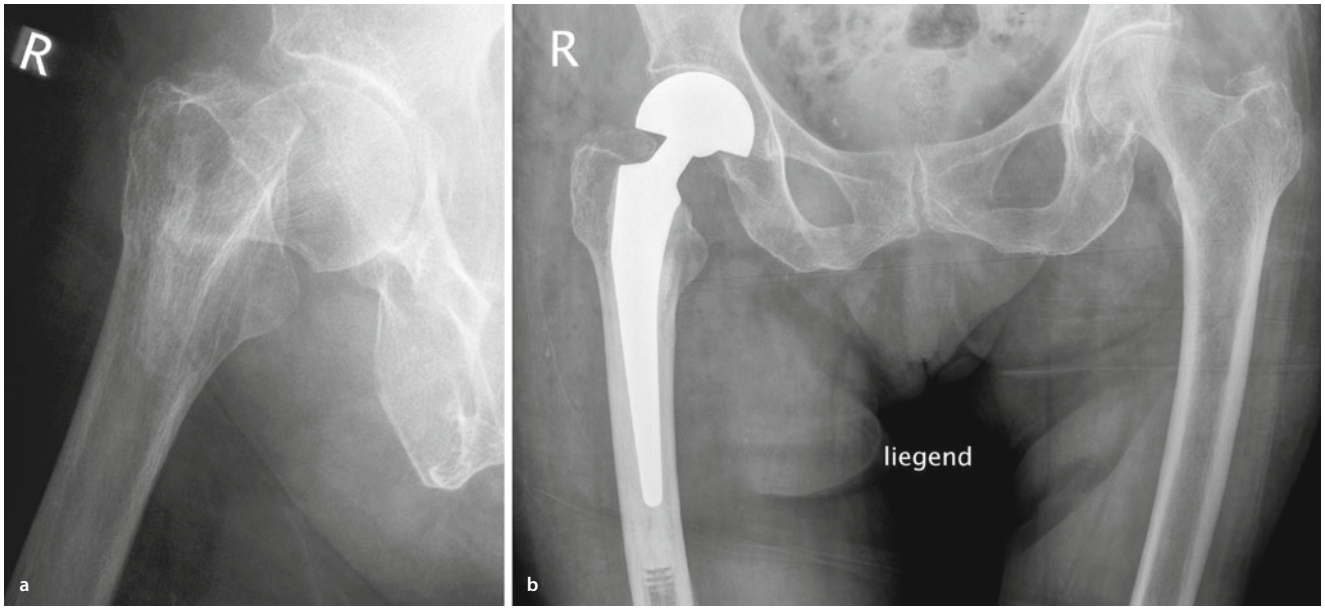


Abb. 9.35a,b Dislozierte Schenkelhalsfraktur (Garden IV) einer 92-jährigen Patientin. **a** Unfallbild. **b** Versorgung mit einer Duokopfprothese

durch die Knochenhebel. Durch Absenken des kontralateralen Beins und durch Weichteilrelease ließ sich der Druck reduzieren.

Intraoperativ werden durch die Drucksteigerung in der femoralen Markhöhle größere Mengen gerinnungsaktiven Knochenmarks in die Blutbahn eingeschwemmt. Diese Knochenmarkeinschwemmungen sind inzwischen als Auslöser der intraoperativen Blutdruckabfälle nachgewiesen.

Bei **Frühinfekten** kann versucht werden, die einliegende Prothese zu erhalten. Bei der Revision werden dann lediglich die einfach zu wechselnden Teile des Gelenks, also Kopf und Inlay entnommen und Abstriche für die mikrobiologische Untersuchung gewonnen. Dann wird der Situs gespült und ggf. débridiert. Ein Saugschwamm wird eingelegt und der Situs mit Situationsnähten verschlossen. Die Hüfte wird so lange revidiert, bis die Abstriche der vorausgegangenen Revision negativ sind. Beim abschließenden Eingriff werden ein neues Inlay und ein neuer Kopf eingesetzt und das Gelenk definitiv verschlossen.

Beim **Spätinfekt** muss die Prothese gewechselt werden. Beim einzeitigen Wechsel ist die Gefahr eines Reinfekts höher als beim zweizeitigen, ggf. mit zwischengeschalteten Revisionen, wie oben beschrieben. Die Erfolgsraten von Wechseloperationen liegen zwischen 80 und 90% (Morscher u. Herzog 1995). Aussichtlose Fälle mit chronisch persistierenden Infekten enden in der Regel in einer Resektionsarthroplastik nach Girdlestone.

Doch auch nach diesem Eingriff persistieren die Infekte, unterhalten von infizierten Hohlräumen, in 7–25% (Lee et al. 1996). Solche Fälle lassen sich laut Heppert et al. (2000) mit einem Vastus-lateralis-Lappen sanieren. Der Muskel wird proximal von 2 dominanten Gefäßen aus der A. profunda femoris versorgt. Das erste befindet sich etwa 4 cm unterhalb der Spitze des Trochanter major und das zweite etwa 10–12 cm unterhalb des Leistenbandes ventral in Höhe des Femurs. Unter Erhaltung möglichst beider Gefäße wird der Lappen ggf. bis hinab zu seinem sehnigen Übergang als Insellappen präpariert, das bedeutet, dass er zuletzt nur noch an den beiden Arterien samt den begleitenden Venen hängt. Nach einem radikalen Débridement der Infekthöhle ggf. mit Ausfräsen des Femurschafts werden die Instrumente und die Handschuhe gewechselt. Bevor man den Zugang nach distal erweitert, um den Insellappen zu heben, überzeugt man sich davon, dass die beiden proximalen zuführenden Gefäße nicht durch die stattgehabten Voroperationen beschädigt worden sind. Wenn der Muskel vollständig vom Femur abgelöst wird, bekommt man eine sehr gute Reichweite für ein ortsständiges Schwenken und kann damit auch große Infekthöhlen der Hüfte ausfüllen. Im Bereich der ehemaligen Pfannenregion wird er mit einzelnen resorbierbaren Nähten fixiert. Ist der Muskel voluminös, kann ein unter Spannung erzwungener Hautverschluss den venösen Abstrom unterbrechen. In solchen Fällen ist eine Spalthautplastik indiziert. Der Hebedefekt wird primär verschlossen ggf. unter Resektion eines überschüssigen Hautstreifens. Die Autoren beobachteten bei 20 Patienten weder eine Persistenz noch ein Rezidiv von Fisteln und keine zusätzlichen funktionellen Defizite. Letzteres dürfte damit zusammenhängen, dass die Patienten durch die Girdlestone-Situation ohnehin in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt waren. Durch das Einschlagen des Muskels in die Pfannenregion wird zudem einer unerwünscht hohen Einstellung des proximalen Femurendes im Acetabulum und einer Außenrotationsfehlstellung des Beins vorgebeugt.

Die 5-Jahres-Überlebensrate nach endoprothetischer Versorgung von Schenkelhalsfrakturen beträgt nach Petitti u. Sidney (1985) nur etwa 30–40%.

Beschwerden nach einem Hüftgelenkersatz

Entsprechende Beschwerden treten laut Literatur in 1–17% der Fälle auf (Kälicke et al. 2005). Die vielfältigen Beschwerden sind z.T. schwierig zu diagnostizieren und zu behandeln. Folgende Ursachen kommen u.a. infrage:

- Insertionstendopathie der zugangsbedingt reduzierten glutealen Restmuskulatur,
- aseptische oder septische Lockerung,
- heterotope Ossifikationen,
- trochantere Bursitiden,
- Muskelhernien,
- Nervenläsionen,
- Iliopsoastendinitis.

Insertionstendopathie

Eine Insertiontendopathie spricht auf die Reduzierung der Belastung unter temporärer Zuhilfenahme von Unterarmgehstützen an. Bei Therapieresistenz kann man den Patienten zumindest vorübergehend durch Kortisoninstillationen Linderung verschaffen.

Aseptische oder septische Lockerung

Bei Verdacht auf eine aseptische oder septische Lockerung ist die Bildgebung durch Nativaufnahmen und ein Szintigramm entscheidend. Außerdem sollte das Hüftgelenk bildwandlerkontrolliert punktiert werden (▶ Kap. 14, Weichteilverletzungen und Infektionen).

Heterotope Ossifikationen

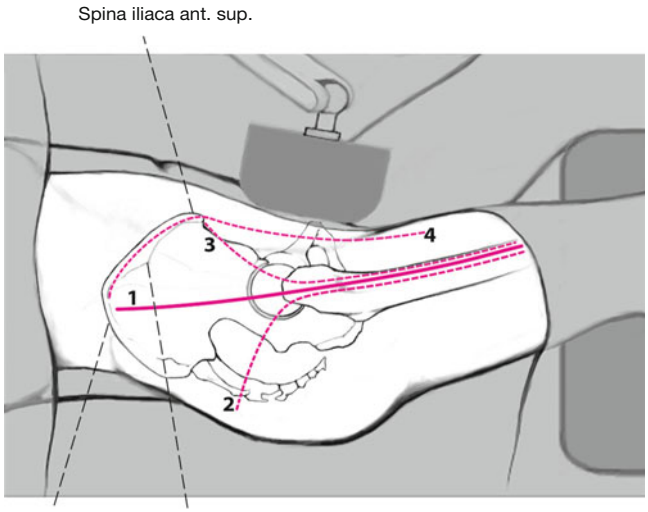
Die Verknöcherungen können so ausgeprägt sein, dass sie die Beweglichkeit des Hüftgelenks stark einschränken oder fast ganz aufheben. Dann ist deren Entfernung indiziert. Klinisch wird u.a. nach einer Hüftbeugekontraktur mit dem Thomas-Handgriff gefahndet (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Wenn der M. tensor fasciae latae kontrakt ist, kann das Bein nicht spannungsfrei an das kontralaterale angelegt werden (positives Ober-Zeichen, ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Auf der Beckenübersichtsaufnahme und einer axialen Aufnahme der Hüfte lassen sich die heterotopen Ossifikationen (HO) nach Brooker et al. (1973) klassifizieren.

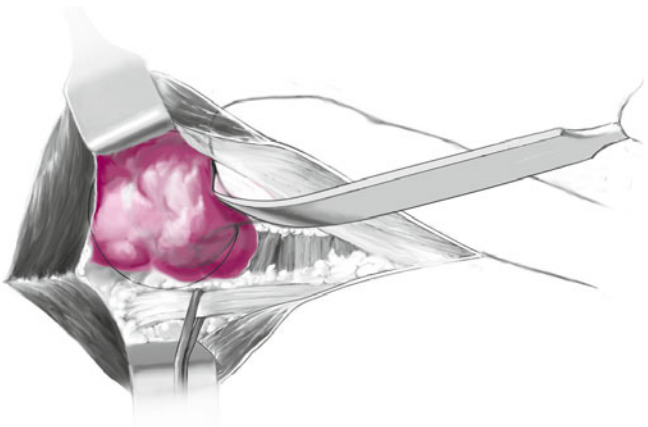
- Grad 0: Kein radiologischer Nachweis heterotoper Ossifikationen
- Grad I: Kleine periartikuläre Ossifikationsherde zwischen Becken und Trochanter
- Grad II: Mäßige Ossifikationsherde, die einen Mindestabstand von 1 cm belassen
- Grad III: Ausgeprägte Ossifikationen, die einen Zwischenraum von <1 cm belassen
- Grad IV: Vollständige Knochenbrücke

Zur exakten Beurteilung braucht man ein CT, um die Lage und Ausdehnung der Herde sowie die Beziehung zu großen Gefäßen, Nerven und den glutealen Ansätzen einschätzen zu können. Zur Bestimmung der biologischen Aktivität dient die 3-Phasen-Szintigrafie. Eine Intervention vor erfolgter Ausreifung der HO durchzuführen, zieht wahrscheinlich eine erhöhte Rezidivrate nach sich, wobei sich dieser Unterschied nach 18 Monaten nivelliert (Garland u. Orwin 1989). Die Eingriffe können sehr blutreich sein. Man sollte bei der Operation einen Cellsaver verwenden und Blutkonserven in ausreichender Menge bereitstellen.

Anagnostakos et al. (2009) empfehlen für die Resektion der HO generell die Seitenlage, weil sie eine Ausdehnung des Eingriffs nach dorsal ermöglicht, aber auch bei rein ventraler Lage durch die bessere Mobilität des Beins Vorteile bietet. Die Art des Zugangs richtet sich nach der Lage der HO (■ Abb. 9.36). Die HO liegt typischerweise unter der glutealen Muskulatur, wobei die kleinen Rotatoren häufig miteinbezogen sind. Dann empfiehlt sich, von dorsal vorzugehen. Dafür muss der N. ischiadicus dargestellt werden, um ihn sicher schonen zu können. Man sucht ihn in Höhe des Trochanter minor, distal der HO, zwischen den Muskelbäuchen der ischiokruralen Muskulatur auf und verfolgt ihn nach proximal. Durch Palpation der HO und Bewegen des Beins wird festgestellt, ob zwischen ektopen und genuinen Knochen eine feste Verbindung besteht. Falls Letzteres der Fall ist, muss diese Verbindung in der Grenzschicht zwischen der kortikalen Femuroberfläche und der Unterfläche der HO mit dem Meißel durchtrennt werden (■ Abb. 9.37). Anschließend kann man stumpf in der Trennschicht zwischen den beiden Knochenanteilen weiterpräparieren, z.B. mit



■ **Abb. 9.36** Die Zugangsmöglichkeiten zur Entfernung heterotoper Ossifikationen, s. Text. (Aus: Anagnostakos et al. 2009)



■ **Abb. 9.37** Aufspüren der Trennschicht zwischen Femur und der heterotopen Ossifikation, s. Text. (Aus: Anagnostakos et al. 2009)

einem Cobb-Raspatorium. Narbenstränge, die zur HO ziehen, durchtrennt man blutsparend mit dem Elektrokauter. Wenn die HO auch die ventralen Anteile des Gelenks betrifft, reicht der dorsale Zugang nicht aus. Um eine gute Übersicht unter Schonung der restlichen pelvitrochanteren Muskulatur zu erreichen, wird der Trochanter osteotomiert. Anschließend kann man die Unterfläche des M. gluteus medius von den Verknöcherungen lösen (■ Abb. 9.38). Beim Mobilisieren und Entfernen der ventralen HO muss man auf die Gefäße und Nerven der Leistenregion achten und diese ggf. darstellen. Die Autoren präparieren in der Nähe des Nervs vorzugsweise mit dem Elektrokauter, weil sich eine unerkannte Annäherung an den Nerv dann durch muskuläres Zucken des Quadrizeps ankündigt.

Die Reinsertion des Trochanters erfolgt unter Distalisierung und Einstauchung, weil dadurch die Vorspannung der pelvitrochanteren Restmuskulatur erhöht wird, denn die Vorspannung ist laut den Autoren nach der Entfernung der HO stets ungenügend. Die Autoren vertrauen nicht auf eine alleinige Fixierung durch Cerclagen, sondern verwenden eine Trochanterkrallenplatte und ein Drahtseilkabelsystem. Das kraniale Kabel führen sie durch den Trochanter minor und das distale um dessen Unterrand (■ Abb. 9.39).

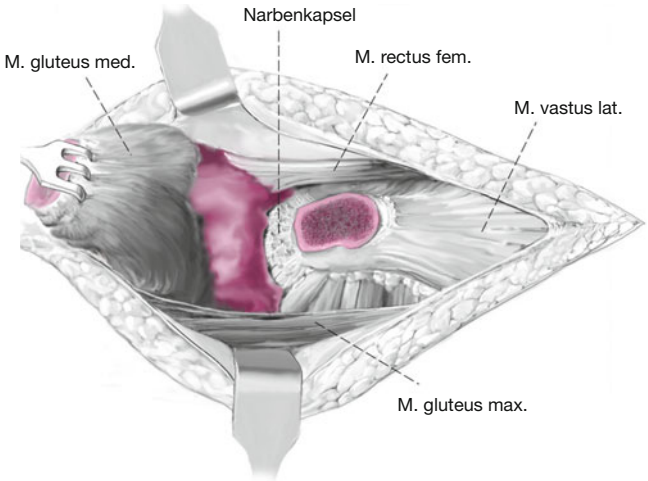


Abb. 9.38 Situs nach Trochanterosteotomie zur Entfernung heterotoper Ossifikationen, s. Text. (Aus: Anagnostakos et al. 2009)

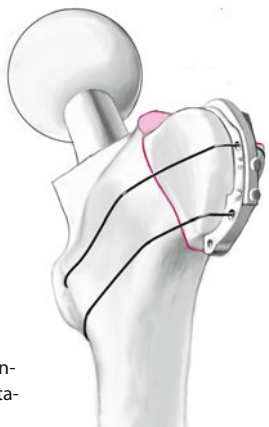


Abb. 9.39 Trochanterrefixation mit Krallenplatte und Cerclagen, s. Text. (Aus: Anagnostakos et al. 2009)

Anagnostakos et al. (2009) empfehlen, über 50-jährige Patienten postoperativ nachzubestrahlen, zusätzlich zur generell üblichen Rezidivprophylaxe mit NSAR. Die Inzidenz heterotoper Ossifikationen nach primärer Alloarthroplastik der Hüfte wird auf 42% geschätzt. 9% davon sind stark ausgeprägt und verursachen funktionelle Einschränkungen. Die Rezidivrate 6 Jahre nach Arthrolyse beträgt 25-30%.

Trochantere Bursitiden

Aseptische Entzündungen der Verschiebeschicht zwischen dem narbig indurierten Hautschnitt eines anterolateralen Zugangs zur Hüfte bzw. zum proximalen Femur und dem darunter liegenden Wulst des adaptierten Tractus iliotibialis sind relativ häufig. Sie sprechen gut auf eine ein- oder zweimalige Instillation mit einem kristalloiden Depot-Kortison an.

Symptomatische Muskelhernien

Verbleibende Faszienlücken durch zu große Nahtabstände, Nahtinsuffizienzen oder beim Wundverschluss versehentlich nicht erfasster Schichten im Bereich des Tractus iliotibialis können über einen kurzen Hautschnitt dargestellt und durch Einzelnähte adaptiert werden (▶ Abschnitt 9.7.1 Weichteilverletzungen und -überlastungen).

Nervenläsionen

Durch Dehnung verursachte Nervenschmerzen haben eine gute Prognose und erfordern meist keine spezielle Therapie. Wenn jedoch Fragmente, z.B. ein abgesprengter Trochanter-minor-Anteil, heterotope Ossifikationen oder Narben auf die Nerven drücken, ist eine chirurgische Dekompression angezeigt.

Iliopsoastendinitis

Die Sehnen der Mm. psoas major und iliacus ziehen, verschmolzen miteinander, in einer flachen Bucht zwischen der Eminentia iliopubica und der Spina iliaca anterior inferior zum Trochanter minor. Der Iliopsoas ist der stärkste Beuger des Hüftgelenks und ein wichtiger Muskel für die Aufrichtung aus der Rückenlage. Durch die Implantation einer Hüft-TEP kann die Vorspannung der Sehne erhöht werden – insbesondere dann, wenn Beinlängendifferenzen ausgeglichen werden müssen. Dadurch kann die Sehne, die gewöhnlich locker an der Eminentia entlang gleitet, zu reiben beginnen und sich entzündlich verändern. Bei Schmerzpersistenz nach konservativer Therapie mit lokalen Infiltrationen und Dehnungsübungen kommen nur noch operative Maßnahmen in Betracht. Mögliche Therapieoptionen sind die Verlängerungsplastik, das Ablösen der Sehne oder, wenn der Rand einer künstlichen Pfanne das Knochenniveau überragt, der Pfannenwechsel (Meyer et al. 2002). Die Verlängerungsplastik ist nur für Fälle ohne einliegende Prothese beschrieben. Die Sehne ganz abzulösen heißt, einen deutlichen Kraftverlust bei der Hüftbeugung provozieren. Und ein Pfannenwechsel würde nur bei zu groß gewähltem Implantat die Situation verbessern. Eine Alternative haben Kälicke et al. (2005) beschrieben. Sie haben bei einer Patientin mit Tendinitis bei nicht überstehendem Pfannenrand die deutlich aufgetriebene und entzündlich veränderte Sehne mit Haltefäden armiert, von ihrem Ansatz am Trochanter minor abgelöst, sie 2 cm weiter nach proximal und ventral versetzt und dort transossär mit einer PDS-Kordel am Femur reinseriert. Anschließend lief die Sehne wieder locker im Gleitlager der Eminentia. Postoperativ sollte die Patientin 6 Wochen lang ruckartige Flexionsbewegungen im Hüftgelenk und plötzliches Aufrichten aus der Rückenlage vermeiden. Die Autoren empfehlen, bevor man sich zum Wechsel zu groß gewählter Pfannen entschließt, durch eine Sehnenverlagerung zu versuchen, das Reiben zu beheben und auf diese Weise womöglich einen aufwändigen und belastenden Pfannenwechsel zu vermeiden.

9.3.2 Trochantere Frakturen

Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie, Klinik und Diagnostik

Ursachen, klinische Zeichen und Diagnostik der trochanteren Frakturen entsprechen den Kriterien, die für die Schenkelhalsfrakturen (s. oben) beschrieben wurden. Laut Josten u. Korner (1999) machen pertrochantere Frakturen ca. 40–45% der proximalen Femurfrakturen aus und haben damit eine gleiche Häufigkeit wie die Schenkelhalsfrakturen. Der Altersdurchschnitt liegt bei Frauen um 80, bei Männern um 70 Jahre. Frauen sind viel häufiger betroffen als Männer, was mit einer erhöhten Osteoporoseinzidenz korreliert. Drei Viertel aller Patienten sind Frauen und von diesen sind nur 25% jünger als 75 Jahre, während es bei den Männern 55% sind (Statistisches Bundesamt 1996).

Es gibt außerdem in seltenen Fällen isolierte Abrissfrakturen im trochanteren Bereich, insbesondere bei jugendlichen Sportlern, deren Apophysen noch nicht vollständig knöchern durchbaut sind.

Klassifikation

AO-Klassifikation

Die Klassifikation der AO unterscheidet im Wesentlichen 9 Frakturtypen (Abb. 9.40).

Klassifikation

Typ A: Frakturen der Trochanterregion:

- A 1 Pertrochanter einfach
  - A 1.1 entlang der Linea intertrochanterica
  - A 1.2 durch den Trochanter major
  - A 1.3 bis distal des Trochanter major
- A 2 Pertrochanter multifragmentär
  - A 2.1 mit einem Zwischenfragment
  - A 2.2 mit mehreren Zwischenfragmenten
  - A 2.3 bis distal des Trochanter minor
- A 3 Intertrochanter
  - A 3.1 einfach, schräg
  - A 3.2 einfach, quer
  - A 3.3 mehrfragmentär

Klassifikation nach Evans

Die Klassifikation nach Evans (1949) legt als Beurteilungskriterium das Ausmaß der Instabilität zugrunde. Mit steigender Typzahl nimmt der Grad der Instabilität zu:

- **Typ I:** Undislozierte einfache Fraktur
- **Typ II:** Dislozierte einfache Fraktur
- **Typ III:** Dislozierte Dreifragmentfraktur mit dorsolateraler Trümmerzone
- **Typ IV:** Dislozierte Dreifragmentfraktur mit dorsomedialer Trümmerzone
- **Typ V:** Dislozierte Vierfragmentfraktur mit Auseinanderweichen beider Trochanteren

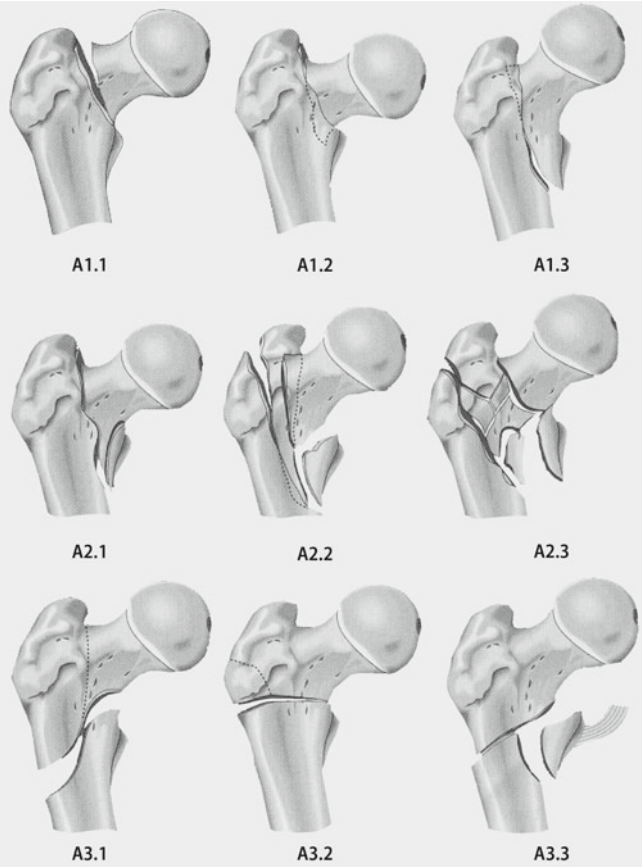


Abb. 9.40 AO-Klassifikation der proximalen Femurfrakturen. (Aus: Seekamp 2009)

Therapie

Operative Therapie

Die konservative Therapie der pertrochanteren Femurfrakturen ist verlassen. Es wird nahezu in allen Fällen eine operative Versorgung angestrebt, weil nur dann die Möglichkeit besteht, die Patienten rasch schmerzfrei und mobil zu bekommen. Anderenfalls drohen erhebliche Risiken, gepaart mit einer hohen Letalität (▶ Abschnitt 9.3.1, Schenkelhalsfrakturen).

Nur die isolierten trochanteren Abrissfrakturen werden konservativ behandelt, weil dadurch gute funktionelle Ergebnisse zu erreichen sind und die operationstechnisch aufwändigen Zugänge in keinem Verhältnis zum erreichbaren Nutzen stehen. Nach 1–2 Wochen Schonung wird ein frühzeitiger Belastungsaufbau angestrebt. Die kompletten pertrochanteren Frakturen werden jedoch alle operativ angegangen. Dabei kommen folgende Verfahrensweisen zum Einsatz:

- Dynamische Hüftschraube,
- proximaler Femurnägel mit Hüftkomponente,
- Endoprothese,
- Verbundosteosynthese.

Die Frage, welcher Bruchtyp welches Verfahren benötigt, wird in Tab. 9.5 beantwortet. Die Erfahrungen der vergangenen Jahrzehnte haben laut Seekamp (2009) dazu geführt, dass extramedulläre statische Implantate wie die Winkelplatte oder die Dynamische Kondylenplatte nicht mehr als erste Wahl für die Versorgung solcher Brüche gelten. Zu häufig ist es entweder zu einem cutting out oder einem Implantatbruch in Höhe der Fraktur gekommen. Extramedulläre (DHS) oder intramedulläre (proximale Nägel mit Hüftkomponente) Implantate mit Gleitmechanismus, der ein Sintern im Bruchbereich zulässt, haben sich durchgesetzt.

Dynamische Hüftschraube

Indikation

Als Indikation gilt die einfache oder wenig verschobene trochantere Fraktur mit erhaltener oder rekonstruierbarer medialer Abstützung (Seekamp 2009).

Die DHS hat sich in den letzten Jahrzehnten in zahllosen Fällen sehr bewährt. Sie ist das Implantat der Wahl für Zwei- oder Dreifragmentfrakturen mit rekonstruierbarer medialer Abstützung. Das dynamische Prinzip, das hinter der genialen Konstruktion steht, ist die Gleitmöglichkeit der Tragschraube in einer Lasche, die am proximalen Plattenende sitzt. Pohl, ein Ingenieur von Küntscher, hat es erfunden. Das Gleitprinzip wird auch Teleskoping genannt. Dadurch kommt bei Belastung eine axiale Druckeinleitung in der Frakturzone zustande. Durch die Annäherung der beiden Hauptfragmente wiederum entsteht mehr Stabilität und in der Folge eine beschleunigte Bruchheilung.

Lagerung auf dem Extensionstisch

Prinzipiell bestehen 2 Möglichkeiten der Lagerung für die Implantation einer DHS. Der Patient kann auf einem Extensionstisch oder ohne Extension auf einem strahlendurchlässigen Knochentisch gelagert werden. Bei Einsatz des Extensionstischs wird ein Assistent eingespart, und die u.U. mühsame Haltearbeit muss nicht durch

menschliche Kraftanstrengung geleistet werden. Nachteilig ist, dass die Lagerung auf dem Extensionstisch zeitaufwändig ist.

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Beide Füße stecken in Ledergamaschen, an denen über ein extendierbares Gestänge ein kontinuierlicher Zug aufgebaut werden kann. Als Widerlager im Dammbereich des Patienten fungiert ein gepolsterter Pflock, der am Extensionstisch befestigt ist. Die erforderliche Zugkraft lässt sich über Kurbeln dosieren. Gleichzeitig lassen sich Ab- oder Adduktion sowie Extension und Flexion des Hüftgelenks und die Rotation des Beins ausrichten, je nachdem, wie sich die Fraktur einstellt. Der ipsilaterale Arm des Patienten wird in einer Rolle vor dem Brustkorb aufgehängt, dann ist er dem Operateur nicht im Wege. Außerdem empfiehlt es sich, den Oberkörper des Patienten ipsilateral abzustützen, damit der Patient nicht seitlich vom Tisch rutscht, was bei starkem Zug am Bein oder bei unruhigen, verwirrten Patienten droht.

Bei der Höheneinstellung des Tischs muss berücksichtigt werden, dass der Operateur in möglichst aufrechter Haltung operieren können soll. Außerdem sollte noch vor dem Abdecken geprüft werden, ob mit dem Bildwandler ungehindert sagittal und axial geröntgt werden kann. Alternativ können auch 2 Bildwandler zum Einsatz kommen.

Gleichzeitig wird die erreichte Reposition geprüft. Dies muss immer in 2 Ebenen erfolgen. Im sagittalen Strahlengang würde eine Varus- oder Valgusfehlstellung auffallen. Man kann sie durch Veränderung der Extensionskraft oder vermehrte Ab- bzw. Adduktion korrigieren. Im axialen Strahlengang lässt sich ein etwaiger Versatz der Hauptfragmente gut erkennen. Bei entsprechender Zerreißung der umgebenden Weichteile, wie es bei stärker dislozierten Frakturen immer der Fall ist, hängt das distale Hauptfragment meist nach dorsal durch. Dies lässt sich meist bereits dadurch ausreichend korrigieren, dass das Bein dosiert innenrotiert wird und dabei den ventral klaffenden Bruchspalt schließt. Allerdings birgt dieses Repositionsmanöver die grundsätzliche Gefahr, einen Innendrehfehler zu produzieren. Eine andere Möglichkeit ist, die glutealen Weichteile von dorsal abzustützen. Dies kann entweder mit einem dreieckförmigen Tischanbauteil erfolgen, das von manchen Herstellern angeboten wird, oder im Moment der Reposition und Osteosynthese von Hand (Abb. 9.41).

Bei wenig dislozierten bzw. relativ stabilen pertrochanteren Frakturen überträgt sich die Rotation des Beins in der Regel auf das proximale Hauptfragment. Dies ist im Gegensatz dazu bei den instabileren inter- und subtrochanteren Frakturen nicht der Fall. Wenn bei solchen Frakturen das Durchhängen nach dorsal durch vermehrte Innenrotation des Beins verhindert werden soll, besteht die Gefahr, dass man bei der Osteosynthese diese vermehrte Innenrotation als Drehfehler mitnimmt. Beim offenen Vorgehen kann man sich diesbezüglich gut an der Linea aspera orientieren bzw. an der Stellung des Kalkars in Bezug zum distalen Hauptfragment des Femurs.

Tab. 9.5 Eignung der verschiedenen Verfahren für die jeweilige trochantere Fraktur

Bruchtyp	Verfahrensweisen
Zweifragmentfraktur mit medialer Abstützung	DHS
Zwei- oder Mehrfragmentfraktur mit fehlender medialer Abstützung	Kurzer oder langer Femurnagel mit Hüftkomponente
– Abgesprengter Trochanter minor – Umgekehrter Bruchverlauf – Subtrochantere Fraktur – Pathologische Fraktur	
Trochantere Fraktur bei Koxarthrose	Endoprothese
Trümmerfraktur	
Pathologische Fraktur	
Verfahrenswechsel nach Implantatversagen	
Pathologische Fraktur	Verbundosteosynthese

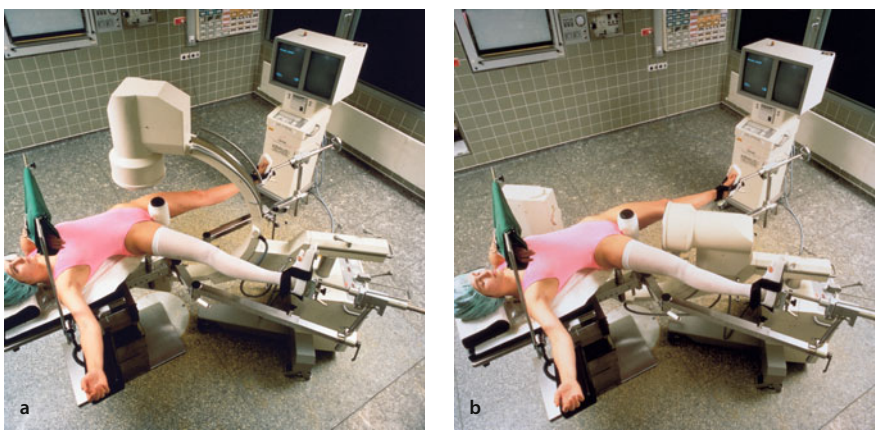


Abb. 9.41a,b Lagerung auf dem Extensionstisch mit Bildwandlereinstellung, im sagittalen (**a**) und im axialen Strahlengang (**b**)

Abdeckung

Als Abdeckung dient eine durchsichtige Folie, die im Operationsgebiet mit einer Klebefläche ausgestattet ist. Die Folienenden werden an Infusionsständern befestigt oder an einem großen fahrbaren Narkosebügel aufgehängt (Abb. 9.23).

Operationstechnik

Zur Implantation einer DHS ist ein lateraler Zugang zum Femur erforderlich (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Manche Frakturen lassen sich geschlossen nicht befriedigend einrichten. Sie werden offen reponiert. Dazu wird ventral ein epiperiostaler Weg zum Kalkar geschaffen, an dem eine der beiden Branchen einer großen spitzen Repositionszange eingesetzt wird. Die andere Branche wird auf die laterale Zirkumferenz der Femurkortikalis gesetzt. Durch Veränderung der Extensionskraft und der Innen- und Außenrotationsstellung lassen sich, vorausgesetzt es besteht keine Trümmerzone medial, die beiden Hauptfragmente im Bereich des Adam-Bogens exakt einstellen. Das korrekte Repositionsergebnis kann palpatorisch und radiologisch überprüft werden. Ist die Repositionszange lateral weit genug kranial positioniert, stört sie bei der nun folgenden Osteosynthese nicht.

Zunächst wird ein Führungsdraht vorgebohrt. Bei der Wahl des Eintrittspunkts für den Führungsdraht der DHS orientiert man sich im a.p.-Strahlengang unter Bildwandler am Niveau des Trochanter minor (Abb. 9.24), bezüglich der axialen Richtung am Scheitelpunkt des äußeren Aspekts der lateralen Femurkortikalis (Abb. 9.42). Die Anteversion des Schenkelhalses beim Erwachsenen beträgt laut Sennerich im Mittel 14° (Sennerich et al. 1992). Das heißt, dass der Führungsdraht um diesen Betrag nach ventral aufgerichtet vorgebohrt werden muss. Damit der Draht mittig im Schenkelhals verläuft, muss deshalb dorsal versetzt zum Scheitelpunkt eingegangen werden. Das Ausmaß dieser Versetzung errechnet sich aus dem Umfang eines durchschnittlich dimensionierten Femurs. Der Umfang beträgt ca. 120 mm. Das bedeutet, dass pro Millimeter Versatz 3° Kippung erreicht und somit knapp 5 mm Versatz benötigt werden, um etwa 15° Anteversion auszugleichen.

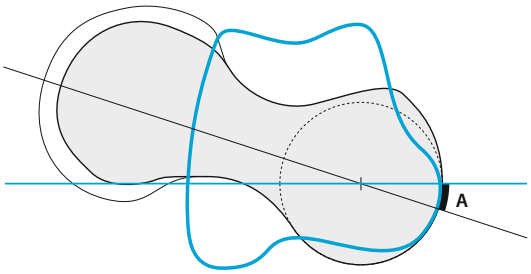


Abb. 9.42 Der Eintrittspunkt für den Führungsdraht liegt etwa 5 mm dorsal des lateralen Scheitelpunkts des proximalen Femurs (Strecke A). Damit wird die Antetorsion des Schenkelhalses gegenüber der Kondylenebene (in der Abbildung *blau* eingezeichnet) berücksichtigt

Um sich die Richtung besser vorstellen zu können, ist es hilfreich, zunächst einen K-Draht mit dem stumpfen Ende voraus ventral auf dem Schenkelhals nach vorne bis zum Kragen des Hüftkopfs zu schieben.

Viele Autoren, z.B. Schauwecker (1981), haben bei der Beschreibung der Operationstechnik der Implantation einer Winkelplatte empfohlen, die Klinge kaudal und dorsal im Hüftkopf zu verankern, weil hier der Knochen härter ist. Viele Unfallchirurgen verankern die Tragschraube in diesem Bereich. Andere Autoren empfehlen dagegen, den Führungsdraht und damit die Tragschraube möglichst mittig zu positionieren, weil dann bei Belastung weniger starke Rotationskräfte auf den Schenkelhals einwirken. Lustenberger und Mitarbeiter (1995) haben anhand von Röntgenverlaufskontrollen nach Osteosynthese mit einer DHS (n=115) gefunden, dass in 12% der Fälle das proximale Hauptfragment mehr oder weniger stark um die Schraube rotiert war. Diese wiesen im Vergleich zu den Fällen, bei denen keine Rotation eingetreten ist, signifikant öfter Komplikationen wie cutting out, Pseudarthrosen und Varusfehlstellungen auf. Als Ursache wird neben dem Frakturtyp v.a. die Schraubenlage im Kopf diskutiert (Abb. 9.43).

Es gibt einen weiteren Grund, der für die mittige Positionierung des Führungsdrahts im Schenkelhals spricht: die Tatsache, dass man bei exzentrischer Lage des Führungsdrahts beim

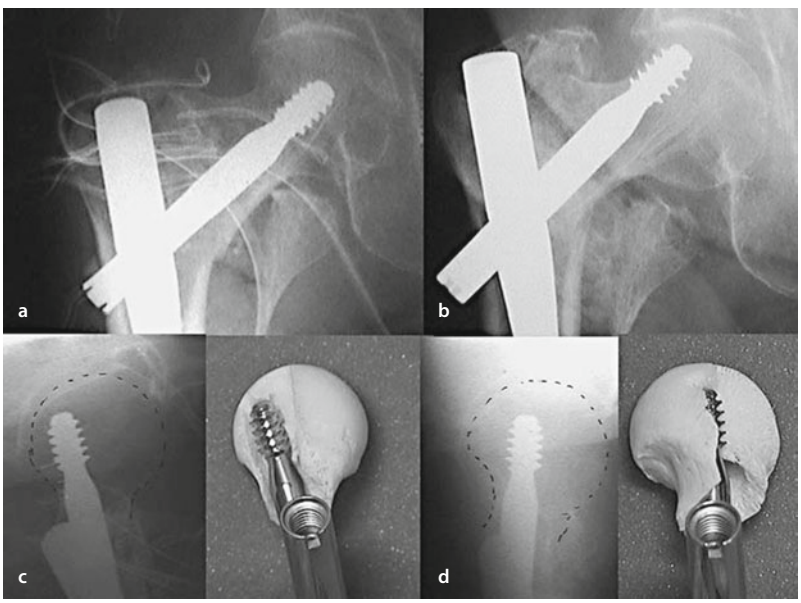


Abb. 9.43a–d Sekundäre Rotation des Kopffragments nach Osteosynthese einer Schenkelhalsfraktur mit einem Femurnagel mit Hüftkomponente ohne Rotationssicherung. **a** Postoperative Kontrolle. **b** Nach 1 Woche. **c,d** Hüftkopfpräparat mit exzentrischer Schraubenlage. (Aus: Karich 2003)

Einbringen der voluminösen Tragschraube leichter randständig gerät als man sich dies zuvor vorgestellt hat. Wird dagegen von vornherein versucht, den Draht mittig auszurichten, kann sich eine geringfügige Abweichung davon nicht in einer grenzwertig randständigen Position der Tragschraube niederschlagen. Dies ist immer zu berücksichtigen, denn wenn erst einmal aufgebohrt und das Gewinde geschnitten ist, gibt es in der Regel keinen Weg zurück. Mehrfaches Bohren endet in einem instabilen Sitz der Hüfttragschraube.

Es ist nur bedingt möglich, die voluminöse Tragschraube nach einer Fehlbohrung an einer anderen Stelle im Schenkelhals stabil zu platzieren. Deshalb ist es wichtig, auf die korrekte Lage des Führungsdrahts besonders zu achten.

Beim Vorbohren des Drahts wird eine Winkelschablone benutzt, die an der lateralen Femurkortikalis angelegt wird. Die Winkelschablone gewährleistet, dass der vorgegebene Winkel der Laschenplatte berücksichtigt wird. Ist die Kortikalis des Femurs kräftig, kann der Draht im Schenkelhals nicht richtig dirigiert werden, weil die dickwandige Kortikalis ihn immer in die gleiche Richtung umlenkt. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Kortikalis mit einem 3,5er- oder 4,5er-Bohrer zu erweitern. Dann ist der Draht leicht zu steuern.

Nun wird die Länge für die Tragschraube bestimmt, die nach dem Aufbohren und Gewindeschneiden in den Schenkelhals eingedreht wird. Bereits vor dem Aufbohren muss die Rotation gesichert werden, wenn die Gefahr besteht, dass sich der Hüftkopf mitdrehen könnte. Bestimmte Bruchtypen, wie die intrakapsulär verlaufende laterale Schenkelhalsfraktur und pertrochantere Frakturen mit fehlender medialer Abstützung, sind besonders instabil gegenüber Rotation und müssen dagegen gesichert werden. Dazu wird kranial vom Führungsdraht eine Großfragmentzugschraube parallel zum Führungsdraht als verbleibender Rotationsschutz eingebracht oder 1 bis 2 temporäre K-Drähte der Stärke 2,0 oder 2,5. Dies hängt vom Zustand des Trochantermassivs ab, wenn es instabil ist, nützt eine Schraube nicht viel. In diesem Fall sind K-Drähte effizienter, die für die Dauer der Stabilisierung am besten auch im Acetabulum verankert werden.

Besonders instabil gegenüber Rotationskräften sind Schenkelhalsfrakturen mit relativ weit kranial und pertrochantere Frakturen mit relativ weit lateral gelegenem Bruchverlauf (in Österreich auch als »Stempelbruch« bekannt), Frakturen mit ausgedehnten Trümmerzonen sowie aufgrund der Frakturmorphologie und dem rechtsdrehenden Gewinde laut Karich (2003) generell die auf der linken Körperseite gelegenen.

Vor dem Aufbohren des Kanals für die Hüfttragschraube sollte man die Durchgängigkeit des kanülierten Dreistufenbohrers überprüfen. Wenn dieser verlegt ist, kann der Führungsdraht unbemerkt ins kleine Becken vorgetrieben werden (s. Komplikationen).

Die Tragschraube wird so weit eingedreht, dass deren Spitze etwa 1 cm vor der subchondralen Grenzschicht des Hüftkopfs zu liegen kommt. Es empfiehlt sich, die Nut der Schraube so zu drehen, dass die Laschenplatte, senkrecht zur Decke zeigend ausgerichtet, auf das Tragschraubenende gesteckt werden kann. In dieser Position sind die Weichteile am wenigsten im Weg. Wenn die Platte in dieser Stellung aufgesteckt ist, wird sie eine Viertelumdrehung nach distal rotiert, bis sie dem Schaft anliegt. Die Muskulatur wird dabei mit einem Langenbeck-Haken nach ventral und distal beiseite gehalten. Die Platte kann nun mit einer Verbrügge-Repositionszange am Schaft vorfixiert werden. Dadurch ändert sich deren Ausrichtung am Schaft während des Festschraubens nicht mehr.

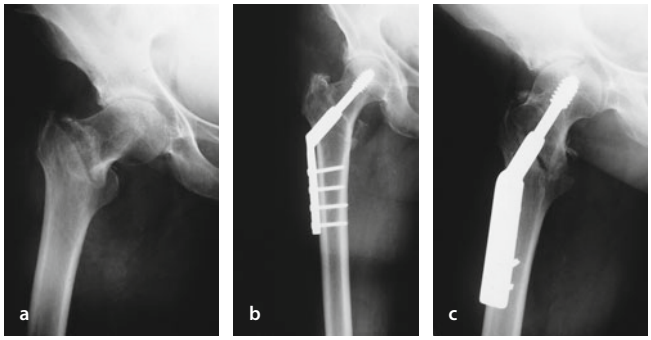


Abb. 9.44a–c Pertrochantere Femurfraktur einer 74-Jährigen. **a** Unfallbild. **b,c** Versorgung mit dynamischer Hüftschraube

Bei guter Abstützung ohne Trümmerzone reichen kurze Platten, um eine ausreichende Stabilität zu erhalten. In der Regel werden Implantate mit 3 oder 4 Schraubenlöchern verwendet. Als erstes wird das frakturnahe Gleitloch exzentrisch gebohrt, um die Frakturzone zu komprimieren. Anschließend werden die übrigen Schraubenlöcher neutral besetzt.

Nun kann die Extension nachgelassen und die Kompressionsschraube eingebracht werden. Durch Festziehen der Kompressionsschraube entsteht ein Teleskoping. Der Frakturspalt wird komprimiert. Anschließend wird die Kompressionsschraube wieder entfernt, weil sie nach dem erfolgten Festziehen keinen Nutzen mehr hat. Stattdessen bringt sie nur noch den Nachteil, dass bei zunehmender Sinterung im Bruchbereich während der Mobilisierung unter Belastung das Schraubenende deutlich weiter in die Weichteile hineinragt, weil es durch die Kompressionsschraube verlängert wird (Abb. 9.44).

Als Zusatzimplantat gibt es die so genannte Trochanterabstützplatte. Sie soll der Lateralisierung des Schenkelhalses bzw. des Trochantermassivs entgegenwirken. Diese Gefahr besteht insbesondere bei umgekehrtem Bruchverlauf von proximal medial nach distal lateral oder bei Zertrümmerung der lateralen Femurkortikalis (Babst et al. 1993). Die Trochanterabstützplatte hat aber den Nachteil, dass sie aufträgt, auf die glutealen Weichteile drückt und die Trümmerzonen nur bedingt stabilisiert. Im eigenen Vorgehen kommt die Trochanterabstützplatte deshalb nicht zum Einsatz, sondern proximale Femurnägel mit Hüfttragschraube.

Proximale Femurnägel mit Hüftkomponente

Indikationen

Indikationen sind:

- Absprengung des Trochanter minors
- Drei- oder Vierfragmentfrakturen mit nichtrekonstruierbarer medialer Abstützung
- Umgekehrter Bruchverlauf (so genannte reversed fracture)
- Subtrochantere Fraktur
- Pathologische Fraktur

Das gängigste Implantat für diese Indikationen ist der Gammanagel. Er kam 1988 auf den Markt und fand schnell breite Akzeptanz, denn er erwies sich als die ideale Ergänzung der DHS und zur Versorgung insbesondere instabiler trochanterer Frakturen, die hohe Anforderungen an das Können und die Erfahrung des Operateurs stellt (Ochs und Krackhardt 2002). Mittlerweile sind von verschie-

denen Anbietern Alternativen entwickelt worden. Alle basieren jedoch auf dem gleichen Prinzip der Kraftübertragung im Markraum, wobei die neueren Modelle neben der Hüfttragschraube mit einem zusätzlichen Implantat ausgerüstet sind, einer Antirotationsschraube zur Sicherung des Hüftkopfs.

Lagerung

Die Patienten können auf dem Extensionstisch versorgt werden (Abschnitt Dynamische Hüftschraube). Bei schlanken Patienten ist der Zugang unproblematisch, nicht aber bei adipösen oder muskelkräftigen Patienten. Wenn der Umfang des Oberschenkels oder die glutealen Weichteile recht ausgeprägt sind und das Bein bei der Lagerung nicht weit genug adduziert wurde, wird der Führungsdraht für den proximalen Femurnagel nach medial abgelenkt und verlässt dann hier die Frakturregion in die Adduktorenloge hinein. Um dies zu verhindern, muss man bereits bei der Lagerung darauf achten, dass Körperstamm und Oberschenkel der verletzten Seite insbesondere adipöser Patienten möglichst weit am Tischrand zu liegen kommen, damit das Bein des Patienten ausreichend weit adduziert werden kann (Abb. 9.41).

Als Alternative bietet sich die Seitenlage an. In Seitenlage kann das verletzte Bein in leichter Hüftbeugung und deutlich adduziert vor dem ausgestreckt liegenden, gesunden Bein gelagert werden. Dadurch eröffnet sich ein ideal zugänglicher Weg durch die Weichteile zur Trochanterspitze und man gerät darüber hinaus beim Einbringen des Implantats nicht in Konflikt mit dem Operationstisch. Nachteil der Seitenlage ist, dass die axiale Röntgenebene schwieriger einstellbar ist. Das Becken muss etwas nach ventral gekippt werden, sodass sich im seitlichen Strahlengang die beiden Hüftgelenke nicht übereinander projizieren. Aber auch ohne exakte seitliche Einstellung reicht die Sicht aus, um beurteilen zu können, ob der Führungsdraht für die Hüfttragschraube auch in der axialen Ebene zentral im Hüftkopf liegt. Weitere Vorteile der Seitenlage sind die bequemere Position für den Operateur, die einfachere Abdeckung und die Möglichkeit, bei angebeugtem Hüft- und Kniegelenk und damit bei entspannter Muskulatur reponieren zu können.

Zugang

Wenn man nicht viel Erfahrung in der Versorgung solcher Frakturen hat, sollten nach erfolgter Hautdesinfektion und Abdeckung des Operationsgebiets Trochanter major, Femurschaftverlauf und lateraler Kondylus möglichst exakt ertastet und die Umrisse der genannten Strukturen zunächst auf der Haut angezeichnet werden. Dann wird die Zentrallinie des Markraums skizziert und diese Linie nach kranial fortgesetzt. Eine Handbreit oberhalb der Spitze des Trochanter major geht man nun in Richtung der verlängerten Zentrallinie ein. Je nach Dicke des Weichteilmantels genügt eine Schnittlänge von 5–10 cm. Faszie und Muskulatur werden in Längsrichtung nach distal gespreizt und die Trochanterspitze ertastet (Abb. 9.45).

Operationstechnik

An der Trochanterspitze wird der Markraum mit einem Pfriem eröffnet. Anschließend wird ein Führungsdraht vorgeschoben und dessen korrekte Position mit dem Bildwandler kontrolliert. Dann wird die trochantere Region großvolumig aufgebohrt – beim Gammanagel bis auf einen Durchmesser von 17 mm. Wenn dabei nicht weit genug nach distal, bis hinab zum Trochanter minor aufgebohrt wird, besteht die Gefahr, dass beim Einführen des Nagels der Markraum gesprengt wird. Zudem muss bei biologisch jungen Patienten, die ja z.T. sehr enge Markräume haben,

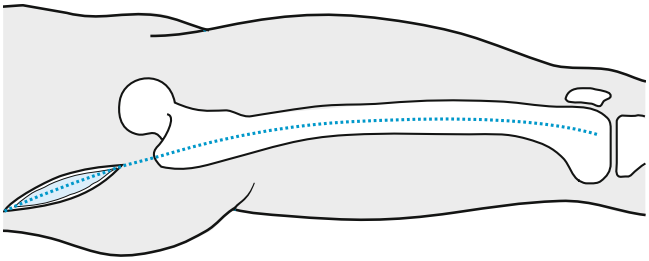


Abb. 9.45 Markierung der Flucht des Markraums am lateralen Oberschenkel zur Verdeutlichung des idealen Zugangswegs. Der Operateur sollte sich vergegenwärtigen, dass die Antekurvation des Femurs beim jungen Erwachsenen ca. 8° beträgt und aufgrund von Resorptionsvorgängen mit zunehmendem Lebensalter des Patienten auf bis zu 14° ansteigt

u.U. auch der Markraum unterhalb des Trochanter minor für den dünneren Nagelausläufer aufgebohrt werden. Dabei orientiert man sich nach der Dicke des vorgesehenen Implantats und bohrt 1 mm weiter auf.

Nach Wechseln des Führungsdrahts wird der Nagel, mit einem Zielbügel für die spätere proximale Verriegelung armiert, in den Markraum vorgeschoben. Dabei soll er möglichst ohne Gewalt, also ohne Hammerschläge eingebracht werden, um die Justierung des Zielbügels nicht zu beeinträchtigen. Bereits bei diesem Schritt empfiehlt es sich, die Anteversion des Schenkelhalses von etwa 15° zu berücksichtigen. Mit dem Bildwandler wird kontrolliert, wann der Nagel die gewünschte Tiefe im Markraum erreicht hat. Dies ist an der Position der Ein- und Ausmündung des Tragschraubenlochs, die als tangentiale Anschnitte zu sehen sind, erkennbar.

Wenn die gewünschte Position erreicht ist, wird zunächst der Markraumführungsdraht entfernt, bevor anschließend durch den Zielbügel ein Führungsdraht ventral auf dem Schenkelhalsniveau vorgeschoben wird. Dieser Zieldraht zeigt die Anteversion des Schenkelhalses an. Erst danach wird ebenfalls über die Zielhilfe der Führungsdraht für die Hüfttragschraube vorgebohrt.

Bevor jedoch der Führungsdraht für die Hüfttragschraube eingebohrt wird, sollte man nochmals die Reposition der Fraktur bzw. des CCD-Winkels kritisch prüfen.

Der CCD-Winkel ist zu prüfen, weil man ihn in dieser Phase der Operation auf sehr einfache Weise aufrichten kann. Das Bein musste ja für das Einbringen der Marknagelkomponente zunächst in eine maximale Adduktion gebracht werden, um mit dem Markraumdraht und dem Marknagel an den Glutealmuskeln vorbeizukommen. Durch die starke Adduktion wird der CCD-Winkel zwangsläufig flacher. Wenn aber die Marknagelkomponente einmal im Femurschaft liegt, kann das Bein abduziert und damit der CCD-Winkel aufgerichtet werden. Für diese Maßnahme wird zunächst der Zug am Bein im Extensionstisch aufgehoben und das Extensionsgestänge geöffnet. Dann kann das Bein abduziert und anschließend wieder unter moderatem Zug genommen werden. Bei nunmehr optimierter Reposition mit aufgerichtetem CCD-Winkel wird die Osteosynthese fortgesetzt und der Zieldraht für die Hüfttragschraube eingebohrt. Dessen Lage wird nun in 2 Ebenen röntgenologisch kontrolliert und ggf. korrigiert. Dann misst man die Länge der Tragschraube. Dabei ist darauf zu achten, dass der perkutane Zugang für die Zielhülse ausreichend dimensioniert ist und der Tractus iliotibialis nicht

gegenspannt. Es besteht in diesem Fall zum einen die Gefahr, nicht unmittelbar an die laterale Kortikalis des Femurs heranzukommen und falsche Längen zu bestimmen, zum anderen kann die kräftige Faszienstruktur die Zielhülse zumindest so weit ablenken, dass sich die Tragschraube beim Einbringen verklemmt. Dann kann es sehr mühsam sein, die Tragschraube in den Schenkelhals vorzuschrauben.

Vor dem Aufbohren sollte man, wie bei der Osteosynthese mit der DHS, die Durchgängigkeit des kanülierten Dreistufenbohrers überprüfen. Wenn dieser verlegt ist, kann der Führungsdraht unbemerkt ins kleine Becken vorgetrieben werden (s. Komplikationen).

Nun wird das Schraubenloch aufgebohrt und ein Gewindegang geschnitten. Beim Aufbohren muss darauf geachtet werden, kranial bis zu dem Punkt zu gelangen, an dem später die Schraubenspitze enden soll. Wenn die Schraubenlänge zu kurz bemessen wurde, reicht bei korrekt eingestellter Schraubenlänge am Stufenbohrer die Bohrung nicht weit genug nach kranial. Dies erfordert eine entsprechende Nachbesserung.

Zuletzt wird die Schraubennut so eingestellt, dass sie mit der Arretierungsschraube blockiert werden kann, oder aber es wird, statt sie ganz zu blockieren, nur deren Rotation gesichert, indem man die Arretierungsschraube um eine Viertelumdrehung nach dem Festschrauben wieder zurückdreht.

Die distale Verriegelung des Nagels kann ebenfalls über das Zielgerät erfolgen. In der Regel genügt ein Verriegelungsbolzen. Da der Hebel am Zielgerät durch die distale Lage der Zielhilfe nun schon relativ groß ist, muss beim Verriegeln darauf geachtet werden, dass beim Aufbohren des Verriegelungslochs an der lateralen Femurkortikalis keine tangentiale Ablenkung erfolgt. Das passiert relativ häufig und kann zur Fehllage des Verriegelungsbolzens zwischen Nagel und Femurkortikalis führen. Da sich der Vorgang im diaphysären Bereich abspielt, sind solche Fehllagen immer mit einer erhöhten Frakturgefährdung gepaart. Deshalb empfiehlt es sich, den Traktus soweit längs zu spalten, dass das Zielgerät ohne Auslenkung am topografisch richtigen Ort auf die Femurkortikalis trifft. Zum anderen sollte beim nun folgenden Aufbohren der Bohrer zunächst nur mit sanftem Druck angesetzt werden. Erst wenn die Kortikalis angekörnt ist, sollte der Bohrdruck forciert werden, damit er nicht bereits vorher an der konvexen Kortikalis des Femur tangential abgelenkt wird.

Vermeidbare Fehler bei der Implantation des Gammanagels

Bei der Lagerung auf dem Extensionstisch besteht bei inter- und subtrochanteren Frakturen die Gefahr, einen Innenrotationsfehler zu erzeugen (s. oben). Deshalb muss vor dem Setzen der Hüfttragschraube und der distalen Verriegelung die korrekte Rotation des Beins nochmals überprüft und ggf. korrigiert werden. Die Rotation wird so eingestellt, dass im Kniegelenk eine Neutral-Null-Rotation besteht. Zur Orientierung dienen die Position der beiden Beckenkämme und die Position der Kniescheibe. Die Horizontalebene durch die Beckenkämme einerseits und die Kniescheibe andererseits müssen parallel zueinander liegen. Die Rotation des proximalen Hauptfragments, das häufig durch den Zug der glutealen Muskulatur nach außen verdreht steht, kann im Seitenvergleich anhand der Stellung des Trochanter minor beurteilt werden. Bei der Beurteilung der korrekten Rotation sollte auch die Stellung des Fußes berücksichtigt werden. Bei Neutralrotation des Beins steht der Fuß ca. 15° außenrotiert.

Hammerschläge können die exakte Justierung des Verriegelungsbügels stören.

Wird der Markraumführungsdraht nach Einbringen des Nagels versehentlich belassen, blockiert er beim Aufbohren des Tragschraubenlochs im Schenkelhals.

Wird das Schraubenloch nicht tief genug aufgebohrt, führt dies dazu, dass die Tragschraube nicht bis in die gewünschte subkortikale Position eingedreht werden kann.

Der Zielbügel muss 15° nach dorsal gedreht werden, um die Anteversion des Schenkelhalses zu berücksichtigen.

Die Zielhülse braucht Kontakt mit der lateralen Femurkortikalis, um die korrekte Länge für die Tragschraube bestimmen zu können. Der Traktus muss ausreichend weit gespalten sein, damit die Zielhülse nicht abgelenkt wird.

Beim distalen Verriegeln ist darauf zu achten, dass der Bohrer primär nicht zu fest angedrückt wird und dadurch unbemerkt an der konvexen Zirkumferenz der harten Femurkortikalis tangential abrutscht. In der Folge würde sonst eine via falsa für den Verriegelungsbolzen zwischen Nagel und Femurkortikalis gebohrt. Diese Fehlbohrung würde eine Sollbruchstelle in der Femurdiaphyse verursachen.

Verschiedene proximale Femurnägel

Es gibt mittlerweile mehrere proximale Femurnägel mit Hüftkomponente von verschiedenen Herstellern. Die bekanntesten sind:

- TGN (**trochanteric gamma nail**, Fa. How Medica, jetzt Striker). Das Implantat hat seinen Namen wegen seiner Form, die an den griechischen Buchstaben γ erinnert. Es handelt sich um die Weiterentwicklung des so genannten Gammanagels, dem ersten proximalen Femurnagel, der 1988 auf den Markt gekommen ist (Abb. 9.46a).
- PFN (**proximal femur nailing**, Fa. Synthes, (Abb. 9.46b) und seine Weiterentwicklung der PFNA (**proximal femur nailing antirotation**, Fa. Synthes, (Abb. 9.46c).
- PF-Targon (**Proximaler Femurnagel Targon**, Fa. Braun Aesculap). Es handelt sich um ein biaxiales Sytem mit einem Antirotationspin (Abb. 9.46d).
- **Platon-Nagel** (Fa. Tantum) eine Weiterentwicklung des TGN u.a. durch ehemalige How-Medica-Mitarbeiter mit einem Antirotationsclip (Abb. 9.46e).
- **Gleitnagel nach Friedl** (Fa. Smith & Nephew), der keine Tragschraube, sondern eine Tragklinge mit dem Profil eines T-Trägers hat und sich in biomechanischen Test als stabilstes Implantat erwiesen hat (Abb. 9.46f).

Zum Vergleich der verschiedener Nageldesigns s. unten im Abschnitt Komplikationen und Prognose.

Endoprothese

Indikationen

Indikationen sind:

- Trochantere Fraktur bei Koxarthrose
- Trümmerfraktur
- Pathologische Fraktur
- Verfahrenswechsel bei Implantatversagen

Schon bei einfachen trochanteren Frakturen sollte vor der Implantatwahl der radiologische Zustand des Hüftgelenks mitbeurteilt werden, um eine etwaige Arthrose nicht zu übersehen. Auch die Anamnese soll in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden. Wenn bereits vor dem Sturz anhaltende Hüftgelenkbeschwerden mit Anlaufschmerz und Bewegungseinschränkung bestanden haben, empfiehlt sich der Gelenkersatz. Voraussetzung für den Einsatz gängiger Prothesentypen ist ein intakter Kalkar, denn diese Region

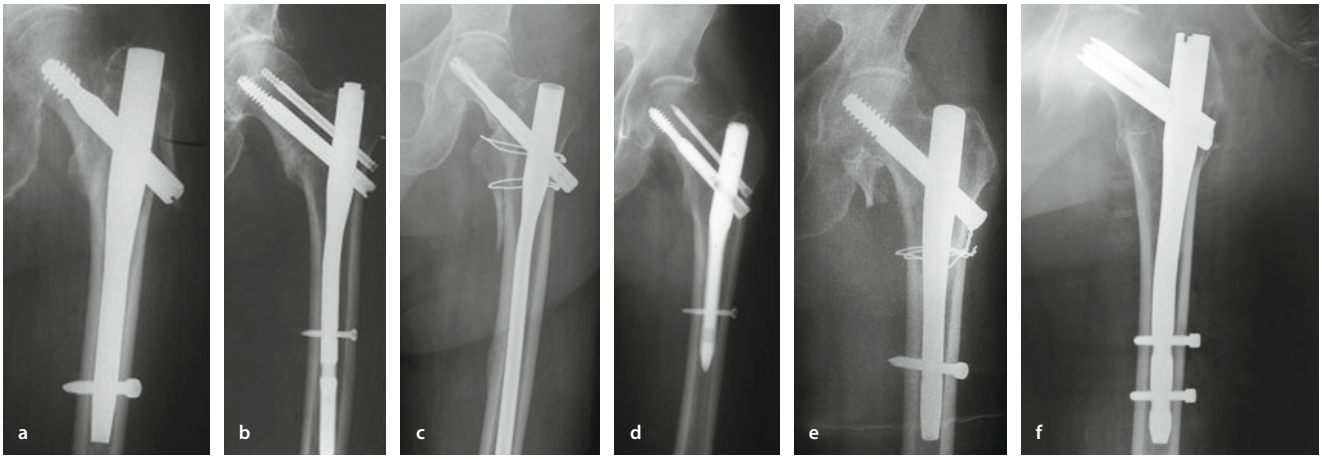


Abb. 9.46a–f Das »Who is Who« unter den Femurnägeln mit Hüftkomponente. **a** Trochanteric gamma nail. (Aus: Müller et al. 2008). **b** Proximal femur nailing. (Aus: Müller et al. 2008). **c** Proximal femur nailing antirotation, Langversion. (Aus: Penzkofer et al. 2009). **d** Proximaler Femurnagel Targon. (Aus: Visna et al. 2008). **e** Platon-Nagel. **f** Gleitnagel (Quelle: Friedl)

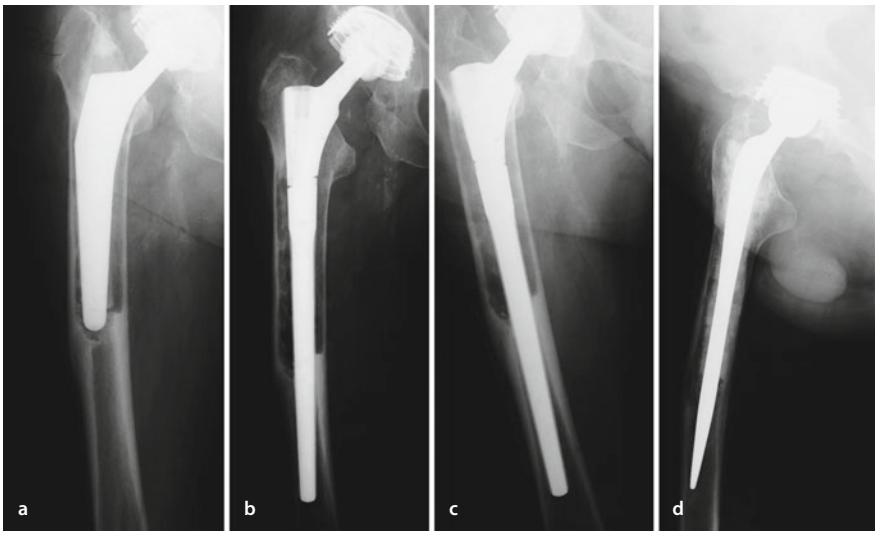


Abb. 9.47a–d 68-jähriger Patient mit vorzeitiger Lockerung eines Prothesenstiels. **a** Massiver Substanzverlust der Femurkortikalis und konsekutiver Sinterung bei zementiertem Titanstiel. Beinverkürzung von 4 cm. **b** Wechsel des Prothesenstiels mit unzementiertem, modularem Langschaft unter vollständigem Ausgleich der Beinlänge. **c** Erneutes Einsinken nach Belastung. **d** Prothesenwechsel mit Knochenaufbau durch Fremdknochen und Zementierung einer polierten Revisionsprothese. (Abb. 9.47d von O. Braunsperger, Rosenheim)

ist von besonderer Bedeutung für die metaphysäre Abstützung der gebräuchlichen Prothesenstiele. Dagegen ist ein abgesprengter Trochanter major weniger problematisch, da er mit einer Zuggurtung suffizient refixiert werden kann. Wenn die Minorregion zerstört ist, kommen alternative Verfahren wie Langschaftprothesen oder Knochenaufbautechniken zum Einsatz (Gie et al. 1993 a,b, Ling et al. 1993, Slooff et al. 1984).

Hoffmann u. Haas (2000) geben zu bedenken, dass die primäre Endoprothetik zur Versorgung trochanterer Frakturen mit einer hohen Komplikationsrate behaftet ist, und zeigen deshalb als Alternative auf, die Fraktur auch bei begleitender Arthrose zunächst mit den gängigen Verfahren auszubehandeln und erst nach erfolgter Knochenbruchheilung das Gelenk endoprothetisch zu ersetzen, falls die Arthrosebeschwerden dann noch bestehen.

Endoprothesen eignen sich auch zur Versorgung pathologischer Frakturen, z.B. bei ausgeprägter Osteoporose oder Tumorosteolyse. Falls der Knochensubstanzverlust sehr ausgeprägt ist, kann es sein, dass keine ausreichende Abstützung mehr erreicht wird. Dann sind die bereits oben erwähnten Knochenaufbautechniken notwendig. Eine Arbeitsgruppe in Exeter (Gie et al. 1993 a,b, Ling et al. 1993, Slooff et al. 1984) hat dafür ein Vorgehen entwickelt: Tiefgefrorene Hüftköpfe aus der Knochenbank werden aufgetaut und mit einer Knochenmühle zu Chips verarbeitet. Dann wird der substanzgeminderte Femurköcher damit aufgefüllt. In den Köcher wird zuvor ein Zentrierstab eingebracht, der distal durch einen Markraumstopper mit zentraler Perforation mittig im Markraum ausgerichtet ist. Über diesen Zentrierstab kann ein glatt polierter, kanülierter Prothesenstiel in den mit losen Knochenchips aufgefüllten Femurköcher gleichsam wie ein Stößel immer wieder eingebolzt werden. Auf diese Weise lassen sich die Chips verdichten, und es entsteht ein passgenauer Raum für den Prothesenstiel. Wenn der erweiterte Köcher kompakt mit Fremdknochen aufgefüllt ist, wird die Prothese schließlich einzementiert. Falls kortikale Schalen im Bereich des Kalkars oder Trochanter major ausgebrochen sind, wird die hier fehlende Abstützung durch rigide Stahlgitter geschaffen, die mit Drahtseilen am Schaft fixiert werden. Diese Gitter sind sehr stabil und bieten ein suffizientes Widerlager für das Impaktieren der Chips (Abb. 9.47).

Verbundosteosynthese

Die Technik der Verbundosteosynthese verlangt einen erfahrenen Operateur. Nach Entfernung tumoröser Defekte im trochanteren Bereich können grundsätzlich alle oben genannten Verfahren eingesetzt werden. Bevor der Knochendefekt mit Zement aufgefüllt wird, müssen die Implantate, die den Defekt überbrücken, in situ sein, weil sie nach Aushärten des Zements nicht mehr regelrecht eingebracht werden können. Es empfiehlt sich auch, die Kortikalisschrauben, die eine Platte halten sollen, bereits zuvor einzubringen und nach dem Aushärten des Zements nochmals definitiv festzuziehen. Auf diese Weise erhalten die Implantate einen sehr stabilen Sitz.

Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Laut Jerosch u. Heisel (2010) sollte der routinemäßige Einsatz von Redonsaugdrainagen immer wieder neu überdacht werden. In Metaanalysen zeigte sich, dass durch deren Einsatz nach Hüft- oder Kniegelenkersatz die Transfusionsnotwendigkeit zunimmt und die Wundheilung ohne Redondrainagen auch nicht schlechter ist (Parker et al. 2004). Dabei sind die Dauer des Krankenhausaufenthalts und der Rehabilitation bei Patienten mit einem postoperativ höheren Hb-Wert deutlich kürzer und die Funktion besser (Diamond et al. 2006). Im eigenen Vorgehen wird während der ersten 24 h nach Gelenkersatz grundsätzlich die im Gelenk liegende Redondrainage als Überlauf-Redon ohne Sog verwendet. Der Auffangbehälter wird mit einer Kanüle belüftet und am Bettgitter auf Niveau des Hüftgelenks befestigt, damit auch kein Unterdruck durch Höhenunterschied entsteht. Erst ab dem 1. postoperativen Tag wird die Drainage unter Sog genommen.

DHS, Markraumschienung und zementierte Endoprothesen sind primär belastungsstabil und mittlerweile gilt dies auch mehr und mehr für unzementierte Prothesen. Da bereits beim Hochheben des gestreckten Beins in Rückenlage auf das Hüftgelenk Druckkräfte einwirken, die das Körpergewicht weit übersteigen, ist die häufig geforderte Entlastung des Hüftgelenks praktisch ohnehin nicht möglich (Josten u. Korner 1999). Die Benutzung von Unterarmstockstützen bei der Mobilisation hat deshalb vorwiegend einen zusätzlich stabilisierenden Effekt und schützt die adaptierten Weichteile vor Überlastung.

Die Mobilisation beginnt in der Regel am 2. postoperativen Tag, wenn die Redondrainagen entfernt sind. Man kann die Patienten aber schon vorher aufsetzen und vor dem Bett stehen lassen, damit sie kardiopulmonal gefordert werden. Eine schmerzadaptierte Vollbelastung ist möglich, wenn keine Besonderheiten vorliegen, z.B. eine schwere Dysplasie oder rheumatische Destruktion oder eine stattgehabte intraoperative Komplikation mit Schaftfissur oder Trochanterabrissfraktur. Die Mobilisierung beginnt schmerzadaptiert ab dem 1. oder 2. postoperativen Tag im Dreipunktegang, der bei Schmerzfreiheit unter Vollbelastung geübt werden kann. Nach abgeschlossener Wundheilung kann ab dem 12. postoperativen Tag auf den Vierpunktegang übergegangen werden (Jerosch u. Heisel 2010).

Wichtig ist, die Thromboseprophylaxe so lange durchzuführen, wie die Patienten noch nicht richtig mobil und die Weichteile geschwollen sind. Atemgymnastik und Muskelkräftigung ergänzen das Programm. Radiologische Kontrollen werden postoperativ, nach 6 und 12 Wochen durchgeführt.

Die Frage, ob man als behandelnder Arzt für das Abtrainieren von Gehstützen dem Patienten empfehlen darf, vorübergehend nur eine kontralaterale Gehhilfe zu verwenden, wird immer wieder kontrovers diskutiert. Die Gegner dieser Empfehlung halten das Verwenden von nur einer Gehhilfe für schädlich, weil sich der Patient dadurch ein schiefes Gangbild angewöhnen könnte. Andererseits sind viele Patienten, insbesondere ältere, zu unsicher, um von 2 Krücken auf keine zu wechseln. Sie fühlen sich besser und ermüden auch nicht so schnell, wenn sie in der Übergangsphase eine Krücke benutzen können (Jerosch u. Heisel 2010). Abgesehen davon kommen manche ohne eine Gehhilfe gar nicht mehr zurecht. Für diese Patienten ist es natürlich immer noch besser mit einer Gehhilfe mobil zu sein, als ständig zwei benutzen zu müssen. Insofern ist die Diskussion ein wenig akademisch.

Nachbehandlung

Als Faustregel bei unkompliziertem Verlauf empfehlen Jerosch u. Heisel (2010):

- 4–6 Wochen postoperativ Übergang von zwei auf nur noch eine (kontralaterale) Gehstütze und nach 8 Wochen freies Gehen im sicheren Umfeld auf kurzen Wegen.
- Nach 12 Wochen sollten die Patienten so weit sein, dass sie ohne Gehhilfen zurechtkommen. Dann kann die Reintegration in das Erwerbsleben erfolgen, wobei schwere körperliche Arbeit nicht mehr verrichtet werden sollen, allenfalls mittelschwere in wechselnder Körperhaltung.
- Nach 24 Wochen, wenn die muskulären Verhältnisse der Lendenwirbelsäulen-Becken-Hüft-Region wieder konsolidiert sind, kann wieder Sport getrieben werden. Als unbedenklich gelten dabei Schwimmen, Rad fahren, Walking. Toleriert werden Jogging, Golf und Kegeln, wenn sie moderat betrieben werden. Bedenklich sind Sportarten mit direktem Körperkontakt wie Kraft- und Kampfsportarten, Mannschaftssport oder Alpinski und Ähnliches.

Die Patienten sind in der Regel während der ersten beiden postoperativen Wochen stationär im Akutkrankenhaus und gehen von dort in eine 3-wöchige Rehabilitation. 50% der Patienten nehmen an einer stationären Anschlussheilbehandlung (AHB) oder der berufsgenossenschaftlichen stationären Weiterbehandlung (BGSW) teil. Wenn die Patienten häuslich gut versorgt, ausreichend schmerzarm und mobil sind, und eine tägliche Transportmöglichkeit zur Physiotherapie besteht, kann auch eine ambulante Rehabilitation durchgeführt werden bzw. die erweiterte ambulante Physiotherapie (EAP) der Berufsgenossenschaften. Anschließend behandelt der niedergelassene Arzt die Patienten weiter.

Implantatentfernung

Nach Implantatentfernung einer DHS ist durch den verbleibenden Defekt, die Desintegration der kraftaufnehmenden Knochen-Implantat-Architektur und durch evtl. entstehende Mikrofrakturen eine empfindliche Stabilitätsminderung mit der Gefahr einer subtrochanteren Fraktur im Bereich des Schraubenkanals gegeben. Bonnaire und Mitarbeiter (1991) haben an Leichenfemora gemessen, dass die Bruchpunkterniedrigung um bis zu zwei Drittel weniger Last als auf der unverletzten Seite beträgt. Sie leiten daraus folgende Empfehlungen ab:

- Durchführung einer Spongiosaplastik zur Unterstützung der knöchernen Heilung des verbleibenden Defekts am proximalen Femur,
- Sportkarenz und Vermeidung extremer körperlicher Belastung für 4–6 Monate.

Bei der **Spongiosaplastik** nach Entfernung einer Dynamischen Hüftschraube besteht zunächst die Schwierigkeit, eine bloße Im-

plantatentfernung mit einer Spongiosaplastik aus dem Beckenkamm zu kombinieren. Dies ist deshalb schwierig, weil die denkbaren Risiken und Beschwerden im Bereich des Hebedefekts den Patienten womöglich postoperativ mehr belasten als die Implantatentfernung selbst. Deshalb empfiehlt es sich, die Spongiosa aus dem Trochanter major zu entnehmen. Die Indikation zur Implantatentfernung besteht ohnehin nur bei biologisch jüngeren Patienten, bei denen ausreichend Spongiosa im Trochantermassiv zur Verfügung stehen sollte. Nach Entnahme der Spongiosa muss der entstandene knöcherne Defekt austamponiert werden, da sonst eine Nachblutung aus dem Entnahmelager droht. Zum Austamponieren verwendet man gerollte Kollagenschwämme. Die Schwämme ordnet man so an, dass das kortikale Niveau frei bleibt. Der Rand des kreisförmigen Kortikalisdefekts wird mit einem kleinen Meißel oder einer Fräse angefrischt. Anschließend füllt man die entnommene Spongiosa in das vorbereitete Lager und schient sie durch Naht der umliegenden Weichteile.

Komplikationen und Prognose

In der Literatur sind in den letzten Jahren mehrere Studien veröffentlicht worden, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Nageldesigns im direkten Vergleich gegeneinander ermittelt haben.

Müller und Mitarbeiter (2008) z.B. fanden beim direkten Vergleich zwischen TGN (trochanteric gamma nail) und PFN (proximal femur nailing) doppelt so viele postoperative Dislokationen des Implantats nach Osteosynthese mit einem PFN (7% versus 3,5%). Ein cutting out der Hüfttragschraube trat beim PFN ebenfalls doppelt so häufig auf (Abb. 9.48).

Abb. 9.48 Cut out eines trochanteric gamma nail. (Aus: Müller et al. 2008)

Abb. 9.49 Z-Effekt eines proximalen Femurnagels (PFN). (Aus: Müller et al. 2008)

Der Nachteil des TGN dagegen ist die fehlende Rotationssicherung des Hüftkopffragments. Das kann dazu führen, dass sich beim Eindrehen der Hüfttragschraube der Hüftkopf mitdreht. Bei Frakturen mit schenkelhalsnahem Bruchverlauf oder einer trochanteren Trümmerzone muss man darauf gefasst sein, dass der Hüftkopf keine rotationsstabile Verbindung mehr zum Ansatz der Hüftkapsel in der trochanteren Region hat. In diesen Fällen muss man den Hüftkopf beim Präformieren des Schraubenlochs und Einbringen der Tragschraube mit K-Drähten temporär rotatorisch arretieren.

Bei der Osteosynthese mit einem PFN ist ein Mitdrehen des Hüftkopfs von vornherein ausgeschlossen, weil kranial der Tragschraube eine dünnere Antirotationsschraube eingebracht wird. Dies wiederum begünstigt aber in Kombination mit dem so genannten Z-Effekt ein cutting out der Tragschraube (Abb. 9.49). Der Z-Effekt gilt als grundsätzliche Schwäche des PFN. Dabei handelt es sich um eine geometriebedingte Scherwanderung von Hüfttrag- und Antirotationsschraube gegeneinander, die in bis zu 12,5% der Fälle auftritt (Papasimos et al. 2005).

Ob die Antirotationsschraube durch eine Schwächung des Knochenvolumens im Tragbereich des Schenkelhalses den späteren Weg für ein potenzielles Auswandern der Implantate nach kranial begünstigt, darüber ist man sich nicht einig. Dagegen scheint gesichert zu sein, dass nach Reposition verbliebene primäre Varusfehlstellungen ein späteres Auswandern der Hüfttragschraube begünstigen. Werner-Tutschku und Mitarbeiter (2002) fanden bei CCD-Winkel <125° eine deutliche Zunahme der Inzidenz von cutting out und Z-Effekt.

Deshalb muss der CCD-Winkel, nachdem die Marknagelkomponente liegt, ggf. vor dem Setzen des Führungsdrahts für die Hüfttragschraube aufgerichtet werden, indem man die Extension kurz löst und das Bein abduziert (s. oben, Therapie).

Als Ausdruck von Sinterungsvorgängen im Frakturbereich kommt es im Lauf der Frakturheilung bei beiden Implantaten zu einem Auswandern der Hüfttragschraube. Im Kollektiv von Werner-Tutschku und Mitarbeitern (2002) war dies in mehr als 70% der Fälle so, aber ohne dass sich daraus die Notwendigkeit einer Implantatentfernung ergeben hätte. Andererseits gibt es einen gewissen Prozentsatz von Patienten, der aus diesem Grund reoperiert werden muss. Bei Müller et al. (2008) waren es z.B. 2,6%.

Penzkofer und Mitarbeiter (2009) haben den PFN mit seinem Nachfolger verglichen, dem PFNA (proximal femur nailing antirotation). In einer exemplarischen Literaturdurchsicht fanden sie beim PFN Cutting-out-Raten bis zu 10%. Vom PFNA verspricht man sich dagegen einen besseren Halt im osteoporotischen Knochen des Schenkelhalses. Das Implantat hat kein Doppelschraubensystem, sondern nur noch eine rotationsstabile Klinge. Dadurch wird mit einem geringeren Implantatquerschnitt eine größere Kontaktfläche zum Knochen erreicht. Die Stabilität wird durch Impaktierung der Spongiosa beim Einschlagen der Klinge noch erhöht. Erwartungsgemäß war die Versagerquote des PFNA gegenüber dem PFN tendenziell niedriger.

Auch bei der Verwendung von Endoprothesen gibt es typische Probleme (Abb. 9.50, Abb. 9.51 und Abb. 9.52). In Tab. 9.6 sind bezogen auf Implantat und Bruchtyp die Komplikationsraten aus einigen Arbeiten exemplarisch zusammengestellt.

Konservativ behandelte trochantere Abrissfrakturen sind nach 6–8 Wochen knöchern überbrückt. Die Sportfähigkeit ist nach 8–12 Wochen wieder erreicht.

Etwa die Hälfte der trochanteren Frakturen sind instabil und von einem Abriss des Trochanter minor begleitet (Soballe u. Christensen 1987) und üblicherweise wird das Fragment nicht eigens fixiert.

Rommelmann (2007) berichtet von einer Kompression des N. femoralis durch ein sekundär dislozierten Trochanter-minor-Fragment bei einem 70-jährigen Patienten mit pertrochanterer Femurfraktur. 2 Monate nach Versorgung der Fraktur mit einem proximalen Femurnagel stellte sich der Patient wieder vor wegen zunehmender belastungsabhängiger Schmerzen in der Leiste.

Auch das Anheben des gestreckten Beins verursachte Schmerzen mit einschießendem, elektrisierendem Charakter. Unterhalb des Leistenbandes fand sich ein reproduzierbarer Druckschmerz. Die Röntgenkontrollaufnahmen zeigten ein etwa 4 cm weit nach kranial disloziertes Trochanter-minor-Fragment, das im CT im direkten Kontakt zum N. femoralis lag. Nach Entfernung des Fragments waren die Beschwerden behoben.

Aber auch Gefäßverletzungen können auf diese Weise entstehen. In der Literatur wird über mehrere solcher Fälle berichtet. Bernstein et al. (2004) schildern einen Fall, bei dem es 4 Wochen nach Versorgung einer pertrochanteren Fraktur mit Absprengung des Trochanter minor nach Bildung eines Aneurysma spurium zu einer lebensbedrohlichen Blutung kam. Das abgesprengte Trochanter-minor-Fragment dislozierte im Rahmen der Mobilisation einer 92-jährigen Patientin nach Osteosynthese mit einem Gleitnagel weiter nach kranial und perforierte dort die A. profunda femoris. Nach operativer Versorgung mittels Rohrprothese und Fragmentresektion war der weitere Verlauf komplikationslos.

Über die Verletzung großer Gefäße oder Nerven mit K-Drähten gibt es nur vereinzelt Berichte in der Literatur, darunter ein To-

Tab. 9.6 Komplikationsraten bezogen auf Implantat und Bruchtyp einiger exemplarisch ausgewählter Arbeiten über proximale Femurfrakturen

Implantat	Komplikationen	Rate (%)	Literatur
Schraubenosteosynthese bei medialer SHF	Tiefe Infektionen	1,8	Kuner et al. 1995
	Oberflächliche Infekte	2,6	
	Implantatkomplikationen	9,7	
	Verzögerte Frakturheilung	3,5	
	Pseudarthrose	6,1	
	Kopfnekrosen	30,7	
Dynamische Hüftschraube bei med. SHF	Tiefe Infektionen	1,5–3,1	Kuner et al. 1995; Bonnaire u. Muller 2001
	Oberflächliche Infekte	0–1,5	
	Implantatkomplikationen	3,0–4,6	
	Verzögerte Frakturheilung	0–3,1	
	Pseudarthrose	1,5–3,1	
	Kopfnekrosen	9,2–16,0	
Dynamische Hüftschraube bei hüftgelenknahen Frakturen	Hämatom	4,1	Wissing et al. 1996
	Cutting out (Instabilität)	1,6	
	Infektion	2,5	
	Thrombose	1,6	
	30-Tage-Letalität	5,3	
Gammanagel bei pertrochanterer Femurfraktur	Distale Schaftperforation	2,3–8,0	Buhl et al. 2000; Josten u. Korner 1999
	Primäre Fehllage des Verriegelungsbolzen	6,9	
	Rotationsfehler >10 % (Außenrotation)	4,6–12,0	
	Beinlängenveränderung	6,9	
	Hämatom/Serom	13,6	
	Wundinfekt/Osteomyelitis	9,1	
	Dislokation der Schenkelhalsschraube	2,3	
	Dislokation der distalen Verriegelungsbolzen	4,6	
	Implantatbruch	4,6	
	Tiefe Beinvenenthrombose/Lungenembolie	9,1	
	Frakturheilung >12 Wochen	4,6	
	30-Tage-Letalität	2,3	
Totalendoprothese bei hüftgelenknahen Frakturen	Hämatom	3,2	Wissing et al. 1996
	Luxation	2,4	
	Infektion	3,2	
	Lungenembolie	1,6	
	30-Tage-Letalität	5,3	

desfall, bei dem der Führungsdraht für die Hüfttragschraube einer DHS offensichtlich unbemerkt in das kleine Becken gebohrt und wieder herausgezogen wurde. Dabei riss, wie sich bei der späteren Obduktion herausstellte, die V. iliaca externa auf eine Länge von 2 cm ein. Die 63-jährige Patientin verblutete innerhalb kurzer Zeit (Siegel et al. 2001). Vermutlich ist die »Dunkelziffer« dieser Komplikation viel höher. Hermichen (2001) berichtet über einen Fall, bei dem beim Schaffen des Schraubenkanals der Dreistufenbohrer den Führungsdraht vor sich her ins kleine Becken schob. Später stellte sich heraus, dass die Kanülierung des Bohrers mit altem (sterilem) Blut verlegt war, das bei der Aufbereitung der Instrumente vor dem Sterilisationsvorgang offensichtlich nicht ausgespült worden war. Deshalb konnte der Bohrer nicht über den Führungsdraht gleiten. Es empfiehlt sich daher, den Dreistufenbohrer vor seinem Einsatz mit einem Führungsdraht auf Durchgängigkeit zu prüfen.

Etwa ein Drittel aller Patienten mit hüftgelenksnaher Fraktur sterben innerhalb des ersten Jahrs nach dem Unfall. Patienten, die jünger als 75 Jahre sind, können in der Regel an ihr Ausgangslevel in Bezug auf die Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) wieder anknüpfen, während ältere Patienten 20% ihrer Alltagsaktivität innerhalb des ersten Jahrs nach dem Unfall einbüßen (Simanski et al. 2002). Neben dem Lebensalter ist ein hoher ADL-Wert ein guter prädiktiver Faktor in Hinblick auf den Erhalt der körperlichen Unabhängigkeit 12 Monate nach dem Trauma (Koval et al. 1996b). Patienten mit einer hüftgelenknahen Fraktur haben vor der Verletzung im Vergleich zu einer altersgleichen Kontrollgruppe einen herabgesetzten Aktivitätslevel. Mangelnde Mobilität ist einer der Prädiktoren für eine erhöhte Sturzgefahr und damit für eine hüftgelenksnahe Fraktur (Tinetti et al. 1986).

Abb. 9.50 Durch das Einschlagen eines Zweimüller-Prothesenstiels entstandene distale Femurschaftfraktur. (Aus: Jerosch u. Heisel 2010)

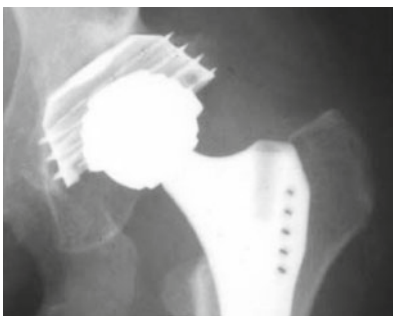


Abb. 9.51 Fraglich stabiler Sitz einer Schraubpfanne bei Pfannendysplasie. (Aus: Jerosch u. Heisel 2010)

Abb. 9.52 Fehllage eines zementierten Prothesenstiels mit Perforation des Femurschafts. (Aus: Jerosch u. Heisel 2010)

9.4 Femurschaftfrakturen

9.4.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Femurschaftfrakturen ereignen sich meist im Rahmen von Verkehrsunfällen entweder durch direkte Gewalteinwirkung, wenn z.B. ein Zweiradfahrer von einem Pkw angefahren wird, oder infolge indirekter Gewalteinwirkung, wie durch einen Armaturenbrettanprall der Fall sein kann. Weil bei guter Knochenqualität erhebliche Kräfte am Werk sein müssen, um diesen mächtigsten aller Röhrenknochen brechen zu lassen, findet sich diese Verletzung häufig bei polytraumatisierten Patienten.

Die Inzidenz dieser Verletzung beträgt z.B. in Schweden 10 pro 100.000 Einwohner (Weiss et al. 2009). Der Altersmedian für Männer liegt bei 27, der für Frauen bei 79 Jahren; am häufigsten betroffen sind Jungen unter dem 10. und Frauen über dem 80. Lebensjahr. 30% aller Patienten sind mehrfach verletzt. Der Anteil offener Fraktur beträgt bis zu 5%, bei polytraumatisierten Patienten 25%. Direkt einwirkende Hochenergie führt zu einfachen Bruchformen, aber schweren Weichteilschäden, eine breitflächige Krafteinwirkung verursacht Mehretagen- oder Trümmerfrakturen und indirekte Kräfte münden in Torsionsfrakturen (Lögters et al. 2009).

Klinik

Bereits auf den ersten Blick fällt der deformierte Weichteilmantel eines frakturierten Oberschenkels auf. Nicht nur die Blutung, sondern auch die Verkürzung der Gliedmaße lässt die Weichteile stark anschwellen. Gleichzeitig drehen der Zug des Tractus iliotibialis und das Gewicht des Fußes das distale Hauptfragment in eine Außenrotationsfehlstellung. Instabilität und Krepitation sind weitere Zeichen, die man beim wachen Patienten aus Rücksichtnahme auf die Schmerzen, die durch das Auslösen dieser Zeichen verursacht werden würden, nicht provozieren soll. Auffällig ist auch die Functio laesa in den angrenzenden Gelenken (Abb. 9.53a–c).

Diagnostik

Es wird kontrolliert und dokumentiert, ob alle Fußpulse tastbar und die aktive Beweglichkeit und Sensibilität des Fußes erhalten sind. Beurteilt wird ebenfalls der Zustand des Weichteilman-

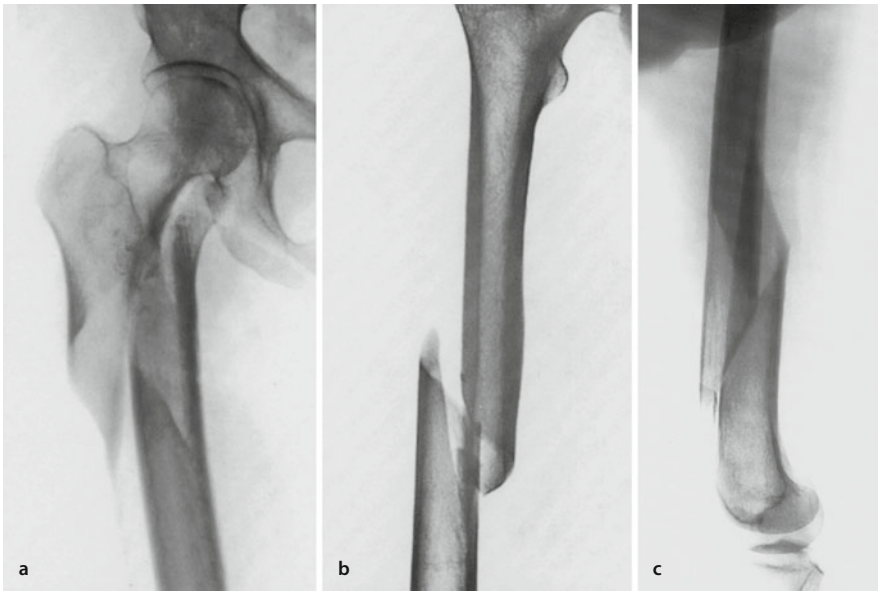


Abb. 9.53a–c Fehlstellung bei subtrochanterer (**a**), diaphysärer (**b**) und suprakondylärer (**c**) Femurfraktur. (Aus: Orozco et al. 2000)

tels. Durchspießungswunden weisen auf eine offene Fraktur hin. Sie liegen häufig medioventral im Bereich des Adduktorenkanals und streckseitig davon. Die Lokalisation ist Folge der typischen Fragmentdislokation bei Schaftfrakturen (Abb. 9.53b). Bei ausgeprägter Schwellung droht ein Kompartment-Syndrom (▶ Abschnitt 9.7.2, Kompartment-Syndrom). Es gibt Mehretagenfrakturen mit Beteiligung des Schenkelhalses, der deshalb radiologisch gezielt mitbeurteilt werden muss, um bereits präoperativ die richtige Implantatwahl treffen zu können. Wenn ein großes Maß an Energie einwirkt, können Kettenverletzungen vorkommen. Die angrenzenden Gelenke müssen auf Bandverletzungen und stattgehabte oder manifeste Luxationen hin untersucht werden. In magnetresonanztomografischen Studien konnten in bis zu 40% der Fälle Begleitverletzungen an den ipsilateralen Kniegelenken nachgewiesen werden (Dickson et al. 2002).

Bei mehrfachverletzen oder hämodynamisch instabilen Patienten mit eingeschränktem Pulsdruck ist die Dopplersonografie zur Erhebung des Pulsstatus hilfreich. Typische Begleitverletzungen sind Hüftluxation, Acetabulumfraktur, ipsilaterale Schenkelhalsfraktur und ossäre oder ligamentäre Verletzungen des Kniegelenks (Lögters et al. 2009).

Röntgenologisch wird der gesamte Röhrenknochen mit angrenzenden Gelenken dargestellt. Die 2. Ebene braucht nicht erzwungen zu werden. Man richtet sich dabei nach dem klinischen Zustand und den Beschwerden des Patienten. Falls kein Spiral-CT verfügbar ist, wird bei Polytraumen die radiologische Diagnostik standardmäßig auf Thorax, Schädel, Wirbelsäule und Becken erweitert.

Bei drohendem Kompartment-Syndrom (▶ Abschnitt 9.7.2) sind die klinischen Zeichen wegweisend, was bei bewusstlosen Patienten jedoch nur bedingt zu beurteilen ist. Außerdem besteht dann eine große Gefahr, dass aus einem drohenden Kompartment-Syndrom ein manifestes wird, denn die Druckdifferenz zwischen diastolischem und kompartimentalem Druck darf 30 mmHg nicht unterschreiten, was bei Hypovolämie aber sehr schnell geschehen kann. Im Zweifelsfall sollte der Druck jeder einzelnen Loge gemessen werden.

Klassifikation

Die AO-Klassifikation von Frakturen unterscheidet zwischen den in der Übersicht genannten Typen (Abb. 9.54).

AO-Klassifikation der Femurschaftfrakturen

Einfache Frakturen:
- A1 spiralförmig,
- A2 schräger Bruchverlauf (>30°),
- A3 querer Bruchverlauf (<30°).

Keilfrakturen:
- B1 Drehkeil,
- B2 Biegungskeil,
- B3 fragmentierter Keil.

Komplexe Frakturen:
- C1 ein oder mehrere Drehkeile,
- C2 quer- oder schräg auf 2 Etagen,
- C3 langstreckige Trümmerzone.

Zur Klassifikation des Weichteilschadens ▶ Abschnitt 14.1.2.

9.4.2 Therapie

Zeitpunkt der operativen Versorgung. Isolierte Femurfrakturen sollten dringlich, also innerhalb von 24 h versorgt werden. Die unmittelbare operative Stabilisierung reduziert den Schmerz, die respiratorische Morbidität, die Dauer des stationären Aufenthalts und die Kosten (Bone et al. 1989). Bei Mehrfachverletzten oder Polytraumatisierten besteht ohnehin die Notfallindikation zur möglichst raschen Stabilisierung, sofern der klinische Zustand des Patienten dies erlaubt (Lögters et al. 2009).

Therapie subtrochanterer Frakturen

Außer bei Kleinkindern (▶ Kap. 12, Frakturen im Kindesalter) und in Notstands- oder Krisengebieten werden heutzutage alle Femurschaftfrakturen operativ versorgt, und zwar deshalb, weil die Risiken des konservativen Vorgehens die des operativen bei Weitem

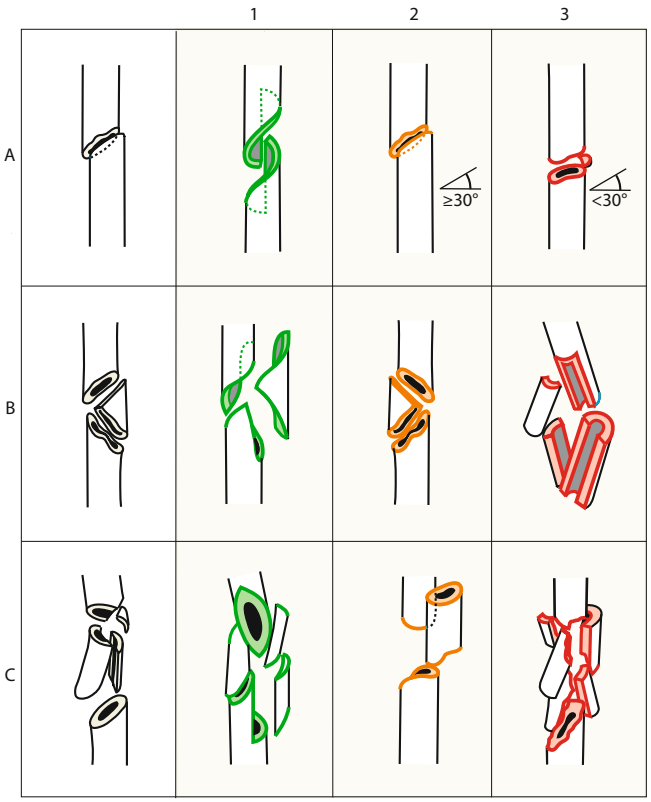


Abb. 9.54 AO-Klassifikation der Femurschaftfrakturen (Aus: Müller-Mai 2010).
a A-Frakturen (Zweifragmentfrakturen)
A1: Einfache Spiralfraktur mit 2 Fragmenten
A2: Schrägfraktur, Winkel zur Schaftachse >30°
A3: Querfraktur
b B-Frakturen (Keilfrakturen)
B1: Spiralkeilfraktur
B2: Biegungskeilfraktur
B3: Komplexer Keilbruch
c C-Frakturen (komplexe Brüche)
C1. Komplexer Spiralbruch, Winkel zur Schaftachse <30°
C2: Etagenfraktur
C3: Komplexer Bruch, irregulär

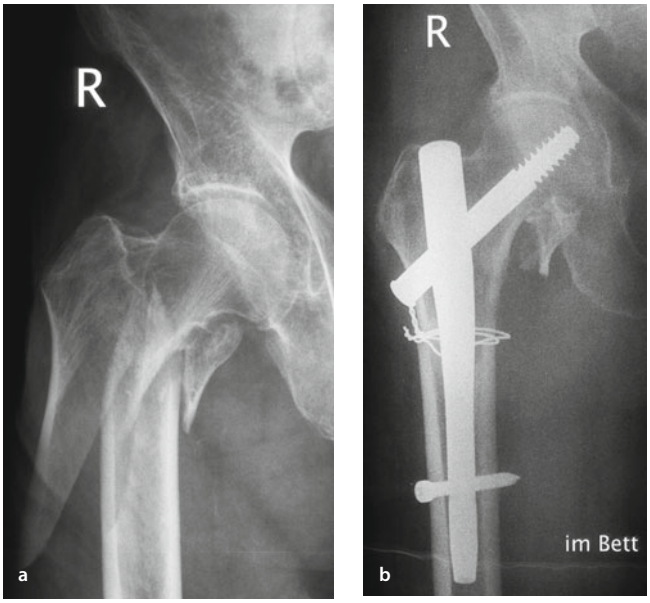


Abb. 9.55a,b Per- und subtrochantere proximale Femurfraktur eines 82-jährigen Patienten. **a** Unfallbild. **b** Nach offener Reposition mit Cerclage wurde die Fraktur durch einen kurzen Femurnagel mit Hüfttragschraube stabilisiert

überwiegen. Den Oberschenkel in einem Streckverband ruhigzustellen, ist bei größeren Kindern und Erwachsenen nicht adäquat durchführbar. Man müsste die Patienten zu lange ans Bett »fesseln«, Immobilisationsschäden wären vorprogrammiert.

Subtrochantere Frakturen werden meistens mit einer kurzen oder langen Markraumschienung mit zusätzlicher Hüfttragschraube versorgt. Das meist gebrauchte Implantat, das sich u.a. insbesondere für diese Indikation sehr bewährt hat, ist ein langer Femurnagel mit Hüftkomponente. Das Vorgehen richtet sich im Einzelnen nach den oben beschriebenen Kriterien (▶ Abschnitt 9.3.2, Trochantere Frakturen). Das gilt auch für die Bereiche Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose (Abb. 9.55).

In Ausnahmefällen kann auch eine Versorgung mit einem Fixateur externe indiziert sein. Der Fixateur ist bei großen Weichteildefekten (Décollement) und kritischem Allgemeinzustand des Patienten im Rahmen eines Polytraumas indiziert, das ein möglichst rasches und wenig invasives Vorgehen notwendig macht. Bei der Anlage des Fixateurs sollte beachtet werden, die Fraktur möglichst so einzustellen, dass sie im Zweifelsfall in der erreichten Stellung ausheilen kann. Es gibt insbesondere in Kombination mit höhergradigen Schädel-Hirn-Traumen langwierige Verläufe, bei denen man u.U. gezwungen ist, die Fraktur im Fixateur ausheilen zu lassen.

Auch Plattenosteosynthesen mit verschiedenen Winkelplatten und der Dynamischen Kondylenplatte (DCS) wurden bei subtrochanteren Frakturen eingesetzt. Allerdings bringen sie den erheblichen Nachteil der Deperiostierung und damit der erhöhten Pseudarthrosen- und Infektrate mit sich. Implantatversagen mit Plattenbruch sind keine Seltenheit.

Therapie von Schaftfrakturen

Prinzipiell stehen für diese Indikation mehrere Verfahren zur Verfügung:

- Traktionstherapie
- Unaufgebohrter Marknagel
- Aufgebohrter Marknagel
- Fixateur externe
- Platten- oder Verbundosteosynthese

Da immer häufiger auch deutsche Unfallchirurgen im Rahmen von Einsätzen privater oder internationaler Hilfsorganisationen sowie der UNO oder NATO in Notstands- oder Krisengebieten tätig sind, wird im Folgenden auch die konservative Therapie von Femurschaftfrakturen dargestellt, denn in solchen Gebieten fehlt u.U. die Logistik, um eine Osteosynthese erfolgreich durchführen zu können. Mangelhafte Krankenhaushygiene, unvollständiges Instrumentarium, fehlende Implantate oder Bildwandler und keine Möglichkeit der Nachbehandlung sind die limitierenden Faktoren, selbst wenn seitens der Ärzte und der Pflege ein entsprechendes know how gegeben wäre. Gleichzeitig gelten eine unbehandelte HIV-Infektion oder floride Infektionen jedweder Genese, Sichelzell- und andere Anämien, eine Mangelernährung sowie schlechte Haut- oder Weichteilverhältnisse als absolute oder relative Kontraindikationen. Das Risiko einer postoperativen Infektion ist unter solchen Umständen deutlich erhöht (Strecker et al. 1994), und oft mündet dann ein komplikationsreicher Verlauf in der Amputation der betroffenen Gliedmaße.

Auch steht nur selten sicheres und vollständig getestetes Blut zur Transfusion zur Verfügung (Jäger 1994). Deshalb muss man, wenn der Mangel das therapeutische Vorgehen diktiert, sich auf einfache, sichere und kostengünstige Behandlungen beschränken (Mandrella 2002). In Entwicklungsländern gilt deshalb die Regel: Soviel konservativ wie möglich, so wenig operativ wie nötig.

Behandlungen von Oberschenkelfrakturen im Becken-Beingips sind von der Gipstechnik her anspruchsvoll und aufwändig. Selbst wenn es gelingt, eine Verkürzung und eine Fehlrotation zu vermeiden, führt die lange Ruhigstellung im Kniegelenk zur Einsteifung, die, wenn überhaupt, nur durch eine langwierige und regelmäßige Nachbehandlung behebbar wäre. Abgesehen davon sind Gipsbinden im tropischen Klima nur begrenzt haltbar, und die Akzeptanz von Gipsverbänden ist aus denselben Gründen ausgesprochen gering. In der Regel entfernen die Patienten ihren Gips schon nach kurzer Zeit und begeben sich lieber in die Weiterbehandlung ihres »native doctors«.

Traktionsbehandlung nach Perkins (1958)

Dieses Verfahren basiert auf der bloßen Traktion ohne eine zusätzliche fixierende Schiene. Der gebrochene Oberschenkel wird dabei auf einem harten Kissen, das eine Rekurvation vermeiden soll, im Bett gelagert. Auf Höhe der Tuberositas wird ein Steinmann-Nagel gebohrt. Wenn der Nagel zu weit ventral zu liegen kommt, reißt er im Verlauf der Extensionsbehandlung aus. Deshalb muss er, bezogen auf die Sagittalebene des Tibiakopfs, in Höhe der ventralen Drittelgrenze eingebracht werden, also etwa 2–3 cm dorsal der ventralen Kontur der Tuberositas. Außerdem ist es wichtig, dass der Nagel parallel zur Frontalebene und nicht schräg verkippt zu dieser zu liegen kommt, sonst kann der Patient später sein Knie nicht uneingeschränkt durchbewegen. Nach Möglichkeit sollte ein Steinmann-Nagel mit Mittelgewinde verwendet werden, weil er sich nicht in der Frontalebene verschiebt. Er sitzt dadurch stabil im Knochen. Dies verringert die Gefahr einer Pin-tract-Infektion. Als Zuggewicht wird ein Zehntel bis ein Siebtel des Körpergewichts des Patienten eingesetzt. Das gilt selbst für Schussbrüche, die mit einer erheblichen muskulären Verletzung einhergehen können. Die Zugrichtung soll in der Verlängerung der Femurachse verlaufen. Pro Kilogramm Zuggewicht wird das Bettende um ca. 4 cm höhergestellt, um einen Gegenzug über das Körpergewicht des Patienten aufzubauen. Bereits am ersten Tag nach dem Legen der Extension darf der Patient mit isometrischen Übungen beginnen und im Rahmen der Schmerzgrenzen Knie und Sprunggelenk bewegen, wobei er anfangs durch eine Pflegeperson unterstützt wird. Für die Bewegungsübungen setzt sich der Patient im Bett auf. Das Ende des Bettrosts wird abgeklappt, sodass beide Kniegelenke gebeugt werden können. Durch die 90° Beugung im Knie stellt sich eine korrekte Rotation im Bruchbereich ein. Längendifferenzen lassen sich durch Vergleich beider Beine frühzeitig erkennen und durch Anpassung des Zuggewichts ausgleichen (◘ Abb. 9.56).

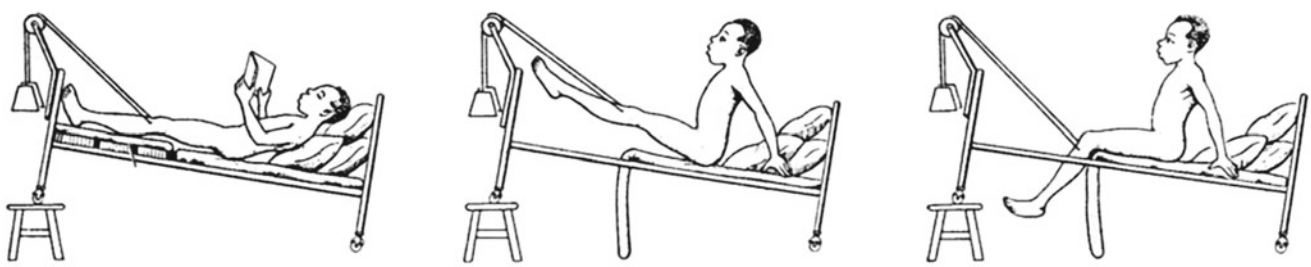
Schusswunden werden débridiert, indem die verschmutzten Ränder der Haut und Subkutis exzidiert werden, die Faszie wird breit eröffnet und die Muskulatur ausgiebig gespült; Fremdkörper und deperiostierte Knochenfragmente werden entfernt; schwer zu erreichende Geschosspartikel können belassen bleiben. Die Wunde wird 5–6 Tage offen gelassen. In Abhängigkeit vom Zustand der Wunde und des Patienten wird sie anschließend sekundär genäht.

Wenn der Patient sein Bein gestreckt halten kann, was meist nach 4–6 Wochen der Fall ist, kann man das Zuggewicht reduzieren. In Abhängigkeit von der Kallusbildung wird die Traktionsbehandlung nach 6–12 Wochen ganz aufgehoben und der Patient mit Achselgehstützen mobilisiert.

Das Umsetzen des Steinmann-Nagels auf den distalen Femur, wie es das Böhler-Verfahren vorsieht, ist beim Verfahren nach Perkins nicht nötig, weil ein Steinmann-Nagel für die Extension verwendet wird und kein K-Draht, und weil dieser Nagel tief im Tibiakopf verankert wird, sodass er nicht ausreißt. Auch braucht der Fuß nicht mit einem Strumpf in Neutralstellung gehalten zu werden, um diese Stellung soll sich der Patient durch regelmäßiges Üben selbst kümmern. Durch die Kopftiefstellung des Betts erübrigt sich eine Abstützplatte für das kontralaterale Bein.

Alles in allem ist dieses Verfahren sehr unaufwändig, aber gleichwohl höchst effizient (◘ Abb. 9.57). Mandrella (2002) berichtet über 170 Patienten, die er in Provinz- und Distrikthospitälern in Ostafrika konservativ behandelt hat. 50 Kinder wurden in Overhead-Pflasterextensionen behandelt, 109 Jugendliche und Erwachsene durch eine Traktionsbehandlung nach Perkins und 6 veraltete infizierte Frakturen mit Hilfe eines Fixateur externe.

Unter den 109 Fällen befanden sich 44 offene Frakturen, darunter 41 offene Schussbrüche oder Explosionsverletzungen. Obwohl eine medikamentöse Thomboseprophylaxe unter den gegebenen Umständen nicht möglich war, beobachtete Mandrella klinisch keine tiefe Venenthombose und führt dies auf die Möglichkeit der früh einsetzenden begleitenden Bewegungstherapie zurück. Es ereigneten sich nur 2 tiefe Infektionen. 5 Refrakturen wurden in der Perkins-Traktion ausbehandelt. In einem Fall kam es zu einer verzögerten Bruchheilung. Dieser Patient verbrachte insgesamt 7 Monate in der Extension. Bei einem weiteren betrug die Dauer 14 Wochen. Bei allen übrigen der 109 Patienten war sie jedoch nur 6–12 Wochen erforderlich. Es wurde keine einzige Pseudarthrose beobachtet und auch keine traktionsbedingten Lockerungen der Kniegelenkstabilität. Alle Patienten konnten bei Entfernung der Extension ihr Knie mindestens 80° beugen und fast voll strecken. Nennenswerte Verkürzungen oder Fehlstellungen beobachtete der Autor nicht. Nur für veraltete infizierte offene Frakturen eignet sich das Verfahren nicht, sie bedurften eines Fixateur externe.



◘ **Abb. 9.56** Perkins-Traktion. Frühzeitige Aufnahme von Bewegungsübungen als Voraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung. Das Bettende wird 30–50 cm hochgestellt und das Ende des Bettrosts für Übungen nach unten geklappt, damit das Knie gebeugt werden kann. (Aus: Mandrella 2002)

Insgesamt bietet die Traktionsbehandlung nach Perkins mehrere überzeugende Vorteile für die Behandlung von Oberschenkelfrakturen in Notstands- und Krisengebieten. Die Gerätschaften, die benötigt werden, sind einfach zu handhaben und zu organisieren. Die begleitenden Bewegungsübungen kann der Patient schnell erlernen und ohne die Hilfestellung eines Physiotherapeuten selbst oder mit Hilfe seiner Angehörigen durchführen. Dadurch treten keine nennenswerten Muskelatrophien auf und anscheinend auch keine tiefe Beinvenenthrombosen. Die Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke bleibt weitgehend erhalten. Der Patient kann sich in der Extension aufrichten. Dies beugt orthostatischen Dysregulationen und Dekubiti vor. Da die Frakturbehandlung ohne äußere Schienung auskommt, gibt es keine lagerungsbedingten Nervenschäden beispielsweise des N. peroneus, und offene Wunden sind einfacher zu verbinden. Fehlrotationen werden durch die Kniebeugung verhindert.

Marknagelosteosynthese

Für die operative Therapie ist das Implantat der Wahl für fast alle Bruchformen der unaufgebohrte Marknagel. In den letzten Jahrzehnten wurden bezüglich der Biomechanik und Pathophysiologie viele Erkenntnisse gesammelt. Im Wesentlichen sind es folgende Aspekte, die das Vorgehen entscheidend beeinflussen:

Viele Heilungsprobleme resultieren aus der Deperiostierung der Hauptfragmente im Rahmen der herkömmlichen Operationstechnik bei Plattenosteosynthesen. Früher bestand die Vorstellung, die einzelnen Fragmente müssten Stück für Stück anatomisch rekonstruiert werden. Heute beschränkt man sich darauf, die korrekte Länge, Achse und Rotation eines Röhrenknochens einzustellen und toleriert bewusst Fehlstellungen kleinerer Fragmente zugunsten ihres periostalen Verbundes und damit einer erhaltenen Durchblutung. Bei diesem Vorgehen, der so genannten »biologischen Osteosynthese«, heilen die Frakturen deutlich schneller aus. Pseudarthrosen, Implantatversagen und Infektionen sind wesentlich seltener geworden.

Die herkömmliche Technik der stabilen Plattenosteosynthese hat in den letzten Jahren am Femurschaft immer mehr an Bedeutung verloren. Sie wird von der Marknagelung und der elastischen Plattenosteosynthese zunehmend verdrängt.

Für die Nagelung wurden die Markräume zunächst immer aufgebohrt. Dabei wurden allerdings einerseits die Durchblutung der Kortikalis vermindert, was in einem nicht unerheblichen Prozentsatz die Knochenbruchheilung stören kann, und andererseits Markraumbestandteile in den venösen Schenkel gepresst und Fettembolien verursacht, denn der in den Markraum eingeführte Bohrer wirkt wie ein hydraulischer Stempel. Stürmer (1995) hat in Tierversuchen bei offener Marknagelungstechnik beobachtet, »wie aus der Fraktur und aus Rissen oder Fissuren reichlich Markfett, Blut und Bohrmehl austritt, kurz bevor der Bohrer die Stelle passiert. Tupft man an deperiostierten Stellen den Knochen sauber ab, so erkennt man das plötzliche, punktförmige Austreten von Blut und Fett aus Kanälchen an der Knochenoberfläche, wenn der Bohrer innen vorbeiläuft.«

Heute wird dieses Verfahren deshalb nur bei speziellen Indikationen eingesetzt. Solche Indikationen sind der zu enge Markraum des jungen oder der zu weite Markraum des alten Menschen sowie die Pseudarthrose. Das Standardverfahren ist dagegen das unaufgebohrte Vorgehen.

Indikationen für die Osteosynthese mit einem Marknagel

Gute Indikationen:
- Querbrüche
- Kurze Schrägbrüche
- Verzögerte Heilung
- Pseudarthrose

Erweiterte Indikationen:
- Segmentale Brüche
- Trümmerbrüche
- Offene Frakturen mit ausreichender Weichteildeckung und geringer Kontamination

Kontraindikationen sind Schaftbrüche am wachsenden Skelett.

Abb. 9.57a–g 25-jähriger Patient mit Schussbruch. **a** Unfallbild anschließend Débridement und Perkins-Traktion. **b,c** Nach 5 Wochen, nach 10 Wochen bei verheilter Wunde Abnahme der Traktion und Teilbelastung. **d,e** Nach 18 Wochen ist die Fraktur konsolidiert, freie Beweglichkeit in den angrenzenden Gelenken. **f,g** Nach 1 Jahr reizfreie Weichteile, keine Fistel. (Aus: Mandrella 2002)

Für die erweiterte Indikation, wie für alle Anwendungen des so genannten soliden Marknagels ohne Aufbohren der Markhöhle, gilt die absolute Forderung nach einer zusätzlichen stabilisierenden Maßnahme, die sich heute in der Regel mit der relativ einfachen Technik der Verriegelung durchführen lässt (Weller 1995). Auch wird durch die Möglichkeit der Verriegelung keine langstreckige Verklemmung proximal und distal der Fraktur benötigt. Deshalb können alle geschlossenen und offenen Frakturen mit ausreichender Weichteildeckung und nur geringer Kontamination im 2. bis 4. Schaftfünftel mit einem Verriegelungsnagel versorgt werden.

Es wurden Implantate entwickelt, die an die Form des Markraums ideal angepasst und dünn dimensioniert sind, sodass sie nach Eröffnung und Erweiterung des proximalen Schaftanteils ohne weiteres Vorbohren in die Markhöhle eingebracht werden können. Die verschiedenen Implantate zahlreicher Firmen verfolgen im Wesentlichen alle dieses Prinzip. Das operative Vorgehen wird am Beispiel des unaufgebohrten Femurnagels (UFN) exemplarisch dargestellt.

9

Unaufgebohrter Femurnagel

Bereits präoperativ werden die Weite des Markraums und die Länge des Femurs gemessen, um die Implantatgröße ermitteln zu können. Als Orientierung dienen die Röntgenaufnahmen, es wird eine Vergrößerung von 10–15% eingerechnet. Es gibt Schablonen, die diesen Arbeitsgang erleichtern.

Die Schablonen sind um 15% vergrößert.

Der Patient kann in Seitenlage oder auf einem Extensionstisch versorgt werden (Abschnitt Dynamische Hüftschraube). Das hängt von den Begleitverletzungen und der Vorliebe des Operateurs ab. Der Extensionstisch erleichtert die Haltearbeit bei der Reposition und die Bildwandlerkontrolle, während in Seitenlage der Eintrittsort für den Nagel wesentlich leichter zugänglich ist. Außerdem ermöglicht die Seitenlage es, das Bein in Hüfte und Knie zu beugen. Dadurch werden die Oberschenkelstrecker und -beuger maximal entspannt. Die Fraktur lässt sich dann oft relativ einfach und mit geringem Kraftaufwand reponieren. Dieser Effekt lässt sich auch auf dem Extensionstisch erzielen, indem der Patient in halb sitzender Position mit angewinkeltem Bein gelagert wird.

Allerdings hat die Lagerung auf dem Extensionstisch einige Nachteile (Lögters et al. 2009):

- Die Lagerung auf dem Extensionstisch ist aufwändig.
- Bei begleitenden instabilen Wribelsäulen- oder Beckenfrakturen oder bei ipsilateralen Unterschenkelfrakturen ist sie nicht möglich.
- Begleitverletzungen lassen sich nicht simultan versorgen.
- Der N. pudendus ist durch anhaltenden perinealen Druck gefährdet.

Die Lagerung auf einem röntgenstrahlendurchlässigen Normaltisch bietet folgende Vorteile (Stephen et al. 2002):

- Die manuelle Reposition spart Zeit.
- Die intraoperative Beurteilung der korrekten Reposition ist einfacher.
- Eine simultane Versorgung mehrerer Verletzungen mit 2 Teams ist möglich.
- Der Patient braucht für die Versorgung anderer Verletzungen nicht umgelagert zu werden.

Wenn man manuell reponieren möchte, darf die Fraktur nicht älter als 24 h sein und der Patient muss vollständig relaxiert sein.

Nach erfolgter Hautdesinfektion und Abdeckung des Operationsgebiets wird, um sicherzugehen, nochmals die Nagellänge bestimmt. Dazu dient eine Messlehre, die teilweise strahlendurchlässig ist. Der Bildverstärker wird, wenn sich der Patient in Rückenlage auf dem Extensionstisch befindet, so positioniert, dass das proximale Femur exakt im sagittalen Strahlengang eingestellt ist. Dann hält man die Messlehre mit einer langen Klemme so über die knöchernen Strukturen, dass es der vorgesehenen späteren Nagellage entspricht und markiert die Position des proximalen Endes der Messlehre mit einem Stift. Das Nagelende soll proximal bündig mit der Oberkante des Trochanter major abschließen. Distal wird auf dieselbe Weise gemessen. Die Nagelspitze soll bis zur ehemaligen Wachstumsfuge reichen, die sich als sklerosierte Linie darstellt. Wenn die Fraktur noch nicht reponiert ist, muss die noch bestehende Verkürzung bei der Längenbestimmung berücksichtigt werden. In Seitenlage wird ähnlich verfahren oder das Maß direkt von den Röntgenbildern genommen, wobei man dann wiederum die 10%ige Vergrößerung der wahren Verhältnisse berücksichtigen muss.

Antegrader Nageleintrittspunkt

Der ideale Eintrittspunkt für den Nagel liegt in beiden Ebenen in der Verlängerung der Markhöhle, und zwar im posterioren Anteil der Fossa piriformis (Abb. 9.58). Man schafft sich zunächst einen proximalen Zugang, wie oben beschrieben, etwa eine Handbreit oberhalb der Trochanterspitze von dorsal kommend, transgluteal zur Fossa. Den optimalen dorsalen Eintrittspunkt des Zugangs findet ein noch unerfahrener Operateur am einfachsten, indem er die antekurvierte Flucht des Femurs am seitlichen Oberschenkel aufzeichnet und den Bogen über die Trochanterregion hinaus nach kraniodorsal verlängert. Eine zweite Linie lässt sich am besten im a.p.-Strahlengang ermitteln. Je dicker der Weichteilmantel ist, umso weiter verschiebt sich der Zugang nach kranial und je exakter man den idealen Punkt trifft, umso weniger müssen später die Weichteile verschoben werden. Dann braucht der Hautschnitt nur wenige Zentimeter lang zu sein, und die Muskulatur wird nicht gequetscht. Man spart Operationszeit und minimiert das Risiko einer Wundheilungsstörung (Abb. 9.45).

Mit einem Pfriem wird der Eintrittspunkt zum Markraum in der Fossa trochanterica unter Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen eröffnet und dann ein 3,2 mm starker Führungsdraht in den Markraum vorgeschoben (Abb. 9.58). Bei diesem Schritt muss darauf geachtet werden, dass die Fraktur nicht varisch verkippt eingestellt ist, was insbesondere bei weit proximal gelegenen Frakturen geschieht. Die Gefahr ist groß, das proximale Hauptfragment – von kraniolateral nach distal-medial verkippt ausgerichtet – aufzufädeln und damit die varische Fehlstellung bei der anschließenden Nagelimplantation zu fixieren.

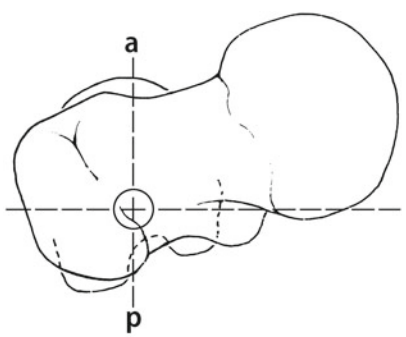


Abb. 9.58 Der ideale Eintrittspunkt für den Marknagel am Trochanter major befindet sich in der Verlängerung der Markhöhle in beiden Röntgenebenen. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

Retrograder Nageleintrittspunkt

Dieses Verfahren wurde erstmals von Siontkowski et al. (1984) beschrieben. Inzwischen hat es sich als Alternative zum antegraden und zu winkelstabilen Platten entwickelt. Bei hängendem Unterschenkel wird das Knie arthrotomiert. Man spaltet dafür den Streckapparat in Längsrichtung unter medialer Umschneidung der Patella. Ein etwa 5 mm breiter Saum des Retinaculum mediale soll an der Patella für den späteren stabilen Wundverschluss verbleiben. Dann wird die Patella nach lateral subluxiert und der Eintrittspunkt für den Marknagel bestimmt. Er liegt in beiden Bildwandlerebenen in der Verlängerung des Markraums in der Fossa intercondylaris etwa 1 cm vor dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes. Dabei kann der Markraum durch Entnahme eines osteochondralen Zylinders eröffnet werden (Friemert et al. 2005). Dadurch lässt sich im Anschluss an die Nagelinsertion das femororpatellare Gleitlager rekonstruieren.

Indikationen für das retrograde Vorgehen sind:

- Bei ausgeprägter Adipositas des Patienten ist ein antegrades Vorgehen durch die eingeschränkte Bildwandlersicht insbesondere im seitlichen Strahlengang und durch die übermäßige Weichteildeckung deutlich erschwert.
- Bei ipsilateraler Schenkelhalsfraktur bleibt der Weg für eine Schraubenosteosynthese frei.
- Bei ipsilateraler Unterschenkelfraktur können beide Röhrenknochen von einem gemeinsamen Zugang aus versorgt werden.
- Bei bestehender Schwangerschaft lässt sich durch ein retrogrades Vorgehen die körperstammnahe Strahlenbelastung reduzieren. Dies gelingt allerdings nur unter Vermeidung der körperstammnahen Verriegelung in Freihandtechnik. Für diese Indikation eignet sich das SIN-ART-Marknagelsystem (Fa. Zimmer), bei dem an beiden Nagelenden Zielgeräte für das Setzen der Verriegelungsschrauben angebracht werden können (Friemert et al. 2005, ◘ Abb. 9.59).

Nachteile des retrograden Vorgehens sind:

- Die stammnahe Verriegelung, die ja bei retrograder Insertion des Nagels in der Regel in Freihandtechnik durchgeführt werden muss, wird durch die Weichteilüberlagerung umso mehr erschwert, je weiter das Nagelende nach proximal reicht. Zudem findet ein wesentlicher Teil der intraoperativen Bestrahlung in der Nähe der Gonaden statt.
- Im Rahmen einer Implantatentfernung muss erneut das Kniegelenk eröffnet werden. Da die Zugangsmorbidität bei der Entfernung häufig deutlich größer ist, entsteht insbesondere bei der Entfernung des Nagels ein chondraler Defekt im femoropatellaren Gleitweg. Bei 90° gebeugtem Knie hat die Patellarückfläche Kontakt mit der Nageleintrittsstelle. Ob sich dies in einer höheren Arthroserate niederschlägt, ist bisher nicht nachgewiesen (Holmenschlager et al. 2002).

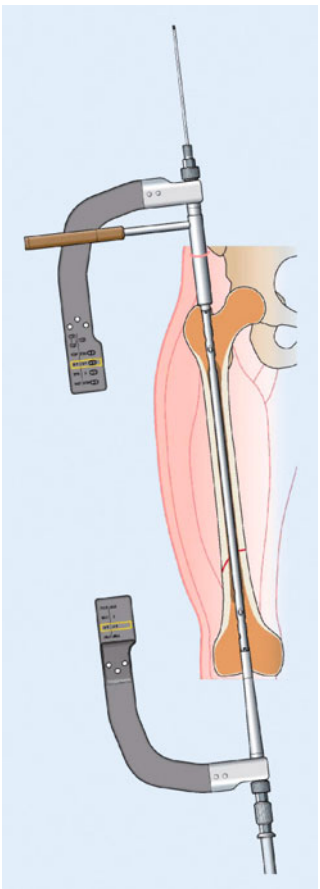
Tornetta et al. (2000) fanden zwischen dem antegraden und retrograden Vorgehen keine Unterschiede in Hinblick auf Operationsdauer, Blutverlust und implantatassoziierte Komplikationen. Andere prospektive, randomisierte Studien ergaben aber eine höhere Rate an Folgeeingriffen nach retrograder Nagelinsertion.

Repositionstechniken

Das Einrichten von Oberschenkelschaftfrakturen kann sich insbesondere bei jungen muskelkräftigen Patienten sehr schwierig gestalten. Eine vollständige Relaxation der Muskulatur während des Repositionsvorgangs ist unverzichtbar. Bei Verwendung eines Extensionstischs muss das Bein adduziert eingestellt werden, sonst ist der Markraum nicht in derselben Flucht wie der einzubringende Führungsdraht ausgerichtet. Manche, weit proximal lokalisierte Frakturen brauchen aber für eine gute Reposition eine Abduktion. In diesen Fällen fädelt man zunächst das proximale Fragment in Adduktion auf, weil man in dieser Beinstellung besser an den glutealen Weichteilen vorbeikommt. Anschließend reponiert man den Bruch durch Abduktion des Beins und schiebt den Führungsdraht dann ins distale Hauptfragment weiter.

Dislokationen in der Sagittalebene lassen sich oft nur unter Einsatz eines so genannten Joysticks korrigieren. Dazu bringt man von ventral perkutan eine Schanz-Schraube in das distale Ende des proximalen Hauptfragments ein. Die Schraube wird mit einem Handgriff armiert. Mit dieser Vorrichtung kann das Fragment in allen Ebenen ausgerichtet werden. Durch Unterlegen einer Tuchrolle als Hypomochlion kann ein nach beugeseitig verzogenes proximales Ende eines distalen Hauptfragments in der anatomischen Flucht ausgerichtet werden. Beim Vorschieben des Führungsdrahts in die suprakondyläre Region orientiert man sich an der ehemaligen Wachstumsfuge, die meist als sklerosierte Linie radiologisch gut erkennbar ist. Bis dorthin wird die Spitze des Führungsdrahts vorgeschoben.

In aussichtslosen Fällen, wenn der Muskelzug des Patienten nicht überwunden werden kann, hilft der Einsatz des AO-Distraktors weiter. Beim geschlossenen Vorgehen wird eine Schanz-Schraube in das trochantere und eine in das kondyläre Massiv eingedreht und anschließend mit der Spindel verbunden. Dabei muss man darauf achten, dass man die Schrauben direkt in die dorsale Kortikalis des Femurschafts setzt, sonst verlegt man sich



◘ **Abb. 9.59** SIN-ARTTM-Marknagelsystem (Fa. Zimmer), bei dem an beiden Nagelenden Zielgeräte für das Setzen der Verriegelungsschrauben angebracht werden können. (Aus: Friemert et al 2005)

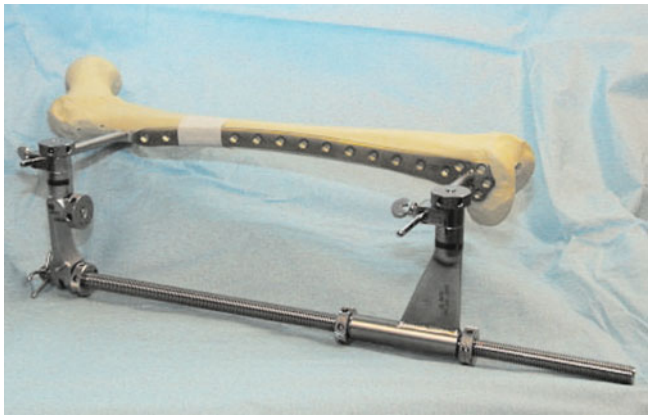


Abb. 9.60 Kombination einer Femur-LISS-Platte mit dem AO-Distraktor. Die distale Schanz-Schraube des Distraktors ist im Plattenloch A eingebracht. (Aus Babst et al. 2001)

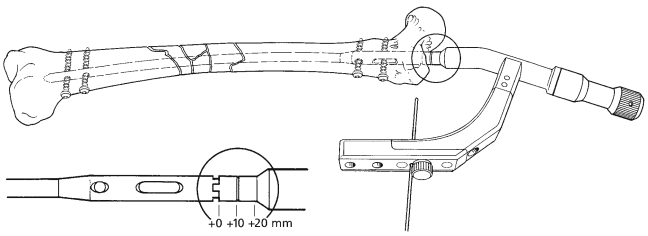


Abb. 9.61 Bestimmen der Position des Nagelendes mit einem Führungsdraht, der durch den Zielbügel gesteckt wird. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

den Weg im Markraum und kann anschließend kein Implantat einbringen. Beim offenen Vorgehen können die Schrauben auch frakturnah gesetzt werden. Mit der Distraktionsmutter werden dann die Frakturpartner soweit auseinanderbewegt, bis der Adlatus-Versatz überwunden ist, und sich diese in der korrekten Flucht einstellen (Abb. 9.60).

Bei der offenen Reposition versucht man die Fragmentenden so wenig wie möglich zu deperiostieren. Über einen kleinen Hautschnitt kann man ein Raspatorium oder einen Hohmann-Hebel in den Bruchspalt einführen und die Stellung manipulieren oder man setzt Repositionszangen an beiden Frakturpartnern an und reponiert sie direkt.

Bei manchen polytraumatisierten Patienten mit Femurfraktur und liegendem Fixateur stehen die Frakturen nicht ideal, sondern die Hauptfragmente sind übereinander geschoben und der Gliedmaßenabschnitt ist dadurch verkürzt. Wenn solche Patienten einen protrahierten Verlauf durchmachen und sich wochenlang in einem kritischen Zustand befinden, der keinen frühen Verfahrenswechsel zulässt, kann es vorkommen, dass die Fraktur auch unter Einsatz des Distraktors nicht mehr geschlossen reponiert werden kann. In diesem Fall muss offen reponiert werden. Nach einem kurzen lateralen Zugang auf Frakturhöhe werden die Bruchenden dargestellt. Unter Einsatz eines Arthrodesenspreizers lässt sich die Überschiebung am besten und schonendsten beseitigen.

Mit einer Bohrmaschine oder einem Universalbohrfutter wird der 3,2 mm Führungsdraht etwa 10 cm weit bis über das Niveau des Trochanter minor hinaus in den Markraum vorgebohrt. Anschließend wird das proximale Femur über diesen Führungsdraht mit einem 13 mm starken kanülierten Bohrer bis in Höhe des Trochanter minor aufgebohrt, denn das proximale Nagelende des UFN ist auf einer Länge von etwa 9 cm 12 mm stark.

Falls versäumt wird, den proximalen Markraum bis zur Höhe des Trochanter minor auf eine lichte Weite von 13 mm aufzubohren, würde man beim späteren Einschlagen des unaufgebohrten Nagels den Schenkelhals vom proximalen Schaft absprengen.

Nun werden Bohrer und Führungsdraht entfernt, die Fraktur reponiert und der antekurvierte Nagel in den Markraum eingebracht. Der Aufsatz für die Standardverriegelung wird erst auf den Zielbügel geschraubt, wenn der Nagel ganz in die Markhöhle eingeführt ist, damit er sich während des Einschlagens des Nagels nicht lockert. Zum Einschlagen steht eine Führungsstange mit einem Schlaggewicht zur Verfügung oder alternativ ein pilzförmiger kurzer Aufsatz, über den der Nagel mit einem Hammer eingeschlagen werden kann.

Wenn sich der Nagel nur mit großem Kraftaufwand in den Markraum hineintreiben lässt, muss, obwohl es sich eigentlich um ein unaufgebohrtes System handelt, der Markraum aufgebohrt werden, anderenfalls besteht wiederum die Gefahr, diesen zu sprengen.

Insbesondere bei jungen Patienten, die körperlich sehr aktiv und damit muskelkräftig sind und deren Femora eine dicke Kortikalis haben, finden sich häufig enge Markräume, die auch für den dünnsten Nagel nicht weit genug sind. Den UFN z.B. gibt es in 4 Stärken von 9,0–12,0 mm. Wenn bei der präoperativen Planung ersichtlich ist, dass der Markraum, an seiner engsten Stelle gemessen, eine lichte Weite von nur 9 mm oder weniger aufweist, muss vor dem Einbringen des Nagels der Markraum aufgebohrt werden und zwar um 1 mm weiter als die Nageldicke beträgt.

Die Reposition soll nach Möglichkeit geschlossen erfolgen, damit die Durchblutung im Frakturbereich durch die Deperiostierung nicht noch zusätzlich geschädigt wird. Dies ist insbesondere bei Trümmerfrakturen von großer Bedeutung. Man kann den Verriegelungsnagel mit dem Einschlaginstrumentarium dirigieren, sodass sich das distale Hauptfragment unter Bildwandlersicht in 2 Ebenen leichter auffädeln lässt.

Weiteres Vorgehen. Nach Reposition der Fraktur kann nun der Nagel in das distale Hauptfragment geschlagen werden. Das Implantat liegt ausreichend tief in der Markhöhle, wenn die Nagelspitze das Niveau der ehemaligen Wachstumsfuge erreicht hat. Nun kann man mit Hilfe eines Führungsdrahts, der durch den Zielbügel geschoben wird, prüfen, wo das proximale Nagelende zu liegen kommt und ob die richtige Länge gewählt wurde. Das Nagelende lässt sich aber bei überlagerungsfreier Sicht auch ohne Einsatz des Führungsdrahts an der schmalen Einschnürung am Übergang zwischen Zielbügel und Implantat ausmachen (Abb. 9.61). Falls der Nagel zu kurz ist, kann man in begrenztem Maß die fehlende Länge durch eine 10 oder 20 mm längere Verschlussschraube ausgleichen.

Das Nagelende soll, wenn die Fraktur ausgeheilt ist, nicht zu weit im Knochen versenkt liegen, damit man bei der späteren Implantatentfernung das Nagelende entwickeln kann, ohne dabei die glutealen Ansätze in Mitleidenschaft zu ziehen. Wenn der Nagel knapp 1 cm über das Trochanterniveau hinausragt, erleichtert dies die Implantatentfernung insbesondere bei muskelkräftigen Patienten wesentlich. Viel weiter als 1 cm sollte es jedoch nicht überstehen, weil sonst die Hüftbeweglichkeit beeinträchtigt würde. Mit Hilfe von 3 verschieden langen Verschlussschrauben lässt sich der ge-

wünschte Überstand des Nagels erzielen. Die Verschlussschrauben gibt es in den Längen 0, 10 und 20 mm. Die Maßzahl bezeichnet die Länge des Überstandes der verschiedenen Verschlussschrauben. Bei der Auswahl muss berücksichtigt werden, in welchem Ausmaß der Frakturbereich voraussichtlich sintern wird oder ob ggf. die Fraktur beim Einschlagen des Nagels auseinandergetrieben wurde, was insbesondere bei engem Markraum vorkommen kann.

Rotation

Vor der Verriegelung des Nagels muss nochmals die korrekte Rotation des Beins überprüft und ggf. korrigiert werden. Dabei orientiert man sich an verschiedenen Kriterien:

Wenn sich der Patient auf dem Extensionstisch befindet, dient die Patella als Orientierung, die in Neutral-Null-Stellung, also parallel zur Beckenkammebene stehen soll. Der Fuß steht dann in etwa 15° außenrotiert.

In Seitenlage liegt das verletzte Bein mit etwa 45°-Hüft- und 90°-Kniebeugung leicht innenrotiert vor dem gestreckten unverletzten Bein. Dabei liegt das Knie am Operationstisch auf und der Fuß am Unterschenkel des darunter liegenden Beins. In dieser Stellung stehen die beiden Hauptfragmente in korrekter Null-Rotation zueinander.

Die richtige Rotation wiederherzustellen, ist bei subtrochanteren Frakturen besonders schwierig. Selbst bei Beachtung der oben aufgeführten Kriterien und der äußerlich korrekten Einstellung der Rotation des Beins kann das proximale Hauptfragment durch den Zug der glutealen Muskulatur nach außen verdreht stehen. In diesem Fall kommt es häufig vor, dass ein Innendrehfehler übersehen und fixiert wird. Deshalb sollte man bei diesem Bruchtyp die Rotation des proximalen Hauptfragments anhand der Abbildungsprofils des Trochanter minor unter Bildwandler und die Rotation des distalen Hauptfragments anhand der Drehung des Fußes jeweils mit der unverletzten Seite vergleichen und ggf. nachjustieren.

Weitere Hinweise für einen Drehfehler wären das Kortikalissprungzeichen und das Durchmesserdifferenzzeichen. Diese Zeichen sieht man unter Durchleuchtung in der Kontaktzone von gegeneinander verdreht stehenden Knochenrohranteilen. Sie entstehen durch die unterschiedliche Kortikalisdicke bzw. Markraumweite fehlrotierter Hauptfragmente.

Bei offenem Vorgehen ist die Einstellung der Rotation einfacher. Man orientiert sich an der Linea aspera und richtet die Hauptfragmente in deren Flucht aus.

Eine präzise Einstellung der femoralen Antetorsion gelingt mit der intraoperativen CT oder mit der Navigation (Lögters et al. 2009).

Standardverriegelung

Damit keine Verwechslungen stattfinden, sind alle Teile, die für die Standardverriegelung gebraucht werden, Zielbügelaufsatz, Verriegelungs- und Verschlussschrauben, grün gefärbt. Das ist deshalb sinnvoll, weil der UFN zusätzliche Möglichkeiten der Verriegelung bietet (Abschnitt »Spiralklingenverriegelung« und »Andere Verriegelungsmöglichkeiten«).

Bei der Standardverriegelung wird der Nagel, wie üblich, distal und proximal mit je einer Schraube oder 2 Schrauben armiert. Man richtet sich dabei nach den gängigen Kriterien, die in der Tab. 9.7 aufgeführt sind. Bei Trümmerbrüchen oder langen schräg verlaufenden Bruchflächen, also Frakturtypen mit schlechter Abstützung, werden proximal und distal grundsätzlich jeweils 2 Verriegelungsschrauben verwendet. Bei guter Abstützung können es auch einmal weniger sein.

Tab. 9.7 Lokalisation und Anzahl benötigter Verriegelungsschrauben bei guter Abstützung im Bruchbereich in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation

Frakturlokalisation	Schraubenzahl	
	Proximal	Distal
Proximal	++	+
Diaphysär	+	+
Distal	+	++

+ entspricht einer Schraube

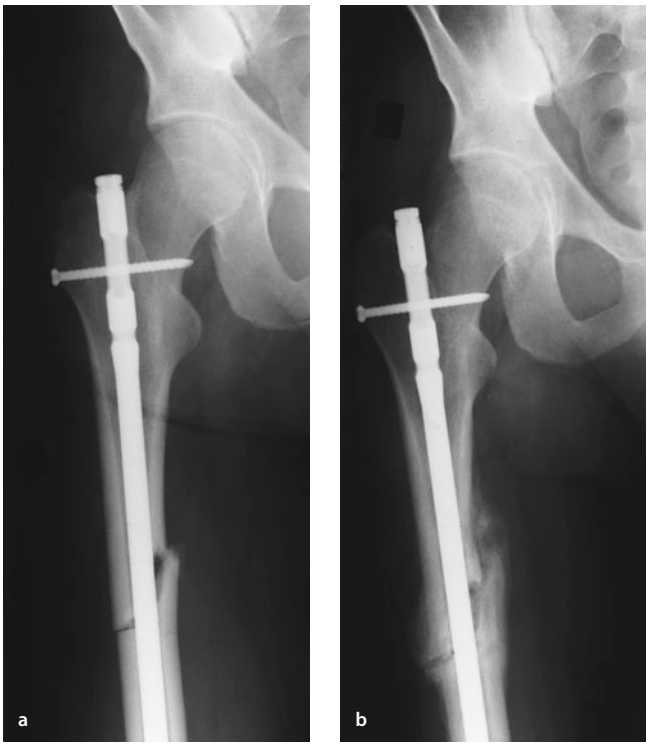


Abb. 9.62a,b Stabilisierung einer Femurschaftfraktur bei einem 26-jährigen Patienten mit UFN. **a** Die Fraktur wurde primär dynamisch versorgt, da sie sich gut abstützte. **b** Bereits nach 10 Wochen zeigt sich eine ausgedehnte Kallusbildung

Im Zweifelsfall kann man sich an dem alten unfallchirurgischen Leitspruch orientieren »in dubio pro bolzo«.

Am proximalen Nagelende ist eines der beiden Verriegelungslöcher längsoval geformt, sodass es sich für eine dynamische Verriegelung eignet. Es dient der Rotationssicherung und lässt primär ein Sintern im Bruchbereich zu. Das andere Verriegelungsloch ist kreisrund und dient der statischen Verriegelung des Nagels (Abb. 9.62).

Falls, wie bereits oben angesprochen, bei engem Markraum die Fraktur beim Einschlagen des Nagels auseinandergetrieben wurde, empfiehlt es sich, zunächst distal doppelt zu verriegeln, den Nagel anschließend soweit zurückzuschlagen, bis

sich der Bruchspalt geschlossen hat und erst dann proximal zu verriegeln. Beim Zurückschlagen eines distal verriegelten Nagels darf jedoch nicht zu viel Kraft aufgewendet werden, denn die relativ dünnen Verriegelungsschrauben des UFN verbiegen sich leicht.

Die Bestimmung der richtigen Schraubenlänge erfolgt am einfachsten bereits beim Aufbohrvorgang mit dem 4,0 mm starken Spiralbohrer mit Ringmarkierungen. Unmittelbar nach Perforation der Gegenkortikalis vergewissert man sich unter Bildwandler, dass die Spitze des Bohrers mit der Gegenkortikalis bündig ist und die Bohrbüchse fest auf der diesseitigen Kortikalis aufliegt. Nun kann die benötigte Schraubenlänge am Bohrer selbst abgelesen werden. Alternativ kann auch das Längenmessgerät verwendet werden.

Die verschiedenen Längenbestimmungen können zu Verwirrung Anlass geben, weil am 4,0-mm-Spiralbohrer mit Ringmarkierungen bereits 4 mm Länge addiert sind, um sicherzustellen, dass die Schraubenspitze die Gegenkortikalis durchbohrt. Dies ist beim Längenmessgerät nicht so. Wenn es zur Längenbestimmung eingesetzt wird, muss man, wie gewohnt, 2–4 mm zugeben.

Dass die Schrauben die Gegenkortikalis etwas überragen, ist, abgesehen vom Stabilitätsaspekt, in Hinblick auf einen etwaigen Schraubenbruch von Bedeutung, um ggf. eine abgebrochene Schraubenspitze bergen zu können.

Nach erfolgter Verriegelung, die distal freihand z.B. mit dem strahlendurchlässigen Winkelgetriebe vorgenommen wird, kann nun der Zielbügel vom Nagelende entfernt und die Verschlussschraube eingebracht werden. Beim Setzen der Verschlussschraube kann es leicht passieren, dass man durch die mangelnde Sicht und den evtl. recht langen Weg durch kräftige Muskulatur in der Richtung abgelenkt wird und dann die Schraube verkantet ins proximale Nagelende eindreht. Das relativ weiche Gewinde wird dabei häufig zerstört.

Deshalb sollte die Verschlussschraube unter Bildwandlersicht in 2 Ebenen exakt in der Flucht des Marknagels ausgerichtet werden, bevor sie ins Nagelende eingeschraubt wird. Dies kostet zwar etwas Zeit, macht sich aber auf jeden Fall bezahlt, denn wenn das Gewinde erst einmal versehentlich schräg angeschnitten wurde, lässt sich meist kein fester Schraubensitz mehr erreichen.

Spiralklingenverriegelung

Für die Verriegelung mittels Spiralklinge wird das proximale Nagelende mit einer blauen Hülse armiert. Diese Hülse hat in Höhe des Längsschlitzes des Nagels, der zur dynamischen Verriegelung dient, zu beiden Seiten längsovale Löcher, die höhenversetzt zueinander angeordnet sind. Dadurch kann durch die Schlitze in der Hülse und dem Nagel eine Spiralklinge schräg nach oben gerichtet eingeschlagen werden. Die Spiralklinge stellt nicht nur eine besonders stabile Form der proximalen Verriegelung im Schenkelhals dar, sondern sie ermöglicht bei 2-Etagenfrakturen sogar die Stabilisierung des frakturierten Schenkelhalses selbst.

Alle Teile, die für die Spiralklingenverriegelung gebraucht werden, Hülse, Spiralklinge und Verschlussschrauben, sind blau gefärbt. Bereits präoperativ wird mittels Schablonen der benötigte Winkel ermittelt. 100°-, 110°- und 120°-Hülsen stehen zur Auswahl.

Zu beachten ist, dass die Hülse den Durchmesser des proximalen Nagelanteils um weitere 3 mm verdickt. Deshalb muss in diesem Fall der proximale Markraum bis auf 16 mm Weite aufgebohrt werden, weil das mit der Hülse armierte Nagelende 15 mm stark ist.

Bei diesem Schritt ist die zentrale Lage des Führungsdrahts besonders wichtig, damit die Spiralklinge später den Querschnitt des Schenkelhalses ebenfalls mittig treffen kann und möglichst stabil verankert wird. Anderenfalls könnte die Klinge unter Belastung ausreißen.

Bevor der Nagel in den Markraum eingebracht wird, sollte man eine Spiralklinge durch das proximale Nagelende stecken und sich davon überzeugen, dass die Hülse richtig herum aufgesteckt wurde (die Aufschrift »lateral« muss lateral stehen). Anschließend wird der Nagel so weit in den Markraum eingeschlagen, bis die gewünschte Höhe für die geplante Lage der Spiralklinge in der sagittalen Röntgenebene erreicht ist. Dies wird mit dem Zielaufsatz geprüft, der jetzt am Zielbügel montiert wird. Nun steckt man die Bohrbüchse durch den Zielbügelaufsatz und hat damit einen Zeiger für die Lage der Spiralklinge. Durch Vor- oder Zurückschlagen des Nagels wird nun die gewünschte Position einjustiert und anschließend ein 3,2 mm starker Führungsdraht durch einen Trokar, der in das Zielgerät gesteckt wurde, in den Schenkelhals gebohrt. Dessen Lage kann unter Bildwandler im a.p. und lateralen Strahlengang exakt kontrolliert und ggf. korrigiert werden.

Die Länge für die Spiralklinge wird mit Hilfe des Führungsdrahts bestimmt. Die Spitze des Drahts soll 5–10 mm subchondral im Hüftkopf zu liegen kommen. Die Bohrbüchse muss beim Ablesen der Länge ganz an die laterale Femurkortikalis gepresst werden, um die korrekte Länge zu bekommen. Nun wird eine Klinge der ermittelten Länge oder eine etwas kürzere ausgewählt und auf das Einschlaginstrument aufgeschraubt.

Bevor die Klinge eingeschlagen wird, muss die laterale Femurkortikalis mit dem 13 mm starken Bohrer, der zum Aufbereiten des proximalen Schafts bei der Standardverriegelungstechnik verwendet wird, eröffnet werden. Die laterale Kortikalis soll ein kreisrundes Loch erhalten. Anschließend kann die Spiralklinge über den Führungsdraht in den Schenkelhals eingeschlagen werden. Die Spitze wird dazu parallel zur Schaftebene ausgerichtet, damit sie vom längsovalen Loch der Armierungshülse aufgenommen werden kann.

Der T-förmige Griff des Einschlaginstruments liegt parallel zur Ebene der Spiralklingenspitze. Daran kann der Operateur beim Einschlagvorgang erkennen, wie weit die Klinge sich bereits gedreht hat.

Wahlweise kann zusätzlich proximal eine statische Verriegelungsschraube eingebracht werden (Abschnitt Standardverriegelung). Die 15 mm breite blaue Verschlussschraube wird nach Abnahme des Zielbügels in das Nagelende geschraubt. Sie verriegelt die blaue Hülse statisch mit dem Nagel. Bei den letzten Umdrehungen deformiert sich deren Spitze, die aus Polyethylen besteht, auf der Spiralklinge und sichert diese damit während des Zeitraums, in dem der Patient nicht belasten darf (Abb. 9.63).

Distale Verriegelung

Die Verriegelung lässt sich in Freihandtechnik oder mit einem strahlendurchlässigen Winkelgetriebe durchführen. Letztere Technik hat den Vorteil der geringeren Strahlenbelastung und einfacheren Handhabung. Dazu wird zunächst das distalste Loch im Marknagel so eingestellt, dass es zentral im Bildschirm des Bildwandlers liegt und kreisrund abgebildet wird (Abb. 9.64a). Nur wenn es sich kreisrund darstellt, ist sicher, dass es exakt in

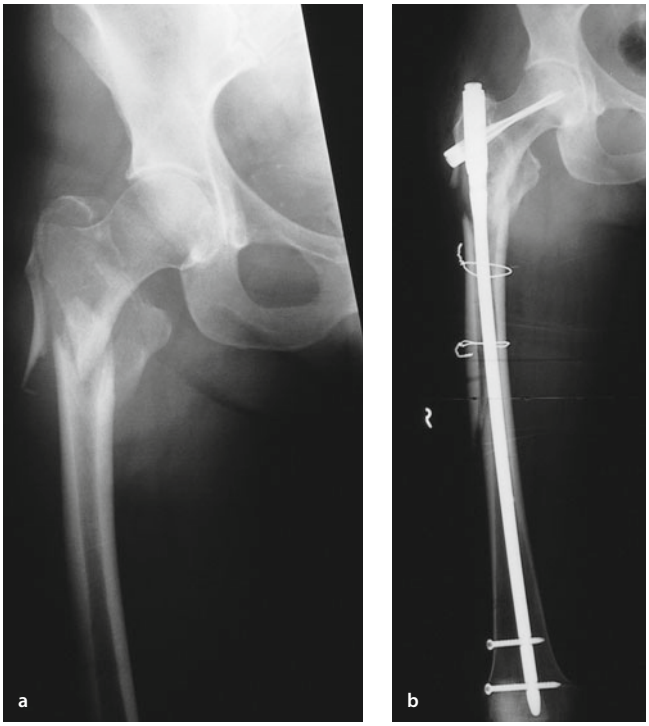


Abb. 9.63a,b Per- und suptrochantere Femurfraktur einer 44-jährigen Patientin mit relativ engem Markraum. **a** Beim Versuch, die Fraktur mit einem kurzen Gammanagel zu stabilisieren, wurde der Markraum gesprengt. **b** Dies erforderte einen Wechsel auf eine Versorgung mit UFN, Spiralklinge und Cerclagen

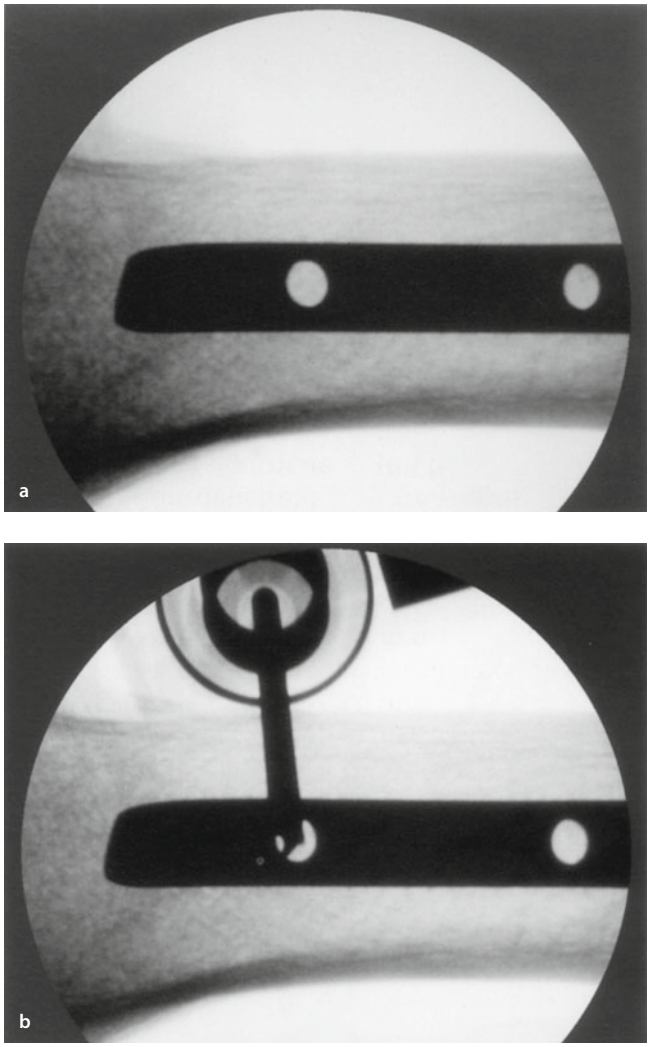


Abb. 9.64a,b Technik der Freihandverriegelung. **a** Zunächst wird nur das Schraubenloch des Marknagels so im Bildwandler eingestellt, dass es kreisrund ist. **b** Anschließend wird die Spitze des Spiralbohrers in der Mitte des Schraubenlochs zentriert und danach axial im Strahlengang ausgerichtet. (Fa. Synthes)

der Flucht des Strahlengangs liegt. Dies wiederum ist Voraussetzung dafür, dass das Schraubenloch gerade und nicht verkippt gebohrt werden kann. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass sich die Schraube im Verriegelungsloch des Nagels verklemmt und nicht in der Gegenkortikalis verankern lässt.

Nach erfolgter Einstellung unter Bildwandlerkontrolle wird nun über dem kreisrunden Loch mit dem Skalpell eine kurze Längsinzision der Haut gesetzt. Die Inzision sollte wenigstens 1 cm lang sein, damit anschließend genügend Platz vorhanden ist, die zwischen Haut und Kortikalis liegenden Weichteile mit einer Schere zu spreizen und auf diese schonende Weise einen Weichteilkanal für die folgenden Operationsschritte zu schaffen. Nun wird die Spitze des 4,0 mm starken Spiralbohrers in den Weichteilkanal eingeführt, zunächst schräg zum Röntgenstrahl gehalten und unter Bildwandlersicht exakt in der Mitte des Verriegelungslochs zentriert (Abb. 9.64b). Anschließend wird das strahlendurchlässige Winkelgetriebe hochgeschwenkt, bis sich der Spiralbohrer selbst genau in der Flucht der Strahlung befindet und um seinen Querschnitt herum ein schmaler strahlendurchlässiger Kreis erscheint. Der Bohrer füllt das Verriegelungsloch dann beinahe aus. In dieser Stellung werden nun beide Kortikales durchbohrt.

Die Länge der benötigten Verriegelungsschraube wird mit dem Längenmessgerät bestimmt. Zur ermittelten Länge müssen 2–4 mm dazugerechnet werden, um sicher zu gehen, dass die Schraubenspitze die Gegenkortikalis durchbohrt.

Bei ausgeprägter Weichteildeckung empfiehlt sich, die Schrauben vor dem Eindrehen mit einem Faden zu armieren, dann können sie schnell wieder aus den Weichteilen geborgen werden, falls man sie bei der Suche des gebohrten Lochs in der Tiefe der Muskulatur verlieren sollte. Gleichzeitig kann die lose Steckverbindung zwischen Schraubenkopf und Schraubenzieher durch Zug am Faden stabil gehalten werden, sodass man beim perkutanen Ertasten des Bohrlochs mit der Schraubenspitze die Schraube nicht verliert und leichter spürt, wenn die Spitze im Bohrloch einrastet.

Aufgebohrter Marknagel

Es gibt verschiedene Modelle unterschiedlicher Hersteller. Allen gemeinsam ist das Prinzip, dass durch Aufbohren des Markraums die Strecke, auf der sich der Nagel fest im Markraum verklemmen kann, verlängert wird.

Lagerung und Zugangsweg entsprechen dem im Abschnitt »Unaufgebohrter Femurnagel« beschriebenen Vorgehen. Der Markraum wird ebenfalls in Verlängerung seiner Flucht etwas posterior und lateral in der Fossa piriformis mit dem Pfriem eröffnet. Anschließend wird ein Führungsdraht mit Olive in den Markraum

vorgeschoben und der Bruchbereich unter Bildwandlerkontrolle passiert.

Nun wird der Markraum mit einer flexiblen Bohrwelle schrittweise erweitert. Die Olive an der Spitze des Drahts verhindert die Aufbohrung über dessen Ende hinaus. Ein Gewebeschutzblech schirmt die Weichteile vor der rotierenden Bohrwelle ab. Der Markraum wird zunächst mit dem kleinsten Bohrkopf erweitert. Der Bohrkopf hat einen Durchmesser von 8 mm und ist starr mit einer flexiblen Welle verbunden. Der nächstgrößere ist nicht mehr starr mit der Welle verbunden; er hat einen Durchmesser von 9 mm und kann gegen in 0,5-mm-Schritten aufsteigende Größen ausgewechselt werden, bis es im diaphysären Bereich zum Kontakt mit der Kortikalis kommt.

Nach Platzierung des Führungsdrahts wird die Länge des benötigten Nagels bestimmt. Dies kann mit Hilfe eines zweiten Führungsdrahts erfolgen, an dem die Strecke des ersten, die im Markraum versenkt ist, ermittelt wird. Alternativ kann auch ein Lineal verwendet werden, das unter Bildwandlereinsatz so über dem Femur positioniert wird, dass die Strecke zwischen Trochanterspitze und ehemaliger distaler Wachstumsfuge gemessen werden kann. Aber auch anhand von präoperativ angefertigten Röntgenbildern der unverletzten Seite lässt sich die Länge bestimmen.

Bevor nun das ausgewählte Implantat eingeschlagen werden kann, muss der Bohrdorn mit Olive gegen einen 4 mm starken Führungsdraht ohne Olive ausgetauscht werden. Damit aber die erreichte Reposition nicht verloren geht, wird über den Bohrdorn ein Kunststoffrohr geschoben. Dann erst werden die Führungsdrähte gegeneinander ausgetauscht. Anschließend wird der Marknagel eingeschlagen und proximal und distal freihand oder mit dem Winkelgetriebe verriegelt.

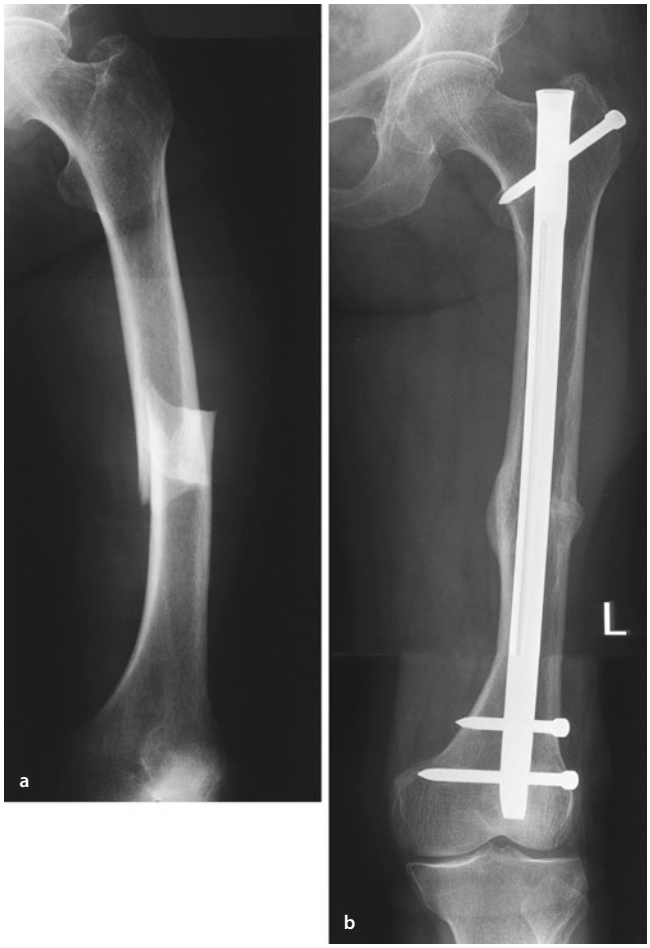
Je nach Art und Lokalisation der Fraktur oder Pseudarthrose ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Verklemmung möglich. Bei Brüchen oder Falschgelenken, die sich gut abstützen und in Schaftmitte liegen, erreicht man etwa 5 cm diaphysären Kontakt proximal und distal ohne zu große Schäden durch das Aufbohren anzurichten. Bei weiter peripher liegenden Frakturen wird die Stabilität im kürzeren Fragment durch die Verriegelung und nicht über die diaphysäre Verklemmung bewirkt. Proximal der Fraktur wird um 1,0 mm weiter aufgebohrt als der gewählte Nageldurchmesser beträgt, damit das Implantat leichter in den Markraum eingeschlagen werden kann.

Als Nachteile der Methode gelten die **Gefahr der Verdrängung thrombogenetischen Materials** aus der Markhöhle in die venöse Strombahn während des Aufbohrvorgangs und die Minderung der Durchblutung des angrenzenden kortikalen Knochens. Neben der Gefahr der Embolie wird die Rate der Infektionen erhöht und die Bruchheilung verlängert (Wenda et al. 1990).

Dennoch gibt es gute **Indikationen** für den aufgebohrten Marknagel:

Bei alten Patienten, die auf dem Boden einer Osteoporose einen deutlich erweiterten Markraum aufweisen, kann ein entsprechend dickerer Nagel bedeutend mehr Primärstabilität bringen und deshalb geeigneter für die Versorgung einer Schaftfraktur sein. Außerdem fällt bei diesen Patienten der Nachteil der Durchblutungsstörung durch das Aufbohren weg, weil bei ausgeprägter Osteoporose die enostale Durchblutung ohnehin stark vermindert oder bereits ganz aufgehoben ist (◘ Abb. 9.65).

Hypertrophe Pseudarthrosen im Schaftbereich sind Ausdruck einer instabilen Osteosynthese und lassen sich häufig durch Aufbohren und Stabilisierung mit einem entsprechend dickeren Nagel ausheilen. Das vermehrte Aufbohren und Einbringen eines dickeren Nagels verlängert letztlich die Strecke der diaphysären Verklemmung oberhalb und unterhalb der Pseudarthrose und vermittelt auf diesem Weg mehr Stabilität und Ruhe, die für die Durchbauung notwendig sind. Außerdem fördert das Bohrmehl, das beim Aufbohren in den Bereich des Falschgelenks gewissermaßen einmassiert wird, die Verknöcherung.



◘ **Abb. 9.65a,b** 80-jährige Patientin mit Femurschaftbruch bei osteoporotisch erweitertem Markraum. **a** Unfallbild. **b** 10 Monate nach Versorgung mit einem aufgebohrten Verriegelungsnagel war der Bruch knöchern fest verheilt

Neuere Studien zeigen, dass der Schweregrad der pulmonalen Verletzung und die Qualität der Erstversorgung mehr Einfluss auf die Lungenfunktion haben als die Technik der Frakturversorgung selbst. Vorteile der aufgebohrten Nagelung bestehen in der höheren Stabilität und der lokalen Spongiosaplastik. So wurde in einer randomisierten multizentrischen Studie nachgewiesen, dass bei unaufgebohrter Technik die Zeit der knöchernen Durchbauung verlängert und die Pseudarthrosenrate erhöht war (Canadian Orthopaedic Trauma Society 2003). Deshalb bestünde, laut Lögters et al. (2009), zunehmend ein Konsens darüber, dass das schonende Aufbohren des Markraums für die Frakturheilung förderlich ist.

2-Etagenfrakturen

Femurschaftfrakturen jüngerer Patienten sind meistens Folge von Hochenergietraumen und deshalb in bis zu 9% der Fälle von einer ipsilateralen hüftgelenknahen Femurfraktur begleitet. Die Stabi-

Abb. 9.66a–g 16-jähriger Patient mit Zwei-Etagenfraktur. **a–c** Unfallbilder. **d,e** Die Blutung aus der A. profunda femoris wurde durch coiling interventionell gestillt. **f,g** Die mit einem AFN stabilisierten Frakturen waren nach 6 Monaten konsolidiert. (Aus: Schmal et al. 2008)

lisierung solcher Zwei-Etagenfrakturen ist anspruchsvoll. Für die Versorgung der Schenkelhals- oder pertrochanteren Fraktur ist ein Implantat mit Gleitmechanismus und gleichzeitiger Stabilisierung des Kollum-Diaphysen-Winkels ideal und für die Schaftfraktur der Marknagel. Noch in den 1990er Jahren galt deshalb die Lehrmeinung, dass die beiden Frakturkomponenten mit 2 verschiedenen Implantaten versorgt werden sollten. Dies fand Bhandari (2003) in einer Metaanalyse von Studien, die vor 1997 zu diesem Thema veröffentlicht worden waren.

Mittlerweile findet sich die Kombination der Behandlungsprinzipien heute bei den langen Femurnägeln der verschiedenen Hersteller mit integrierter Hüfttragschraube oder -klinge mit und ohne Antirotationskomponente in einem Implantat verwirklicht, sodass die Verwendung von 2 verschiedenen Systemen, z.B. die Schenkelhalsverschraubung mit einer Plattenosteosynthese nur noch bei zweizeitiger Versorgung eine Rolle spielt. Die Vorteile der Verwendung eines singulären Implantats ergeben sich aus der minimal-invasiven Technik, der besseren Lastverteilung auf das gesamte Femur und durch die Zeitersparnis bei der Versorgung.

In verschiedenen Arbeiten zu dieser Verletzungskombination wird auf Schwierigkeiten bei der Diagnostik der weniger auffälligen Fraktur meist des Schenkelhalses hingewiesen, die in 10–30% der Fälle erst verzögert erkannt und behandelt wurden. Schmal und Mitarbeiter (2008) haben dagegen alle diese Fälle primär erkannt und führen dies auf den diagnostischen Algorithmus zurück im Rahmen dessen alle schwerverletzten Patienten ein Ganzkörper-CT erhalten. Dadurch werden auch wenig dislozierte Frakturen bei eingeschränkter klinischer Beurteilbarkeit durch Analgosedierung nicht mehr übersehen (Abb. 9.66).

Fixateur externe

Indikationen

Indikationen sind:

- Höhergradig offene Frakturen (Typ IIIc nach Gustillo und Anderson, ▶ Kap. 14 Weichteilverletzungen und Infektionen)
- Polytraumen
- Kompartment-Syndrom
- Frakturen bei Kindern
- Infektionen

Insbesondere Patienten mit begleitender thorakaler Verletzung sind initial durch eine Markfettausschwemmung gefährdet, wie sie bei jeder Marknagelung in mehr oder weniger großem Umfang auftritt (Abschnitt Aufgebohrter Marknagel). Deshalb sollen polytraumatisierte Patienten oder solche mit alleiniger thorakaler Begleitverletzung erst nach erfolgter Stabilisierung der kardiopulmonalen Situation mit einem Marknagel versorgt werden. Allerdings sind Patienten mit nicht stabilisierter Femurfraktur durch Fettembolie, Thrombose und Schmerz gefährdet. Die Fraktur muss deshalb rasch mit einer Methode ruhiggestellt werden, die den Patienten möglichst wenig belastet. Das gilt auch für Patienten mit drohendem oder manifestem Kompartment-Syndrom (▶ Abschnitt 9.7.2).

Das ideale Verfahren dafür ist der Fixateur externe. Mit Hilfe dieser Vorrichtung können alle denkbaren geschlossenen oder offenen Bruchformen einschließlich der Mehretagen- oder Kettenfrakturen durch beliebig anzuordnende Konstruktionen temporär versorgt werden, ohne dass dem Patienten lange Narkosezeiten, ein nennenswerter Blutverlust und zusätzliche Gewebetraumatisierung zugemutet werden müssen. Die pflegerische und ggf. intensivmedizinische Weiterbehandlung wird erleichtert.

Wenn die Gesamtsituation des Patienten wieder stabil ist, wird ein Verfahrenswechsel meist auf einen Verriegelungsnagel vorgenommen. Dieser soll möglichst innerhalb der ersten 5–8 Tage nach Fixateuranlage (Wirbel u. Mutschler 1999), spätestens jedoch innerhalb von 2 Wochen eingebracht werden. Es gibt eine Reihe von Untersuchungen, die für dieses Zeitintervall noch keine erhöhte Gefahr der Verschleppung pathogener Keime in den Markraum auf dem Boden von Pin-tract-Infektionen nachweisen konnten (Lögters et al. 2009).

Operationstechnik

Bei einer geplanten temporären Versorgung werden pro Hauptfragment 2, bei einer definitiven 3 Pins verwendet. Dabei kommt es darauf an, die beiden Pins möglichst weit voneinander zu platzieren, um günstige Hebelverhältnisse zu schaffen. Eine der beiden Schanz-Schrauben wird möglichst frakturnah, die andere möglichst frakturfern eingebracht. Dabei kann man proximal den Schenkelhals und distal das Kondylenmassiv als Verankerungsorte mit großen Knochenvolumina einbeziehen. Die Montage erfolgt in der Regel von lateral durch den Tractus iliotibialis.

Der Tractus sollte im distalen Schaftbereich am Durchtrittsort der Pins soweit nach kranial geschlitzt werden, dass eine Kniebeugung bis 90° möglich wird.

Die Verbindung mit einem einfachen langen Rohr ist nur bei exakt reponierter Fraktur möglich. Am Femur kann die Reposition der Fraktur insbesondere bei muskelkräftigen Patienten sehr mühsam sein, sodass eine Rohr-zu-Rohr-Montage die schnellste und technisch einfachste Lösung darstellt. Die Verbindung zwischen den beiden Hauptfragmenten erfolgt am besten mit 2 Stangen. Eine Stange allein kann die erheblichen Kräfte und Hebel, die am Femur wirken, nicht auf Dauer zuverlässig neutralisieren (◘ Abb. 9.67).

Bei der Montage und Reposition sollte, wenn es der Zustand des Patienten erlaubt, akribisch reponiert werden, damit die Fraktur so gut steht, dass sie zur Not auch im Fixateur ausbehandelt werden kann.

Eine exakte Reposition vereinfacht zudem den späteren Verfahrenswechsel, denn wenn erst einmal über einige Wochen eine Verkürzung bestanden hat, kann es sehr schwer werden, diese wieder auszugleichen. Und bei protrahierten Verläufen kann es sogar vorkommen, dass überhaupt kein Verfahrenswechsel möglich wird. Bei polytraumatisierten Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma kommt häufig eine massive Kallusbildung unter Einbeziehung der umgebenden Muskulatur in Gang (▶ Kap. 17, Komplikationen), in dessen Rahmen Frakturen langer Röhrenknochen oft innerhalb weniger Wochen definitiv stabil werden, sodass sich ein Verfahrenswechsel erübrigt. Dann ist es von großem Vorteil, wenn bereits primär ein gutes Repositionsergebnis erreicht wurde.

Plattenosteosynthese

Grundlagen

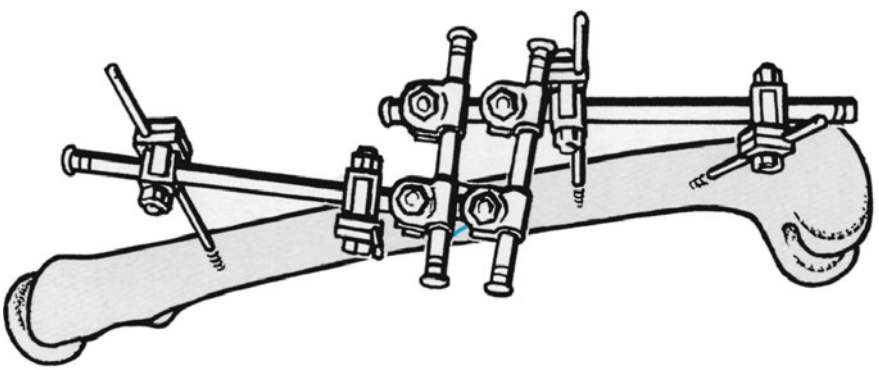
Die stabile Plattenosteosynthese am Femur wurde zwar von den oben genannten Verfahren weitgehend verdrängt. Dafür spielt die elastische oder Überbrückungsosteosynthese eine immer größere Rolle. Für die primäre Frakturheilung braucht man ja eine absolute Stabilität, für die sekundäre dagegen nur eine relative. Bei der primären Frakturheilung sieht man keine Kallusbildung, bei der sekundären kommt es jedoch zur Bildung von Brückenkallus. Der Deformationsbereich einer Platte vergrößert sich, je weiter die Schrauben vom unmittelbaren Frakturbereich entfernt eingesetzt werden. Damit jeweils das eine oder andere Prinzip funktionieren kann, sollte man sich dieser Unterschiede bewusst sein und die Prinzipien der stabilen und elastischen Plattenosteosynthese nicht miteinander mischen. In der Regel macht nur die Verwendung des einen oder des anderen Verfahrens Sinn. Und in bestimmten Fällen sind die verschiedenen Techniken der Plattenosteosynthese Methode der Wahl (s. unten). Folgende Konstruktionsprinzipien stehen zur Verfügung:

- Konventionelle Plattenosteosynthese
- Überbrückungsplattenosteosynthese
- Verbundosteosynthese

Die Handwerkstechniken, auf die es bei diesen verschiedenen Arten von Plattenosteosynthesen ankommt, sind detailliert im ▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk, dargestellt. Deshalb wird an dieser Stelle dieses wichtige Thema nur kurz skizziert.

Konventionelle Plattenosteosynthesen. Sie werden an der Zuggurtungsseite des Femurs angelegt, also lateral, wo das Femur unter Zuglast steht. Die Patienten werden auf dem Rücken oder der unverletzten Seite gelagert, der Zugang erfolgt von lateral (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Dann wird die Fraktur entwickelt, ohne dabei die Fragmentenden unnötig zu deperiostieren. Für eine exakte Reposition genügt es, die Enden der Hauptfragmente ganz sparsam freizulegen, sodass jeweils nur ein etwa 1–2 mm breiter, periostfreier Rand entsteht. Bei Trümmerbrüchen wird darauf verzichtet, da die Fraktur ohnehin nicht anatomisch gestellt, sondern lediglich Länge, Achse und Rotation rekonstruiert werden können.

Entscheidend für eine primäre Heilung ist u.a., dass der Bruchbereich ausreichend ruhiggestellt ist. Dies wird am besten durch



◘ **Abb. 9.67** Prinzip der Rohr-zu-Rohr-Montage des unilateralen Fixateur externe am Femur. Um die Stabilität des Systems zu erhöhen, werden 2 kurze Verbindungsstäbe verwendet. (Aus: Müller et al. 1992)

die Kompression der Frakturzone erreicht. Die Kompression wird durch exzentrisches Bohren der Schraubenlöcher erreicht. Das Problem der konventionellen Plattenosteosynthese besteht im Druck der Platte auf ihr Lager, denn die Stabilität der Osteosynthese wird durch Haftreibung erzeugt. Der erhöhte Druck führt zur Minderdurchblutung unter der Platte. Wenn die Plattenunterfläche auf der gesamten Fläche vollen Kontakt mit dem Periost hat, werden 63% des hier befindlichen Knochens nekrotisch bzw. sklerotisch (Abb. 22.84). Bei unterschnittenen Platten ist dieses Areal deutlich verringert.

Da am Femur – dem größten menschlichen Röhrenknochen – erhebliche Kräfte wirken, werden breite 4,5er Platten verwendet und pro Hauptfragment 8 kortikale Verankerungspunkte benötigt. In schrägen Bruchflächen oder Defektzonen fasst eine Schraube häufig nicht beide Kortikales, sondern nur eine Seite. Dann sind mehr als 4 Schrauben nötig, um die geforderte Mindestzahl kortikaler Verankerungspunkte zu erreichen. Da die Mindestlänge der LC-DCP 8 Schraubenlöcher beträgt, muss im Zweifelsfall eine entsprechend längere Platte gewählt werden.

Das Prinzip der interfragmentären Kompression wird bei Quer- und Schrägbrüchen durch eine oder 2 interfragmentäre Zugschrauben unterstützt. Bei langen Schräg- oder Spiralbrüchen kommen evtl. sogar mehrere dieser Zugschrauben zum Einsatz (Abb. 22.85).

Die Platte wird im Frakturbereich vorgebogen, damit sich der Anpressdruck auch auf die Gegenkortikalis überträgt (Abb. 22.86). Falls bereits durch Zugschrauben eine maximale Kompression im Bruchflächenbereich erzielt werden konnte, wird die Platte neutral montiert. Die Schraubenlöcher werden dann nicht exzentrisch versetzt, sondern neutral vorgebohrt, damit die erreichte Reposition an den schrägen Bruchflächen nicht durch Scherkräfte gestört wird. Die Platte dient dann nicht mehr dazu, die Kompression im Bruchspalt zu mehren, sondern ausschließlich dazu, die Fraktur langstreckig zu schienen.

Überbrückungsplattenosteosynthese. Bei Trümmerbrüchen können die beschriebenen Konstruktionsprinzipien der Plattenosteosynthese nicht umgesetzt werden, weil die Abstützung der beiden Hauptfragmente zueinander fehlt. In solchen Fällen wird das Implantat als innerer Fixateur verwendet. Man spricht bei dieser Überbrückungsplattenosteosynthese auch vom Plattenfixateur, wenn winkelstabile Systeme verwendet werden. Die gewebeschonende Technik, die auf die Biologie der Knochenbruchheilung Rücksicht nimmt, hat sich aufgrund der guten Ergebnisse, die damit erzielt werden können, schnell durchgesetzt.

Die knöcherne Heilung wird hauptsächlich dadurch erreicht, dass die Trümmerzone so weit wie möglich in ihrem Weichteilverbund belassen bleibt. Die Fraktur wird lediglich durch Zug am Bein hinsichtlich Länge, Achse und Rotation geschlossen reponiert und anschließend mit einer eingeschobenen langen Platte stabilisiert. Die Platte wird über einen kurzen 5 cm langen Zugang von distal eingebracht. Die Zugangsebene bleibt dieselbe, wie sie für den lateralen Zugang zum Femur im ▶ Kap. 21, Standardzugänge, beschrieben ist. Etwa an der Stelle, an der später das proximale Plattenende zu liegen kommt, wird ein zweiter 5 cm langer Zugang geschaffen. Haut, Subkutis und Tractus iliotibialis werden inzidiert, die Muskulatur in Faserrichtung stumpf auseinander gedrängt und ventral und dorsal des Femurs je einen Hohmann-Hebel gesetzt. Anschließend kann man die Platte epiperiostal unter dem M. vastus lateralis auf dem Septum intermusculare von distal her in dieses

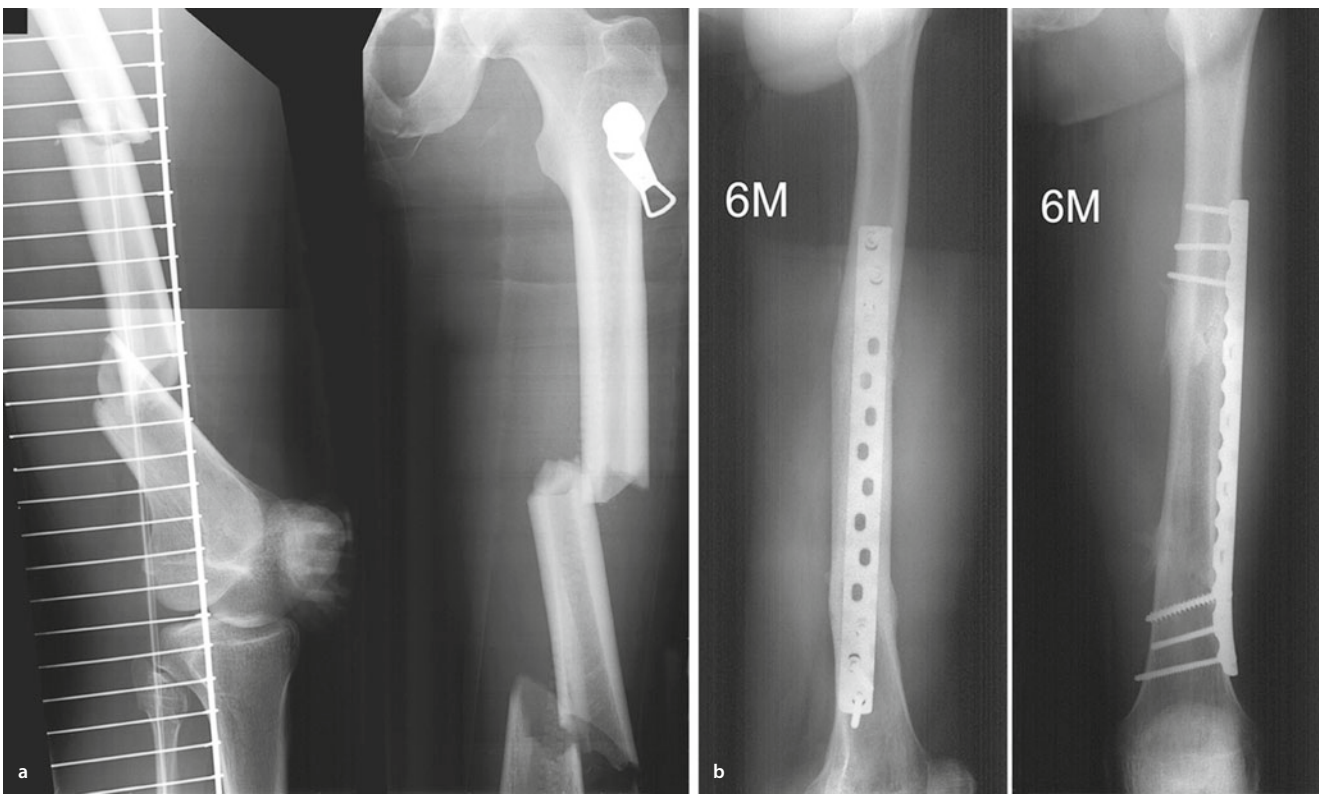


Abb. 9.68a,b Femurschafttrümmerfraktur eines polytraumatisierten Patienten. **a** Unfallbilder. **b** Ausheilungsergebnis 6 Monate nach elastischer Plattenosteosynthese. (Mit freundlicher Genehmigung von K. M. Stürmer, Göttingen)

proximale Zugangsfenster schieben. Die Trümmerzone wird auf diese Weise überbrückt, ohne dass sie eröffnet wird. Die frakturfernen Schraubenlöcher werden über Stichinzisionen perkutan mit Schrauben besetzt.

Dies ermöglicht Mikrobewegungen im Bereich der Fraktur und ein Schwingen der Platte; beides fördert die Kallusbildung. Insgesamt eignet sich dieses Verfahren bei Frakturen im Schaftbereich, bei denen es im Hinblick auf die Stellung nur auf die Achse, Rotation und richtige Länge ankommt. Bei Gelenkfrakturen ist dagegen eine anatomische Reposition notwendig. Hier ist das Verfahren der Wahl die stabile Plattenosteosynthese (Stürmer 2003) und mittlerweile die winkelstabile Plattenosteosynthese.

Seit 1994 setzt Stürmer am Schaft überhaupt keine Zugschrauben mehr ein, sondern montiert in dieser Region nur noch elastische überbrückende, im Frakturbereich gedeckte Plattenosteosynthesen. Dazu gehört, dass die Schrauben von der Frakturzone weit genug entfernt gesetzt werden, damit sich die Relativbewegungen möglichst langstreckig verteilen und nicht im Frakturbereich konzentrieren, denn dies würde zu einem punktuellen Stress im Bereich der Platte und letztlich zum Ermüdungsbruch des Implantats führen (Abb. 9.68).

Der Abstand der frakturnahen Schrauben soll bei der Überbrückungsosteosynthese etwas größer sein als der Durchmesser des Knochenquerschnitts an der jeweiligen Stelle beträgt. Bei kurzen Trümmerzonen ist dies besonders wichtig, damit man eine ausreichend lange Schwingstrecke für das Implantat bekommt. Bei langen Trümmerzonen kann man dagegen unmittelbar frakturnah ansetzen, weil ohnehin eine lange Überbrückung und somit auch eine lange Schwingzone besteht (Muhr 2003).

Verbundosteosynthese

Bei Frakturen mit osteolytischem Substanzdefekt kann eine Verbundosteosynthese indiziert sein. Abhängig von der Lokalisation einer Osteolyse wird der Zugang so gewählt, dass sie möglichst von lateral ausgeräumt werden kann. Dann werden Achse, Länge und Rotation korrigiert, eine ausreichend dimensionierte Platte an den Femurschaft angelegt und vorläufig mit 2 Verbrugge-Zangen fixiert. Da es sich um einen Palliativeingriff handelt und nicht zu erwarten ist, dass die Fraktur im weiteren Verlauf konsolidiert, sondern die Stabilität auf Dauer allein durch das Implantat vermittelt wird, muss die Platte in beiden Hauptfragmenten möglichst langstreckig verankert und die Defektzone mit Knochenzement überbrückt werden, damit sich die beiden Hauptfragmente abstützen können (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk).

Indikationsspektrum der Plattenosteosynthese

In folgenden, in der Übersicht genannten Fällen kann eine Plattenosteosynthese indiziert sein.

Indikationen für eine Plattenosteosynthese

- Höhergradig offene Frakturen
- Offene Wachstumsfugen
- Distale Schaftfrakturen
- Polytrauma
- Frakturen in der Gravidität
- Pathologische Frakturen
- Periprothetische Frakturen

Höhergradig offene Frakturen

Bei ausgedehnten Weichteilschäden, die ohnehin eine Intervention im Frakturbereich erforderlich machen, sodass die Vorteile eines geschlossenen Vorgehens nicht mehr zum Tragen kommen, kann eine Plattenosteosynthese das geeignetste Verfahren sein. Begleitende Gefäßverletzungen müssen notfallmäßig rekonstruiert werden. Dann bietet sich aus Gründen der Zeitersparnis, der optimalen Lagerungsmöglichkeit und der Notwendigkeit eines offenen Vorgehens die Plattenosteosynthese an.

Offene Wachstumsfugen

Bei offenen Wachstumsfugen im Kindes- und Jugendlichenalter ist das Verfahren der Wahl zwar die Markraumschienung mittels elastischer Titanstifte (▶ Kap. 12, Frakturen im Kindesalter). Da dieses Verfahren jedoch nur eine eingeschränkte Primärstabilität vermittelt, ist es für kleine Kinder besser geeignet als für größere. Bei Jugendlichen, die schon relativ lange Röhrenknochen bei noch offenen Fugen haben, kann dies zum Problem werden. Die Patienten haben oft wochenlang deutliche Beschwerden und sind anhaltend immobilisiert. Dies ist nicht nur bezüglich der erhöhten Thrombosegefahr nachteilig, sondern natürlich auch im Hinblick auf den muskulären und konditionellen Abbau. Hier erscheint die Plattenosteosynthese als eine mögliche Alternative, die Patienten schneller schmerzarm und mobil zu bekommen. Allerdings besteht der Nachteil in einer höheren Gewebetraumatisierung und Narbenbildung. Man muss deshalb in jedem Einzelfall neu entscheiden und in Absprache mit den Betroffenen und deren Erziehungsberechtigten Vor- und Nachteile abwägen.

Distale Schaftfrakturen

Bei Frakturen im distalen Fünftel des Femurs bietet sich neben der retrograden Marknagelung die Plattenosteosynthese an. Der Halt im kurzen gelenknahen Hauptfragment kann durch Einsatz einer Winkelplatte erhöht werden. Da die Winkelplatte jedoch nur in der Hand dessen, der mit diesem Implantat ausreichend Erfahrung sammeln konnte, gute Ergebnisse bringt, empfiehlt sich der Einsatz der Dynamischen Kondylenschraube (DCS). Dieses Implantat ist technisch wesentlich einfacher zu handhaben. Zwischenzeitlich ist dieses Implantat jedoch von den winkelstabilen Plattenfixateuren, die unter Einsatz eines Zielbügels minimal-invasiv eingebracht werden können, weitgehend verdrängt worden (▶ Abschnitt 9.3.2, Trochantere Frakturen, und 9.5, Distale Frakturen).

Polytrauma

Der polytraumatisierte Patient benötigt in der anfänglichen kritischen Phase eine möglichst schonende und wenig zeitaufwändige Versorgung. Da er durch Fetteinschwemmung und Mediatorenausschüttung bedroht wird, solange die Fraktur nicht stabilisiert ist, wird eine möglichst frühzeitige Fixierung angestrebt. Implantat der Wahl für diese Indikation ist der Fixateur externe, weil die Fraktur damit am schnellsten und schonendsten vorübergehend stabilisiert werden kann (s. oben Fixateur externe). Deshalb stellt die Plattenosteosynthese nur ein Ausweichverfahren dar und kommt nur dann zum Einsatz, wenn der Fixateur externe aus irgendeinem Grund einmal nicht verfügbar sein sollte oder, wie oben erwähnt, Begleitverletzungen ein offenes Vorgehen ohnehin indizieren.

Frakturen in der Gravidität

Insbesondere im ersten Trimenon ist die Frucht sehr strahlensensibel. Die Versorgung mit einem Marknagel ist jedoch

nicht selten mit einer erheblichen Strahlenexposition verbunden. Tischanteile und Implantate verursachen Streustrahlung, die den Fetus gefährden. Hier ist die Plattenosteosynthese eine ideale Alternative, weil das Femur unter Sicht ohne Einsatz von Röntgenstrahlung definitiv stabilisiert werden kann, ohne auf die Vorteile einer frühfunktionellen Nachbehandlung, die ja gerade für die thrombosegefährdete Schwangere von großem Vorteil ist, verzichten zu müssen.

Pathologische Frakturen

Pathologische Frakturen können auf dem Boden einer Osteoporose oder eines tumorösen Geschehens entstehen. Sie nehmen zahlenmäßig zu, weil die durchschnittliche Lebenserwartung und auch die Überlebenszeit bei Karzinomen im Zuge des medizinischen Fortschritts steigen.

Osteoporotische Schaftfrakturen werden am besten mit aufgebohrten Marknägeln versorgt, da die Markraumweite bei ausgeprägter Osteoporose erheblich sein kann und die unaufgebohrten dünnen soliden Nägel in den osteoporotisch geschwächten Röhrenknochen zu wenig Halt vermitteln würden. Wenn aber Frakturen bei weiten Markräumen im Grenzbereich der Diaphyse liegen, ist die Plattenosteosynthese eine gute Alternative.

Eine der Prädilektionsstellen für Metastasenwachstum ist das proximale Femur. Dies korreliert mit einer erhöhten Durchblutung in diesem mechanisch stark beanspruchten Bereich. Bei Frakturen mit osteolytischem Substanzdefekt ist eine Verbundosteosynthese indiziert (s. oben). Bei drohenden Frakturen ist ein prophylaktisches operatives Vorgehen angezeigt, wenn eines der folgenden Kriterien gegeben ist:

- therapieresistenter Schmerz,
- Belastungsunfähigkeit,
- drohende Fraktur.

Die Verbundosteosynthese kann mit einer Platte oder aber einem Marknagel durchgeführt werden. Bei proximalem Sitz der Metastase kann die Endoprothese das geeignetere Verfahren sein. Im diaphysären Bereich kommen bei ausgedehnter Osteolyse neben Knochenzement als Platzhalter auch Spenderknochen oder Metallkörper infrage. Da der Tumor in der Regel nur intraläsional oder bestenfalls marginal ausgeräumt werden kann, ist immer eine adjuvante Strahlentherapie angezeigt (Wirbel u. Mutschler 1999).

Periprothetische Frakturen

Auch für diese Indikation besteht die Möglichkeit der Plattenosteosynthese (▶ Abschnitt 9.6, Periprothetische Frakturen).

9.4.3 Nachbehandlung, Komplikationen und Prognose

Nachbehandlung

Postoperativ werden die üblichen abschwellenden Maßnahmen u.a. mit Hochlagerung des Beins eingesetzt. Je nach erreichter Stabilität wird eine Mobilisierung mit mehr oder weniger Belastung angestrebt. Grundsätzlich sollte unabhängig von der Art der gewählten Osteosynthese eine Teilbelastung mit 15 kg, die in etwa dem Eigengewicht des Beins entspricht, möglich sein. Laut Brumback et al. (1999) können aber Femurschaftfrakturen, die mit einem Marknagel stabil versorgt wurden und deren proximales und distales Hauptfragment jeweils mit 2 Verriegelungsschrauben gefasste wurde, ungeachtet des Bruchtyps bereits unmittelbar nach Versorgung im Rahmen der Schmerzgrenzen teil- bis vollbelastet werden.

Bei stabilen Brüchen mit guter Abstützung ist nach erfolgter Markraumschienung mit primär dynamischer Verriegelung auch eine höhere Belastung bis hin zur Vollbelastung möglich. Bei Brüchen mit schlechter Abstützung und statischer Verriegelung wird das verletzte Bein während der ersten 6–12 Wochen nicht über sein Eigengewicht hinaus belastet. Wann die Belastung gesteigert werden darf, wird in jedem Einzelfall individuell anhand der Röntgenverlaufskontrollen entschieden, die das Ausmaß der Kallusbildung erkennen lassen. Dasselbe gilt für Plattenosteosynthesen.

Die Implantatentfernung nach Marknagelosteosynthese erfolgt nach 1–2 Jahren, allerdings nur dann, wenn das Implantat irgendwelche Beschwerden verursacht. Bei biologisch älteren Patienten können die Implantate ohnehin belassen bleiben. Plattenosteosynthesen brauchen, wenn sie offen angelegt wurden, meistens längere Heilungszeiten. Deshalb sollte, bevor eine Platte entfernt wird, genau nachgeschaut werden, ob der Frakturspalt auch komplett durchbaut ist, denn Ausheilungszeiten von 2 Jahren und länger sind keine Seltenheit.

Komplikationen

Mögliche Komplikationen sind Nachblutung, Infektion, verbliebene Fehlstellung, Achsen- oder Drehfehler, Thrombose, Embolie, Korrekturverlust, verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung und Implantatversagen. Die Komplikationsraten von Marknagelung und Plattenosteosynthese sind anhand einiger exemplarisch ausgewählter Arbeiten zu diesem Thema in ◘ Tab. 9.8 und ◘ Tab. 9.9 zusammengestellt.

Nachblutung und Infektion

Bei massiven Hämatomen ist eine operative Ausräumung und Drainage erforderlich, um einer späteren Infektion vorzubeugen und den Heilungsprozess zu beschleunigen. Bei Weichteilinfektionen sollte die Wundhöhle möglichst rasch débridiert und alles nekrotische Gewebe radikal exzidiert werden. Der Einsatz der gepulsten Lavage mit großen Mengen an Spüllösung kann hilfreich sein. Die Gewebe werden blank gespült, dadurch kann deren Durchblutung wesentlich besser beurteilt werden. Minderdurchblutete Areale werden débridiert. Festsitzende Implantate brauchen bei frühzeitigem Eingreifen nicht zwingend entfernt zu werden. 48–72 h später schließt sich eine geplante Second-look-Operation an, um sicherzugehen, dass sich das Geschehen beruhigt hat und um frühzeitig neu aufgetretene oder bei der Erstrevision übersehene Gewebenekrosen oder Hämatome ausräumen zu können.

Fehlstellungen

Ein großes Problem sind nach wie vor die Drehfehler, deren Inzidenz in der Literatur mit bis zu 28% aller operierten Fälle angegeben wird (Jaarsma u. van Kampen 2004). Dabei sind insbesondere die Innendrehfehler mit klinisch relevanten Beschwerden assoziiert und stellen eine präarthrotische Deformität dar. Verbliebene Drehfehler sollten deshalb frühzeitig, bevor eine Konsolidierung eintritt, korrigiert werden. Der dafür notwendige Aufwand ist oft gar nicht besonders hoch. Sie lassen sich durch Lösen und Neuanlage der Verriegelung beseitigen. Bei unklarem Befund hilft eine computertomografische Rotationsanalyse weiter. Dabei wird die Stellung des Schenkelhalses gegenüber der Kondylenebene im Seitenvergleich bewertet.

Varus- oder Valgus- bzw. Ante- oder Rekurvationsfehlstellungen sind wesentlich schwieriger zu beseitigen. Sie treten ins-

Tab. 9.8 Komplikationsraten des unaufgebohrten Femurnagels und der Plattenosteosynthese bei Femurschaftfrakturen

Implantat	Komplikationen	Rate (%)	Literatur
Femurnagel (UFN)	Schenkelhalsfraktur	5,1	Krettek et al. 1994
	Erweiterung der Fraktur	7,7	
	Bolzenverbiegung	2,6	
	Dislokation der Fraktur	2,6	
	Bolzenbruch	5,1	
	Nagelbruch	2,6	
	Infekt	2,6	
	Rotationsfehler >10°	5,1	
	Beinverkürzung oder -verlängerung >20 mm	7,7	
	Verzögerte Bruchheilung oder Pseudarthrose	0	
Plattenosteosynthese	Plattenbruch	3,7–7,5	Riedl et al. 1993; Wagner u. Weckbach 1994
	Plattenausriss	3,5–3,7	
	Infektion	2,5–3,7	
	Verzögerte Bruchheilung	3,0–5,6	
	Pseudarthrose	4,5	
	Fehlstellung	0,9–2,5	
	Refraktur	3,7	
	Beinlängendifferenz	5,0	

Tab. 9.9 Früh- und Spätkomplikationen des unaufgebohrten Femurnagels und der Plattenosteosynthese bei Femurschaftfrakturen (Literaturübersicht von Lötgers et al. 2009)

Komplikation	Rate (%)
Frühkomplikationen	
Lagerungsschaden N. pudendus	5–9
Lagerungsschaden N. ischiadicus	1–2
Kompartment-Syndrom	1–2
Frühinfekt	3–4
Tiefe Beinvenenthrombose	1–10
Lungenembolie bei Monoverletzung	2–4
Lungenembolie bei Polytrauma	8–11
Spätkomplikationen	
Implantatversagen Nagel	3–4
Implantatversagen Platte	10
Achsfehlstellung	bis 28
Pseudarthrose Nagel	1–5
Pseudarthrose Platte	10–15
Heterotope Ossifikationen am Nageleintritt	bis 25

besondere bei peripher gelegenen Frakturen und grenzwertiger Indikation zur Marknagelosteosynthese auf, z.B. im subtrochanterem oder distalen Femurabschnitt. Sie sind meist nur durch einen Verfahrenswechsel korrigierbar. Beispielsweise kann der Wechsel von einem unaufgebohrten Verriegelungsnagel auf einen proximalen Femurnagel oder eine DCS notwendig werden.

Verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung

Bei verzögerter Frakturheilung ist eine Spongiosaplastik indiziert. Je nach Größe des Defekts geht man dabei perkutan oder offen vor. Wenn es gilt, durch Einbringen vitaler Knochenzellen die Frakturheilung zu beschleunigen, bietet sich das perkutane Vorgehen an. Die Durchblutung im Frakturbereich wird dadurch nicht beeinträchtigt. Die perkutane Entnahme von Spongiosazellen mit einem Metallsauger ist in ▶ Kap. 21, Standardzugänge, beschrieben. Die gewonnenen Zellen werden unter Bildwandlersicht über eine dicke Kanüle am gewünschten Ort instilliert.

Hypertrophe Pseudarthrosen im Schaftbereich sind Ausdruck einer instabilen Osteosynthese und lassen sich häufig durch Aufbohren und Schienung mit einem dickeren Nagel ausheilen, denn durch die Verlängerung der diaphysären Verklemmung entsteht mehr Stabilität, und beim Aufbohren gelangt Bohrmehl in den Pseudarthrosenbereich.

Implantatversagen

Implantatversagen treten immer wieder nach Plattenosteosynthesen auf, kommen aber auch nach Verriegelungsnagelung vor. Gebrochene Platten müssen entfernt und die noch nicht stabil verheilte Fraktur neu osteosynthetisch versorgt werden. Dabei wird in

der Regel ein Verfahrenswechsel auf einen Verriegelungsnagel, evtl. kombiniert mit einer Spongiosaplastik, gewählt. Gebrochene Nägel werden entfernt und durch neue, evtl. dickere und aufgebohrte Nägel ersetzt, ggf. mit gleichzeitiger Spongiosaplastik.

Prognose

Die Prognose, dass Femurschaftfrakturen zeitgerecht innerhalb von 3–4 Monaten ausheilen, ist mit >90% sehr gut. Eine erhöhte Rate an Achsenfehlstellungen, Pseudarthrosen oder Implantatversagen droht nur bei Trümmerbrüchen oder weit peripher gelegenen Frakturen. Während, wie bereits erwähnt, hypertrophe Pseudarthrosen durch Aufbohren und Einsetzen eines dickeren Nagels zur Ausheilung gebracht werden können, bedürfen atrophe Pseudarthrosen neben einer geeigneten Stabilisierung in jedem Fall der zusätzlichen Anlagerung autologer Spongiosa. Hartnäckige Infekte sind u.U. nur mit einem Segmenttransport zu beherrschen.

9.5 Distale Femurfrakturen

9.5.1 Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Während beim osteoporotisch geschwächten Knochen des älteren Menschen schon eine geringere Gewalteinwirkung ausreicht, bedarf es beim jungen Patienten erheblicher Kräfte, um das distale Femur brechen zu lassen. Beim alten Menschen sind meist bloße Stürze Unfallursache, beim jungen dagegen Armaturenbrettanprall und Zweiradunfälle.

Beim Anprall des gebeugten Knies gegen einen festen Widerstand wird die Kniescheibe wie ein Keil zwischen die Kondylen getrieben und spaltet sie in der Ebene des kondylären Gleitlagers. Bei gestrecktem Knie schlägt der Tibiakopf gegen die Oberschenkelrollen und es entstehen Abscherfrakturen. Wenn größere Gewalt einwirkt, ist auch der Weichteilmantel stärker in Mitleidenschaft gezogen. Dies spielt insbesondere bei Zweiradunfällen eine Rolle, bei denen häufig höhergradig offene Frakturen entstehen.

Nur in einem Fünftel der Fälle liegt die distale Femurfraktur als isolierte Verletzung vor; ein Drittel der jüngeren Patienten sind polytraumatisiert; die übrigen Patienten haben Begleitverletzungen. Fast die Hälfte der intraartikulären Frakturen sind offen (Kinzl 2000).

Klinik

Neben den üblichen Zeichen, wie Schwellung, Schmerz sowie Bewegungs- und Belastungsunfähigkeit, fällt ein intraartikulärer Erguss, verbunden mit einer deutlichen Instabilität, auf. Außerdem sind in 3% der Fälle die vaskulären Strukturen der Kniekehle verletzt und in 1% nervale, weshalb man die periphere Sensibilität, Motorik und Durchblutung akribisch prüfen und das Untersuchungsergebnis exakt dokumentieren sollte. In rund 10% der Fälle liegen begleitende Verletzungen der Menisken oder osteochondrale Frakturen vor (Kinzl 2000).

Diagnostik

Der klinischen Untersuchung schließt sich die radiologische Diagnostik an. Das distale Femur mit Kniegelenk wird in 2 Ebenen geröntgt. CT- oder MRT-Bilder sind zur Abklärung unklarer Frakturverläufe oder intraartikulärer Begleitverletzungen sehr hilfreich.

Der Unfallhergang sollte entweder eigen- oder fremdanamnestisch erfragt werden, um mögliche Begleitverletzungen nicht zu übersehen. Beim Armaturenbrettanprall können z.B. auch eine hintere Kreuzbandruptur, eine Zwei-Etagenfraktur des Femurs oder eine Acetabulumfraktur vorliegen und bei einer stattgehabten axialen Krafteinwirkung eine Kalkaneusfraktur, Beckenringverletzung oder Wirbelbrüche. Die Bandstabilität des Kniegelenks lässt sich erst beurteilen, wenn das distale Femur osteosynthestisch versorgt ist. Deshalb kann dies erst intraoperativ geprüft werden.

Bei unklarem Gefäßstatus hilft eine Dopplersonografie weiter. Bei fehlenden Pulsen muss insbesondere bei alten Patienten differenzialdiagnostisch auch eine etwaige arterielle Verschlusskrankheit in Erwägung gezogen werden. Bei manifester Gefäßverletzung wird unverzüglich die Fraktur reponiert und stabilisiert, um anschließend die Rekonstruktion des Gefäßes vornehmen zu können. Eine präoperative Angiografie kann nur dann durchgeführt werden, wenn dies ohne zeitlichen Verzug organisierbar ist. Anderenfalls würde man die Dauer der Ischämie ohne adäquaten Nutzen verlängern. Viele Verschlüsse sind allein Folge einer Knickung durch Fragmentdruck oder Verkürzung bzw. Fehlstellung eines Bruchs. Sie sind durch eine regelrechte Reposition einfach zu beheben. Falls nach erfolgter Reposition immer noch keine Fußpulse tastbar sein sollten, ist ohnehin die unmittelbare Revision des Gefäßes indiziert. Wenn die apparativen Möglichkeiten vorhanden sind, ist eine intraoperative Angiografie nach erfolgter Reposition und Osteosynthese optimal, weil im Anschluss daran das Gefäß unverzüglich versorgt werden kann (▶ Kap. 13, Gefäßverletzungen).

Klassifikation

Die Klassifikation der Frakturen unterscheidet zwischen den in der Übersicht aufgeführten Typen.

Klassifikation der distalen Femurfarkturen

Typ A: Extraartikuläre Fraktur:
- A1 einfache, extraartikuläre Fraktur,
- A2 mit metaphysärem Keil,
- A3 metaphysär mehrfach.

Typ B: Partiell artikuläre Fraktur:
- B1 sagittale Fraktur des Condylus lateralis,
- B2 sagittale Fraktur des Condylus medialis,
- B3 frontale Fraktur.

Typ C: Vollständig artikuläre Fraktur:
- C1 artikulär und metaphysär einfach,
- C2 artikulär einfach, metaphysär mehrfach
- C3 artikulär mehrfach.

9.5.2 Therapie

Da wie überall am Bein die korrekte Länge, Achse und Rotation für die spätere uneingeschränkte Belastung von großer Bedeutung und eine langwierige Immobilisierung in einer ruhigstellenden Schiene mit erheblichen Risiken wie Thromboembolie, Dystrophie, Einsteifung des Kniegelenks und Lagerungsschaden verbunden ist, bleibt die konservative Behandlung wenigen Ausnahmefällen vorbehalten. Solche Ausnahmen können bei er-

höhtem Narkoserisiko einerseits und relativ guter Bruchstellung andererseits gegeben sein.

Das Bein wird dann zunächst in einem gespaltenen und nach Abschwellung in einem geschlossenen Oberschenkelliegegips, der später gegen einen Tutor ausgetauscht werden kann, ruhiggestellt. Die Ruhigstellung erfolgt in 15°- bis 20°-Kniebeugung. Nach Anlage des Gips- oder rigiden Kunststoffverbandes wird die Stellung der Fraktur radiologisch kontrolliert. Eine begleitende Thromboembolieprophylaxe mit niedermolekularem Heparin und isometrischen Übungen ist von größter Bedeutung. Die Ruhigstellung soll nach Möglichkeit nicht länger als 6–8 Wochen dauern, damit das Kniegelenk nicht zu sehr einsteift. Außerdem gefährdet eine anhaltende Ruhigstellung die Knorpelernährung aufgrund des fehlenden Walkeffekts.

Wann immer aber eine Anästhesie möglich erscheint und der Patient in so gutem Zustand ist, dass er von einer frühfunktionellen Therapie profitiert, wird eine operative Stabilisierung angestrebt.

Operationsvorbereitung

Nicht nur begleitende Gefäßverletzungen zwingen zum sofortigen Handeln, sondern auch die häufigen begleitenden Weichteilschäden. Offene Wundflächen sind ein idealer Nährboden für Keime, die bei einem verzögerten operativen Vorgehen das Infektionsrisiko erheblich steigern würden. Falls ein Polytrauma vorliegt, gelten dieselben Richtlinien wie bei den Femurschaftfrakturen, weil auch hier die Gefährdung durch Fett- und Mediatoreneinschwemmung besteht.

Nur bei blanden Hautverhältnissen und wenig ausgeprägter Weichteilschwellung ist ein frühelektives Vorgehen gerechtfertigt. Das verletzte Bein muss präoperativ auf jeden Fall in einer dorsalen Gipsschiene stabil gelagert werden. Die dorsal angelegte Schiene ermöglicht, den Frakturbereich gezielt zu kühlen, was einen analgetischen und abschwellenden Effekt hat.

Folgende Verfahren stehen zur Verfügung:

- Plattenosteosynthese
- Retrograde Verriegelungsnagelung
- Osteosynthese mit einzelnen Schrauben
- Fixateur externe

Plattenosteosynthese

Für die Frakturen des Typ A und C eignet sich die Plattenosteosynthese. Es stehen mehrere verschiedene Verfahren zur Auswahl:

- Winkelstabile Platten (Femur-LISS)
- Dynamische Kondylenschraube (DCS)
- Kondylenplatte

Femur-LISS

Seit den 1990er Jahren gibt es einen winkelstabilen internen Plattenfixateur, das so genannte Less Invasive Stabilization System (LISS). Die Schrauben des LISS werden über Zielhilfen perkutan eingebracht. Sie sind selbstbohrend und selbstschneidend. Die Winkelstabilität wird durch Gewinde an den Schraubenköpfen erreicht, mit Hilfe derer sie sich in den Plattenlöchern verankern lassen (Abb. 9.69, Babst et al. 2001, Schandelmeier et al. 2000).

Indiziert ist das System bei metaphysären Frakturen, intraartikulär ausmündenden Frakturen und bei periprothetischen Frakturen. Durch die Möglichkeit, viele Schrauben im gelenktragenden Fragment zu platzieren, lässt sich eine sehr hohe Primärstabilität erzielen. Das ist auch bei Osteoporose von Vorteil oder bei periprothetischen Frakturen, wo das Platzangebot beschränkt ist. Dies führt zu einer beschleunigten Frakturheilung im Vergleich zu herkömmlichen Platten, die bei gelenknahen Frakturen aufgrund des kurzen Hebelarms häufig zu wenig Stabilität vermitteln können (Schmeling et al. 2001).

Am besten ist es, bei abgeklapptem Unterschenkel zu operieren, weil dadurch der Zug des M. gastrocnemius reduziert wird und sich das distale Hauptfragment besser einstellt. Das andere Bein wird auf einer Schale hochgelegt oder, wenn es mitverletzt ist, so weit tiefer gelagert, dass das verletzte Bein seitlich geröntgt werden kann.

Wenn das gelenktragende distale Femur in mehrere Teile zerbrochen ist, lässt es sich nicht geschlossen reponieren. Dann braucht man einen Zugang, mit dem man sich einen guten Überblick verschaffen kann, wie es beim Zugang zur Knieprothetik der Fall ist (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Man eröffnet das Gelenk parapatellar von der Streckseite her, luxiert die Patella nach lateral, reponiert die Fraktur schrittweise und fixiert das Repositionsergebnis durch 3,5er Kortikalisschrauben, die im spongiösen Knochen bei langstreckigem Verlauf hervorragenden Halt finden, z.B. am Becken oder den Enden langer Röhrenknochen. Diese dünnen Implantate zu verwenden ist viel günstiger als Großfragmentschrauben, weil für den späteren Einsatz der winkelstabilen Schrauben der LISS-Platte, deren Richtung ja vorgegeben ist, mehr Platz bleibt.

Wenn der Gelenkblock rekonstruiert ist, wird über dem seitlichen Aspekt der lateralen Kondyle ein etwa 10 cm langer Zugang in Verlängerung der Femurschaftachse geschaffen und der Tractus iliotibialis längs gespalten bis zum Ansatz des Traktus am Tuberculum gerdii, damit anschließend das breite Ende der LISS-Platte unter den Traktus geschoben und dieser später darüber wieder verschlossen werden kann. Wenn man die Platte vorfixiert, muss man darauf achten, dass die Ränder des Tractus iliotibialis nicht versehentlich unter dem Implantat fixiert werden, denn nach erfolgter Osteosynthese kann es sehr mühsam sein, einen eingeklemmten Traktusrand zu befreien. Aus diesem Grund sollte man auch eine praktikable Mindestlänge des Zugangs nicht unterschreiten.

Man sucht sich aus den vorhandenen 3 verschiedenen Längen eine geeignete Platte aus. Die Plattenlänge muss so gewählt werden, dass wenigstens 5 monokortikale Schrauben im proximalen Hauptfragment zu liegen kommen (Abb. 9.70) oder 3 bikortikale, wobei die Schrauben im ausreichenden Abstand von der Fraktur zu liegen kommen müssen. Bei Osteoporose sollten grundsätzlich möglichst viele Schrauben eingebracht werden. Bei guter Knochenqualität ist es hingegen entscheidend, dass die Platte im Bruchbereich ausreichend schwingen kann, damit einerseits das Implantat nicht bricht und andererseits genug Beweglichkeit für eine Kallusmassage gegeben ist. Das bedeutet für die Praxis, dass der Abstand der jeweils frakturnächst gelegenen Schraube mindestens die Strecke des Knochenquerdurchmessers der topografischen Region betragen sollte. Auch dies spricht für den Einsatz bikortikaler Schrauben, weil man die geforderten 6 Kortikales, die es bei deren Verwendung zu erfassen gilt, frakturferner einsetzen kann, als die geforderten 5 Kortikales bei Verwendung monokortikaler.

Die geeignete Platte wird am Zielbügel montiert. Dann sondiert man den Raum zwischen Periost und Muskulatur digital und präformiert den Weg für das Implantat nach proximal. Zunächst legt man das Implantat am Weichteilmantel auf, um eine Vorstellung davon zu bekommen, in welcher Höhe das proximale Plattenende liegen wird. Auf dem Niveau des 3. Plattenlochs von proximal schafft man einen weiteren Zugang in Längsrichtung der Femurachse. Der Zugang ist etwa 5 cm lang, damit anschließend, ohne die Weichteile zu quetschen, ein kurzes Stück des proximalen Hauptfragments dargestellt werden kann und der Traktus beim Wundverschluss stabil vernäht werden kann. Über diesen Zugang

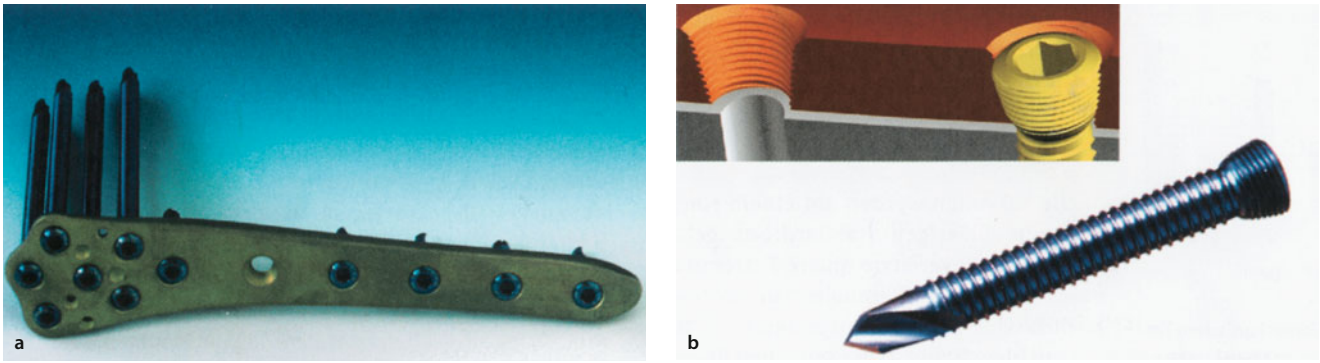


Abb. 9.69a,b Femur-LISS-System. **a** Platte mit Schrauben. **b** Schematische Darstellung der winkelstabilen Verbindung zwischen Schraubenkopf und Plattenloch durch ein ineinander greifendes Gewinde, selbstbohrende und selbstschneidende LISS-Schraube. (Aus: Schandelmaier et al. 2000)

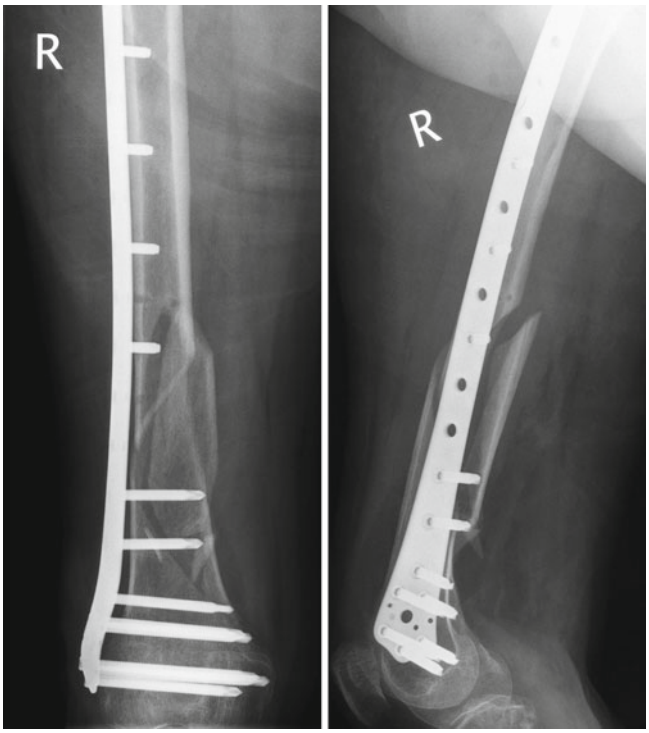


Abb. 9.70 Postoperative Röntgenbilder einer mit LISS versorgten distalen Mehrfragmentfraktur des Femurs einer 70-jährigen Frau

wird nach Spaltung des Traktus der Femurschaft mit 2 Hohmann-Hebeln umfahren und exponiert.

Dann wird die am Zielbügel befestigte LISS-Platte mit ihrer Spitze in den distalen Zugang eingeschoben und unter dem M. vastus lateralis auf der lateralen Femurkortikalis und der Membrana interossea nach proximal zwischen den beiden Hohmann-Hebeln hindurch vorgeschoben. Durch Zug am proximalen Unterschenkel durch den Assistenten wird die Verkürzung im Frakturbereich ausgeglichen. Dann wird das Knie geröntgt und die korrekte Position für das distale Plattenende ermittelt und mit einem K-Draht markiert. Anschließend wird in das proximale Plattenende über eine spezielle Zielhülse ein K-Draht eingebracht und die Platte damit in der korrekten Höhe vorfixiert. Nun richtet man den Plattenschenkel an der Flucht des proximalen Femurschafts in beiden Bildwandlerebenen aus und fixiert diesen mit 2 oder 3 Schrauben. Mono- oder bikortikale Schrauben stehen dafür zur Verfügung. Bei schlechter Knochenqualität oder schlechter Reposition empfiehlt sich auf jeden Fall eine bikortikale Verankerung, denn bei alleiniger monokortikaler Verankerung besteht bei geschwächter Knochenqualität die Gefahr des Plattenausrisses.

Häufig liegt die LISS-Platte proximal an ihrer Spitze gut an der lateralen Femurkortikalius an, wird aber durch einen Ad-latus-Versatz des Gelenkblocks nach lateral weiter distal zunehmend vom Femur abgedrängt. Der Ad-latus-Versatz rührt vom Zug der Adduktoren am proximalen Hauptfragment her. Die Platte steht dann in Frakturnähe zu weit vom proximalen Hauptfragment ab. Dieser Versatz lässt sich durch den gezielten Einsatz einer Schanz-Schraube leicht beseitigen. Man bohrt die selbstbohrende und selbstschneidende Schanz-Schraube über den Zielbügel durch eine Trokarhülse perkutan durch ein frakturnahes Plattenloch ins proximale Hauptfragment und verankert ihr Gewinde im Knochen. Dann wird die Bohrmaschine abgenommen und eine Rendelschraube auf die Schanz-Schraube gedreht. Die Rendelschraube wird bis auf die Trokarhülse geschraubt. Wenn man nun, abgestützt an der Trokarhülse, die Rendelschraube weiter zudreht, zieht sie die Schanz-Schraube in der Hülse nach außen und damit das Femur an die Platte heran. Auf diese Weise kann man die Fraktur in der Frontalebene ausrichten. Bevor man die Schanz-Schraube in das Femur bohrt, muss man die Lagebeziehung zwischen Platte und Femur in der seitlichen Ebene prüfen, weil man sie nicht mehr verändern kann, wenn die Schanz-Schraube liegt.

Aus demselben Grund muss der Operateur, noch bevor er die erste Schraube setzt, darauf achten, dass die Plattenneigung in der Sagittalebene möglichst parallel zum äußeren Aspekts des lateralen Femurkondylus verläuft, damit das Implantat in diesem Bereich nicht zu weit vom Knochen absteht. Das relativ breitflächige kondyläre Plattenende würde in verkippter Stellung noch mehr gegen den Traktus drücken, als es ohnehin schon der Fall ist. Der Traktus wird ja beim Wundverschluss über der Platte vernäht. Wenn die Platte zu sehr aufträgt, kann dies den Patienten bei der späteren Kniebeugung stark beeinträchtigen.

Die Schrauben werden perkutan über Zielhülsen eingebracht. Dafür wird an der gewünschten Stelle mit der Zielhülse ein Abdruck auf der Haut geschaffen, dann die Haut an dieser Stelle auf eine kurze Strecke von etwa 1,5 cm inzidiert und die Faszie in der Tiefe mit der Präparierschere so weit eröffnet, dass man anschließend die Zielhülse mit einem innen liegenden Trokar bis zum

Plattenloch vorschieben kann. In dieser Position wird die Zielhülse mit einer Feststellschraube arretiert, der Trokar entnommen und eine Zielhülse für den Bohrer eingeschoben. Der Bohrer trägt für den Einsatz bikortikaler Schrauben eine Skalierung, die eine Längenmessung ermöglicht. Die Länge wird vor der Perforation der Gegenkortikalis abgelesen, erst danach durchbohrt man die Gegenkortikalis. Nach Entfernung der innen liegenden Bohrhülse wird die Schraube eingedreht und mit einem Drehmomentschlüssel festgezogen.

Bei der Korrektur der häufig vorhandenen und durch den Zug des M. gastrocnemius bedingten Retroversionsfehlstellung des distalen Hauptfragments kann ein »Joystick« wertvolle Dienste leisten. Dazu wird eine Schanz-Schraube über den zuvor geschaffenen streckseitigen Zugang oder perkutan von ventral außerhalb der Gelenkfläche in den Gelenkblock eingebracht und anschließend durch Hebeln an der Schraube die Retroversion korrigiert.

Beim Einstellen der Beinachse muss man sich vergegenwärtigen, dass die Gelenkspaltebene zwar lotrecht zur mechanischen Beinachse (Mikulicz-Linie) liegt, aber 5–7° verkippt zur anatomischen Femurachse ist (▶ Kap. 18, Extremitätendeformitäten). Die korrekte Einstellung der Beinachse kann man gut mit der **Kabelmethode** unter Bildwandler prüfen.

Diese Methode ist eine einfache Möglichkeit, die Einstellung der Beinachse intraoperativ zu beurteilen. Sie lässt sich am besten anwenden, wenn auf eine Blutsperre verzichtet wird, und das Bein so gewaschen und abgedeckt wird, dass es bis zur Leiste frei bleibt. Die mechanische Beinachse zieht vom Zentrum des Hüftkopfs zu dem des Talus. Unter physiologischen Bedingungen verläuft diese Linie durchschnittlich 4 mm (±2 mm) medial des Zentrums des Kniegelenks. Die anatomische und die mechanische Femurachse stehen in einem Winkel von 6° (±1 mm) zueinander. Man legt das unter Bildwandler gut sichtbare Kabel des Elektrokauters im a.p.-Strahlengang zunächst auf das Hüftgelenk und richtet es auf das Zentrum des Hüftgelenks aus. Diese Position zeichnet man sich mit einem Hautmarkierungsstift an. Genauso verfährt man anschließend am Sprunggelenk. Durch Anspannen des Kabels zwischen den beiden Gelenkzentren projiziert man die mechanische Beinachse auf das Kniegelenk und hat intraoperativ eine gute Möglichkeit die Position des Kniegelenks zu dieser Achse optimal einzustellen.

Es kann sehr schwierig sein, die LISS-Platte nach Reposition der Fraktur am Schaft korrekt auszurichten, wenn die Platte zunächst am Gelenkblock montiert wurde. Viel einfacher ist es, umgekehrt zu verfahren. Die Platte soll zunächst am Schaft ausgerichtet und fixiert werden. Die anatomisch geformte Platte gibt dann als Verlängerung des Schaftfragments die richtige Achse und Richtung für den Gelenkblock an (Josten 2003), sodass man diesen an die Platte heranreponieren kann. Beim Befestigen des Gelenkblocks muss man darauf achten, dass die Schrauben nirgendwo das kortikale Niveau überragen, weil sie in Gelenknähe durch die hier gegeben großen Gleitwege der Weichteile die Verschiebeschichten irritieren und auf diesem Weg Beschwerden verursachen können.

Beim Wundverschluss wird eine Redondrainage ins Plattenlager gelegt und der Tractus iliotibialis dicht über der Platte vernäht. Genauso wird im Bereich der proximalen Zugangswunde verfahren, während man die perkutanen Inzisionen für die Zielhülsen lediglich mit Hautnähten zu versorgen braucht. Ein etwaiger streckseitiger Zugang am Kniegelenk wird in üblicher Weise versorgt (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Bei schwierigen Bedingungen, z.B. bei besonders muskelkräftigen Patienten, kann es hilfreich sein, das LISS mit einem AO-Distraktor zu kombinieren, der zur Reposition der Fraktur benutzt wird. Babst et al. (2001) haben dieses Vorgehen beschrieben. Der Patient wird mit abgeklapptem, im Kniegelenk um 90° gebeugtem Bein gelagert. Wenn der Gelenkblock steht, wird, wie oben beschrieben, eine LISS-Platte geeigneter Länge von distal unter dem M. vastus lateralis auf der lateralen Femurkortikalis und der Membrana interossea nach proximal eingeschoben. Dann wird durch die LISS-Platte zentral ins Kondylenmassiv eine Schanz-Schraube gedreht und eine zweite perkutan in den proximalen Femurschaft oberhalb des proximalen Endes der LISS-Platte. An den beiden Schanz-Schrauben wird ein AO-Distraktor befestigt und die Fraktur damit bezüglich Achse, Rotation und Länge reponiert. Das Repositionsergebnis wird unter Bildwandler in beiden Ebenen kontrolliert. Verbliebene kleine Fehlstellungen kann man perkutan manipulieren, z.B. wie oben beschrieben mit einer Schanz-Schraube oder unter Einsatz anderer Repositionshilfen wie einem Joystick, Einzinker oder einer perkutan applizierbaren Repositionszange. Anschließend wird die LISS-Platte mit dem Femur verschraubt (◘ Abb. 9.60).

Dynamische Kondylenschraube (DCS)

Dieses bewährte Verfahren ist durch den zunehmenden Einsatz des LISS in den Hintergrund getreten. Prinzipiell eignet es sich aber wie das LISS ebenfalls für Frakturen des Typs A und C nach AO. Die DCS ist im Instrumentarium der Dynamischen Hüftschraube (DHS) integriert. Als Konstruktionsprinzip liegt die winkelstabile Verbindung einer Osteosyntheseplatte mit einer zentralen kondylären Tragschraube zugrunde. Da die Tragschraube in der Plattenlasche gleiten und die seitliche Lage der Platte an der Flucht des Femurs durch einfaches Drehen über die Tragschraube ausgerichtet werden kann, ist ihre Montage weniger anspruchsvoll und komplikationsträchtig als die der Winkelplatte. Außerdem kann das Schraubenloch für die Tragschraube vorgebohrt werden, was ohne große Krafteinwirkung auf ein bereits rekonstruiertes und verschraubtes Kondylenmassiv möglich ist. Bei der Winkelplatte muss dagegen das Plattensetzinstrument in das Massiv eingeschlagen werden. Dabei können zuvor eingebrachte Zugschrauben wieder ausreißen.

Diese Vorteile bedeuten aber nicht, dass die Montage der DCS keine Schwierigkeiten bietet. Der Operateur benötigt eine gute Vorstellung über die Ebenen im distalen Femur, in denen die Kondylentragschraube zu liegen kommen soll und muss die spätere Plattenlage in der Frontalebene sehr gut vorausberechnen, weil anderenfalls leicht Varus- oder Valgusfehlstellungen verursacht werden können.

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Man eröffnet den Situs über einen lateralen Zugang zum distalen Femur (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Das Vorgehen wird erleichtert, wenn das Kniegelenk in 60°-Beugestellung auf einer Rolle gelagert wird. Das ipsilaterale Gesäß sollte ebenfalls unterpolstert sein, damit das Bein in Neutral-Null-Rotation liegen bleibt und nicht dazu tendiert, sich nach außen wegzudrehen. Das spart Haltearbeit.

Wenn die Fraktur intraartikulär ausmündet, muss zunächst die Gelenkfläche stufenfrei reponiert und ein stabiler gelenkflächentragender Block geschaffen werden, der im nächsten Schritt mit dem distalen Hauptfragment vereint wird. Wenn sich die Gelenkfläche unter bloßem Zug am Bein anatomisch einstellt,

wird das Repositionsergebnis mit einer großen spitzen Repositionszange fixiert, indem man je eine Branche im lateralen und medialen Kondylus evtl. über zusätzliche Stichinzisionen einsetzt.

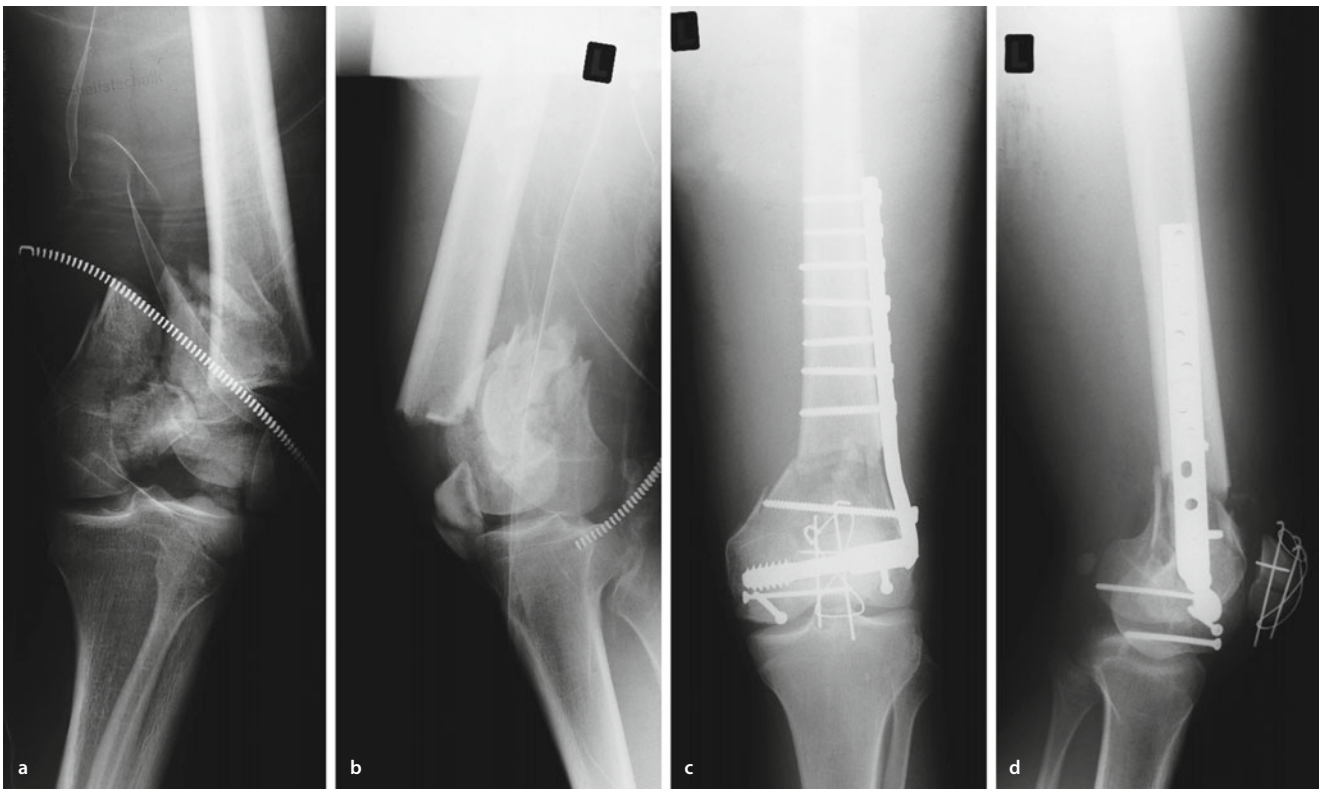
Falls der Zug am Bein nicht ausreicht, muss der Zugang zum Schienbeinkopf hin so weit verlängert werden, dass die Kniescheibe nach medial luxiert werden kann. Dazu muss das laterale Retinakulum gespalten werden. So gewinnt man eine gute Übersicht über die Gelenkfläche, kann etwaige Repositionshindernisse beseitigen und die Fraktur offen stellen. Gelegentlich kann es notwendig sein, auch den medialen Kondylus direkt zu manipulieren, was durch zusätzliches Längsspalten des medialen Retinakulums erreicht wird. In extrem schwierigen Fällen kann sogar der Ansatz der Patellarsehne abgelöst werden, um einen guten Zugang zur Gelenkfläche zu erhalten. Dann sollte man ihn aber möglichst en bloc mit einer stabilen Kortikalisschale abmeißeln, um dieselbe beim Wundverschluss mit 2 Kleinfragmentschrauben stabil refixieren zu können.

Wenn die Gelenkfläche in mehrere Fragmente zerborsten ist, wird sie mit 2 oder 3 Interfragmentärschrauben fixiert. Dafür eignen sich z.B. 6,5er-Spongiosaschrauben oder noch etwas dickere kanülierte Schrauben mit mittellangem Gewinde – je nach Knochenqualität mit und ohne Unterlegscheiben. Oder es werden 4,0-Kleinfragment-Spongiosaschrauben verwendet, die insbesondere im festen Knochen jugendlicher Patienten hervorragenden Halt vermitteln und weniger Platz belegen, denn die Schrauben müssen so eingebracht werden, dass sie mit der Lage der DCS nicht interferieren.

Die Lage der Platte in der Frontalebene wird von der Position der Kondylenschraube bestimmt, denn die Platte wird nach Einbringen der Schraube über ihr Gleitloch aufgesetzt. Dies ergibt eine winkelstabile Verbindung. Dabei muss bedacht werden, dass der physiologische Winkel zwischen Femurachse und mechanischer Achse einen Valgusknick zwischen 5° und 10° aufweist. Das Implantatdesign berücksichtigt dies. Das Gleitloch steht zur Platte in einem 95°-Winkel. Bei normalen Achsenverhältnissen kann daher die Kondylenschraube parallel zum Gelenkspalt eingebracht werden. Als Richtwert ergibt sich ein Valgus der Femurachse von 5°. Falls bei kurzem Femur und ausladendem Becken ein verstärkter Valgus erforderlich ist, muss die Kondylenschraube um die entsprechende Gradzahl verkippt zum Gelenkspalt eingebracht werden (◘ Abb. 9.71)

Bei distalen Femurfrakturen werden die beiden Kondylen durch Zug der beiden Köpfe des M. gastrocnemius in eine typische Fehlstellung mit dorsaler Verkippung gebracht. Darauf muss bei der Reposition geachtet werden. Die Reposition kann durch vermehrte Flexion im Kniegelenk erleichtert werden. Man orientiert sich dabei an der Flucht der antekurvierten ventralen Kortikalis, die suprakondylär, wo sich das Femur verbreitert, in einen diskreten Gegenschwung in den Kondylus ausläuft.

Die Montage beginnt mit dem Legen eines Führungsdrahts, über den anschließend das Schraubenloch für die Kondylenschraube gebohrt wird. Die Schraube soll in der Flucht der Platte zu liegen kommen und diese wiederum in der Flucht des Markraums. Deshalb wird der Schraubeneintrittspunkt in der Verlängerung des Markraums etwa 2 cm von der Gelenkfläche entfernt im lateralen Kondylus gelegt. Die Schraubenrichtung in der Frontalebene soll parallel zur Gelenkfläche, in der seitlichen Ebene parallel zur Neigung des femoropatellären Gleitlagers verlaufen. Diese Ebenen werden unter Bildwandlerkontrolle mit 2 K-Drähten



◘ **Abb. 9.71a–d** C3-Fraktur des distalen Femurs und der Patella bei einem 22-jährigen Motorradfahrer. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Stabilisierung mit einer DCS. Rekonstruktion der Patella durch Resektion einer Trümmerzone und Osteosynthese mittels Zuggurtung

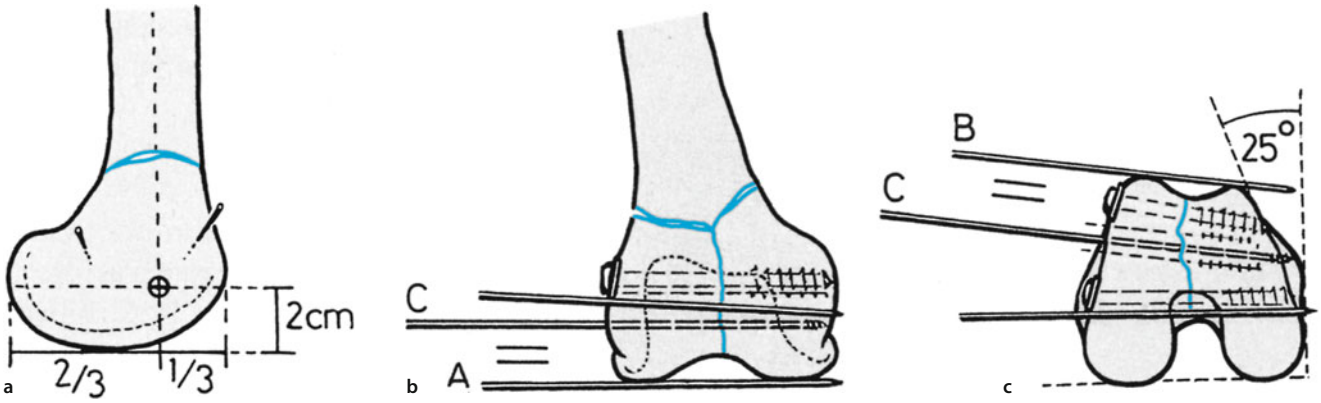


Abb. 9.72a–c Der richtige Eintrittspunkt für den Führungsdraht der DCS ergibt sich aus der Flucht des Markraums und einem Abstand von 2 cm von der Gelenkfläche (**a**). Außerdem wird der Führungsdraht C parallel zu den beiden Hilfsdrähten A und B ausgerichtet (**b,c**). (Aus: Müller et al. 1992)

markiert. Einer wird in den Kniegelenkspalt, der andere auf dem nach dorsomedial geneigten femoropatellären Gleitlager vorgeschoben (Abb. 9.72).

Nun ist die Lage des Führungsdrahts durch den richtigen Eintrittspunkt und die mögliche Orientierung in den verbleibenden Ebenen so weit festgelegt, dass der Draht eingebohrt werden kann. Die Lage des Drahts muss in beiden Röntgenebenen kontrolliert werden. Seine Spitze wird bis zur medialen Kortikalis vorgebohrt, damit die Länge der Schraube ermittelt werden kann. Sie wird 10 mm kürzer gewählt. Dann wird über den Führungsdraht aufgebohrt und die Kondylenschraube eingedreht. Gewindeschneiden muss man nur bei jugendlichen Patienten mit fester Knochenqualität. Wenn die Schraube ausreichend weit eingedreht ist, wird der Handgriff so eingestellt, dass er zur Flucht des Femurs parallel steht. In dieser Position lässt sich die Laschenplatte auf die Schraube schieben.

Wenn die Platte von der Zirkumferenz des lateralen Kondylus absteht, kann mit dem Meißel ein Bett für diesen Plattenanteil geschaffen werden. Das Implantat lässt sich dann formschlüssig an den lateralen Aspekt des Kondylus anschrauben und beeinflusst die Reposition nicht. Auf das Einbringen einer Kompressionsschraube kann bei formschlüssiger Lage verzichtet werden.

Im distalen Plattenanteil stehen 2 runde Schraubenlöcher zur Verfügung, die für 6,5er-Spongiosaschrauben vorgesehen sind. Damit werden eine zusätzliche Kompression intraartikulär ausmündender Frakturen und gleichzeitig eine Rotationssicherung des distalen Hauptfragments in der Sagittalebene erzielt. Proximal wird die Platte wie üblich mit mindestens 4 Schrauben verankert. Falls sich die Fraktur gut abstützt, kann über das Prinzip der dynamischen Kompression durch exzentrisches Vorbohren der Schraubenlöcher oder zusätzliche Interfragmentärschrauben Kompression im Bruchbereich aufgebaut werden.

Bevor die Platte definitiv festgeschraubt wird, wird sie nur provisorisch mit einer Verbrügge-Zange am proximalen Hauptfragment befestigt. Insbesondere dann, wenn die Platte sehr lang ist, kann sie wegen der Antekurvation des Femurs am proximalen Ende ventral überstehen. Darauf muss bereits beim provisorischen Fixieren der Platte geachtet werden. Die korrekte Achse, Länge und Rotation werden eingestellt und eine etwaige metaphysäre Trümmerzone nur hinsichtlich dieser 3 Kriterien durch Zug am Bein ausgerichtet, denn nicht die Position einzelner, extraartikulär gelegener Fragmente ist entscheidend, sondern deren periostaler Verbund, der unbedingt erhalten bleiben soll. Wenn die Trümmerzone sehr ausgedehnt und die Knochenqualität schlecht ist, kann man versuchen, die Bruchheilung zu beschleunigen, indem man die Fraktur bewusst verkürzt einstellt.

Kondylenplatte

Bei einfachen monokondylären Spaltbrüchen des Typs B1 oder B2 und osteoporotischem Knochen vermitteln singuläre Schrauben trotz Unterlegscheibe zu wenig Halt. In diesem Fall kann durch den Einsatz einer 4,5 mm-T-Platte die Auflagefläche vergrößert und durch die zusätzliche Fixierung der Platte am Schaft die Stabilität erhöht werden. Kondyläre Trümmerfrakturen vom Typ C3 lassen sich meist nur durch Einsatz zahlreicher Interfragmentärschrauben rekonstruieren. Dabei müssen die Schrauben häufig nicht nur in der Frontal-, sondern auch in der Sagittalebene eingebracht werden. Auch in solchen Fällen kann die Kondylenabstützplatte hilfreich sein. Bei Defektbrüchen wird die Defektzone von Schrauben mit durchgehendem Gewinde überbrückt. In diesen Fällen wird kein Gleitloch gebohrt.

Retrograde Verriegelungsnagelung

Die retrograde Verriegelungsnagelung eignet sich nicht nur für die streng extraartikulär verlaufenden Typ-A-Frakturen nach AO, sondern auch für C-Frakturen. Voraussetzung dafür ist, dass vor der Nagelung ein stabiler Gelenkblock z.B. mit Kleinfragmentschrauben geschaffen und dabei darauf geachtet wird, dass der Eintrittsweg für den retrograden Nagel frei bleibt. Die für die Nagelinsertion ohnehin notwendige Arthrotomie erlaubt bei intraartikulär ausmündenden Frakturen gleichzeitig die offene Reposition und Schraubenosteosynthese der Gelenkfläche (Wagner et al. 2001). Barthel et al. (2001) sahen unter 56 Fällen keinen einzigen, bei dem sich die Notwendigkeit einer primären oder sekundären Spongiosaplastik ergeben hätte oder eine Gelenkinfektion aufgetreten wäre.

Es gibt mehrere Modelle distaler Femurnägel von unterschiedlichen Herstellern. Der distale Femurnagel (DFN) bietet die Option, das distalste Verriegelungsloch im Marknagel mit einer Spiralklinge zu besetzen, ähnlich der des UFN. Die Klinge hat eine 80% größere Verankerungsfläche im Vergleich zu einem 6,0 mm starken Verriegelungsbolzen (Schandelmaier et al. 2000, Abb. 9.73).

Über eine mediale parapatellare Arthrotomie wird bei 90°-gebeugtem Knie und hängendem Unterschenkel der Eintrittspunkt für den Nagel dargestellt. Dieser liegt im First der interkondylären Notch in Verlängerung der Markhöhle anterior und lateral des

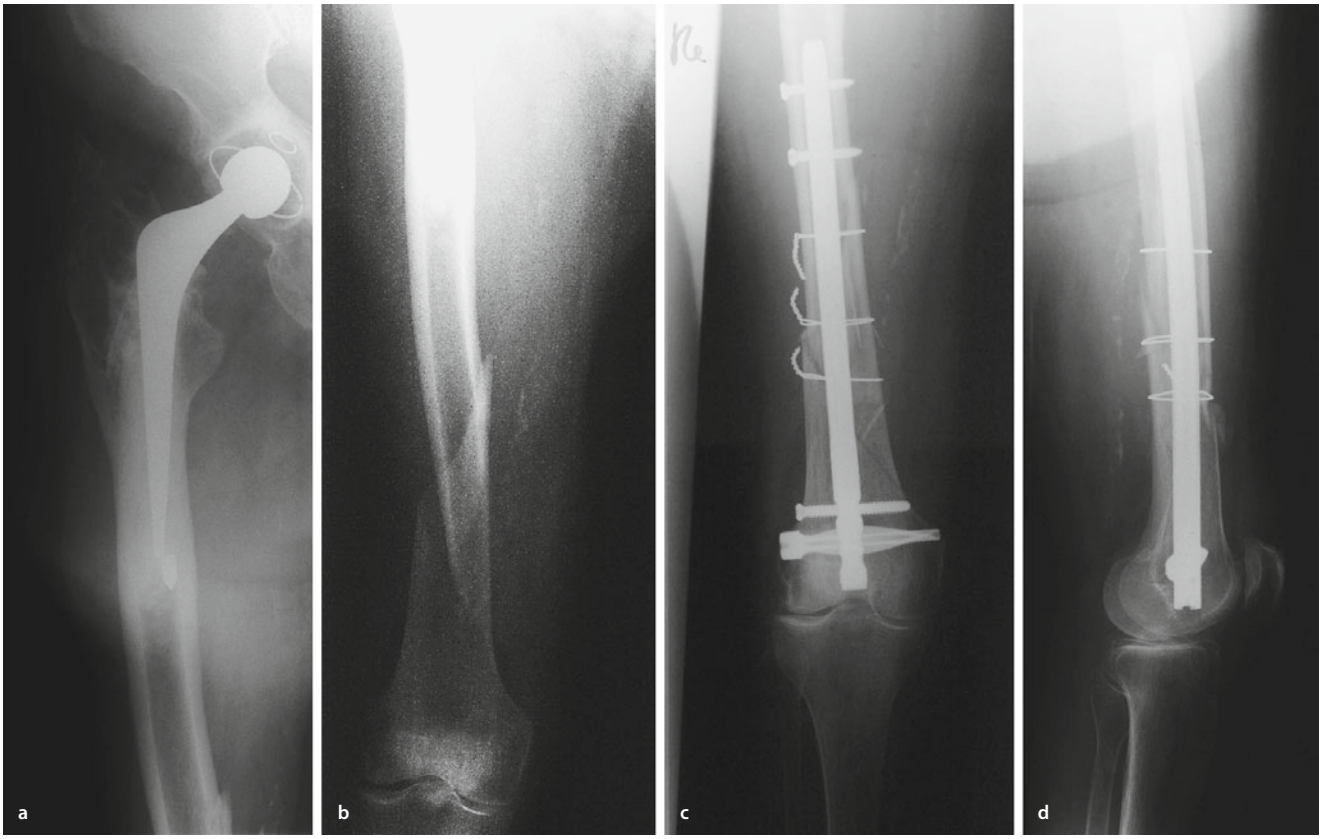


Abb. 9.73a–d 87-jährige Patientin mit distaler Femurfraktur bei liegender Hüft-TEP. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Versorgung mit einem DFN unter Einsatz einer Spiralklinge. Da die Verankerung im proximalen Hauptfragment aufgrund der Hüftendoprothese relativ kurzstreckig ist, wurden zur zusätzlichen Stabilisierung Cerclagen angelegt

Ursprungs des hinteren Kreuzbandes. Der Markraum kann mit einem Pfriem eröffnet werden oder man bringt gleich den 3,2 mm starken Führungsdraht mit der Bohrmaschine ein. Dabei muss die valgische Ausrichtung der Schaftachse berücksichtigt werden. Nun wird über den Führungsdraht mit einem 13,0 mm starken Bohrer ein 30 mm langer Knochentunnel ins kondyläre Massiv gebohrt. Falls der Markraum eng ist, wird er 1 mm weiter aufgebohrt als der vorgesehene Nagel dick ist. Anschließend wird der Bohrdorn gegen einen Führungsstab ausgetauscht und der Nagel mit dem Zielgerät armiert eingeschlagen. Bei der Verriegelung geht man von distal nach proximal vor. Die beiden Hauptfragmente sollen dabei möglichst guten Kontakt miteinander bekommen. Da das Implantat frakturfern eingebracht werden kann, entsteht keinerlei zusätzliche Deperiostierung im Bruchbereich.

Spongiosaplastik

Durch die mittlerweile etablierten weichteilschonenden Verfahrensweisen mit indirekter Reposition und Überbrückung von Trümmerzonen ohne Deperiostierung ist die Notwendigkeit der Spongiosaplastik selten geworden. Wenn allerdings in wenigen Ausnahmen eine Fraktur verzögert heilt, kann eine Spongiosaplastik indiziert sein. Je nach Größe des Defekts geht man dabei perkutan oder offen vor.

Wenn durch Einbringen vitaler Knochenzellen die Frakturheilung beschleunigt werden soll, bietet sich das perkutane Vorgehen an. Die Durchblutung im Frakturbereich wird dadurch nicht beeinträchtigt. Die perkutane Entnahme von Spongiosazellen mit einem Metallsauger ist in ▶ Kap. 19, Standardzugänge, beschrieben. Die gewonnenen Zellen werden unter Bildwandlersicht über eine dicke Kanüle am gewünschten Ort instilliert.

Liegen jedoch größere Defekte vor und fehlt insbesondere medial die Abstützung, ist die Transplantation eines autologen bi- oder trikortikalen Beckenkammspans indiziert. Die Entnahme des Transplantats wird in ▶ Kap. 21, Standardzugänge, beschrieben. Der Span wird über eine kurze Längsinzision in den ventral oder medial gelegenen Defekt eingebracht. Die Kontaktzonen im Transplantatlager müssen sorgfältig angefrischt werden, bis sich allseits punktuelle spongiöse Blutungen zeigen, damit das Transplantat einheilen kann.

Fixateur externe

Bei höhergradigen Weichteilschäden oder polytraumatisierten Patienten kann eine initiale Stabilisierung mittels Fixateur externe indiziert sein. Dabei werden die Pins – wie am Oberschenkel auch – von lateral durch den Tractus iliotibialis als Klammer unilateral montiert. Ist die Montage mit einem Längsrohr nicht möglich, wird eine Rohr-zu-Rohr-Montage angelegt, wobei für die Verbindung zwischen den beiden Einzelklammern statt einer besser zwei Querstangen verwendet werden sollten, weil am Oberschenkel große Hebelkräfte wirken, die zu einer sekundären Dislokation führen können. Deshalb muss darauf geachtet werden, dass an jedem Hauptfragment, soweit möglich, ausreichend große Abstände zwischen den beiden Schanz-Schrauben eingehalten werden, um günstige Hebelverhältnisse zu bekommen.

Im gelenknahen Knochen sollen die Pins auf jeden Fall extraartikulär platziert werden. Anderenfalls könnte sich durch eine

Abb. 9.74 Gelenküberbrückender Fixateur externe bei Tibiakopffraktur

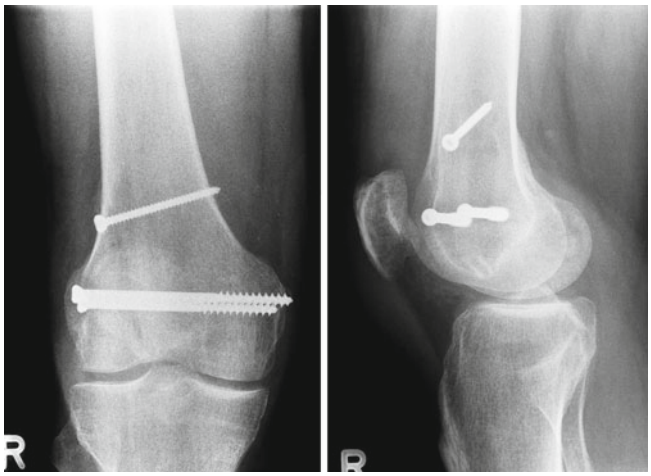


Abb. 9.75 Postoperative Röntgenbilder nach Schraubenosteosynthese einer Abscherfraktur des lateralen Femurkondylus

Pin-tract-Infektion ein Gelenkempyem entwickeln. Falls das distale Hauptfragment nicht ausreichend groß ist, wird die Montage gelenküberbrückend angelegt (Abb. 9.74). Am Unterschenkel können die Schanz-Schrauben auch im medialen Aspekt der Tibia verankert werden. Falls es sich anbietet, sollten die intraartikulären Frakturen in gleicher Sitzung bereits mit einzelnen Klein- oder Großfragmentzugschrauben fixiert werden, sodass ein anatomisch reponierter Gelenkblock vorliegt. Das erleichtert den später anstehenden Verfahrenswechsel und erspart u.U. eine Arthrotomie. Die Schrauben sollten bereits so positioniert werden, dass sie nicht mit der Lage des für den Verfahrenswechsel geplanten Implantats interferieren.

Osteosynthese mit einzelnen Schrauben

Bei partiell artikulären Frakturen des Typs B1 bis B3 ist eine Schraubenosteosynthese indiziert. Für die sagittalen Abscherfrakturen am lateralen (B1) oder medialen Kondylus (B2) eignen sich 6,5er-Spongiosaschrauben mit mittellangem 32-mm-Gewinde. Alternativ kommen auch durchbohrte Schrauben der Stärke 7,0 oder 7,3 infrage, die über einen Zieldraht eingebracht werden können. Bei osteoporotisch geschwächtem Knochen müssen Unterlegscheiben verwendet werden, anderenfalls bekäme man zu wenig Kompression auf den Frakturspalt, weil die konischen Schraubenköpfe in den weichen spongiösen Knochen einsinken würden. Wenn sich die Fraktur geschlossen reponieren lässt, können die Schrauben weichteilschonend perkutan über Stichinzisionen eingebracht werden. Bei geschlossener Reposition sollte die Stellung gleichzeitig arthroskopisch kontrolliert werden. Bei dieser Gelegenheit können begleitende Meniskus- oder Knorpelverletzungen mitbehandelt werden (Abb. 9.75).

Die partiell artikulären Frakturen des Typs B3, die in der Frontalebene verlaufen, werden ebenfalls lediglich interfragmentär verschraubt. Die Reposition ist im Gegensatz zu den sagittalen Brüchen meist nur offen möglich. Da die Schrauben sehr nah der Gelenkfläche eingebracht werden müssen, wählt man für diesen Zweck möglichst schlanke Implantate – Kleinfragmentschrauben. Sie finden und vermitteln im spongiösen Knochen meist erstaunlich guten Halt und haben den Vorteil, dass die viel kleineren Schraubenköpfe in Gelenknähe wesentlich weniger stören als die voluminöseren der Großfragmentschrauben. Die kleinen Schraubenköpfe würden im weichen spongiösen Knochen ohne Unterlegscheiben allerdings unweigerlich einsinken, deshalb kann auf diese nur bei jungen Patienten mit harter Knochenqualität verzichtet werden. Es gibt Bruchverläufe, die es unmöglich machen, eine oder alle Schrauben außerhalb der Gelenkfläche einzubringen. Dann werden die Schraubenköpfe ins subchondrale Niveau versenkt.

9.5.3 Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Bei der Nachbehandlung muss das Augenmerk auf eine adäquate Thromboseprophylaxe gerichtet werden. Wie bei den anderen Verletzungen der unteren Extremität auch, wird unmittelbar postoperativ ein gepolsterter Kompressionsverband angelegt und eine medikamentöse Thromboseprophylaxe durchgeführt, u.U. in erhöhter Dosierung. Wenn die Fraktur stabil versorgt ist, kann das Bein auf einer hohen Schiene gelagert werden. Nur bei begleitender Knieinstabilität ist eine Gipsschiene oder Orthese notwendig. Eine Kryotherapie beeinflusst postoperative Schwellungszustände günstig und wirkt schmerzlindernd.

Die Redons werden in der Regel am 2. postoperativen Tag entfernt. Anschließend wird das distale Femur in 2 Ebenen geröntgt und mit der Mobilisierung begonnen. Nach Schrauben- oder Plattenosteosynthesen ist die Belastung für die ersten 6 Wochen auf 15 kg limitiert. Bei retrograder Nagelung kann im Einzelfall eine höhere Belastung möglich sein, vorausgesetzt die Fraktur stützt sich gut ab.

Entscheidend ist auch eine früh einsetzende Mobilisierung des Kniegelenks, damit die Kapselstrukturen nicht verkleben oder zu sehr schrumpfen. Dafür eignen sich CPM-Motorschienen gut. Allerdings dürfen diese erst dann eingesetzt werden, wenn die Wundränder miteinander stabil verklebt sind, sonst besteht das Risiko von Weichteilinfekten. Im eigenen Vorgehen werden die Motorschienen deshalb in der Regel erst ab dem 8. postoperativen Tag eingesetzt.

Die Belastungssteigerung hängt ab vom Fortschritt der knöchernen Heilung. Bei der 2. radiologischen Routinekontrolle nach 6 Wochen wird darüber entschieden. Nach 12 Wochen wird erneut geröntgt und in der Regel die Vollbelastung erlaubt. Bei ausgedehnten Trümmerzonen kann die Phase der Teilbelastung noch länger dauern.

Das Implantat sollte frühestens nach 1 Jahr entfernt werden, allerdings nur dann, wenn es Beschwerden macht.

Komplikationen und Prognose

Mögliche Komplikationen sind Nachblutung, Infektion, verbliebene Fehlstellung, Achsen- oder Drehfehler, Thrombose, Embolie, Korrekturverlust, verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung und Implantatversagen. Die Komplikationsraten von Marknagelung und Plattenosteosynthese sind anhand einiger exemplarisch

Abb. 9.76 Ausheilung einer Pseudarthrose durch Aufhebung des »Klöppeleffekts« (siehe Text). **a** nach Korrekturosteotomie und Stabilisierung mit einem Retrogradnagel, **b** Einbringen eines transfixierten Retrogradnagels, **c** Ausheilung nach 10 Monaten, **d** Ausheilungsergebnis. (Aus: Biber und Stedtfeld 2007)

ausgewählter Arbeiten zu diesem Thema in Tab. 9.8 und Tab. 9.9 im Abschnitt Femurschaftfrakturen zusammengestellt.

Metaphysäre Pseudarthrosen sind zwar selten, treten aber in 1–3% der Fälle aufgrund von Durchblutungsstörungen, Instabilität oder Fragmentdehiszienz auf. Mutschler (1996) empfahl für solche Fälle die Osteosynthese mit 1 oder 2 Platten ggf. mit Anlagerung von Spongiosa, denn Koval et al. (1995) berichtete über 75% Therapieversager bei Einsatz retrograder Nägel zur Behandlung von Pseudarthrosen des distalen Femurs. Laut Biber und Stedtfeld (2007) liegt das Problem aber in der fehlenden Winkelstabilität der retrograden Nägel. Dadurch kann der Marknagel innerhalb der lichten Weite der Markhöhle pendeln wie ein Klöppel in der Glocke. Dieses Pendeln kann man dadurch eingrenzen, indem man die Verriegelungsschrauben im langen proximalen Hauptfragment möglichst weit von einander entfernt positioniert. Biber und Stedtfeld konnten die Pseudarthrosen von 2 Patienten auf diese Weise mit einem Retrogradnagel (Targon RF, Fa. Aesculap) zur Ausheilung bringen. Sie setzten eine der beiden Verriegelungsschrauben des proximalen Hauptfragments möglichst frakturfern, die andere frakturnah (Abb. 9.76).

Die Prognose distaler Femurfrakturen ist relativ gut. In 70% bleiben keine Bewegungseinschränkungen zurück, jedoch in 10% Beuge- und in über 10% Streckdefizite (Wirbel u. Mutschler 1999). Einschränkungen der Beugung rühren häufig von einem verklebten oberen Recessus. In diesen Fällen ist eine arthroskopische Arthrolyse indiziert. In 20–30% der Fälle entstehen Arthrosen im femoropatellaren oder femorotibialen Gelenk. Dies hängt im Wesentlichen vom primär traumatisch bedingten Knorpelschaden und der Qualität der Rekonstruktion der Gelenkfläche ab. Dagegen korrelieren Geschwindigkeit und Qualität der Frakturheilung direkt mit einer weichteilschonenden Operationstechnik. Retropatellare Schmerzen entstehen durch einen erhöhten Anpressdruck im femoropatellaren Gleitlager. Der erhöhte Anpressdruck hat häufig seine Ursache in narbigen Verkürzungen im Bereich des Zugangs durch das laterale Retinakulum.

9.6 Periprothetische Frakturen

Ätiologie

Periprothetische Frakturen sind keine Seltenheit in einer Zeit, in der die durchschnittliche Lebenserwartung des Menschen kontinuierlich steigt, der endoprothetische Ersatz arthrotischer Gelenke immer ausgereifter wird und im Zuge dessen immer

mehr Patienten davon profitieren können. Von daher verwundert es nicht, wenn die Inzidenz periprothetischer Frakturen nach primärem Hüft- oder Kniegelenkersatz bis zu 2,5% beträgt und nach Wechseloperationen sogar 4% (Berry 1999, Kelley 1994, Su et al. 2004).

Die schleichende Lockerung einer einliegenden Prothese ist häufig der Wegbereiter einer periprothetischen Fraktur. Durch eine fortschreitende Knochenresorption wird die Markhöhle immer weiter. Dann treten zunehmend erhöhte Biegelasten im Bereich der Prothesenstielspitzen auf und in deren Folge Ermüdungsbrüche oder Frakturen im Rahmen von Bagatelltraumen. Rupprecht et al. (2008) fanden in 23% der Fälle mit periprothetischen Frakturen radiologisch Lockerungszeichen der einliegenden Prothesen.

Klassifikation

Johansson hat die periprothetischen Frakturen bei liegenden Hüftendoprothesen klassifiziert (◘ Abb. 9.77, ◘ Abb. 9.78, ◘ Abb. 9.79).

Das Manko dieser Einteilung ist, dass wichtige Parameter für die Art der operativen Therapie wie Knochenqualität, Komplexität der Fraktur und eine etwaige Prothesenlockerung nicht berücksichtigt werden. Nothofer und Mitarbeiter (2001) haben deshalb die Klassifikation der periprothetischen Frakturen nach Johansson modifiziert und die genannten Kriterien wie in der Übersicht gezeigt miterfasst.

Klassifikation der periprothetischen Frakturen

Typ A: feste Prothese, gute Knochenstruktur, einfache Fraktur:

- A1-Fraktur >5 cm von Prothesenspitze entfernt,
- A2-Fraktur <5 cm von Prothesenspitze entfernt,
- A3-Fraktur im Prothesenbereich (◘ Abb. 9.78).

Typ B: feste Prothese, schlechte Knochenqualität, Mehrfragmentfraktur:

- B1-Fraktur >5 cm von Prothesenspitze entfernt,
- B2-Fraktur <5 cm von Prothesenspitze entfernt,
- B3-Fraktur im Prothesenbereich (◘ Abb. 9.79).

Typ C Fraktur bei Prothesenlockerung unabhängig von der Höhenlokalisation.

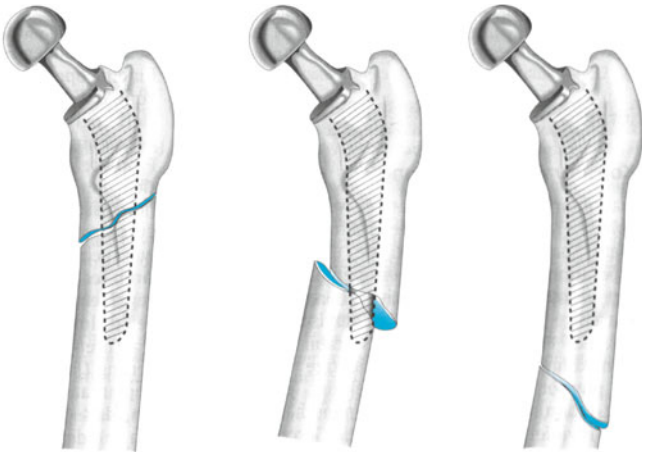
Therapie

Unproblematisch sind knöcherne Fissuren, wie sie beim Einschlagen eines unzementierten Prothesenstiels im Rahmen der Hüftendoprothetik häufig entstehen. Da es sich um stabile Frakturen handelt, bedarf es keiner Osteosynthese. Die funktionelle Nachbehandlung mit dosierter Belastung reicht aus.

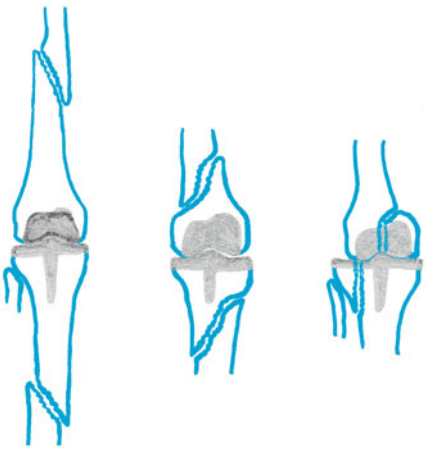
Schwerwiegend sind dagegen instabile, dislozierte Frakturen um oder unterhalb des Prothesenstiels. Aufgrund der hohen Komplikationsrate konservativer Behandlungen periprothetischer Frakturen, die in der Literatur mit bis zu 70% angegeben wird, hat sich deren operative Stabilisierung durchgesetzt (◘ Abb. 9.80).

Typ-A-Frakturen lassen sich von außen mit langstreckigen Implantaten stabilisieren, z.B. mit Platten mit limitierter Kontaktfläche, internen Plattenfixateuren, dynamischen Kondylenplatten oder den neuen winkelstabilen Platten-Schrauben-Systemen. Die Osteosynthese wird ggf. mit einem kortikospongiösen Span oder einer Spongiosaplastik verstärkt.

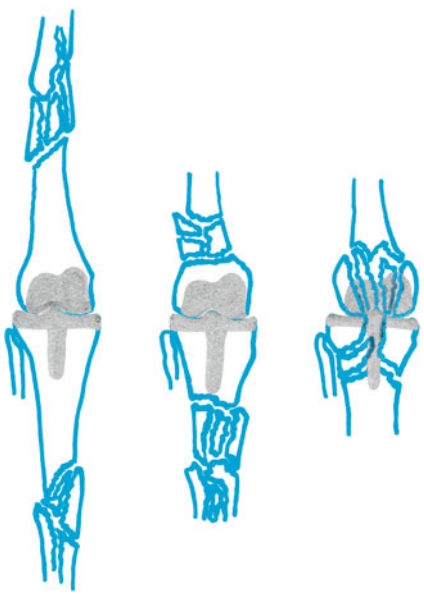
Typ-B-Frakturen bedürfen hingegen einer Markraumstabilisierung mit einem retrograden Nagel oder einem Wechsel auf



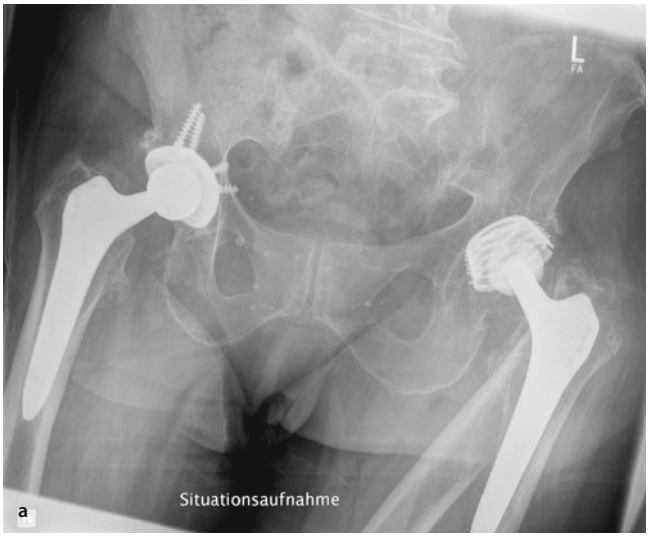
◘ **Abb. 9.77** Klassifikation der periprothetischen Frakturen nach Johansson. (Aus: Nothofer et al. 2001)



◘ **Abb. 9.78** Typ-A-Frakturen. (Aus: Nothofer et al. 2001)



◘ **Abb. 9.79** Typ-B-Frakturen. (Aus: Nothofer et al. 2001)



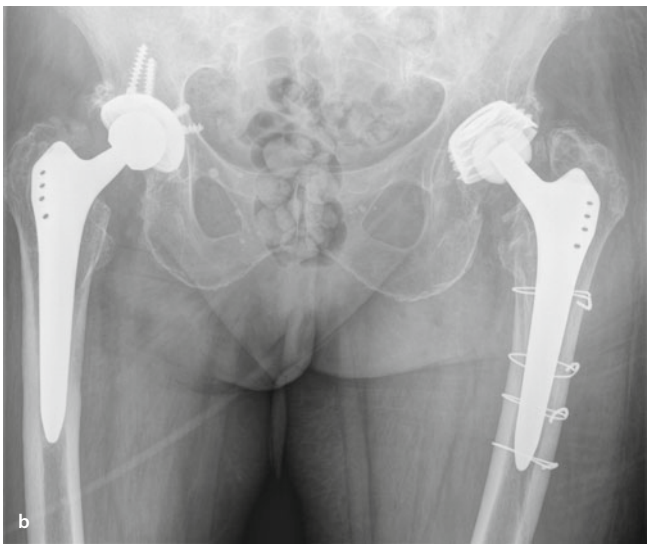


Abb. 9.80a,b 72-jährige Patientin mit periprothetischer Femurfraktur bei liegender unzementierter Hüft-TEP. **a** Unfallbild mit Fraktur im Prothesenbereich. **b** Postoperative Kontrolle nach Versorgung mit Cerclagen

eine Langschaftprothese. Als Ausweichmethoden stehen die Verbundosteosynthese und der Plattenfixateur interne zur Verfügung.

Typ-C-Frakturen erfordern in der Regel einen Prothesenwechsel, da ja diese Frakturform per definitionem die Lockerung beinhaltet.

Die Art der besten Versorgung hängt vom Bruchtyp und der Knochenqualität ab. Im Wesentlichen werden 2 Verfahren eingesetzt: Entweder wird der Prothesenstiel gewechselt oder eine Plattenosteosynthese durchgeführt. Dies richtet sich natürlich auch danach, ob die liegende Prothese gelockert ist, was meist eine Wechseloperation notwendig macht.

Bei der Wechseloperation verwendet man Langschaftprothesen, die sich weiter distal verankern. Bei ausgeprägten Knochensubstanzverlusten kann sogar ein Knochenaufbau in gleicher Sitzung mit Spenderknochen erforderlich sein (s. dazu die im ► Kap. 9.3.2, Abschnitt Endoprothese beschriebene Methode der Exeter-Gruppe; Gie et al. 1993 a,b, Ling et al. 1993, Slooff et al. 1984). Auch so genannte Prothesennägel können verwendet werden. Bei diesen Implantaten geht der Prothesenstiel in einen antekurvierten Marknagel mit vielfachen Verriegelungsmöglichkeiten über.

Bei guter Knochenqualität und wenn die Fraktur im Bereich der Spitze des Prothesenstiels oder tiefer liegt, kann sie mittels Plattenosteosynthese versorgt werden. Dies ist allerdings kein einfaches Unterfangen, weil die Schrauben am Prothesenstiel vorbei im verbleibenden, oft nur dünnen kortikalen Knochen verankert werden müssen. Man geht dabei offen oder halboffen vor. Die halboffene Methode hat Vorteile, ist aber nicht immer durchführbar. Der Blutverlust ist geringer und die Heilung durch den besseren Weichteilverbund beschleunigt.

Man kann z.B. eine breite 4,5er-LC-DCP verwenden. Die Platte wird im distalen Hauptfragment nach den gängigen Prinzipien fixiert. Es empfiehlt sich, eine längerstreckige Verankerung der Platte mit 4 oder mehr Schrauben anzustreben. Auch proximal im Bereich des substanzgeschwächten Knochens sollte man möglichst langstreckig ansetzen. Im Moment der Plattenauswahl kann meist noch nicht richtig abgeschätzt werden, wie viel von den Schrauben, die proximal zu besetzen sind, einen wirklich guten Halt finden werden. Daher empfiehlt es sich, wenn ausreichend Platz vorhanden ist, grundsätzlich ein paar Schraubenlöcher mehr einzuplanen und ein entsprechend längeres Implantat auszuwählen. Den wechselnden Versatz der Schraubenlöcher in der breiten LC-DCP nutzt man, um alternierend einmal ventral bzw. dorsal am Prothesenstiel vorbei in die Gegenkortikalis zu gelangen. Durch die Verspreizung der Schrauben, zwischen denen der Prothesenstiel eingeklemmt wird, lässt sich zusätzlicher Halt erreichen. Dieser Halt kann durch Einsatz von Cerclagen noch erhöht werden.

Bei schlechter Knochenqualität sind der Schraubenhalt und die Abstützung der Hauptfragmente gegeneinander reduziert, was zu einer vorzeitigen Auslockerung des Implantats führt. In solchen Fällen bleibt als Ausweg eine Verbundosteosynthese. Mit dem Knochenzement können nicht nur die Substanzdefekte aufgefüllt, sondern auch geschwächte Schraubenlöcher, in denen die Implantate keinen ausreichenden Halt finden, einzementiert werden.

Eine distale Femurfraktur bei liegender Knieendoprothese kann mit einer DCS versorgt werden, wenn der kondyläre Anteil der Prothese nicht zu viel Raum einnimmt. In jüngerer Zeit wurden jedoch für diese Indikation mit winkelstabilen inneren Plattenfixateuren noch deutlich bessere Ergebnisse erzielt (Hertel et al. 2001, Wenzl et al. 2001). Als Ausweg bleibt aber auch der Prothesenwechsel mit einer kombinierten kondylären Komponente, die eine längerstreckige Markraumschienung ermöglicht (Abb. 9.81).

Als Plattenfixateur steht z.B. das Femur-LISS-System (Less Invasive Stabilisation System, Fa. Synthes) zur Verfügung, aber auch die NCB-DF-Platte (Non Contact Bridging distaler Femur. Fa. Zimmer). Beide Systeme können unter Einsatz eines Zielbügels minimal-invasiv eingesetzt werden. Beim NCB-DF wird die Winkelstabilität nicht durch Innengewinde in den Plattenlöchern unidirektional vorgegeben, sondern sie kann in einem Winkel von 30 variiert werden. Das hat den großen Vorteil, dass man beim Setzen der Schrauben besser an einem einliegenden Prothesenstiel vorbeikommt und längere Bohrkanäle für einen stabileren Halt finden kann. Pressmar und Mitarbieter haben 31 Patienten mit periprothetischen Femurfrakturen nicht gelockerter Hüft- oder Knieprothesen mit diesem System versorgt und gute Ergebnisse erzielt.

Faschingbauer und Mitarbeiter (2005) haben gute Erfahrungen mit dem Druckplattenfixateur und dem Kondylenfixateur (Fa. Litos, Hamburg) gemacht. Bei beiden Plattensystemen können die Schrauben in einem schrägen Winkel von 30° eingebracht werden.

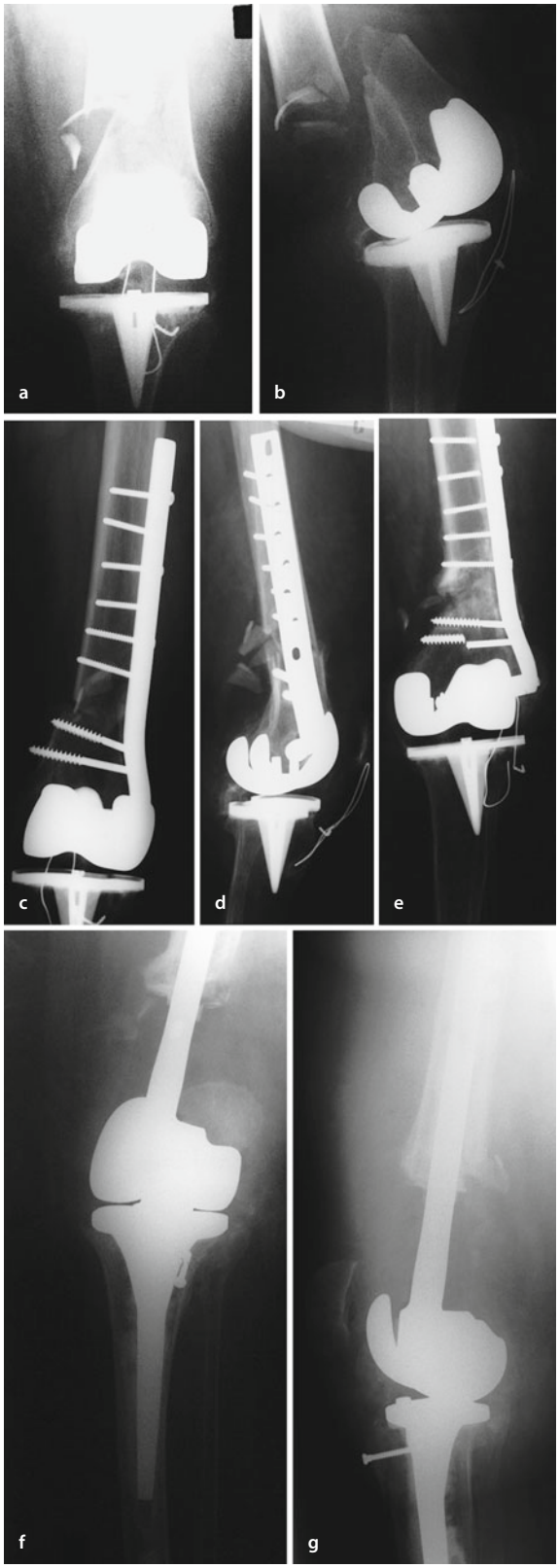


Abb. 9.81a–g Periprothetische Fraktur einer 55-jährigen Frau mit massiver Adipositas und Osteoporose durch Langzeitkortisoneinnahme bei chronischer Polyarthritis. **a,b** Suprakondyläre Fraktur bei liegendem Gleitflächenersatz. **c,d** Stabilisierung mit DCS. **e** Nach 9 Monaten Implantatversagen. **f,g** Implantatentfernung, TEP-Wechsel auf eine langstielige Rotationsknieprothese mit Teilersatz des distalen Femurs durch ein nicht röntgenkontrastgebendes Kunststoffimplantat

Dies erhöht die Schraubenkontaktfläche im Knochen und erlaubt, die Schraube situativ angepasst in die mechanisch günstigste Position zu bringen. Der Druckplattenfixateur besteht aus einer wellenartig geformten Titanplatte, die beiderseits einer Fraktur oder Pseudarthrose mit mehreren Schrauben befestigt wird. Durch Aufschrauben von Druckplatten wird die Winkelstabilität hergestellt, indem die Schraubenköpfe in die Plattenlöcher gepresst werden. Die Autoren haben unter 32 Patienten nur 2 Implantatversagen und 5 allgemeine Komplikationen gesehen.

Die Ogden-Platte (Fa. Zimmer) ist eine der ersten Platten, die eine Kombination von Cerclagen und Schrauben ermöglicht. Zenni (1988) hat damit 19 periprothetische Frakturen bei liegenden Hüft-TEPs versorgt und beobachtete 2 verzögerte Frakturheilungen, eine Pseudarthrose, einen Plattenausriss und eine Fraktur unterhalb der Platte.

Beim Dall-Miles-Kabel-Plattensystem (Fa. Stryker), das ähnliche Ergebnisse zeitigte, ist es möglich sowohl distal als auch proximal Cerclagen einzusetzen.

Komplikationen und Prognose

Die Versorgung periprothetischer Femurfrakturen bei liegender Hüft-TEP ist mit hohen Komplikationsraten belastet. Die Angaben in der Literatur sind unterschiedlich und reichen für periprothetische Fraktur bei liegender Hüft-TEP bis über 50% und bei liegender Knie-TEP bis 19%. Dabei hängt die Höhe der Komplikationsrate vom gewählten Verfahren ab und auch vom Allgemeinzustand der z.T. sehr alten Patienten. Das erklärt die ebenfalls sehr hohe Mortalitätsrate. In der Literatur wird die 3-Monats-Letalität mit bis zu 30% beziffert (Pressmar et al. 2010).

Die Vielzahl der Verfahren und Implantatsysteme, die für die Versorgung dieser Frakturen genutzt werden, kann wie so oft als Indiz gewertet werden, dass sich noch keines als überlegen erwiesen hat. Allerdings sind die Vorteile winkelstabiler Implantate für diese Indikation evident. Sie sind biomechanisch belastbarer insbesondere im osteoporotischen Knochen und kompromittieren die Durchbutung weniger (Pressmar et al. 2010).

Zu diesem Schluss kommen auch Rupprecht und Mitarbeiter (2008). Sie haben 99 Patienten mit periprothetischen Frakturen mit verschiedenen Osteosyntheseplatten versorgt. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug fast 80 Jahre; 84% waren Frauen. Die Autoren sehen es als nicht gesichert an, ob gelockerte Prothesen zwangsläufig im Rahmen der Frakturversorgung gewechselt werden müssen, denn dies wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während die einen den Wechsel auf eine Langschaftprothese empfehlen (Siegmeth et al. 1998), bevorzugen andere zementierte Prothesen (Gruner et al. 2004, Tauber et al. 2002) oder den Prothesennagel (Probst et al. 2003). Allerdings vermehrt ein neu implantierter längerer Stiel die mechanische Belastung an der Prothesenstielspitze und erhöht damit das Risiko einer neuerlichen Fraktur. Der Vorteil von Verbundosteosynthesen ist ihre hohe Primärstabilität, der Nachteil aber, dass die Fraktur nicht mehr endostal ausheilen kann, weshalb sie nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommt.

Die neueren winkelstabilen Implantate ermöglichen die bloße monokortikale Verankerung im Bereich des Prothesenstiels, wobei die Schrauben überdies weichteilschonend über einen Zielbügel perkutan eingebracht werden können. Aber es hat sich gezeigt, dass bei osteoporotischem Knochen die monokortikale Verankerung nicht ausreichend sein kann und die Implantate ausbrechen können. Als Alternative gibt es Implantate, die proximal mit Cerclagen und distal mit Schrauben fixiert werden (s. oben, Ogden construct).

9.7 Weichteile

9.7.1 Weichteilverletzungen und -überlastungen

Muskel(faser)riss, Insertionstendopathie

Ätiologie

Muskelfaserrisse können durch eine inadäquate akute Überlastung bzw. Dehnung entstehen, aber genauso durch eine chronische Überlastung oder durch ein direktes Trauma.

Ähnlich wie bei der Quadrizepssehnenruptur (▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel) erhöhen Begleiterkrankungen die Gefahr von Muskelrissen. Nierenfunktionsstörungen, endokrine und rheumatologische Erkrankungen finden sich in diesem Zusammenhang gehäuft, aber auch vorbestehende Rupturen des vorderen Kreuzbandes, wobei als Auslöser dafür ein fehlendes neuronales Feedback zwischen den γ-Motoneuronen und den Mechanorezeptoren mit Schwächung der Oberschenkelmuskulatur angenommen wird (Konishi et al. 2002).

Muskelrisse oder Muskelfaserrisse sind häufig auch Ausdruck mangelnder Vorbereitung oder Überlastung. Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Ursachen für diese häufige Verletzung (Neubauer et al. 1995):

- Überlastung ungenügend trainierter Muskulatur,
- unkoordinierte Bewegungen mit plötzlichen Spannungsänderungen,
- fehlende oder verzögerte Relaxation bei Ermüdung, Flüssigkeits- oder Elektrolytverlust,
- mangelhafter Kälteschutz,
- direktes Trauma durch Stoß, Schlag oder offene Verletzung.

Alle großen Muskelgruppen des Oberschenkels, die Strecker, die Adduktoren und die Beuger, können von Faserrissen oder Zerrungen betroffen sein. Die Mehrzahl der Verletzungen ereignet sich bei sportlichen Aktivitäten. Zu den Adduktoren gehören die Mm. adductor brevis, longus et magnus, gracilis und die untere Portion des M. gluteus maximus (◘ Abb. 9.4). Bei Sportlern wird der M. adductor longus am häufigsten verletzt.

Der M. iliopsoas ist der stärkste Hüftbeuger. Er mündet in einer Sehne, die am Trochanter minor ansetzt. Die Sehne ist von einer Bursa umgeben. Bei Überlastung z.B. durch ein inadäquates Bauchmuskeltraining, Rudern, Bergauf laufen, Hürdenlauf oder Fußballtraining, aber auch durch den überstehenden Rand einer künstlichen Hüftpfannenschale, kann sich das Gleitgewebe entzündlich verändern.

Der Muskelursprung des M. rectus femoris entspringt an der Spina iliaca anterior inferior. Insbesondere bei Fußballern oder Sprintern treten Rupturen oder Teilrupturen im Ursprung des Muskels oder im oberen Drittel des sehnigen Übergangs auf.

Klinik

Leitsymptom ist der Schmerz im Bereich eines gezerrten oder rupturierten Muskels. Zugleich finden sich häufig Schwellungszustände, die z.T. sehr ausgeprägt sein können bis hin zum manifesten Kompartment-Syndrom. Die betroffene Muskulatur ist in ihrer Funktion eingeschränkt, was sich u.a. in einem hinkenden Gangbild äußert.

Bei einer Adduktorenverletzung findet sich ein isolierter Druckschmerz im Bereich der Ruptur oder am Ursprung oder Ansatz des Muskels mit entsprechender Berührungsempfindlichkeit am Schambeinast oder femurnah in der Adduktorenloge. Die aktive Adduktion des Beins ist schmerzhaft.

Die Tendinitis bzw. Bursitis der Psoassehne verursacht einen stechenden Schmerz beim aktiven Anheben des gestreckten Beins von der Unterlage bzw. beim Beugen der Hüfte. In der Leiste besteht ein Druckschmerz und am Sehnenansatz eine tastbare Schwellung.

◘ **Abb. 9.82** Typischer Verletzungsmechanismus des Abrisses der proximalen Semimembranosussehne beim Hürdensprint. (Aus: Regauer 2005)

Beim ursprungsnahen Riss des M. rectus femoris ist dieser Bereich druckschmerzhaft und das Treppen steigen bereitet den Verletzten Schwierigkeiten.

Es gibt auch ursprungsnahe Risse am Sitzbein meist des M. biceps femoris oder des M. semitendinosus und selten auch des M. semimembranosus. Regauer et al. berichten über einen Fall eines Semimembranosus-Abrisses, der bei einem schnellen Antritt beim Joggen auftrat (Regauer et al. 2005). Der typische Verletzungsmechanismus für die genannten Muskeln besteht jedoch beim Hürdensprint in forcierter Hüftbeugung bei gestrecktem Knie und angespannter ischiokruraler Muskulatur (◘ Abb. 9.82). Nach einer solchen Verletzung sind das aufrechte Gehen und das belastete Stehen auf dem betroffenen Bein nicht mehr möglich. Unterhalb des Tuber ischiadicum bestehen Druckschmerz und Schwellung mit äußerlich sichtbarem Kontinuitätsverlust und Schwäche bei der aktiven Kniebeugung in Rückenlage.

Diagnostik

Meist führen bereits die typische Anamnese und der klinische Befund zur richtigen Diagnose, die mittels Weichteilsonografie (▶ Kap. 20, Ultraschalluntersuchungen) erhärtet und dokumentiert wird. Gegebenenfalls ist eine MRT indiziert, um komplette Muskelrisse von Faserrissen zu differenzieren und daraus u.U. die Indikation zum operativen Vorgehen abzuleiten.

Therapie

Die Behandlung ist jedoch in aller Regel konservativer Art. Im akuten Stadium eignet sich Kryotherapie kombiniert mit Kompressionsverbänden gut, um Schmerz und Schwellungszustand günstig zu beeinflussen. Die betroffene Extremität wird nur im Rahmen der Schmerzgrenzen belastet. Antiphlogistika, die lokal oder systemisch angewendet werden, ergänzen das therapeutische Spektrum der Anfangsphase. Querfriktionen können sehr wirksam sein.

Der Patient muss sich lange genug körperlich schonen, damit sich eine stabile Narbe bilden kann. Dies ist gerade für sportlich ambitionierte Patienten oft nur schwer durchzuhalten, weil sie spätestens dann, wenn sie keine Beschwerden mehr haben, das gewohnte Maß körperlicher Aktivität wieder aufnehmen wollen. Dies ist aber erst nach guter Dehnung und Kräftigung der Muskulatur, die unter physiotherapeutischer Anleitung erfolgen sollte, ratsam.

In der Regel dauert es, abhängig vom Ausmaß der Verletzung und Belastung, 4–12 Wochen, bis der Sportler wieder voll einsatzfähig ist und selbst dann kann es Rezidive geben.

In Ausnahmefällen, wenn eines oder mehrere der folgenden Kriterien erfüllt sind, kann ein operatives Vorgehen indiziert sein:

- ausgedehnte Ruptur einer Muskelgruppe mit tastbarem Defekt oder entsprechendem MRT-Befund,
- entlastungsbedürftiges Hämatom,
- manifestes Kompartment-Syndrom.

Die Patienten müssen darüber aufgeklärt werden, dass die Naht eines Muskels problematisch ist und die erwünschte Stabilität häufig nicht erreicht wird. Die Naht findet in den longitudinal ausgerichteten weichen Fasern kein stabiles Lager. Besseren Halt gibt es im Bereich von Aponeurosen. Hier ist die Aussicht auf Erfolg höher. Für die Naht eignet sich relativ dickes resorbierbares Nahtmaterial z.B. der Stärke 1/0. Es werden einfache überwendliche Nähte vorgelegt und bei möglichst entspannter Muskulatur geknüpft. Hämatome werden ausgeräumt und die Wunde mit einem Redon drainiert.

Bei Insertionstendopathien können eine lokale Steroidinfiltration oder eine Stoßwellentherapie hilfreich sein.

9

Ischiokruraler Muskelabriss

Beim Abriss beispielsweise des proximalen Sehnenursprungs vom Tuber ischiadicum ist eine frühzeitige operative Reinsertion der Sehne angezeigt; aber auch veraltete Rupturen sollten refixiert werden, weil dies immer noch zu einer deutlichen Verbesserung der späteren Funktion führt, vorausgesetzt, der Muskel ist noch nicht fettig degeneriert (Regauer et al. 2005). In Bauchlage bei leichter Hüftflexion erfolgt ein querer oder längs verlaufender Zugang. Frische Sehnenrisse mit noch nicht verkürzter Muskulatur können über einen queren Zugang versorgt werden, veraltete Risse bedürfen eines längeren Zugangs, um die mit ihrer Umgebung verklebte und retrahierte Sehne unter Schonung der angrenzenden Strukturen und des N. ischiadicus mobilisieren zu können. (Abb. 9.83). Die Sehne kann am Tuber mit Schraubankern refixiert werden (z.B. Corkscrew R, Fa. Arthrex Schraubenstärke 5 mm, Kerndurchmesser 2 mm mit nicht resorbierbaren Fadenpaaren der Stärke 2 armiert). Alternativ können auch Nahtanker oder transossäre Durchzugsnähte verwendet werden. Der Sehnenstumpf wird mehrere Zentimeter weit durchflochten. Dann wird das Knie angebeugt, um den Muskel zu entspannen und die Naht geknüpft (Abb. 9.84).

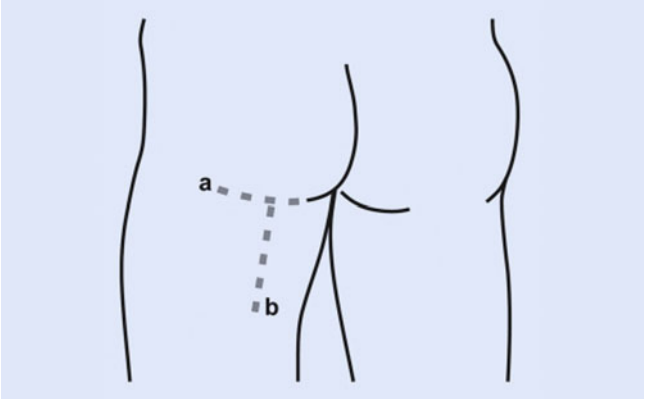


Abb. 9.83 Reinsertion der Semimembranosus-Sehne. Je nach Alter der Verletzung erfolgt ein querer (**a**) oder längs verlaufender Zugang (**b**) zur Reinsertion. Erklärung im Text. (Aus: Regauer 2005)

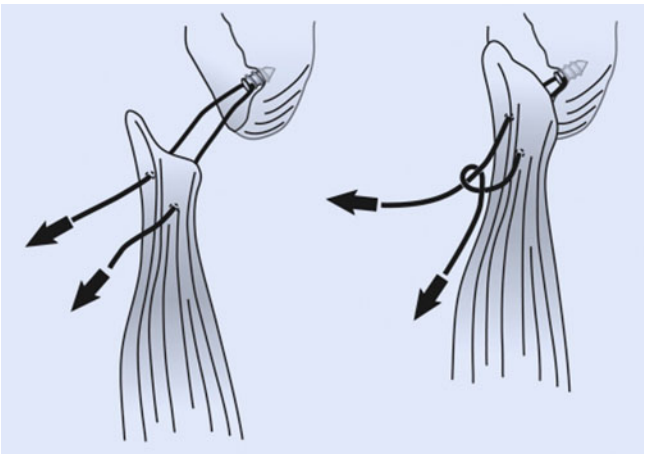


Abb. 9.84 Schematische Darstellung der Refixierung der Semimembranosussehne mit einem fadenarmierten Schraubanker. Erklärung im Text. (Aus: Regauer 2005)

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung richtet sich nach den Kriterien der konservativen Therapie mit Thromboembolieprophylaxe, antiphlogistischer Therapie und Teilbelastung des Beins. Nach etwa 4 Wochen beginnt die vorsichtige Dehnung und Kräftigung der betroffenen Muskelgruppe. Nach Reinsertion eines ischiokruralen Muskels wird das Bein passiv beübt unter Vermeidung der aktiven Knieflexion und Hüftextension sowie der forcierten Hüftflexion. Zur Entlastung der Sehnennaht stellen Regauer et al. (2005) das Knie in einer Schiene in 30° Beugung ruhig. Mit ersten sportlichen Belastungen wie langsamem Dauerlauf kann frühestens nach 8 Wochen begonnen werden.

Komplikationen und Prognose

Rerupturen sind keine Seltenheit, insbesondere dann, wenn die erneute Belastung zu heftig und früh abgerufen wird. Im Rahmen von Muskelfaserrissen kann sich eine Myositis ossificans aufpfropfen. Der Funktionsausfall kann zu einer verbleibenden Schwächung führen.

Laut Sallay et al (1996) erlitten 5 von 6 Patienten nach komplettem Sehnenabriss im Bereich der ischiokruralen Muskulatur auf Dauer eine erhebliche Funktionseinbuße des Beins. Sie konnten anschließend zwar gehen, aber nicht mehr laufen (Sallay et al. 1996). Klingele et al. (2002) berichten über eine uneingeschränkte Sportfähigkeit nach operativer Versorgung in 10 von 11 Fällen, wobei die Ergebnisse noch genauso gut waren, wenn die Patienten nicht innerhalb von 4 Wochen nach dem Zeitpunkt der Verletzung versorgt wurden (Klingele u. Sallay 2002). Und Cross et al. haben sogar 9 Fälle erst zwischen 2 und 104 Monaten nach dem Trauma operativ versorgt und insgesamt immer noch gute Ergebnisse gefunden. Die konservative Therapie führt hingegen regelmäßig zu unbefriedigenden Ergebnissen.

Faszienriss

Ätiologie

Faszienrisse entstehen von außen durch einen scharfen Gegenstand, von innen durch ein Knochenfragment oder durch Quetschung der Weichteile. Der intrakompartimentale Druck lässt den Muskel durch die Faszienlücke hervortreten und eine Muskelhernie entstehen. Bei ausgeprägten Weichteilschwellungen im Rahmen von Schaftfrakturen oder Kompartment-Syndromen und nach Osteosynthesen können ebenfalls Lücken verbleiben.

Klinik

Die Reibung des prominenten Muskelanteils an den Rändern der Lücke verursacht uncharakteristische, ziehende Schmerzen, die besonders sportlich aktive Patienten oder solche beeinträchtigen, die anderweitig intensive Muskelarbeit leisten. Typische Lokalisation ist die Lücke im Faszienspiegel des Tractus iliotibialis.

Diagnostik

Die Diagnose ist anhand der Anamnese und des meist gut sicht- und tastbaren klinischen Befundes einfach zu stellen. Unter Anspannung des Muskels verhärtet sich die weiche Hernie in der Faszienlücke. Sie kann sonografisch beurteilt und dokumentiert werden.

Therapie

Die Indikation zum Verschluss der Lücke kann bei Beschwerden oder auch aus kosmetischen Gründen gegeben sein. Da der Verschluss nur durch eine direkte Naht erreichbar ist, muss präoperativ abgeschätzt werden, ob dies überhaupt möglich sein wird. Wenn die Lücken schon sehr lange bestehen, dürften die angrenzenden Faszienblätter bereits narbig verkürzt sein. Ein Verschluss ist in solchen Fällen u.U. nicht möglich. Dann bleibt bei entsprechenden Beschwerden als Ausweg nur, die Lücke durch eine komplette Fasziotomie zu erweitern, um die einengenden Ränder auf diesem Weg zu beseitigen.

Kontraindiziert ist ein operatives Eingreifen bei Faszienddefekten, wie sie z.B. durch offene Frakturen mit Gewebeverlusten entstehen können, denn solche Defekte lassen sich ebenso wie retrahierte Faszien nicht schließen. Würde eine Naht erzwungen, könnte der Gewebedruck im Faszienköcher bis zur Ausbildung eines Kompartment-Syndroms ansteigen. Bei asymptomatischen Faszienlücken besteht ebenfalls keine Indikation zum operativen Verschluss. Die Patienten brauchen dann lediglich über die Harmlosigkeit dieses Phänomens aufgeklärt zu werden.

Nach Längsinzision über der tastbaren Lücke werden narbige Verklebungen zwischen Muskulatur und Faszie gelöst und die Faszienränder mobilisiert. Die Naht erfolgt am besten mit überwendlichen Einzelnähten oder einer fortlaufenden überwendlichen Naht mit atraumatischem, langsam resorbierbarem Fadenmaterial der Stärke 1/0. Es muss ausreichend Gewebe gefasst werden, damit die Naht nicht ausreißt, andererseits darf aber nicht zu randfern gestochen werden, sonst rafft man die Ränder zu sehr und erhält dadurch eine zu hohe Spannung der Naht.

Besteht eine zu große Nahtspannung, kann man auch versuchen, eine Lücke durch Einnähen eines Vicrylnetzes oder eines Streifens aus der Fascia lata zu verschließen.

Nachbehandlung

Der Patient muss den Muskel postoperativ schonen, damit die Naht nicht insuffizient wird. Deshalb sollte das Bein bis zur gesicherten Wundheilung nur teilbelastet werden.

Komplikationen und Prognose

Präoperativ müssen die Patienten darüber aufgeklärt werden, dass der Faszienverschluss nicht zu einer Steigerung der Muskelkraft beiträgt, dass die Naht insuffizient werden kann und auch nach Verschluss durch Narbenbildung Beschwerden verbleiben können. Die Hauptgefahr ist allerdings ein postoperatives Kompartment-Syndrom, das zur Dermatofasziotomie zwingen würde.

Schnappende Hüfte

Ätiologie

Die Coxa saltans oder schnappende Hüfte kann verschiedene Ursachen haben. Ein laterales Schnappen entsteht durch einen verdickten Tractus iliotibialis oder eine voluminöse Bursa trochanterica, die beim Übergang von der Streckung in die Hüftbeugung über den Trochanter major reitet. Frauen sind aufgrund der weiblichen Beckengeometrie häufiger davon betroffen als Männer.

Ein vorderes tiefes Schnappen entsteht hingegen, durch eine verdickte Psoassehne oder ihr Gleitgewebe, das über die Eminentia iliopectinea reibt.

Ein Schnappen kann aber auch durch intraartikulär gelegene Pathologien wie freie Gelenkkörper oder Labrumeinrisse ausgelöst werden.

Klinik, Diagnostik

Die verschiedenen Formen der schnappenden Hüften lassen sich einfach differenzieren. Die Patienten können das Schnappen meist sehr gut auslösen. Bei gleichzeitiger Palpation des Untersuchers am Ort der Beschwerden kann man schnell die Ursache erkennen und ggf. sonografisch darstellen. Intraartikulären Patholgien lassen sich hingegen nur mit einem Kernspinarthrogramm abklären.

Therapie

Falls das Schnappen nicht schmerzhaft ist, genügt eine Dehnungsbehandlung der betreffenden Struktur. Anderenfalls besteht die Indikation zur Operation in Form einer Verlängerungsplastik des Traktus oder der Isiopsoassehne.

Bei einer tiefen oder oberflächlichen Bursitis trochanterica kann, bevor man sich zu einer Bursektomie entschließt, die Bursitis mit einer Depot-Kortison-Instillation unter Zugabe eines Lokalanästhetikums angegangen werden. Die Chancen, dass dies zu einer Heilung führt, sind hoch.

Meralgia paraesthetica

Dieses Krankheitsbild ist auch unter dem Namen Jeans-Syndrom bekannt. Es handelt sich um eine Kompression des N. cutaneus femoris lateralis unter dem Ligamentum inguinale auf dem Boden eines direkten Traumas oder zu enger Kleidung oder einer chronischen Druckerhöhung bei hypertrophem M. sartorius wie z.B. bei Bodybuildern.

Das Nervenkompressionssyndrom fällt durch Schmerzen und Dysästhesien an der Oberschenkelvorder- und -außenseite auf. An der Durchtrittsstelle des Nervs, die ca. 2 cm medial der Spina iliaca anterior superior liegt, besteht ein Druckschmerz. Die Nervenleitgeschwindigkeit ist herabgesetzt.

Kortikoidinfiltration an den Druckschmerzpunkt können Abhilfe schaffen. Bei Beschwerdepersistenz ist eine Neurolyse angezeigt.

Piriformis-Syndrom

Muskuläre Dysbalancen mit Verkürzung des M. piriformis und Beinlängendifferenzen können zu einer Reizung des N. ischiadicus führen. Laufsportler insbesondere Sprinter und Hürdenläufer sind betroffen.

Klinisch stehen ischialgiforme Schmerzen im Vordergrund. Außerdem bestehen ein Dehnungsschmerz des Piriformis bei Innenrotation sowie Schmerzen beim Sitzen und bei der Hüftbeugung. Über dem Muskel lässt sich ein Druckschmerz provozieren. Der hypertone Muskel ist in der Tiefe der Gesäßmuskulatur als schmerzhafter indurierter Strang tastbar. Bei kraftvoller Extension und Innenrotation des Beins kann der Untersucher Schmerzen provozieren (Pace-Zeichen, ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Therapeutisch kommen zunächst lediglich Dehnungsübungen und Antiphlogistika zum Einsatz. Kortikoidinstillationen sind wegen der Nähe zum Ischiasnerv problematisch und verlangen eine sehr gute Kenntnis der Anatomie. In aussichtslosen Fällen muss eine Neurolyse mit Spaltung der Muskelenge erwogen werden.

9.7.2 Kompartment-Syndrom

Zur Pathophysiologie, Klinik und Diagnostik des Kompartment-Syndroms wird auf die entsprechenden Abschnitte in ▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel, und ▶ Kap. 18, Komplikationen verwiesen.

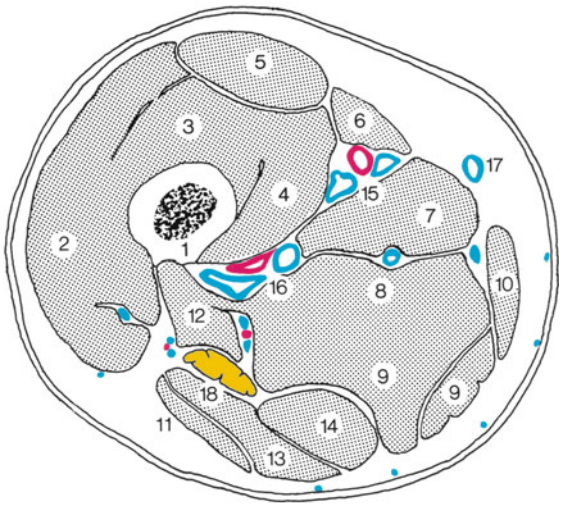


Abb. 9.85 Schematischer Querschnitt durch den proximalen Oberschenkel, der die 3 großen Logen der Strecker, Beuger und Adduktoren und die kleine Loge des M. sartorius enthält. (Aus: Faure u. Merlozc 1987). *1* Femur, *2* M. vastus lateralis, *3* M. vastus intermedius, *4* M. vastus medialis, *5* M. rectus femoris, *6* M. sartorius, *7* M. adductor longus, *8* und *9* M. adductor magnus, *10* M. gracilis, *11* M. biceps caput longum, *12* M. biceps caput breve, *13* M. semitendinosus, *14* M. semimembranosus, *15* A. und V. femoralis, *16* A. und V. profunda femoris, *17* V. saphena magna, *18* N. ischiadicus

Am Oberschenkel tritt ein Kompartment-Syndrom weniger häufig als am Unterschenkel auf, weil die Muskellogen ein größeres Fassungsvermögen haben. Dennoch muss diese Komplikationsmöglichkeit bei ausgeprägten Schmerz- und Schwellungszuständen bedacht werden. Insbesondere polytraumatisierte, beatmete Patienten mit Hypovolämie entwickeln häufig Kompartment-Syndrome. Zum einen fehlt bei den narkotisierten Patienten eines der richtungsweisenden Beurteilungskriterien, der Schmerz, zum anderen entwickelt sich ein Kompartment-Syndrom in Abhängigkeit vom diastolischen Druck, der bei hypovolämen Patienten schnell kritisch abfallen kann. Das Gefälle zwischen diastolischem Druck und Kompartmentdruck muss ja wenigstens 30 mmHg betragen. Wird dieser Wert unterschritten, sistiert die Perfusion des Muskelgewebes, und eine ischämische Nekrose entwickelt sich.

Therapie

Bei drohendem oder manifestem Kompartment-Syndrom ist die sofortige Dermatofasziotomie indiziert. Insbesondere bei beatmeten Patienten sollte nicht zugewartet werden. Es handelt sich um einen Notfalleingriff, bei dem die Nüchternheitsgrenze nicht eingehalten zu werden braucht, da der ischämische Infarkt der Muskulatur droht.

Am Oberschenkel gibt es im Wesentlichen 3 voneinander getrennte Faszienräume (Abb. 9.85), wenn man die vergleichsweise kleine Loge des M. sartorius außer Acht lässt. Die 3 großen Logen sind die

- der Extensoren, die A. und V. femoralis superficialis und den N. saphenus enthalten,
- der Flexoren mit dem N. ischiadicus und
- der Adduktoren mit A. und V. femoralis profunda.

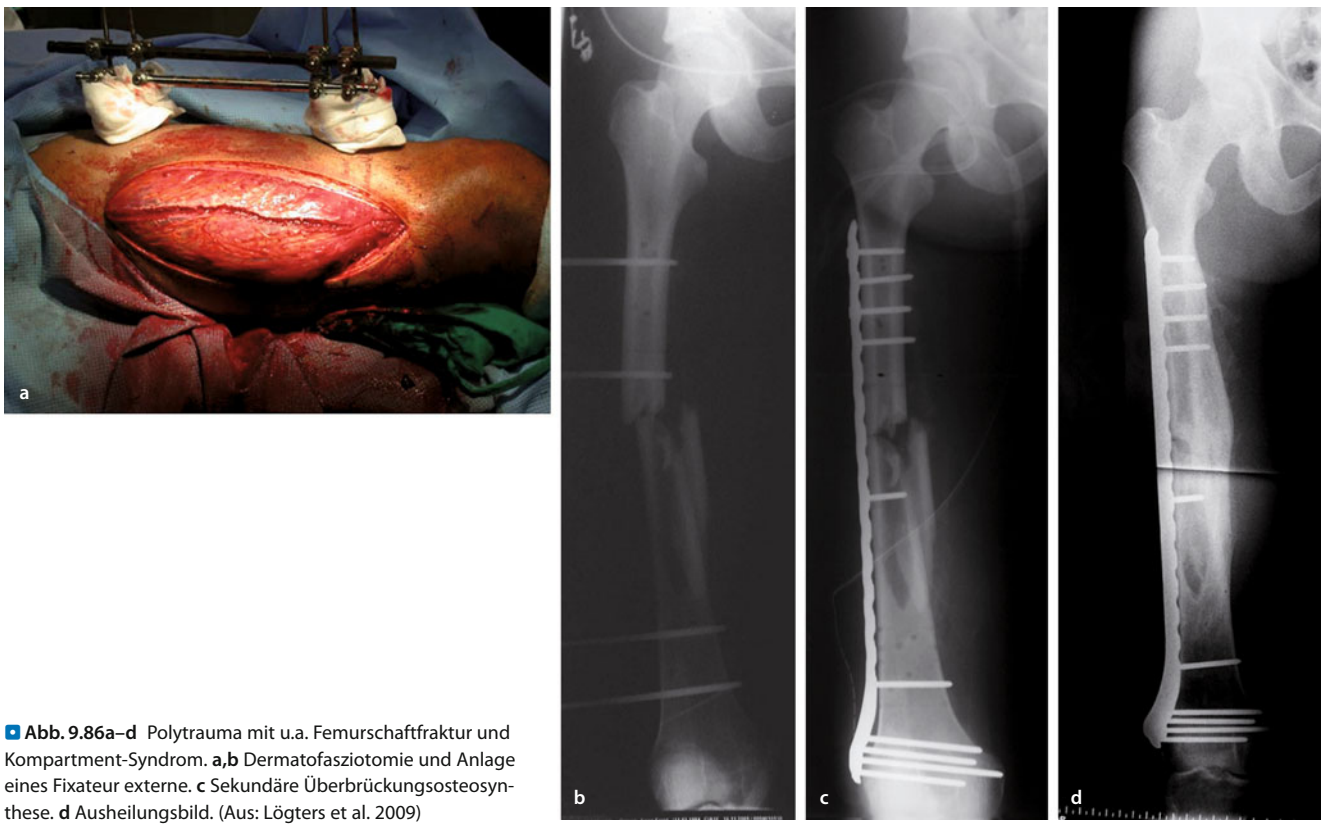


Abb. 9.86a–d Polytrauma mit u.a. Femurschaftfraktur und Kompartment-Syndrom. **a,b** Dermatofasziotomie und Anlage eines Fixateur externe. **c** Sekundäre Überbrückungsosteosynthese. **d** Ausheilungsbild. (Aus: Lögters et al. 2009)

Eine Dermatofasziotomie wird lateral über dem Tractus iliotibialis angelegt. Man beginnt in Höhe des Trochanter major und inzidiert über der gesamten Länge des Röhrenknochens bis hinab zum lateralen Kondylus Haut, Subkutis und Tractus iliotibialis. Nach Spaltung des Traktus wird das Septum intermusculare aufgesucht und ebenfalls auf ganzer Länge inzidiert. Dadurch wird laut Kladny u. Nerlich (1991) eine ausreichende Entlastung aller 3 großen Logen erreicht. Sichtbare Blutungen werden gestillt, Hämatome ausgeräumt und die Logen damit zusätzlich entlastet. Gleichzeitig kann über diesen Zugang eine begleitende Fraktur mittels Plattenosteosynthese stabilisiert werden, da man bereits vor Ort ist (Abb. 9.86).

Die breit klaffende Dermatofasziotomiewunde wird mit Kunsthaut gedeckt. Nach ca. 1 Woche ist der Oberschenkel dann so weit abgeschwollen, dass eine Sekundärnaht erfolgen kann. Da der Tractus iliotibialis eine sehr kräftige Textur hat, ist auch bei höherer Nahtspannung eine suffiziente Naht noch möglich. Außerdem ist sie aus funktionellen und kosmetischen Gründen anzustreben. Die Gefahr eines Rekompartment-Syndroms ist gegeben, deshalb muss im Zweifelsfall auf den Verschluss der Faszie verzichtet oder bei einem Rekompartment rechtzeitig reagiert und die Naht wieder eröffnet werden. Die Patienten sollten über diese Problematik präoperativ eingehend informiert werden.

Literatur

Babst R, Martinet O, Renner N, Rosso R, Bodoky A, Heberer M, Regazzoni P (1993) Die DHS-Abstützplatte für die Versorgung der instabilen proximalen Femurfrakturen, Schweiz Med Wochenschr 123: 566–568

Babst R, Hehli M, Regazzoni P (2001) LISS-Traktor. Unfallchirurg 104: 530–535

Bachelier F, Steimer O, Kohn D, Dienst M (2007) Arthroskopie des Hüftgelenks. OP-Journal 23:22-28

Barden B, Kröger K, Löer F (2001) Intraoperative Dopplersonographie der V. femoralis zur Aufrechterhaltung des venösen Abflusses in der Hüftendoprothetik. Unfallchirurg104:138-142Barnes JT, Brown JT, Garden RS, Nicoll EA (1976) Subcapital fractures of the femur; a prospective review. J Bone Joint Surg Br 58:2–24

Barthel S, Grass R, Biewener A, Zwipp H (2001) Klinische Ergebnisse operativ versorgter distaler Femurfrakturen mittels distalem Femurnagel. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S (1990) Operative Zugangswege in Orthopädie und Traumatologie, 2. Aufl. Thieme, Stuttgart

Becker C, Gebhard F, Fleischer S et al. (2003) Prädiktion von Mortalität und soziofunktionellen Einschränkungen nach proximalen Femurfrakturen bei nicht institutionalisierten Senioren. Unfallchirurg 106:32-38

Bergmann G, Rohlmann A, Graichen F (1989) In vivo Messung der Hüftgelenkbelastung. Erster Teil: Krankengymnastik. Z Orthop 127: 672–679

Bernstein I, Geks J, Walthers EM, Schnabel M (2004) Aneurysma spurium und verzögerte Blutungskomplikation durch ein sekundär dislozierte Trochanter-minor-Fragment bei pertrochantärer Femurfraktur. Unfallchirurg 107: 1192–1195

Berry DJ (1999) Epidemiology: hip and knee. Orthop Clin North Am 30: 183–190

Bhandari M (2003) Ipsilateral femoral neck and shaft fractures. J Orthop Trauma 17: 138–140

Biber R, Stedtfeld H-W (2007) Behandlung metaphysärer Femurpseudarthrosen durch Retrogradnagelung. Unfallchirurg 110: 780–783

Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R (1989) Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. J Bone Joint Surg Am 71: 336–340

Bonnaire F, Jaminet P, Lein T, Hohaus T (2007) Mediale Schenkelhalsfraktur des biologisch jungen 60-Jährigen. Osteosynthese versus Prothese. Trauma Berufskrankh [Suppl 1]9:5-12

Bonnaire F, Kuner EH, Lorz W (1995) Schenkelhalsfrakturen beim Erwachsenen: Gelenkerhaltende Operation. Die Bedeuthung des Operationszeitpunkts und des Implantats für die Genese der aseptischen Hüftkopfnekrose. Unfallchirurg 98: 259–264

Bonnaire F, Kuner EH, Steinemann S (1991) Experimentelle Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten am koxalen Femurende nach Montage und Entfernung von DHS-Implantaten am nicht frakturierten Leichenfemur. Unfallchirurg 94: 366–371

Bonnaire F, Muller B (2001) Mediale Schenkelhalsfrakturen im Erwachsenenalter und Osteosynthese mit der dynamischen Hüftschraube (DHS). Operat Orthop Traumatol 13: 121–134

Breusch SJ, Aldinger PR, Thomsen M, Ewerbeck V, Lukoschek M (2000) Verankerungsprinzipien in der Hüftendoprothetik Teil I:Prothesenstiel. Unfallchirurg 103: 918–931

Breusch SJ, Ewerbeck V, Lukoschek M (1999) Einflußfaktoren auf die Langlebigkeit des zementierten Hüftendoprothesenschaftes, Aktuelle Traumatol 29: 183–192

Breusch SL, Reizel T, Schneider U, Volkmann M, Ewerbeck V, Lukoschek M (2000) Zementierte Hüftendoprothetik: Verminderung des Fettembolierisikos in der zementierten Hüftendoprothetik mittels gepulster Druckspülung. Z Orthopädie 29: 260–270

Brooker AF, Bowermann JW, Robinson RA, Riley LH (1973) Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. J Bone Joint Surg Am 55: 1629–1632

Brumback RJ, Toal TR Jr, Murphy-Zane MS et al (1999) Immediate weight-bearing after treatment of a comminuted fracture of the femoral shaft with a statically locked intramedullary nail. J Bone Joint Surg Am 81: 1538–1544

Buhl K, Du Bois YD, Lamadé W, Meeder P-J (2000) Der lange Gammanagel – Indiaktion, Technik und Ergebnisse. Chirurg 71: 1107–1114

Canadian Orthopaedic Trauma Society (2003) Nonunion following intramedullary nailing of the femur with and without reaming. Results of a multicenter randomized clinical trial. J Bone Joint Surg Am 85: 2093-2096

Chilov MN, Cameron ID, March LN (2003) Evidence-based guidelines for fixing broken hips: an update. MJA 179: 489-493

Diamond PT, Conaway MR, Mody SH, Bhirangi K (2006) Influence of haemoglobin levels on inpatient rehabilitation outcomes after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 21: 636-641

Dickson KF, Galland MW, Barrack RL et al (2002) Manetic resonance imaging of the knee after ipsilateral femur fracture. J Orthop Trauma 16: 567-571

Dienst M, Godde S, Seil R, Hammer D, Kohn D (2001) Hip arthroscopy without traction: In vivo anatomy of the peripheral hip joint cavity. Arthroscopy 17: 924-931

Eisenschenk A, Lautenbach M, Schwetlick G, Weber U (2001) Treatment of femoral head necrosis with vascularized iliac crest transplants. Clin Orthop 386: 100–105

Elke R (2001) Partikelkrankheit: Ist die Tribologie ein Thema in der Revisionschirurgie? Orthopäde 30: 258–265

Engh CA Jr, McAuley JP, Sychterz CJ, Sacco ME, Engh CA Sr (2000) The accuracy and reproducibility of radiographic assessment of stress-shielding. A postmortem analysis. J Bone Joint Surg Am 82: 1414–1420

Evans ER (1949) The treatment of trochanteric fracture of the femur. J Bone Surg Br 31: 190–196

Ewerbeck V (2000 a) Implantationstechniken Pfanne – Stiel – Schaft. Vortrag und Workshop auf der Fortbildungsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) vom 30.09. bis 03.10.2000 in Ofterschwang (Allgäu)

Ewerbeck V (2000 b) Verankerungsprinzipien in der Hüftendoprothetik, Teil I: Prothesenstiel. Unfallchirurg 103: 918–927

Faschingbauer M, Pingen O, Jürgens C, Wolter D (2005) Erfahrungen mit winkelstabilen Plattensystemen bei periprothetischen Frakturen. Trauma Berufskrankh 7[Suppl 1]: S33-S38

Faure C, Merlozc P (1987) Transfixation. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Frandsen PA, Andersen E, Madsen F, Skjodt T (1988) Garden's classification of femoral neck fractures. J Bone Joint Surg Br 70: 588-590

Friemert B, Keppler P, von Lübken F, Willy C, Wörz D, Claes L, Gerngroß H (2005) Ein neues retrogrades Femurmarknagelsystem mit durchleuchtungsfreier proximaler Verriegelung. Unfallchirurg 105: 189-199

Ganz R (2005) Bewegung als Initiator der Koxarthroseentstehung. Unfallchirurg 108: 7-8
Ganz R, Bamert P, Hausner P, Isler B, Vrevc F (1991) Zervikoacetabuläres Impingement nach Schenkelhalsfraktur. Unfallchirurg 94: 172-175
Ganz R, Gill TJ, Gautier E, Ganz K, Krugel N, Berlemann U (2001) Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. J Bone Joint Surg 83-B: 1119–1124
Ganz R; Strehl A (2005) Ventrales femoroacetabuläres Impingement nach geheilter Schenkelhalsfraktur. Unfallchirurg 108:263-273
Garden RS (1961) Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. J Bone Joint Surg 43-B: 647–656
Garland DE, Orwin JH (1989) Resection of heterotopic ossification in patients with spinal cord injuries. Clin Orthop Relat Res 242: 169–176
Gie GA, Linder L, Ling RSM, Simon J-P, Slooff TJJH, Timperley AJ (1993 a) Impacted cancellous allografts and cement for revision total hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 75: 14–21
Gie GA, Ling RSM, Timperley AJ (1993 b) Impacted cancellous allografts and cement for revision total hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 75: 14–21
Grifka J, Kuster M (2011) Orthopädie und Unfallchirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Gruner A, Hockertz T, Reilmann H (2004) Die periprothetische Fraktur – Klassifikation, Management, Therapie. Unfallchirurg 107: 35–49
Heinzmann J, Pohlemann T (2008) Sportverletzungen an Hüfte und Becken. OP-Journal 24: 88–94
Heppert V, Kessler T, Malze K, Wentzensen A (2000) Vastus-lateralis-Lappen – Ein ideales Verfahren zur definitiven Sanierung von Infekthöhlen an der Hüfte. Unfallchirurg 103: 938–944
Hermichen HG (2001) Anmerkung zum Beitrag von A. Siegel et al. »Tödliche Beckenverletzung durch Führungsdraht bei Anwendung der dynamischen Hüftschraube (DHS)«. Unfallchirurg 104: 677
Hertel V, Gonschorek O, Schütz L, Josten C (2001) Der Einsatz des LISS bei der Versorgung von periprothetischen Frakturen des distalen Femur. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November
Herzog R, Morscher E (1995) Die Behandlung der infizierten Totalprothesenarthroplastik des Hüftgelenks. Orthopäde 24: 326-334
Hoffmann R, Haas N (2000) Femur: Proximal. In: Rüedi TP, Murphy WM (eds) AO Principles of Fracture Management. Thieme, Stuttgart New York, S 441–455
Holmenschlager F, Piatek S, Halm JP, Winckler S (2002) Retrograde intramedullary nailing of femoral shaft fractures. A prospectiv study. Unfallchirurg 105: 1100–1108
Holz U (2000) Prothesenverankerung Pfanne. Vortrag und Workshop auf der Fortbildungsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) vom 30.09. bis 03.10.2000 in Ofterschwang (Allgäu)
Jaarsma RL, van Kampen A (2004) Rotational malalignment after fractures of the femur. J Bone Joint Surg Br 86: 1100–1104
Jäger H (1994) Safe bloodtransfusions in developing countries. In: Strecker W, Kinzl L (Hrsg) Tropenchirurgie II, Hefte zu »Der Unfallchirurg« 242: 55–60
Jerosch J, Heisel J (2010) Perioperatives Management beim endoprothetischen Hüftgelenkersatz, Unfallchirurg 113: 6–13
Josten C (2003) Präoperative Frakturanalyse zur Osteosyntheseplanung. Vortrag am 16. Bochum-Treff, 31.01.–01.02.2003
Josten C, Korner J (1999) Verletzungen des Hüftgelenks und des proximalen Femurs. In: W Mutschler, NP Haas (Hrsg) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart New York, S 406–411
Kälicke T, Wick M, Frangen TM, Muhr G, Seybold D (2005) Iliopsoastendinitis – seltene Schmerzursache nach Implantation einer Hüfttotalendoprothese. Unfallchirurg 108: 1078–1082
Karich B (2003) Probleme mit dem γ-Nagel – Optimierungsmöglichkeiten. Trauma Berufskrankh 5 [Suppl 2]: S175-S183
Kelley SS (1994) Periprosthetic femur fractures. J Am Acad Orthop Surg 2: 164–172
Kenzora J, Magaziner J, Hudson J et al. (1998) Outcome after hemiarthroplasty for femoral neck fractures. Clin Orthop 348: 51–58
Kerschbaumer F, Kerschbaumer G, Deghani F (2007) Ist der dorsale zugang mit einer erhöhten Luxationsrate nach Hüfttotalendoprothese behaftet? Der Orthopäde 36: 928–934
Kinzl L (2000) Femur: Distal. In: Rüedi TP, Murphy WM (eds) AO Principles of Fracture Management. Thieme, Stuttgart New York, S 469–480
Kirschner P (2000) Prothesenverankerung Stiel. Vortrag und Workshop auf der Fortbildungsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) vom 30.09. bis 03.10.2000 in Ofterschwang (Allgäu)
Kladny B, Nerlich M (1991) Das Kompartmentsyndrom am Oberschenkel. Unfallchirurg 94: 249–253
Klingele 2002, Sallay 2002) Surgical repair of complete proximal harmsting tendon rupture. Am J Sports Med 30(5): 742–747
Konishi Y, Fukubayashi T, Takeshita D (2002) Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. Med Sci Sports Exerc 9: 1414–1418
Koval KJ, Seligson D, Rosen H, Fee K (1995) Distal femoral nonunion: Treatment with a retrograde inserted locked intramedullary nail. J Orthop Trauma 9: 285-291
Koval KJ, Friend KD, Aharonoff GB, Zuckermann JD (1996a) Weight bearing after hip fractures: a prospective series of 596 geriatric hip fracture patients. J Orthop Trauma 10: 526–530
Koval KJ, Skovron ML, Polatsch D, Aharonoff GB, Zuckermann JD (1996b) Dependency after hip fracture in geriatric patients: a study of predictive factors. J Orthop Trauma 10: 531–535
Krettek C, Schulte-Eistrup S, Schandelmaier P, Rudolf J, Tscherne H (1994) Osteosynthese von Femurschaftfrakturen mit dem unaufgebohrten AO-Femurnagel (UFN). Operative Technik und erste klinische Ergebnisse mit Standardverriegelung. Unfallchirurg 97: 549–567
Kuner EH, Lorz W, Bonnaire F (1995) Schenkelhalsfrakturen beim Erwachsenen: gelenkerhaltende Operationen I. Ergebnisse der AO-Sammelstudie mit 238 Patienten. Unfallchirurg 98:251–258
Kusma M, Bachelier F, Kohn D, Dienst M (2008) Operative Arthroskopie des Hüftgelenks. Technik und Indikationen. Trauma Berufskrankh 10(3): 357–365
Lavigne M, Parvizi J, Beck M, Siebenrock KA, Ganz R, Leunig M (2004) Anterior femoroacetabular impingement: part I. techniques of joint preserving surgery. Clin Orthop 418: 61–66
Lederer S, Tauber M, Karpik S, Bogner R, Auffarth A, Resch H (2007) Hüftkopffrakturen. Eine Multizenterstudie. Unfallchirurg 110: 513–520
Lee S, Ueng S, Shih C (1996) Vastus lateralis flap for chronic recalcitrant hip infection. Internat Orthop (Sicot) 20: 373–377
Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie aus dem Internet: www.dgu-online.de
Leung KS, Ko PS (2001) Musculoskeletal trauma, vol 1. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Leunig M, Ganz R (2005) Femoroacetabuläres Impingement. Häufige Ursache von zur Arthrose führenden Hüftbeschwerden. Unfallchirurg 108: 9–17
Levin P (1992) Hip dislocations. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG (eds) Skeletal trauma. WB Saunders, Philadelphia, pp 1329–1367
Ling RSM, Timperley AJ, Linder L (1993) Histology of cancellous impaction grafting in the femur. J Bone Joint Surg Br 75: 693–696
Lögters T, Windolf J, Flohé S (2009) Femurschaftfrakturen, Unfallchirurg 112: 635–651
Lustenberger A, Bekic J, Ganz R (1995) Rotationsstabilität trochanterer Femurfrakturen fixiert mit der DHS. Unfallchirurg 98: 514–517
Lu-Yao GL, Keller RB, Littenberg BJ, Wennberg JE (1994) Outcomes after displaced fractures of the femoral neck. A meta-analysis of 106 published reports. J Bone Joint Surg Am 76: 15–25
Mandrella B (2002) Die konservative behandlung von Oberschenkelbrüchen mit dem Verfahren nach Perkins. Unfallchirurg 105: 923–931
Mazoochian F, Pietschmann MF, Hocke S, Fottner A, Schulze-Pellengahr C v, Jansson V (2007) Hüftluxation nach Hüftgelenktotalendoprothesenimplantation. Der Orthopäde 36: 935–943
Meyer JD, Plötz W, Tillmann K, Russlies M (2002) Iliopsoaskontaktphänomen nach zementfreier Hüfttotalendoprothese. Orthopäde 31: 213–216
Moed BR, Maxey JW (1993) Evaluation of fractures of the femoral head using the CT-directed pelvic oblique radiograph. Clin Orthop 296: 161–167
Müller C, McIff T, Rahn BA, Pfister U, Perren SM, Weller S (1995) Einfluß der Vorschubkraft auf die intramedulläre Druckentwicklung beim Aufbohren der femoralen Markhöhle. Injury 24 Suppl 3: 36–39

Müller CH, Rahn BA, Pfister U (1992) Fettembolie und Fraktur, eine Literaturübersicht. Aktuelle Traumatol 22: 104–113
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese, 3. Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York
Müller M, Tohtz S, Dewey M, Springer I, Perka C (2009) Einfluss des operatioven Zugangswegs in der Hüftendoprothetik auf das periartikuläre Weichteiltrauma: Transglutealer Zuugang versus anteriolateraler minimalinvasiver Zugang. Vortrag auf dem Deutschen Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, 21.-24. Oktober 2009, Berlin
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H et al. (1992) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller M, Seitz A, Besch L, Hilgert RE, Seekamp A (2008) Versorgung pertrochantärer Femurfrakturen – Vergleichende Analyse mit PFN vs. TGN. Unfallchirurg 111: 71–78
Müller-Mai C, Ekkernkamp A (2010) Frakturen. Klassifikation und Behandlungsmethoden. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Muhr G (2003) Disskussionsbeitrag am 16. Bochum-Treff, 31.01.–01.02.2003
Mutschler W (1996) Epimetaphysäre PSeudarthrosen, Orthopäde 25: 429–434
Mutschler W, Haas N (Hrsg) (1999) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart
Neubauer T, Reichel M, Wagner M (1995) Sportverletzungen. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg) Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München, S 161–168
Nothofer W, Dannheuser J, Neugebauer R (2001) Periprothetische Frakturen nach Knieendoprothesen. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November
Ochs U, Krackhardt T (2002) Osteosynthesen bei pertrochanteren Femurfrakturen. Trauma Berufskrankh 4: 456–460
Özkir S, Droste P, Echtermeyer V (2007) Wann wird zementiert? Trauma Berufskrankh 9[Suppl 3]: S351–S358
Orozco R, Sales JM, Videla M (2000) Atlas of internal fixation. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Papasimos S, Koutsojannis CM, Panagopoulos A et al. (2005) A randomised comparison of AMBI, TGN and PFN for treatment of unstable trochanteric fractures. Arch Orthop Trauma Surg 125: 462–468
Parker MJ, Blundell C (1998) Choice of implant for internal fixation of femoral neck fractures. Acta Orthop Scand 69: 138–143
Parker MJ, Raghaven R, Gurusamy K (2007) Incidence of fracture-healing complications after femoral neck fractures. Clin Orthop Relat Res 458: 175–179
Parker MJ, Roberts CP, Hay D (2004) Closed suction drainage for hip and jnee arthroplasty. A metaanalysis. J Bone Joint Surg [Am]86-A: 1146–1152
Parvizi J, Ereth MH, Lewallen DG (1999) Sudden death during primary hip arthroplasty. Clin Orthop 369: 39–48
Pauschert R, Diehm C, Stammler F (1998) Leitlinien zur Thromboseprophylaxe in der Orthopädie. Z Orthop 136: 471–479
Pauwels F (1935) Der Schenkelhalsbruch. Ein mechanisches Problem. Beilageheft. Z Orthop CChir 63: 1–138
Pauwels F (1976) Biomechanics of the normal and diseased hip. Springer, New York
Penzkofer J, Mendel T, Bauer C, Brehme K (2009) Ergebnisse bei der Versorgung per- und subtrochanterer Femurfrakturen. Unfallchirurg 112: 699–705
Perkins G (1958) Fractures and Dislocations. Athlone Press, London
Pettiti DM, Sidney S (1985) Hip fracture in women. Incidence in hospital mortality and five-year survival probability in members of a prepaid health plan. Clin Orthop 246: 150–155
Pfeifer M, Wittenberg R, Würtz R, Minne HW (2001) Schenkelhalsfrakturen in Deutschland. Dtsch. Ärztebl 98: 1751–175
Pipkin G (1957) Treatment of grade IV fracture-dislocation of the hip. J Bone Joint Surg Am 39: 1027–1042
Pressmar J, Macholz F, Merkert W, Gebhard F, Liener UC (2010) Ergebnisse und Komplikationen der Behandllung peroprothetischer Femurfrakturen mit einem winkelstabilen Plattensystem. Unfallchirurg 113: 195–202
Probst A, Schneider T, Hankemeier S, Brug E (2003) Der Prothesennagel – primär belastungsstabiles Implantat bei peri- und subprothetischen Frakturen des Femurs. Unfallchirurg 106: 722–731
Puhl W (2000) Diskussionsbeitrag auf der Fortbildungsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) vom 30.09. bis 03.10.2000 in Ofterschwang (Allgäu)
Radmer S, Andresen R, Sparmann M (2009) Mittelfristige Ergebnisse des totalendoprothetischen, minimal-invasiven Hüftgelenkersatzes bei 1.000 Patienten. Vortrag auf dem Deutschen Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, 21.-24. Oktober 2009, Berlin
Regauer M, Kettler M, Schieker M, Kanz KG, Mutschler W 2005 Komplette Ruptur der proximalen Semimembranosussehne. Unfallchirurg 108: 1072–1077
Riedl J, Huber B, Benedetto K.P, Stockinger C (1993) Komplikationen der Plattenosteosynthese von Oberschenkelfrakturen. Unfallchirurgie 19: 89–97
Robinson CM, Saran SD, Annan ICH (1994) Intracapsular hip fractures. Results of management adopting a treatment protocol. Clin Orthop 302: 83–91
Rommelmann R (2007) Kompression des Nervus femoralis durch ein sekundär dislozierten Trochanter-minor-Fragment bei pertrochanterer Femurfraktur. Unfallchirurg 110: 645–647
Rupprecht M, Großterlinden L, Barvencik F, Gebauer M, Briem D, Rueger JM, Lehmann W (2008) Periprothetische Femurfrakturen. Langzeitergebnisse nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung. Unfallchirurg 111: 812–820
Sachse D, Bludau F, Obertacke U (2010) Schenkelhalsfrakturen bei jüngeren Patienten (15-50 Jahre), Unfallchirurg 113: 69–74
Sallay P, Friedman R, Coogan P, Garrett W (1996) Harmstirng muscle injuries among water skiers. Functional outcome and prevention. Am J Sports Med 24(2): 130–136
Schandelmaier P, Stephan C, Krettek C, Tscherne H (2000) Distale Femurfrakturen. Unfallchirurg 103: 428–436
Schatzker J (1996) Sucapital and intertrochanteric fractures. In: Schatzker J, Tile M (eds) The rationale of operative fracture care, 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Schauwecker F (1981) Osteosynthesepraxis, 2. Aufl. Thieme, Stuttgart New York
Schiebler TH, Schmidt W (1991) Anatomie, 5. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Schippinger G, Fellinger M, Wildburger R, Hofer H.P (1992) Die Versorgung der Schenkelhalsfraktur im höheren Lebensalter mittels Kopfprothese. Unfallchirurg 95: 506–510
Schmal H, Strohm PC, Mehlhorn AT, Hauschild O, Südkamp NP (2008) Management von Kombinationsfrakturen des Femurschafts und des proximalen Femurs. Unfallchirurg 111: 886–891
Schmeling A, Ito K, Wieling R, Kääb M, Schütz M (2001) Neue Konzepte der Frakturstabilisierung: Vergleich von Fixateur intern, unaufgebohrter Marknagelung und konventioneller Plattenosteosynthese im Tierexperiment am Schaf. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November
Schmidt J, Reichold H-H, Kammerer V (1991) Die dynamische Hüftschraube bei der medialen Schenkelhalsfraktur. Aktuelle Traumatol 21: 234–236
Schulze Raestrup U, Grams A, Smektala R (2008) Leitlinienkonforme Versorgung hüftgelenknahe Fraktur. Unfallchirurg 111: 65–70
Seekamp A (2009) Fraktur am proximalen Femur. Trauma Berufskrankh 11[Supp 1]: 107–111
Sennerich T, Sutter P, Ritter G, Zapf S (1992) Computertomographische Kontrolle des Antetorsionswinkels nach Oberschenkelschaftfrakturen des Erwachsenen. Unfallchirurg 95: 301–305
Siebenrock KA, Schoeninger R, Ganz R (2003) Anterior femoro-acetabular impingement due to acetabular retroversion. Treatment with periacetabular osteotomy. J Bone Joint Surg 85-A: 275–286
Siebold R, Scheller G, Schreiner U, Jani L (2001) Langzeitergebnisse mit dem zementfreien CLS-Schaft von Spotorno. Orthopäde 5: 317–322
Siegel A, Schulz F, Püschel K (2001) Tödliche Beckenvenenverletzung durch Führungsdraht bei Anwendung der dynamischen Hüftschraube (DHS). Unfallchirurg 104: 182–186
Siegmeth A, Menth-Chiari W, Wozasek GE et al. (1998) Die periprothetische Femurfraktur. Indikationen und Ergebnisse bei 51 Patienten. Unfallchirurg 101: 901–906

Simanski C, Bouillon B, Lefering R, Zumsande N, Tiling T (2002) Welche Prognosefaktoren korrelieren mit der Alltagsaktivität (Barthel-Index) ein Jahr nach hüftgelenksnaher Fraktur? Unfallchirurg 105: 99–107

Singh M, Nagrath AR, Maini PS (1970) Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. J Bone Joint Surg Am 52: 457–467

Slooff TJJH, Huiskes R, van Horn J, Lemmens AJ (1984) Bone grafting in total hip replacement for acetabular protrusion. Acta Orthop Scand 55: 593–596

Smektala R, Hahn S, Schräder P, Bonnaire F, Schulze Raestrup U, Siebert H, Fischer B, Boy O (2010) Mediale Schenkelhalsfraktur: Einfluss des Versorgungszeitpunkts auf die Ergebnisqualität. Ergebnisse der Adten der externen stationären Qualitätssicherung im Rahmen sekundärer Datennutzung. Unfallchirurg 113: 287–292

Sochart D (1998) Poor results following internal fixation of displaced subcapital femoral fractures: complacency in fracture reduction. Arch Orthop Trauma Surg 117: 379–382

Statistisches Bundesamt Wiesbaden (1996) Jahrestabellen 1993-1996

Stephen DJ, Kreder HJ, Schemitsch EH et al (2002) Femoral intramedullary nailing: comparison of fracturetable and manual traction. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am 84: 1514–1521

Strecker W, Fleischmann W, Beyer M, Kinzl L (1994) Indikationen zur operativen Frakturenbehandlung in tropischen Ländern. In: Strecker W, Kinzl L (Hrsg) Tropenchirurgie II, Hefte zu »Der Unfallchirurg« 242: 65–74

Stürmer KM (1995) Intramedulläre Druckmessung im Tierexperiment und Vorschläge zur Reduzierung des Druckanstiegs. Injury 24 Suppl 3: 7–21

Stürmer KM (2003) Knochendurchblutung und die Frakturstabilität, die Voraussetzungen zur Heilung. Vortrag am 16. Bochum-Treff, 31.01.–01.02.2003

Su ET, DeVal H, DiCesare PE (2004) Periprosthetic femur fractures above total knee srthroplasties. J Am Acad Orthop Surg 12: 12–20

Swiontkowski MF, Hansen ST, Kellam J (1984) Ipsilateral fractures of the femur neck and shaft. A treatment protocol. J Bone and Joint Surg Am 66: 260–268

Tauber G, Winter E, Weise K (2002) Periprothetische Femurfrakturen bei einliegender Hüfttotalendoprothese. Trauma Berufskrankh 4: 255–259

Tinetti ME, Williams TF, Mayewski R (1986) Fall risk index of elderly patients based on number of chronic disabilities. Am J Med 80: 429–434

Tornetta P 3rd, Tiburzi D (2000) Antegrade or retrograde reamed femoral reamed nailing. A prospective, rendomized trial. J Bone Joint Surg Br 82: 652–654

Upadhyay A, Jain P, Mishra P et al (2004) delayed internal fixation of fractures of the neck of the femur in young adults. A prospective, randomised study comparing closed and open rduction. J Bone Joint Surg [Br]86: 1035–1040

Visna P, Beitl E, Hart R, Cizmar I, Pilny J, Smidl Z (2008) Versorgung der Schenkelhalsfrakturen mit einem biaxialen proximalen Femurnagel. Unfallchirurg 111: 289–298

Wagner H, Wagner M (2000) Cone prothesis for the hip joint. Arch Orthop Trauma Surg 120: 88–95

Wagner R, Weckbach A (1994) Komplikationen nach Plattenosteosynthese am Femurschaft. Unfallchirurg 97: 139–143

Wagner R, Blattert TR, Weißer h, Weckbach A (2001) Die retrograde Nagelung bei intraartikulärer, distaler Femurfraktur. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November

Weiss RJ, Montgomery SM, Al Dabbagh Z, Jansson KA (2009) National data of 6409 Swedish inpatients with femoral shaft fractures: Stable incidence between 1998 and 2004, Injury 40: 304–308

Weller S (1995) Die Marknagel-Osteosynthese. Einleitung, allgemeiner historischer Überblick und derzeitiger Stand. Injury 24 Suppl 3: 1–6

Wenda K, Ritter G, Ahlers J, von Issendorf WD (1990) Nachweis und Effekte von Knochenmarkeinschwemmungen bei Operationen im Bereich der Femurhöhle. Unfallchirurg 93: 56–61

Wenzl ME, Fuchs S, Kranz HW, Jürgens C (2001) Plattenosteosynthese am distalen Femur – wenn dann winkelstabil. Vortrag auf der 65. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin, 14.–17. November

Werner-Tutschku W, Lajtai G, Schmiedhuber G et al. (2002) Intra- und perioperative Komplikationen bei der Stabilisierung von per- und subtrochanteren Femurfrakturen mittels PFN. Unfallchirurg 105: 881–885

Wirbel R, Mutschler W (1999) Verletzungen des Femurschaftes und des distalen Femurs. In: Mutschler W, Haas NP (Hrsg) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart, 426–455

Wissing H, Peterson T, Doht A (1996) Risiko und Prognose hüftgelenknaher Frakturen. Ein Vergleich der Behandlungsergebnisse von Schenkelhals- und pertrochanteren Femurfrakturen. Unfallchirurg 22: 74–84

Knie und Unterschenkel

B. Weigel, J. Zellner, P. Angele

10.1 Basiswissen – 588
10.2 Kniegelenk – 591
10.3 Spezielle Verfahren – 639
10.4 Unterschenkel – 651
Literatur – 686

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_10,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

10.1 Basiswissen

10.1.1 Anatomie

Kniegelenk

Das Kniegelenk besteht aus 3 knöchernen Gelenkpartnern, den Femurkondylen, dem Tibiakopf und der Patella. Letztere ist als Sesambein in den Streckapparat eingeschlossen. Sie verhindert, dass die Sehne an den Kondylen durchgescheuert wird. Außerdem verlagert sie den Streckapparat um 2–3 cm vom Drehzentrum des Kniegelenks nach außen. Dadurch entsteht eine Hebelwirkung, welche die Kraft bei der endgradigen Streckung ganz erheblich verstärkt.

Der Streckapparat besteht aus der Quadrizepssehne, den Retinacula mediale und laterale sowie dem Ligamentum patellae, das von der Kniescheibenspitze zum Schienbeinkopf zieht.

Vor den Kondylen liegt die knorpelige Facies patellaris; sie bildet die Gleitfläche für die Kniescheibenrückfläche. Die Kreuzbänder entspringen in der Kuppel der Notch und setzen im Zentrum der tibialen Gelenkfläche, der Eminentia intercondylaris an. Die Ebene der Gelenkfläche ist um 7–14° nach hinten geneigt (Retroversio tibiae/tibialer slope).

Gelenkknorpel

Der hyaline Gelenkknorpel ist eine hoch organisierte und komplexe Struktur. Nach biomechanischen Gesichtspunkten wurde von Mow und Mitarbeitern (1984) folgende grobe Unterteilung der Knorpelbestandteile beschrieben:

- flüssige Phase (aus Wasser und Elektrolyten),
- feste Phase (aus Kollagen, Proteoglykanen und anderen Glykoproteinen).

Durch den engen Raum zwischen hoch-negativ geladenen Anteilen der festen Phase (Keratansulfat, Chondroitinsulfat, Hyaluronsäure) wird ein osmotischer Druck (Bindung der flüssigen Phase) aufgebaut, der für die guten kompressiven Eigenschaften des Gelenkknorpels verantwortlich ist: Bei Kompression fließt interstitielle Flüssigkeit aus der Kollagen-Proteoglykan-Matrix aus. Nach Druckentlastung strömt die Flüssigkeit wieder in das Gewebe zurück. Die niedrige Permeabilität des hyalinen Gelenkknorpels verhindert hierbei ein schnelles Ausfließen der Flüssigkeit und gewährleistet damit eine Protektion der soliden Phase gegen hohe Belastung (Mow et al. 1992).

Neben der beschriebenen Schutzfunktion kommt dem ständigen Austausch an flüssiger Phase auch einer Ernährungsfunktion zu, da hiermit Nährstoffe aus der synovialen Flüssigkeit in den avaskulären Gelenkknorpel gelangen sowie Abfallprodukte aus dem Knorpel entsorgt werden können (Mow u. Rosenwasser 1988).

Die Antwort von Gelenkknorpel auf eine Verletzung weicht deutlich von den gewöhnlichen Phasen der Gewebeheilung (Nekrosephase, Entzündungsphase, Wiederherstellungsphase) ab. Aufgrund seiner Avaskularität ist die Einwanderung von Entzündungszellen und reparativem Gewebe in den Gelenkknorpeldefekt nicht möglich (Mankin 1982). Zudem wird eine lokale Geweberegenerierung aus dem angrenzenden gesunden Knorpel verhindert. Durch zelluläre Fixierung der Chondrozyten in der Knorpelmatrix kann keine Migration in das Defektareal erfolgen.

Diese begrenzte Reparaturfähigkeit von Gelenkknorpeldefekten verändert sich jedoch, wenn durch die Verletzung die subchondrale Knochenlamelle durchbrochen wurde. Hierdurch wird eine Verbindung zum hoch vaskularisierten Knochen geschaffen. Von dort wird der Knorpeldefekt mit fibrösem, biomechanisch allerdings minderwertigem Ersatzknorpel aufgefüllt.

Menisken

Die Menisken bestehen aus Faserknorpel. Sie können Scher- und Translationsbewegungen abfangen und erhöhen die Stabilität des Kniegelenks. Sie sind bikonkave Scheiben, die an ihrer gelenkkapselnahen Basis etwa 1,5 cm stark sind und sich zum Gelenkzentrum hin verjüngen, sodass ihr Querschnitt ein keilförmiges Profil ergibt. Die Oberfläche der Menisken ist konkav ausgemuldet, korrespondierend zur konvexen Form der Femurkondylen. Die Unterfläche liegt am Tibiaplateau auf und ist etwas flacher (Abb. 10.1).

Der C-förmige Innenmeniskus ist im Vorderhornbereich, in der vorderen interkondylären Fossa, direkt anterior der Insertion des vorderen Kreuzbandes am Tibiaplateau verankert, im Hinterhornbereich in der interkondylären Fossa zwischen der Insertion des hinteren Kreuzbandes und der Aufhängung des Außenmeniskus (Abb. 10.1). Die Peripherie des Innenmeniskus ist mit der medialen Gelenkkapsel verbunden. Die Pars intermedia ist über ligamentäre Fasern mit dem tiefen Anteil des Innenbandes verbunden (Arnoczky 1992).

Der Außenmeniskus ist von nahezu ringförmiger Gestalt und bedeckt einen größeren Teil der tibialen Knorpeloberfläche als der Innenmeniskus. Sein Vorderhorn ist an der Eminentia tibiae, direkt hinter der Insertion des vorderen Kreuzbandes, verankert, sein Hinterhorn vor dem des Innenmeniskus auf dem Tibiaplateau. Der Außenmeniskus hat zudem variabel ausgebildete femorale Befestigungen: die vorderen und hinteren meniskofemoralen Ligamente, die so genannten Humphrey- und Wrisberg-Ligamente. Darüber hinaus sind beide Menisken im Vorderhornbereich über das transversale Ligament miteinander verbunden (Abb. 10.1). Der Außenmeniskus hat keine Verbindung mit dem Kollateralband.

Histologisch bestehen die Menisken aus Kollagenfasern zumeist vom Typ I, die besonders in der Peripherie längs verlaufend angeordnet sind. Durch wenige radiär und quer verlaufende Fasern zur zentralen freien Spitze des Meniskus wird die strukturelle Rigidität der Menisken verstärkt.

Basierend auf intravaskulären Farbstoffinjektionen konnten Arnoczky u. Warren (1982) zeigen, dass der arterielle Blutzufluss zu den Menisken aus den oberen und unteren Ästen der lateralen und medialen Aa. geniculares entstammt. Diese Gefäße

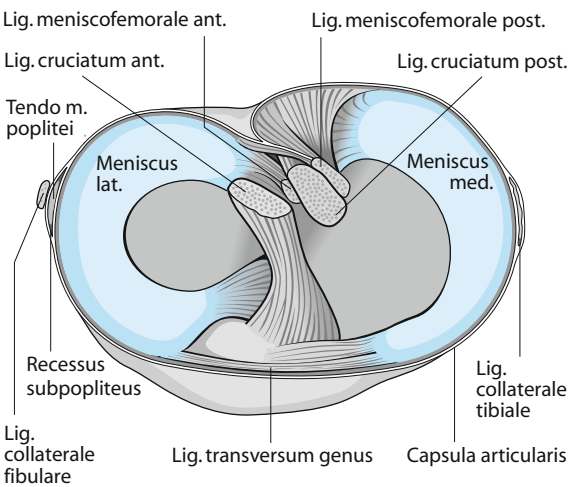


Abb. 10.1 Horizontalschnitt des Kniegelenks proximal der Meniskusebene

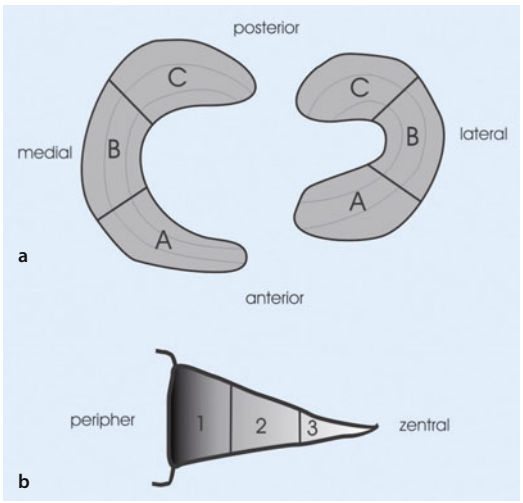
vereinigen sich an der Basis der Menisken zu einem perimeniskalen kapillären Plexus. Kleinere radiäre Äste versorgen 20–30% der basisnahen Gesamtmasse des Innenmeniskus und 10–25% des Außenmeniskus. Die zentralen Anteile der Menisken sind avaskulär. Hier erfolgt der Stoffwechsel durch Diffusion mit der Synovialflüssigkeit.

Meniskuseinrisse in der gut durchbluteten peripheren Zone, der rot-roten Zone, eignen sich für eine Refixation, nicht dagegen solche in der avaskulären zentralen, der weiß-weißen Zone. In der mittleren oder rot-weißen Zone ist eine Heilung möglich (Abb. 10.2).

Die Menisken tragen in vielfältiger Art und Weise zu einer normalen Kniefunktion bei. Sie haben Einfluss auf Kraftverteilung, Stoßabsorption, Gelenkstabilität, Gleitfähigkeit, Knorpelernährung und Propriozeption.

Kraftverteilung

Jede Belastung, die auf das Kniegelenk einwirkt, wird von den Menisken und dem Gelenkknorpel gedämpft. Die Menisken schützen hierbei den Gelenkknorpel, indem sie die Gelenkkongruenz erhöhen und damit die einwirkende Kraft auf eine größere Oberfläche verteilen. Gleichzeitig erfolgt eine Umverteilung von axialen Druckkräften in Ringspannung. Durch eine komplette Meniskektomie wird die femorotibiale Kontaktfläche um 30–50% herabgesetzt und damit die lokale Belastung, bezogen auf das gesamte Kniegelenk, um das 2- bis 3-Fache gesteigert, was zu Schäden am Gelenkknorpel führen kann (Paletta et al. 1997).



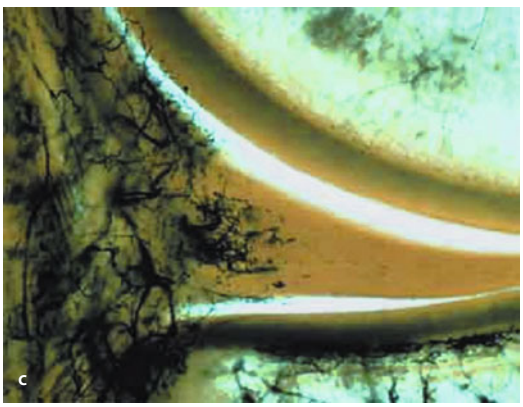


Abb. 10.2a–c Einteilung der Meniskusregionen. **a** In der Draufsicht Vorderhorn (A), Pars intermedia (B), Hinterhorn (C). **b** Im Querschnitt peripheres, vaskularisiertes Drittel (rote Zone 1), mittleres Drittel (rot-weiße Zone 2), zentrales, avaskuläres Drittel (weiße Zone 3). **c** Histologisches Präparat mit kapselnahen Blutgefäßen in der Periphere des Querschnitts. (Aus: Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004)

Stoßabsorption

Die Menisken besitzen aufgrund ihres anatomischen Aufbaus ausgeprägte viskoelastische Eigenschaften. Während der Fortbewegung kann eine Belastung, die auf das Kniegelenk einwirkt, durch Verformung der Menisken absorbiert werden. Durch eine Meniskektomie wird die Stoßabsorption um etwa 20% reduziert (Voloshin u. Wosk 1983).

Gelenkstabilität

Levy und Mitarbeiter (1982) sowie Schoemaker u. Markolf (1986) demonstrierten die Bedeutung der Menisken als sekundäre Stabilisatoren des Kniegelenks. Sie zeigten, dass die anteriore tibiale Translationsbewegung bei Instabilität durch Ruptur des vorderen Kreuzbandes deutlich reduziert ist, wenn der Innenmeniskus intakt ist. Eine Meniskektomie jedoch führt zu einer Vergrößerung der posteroanterioren Translation in 90°-Flexionsstellung um bis zu 58%.

Gleitfähigkeit und Knorpelernährung

Bei der Beugung und Streckung gleiten die Menisken mit und führen die Synovialflüssigkeit mit sich. Dadurch verbessern sie nicht nur die Gleitfähigkeit der Gelenkflächen, sondern auch die Knorpelernährung.

Propriozeption

Menisken enthalten Nervenendigungen, die vermutlich am propriozeptiven Feedback beteiligt sind.

Kreuzbänder

Das **vordere Kreuzband** entspringt an der medialen Seite des lateralen Femurkondylus und setzt am Innenrand des medialen Tibiaplateaus an. Es kann in einen anteromedialen und einen posterolateralen Bandbereich unterteilt werden (Arnoczky 1983). Der größere posterolaterale Anteil spannt sich bei der Streckung des Kniegelenks, während der kleinere anteromediale Bandanteil dies bei Beugung tut. Die Blutversorgung kommt über paraligamentäre Gefäße aus der mittleren A. genicularis. Das Band enthält Mechanorezeptoren, die über den N. tibialis propriozeptive Informationen der aktuellen Gelenkstellung übermitteln und den Muskeltonus steuern (Johansson et al. 1991).

Das **hintere Kreuzband** liegt zwar wie das vordere intraartikulär, aber extrasynovial. Es entspringt halbkreisförmig an der Innenseite des medialen Femurkondylus und inseriert 1 cm distal der Gelenkfläche posterolateral zwischen medialem und lateralem Tibiaplateau. Das Band ist 3–4 cm lang (Harner et al. 1995). Es besteht aus einem kräftigen anterolateralen und einem schwächeren posteromedialen Anteil. Ersterer ist bei Beugung gespannt, letzterer bei Streckung (Race u. Amis 1994).

Die meniskofemoralen Bänder sind variabel ausgebildet. Sie entspringen am Hinterhorn des Außenmeniskus und ziehen zum Ursprung des hinteren Kreuzbandes. Das anteriore meniskofemorale Ligament, oder auch Humphrey-Ligament, verläuft ventral, das posteriore Wrisberg-Ligament dorsal vom hinteren Kreuzband (s. oben). Obwohl der Querdurchmesser dieser Bänder relativ gering ist, tragen sie messbar zur Kniestabilität bei (Kusayama u. Harner 1994).

In biomechanischen Studien konnte gezeigt werden, dass das hintere Kreuzband der primäre Stabilisator des Kniegelenks für eine nach posterior gerichtete Belastung und der sekundäre für eine außenrotatorische ist (Grood et al. 1988, Veltri u. Deng 1995). Eine isolierte Durchtrennung des hinteren Kreuzbands führt zu einer vergrößerten posterioren Translation, aber nur zu einer eher geringeren rotatorischen, medialen und lateralen Instabilität (Fox et al. 1998). Werden die posterolateralen Strukturen zusätzlich durchtrennt, steigt die posteriore, laterale und rotatorische Instabilität bei Außenrotation signifikant.

Streckapparat

Schleimbeutel liegen gewöhnlich über exponierten Knochenbezirken oder zwischen Sehnen- und Bandstrukturen. Sie fungieren als Gleitschicht, welche die Gewebeschichten gegeneinander verschiebbar macht. Vor der Kniescheibe liegt die Bursa praepatellaris, über dem Patellarsehnenursprung die Bursa infrapatellaris, über der Tuberositas tibiae die Bursa subcutanea tuberositatis tibiae.

Der muskuläre Hauptanteil des Kniestreckapparats besteht aus dem Quadrizepskomplex mit den Mm. rectus femoris, vastus medialis, intermedius und lateralis. Die Sehnen dieser Muskeln setzen in unterschiedlichen Winkelgraden an der Patella an oder strahlen zu einem kleinen Prozentsatz in den Reservestreckapparat, die Retinakula, ein.

Über das patellofemorale Gelenk werden enorme Kräfte übertragen. Bei Messungen wurde ermittelt, dass die Maximallasten, denen der Streckapparat ausgesetzt ist, abhängig vom Trainingszustand der Probanden dem 3- bis 7-Fachen des Körpergewichts entsprechen (Huberti et al. 1984). Retropatellar findet sich die dickste Knorpelschicht des gesamten Körpers. Sie beträgt hier 4–5 mm (Kapandji 1985). Beim Streckvorgang wird der Hebelarm des Streckapparats durch die Höhe des Patellaquerschnitts entscheidend vergrößert. Dadurch wird die Kraft, die für eine volle Extension des Knies nötig ist, um 60% gesteigert, was insbesondere für die letzten 15° endgradiger Streckung von entscheidender Bedeutung ist (Lieb u. Perry 1968). Diese Tatsache muss bei der Indikation zur Patellektomie berücksichtigt werden.

Der Reservestreckapparat, der unter Umgehung der Patella direkt an der proximalen Tibia inseriert, wird aus dem Tractus iliotibialis und den Retinakula gebildet. Letztere setzen sich aus den tiefen Anteilen der Fascia lata sowie den aponeurotischen Fasern des M. vastus medialis und lateralis zusammen. Über patellofemorale und patellotibiale Fasern sind diese zudem auf der medialen und lateralen Kniegelenkseite mit Femur, Gelenkkapsel und Tibia verbunden (Reider et al. 1981).

Die Stabilität des patellofemoralen Gelenks wird durch die anatomische Struktur der Patella, das femorale Gleitlager sowie durch statische und dynamische Weichteilkomponenten gewährleistet. Die Patella besitzt an der Gelenkfläche 7 Facetten, 3 auf der medialen, 3 auf der lateralen Oberfläche und eine zusätzliche an der medialen Patellagrenze.

Von Wiberg (1941) und Baumgartl (1964) wurden Varianten der Anatomie der Patellafacetten beschrieben.

- Eine Patella vom **Typ I** nach Wiberg besitzt 2 Facetten, die beide konkav und gleich lang sind.
- Der **Typ II** nach Wiberg beschreibt eine geringfügig kleinere, mediale Facette, die konkav oder nicht gebogen ist. Das Verhältnis beträgt hierbei von lateraler zu medialer Facette 1,4:1.
- Eine Patella vom **Typ III** nach Wiberg hat eine noch kleinere mediale Facette mit konvexer Biegung.

Da nicht alle Sonderformen der Patella hiermit klassifiziert werden können, wurden weitere Formabweichungen mit Eigennamen versehen. Der so genannte Baumgartl-Typ der Patella zeigt eine Protrusion der medialen Patellafacette. Beim Jägerhut-Typ fehlt die mediale Facette vollständig.

Physiologisch ist, dass das femorale Gleitlager leicht nach medial abkippt. Zudem ist der laterale Femurkondylus etwas höher als der mediale. Der normale Gleitlagerwinkel beträgt 137° mit einer Standardabweichung von 8°. Wenn der Gleitlagerwinkel auf 150° oder mehr ansteigt, resultiert eine reduzierte Gelenkkongruenz zwischen Patella und Sulcus femoris mit konsekutiver Risikoerhöhung für eine Subluxation oder Luxation (Aglietti et al. 1983, Merchant 1988).

Statische Stabilisatoren sind auf der medialen Seite das mediale patellofemorale Ligament sowie das mediale Retinakulum. Die Patellarsehne ist für die Stabilisierung der Patella in ihrem Gleitlager weniger wichtig (Boden et al. 1997). Einer Medialisierung wirkt insbesondere das laterale Retinakulum entgegen. Agonistisch hierzu verhalten sich das laterale patellofemorale und das patellotibiale Band (Hallisey et al. 1987).

Das Ausmaß der Kniebeugung beeinflusst die Patellaführung. Dies ist durch die patellofemorale Gelenkartikulation und den unterschiedlichen Spannungszustand der statischen Weichteilkomponenten bedingt. In voller Extension befindet sich die Patella in einer physiologischen Lateralisation. Mit zunehmender Beugung bewegt sie sich schrittweise nach medial und zentral. Diese Tatsache muss bei der klinischen Untersuchung und radiologischen Diagnostik beachtet werden, insbesondere dann, wenn nur eine Tangentialaufnahme vorliegt (Aglietti et al. 1983).

Die Patellaführung wird darüber hinaus durch die gesamte Anatomie der unteren Extremität, im Speziellen der des Kniestreckapparats, beeinflusst. Der Q-Winkel stellt hierfür eine Messgröße dar (Brattstrom 1964): Eine Linie von der Spina iliaca anterior superior zur Mitte der Patella steht in Beziehung mit der, die von der Mitte der Patella zur Tuberositas tibiae verläuft. Die beiden Linien bilden bei Männern einen Winkel von 8–10°, bei Frauen von 10–20° (Woodland u. Francis 1992, Abb. 10.3).

Eine vermehrte Anteversion des Schenkelhalses verstärkt die Innenrotation des Beins und damit auch des femoralen Gleitlagers, was wiederum den Q-Winkel erhöht. Eine vermehrte Außenrotation der Tibia schafft ebenfalls eine Vergrößerung des Q-Winkels, da die Tuberositas tibiae nach lateral weggedreht wird. Umgekehrt bewirken verringerte Anteversion des Schenkelhalses und eine Innenrotation der Tibia eine Verkleinerung des Q-Winkels.

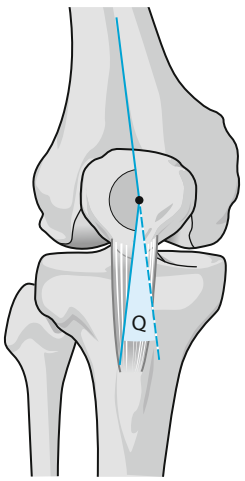


Abb. 10.3 Der Q-Winkel ist eine Messgröße, mit der man die potenzielle Luxationstendenz der Patella beurteilen kann

Tibia

Die Tibia ist der tragende Röhrenknochen des Unterschenkels. Sie besteht aus 3 funktionell wichtigen Abschnitten: Tibiakopf, Tibiaschaft und Pilon. »Pilon« ist ein französischer Begriff und bedeutet Keule oder Stampfer. Damit wird die Form des sich verdickenden Endes dieses Röhrenknochens beschrieben. Es trägt den Innenknöchel. Die distale Tibiaebene ist gegenüber der proximalen um 20° nach außen torquiert. Daraus resultiert eine Außenrotation des Fußes in Streckstellung, die dazu dient, die Standsicherheit zu erhöhen.

Fibula

Die Fibula dient der Aufhängung der Unterschenkelmuskulatur. Sie ist durch die straffe Membrana interossea cruris an die Tibia gefesselt. Ihr distales Ende bildet den Außenknöchel. Zusammen mit dem Schienbeinkopf bildet das Fibulaköpfchen das proximale Tibiofibulargelenk. Da das Gelenk nur ganz selten einmal verletzt wird, ist seine Anatomie nicht so geläufig, wie die anderer Gelenke. Die Kapsel der Articulatio tibiofibularis, einer Amphiarthrose, wird ventral vom Ligamentum capitis fibulae anterius und dorsal vom Ligamentum capitis fibulae posterius stabilisiert. Am kranial gelegenen griffelartigen Fortsatz des Fibulaköpfchens setzt die Sehne des M. biceps femoris und eine Schicht tiefer das Außenband an. Hinter dem Fibulaköpfchen zieht der N. peroneus zum distalen Unterschenkel. Die Fibula trägt ein Sechstel der Belastung am Unterschenkel als Stützpfeiler am gekrümmten Balken Tibia.

Muskeln

Die Muskeln des Unterschenkels liegen in 4 Logen:

- in der **Streckerloge** die Mm. tibialis anterior, extensor digitorum longus und extensor hallucis longus,
- in der **peronealen Loge** die Mm. peroneus longus et brevis,
- in der **Loge der tiefen Beuger** die Mm. tibialis posterior, flexor hallucis longus, flexor digitorum longus und popliteus und
- in der **Loge der oberflächlichen Beuger** die Mm. gastrocnemius und soleus, die in einer gemeinsamen Sehne, der Achillessehne, am Kalkaneus inserieren.

10.1.2 Diagnostik

Bei den verschiedenen Verletzungen an Knie und Unterschenkel kann mit etwas Erfahrung und Aufmerksamkeit, wie am übrigen Bewegungsapparat auch, in den meisten Fällen ohne Hilfsmittel allein durch Anamnese und Untersuchungsbefund die richtige Diagnose ermittelt werden. Der isolierte Druckschmerz beispielsweise direkt über dem Gelenkspalt ist charakteristisch für eine Meniskusläsion. Bei Bandverletzungen finden sich dagegen typische Instabilitäten, die insbesondere unmittelbar nach dem Trauma aufzuspüren sind, wenn noch keine starke, schmerzhafte Weichteilschwellung eingetreten ist. Eine begleitende Ergussbildung ist als Hinweis auf einen Kniebinnenschaden zu werten. Und durch eine Luxation können sogar Nerven und Gefäße verletzt worden sein. Bei Muskelfaserrissen oder Rupturen der Quadrizeps- oder Patellarsehne lässt sich bereits palpatorisch die richtige Diagnose stellen, zumindest solange keine ausgeprägte Schwellung eingetreten ist. Das Gleiche gilt für Frakturen der Patella und des Tibiaschafts aufgrund des sehr dünnen, streckseitigen Weichteilmantels (◘ Tab. 10.1).

Bildgebende Diagnostik

Die radiologische Zusatzdiagnostik dient zum Nachweis oder Ausschluss von Frakturen und ermöglicht, fortgeschrittene degenerative Schäden anhand etwaiger Gelenkspaltverschmälerung oder osteophytärer Anbauten sichtbar zu machen. Mit Hilfe einer CT können die Frakturverläufe und insbesondere auch Impressionen von Gelenkflächenabschnitten beurteilt werden. Im Ultraschall werden Verletzungen des Streckapparats erkennbar, während die Diagnostik im Kniebinnenraum mehr und mehr zur Domäne der MRT wird (Wirth u. Peters 1997).

10.2 Kniegelenk

10.2.1 Menisken

Ätiologie

Frische Meniskuseinrisse entstehen nur bei großer Krafteinwirkung, z.B. im Rahmen eines Verdrehtraumas und bei Bandverletzungen des Kniegelenks. Degenerativ vorgeschädigtes Meniskusgewebe kann dagegen bereits bei Bagatellanlässen reißen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der »Gelegenheitsursache«. Der Begriff stammt aus dem Unfallversicherungswesen und bedeutet, dass ein entstandener Schaden auch bei jeder beliebigen anderen, alltäglichen Gelegenheit hätte eintreten können. Patienten mit degenerativen Schäden können häufig kein spezifisches Unfallereignis angeben. Mitunter äußert sich der Schaden erst sekundär durch einen chronischen Erguss und zunehmenden Schmerz. Die Ruptur selbst fand dann während eines alltäglichen Bewegungsablaufs statt und wurde vom Patienten zunächst nicht bemerkt.

Einfache und vertikal verlaufende Rissformen, die als Längsrisse bezeichnet werden, treten meist durch Traumen auf, während

◘ **Tab. 10.1** Charakteristische Symptome oder Symptomkonstellationen lassen auf die Art der Verletzung schließen

Symptome	Diagnose
Einklemmungserscheinungen im Kniegelenk, isolierter Druckschmerz über dem Gelenkspalt, begleitender Gelenkerguss	Meniskusläsion
Instabilität im Kniegelenk, Hämarthros	Kreuzbandruptur
Luxierte Patella, Druckschmerz über dem medialen Retinakulum, sofortiger Hämarthros	Patellaluxation
Fehlende Kraft bei der Kniestreckung mit Verlust der endgradigen Streckfähigkeit, tastbare Delle	Ruptur des Streckapparats, Patellafraktur
Instabilität, Fehlstellung, Schmerzen und Schwellung über der Tibia	Tibiafraktur

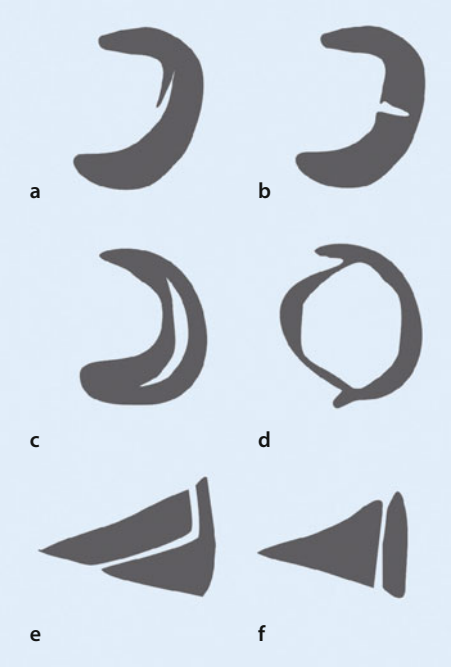


Abb. 10.4a–e Die Morphologie der unterschiedlichen Meniskusrisse in der Draufsicht. **a** Lappenriss. **b** Radiärriss. **c** Längsriss. **d** Korbhenkelriss. **e** Kombinierter Längs-/Horizontalriss (Querschnitt). **f** Längsriss (Querschnitt). (Aus: Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004)

komplexere Rissformen mit Fragmentation des Gewebes auf dem Boden einer myxoiden Vorschädigung entstehen (Abb. 10.4).

Klinik

Die Patienten beklagen einen medial oder lateral lokalisierten Gelenkschmerz:

Pathognomonisch ist der isolierte, punktuell begrenzte Druckschmerz unmittelbar über dem Gelenkspalt. Der Druckschmerz wandert von ventral nach dorsal mit zunehmender Beugung. Er lässt sich verstärken durch Valgus- oder Varus- bzw. Rotationsstress. In ► Kap. 19, Klinische Untersuchungstests, **sind die gängigen Meniskustests dargestellt.**

Die Beweglichkeit ist eingeschränkt. Manchmal liegt sogar eine Einklemmung vor. Das Knie kann weniger stabil als vorher sein, und es kann eine Schwellneigung bestehen. Insbesondere bei akuten Ereignissen ist die schmerzhafte Streckhemmung eines der häufigsten Symptome. Sie beruht entweder auf einer direkten mechanischen Einklemmung eines abgerissenen Meniskusanteils oder auf einer indirekten schmerzhaften Streckhemmung durch eine begleitende Synovialitis. Typischerweise entsteht erst mit einer Latenz von Tagen oder Wochen ein Gelenkerguss als Folge der sich ausbildenden Synovialitis. Wenn also nach einem Unfall sofort ein Gelenkerguss vorliegt, müssen andere Schäden die Ursache sein (s. unten: Differenzialdiagnose).

Bei chronischen Meniskusverletzungen beschreiben die Patienten Phasen mit akuter Symptomatik wie Schmerz, Schwellung und Instabilität, an die sich eine kontinuierliche Besserung der Beschwerden anschließt. Bei Rotationsbewegungen im Alltag wie dem Aussteigen aus einem Auto oder sportlicher Betätigung kehren die Beschwerden wieder.

Diagnostik

Neben den eher unspezifischen Symptomen wie eingeschränkter Beweglichkeit und Erguss gibt es, wie bereits oben erwähnt, eine Vielzahl von mehr oder weniger spezifischen Meniskustests (► Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Ockert et al. (2010) haben die einzelnen Tests anhand einer Metaanalyse bewertet und gefunden, dass ein in unseren Landen noch weitgehend unbekannter Test, der Thessaly-Test, die höchste Aussagekraft hat (Abb. 19.85).

Der Test wurde von Karachalios et al. (2005) vorgestellt. Der Untersucher hält den vor ihm stehenden Patienten an den Händen fest, um ihn zu stabilisieren, während der Patient im Einbeinstand sein betroffenes Bein voll belastet. Nun dreht der Patient 3-mal hintereinander über dem am Boden fixierten Fuß seine Körperachse von innen nach außen und umgekehrt. Dabei wird das Knie unter Volllast innen- und außenrotiert, und eine etwaige Meniskusläsion fällt durch Schmerzen oder ein Schnappen im Gelenk auf.

In ihrer Metaanalyse haben Ockert et al. (2010) folgende Werte zusammengetragen. Der Thessaly-Test hat mit 91% Sensitivität und 97% Spezifität die höchste Testqualität, während der Mc Murray-Test mit 51% und 78%, der Druckschmerz über dem Gelenkspalt mit 64% und 61%, der Apley-Grinding-Test mit 38% und 84% sowie der Ege's-Test mit 66% und 86% deutlich weniger aussagekräftig waren. Die Autoren kommen aufgrund ihrer Befunde zu dem Schluss, dass mit Hilfe der genannten Tests eine Meniskusläsion diagnostiziert werden kann und die Wahrscheinlichkeit, die Diagnose richtig zu stellen, durch den Thessaly-Test erhöht wird, wobei einschränkend gesagt werden muss, dass seine hohe Aussagekraft bisher nur durch eine Studie belegt ist. Bei nicht eindeutigem klinischem Befund oder Verdacht auf Kombinationsverletzungen sind zusätzliche bildgebende Verfahren indiziert, bei klinisch eindeutigem Befund hingegen ergeben sich daraus nur in wenigen Ausnahmefällen therapeutische Konsequenzen.

Bildgebende Diagnostik

Die konventionelle radiologische Diagnostik besteht aus Röntgenstandardaufnahmen in 2 Ebenen, und zwar im anteroposterioren und seitlichen Strahlengang. Hierdurch können Frakturen, osteochondrale Flakes, röntgendichte Gelenkkörper, degenerative Veränderungen und Verkalkungen der Menisken entdeckt werden. Die Weite des femorotibialen Gelenkspalts lässt sich mit der posteroanterioren gestandenen Aufnahme nach Rosenberg und Mitarbeitern (1988) beurteilen. Die Aufnahme wird unter Belastung am stehenden Patienten in 45°-Kniebeugung durchgeführt (Abb. 10.5). Tangentialaufnahmen der Patella ermöglichen die Beurteilung des retropatellaren Raums.

Veränderungen am Meniskus selbst lassen sich allerdings nur mittels MRT darstellen. Durch klinische Untersuchung in Kombination mit einer MRT lässt sich in 98% die richtige Diagnose stellen. Durch alleinige klinische Untersuchung können bereits 60–90% aller Meniskusschäden richtig diagnostiziert werden. Die Arthroskopie ist die beste Möglichkeit, den Zustand des Gelenks exakt und umfassend zu beurteilen.

Nicht jede Signalveränderung in der MRT hat einen Krankheitswert (Abb. 10.6). Für die Beurteilung von Meniskusveränderungen sind die von Reicher und Mitarbeitern (1986) gefundenen Zusammenhänge von Bedeutung. Die Autoren haben die Befunde auf den MRT-Bildern mit den arthroskopisch gefundenen, pathologischen Veränderungen verglichen (Tab. 10.2, Reicher et al. 1986).

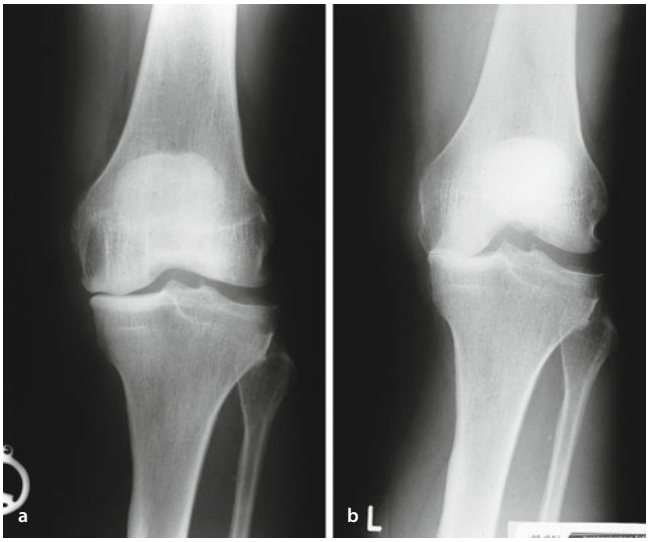


Abb. 10.5a,b 75-jährige Patientin mit Varusgonarthrose links. Auf der a.p.-Aufnahme (**a**) in Standardprojektion erscheint das Ausmaß der Knorpelabnutzung und Varusfehlstellung weniger ausgeprägt als in der Projektion nach Rosenberg et al. (1988) (**b**), die zur Beurteilung der Weite des femorotibialen Gelenkspalts unter Belastung am stehenden Patienten in 45°-Kniebeugung im p.a.-Strahlengang aufgenommen wird

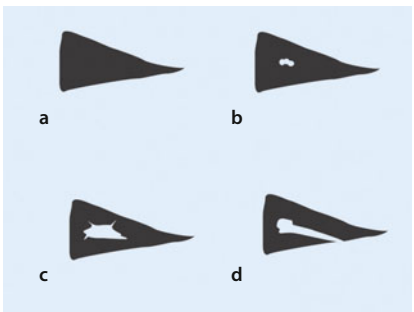


Abb. 10.6a–d Einteilung der Meniskusläsionen im MRT. **a** Grad 0: intakt. **b** Grad 1: punktförmige zentrale Signalanhebung. **c** Grad 2: bandförmige zentrale Signalanhebung mit intrameniskaler Degeneration und Rissbildung, welche die Oberfläche nicht erreicht. **d** Grad 3: vollständiger Riss, der bei der Arthroskopie sichtbar ist. (Aus: Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004)

Tab. 10.2 Korrelation zwischen MRT- und Arthroskopiebefund am Meniskus

Einteilung	MRT-Befund	Arthroskopiebefund
Grad 0	Homogen niedriges Signalbild in der T1-Wichtung	Keine Läsion
Grad 1	Punktförmige T1-Signalerhöhung ohne Kontakt zur Meniskusoberfläche	Läsion unwahrscheinlich
Grad 2	Mehrere punktförmige oder strichförmige T1-Signalerhöhung ohne Kontakt zur Meniskusoberfläche	Läsion wahrscheinlich
Grad 3	Longitudinale T1-Signalerhöhungen mit Kontakt zur Meniskusoberfläche, Deformierung, Dislokation von Fragmenten	Sicherer Riss

Differenzialdiagnose

Als Differenzialdiagnosen kommen auch andere Schäden in Betracht, z.B. eine vordere oder hintere Kreuzbandverletzung, intraartikuläre Frakturen, Patellaluxationen, Kollateralbandverletzungen oder Knochenmarködeme nach größerer Gewalteinwirkung.

Klassifikation

Longitudinale Meniskusrupturen können entweder inkomplett oder komplett ausgebildet sein (Abb. 10.4c,f). Beim inkompletten Typ hat der längs verlaufende Riss nur mit einer Meniskusoberfläche Kontakt. Seine Prädilektionsstelle ist die Hinterhornregion. Komplette Längsrupturen betreffen hingegen die obere wie auch die untere Meniskusfläche, sodass sich ein Lappen bildet. Der so genannte Korbhenkeleinriss verläuft mehr oder weniger parallel zu den Meniskusgrenzen und mündet nicht in die Gelenklichtung aus. Dadurch kann der zentral gelegene Anteil des Meniskus, der den stabilen Anschluss zur Basis verloren hat, korbhenkelartig in die Gelenklichtung luxieren und die Beweglichkeit des Kniegelenks blockieren (Abb. 10.4d, Abb. 10.7).

Radiäre und quere Rupturen verlaufen vom freien, zentralen Meniskusrand nach peripher in Richtung Basis (Abb. 10.4a,b).

Horizontale Rupturen bilden sich nahe der Basis, verlaufen parallel zur Oberfläche des Meniskus bis zum freien Rand des Meniskus (Abb. 10.4e).

Konservative Therapie

Ein konservatives Vorgehen ist bei unklarer Symptomatik indiziert. Dann sind die Beschwerden eher moderat, und es liegt keine Gelenkblockierung vor. Sportler sollten ihr Trainingsprogramm reduzieren, starke Belastungen der Kniegelenke vorübergehend meiden und stattdessen ein krankengymnastisches Aufbautraining beginnen.

Repositionsmanöver

Wenn sich ein Meniskuslappen ins Gelenkspiel einklemmt, gelingt es den Patienten mitunter, die federnde Streckhemmung durch Schütteln des Beins selbst wieder zu beheben. Wenn dies nicht gelingt, kommen sie mit blockiertem Gelenk in die Notaufnahme. Dann ist ein Repositionsversuch angezeigt. Da die Gelenkblockade schmerzhaft ist, muss das Kniegelenk vor der Reposition örtlich

Abb. 10.7 Korbhenkelresektat eines 27-jährigen Patienten

betäubt werden. Dazu injiziert man 10 ml eines 1%igen Lokalanästhetikums intraartikulär. Nach etwa 10–15 min ist die sensible synoviale Auskleidung des Gelenks betäubt. Prinzip der Reposition ist, den Gelenkabschnitt, der den luxierten Meniskusanteil enthält, so weit aufzudehnen, dass sich die Verklemmung lösen kann. Bei einer Einklemmung des Innenmeniskus wird das Knie zunächst maximal gebeugt, dann innenrotiert und schließlich unter Valgusstress in die Streckung zurückgeführt. Bei lateraler Einklemmung geht man gegensinnig vor (Strobel et al. 1995).

Arthroskopische Therapie

Moseley et al. (2002) haben nachgewiesen, dass die Wirksamkeit einer Arthroskopie in Hinblick auf Schmerz, Funktion und Lebensqualität bei Patienten, die (wohl gemerkt) an einer manifesten Gonarthrose leiden, nicht höher ist als die einer Scheinoperation. Seitdem berichtet die Laienpresse immer wieder über die generelle Unwirksamkeit und Unnötigkeit arthroskopischer Eingriffe, ohne zu differenzieren, dass die Studie von Moseley an Patienten mit manifester Gonarthrose erhoben wurde. Dass Patienten mit definierten reparablen Schäden insbesondere der Menisken, aber auch der Bänder und des Knorpels bestmöglich durch das schonende, minimal-invasive Verfahren Arthroskopie behandelt werden können und man bei richtiger Indikationsstellung mit dieser Methode eine vorzeitige Abnutzung des Gelenks sogar verhindern oder zumindest verzögern kann, wird nicht mitgeteilt. Aufgrund methodischer Schwächen der Studie haben einige Autoren das Ergebnis der Moseley-Studie infrage gestellt. Jetzt gibt es zu allem Überfluss eine weitere randomisierte Studie zum gleichen Thema. Kirkley et al. (2008) verglichen bei Patienten mit Gonarthrose den Effekt einer Arthroskopie im Vergleich zu einer kombinierten Physio- und Schmerztherapie und fanden ebenfalls keinen signifikanten Unterschied.

In der Folge der Studie von Kirkley flammte die öffentliche Diskussion erneut auf. Kein Wunder, dass immer mehr Patienten, bei denen eine Arthroskopie wegen einer Meniskus-, Band- oder Knorpelläsion eindeutig erforderlich ist, ihrem Arzt nicht mehr trauen, wenn er ihnen zur Arthroskopie rät.

Indikation und Aufklärung

Laut de Haven u. Bronstein (1997) ist nach einem gescheiterten konservativen Therapieversuch die Indikation für ein operatives Vorgehen, unabhängig vom Befund der MRT, gegeben. Welche Art der operativen Behandlung angebracht ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab, wie:

- Art, Lokalisation und Größe des Risses,
- frische oder alte Verletzung,
- Begleitverletzungen (z.B. vordere Kreuzbandruptur),
- Patientenalter,
- Aktivitätslevel.

Bei rezidivierender Ergussbildung oder stattgehabter Einklemmung ist die Indikation gegeben. Die letzte Entscheidung über die geeignete Therapie stellt sich jedoch oft erst intraoperativ. Daher ist eine präoperative Aufklärung des Patienten über alle denkbaren Therapieoptionen notwendig.

Die Patienten müssen vor der Arthroskopie über folgende Risiken aufgeklärt werden:

- Intraoperative, iatrogene Kollateralbandruptur beim Aufklappen des Gelenks
- Hautnervenverletzung im Zugangsbereich
- Nachblutung
- Infektion
- Thrombose, Embolie
- Verbleibende Bewegungseinschränkung
- Verbleibende Beschwerden (Schmerzen beim Knien)
- Erneute Rissbildung

Vorgehen

Operiert wird in Blutsperre und unter Verwendung eines Beinhalters. Der Beinhalter sollte am Oberschenkel möglichst weit distal platziert werden, damit man das Gelenk gut varisch und valgisch aufklappen kann. Dies steht im Gegensatz zum Vorgehen bei der Kreuzbandplastik, bei dem das distale Drittel des Oberschenkels frei bleiben muss, damit ausreichend Platz ist, um den Führungsdraht und die Armierungsfäden des Transplantats nach ventral ausleiten zu können.

Bei Eingriffen am Meniskus muss so viel Meniskusgewebe wie möglich erhalten werden, denn jeder auch partielle Verlust von Meniskusgewebe hat eine Überbeanspruchung des Knorpels und eine gewisse Instabilität des Gelenks zur Folge. Ein kompletter Verlust führt zur deutlichen Verringerung der femorotibialen Kontaktfläche und erhöht den Druck auf den Knorpel. Besonders für die Entfernung des Außenmeniskus wird ein sehr hohes Arthroserisiko angegeben, auch wenn nur eine arthroskopische Teilresektion durchgeführt wurde. Entscheidend für die Prognose ist neben der Gesamtmenge an verbliebenem Gewebe, ob die Randleiste des Meniskusrests als intakter Ring erhalten bleibt, denn deren Zerstörung reduziert die Restfunktion nochmals erheblich und führt zwangsläufig zu Knorpelschäden. Besonders deletär ist das Zusammentreffen einer Instabilität, eines fehlenden Meniskus und einer Achsenfehlstellung. Bei dieser Konstellation kann sich innerhalb weniger Jahre eine manifeste unikompartimentale Arthrose entwickeln (Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004).

Partielle oder subtotale Meniskektomie

Bei älteren Rupturen ist meist eine Meniskusreparatur nicht mehr möglich, da die Rissränder sehr stark ausgefranst sind. Daher ist bei älteren Längsrissen die partielle Meniskektomie die Therapie der Wahl. In der zentralen, avaskulären Zone gibt es ohnehin keine andere Möglichkeit (Abb. 10.8). Die abgerissenen Anteile werden arthroskopisch so weit abgetragen, dass eine stabile und möglichst glatte Restbasis verbleibt. Bei Längsrissen prüft man mit dem Tasthaken, welche Gewebeanteile in die Gelenklichtung luxiert werden können und trägt diese anschließend ab. Bei radiären Rissen genügt es, die beiden Ecken der benachbarten Lappen so weit einzukürzen, bis sie sich nicht mehr ins Gelenkspiel einschlagen. Dabei muss man mit dem Tasthaken die Basis der beiden Lappen sorgfältig auf etwaige Längsrisse hin untersuchen. Bei horizontaler Meniskusruptur werden ebenfalls die instabilen Gewebeanteile reseziert.

Um das Gewebe abzutragen, wird es meist mit einem Punch fragmentiert. Anschließend werden die Fragmente über den Arthroskopschaft ausgespült, indem man z.B. kurz die Optik aus dem Arbeitsschaft zieht. Alternativ kann man auch einen Sauger ins Gelenk einführen oder die einzelnen Partikel mit einem Meniskuscutter klein schneiden und absaugen. Die eingekürzte Restbasis muss anschließend geglättet werden. Dies gelingt am einfachsten mit dem Shaver.

Bei größeren Lappenbildungen wird der noch intakte Steg des Lappens zur Meniskusbasis mit einem Punch gekappt. Anschließend wird der abgetrennte Lappenanteil mit einer Fasszange aus dem Gelenk gezogen.

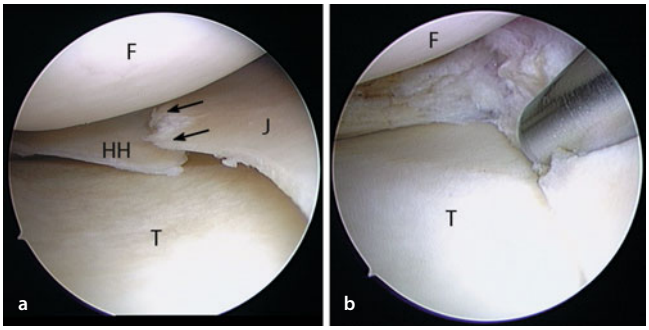


Abb. 10.8a,b Arthroskopischer Situs eines radiären Innenmeniskusrisses. **a** Medialer Femurkondylus (F), mediales Tibiaplateau (T), Hinterhorn (HH), Innenmeniskus (I), Radiärriss (Pfeile). **b** Glättung durch partielle Resektion mit dem Shaver (S). (Aus: Strobel 1998)

Abb. 10.9 Mit einer perkutan eingestochenen Nadel kann ein dosiertes Release des Innenbandes durchgeführt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Needling. Damit lassen sich die Übersicht und der Raum zum Arbeiten im posteromedialen Gelenkbereich erweitern. (Aus: Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004)

Die häufigste Lokalisation von Meniskusschäden ist das Innenmeniskushinterhorn. Wenn der Bandapparat sehr straff ist und der mediale Zugang zu weit kranial angelegt wurde, kann es erhebliche Schwierigkeiten bereiten, diesen Bereich zu erreichen und den Meniskusriss zu glätten. Der Einsatz aufwärts gebogener Instrumente ist hilfreich. Durch manuellen Druck in der Kniekehle kann man das Hinterhorn weiter in Richtung Gelenklichtung schieben. Gegebenenfalls muss man einen zweiten medialen Port unter Sicht direkt über der Oberkante des Vorderhorns anlegen. Wenn dies alles nichts nützt, empfehlen Agneskirchner und Lobenhoffer (2004) ein perkutanes Needling des Ansatzes des Innenbands. Der Zugewinn an Aufklappbarkeit des Gelenks wird in der Regel sofort sichtbar, ohne die Nachteile einer iatrogenen Ruptur eingehen zu müssen (Abb. 10.9).

Um die negativen Folgen einer Meniskektomie zu minimieren, sollte nur so viel Meniskusgewebe wie nötig entfernt und, wann immer möglich, rupturierte Gewebeanteile refixiert werden, denn das Entfernen von Meniskusgewebe führt zu Knorpelschäden und kann in einer Arthrose enden.

Meniskusnahttechniken

Da es sich um bradytrophes Gewebe handelt, sollte laut Strobel (1998) vor einer Naht alles getan werden, was die Heilung fördert. Dazu stehen 4 Möglichkeiten zur Verfügung: die Anfrischung, das Needling, die perimeniskale Synovektomie und der Blutpatch. Meniskusgewebe kann mit einem kleinen Punch, einem Meniskuscutter oder einer Raspel angefrischt werden. Die Technik des Needling bewirkt eine Revaskularisierung rupturierter Meniskusanteile, die von der Blutversorgung abgeschnitten wurden. Mit einer dünnlumigen Kanüle werden unter Zuhilfenahme einer Zielkanüle (s. unten, Outside-inside-Nahttechnik) von extrakapsulär aus multiple kleine Kanälchen durch die Basis in die Peripherie des Meniskus gestochen. Um das Gewebe nicht zu schwächen, soll dabei die Oberfläche des peripheren Meniskusanteils nicht perforiert werden (Arnoczky et al. 1992). Heilungsfördernd wirkt auch die perimeniskale Anfrischung der Synovialmembran im Bereich der Läsion (Henning 1983) oder das Einnähen eines Blutgerinnsels in die Ruptur (Anroczky et al. 1988).

Outside-in-Technik. Die Outside-in-Technik eignet sich besonders für die Naht peripher lokalisierter Einrisse der rot-roten oder rot-weißen Zone im Bereich der Pars intermedia oder anterior. Man braucht dafür kein spezielles Instrumentarium, sondern nur dicklumige Kanülen, wie sie für die Blutabnahme verwendet werden und langsam resorbierbares Fadenmaterial der Stärke 2/0.

Zunächst wird eine Kanüle als Zielhilfe in den Bereich der späteren Nahtstelle gestochen. Anschließend wird eine mit einem 2/0er PDS-Faden armierte Kanüle parallel zur Zielkanüle von außen durch Haut und Subkutis in die Meniskusbasis und unter arthroskopischer Kontrolle in die Rissregion eingeführt. Die Fadenarmierung gelingt am leichtesten, wenn man das Fadenende vorne in die Kanülenspitze einführt. Der Faden wird, wie Strobel (1998) empfiehlt, so weit durch die Kanüle gezogen, dass sein Ende die Kanülenspitze noch 6–8 cm überragt. Beim nun folgenden Einstechen der Kanüle ins Gelenk muss der Operateur den Faden mit dem Finger einklemmen, damit er nicht ungewollt nach außen rutscht. Bei einem Horizontalriss wird die Kanüle ober- oder unterhalb der Läsion ins Gelenk eingeleitet, bei einem Radiärriss posterior davon. Wenn die Kanüle in der gewünschten Position liegt, wird von ihrem Stichkanal aus ein wenige Millimeter langer Hautschnitt nach anterior gelegt und die darunter befindliche Subkutis mit einem Mosquitoklemmchen gespreizt. Nun wird eine zweite Kanüle mit einem Faden armiert. Dabei wird dieser auf halbe Länge durch die Kanüle gezogen, sodass seine Enden anschließend miteinander verknotet werden können. An der Kanülenspitze liegt nun eine Schlinge. Die so präparierte Kanüle wird im anterioren Ende des Hautschnitts ins Gelenk gestochen und zwar so, dass sie auf der gegenüber liegenden Seite der Rissbildung zu liegen kommt. Mit einer kleinen Fasszange kann nun durch die Schlaufe der zweiten Kanüle gegriffen, das freie Fadenende der ersten gefasst und dieses durch die Schlaufe gezogen werden. Ist die Schlaufe nicht groß genug, kann man sie durch dosiertes Vor- und Zurückschieben der zweiten Kanüle so weit vergrößern, wie es der Durchmesser des Instruments erfordert. Die Fasszange wird nun aus dem Instrumentenzugang samt dem gegriffenen Fadenende herausgezogen. Anschließend wird dieses freie Fadenende durch Zug an der Fadenschlinge wieder ins Gelenk zurück- und schließlich durch den Eintrittspunkt der zweiten Kanüle aus dem Gelenk herausgezogen. Nun können die beiden Fadenenden miteinander verknotet und der Knoten über die bereits vorher angelegte kleine Inzision im subkutanen Fettgewebe epikapsulär versenkt werden. Auf diese Weise können 1–3 Nähte gelegt werden.

Das Verfahren stellt gewisse Ansprüche an die handwerklichen Fähigkeiten des Operateurs, aber einen versierten Arthroskopeur nicht vor unlösbare Probleme. Außerdem ist es sehr kostengünstig, weil man kein zusätzliches Instrumentarium oder teure Einmalartikel benötigt. Die einzelnen Schritte der Nahttechnik sind in Abb. 10.10 und schematisch in Abb. 10.11 gezeigt.

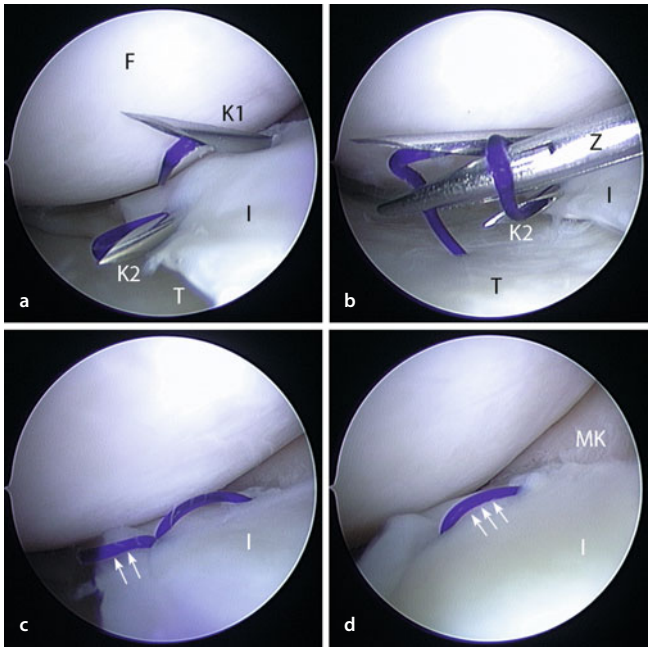


Abb. 10.10a–d Naht einer Korbhenkelruptur. **a** Zur Vertikalnaht wird eine Kanüle mit einem freien Fadenende (K1) unter Sicht ins Gelenk eingestochen, ohne den Knorpelüberzug der Femurkondyle (F) zu verletzen. **b** Anschließend wird eine Fadenschlinge mit Hilfe einer zweiten Kanüle (K2) unter Beachtung des Knorpelbelags des Tibiakopfs (T) vorgeschoben. Mit einer Fasszange (Z) greift man durch die Schlinge der 2. Kanüle das Fadenende der ersten. **c** Nun liegt das freie Fadenende (Pfeile) unter der Schlinge und kann mit deren Hilfe an der gewünschten Position ausgeleitet werden. **d** Situation nach dem Knüpfen der Vertikalnaht. Die Fadenschlinge (Pfeile) fassen den Korbhenkelriss des Innenmeniskus (I) und retrahieren ihn in der gewünschten Position an der medialen Gelenkkapsel (MK). (Aus: Strobel 1998)

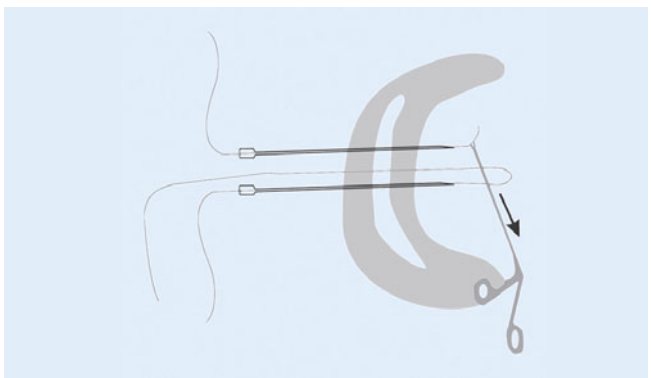


Abb. 10.11 Schema einer Meniskusnaht in Outside-in-Technik. Die Fäden werden durch perkutan eingestochene Kanülen ins Gelenk eingebracht. Erklärung im Text. (Aus: Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004)

Inside-out-Technik. Diese Nahttechnik wird mit speziellen, geraden oder gebogenen, einfachen oder doppellumigen Kanülen durchgeführt. Eine solche Kanüle wird für die Naht durch den Instrumentenzugang ins Gelenk vorgeschoben, anschließend zunächst der rupturierte periphere Anteil des Meniskus, dann dessen Basis durchstochen und zuletzt durch Gelenkkapsel und Subkutis ausgeleitet (Abb. 10.12). Da man die Nähte im posterioren Gelenkbereich knüpfen muss, benötigt man Hilfsinzisionen und Retraktoren, um die neurovaskulären Strukturen der Kniekehle

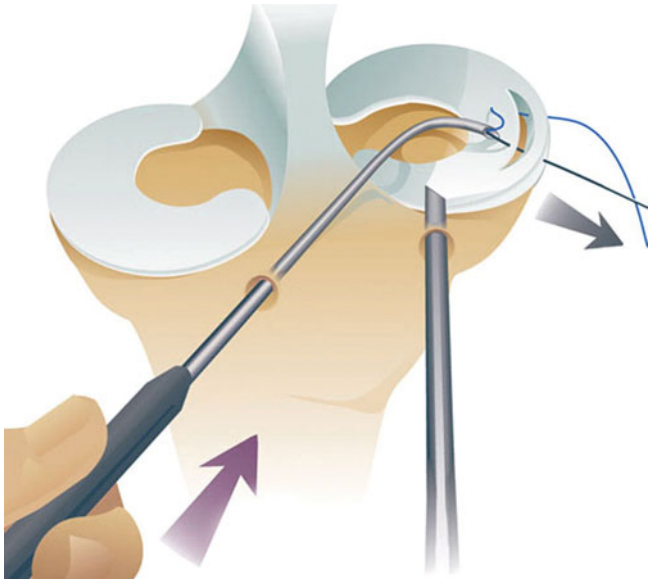


Abb. 10.12 Schema einer Meniskusnaht in Inside-out-Technik. Erklärung im Text. (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Arthrex)

nicht zu schädigen, denn dies ist die große Gefahr dieser Nahttechnik. Deshalb empfiehlt Strobel (1998) statt dieser die All-inside-Technik.

All-inside-Technik. Die All-inside-Technik eignet sich besonders für basisnahe Längsrisse der Hinterhörner oder Korbhenkelrisse und für so genannte Rampenläsionen des Innenmeniskus. Von Rampenläsion spricht man, wenn die Aufhängung des Innenmeniskus an der Gelenkkapsel in der Pars posterior des Meniskus betroffen ist. Diese Läsionen können sehr schwer zu diagnostizieren sein, denn sie liegen versteckt hinter der posterioren Rampe des Tibiaplateaus. Sie sind ein Indiz für eine Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes.

Bei der All-inside-Technik wird intraartikulär ins Meniskusgewebe ein- und wieder ausgestochen. Weil bei diesem Vorgehen die neurovaskulären Strukturen nicht tangiert werden, bietet es sich für die posterioren Meniskusanteile an, die der einfacher zu handhabenden Outside-in-Technik nicht zugänglich sind. Für die Naht werden so genannte Nahthaken benutzt. Es gibt dafür verschieden gebogene Ansätze, um die jeweils erforderliche Einstichrichtung in Abhängigkeit zum Verlauf der Rissbildung variieren zu können (Abb. 10.13). Man braucht keinen zusätzlichen dorsalen Zugang. Auch das Außenmeniskushinterhorn ist über einen etwas höher angelegten medialen Instrumentenzugang in 4er Position des Beins gut erreichbar. Die eingezogenen Fäden werden mit einem Knotenschieber geknüpft.

Als Alternative zu den kanülierten Nadeln gibt es spezielle Nahtinstrumente (Abb. 10.14), die das Vorgehen vereinfachen. Dagegen sind die starren Implantate wegen der Auslösung synovialer Reizreaktionen und gelegentlicher Knorpelschäden in die Kritik geraten (Abb. 10.15).

Meniskustransplantation und -ersatz

Allogene Meniskustransplantate wurden in verschiedenen tierexperimentellen und klinischen Studien angewandt. Fehlende Übereinstimmung der Transplantatgröße, Abstoßungsreaktionen des Empfängerorganismus und Schrumpfungsprozesse des Transplan-

Abb. 10.13 Instrumentarium zur Meniskusrefixation mit der All-inside-Technik. Handgriff mit einem Mechanismus zum Fadenvortrieb und verschieden gebogene Ansätze für die jeweils erforderliche Stichrichtung. (Aus: Strobel 1998)

Abb. 10.15 Starres fadenfreies All-inside-Implantat zur Meniskusrefixation (Meniscus Dart R, Fa. Arthrex). (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Arthrex)

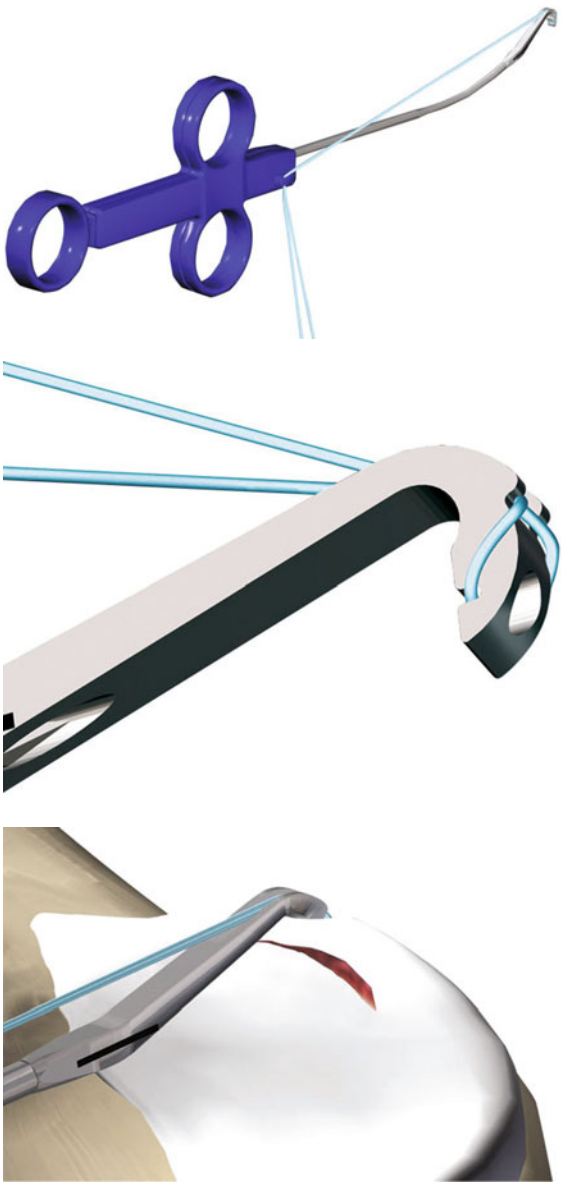


Abb. 10.14 Spezialinstrument zur All-inside-Fadenfixation eines Meniskusrisses (Meniscus Viper R, Fa. Arthrex). (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Arthrex)

tats erwiesen sich als diejenigen Faktoren, die den Therapieerfolg auf die Länge der Sicht limitieren (Bylski-Austrow et al. 1993, Canham u. Stanish 1986, Harner 1994, Milachowski et al. 1989, Noyes u. Barber-Westin 1995).

Zum Ersatz von großflächigen Meniskusdefekten befinden sich mittlerweile auch derivatisierte Kollagenimplantate bzw. synthetische poröse Implantate auf Polyurethanbasis im klinischen Einsatz. Zur Fixation des Implantats wird eine stabile Restbasis des nativen Meniskus benötigt. Bislang kann der klinische Nutzen dieses resorbierbaren Implantats noch nicht abgeschätzt werden. In Studien zeigt sich jedoch im Revisionsfall nach vorangegangener partieller Meniskektomie mit großem Meniskussubstanzverlust ein Vorteil durch die Therapie mit einem Meniskusimplantat gegenüber der nochmaligen Nachresektion (Rodkey et al. 2008). Natürliches Kollagen, aber auch poröses Polyurethan zeigen sich als besonders attraktive Biomaterialien für unterschiedlichste Zelltypen, was die postoperative Entstehung von meniskusähnlicher Gewebesubstanz nach Implantation beweist (Stone 1997). Nichtsdestotrotz bleiben das kollagene Meniskusimplantat wie auch die auf dem Markt erhältlichen Kunststofftransplantate speziellen Indikationen vorbehalten.

Spontanheilung

Bei der Kombination mit einer frischen Bandverletzung kann eine Meniskusläsion auch spontan verheilen (Fitzgibbons u. Shelbourne 1995). Unter den Bedingungen, die ein Hämarthros in einem Gelenk schafft und wie sie bei einer frischen Bandruptur gegeben sind, scheinen nach alleiniger Bandplastik ohne spezifische Therapie bestimmte Rissformen spontan zu verheilen. Dies gilt insbesondere für Radiärrisse und kurze Längsrisse im Hinterhorn des Außenmeniskus (Shelbourne u. Heinrich 2004). Außerdem ist die Heilungsrate von Meniskusrekonstruktionen, die in Kombination mit einer Bandplastik durchgeführt wurden, höher als isoliert durchgeführte Rekonstruktionen, wobei die Ursache dafür noch nicht endgültig geklärt ist (Agneskirchner u. Lobenhoffer 2004).

Nachbehandlung

Nach einer einfachen Teilresektion ist eine schmerzabhängige Teil- bis Vollbelastung während der ersten beiden postoperativen Wochen indiziert. Viele Patienten sind bereits ab dem 1. oder 2. postoperativen Tag, wenn die Redon-Drainage entfernt ist, so weit beschwerdefrei, dass sie ohne Zuhilfenahme von Unterarmstockstützen gehen können. Dennoch wird körperliche Schonung für die ersten Wochen angeraten. Außerdem empfiehlt sich die Gabe eines niedermolekularen Heparins für die Dauer der schmerzabhängigen Teilbelastung, denn nach Arthroskopien treten immerhin in 1%

der Fälle tiefe Beinvenenthrombosen auf. Dies ergab eine Nachuntersuchung mit einem großen Kollektiv von 1.727 Patienten (Wenzl et al. 2002). Falls sich intraoperativ eine Synovialitis zeigte, ist für die Nachbehandlung und Ergussprophylaxe ein nichtsteroidales Antiphlogistikum unter Magenschutzmedikation empfehlenswert.

Falls eine Meniskusnaht durchgeführt wurde, sollte der Patient 6 Wochen lang das Bein nur mit halbem Körpergewicht belasten, damit die Naht nicht vorzeitig auslockert. Außerdem sollte vom Operateur das erlaubte Bewegungsausmaß festgelegt werden, denn er kann am besten beurteilen, bei welchen Gelenkpositionen Zugspannung entsteht.

Komplikationen und Prognose

Nach partiellen Resektionen sind Rupturen möglich. Allerdings zeigten sich in Langzeitstudien 15 Jahre nach solchen Eingriffen gute Ergebnisse mit nur geringen arthrotischen Veränderungen (Burks et al. 1997, Rockborn u. Gillquist 2000). Nach subtotaler und totaler Meniskektomie hingegen treten Arthrosen auf (Fairbank 1948, Tapper u. Hoover 1969).

Seil u. Kohn (2001) haben den derzeitigen Stand der Meniskusnaht in einem Übersichtsartikel resümiert. Ihr Fazit ist, dass zurzeit noch keine definitive Aussage dazu gemacht werden kann, »ob die biomechanischen Funktionen eines Meniskus durch Naht wieder vollständig hergestellt werden können. Insbesondere bedarf es der Klärung, ob die langfristige Arthroserate nach Meniskusnaht geringer ist als nach partieller Meniskektomie... Gesichert ist, dass die Mehrzahl der Patienten nach einer Menikusrekonstruktion wieder eine vollständige Schmerzfreiheit und eine fast normale Kniefunktion erlangen.« Die Langzeitwirkung intraartikulär liegender biodegradabler Implantate ist noch nicht ausreichend bekannt. Die Rerupturrate nach Meniskusnaht liegt bei 25%. Die Heilungsrate schwankt in der Literatur zwischen 50 und 90%. Ursache für diese große Schwankungsbreite ist, dass man die Heilung streng genommen nur arthroskopisch beurteilen kann und nicht alle Patienten erneut arthroskopiert werden können (Rupp et al. 2002).

Bei der Naht des Innenmeniskus kann der N. saphenus unterbunden werden. Die Angaben zur Häufigkeit dieser Komplikation schwanken in der Literatur ebenfalls stark zwischen wenigen Einzelfällen und 13% (Rupp et al. 2002).

10.2.2 Kapsel-Band-Apparat

Vorderes Kreuzband

Biomechanik, Ätiologie, Diagnostik und Klinik

Biomechanik

Die beiden Kreuzbänder sind die wichtigsten Stabilisatoren des Kniegelenks. Das vordere Kreuzband begrenzt übermäßiges tibiales Gleiten nach anterior, tibiale Rotation sowie mediale und laterale Aufklappbarkeit. Nach Butler und Mitarbeitern (1985) wirkt bei normalem Gehen auf das vordere Kreuzband eine Zugbelastung von 400–500 N. Beim plötzlichen Beschleunigen oder Abbremsen kann sie bis auf 1700 N ansteigen.

Ätiologie

Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes entsteht meist bei sportlicher Betätigung. Bestimmte Sportarten wie Fußball spielen, Skilaufen oder Tennis bergen ein hohes Risiko. Das vordere Kreuzband reißt meist bei einer übermäßigen Belastung im Sinne einer gleichzeitigen Flexion, Valgisierung und Außenrotation oder einer Hyperextension bei fixiertem Fuß mit konsekutiver Blockierung der Schlussrotation des Unterschenkels. Die Fixierung des Fußes kann z.B. durch Stollenschuhe beim Fußball, durch Skistiefel oder Bodenunebenheiten bedingt sein.

Diagnostik

Häufig geben die Patienten an, dass sie im Moment des Unfallgeschehens ein deutliches Schnalzen im Kniegelenk wahrgenommen haben. Anschließend verspüren viele eine Instabilität. Diese Instabilität ist von einem reflektorischen Wegknicken des Kniegelenks nach einem plötzlich einschießenden Schmerz zu trennen. Wenn eine begleitende Meniskusverletzung eingetreten ist, können Blockierungserscheinungen und Schmerzen über dem Gelenkspalt auftreten. Typisch für eine vordere Kreuzbandruptur ist die Ausbildung eines Hämarthros innerhalb der ersten 24 h nach dem Trauma. Aufgrund der extrasynovialen Lage des vorderen Kreuzbandes kann die Ergussneigung verzögert einsetzen, wenn der Synoviaschlauch intakt bleibt. Durch einen Erguss stellen sich dann auch Schmerzen in der Kniekehle ein. Ein Impingement des tibialen Kreuzbandstumpfs kann eine Streckhemmung verursachen.

70% der Patienten mit einem Hämarthros haben eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Deshalb sollte man bis zum Beweis des Gegenteils bei jedem blutigen Gelenkerguss von einer derartigen Verletzung ausgehen.

Klinik

Bei der klinischen Untersuchung sollen beide Kniegelenke im Seitenvergleich untersucht werden. Um ein Gefühl für die individuelle Bandstabilität des jeweiligen Patienten zu bekommen, wird erst die unverletzte Seite untersucht. Dieser Ausgangsbefund dient dem Vergleich mit der verletzten Gegenseite. Für die Stabilitätsprüfung am Kniegelenk gibt es einige wichtige klinische Untersuchungstests, die detailliert im gleichnamigen ▶ Kap. 19 dargestellt sind. Deshalb werden sie hier nur skizzenhaft beschrieben.

Um eine aussagekräftige Untersuchung durchführen zu können, muss das verletzte Kniegelenk schmerzfrei gelagert werden. Fast alle Patienten mit manifester Kreuzbandruptur haben aufgrund des Gelenkergusses oder eines Impingements eine endgradige Streckhemmung. Das Knie wird in einer Beuge-Schon-Haltung von etwa 20° muskulär fixiert. Die Untersuchungstests sind aber nur bei entspannter Muskulatur aussagekräftig. Deshalb muss das Knie mit einer Rolle unterpolstert werden. Damit wird die schmerzarme Beuge-Schon-Haltung passiv gehalten, und der Patient kann die Muskulatur jetzt entspannen.

Zunächst beurteilt man die Weichteilsilhouette. Ein Hämarthros zeigt sich wiederum im Vergleich zur unverletzten Gegenseite an den verstrichenen Konturen des Gelenks. Er lässt sich auch palpieren. Der Lachman-Test dient zur Erfassung des Schubladenausschlags und der Qualität des Anschlags in strecknaher Kniestellung bei 20–30° Beugung. Bei intaktem Kreuzband ist der Ausschlag gering und der Anschlag fest, bei rupturiertem deutlich vermehrt und weich.

Auch die Stabilität der Kollateralbänder wird geprüft. Dies erfolgt in 20°-Beugestellung des Kniegelenks, um den Einfluss der Kreuzbänder und der posterioren Kapsel auszuschalten, die sich bei kompletter Kniestreckung anspannen und keine seitliche Aufklappbarkeit zulassen. Der Pivot-shift-Test ist nicht geeignet, weil die Patienten mit Kreuzbandruptur schmerzbedingt sofort gegenspannen. Deshalb kann das Phänomen am wachen Patienten mit frischer Kreuzbandruptur nicht aussagekräftig geprüft werden. Dies gelingt allenfalls bei chronischer Instabilität.

Bildgebende Diagnostik

Konventionelle Röntgenaufnahmen des Kniegelenks in 2 Ebenen, a.p. und seitlich, ergänzen die klinische Untersuchung. Man sucht nach knöchernen Ausrissen, die meist tibial gelegen sind, und nach vorbestehenden degenerativen Veränderungen. In Zweifelsfall empfiehlt sich zur besseren Beurteilung der interkondylären Notch die Tunnelaufnahme nach Frick. Auch knöcherne Ausrisse des lateralen Kapsel-Band-Apparats kommen vor. Sie werden als Segond-Fragment bezeichnet und sind Indiz für die potenzielle Begleitverletzung der zentralen Stabilisatoren, also den Kreuzbändern.

Die MRT eignet sich zur direkten Darstellung von Begleitverletzungen an Knorpel und Menisken. Die Diagnose der vorderen Kreuzbandruptur lässt sich hingegen meist schon klinisch mit ausreichender Sicherheit stellen (Abb. 10.16).

Konservative Therapie

Akutmaßnahmen

Ein Hämarthros sollte nur dann punktiert werden, wenn eine ausgeprägte Bewegungseinschränkung der Beugung (<90°) oder deutliche ergussbedingte Beschwerden vorliegen. Das verletzte Gelenk sollte initial gekühlt werden, um Hämarthros und Schmerzen zu dämpfen. Wegen der schmerzbedingten Belastungsunfähigkeit ist das betroffene Bein durch Lymphstau und Thrombose gefährdet. Man sollte es deshalb äußerlich komprimieren, entweder mit einem gepolsterten Verband oder einem Antithrombosestrumpf. Außerdem sollte bereits vom Unfalltag an eine Prophylaxe mit einem niedermolekularen Heparin durchgeführt werden, bis die schmerzfreie Vollbelastung wieder erreicht ist. Die Patienten benötigen ebenfalls bereits vom Unfalltag an Gehhilfen für eine schmerzabhängige Teilbelastung des verletzten Beins und am besten irgendeine Form der Schienung. Dafür eignet sich eine Longuette oder ein Tutor aus Gips oder Kunststoff oder eine Orthese mit Gelenk. Letztere hat zwei wesentliche Vorteile. Einerseits bietet sie einen deutlich höheren Tragekomfort, andererseits wird sie für die Nachbehandlung des späteren Kreuzbandersatzes ohnehin gebraucht, sodass Kosten eingespart werden, wenn man den Umweg über einen oder mehrere, mehr oder weniger gut passende ruhigstellende Gips- oder Kunststoffverbände auslässt. Anhaltende Schmerz- und Schwellungszustände bedürfen mitunter einer begleitenden antiphlogistischen Therapie mit nichtsteroidalen Antirheumatika.

Synopse der Akutmaßnahmen bei frischer Ruptur des vorderen Kreuzbandes

- Punktion bei Bedarf
- Kryotherapie
- Äußerliche Kompression
- Niedermolekulares Heparin
- Gehhilfen
- Orthese
- Ggf. Antiphlogistika

Weiteres Vorgehen

Intraligamentäre Kreuzbandrupturen besitzen keine ausreichende endogene Heilungsfähigkeit (Murphy et al. 1993). Grund hierfür ist die fehlende Einkleidung insbesondere des vorderen Kreuzbandes in eine Gewebescheide. Im Gegensatz dazu heilen z.B. die Außenbänder des oberen Sprunggelenks unter alleiniger funktioneller Therapie meist ohne Folgeschäden aus. Die Gewebescheide, welche die Außenbänder umgibt, schient die rupturierten Bänder. Deshalb können sich die rupturierten Bandenden wieder finden, wenn unmittelbar nach der Verletzung die Subluxation der Gelenkpartner aufgehoben ist. Im Rahmen einer frühfunktionellen Nachbehandlung, während der eine erneute Subluxation der Gelenkpartner verhindert werden muss, vereinigen sich die Bandenden dann über das Hämatom und erlangen letztlich durch die sich später ausbildende narbige Verkürzung ihre ursprüngliche Vorspannung wieder. Dieser Heilungsprozess ist bei einem Band, das frei durch eine Gelenklichtung zieht, nicht möglich, weil sich die Bandenden nicht finden können, sondern mit benachbarten Strukturen vernarben. Dies ist beim vorderen Kreuzband häufig zu beobachten, wenn der tibiale Bandstumpf am synovialen Überzug des hinteren Kreuzbandes verklebt (Abb. 10.17).

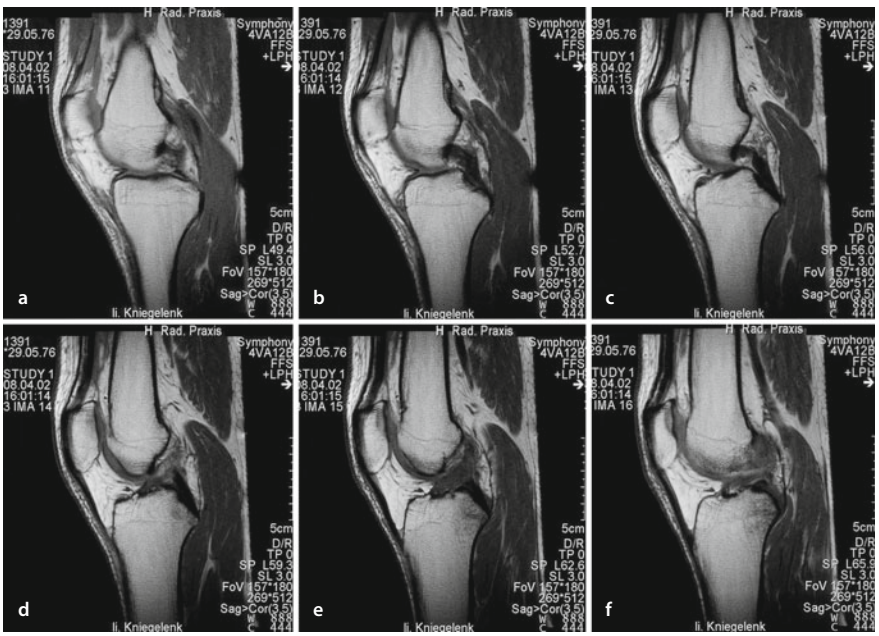


Abb. 10.16a–f Ruptur des vorderen Kreuzbandes in der MRT. Auf den verschiedenen Schichtbildern ist der Raum der Notch von medial (**a**) nach lateral (**f**) dargestellt. Das vordere Kreuzband ist nicht abgrenzbar. Die deutlich sichtbaren, schwarz dargestellten Faserbündel des intakten hinteren Kreuzbands sind leicht gewellt als Ausdruck einer verringerten Vorspannung bei vermehrter vorderer Schublade

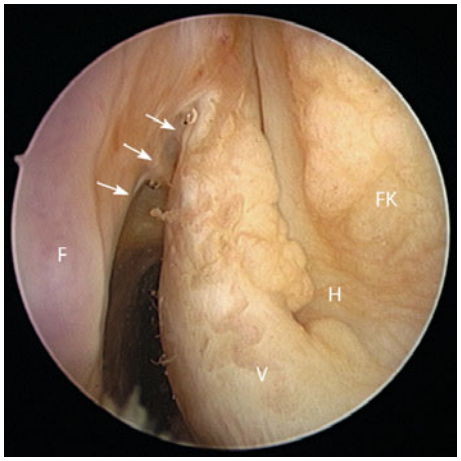


Abb. 10.17 Ein ehemals rupturiertes vorderes Kreuzband (V) hat keinen Kontakt mehr zu seiner eigentlichen Ursprungsregion (Pfeile) an der Innenseite des lateralen Femurkondylus (F), sondern zum hinteren Kreuzband (H), dessen Ursprung von einem Fettkörper (FK) verdeckt wird. (Aus: Strobel 1998)

Entschließt man sich dennoch in Absprache mit dem Patienten zu einem konservativen Vorgehen, wird versucht, durch Auftrainieren der Muskulatur die Instabilität zu kompensieren und die auf das Knie einwirkenden Kräfte durch Reduktion des Aktivitätslevels herabzusetzen. Sekundärschäden an Menisken, Gelenkknorpel und Kollateralbändern sind jedoch, bedingt durch die bestehende abnormale Kraftverteilung und Instabilität, vorprogrammiert (Hirshmann et al. 1990). Daher empfiehlt sich die konservative Therapie nur für ältere Patienten mit niedrigem Aktivitätslevel.

Operative Therapie

Timing

Bei knöchernen Ausrissen des vorderen Kreuzbandes mit kompletter Dislokation von der tibialen Insertion wird eine frühzeitige Refixation des knöchernen Fragments empfohlen. Dies kann bei größeren knöchernen Fragmenten mittels Schraubenosteosynthese, bei kleineren mittels Kirschner-Drähten oder transossärer Naht erfolgen.

Für die Stabilisierung intraligamentärer Rupturen jedoch bleibt allein der Ersatz des vorderen Kreuzbandes durch Sehnentransplantate (Tab. 10.3). DeHaven und Mitarbeiter (1985) konnten zeigen, dass hierdurch bei isolierter Ruptur des vorderen Kreuzbandes das Auftreten sekundärer Meniskusschäden verhindert werden kann. Die Arthroseentwicklung wird allerdings letztlich nicht aufgehalten, aber sie wird verlangsamt.

Entscheidend für das Outcome ist der Zeitpunkt der Rekonstruktion. Der früher propagierte früh elektive Kreuzbandersatz ist verlassen, denn nach Shelbourne und Mitarbeitern (1991) verursacht er im Vergleich zum verzögerten Vorgehen eine deutlich erhöhte Inzidenz postoperativer Bewegungseinschränkungen. Diese so genannte Arthrofibrose entsteht durch ausgeprägte intraartikuläre Vernarbungen. Man nimmt an, dass die Entzündungsmediatoren, die der Hämarthros des frisch verletzten Kniegelenks enthält, für die ausgeprägte Narbenbildung verantwortlich sind.

Es hat sich gezeigt, dass die Rekonstruktion am besten dann erfolgt, wenn Schwellneigung, Schmerz und entzündliche Begleitreaktion ganz abgeklungen sind, der volle Bewegungsumfang zurückerlangt und die initial entstandene Muskelatrophie weitgehend behoben ist. Dies ist meist 6–12 Wochen nach dem Trauma der Fall. Eine begleitende antiphlogistische Therapie in Form physikalischer Maßnahmen und eines Medikaments sowie Krankengymnastik und Thromboseprophylaxe helfen, dieses Ziel schneller zu erreichen.

Früh-elektive Arthroskopie

Bei ausgeprägtem Hämarthros und Verdacht auf Begleitverletzungen an Gelenkknorpel und Menisken kann eine früh-elektive Arthroskopie indiziert sein. Im klinischen Alltag wird die Diagnostik der Begleitverletzungen jedoch zunehmend mit Hilfe der MRT durchgeführt.

Um ausreichend Sicht zu bekommen, muss der Hämarthros komplett aus dem Gelenk gespült werden. Dies wirkt sich günstig auf die Ernährung des Gelenkknorpels aus. Ein etwaiges Impingement des distalen Kreuzbandstumpfs, der auf Dauer die endgradige Streckung blockieren würde, kann erkannt und durch dosiertes Einkürzen des Stumpfs behoben werden. Begleitende Meniskusrisse können ebenfalls im weiteren Verlauf schmerzhafte Bewegungseinschränkungen verursachen und dazu führen, dass die gewünschten Voraussetzungen für einen späteren Kreuzbandersatz wie Schmerzfreiheit, voller Bewegungsumfang und kräftige Muskulatur nicht erreicht werden. Solche Läsionen können im Rahmen der früh-elektiven Arthroskopie ebenfalls mitbehandelt werden. Falls sich vorbestehende oder auch im Rahmen der Verletzung entstandene Knorpelschäden zeigen sollten, kann die Indikation zum Kreuzbandersatz mit gleichzeitiger, geeigneter Knorpeltherapie geplant werden.

Am Beginn der Arthroskopie steht die Bandprüfung in Narkose. Man prüft den Schubladenausschlag, die Qualität des hinteren und vorderen Anschlags und die Festigkeit der Kollateralbänder bei Varus- bzw. Valgusstress in 20°-Flexion und kompletter Streckung. Außerdem lässt sich in Narkose der Pivot-shift-Test durchführen (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Nach Lagerung des Patienten auf dem Rücken mit hängendem Unterschenkel und 90°-flektiertem Knie, wird inferolateral der Patella in der tastbaren Weichteillücke, dem so genannten soft Spot, eine Stichinzision gesetzt. Dann wird die Arthroskopiehülse mit spitzem Mandrin in Richtung Notch vorgeschoben. Wenn der harte Widerstand der Faszie überwunden ist und man den weichen der Kapsel spürt, wechselt man auf den stumpfen Trokar und durchstößt damit die Kapsel. Erfahrene Arthroskopeure sparen sich diesen Schritt. Sie eröffnen bereits bei der Stichinzision die Faszie mit dem spitzen Skalpell und setzen anschließend gleich den stumpfen Trokar ein.

Wenn die Trokarspitze intraartikulär liegt, wird die Arthroskopiehülse mit einer Hand gehalten, mit der anderen der Fuß des Patienten gefasst und das Bein gestreckt. Gleichzeitig schiebt man die Arthroskopiehülse zum femoropatellaren Gleitlager vor. Nun wird der Zulauf für die Spülflüssigkeit geöffnet. Dadurch dehnt sich der obere Rezessus langsam auf, und es ergibt sich ein erster Einblick in den Gelenkinnenraum. Man stellt sich jetzt das Bild scharf ein. Bei stattgehabter frischer Ruptur des vorderen Kreuzbandes liegt meist ein ausgeprägter blutiger Erguss vor, der die Sicht initial stark beeinträchtigt. Solange Blut im Gelenk ist, bekommt man kein scharfes Bild. Erst muss der Hämarthros ausgespült werden. Das geht am schnellsten, wenn die Optik aus der Arthroskopiehülse entfernt und mit der leeren Hülse gespült wird. Mit dem Daumen hält man die Hülse zu, lässt Spülflüssigkeit ins Gelenk strömen und anschließend über die Hülse ablaufen. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt. Dabei wird die Hülse in verschiedene Richtungen des Gelenks gerichtet und gleichzeitig der obere und hintere Rezessus ausgemolken, denn dorthin verteilt sich der Hämarthros. Wenn die Spülflüssigkeit weitgehend klar aus dem Gelenkinneren

zurückströmt, wird die Optik wieder eingeführt und das Bild an der Kamera scharf eingestellt.

Manche Operateure legen eine Ablaufkanüle in den lateralen oberen Rezessus. Andere verzichten darauf und regeln Zu- und Ablauf über die Arthroskopiehülse, was viel einfacher ist und dennoch das Spülen auch mit größeren Mengen Flüssigkeit in der eben beschriebenen Weise ermöglicht.

Nun erfolgt die schrittweise Untersuchung des Gelenkinneren, die immer nach dem gleichen Schema ablaufen sollte, damit kein Gelenkabschnitt übersehen wird.

Arthroskopischer Untersuchungsgang

- Retropatellarer Knorpel
- Oberer Rezessus
- Lateraler Rezessus
- Femoropatellargelenk
- Medialer Rezessus
- Mediales Gelenkkompartiment
- Area intercondylaris
- Laterales Gelenkkompartiment

Im oberen Rezessus registriert man einen etwaigen Hämarthros oder Adhäsionen nach früheren Verletzungen oder Zeichen der Synovialitis bei degenerativen Veränderungen. Eine Synovialitis zeigt sich in Form vermehrter Gefäßeinsprossungen und synovialer Zotten.

Anschließend schwenkt man unter Sicht in den lateralen Rezessus. Hier wird das Lichtkabel in 3-Uhr-Position, wenn es sich um ein rechtes Knie handelt, oder in 9-Uhr-Position in einem linken Knie gedreht. Dann wird das femoropatellare Gleitlager unter Beugung und Streckung beurteilt. Man inspiziert den Gelenkknorpel und den Lauf der Patella im femoralen Gleitlager hinsichtlich einer etwaigen Subluxationstendenz. Bei Standardposition des Lichtkabels werden der Rezessus und die Basis des lateralen Meniskus betrachtet. Anschließend wird noch einmal die Kniekehle ausgemolken, denn im dorsalen Rezessus können sich freie Gelenkkörper befinden, die dadurch in die vorderen Gelenkabschnitte gespült und sichtbar werden.

Im Femoropatellargelenk interessiert den Untersucher der Zustand des Knorpels. Um den retropatellaren Knorpel beurteilen zu können, wird das Lichtkabel der 30°-Optik von der Standardeinstellung bei 12 Uhr um 180° auf 6 Uhr gedreht. Degenerative Veränderungen, Fissuren oder Defekte können beurteilt und dokumentiert werden.

Nun schwenkt man in den medialen Rezessus und stellt das Lichtkabel spiegelbildlich zur vorherigen Stellung auf 3 bzw. 9 Uhr ein, um wiederum das femoropatellare Gleitlager, Gelenkknorpel, Patella, Synovia und die Basis des Innenmeniskus beurteilen zu können.

Anschließend wird das mediale Gelenkkompartiment inspiziert. Degenerative Veränderungen des Gelenkknorpels, Fissuren und Defekte werden registriert. Um die Kondylenregion in ganzer Ausdehnung einsehen zu können, wird die Kondyle in Streckstellung eingestellt und das Gelenk dann in eine zunehmende Beugung geführt. Der Innenmeniskus wird in allen Abschnitten untersucht. Seine Stabilität wird mit einem Tasthaken geprüft, der über einen Instrumentenzugang ins Gelenk eingeführt wird. Dieser mediale Zugang wird unter arthroskopischer Sicht angelegt. Durch die intraartikulär liegende Lichtquelle kann dabei der Effekt der Diaphanoskopie genutzt werden. Für den Eintrittspunkt,

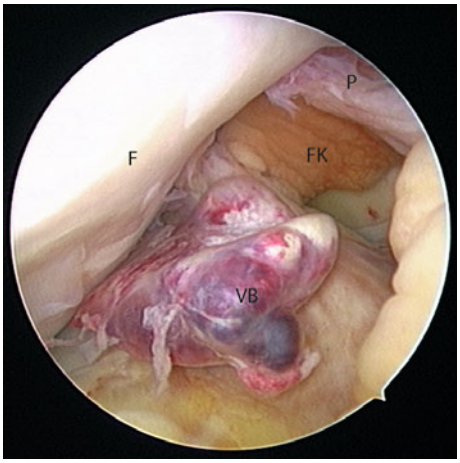


Abb. 10.18 Arthroskopische Sicherung der Diagnose einer vorderen Kreuzbandruptur nach Ausspülen des Hämarthros aus dem Gelenk. Das verplumpte Bündel des vorderen Kreuzbandstumpfs (VB) verklemmt sich bei endgradiger Streckung zwischen Notchdach und Eminentia intercondylaris und verursacht auf diese Weise ein Streckdefizit (F lateraler Femurkondylus, P Plica infrapatellaris, FK Fettkörper vor dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes). (Aus: Strobel 1998)

der an spiegelbildlicher Stelle zum lateralen Zugang parapatellar liegt, wird ein gefäßfreier Abschnitt gesucht. Die Gelenklichtung wird zunächst mit einer Kanüle punktiert. Über das Arthroskop wird der gewünschte Eintrittswinkel der Kanüle in den vorderen Gelenkabschnitt ermittelt. Anschließend wird mit einem spitzen Skalpell eine Stichinzision an entsprechender Stelle gesetzt und der Tasthaken ins Gelenk eingeführt. Alle Meniskusabschnitte, Vorder- und Hinterhorn sowie die Pars intermedia werden nun mit dem Haken in Richtung Gelenklichtung gezogen. Dabei zeigen sich etwaige Rissbildungen und Instabilitäten. Die Hinterhornregion kann schwer einsehbar sein. Die beste Übersicht ist bei Valgusstress in Strecknähe zu erreichen.

Nun erfolgt die Beurteilung des vorderen und hinteren Kreuzbandes in der Area intercondylaris, der so genannten Notch. Gesucht wird nach Einblutungen bzw. Rissbildungen der Bänder oder ihres synovialen Überzugs. Die Stabilität wird durch Auslösen einer vorderen bzw. hinteren Schublade unter Sicht und durch Prüfung der Bandkontinuität mit dem Tasthaken beurteilt. Außerdem wird nach einer etwaigen Plica infrapatellaris gesucht. Der femorale Ansatz des vorderen Kreuzbandes kann am besten in der so genannten 4er-Stellung eingesehen werden. Der Begriff leitet sich von der Stellung der Beine ab, denn das zu untersuchende Knie wird über 90° gebeugt und der Unterschenkel über den der Gegenseite geführt, sodass die Beinstellung der Ziffer 4 gleicht.

Zuletzt wird das laterale Gelenkkompartiment nach denselben Kriterien wie das mediale untersucht (Abb. 10.18).

Arthroskopische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes wird entweder die Semitendinosussehne, die Quadrizepssehne oder das mittlere Drittel der Patellarsehne verwendet. Zur Verankerung in Femur und Tibia stehen entweder gelenknahe Fixierungsmöglichkeiten, wie metallische oder resorbierbare Interferenzschrauben, oder gelenkferne Befestigungsvorrichtungen, wie der so genannte Endobutton oder Pins zur Verfügung. Die Entscheidung für ein bestimmtes Transplantat und dessen Fixierung hängt von den Bedürfnissen des Patienten und der Präferenz des Operateurs ab.

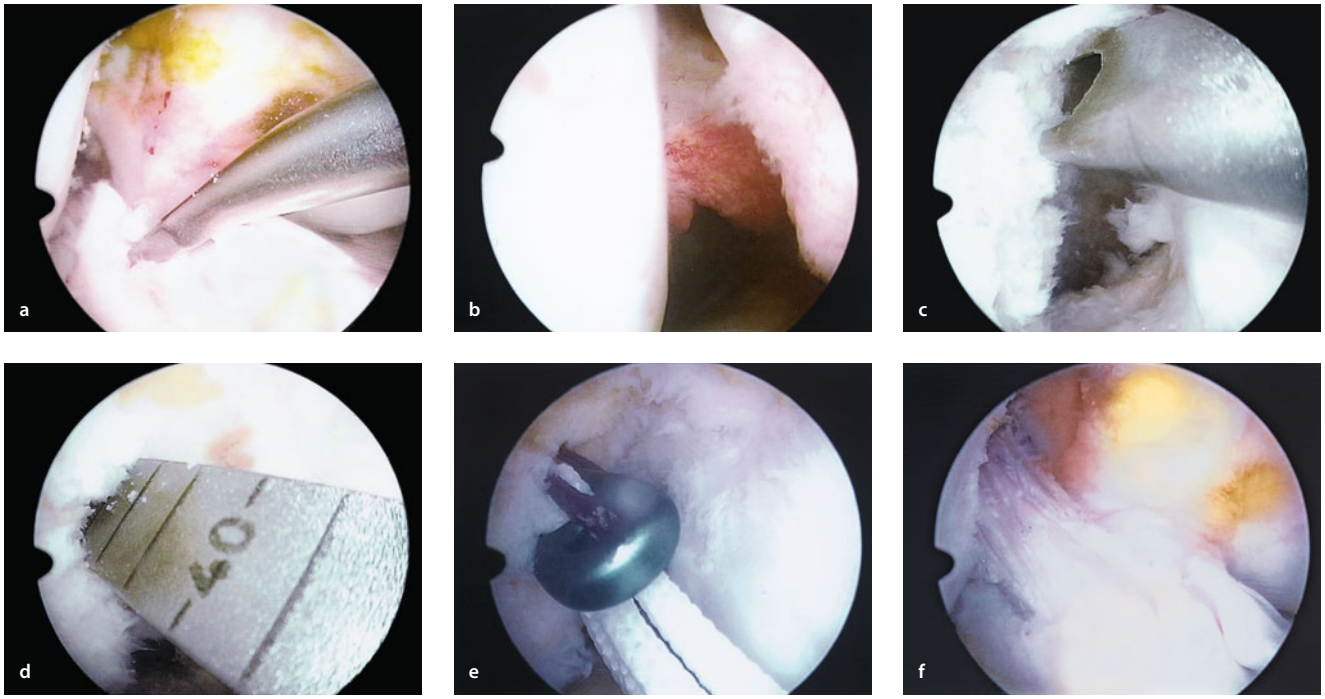


Abb. 10.19 Arthroskopisch unterstützter VKB-Ersatz mit Hamstring-Sehnen. Erklärung im Text

Die einzelnen Transplantate haben verschiedene Vor- und Nachteile. Das Transplantat aus dem mittleren Patelladrittel mit einem Knochenblock ist das am meisten untersuchte Transplantat für den Kreuzbandersatz mit entsprechend gut dokumentierten Langzeiterfahrungen. Vorteile liegen in der hohen Primärstabilität, der stabilen Verankerungsmöglichkeit und der damit verbundenen schnellen Einheilung der Verankerung durch Knochen-Knochen-Kontakt. Häufig beschriebene Nachteile sind ein postoperativer anteriorer Knieschmerz durch Narbenbildung im Entnahmebereich und im Hoffa-Fettkörper, Schwächung des Streckapparats und Frakturen der Patella im Rahmen der Knochenblockentnahme.

Auch aus der Quadrizepssehne kann man ein Transplantat entnehmen. Sie ist bei der Entnahme in Länge und Dicke frei einstellbar, allerdings wird auch hier durch die Entnahme der Streckapparat geschwächt. Die Quadrizepssehne kommt v.a. in der Revisionschirurgie des vorderen Kreuzbandes zum Einsatz.

Das mittlerweile mit am häufigsten verwendete Transplantat für die vordere Kreuzbandrekonstruktion wird aus den Hamstring-Sehnen gebildet (Abb. 10.19). Die Entnahme der Semitendinosussehne kann hierbei über einen kleinen Schnitt erfolgen, der auch für die Einbringung des Transplantats genutzt werden kann. Die Entnahmemorbidität ist im Vergleich zu den anderen Transplantaten deutlich geringer. Nachteile sind die langsame Einheilung des Sehnenmaterials in den Knochenkanal über Sharpey-Fasern und die anspruchsvollere Entnahmetechnik.

Im Folgenden wird das arthroskopisch unterstützte Vorgehen eines Kreuzbandersatzes mit der Semitendinosussehne und im Anschluss daran mit dem mittleren Patellarsehnendrittel beschrieben.

Kreuzbandersatz mit der Semitendinosussehne

Das Bein wird wie bei einer Arthroskopie gelagert, mit dem Unterschied, dass der Beinhalter relativ weit proximal am Oberschenkel angelegt wird, damit man beim späteren Einziehen des Transplantats in die Knochentunnel den Ösenführungsdraht streckseitig am distalen Femur innerhalb des desinfizierten Hautbereichs ausleiten kann und mit der Spitze des Drahts nicht unter die Abdeckung gerät. Aus demselben Grund soll das Knie deutlich über 90° beugbar sein. Dabei kann es erforderlich sein, die Beinplatte des Operationstischs zu entfernen.

Es wird unter Einsatz der Blutsperre operiert. Zu Beginn des Eingriffs wird das Kniegelenk auf etwaige sekundäre Schäden hin arthroskopisch untersucht, wie es oben im Abschnitt »Frühelektive Arthroskopie« beschrieben wurde. Meniskusschäden werden vor dem Kreuzbandersatz behandelt, weil das Kniegelenk bei rupturiertem vorderem Kreuzband wesentlich besser aufklappbar ist und die Menisken deshalb besser zugänglich sind. Anschließend wird der Ursprung des vorderen Kreuzbandes dorsolateral in der Kuppel der Notch mit einem Shaver, Cutter oder einer Fräse von Bandresten und Periost befreit bis der Knochen und der Hinterrand der Notch sichtbar sind. Das erleichtert es, den isometrisch richtigen Punkt für den femoralen Bohrkanal zu treffen. Falls die Notch eng ist, wird sie mit einer Kugelkopffräse erweitert. Hierdurch wird eine bessere Sicht in den hinteren Teil der Notch zur exakten Positionierung des femoralen Bohrkanals erzielt und einem späteren Impingement des Transplantats vorgebeugt. Dann wird der tibiale Insertionspunkt identifiziert. Er liegt vor den senkrecht verlaufenden Faserbündeln des hinteren Kreuzbandes. Häufig ist der tibiale Kreuzbandstumpf mit dem hinteren Kreuzband narbig verklebt (Abb. 10.17). Um einen ausreichenden Überblick und ein Gefühl für den richtigen Insertionspunkt zu bekommen, löst man diese Adhäsionen. Der Stumpf selbst sollte aber weitgehend belassen bleiben, denn er enthält propriozeptive Fasern, hilft den richtigen Insertionspunkt zu treffen und verstärkt das spätere Transplantat, das durch den belassenen Stumpf in die Gelenklichtung gezogen wird. Zudem verhindert der belassene tibiale Kreuzbandstumpf ein Eindringen von Gelenkflüssigkeit in den späteren tibialen Bohrkanal und fördert auf diese Weise die Einheilung des Transplantats.

Nun ist das Knie für die Aufnahme des Transplantats, das jetzt gehoben wird, vorbereitet. 5 mm distal der Tuberositas tibiae wird ein kurzer Hautschnitt gesetzt und der Pes anserinus dargestellt. Der Sehnenansatz des M. sartorius wird im Faserverlauf inzidiert. Anschließend stellt man auf der Innenfläche dieses Sehnenansatzes die Semitendinosussehne dar, schlingt sie an und setzt sie subperiostal von der Tuberositas ab. Durch das subperiostale Präparieren kann die Sehnenlänge um ca. 2 cm vergrößert werden. Bevor die Sehne mit einem Stripper gehoben werden kann, mobilisiert man sie, indem bindegewebige Verbindungen mit den umliegenden Weichteilstrukturen durchtrennt werden. Unter rotierenden Bewegungen mit dem Stripper wird dann die Sehne gehoben.

Vor der Entnahme muss kranial die Sehne des M. gracilis identifiziert werden, um deren irrtümliche Entnahme zu vermeiden. Nach der Entnahme sollte am Ende des Kreuzbandersatzes das Bein unbedingt bis in die Leistenregion hinauf elastisch gewickelt werden, denn nach Öffnen der Blutsperre kann es aus der anhängenden Muskulatur nachbluten.

Nun werden Muskelreste von der Sehne entfernt und ihre Länge bestimmt. Ist sie länger als 24 cm, kann sie 4-fach, andernfalls nur 3-fach gelegt werden. Zur Herstellung eines 4-fach gelegten Transplantats beispielsweise der Länge 26 cm wird die Sehne bei 13 cm halbiert und dann in 2 Schlaufen gelegt. Das ergibt im Endeffekt ein 6,5 cm langes Transplantat. Die zusammengelegten Enden werden nun auf etwa 2–2,5 cm Länge mit einem nicht resorbierbaren Faden der Stärke 2 durch mehrfache Durchflechtung armiert. Am anderen Ende wird ein kräftiger Zugfaden gleicher Stärke in die Sehnenschlaufe eingelegt und anschließend das Transplantat etwa 2 min vorgespannt. Nun wird mit Hilfe einer Schablone der kleinstmögliche Durchmesser ermittelt, durch den sich das Transplantat ziehen lässt. Hieraus ergibt sich der nötige Durchmesser des tibialen und femoralen Bohrkanals. Für eine gute Einheilung des Transplantats ist eine Pressfit-Implantation erforderlich.

Da der Kreuzbandersatz zu gleichen Teilen im tibialen und femoralen Bohrkanal eingezogen werden soll, wird er vor dem Einzug ins Gelenk mit einem Farbstift markiert. Ein beispielsweise 6,5 cm langes Transplantat wird folgendermaßen aufgeteilt: Die frei im Gelenk zu überbrückende Distanz beträgt 2,5 cm. Die verbleibenden 4 cm werden für die tibiale und femorale Verankerung genutzt, also 2 cm pro Knochentunnel.

Nach der Vorbereitung des Transplantats kann nun der tibiale Bohrkanal gesetzt werden. Der mit einem scharfen Haken versehene Arm des Zielbügels wird auf die Eminentia intercondylaris gesetzt, dem Insertionspunkt des vorderen Kreuzbandes. Es empfiehlt sich, diesen Schritt mit einem Bildwandler im seitlichen Strahlengang zu kontrollieren, weil insbesondere bei wenig Erfahrung die Gefahr besteht, durch die räumliche Enge, die das kräftige hintere Kreuzband schafft, zu weit nach ventral abgedrängt zu werden und den isometrisch richtigen Punkt zu verfehlen. Der Austritt des tibialen Führungsdrahts, der durch das Zielgerät platziert wird, sollte etwa 7 mm vor der anterioren Zirkumferenz des hinteren Kreuzbandes liegen. Die Hinterkante des Außenmeniskus-Vorderhorns kann ebenfalls zur Orientierung genutzt werden. Meistens gerät man weiter anterior als erwartet (Abb. 10.19a).

Den arthroskopisch unterstützten Kreuzbandersatz unter Bildwandlerkontrolle durchzuführen, bedeutet einen erheblichen Aufwand und schafft deutliche räumliche Enge im Operationssaal. Dies verführt leicht dazu, auf den Bildwandler zu verzichten. Dazu sollte man sich jedoch nicht hinreißen lassen, denn selbst bei längerer Erfahrung kann es passieren, dass die isometrisch richtigen Insertionspunkte verfehlt werden. Pässler empfiehlt (in einer persönlichen Mitteilung, Oktober 2002) hintergründig, die ersten 1000 Kreuzbänder unter Bildwandlerkontrolle zu ersetzen.

Aber nicht nur die richtigen Insertionspunkte müssen getroffen werden, sondern der Zieldraht muss auch steil genug durch den Schienbeinkopf eingebracht werden, um einen ausreichenden Sehnen-Knochen-Kontakt für das Transplantat zu bekommen. Der Eintrittspunkt für den zu setzenden Bohrkanal liegt an der anteromedialen Tibiafläche 1 cm medial der Tuberositas; bei langem Transplantat 1 cm distal davon. Nach Entfernung des Zielgeräts wird der Führungsdraht mit einem kanülierten Bohrer mit bereits zuvor festgelegtem Durchmesser (s. oben) überbohrt.

Wenn der tibiale Kanal gebohrt ist, sollten die Ränder des Tunneleingangs von Periostresten befreit und die Knochengrate geglättet werden, sonst können sich beim späteren Einzug des Transplantats Weichteile verklemmen und das weitere Vorgehen dadurch erschweren.

Nun wird der femorale Kanal geschaffen. Dazu positioniert man den Führungsdraht für den kanülierten Bohrer weit dorsal und kraniolateral in der Notch, und zwar bei etwa 10:30 Uhr in einem rechten (Abb. 10.19b) und bei 1:30 Uhr in einem linken Knie. Es gibt für diesen Schritt ein kanüliertes Zielgerät, dessen Haken am Hinterrand der Notch eingesetzt wird. Unabhängig davon empfiehlt es sich, auch diesen Schritt im seitlichen Strahlengang des Bildwandlers zu kontrollieren und darauf zu achten, dass die Blumensaat-Linie an der dorsalen Viertelgrenze getroffen wird. Das Zielgerät wird über das mediale Arthroskopie-Portal und einer Flexion des Kniegelenks über 90° eingesetzt und anschließend ein Führungsdraht mit Öse durch das distale Femur gebohrt und dessen Spitze streckseitig am distalen Oberschenkel ausgeleitet. Die transtibiale Bohrung des femoralen Kanals wird in letzter Zeit zunehmend verlassen, da hierbei die Gefahr einer zu steilen Positionierung des Transplantats besteht. Diese so genannte High-noon-Position geht mit anhaltenden Beschwerden und einer persistierenden Rotationsinstabilität im Kniegelenk nach Kreuzbandersatz einher. Die Flexion über 90° macht es möglich, den Führungsdraht innerhalb des desinfizierten Operationsfeldes auszuleiten, andernfalls würde man zu weit nach proximal geraten und womöglich die Blutsperremanschette perforieren (Abb. 10.19c).

Nun wird mit dem kanülierten Bohrer der femorale Bohrkanal geschaffen. Es reicht aus, einen etwa 3,5 cm langen Bohrkanal ins distale Femur zu legen. Die zweite Kortikalis wird dann mit einem Spezialbohrer durchbohrt, um die proximale Transplantatfixierung durchziehen zu können. Dann wird die Öffnung des Kanals arthroskopisch inspiziert, ggf. von Weichgeweberesten befreit und etwaige Knochengrate geglättet, damit sich kein Impingement ergibt. Nun werden die Haltefäden eines Endes des bereits vorbereiteten Transplantats durch die Öse des Führungsdrahts gefädelt und das Transplantat damit in die Tunnel bis zur vorher aufgezeichneten Flipp-Markierung eingezogen. Ist diese erreicht, wird an einem der beiden Flippfäden gezogen, um den Endobutton quer vor das femorale Bohrloch zu legen. Durch Zug an den distalen Verankerungsfäden kann das Transplantat unter arthroskopischer Sicht um die Flipp-Distanz zurückgezogen werden und somit der Endo-

button zur proximalen Fixierung an den Knochen herangezogen werden.

Nun wird geprüft, ob die Isometrie getroffen wurde. Dazu werden die tibialen Armierungsfäden unter Zug gehalten und das Knie durchbewegt. Hierbei kann der Operateur durch Auflage seines Zeigefingers auf den Austritt des tibialen Bohrkanals eine Mitbewegung der Zugfäden registrieren. Ein Hub von mehr als 2 mm ist ein Indiz, dass der topografisch korrekte Ursprung oder Ansatz nicht exakt getroffen wurde. Dann ist eine Korrektur nötig. Wenn jedoch isometrische Verhältnisse herrschen, wird nun distal das Transplantat an einer Schraube, einem Stapel oder über einen metallischen Steg geknüpft. Dabei muss das Transplantat kräftig vorgespannt gehalten werden. Auch eine Fixierung mit Interferenzschrauben ist möglich. Werden gelenkferne und gelenknahe Verankerungen miteinander kombiniert, so spricht man von einer so genannten Hybridfixation. Sie kommt bei Revisionen häufig zum Einsatz.

Abschließend wird das Knie nochmals unter arthroskopischer Sicht durchbewegt und beurteilt, ob bei kompletter Streckung das Transplantat am Vorderrand der Notch anstößt. Liegt ein Impingement vor, muss eine Notchplastik durchgeführt und der Rand so weit abgetragen werden, bis das Transplantat keinen Kontakt mehr hat.

Der Eingriff wird abgeschlossen durch Einlage einer intraartikulären Redon-Drainage über den Arthroskopieschaft in den oberen Rezessus des Gelenks, wo die Drainage das Gelenkspiel am wenigsten stört. Im Bereich der Entnahmestelle der Sehne am Pes anserinus wird die Faszie des M. sartorius rekonstruiert. Nach Einlage einer subkutanen Drainage werden Subkutis und Haut genäht. Zuletzt werden ein steriler Wattekompressionsverband und eine Orthese angelegt (Abb. 10.19d–f).

Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in Doppelbündeltechnik

In letzter Zeit wird von mehreren Autoren die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in Doppelbündeltechnik gefordert, um den anatomischen und biomechanischen Gegebenheiten gerechter zu werden. Das vordere Kreuzband besteht aus einem anteromedialen Bündel, welches sich bei Beugung anspannt und eine anteriore Instabilität verhindert, und aus einem posterolateralen Bündel, das in Streckstellung gespannt ist und einer Rotationsinstabilität entgegenwirkt.

Die Sehnenentnahme erfolgt analog zur oben beschriebenen Technik. Ist das entnommene Semitendinosus-Sehnentransplantat länger als 24 cm und der Durchmesser des einfach gefalteten Transplantats mindestens 4,5 mm, so kann dieses geteilt werden und auf eine zusätzliche Entnahme der Grazilissehne verzichtet werden. Die Transplantate für die beiden Bündel werden separat voneinander vorbereitet. Der tibiale Bohrkanal des anteromedialen Bündels liegt ca. 10 mm vor dem hinteren Kreuzband, der tibiale Bohrkanal des posterolateralen Bündels zwischen dem anteromedialen Kanal und dem hinteren Kreuzband. Femoralseitig sollte der anteromediale Bohrkanal oberhalb des Übergangs zwischen der Linea intercondylaris und der Knorpel-Knochen-Grenze, der posterolaterale unterhalb liegen. Zunächst wird jeweils das posterolaterale und anschließend das anteromediale Transplantat in oben beschriebener Technik eingezogen, wobei das posterlaterale Transplantat in 15° Knieflexion und das anteromediale Transplantat in 45° Knieflexion gespannt und fixiert werden sollte.

Neben der anatomischen und biomechanischen genauen Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durch die Doppelbündeltechnik werden eine Vermeidung der Rotationsinstabilität, eine verbesserte Stabilität in Flexion und die schnellere Einheilung des Transplantats durch den vermehrten Knochen-Sehnen-Kontakt als Vorteile dieser Technik angeführt.

Arthroskopische Patellarsehnenplastik

Die arthroskopische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit autologer Patellarsehnenplastik verläuft in vielen Schritten ähnlich wie die oben beschriebene Semitendinosussehnenplastik. Die Entnahme und Aufbereitung des Transplantats, die Durchmesser der Bohrkanäle und die Befestigung des Kreuzbandersatzes weichen hingegen ab. Zum Heben des Transplantats wird streckseitig über der Patella ein Zugang vom Patellaunterpol bis zur Tuberositas tibiae geschaffen und das Peritendineum gespalten. Es ist vorteilhaft, den Zugang etwas nach medial zu versetzen, weil Beschwerden beim späteren Knien gemindert werden, wenn die Narbe nicht direkt über der Tuberositas zu liegen kommt. Außerdem erleichtert es die Exposition der paramedialen Region neben der Tuberositas tibiae, wo später der Knochentunnel für den Einzug des Transplantats gebohrt wird.

Nun hebt man einen 8–10 mm im Durchmesser großen und etwa 20 mm langen Knochenblock unter Einsatz einer kleinen oszillierenden Säge und eines Flachmeißels aus dem Patellaunterpol. Die Dicke des Transplantats soll mit der Größe und dem Gewicht des Patienten korrelieren. Beim Heben des Knochenblocks soll der Knorpel nicht miterfasst werden. Der Block wird mit einem 2 mm dicken K-Draht an 2 Stellen perforiert. In die beiden Bohrlöcher wird je ein Faden der Stärke 1 unterschiedlicher Farbe eingezogen (Abb. 10.20a).

Die Fäden sollen deshalb unterschiedliche Farben haben, damit später, wenn das Transplantat in die Knochentunnel eingezogen worden ist, nicht versehentlich beide Schenkel ein und desselben Armierungsfadens vor dem Ziehen gekappt werden, bevor man durch Zug an den beiden verbleibenden Schenkeln die beiden Restfäden entfernt.

Nun werden die am Knochenblock entspringenden Sehnenfasern in ihrer Verlaufsrichtung aus der Patellarsehne geschnitten und anschließend ein ebenso großer Knochenblock am Insertionspunkt des Faserbündels im Bereich der Tuberositas tibiae in gleicher Technik wie an der Patella gehoben und ebenfalls mit verschiedenfarbigen Fäden der Stärke 1 armiert. Das gehobene Transplantat wird nun durch Bohrlehren verschiedener Größe gezogen, um den Durchmesser der Knochenblöcke zu ermitteln und zu erkennen, wo prominente Knochenanteile mit einem kleinen Lüer eingekürzt werden müssen, damit die Blöcke später in die Bohrkanäle der gewählten Größe passen. Wenn das Transplantat fertig bearbeitet ist, wird es in eine mit Ringer- oder physiologischer Kochsalzlösung getränkten Kompresse gehüllt und bis zum späteren Gebrauch in einer Nierenschale deponiert.

Es ist wichtig, die Knochenblöcke nicht zu groß zu fertigen, um die Knochendefekte in Patella und Tibia klein zu halten und eine Patellafraktur oder einen Knorpeldefekt im unteren Polbereich zu vermeiden. Genauso wichtig ist allerdings auch, dass die Blöcke nicht zu klein sind, denn dann besteht die Gefahr, dass sie sich beim späteren Verblocken mit den Interferenzschrauben nicht stabil im Knochentunnel verkeilen und unter Belastung vorzeitig auslockern oder brechen.

Nun wird durch das Entnahmebett des mittleren Patellarsehnendrittels tangential entlang der vorderen Rampe eine Stichinzision in die Gelenkkapsel gesetzt und durch diese Öffnung ein Zielgerät in das Gelenk eingebracht. Das Zielgerät ist durch diesen zusätzli-

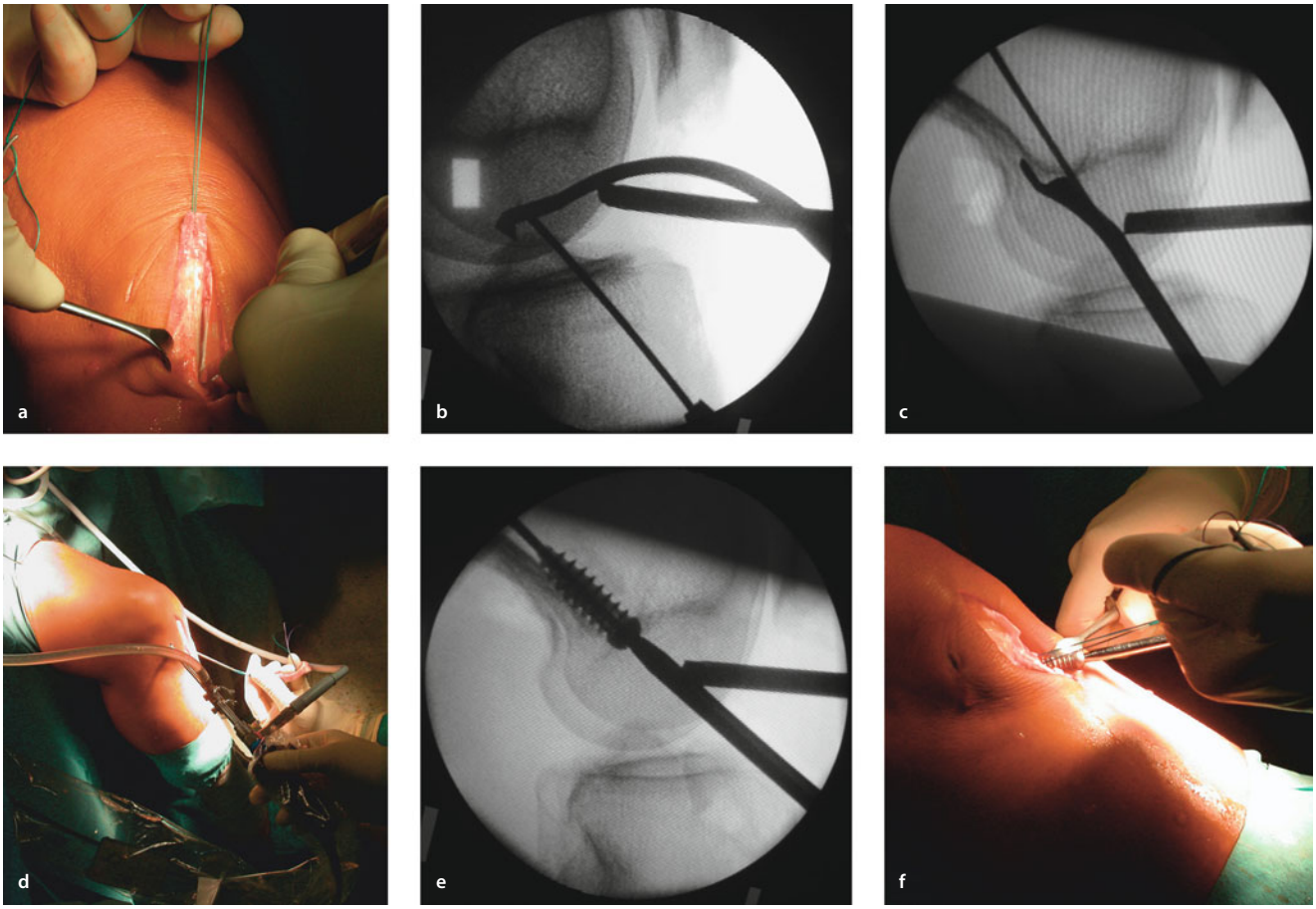


Abb. 10.20a–f Arthroskopischer Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit mittlerem Patellarsehnendrittel. **a** Entnahme des Transplantats. **b** Bohren des tibialen Tunnels über einen Führungsdraht unter Einsatz eines Zielgeräts. **c** Platzierung des femoralen Zieldrahts unter Bildwandlerkontrolle. **d** Einziehen des Transplantats mit einem Ösen-K-Draht. **e,f** Setzen der femoralen (**e**) und der tibialen Interferenzschraube (**f**)

chen Zugang einfacher zu platzieren als durch den anteromedialen Arthroskopiezugang, weil dem Zug der Weichteile nicht entgegengearbeitet werden muss. Außerdem kann dieser Zugang später für das Einbringen der proximalen Interferenzschraube genutzt werden (Abb. 10.20b).

Nun werden analog zur Semitendinosustechnik die Bohrkanäle tibial und femoral gesetzt und das Transplantat durchgezogen. Die Lage der Knochenböcke kann unter dem Bildwandler kontrolliert werden. Abschließend wird das Transplantat mit metallischen oder biodegradablen Interferenzschrauben femoral und tibial fixiert. Die Knochenblöcke werden in ihrem jeweiligen Bohrkanal damit verblockt (Abb. 10.20c-f). Im Bereich der Entnahmestelle des Patellarsehnendrittels wird das Peritendineum rekonstruiert. Die Patellarsehne selbst wird nicht genäht, denn dadurch würde sie sich verkürzen. Ein Patellatiefstand wäre die Folge. Der Defekt im mittleren Drittel füllt sich von selbst wieder auf.

Refixation knöcherner tibialer Ausrisse

Wenn ein knöcherner tibialer Ausriss mit deutlicher Dislokation vorliegt, besteht die Indikation zur Refixation. Nicht verschobene und kaum dislozierte Ausrisse können, konservativ behandelt werden (Tab. 10.3). Das betroffene Bein wird dann in einem Tutor oder einer Orthese in 20°-Beugestellung unter Thromboseprophylaxe 4–6 Wochen ruhiggestellt.

Stärker dislozierte Ausrisse bedürfen hingegen der Refixation. Man kann dies unter arthroskopischer Sicht vornehmen. Nach Ausspülen des Hämarthros wird das abgerissene Fragment über einen Instrumentenzugang mit einem Tasthaken, einem Einzinker oder einer Repositionszange in sein Bett gedrückt und anschließend je nach Größe und Knochenqualität mit einer Schraube, K-Drähten oder einer Drahtschlinge refixiert.

Die Schraubenrefixation erfolgt vom Schienbeinkopf aus. Man verwendet dafür am besten eine kanülierte Schraube. Der Führungsdraht kann unter Bildwandlersicht in 2 Ebenen und gleichzeitigem Einsatz des Zielgeräts für den Kreuzbandersatz in die gewünschte Position gebracht werden. Damit wird erreicht, dass das abgesprengte Fragment optimal getroffen wird und später mit dem Gewinde der Zugschraube mittig gefasst werden kann.

K-Drähte haben den Nachteil, dass damit keine Kompression aufgebaut werden kann. Sie eignen sich deshalb allenfalls bei Jugendlichen, bei denen die Wachstumsfuge nicht mit einer Schraube gekreuzt werden soll und deren Knochenqualität so fest und deren Frakturheilung so schnell ist, dass gute Chancen zur regelrechten Einheilung bestehen.

Bei erwachsenen Patienten verwendet man hingegen für kleinere Ausrisse, die einer Schraubenrefixation nicht zugänglich sind, eine Drahtschlinge oder nicht resorbierbare Fäden (z.B. Ethibond 1). Die beiden Schenkel der Schlinge werden durch 2 gesonderte

Bohrkanäle streckseitig am Schienbeinkopf ausgeleitet und anschließend über dem zwischen den Kanälen liegenden knöchernen Steg verdrillt (Abb. 10.21a,b).

Das Vorgehen im Einzelnen bei Verwendung einer Drahtschlinge: Es werden zunächst 2 parallele Bohrkanäle geschaffen, mit einem 3,2er Bohrer vom anteromedialen Aspekt des Tibiakopfs aus, der über einen kurzen 2–3 cm langen senkrechten Zugang subperiostal freigelegt wird. Die Bohrung erfolgt unter Bildwandlerkontrolle und arthroskopischer Sicht. Wird ein kanülierter Bohrer verwendet, besteht wiederum die Möglichkeit der optimalen Platzierung der Kanäle für die spätere Drahtschlinge. Auch der Einsatz des Zielgeräts für den Kreuzbandersatz kann hilfreich sein. Wenn die Kanäle geschaffen sind, wird ein 1 mm starker Draht durch eines der beiden Bohrlöcher ins Gelenk vorgeschoben. Intraartikulär wird die Drahtspitze mit einer kräftigen Klemme oder einem Nadelhalter, der durch den Instrumentenzugang ins Gelenk einführt wird, gefasst und ansatznah durch das vordere Kreuzband gestochen. Dann wird die Drahtspitze jenseits des Bandes wieder aufgenommen und in den dort ausmündenden Bohrkanal eingeführt. Da sich der Draht leicht in der Spongiosa des Schienbeinkopfs verfängt und dann nicht nach außen geschoben werden kann, empfiehlt es sich, in diesen Bohrkanal vom Schienbeinkopf aus eine dicklumige Kanüle ins Gelenk einzuführen. Dies erleichtert einerseits, den Eintrittspunkt des 2. Bohrlochs im Gelenk überhaupt zu finden, andererseits kann die Drahtspitze intraartikulär in die Kanüle eingeführt und, durch diese geschient, aus dem Gelenk geschoben werden. Zuletzt werden die beiden Drahtenden vorgespannt und über dem zwischen den Bohrlöchern liegenden Knochensteg unter ausreichender Zugspannung verdrillt (Tab. 10.3).

Abb. 10.21 Refixation eines knöchernen Ausrisses des vorderen Kreuzbandes mit einer Drahtschlinge, die über 2 Bohrkanäle ausgeleitet und verdrillt wurde im Rahmen einer Osteosynthese bei einer offenen, distalen Femurtrümmerfraktur mit Gelenkbeteiligung. **a,b** Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen

Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Bei der Nachbehandlung stehen zunächst die Schmerzbekämpfung, Thromboseprophylaxe und abschwellende Maßnahmen im Vordergrund. Zur Schmerzbekämpfung werden meist nichtsteroidale Antiphlogistika unter Magenschutz eingesetzt. Außerdem sollte das Knie insbesondere während der ersten postoperativen Tage mit Eis gekühlt werden. Die Thromboseprophylaxe erfolgt mit den üblichen medikamentösen und physikalischen Maßnahmen.

Wenn der erste Schmerz gestillt ist und keine nennenswerte Schwellung besteht, wird die passive und aktive Übungsbehand-

Tab. 10.3 Bei stattgehabter Ruptur des vorderen Kreuzbandes hängt die Art der einzuschlagenden Therapie vom Alter des Patienten, dessen Aktivitätslevel und dem arthroskopischen Befund ab

Kniebefund	Therapieempfehlung
Frischer knöcherner tibialer Ausriss mit minimaler (Grad I) oder stärkerer Dislokation um ein Drittel bis der Hälfte der Größe des abgerissenen Fragments (Grad II nach Meyers u. McKeever 1970)	Konservative Therapie im Gips oder in einer Orthese in 20°-Beugestellung für 4–6 Wochen
Frischer knöcherner tibialer Ausriss mit kompletter Dislokation der Fraktur (Grad III nach Meyers u. McKeever 1970)	Frühzeitige Reposition und Refixation, bei großem knöchernen Fragment mit einer Schraube, bei kleinerem mit einer Cerclage
Frische isolierte intraligamentäre Ruptur bei einem jungen bis mittelalten Patienten ab einem mäßig hohen Aktivitätslevel	Verzögerte Rekonstruktion durch Patellar- oder Semitendinosussehnentransplantat
Frische isolierte intraligamentäre Ruptur bei einem älteren Patient mit niedrigem Aktivitätslevel	Rein konservative Therapie mit Stärkung insbesondere der (agonistischen) ischiokruralen Muskulatur
Frische intraligamentäre Ruptur mit begleitendem Meniskus oder Knorpelschaden	Verzögerte Rekonstruktion durch Patellar- oder Semitendinosussehnentransplantat mit gleichzeitiger Reparatur der Begleitverletzungen
Veraltete Ruptur mit instabilitätsbedingten Folgeschäden	Rekonstruktion durch Patellar- oder Semitendinosussehnentransplantat
Veraltete Ruptur mit massiven arthrotischen Veränderungen	Konservative Therapie, bei anhaltenden Beschwerden Gleitflächenersatz
Begrenzte Instabilität mit positivem Lachman-Test, aber festem Anschlag	Konservativer Therapieversuch oder Rekonstruktion je nach individuellem Befund und Schmerz bzw. Instabilitätssymptomatik

lung intensiviert. Mit Hilfe einer Motorschiene wird eine continuous passive motion (CPM) durchgeführt.

Von Lübken et al. (2006) konnten nachweisen, dass durch die Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und unmittelbar postoperativ beginnendem neuromuskulärem Training mit Hilfe kontrollierter aktiver Bewegungsschienen (CAM-Schienen) das postoperativ bestehende propriozeptive Defizit signifikant gesenkt werden kann, was mit der Kombination aus vorderer Kreuzbandplastik und konventioneller Physiotherapie allein nicht gelang. Die Autoren empfehlen deshalb, den planmäßigen Einsatz der CAM-Schienen unmittelbar postoperativ.

Je nach Verfahrensweise dürfen die Patienten mit 15 kg oder halbem Körpergewicht belasten und das Knie im Rahmen bestimmter Grenzen bewegen. Dabei schwankt das von den einzelnen Autoren empfohlene Bewegungsausmaß. Manche limitieren die Streckung während der ersten Wochen auf 10° und die Beugung auf 60°. Andere erlauben primär die schmerzabhängige Beweglichkeit von 0–90° während der ersten 6 Wochen. Dies hängt nicht nur von der jeweiligen Schule, sondern auch von der Primärstabilität des Transplantats und damit von der Verfahrensweise ab.

Das krankengymnastische Spektrum beinhaltet außerdem die Lymphdrainage, die insbesondere bei starken Schwellungszuständen indiziert ist, und die manuelle Therapie zur Mobilisierung der Patella. In der Regel sind spätestens nach 6 Wochen die Vollbelastung und damit gleichzeitig der Beginn des Krafttrainings möglich. Bis dahin sollte die Orthese getragen werden, im Fall einer Semitendinosusplastik evtl. auch 12 Wochen lang. Es gibt aber auch Operateure, die orthesenfrei nachbehandeln und ihre Patienten mit nicht limitiertem Bewegungsausmaß schon innerhalb weniger Wochen auf Vollbelastung übergehen lassen. Dynamische Sportarten sind erst wieder erlaubt, wenn annähernd die volle Kraft im Vergleich zur Gegenseite wiedererlangt wurde. Aufgrund der Zeitspanne, die das Transplantat für den ligamentären Umbau braucht, um den bei sportlichen Aktivitäten auftretenden Zuglasten wieder standhalten zu können, dürfen während der ersten 4 Monate nach Kreuzbandersatz keine dynamischen Sportarten ausgeübt werden.

Komplikationen und Prognose

Zu den schwerwiegenden allgemeinen Komplikationen, die im Rahmen eines Kreuzbandersatzes auftreten können, gehören die tiefe Beinvenenthrombose, die Infektion und die Arthrofibrose.

Spezifische Risiken bei der Entnahme des mittleren Patellarsehnendrittels sind Frakturen oder Knorpelläsionen der Patella. Aber auch Patellarsehnenrupturen kommen in der frühen postoperativen Phase vor, können aber vereinzelt auch noch nach Jahren auftreten, wobei diese Gefahr insbesondere dann gegeben zu sein scheint, wenn der Entnahmedefekt groß ist (Haasters et al. 2009). Die Entnahmetiefe sollte 6–8 mm nicht überschreiten, und der Knochenblock sollte trapezförmig sein, um ihn ohne Sprengwirkung aus seinem Bett hebeln zu können. Bei einer Standardentnahmebreite des Transplantats von 9–10 mm sollte bei einer <25 mm schmalen Patellarsehne auf Hamstring-Sehnen ausgewichen werden (Busam et al. 2008). Häufig wird der infrapatellare Nerv verletzt. Die Narbenbildung im Entnahmebett kann zu einer Verkürzung des Streckapparats mit Patella baja führen. Diese Gefahr lässt sich reduzieren, indem die beiden äußeren Sehnendrittel nicht miteinander vernäht werden, sondern nur das Peritendineum. Die Naht des Peritendineums wiederum scheint von entscheidender Bedeutung für die Regeneration des mittleren Sehnendrittels zu sein. Kohn und Sander-Beuermann (1994) konnten in diesem Zusammenhang eine Restitutio ad integrum nach 2 Jahren nachweisen. Haasters und Mitarbeiter (2009) adaptieren das Peritendineum auch deshalb, um gelenkseitig eine Hernierung des Hoffa-Fettkörpers zu verhindern. Die Patienten berichten über u.U. Jahre anhaltende Beschwerden beim Knien. Deshalb eignet sich diese Methode auch nicht für Patienten, die bei der Ausübung ihres Berufs auf kniende Tätigkeiten angewiesen sind. Bei der Platzierung der Interferenzschrauben kann es zur Schraubenfehllage kommen und damit zum Transplantatversagen.

Die spezifischen Risiken der Semitendinosusplastik sind deutlich seltener, können aber durchaus schwerwiegend sein. Die Verletzung des N. saphenus (Tab. 10.4) ist zu nennen, aber auch die des N. ischiadicus ist beschrieben (Vardi 2004). In 90% der Fälle bilden sich die Sehnen wieder nach, wobei die funktionelle Regeneration uneinheitlich bewertet wird, denn es gibt Hinweise auf eine verbleibende Innenrotationsschwäche (Nikolaou et al. 2007).

Kontrollierte, randomisierte Studien zum Vergleich von Patellarsehnen- und Hamstringtransplantaten zeigen, dass die Art des verwendeten Transplantats nicht primär entscheidend für einen erfolgreichen VKB-Ersatz ist (Spindler et al. 2004). Auch die Komplikationsrate beider Verfahren zeigt keinen signifikanten Unterschied. Allerdings scheint bei Verwendung von Hamstring-Sehnen die Gefahr des späteren anterioren Knieschmerzes reduziert zu sein, während eine begrenzte Evidenz für eine höhere Stabilität der Patellarsehnentransplantate mit anhängenden Knochenblöcken nachgewiesen wurde (Poolman et al. 2007), aber auch eine höhere Arthroserate. Letzteres wird begünstigt, wenn der Sehnendefekt geschlossen wird und durch die konsekutive Verkürzung der Sehne der retropatellare Anpressdruck erhöht wird (Pinczewski et al. 2007).

Nach Kreuzbandersatz geben 90% der Patienten eine Verbesserung im Vergleich zur präoperativen Situation an. Die Rerupturrate liegt während der ersten 5 Jahre bei 5%. Transplantatversagen lässt sich in 80% der Fälle auf eine fehlerhafte Operationstechnik zurückführen und nur in 20% auf ein neuerliches Trauma oder auf eine

Tab. 10.4 Vor- und Nachteile der beiden Methoden des vorderen Kreuzbandersatzes. (Nach Noyes et al. 1984)

Patellarsehnenplastik	Semitendinosusplastik
Patienten können längere Zeit nicht knien	Geringere Hebemorbidität
Risiko der Patellafraktur, des Patellaspitzensyndroms oder patellofemoraler Beschwerden	Streckapparat wird nicht gestört
Primär feste Verankerung	Primär nicht belastungsstabil
Schnelle Einheilung der Knochenblöcke	Langsame Einheilung
Hohe Reißfestigkeit des Transplantats bei allerdings höherer Steifigkeit	Geringere Reißfestigkeit bei jedoch ähnlicher Steifigkeit wie ein unversehrtes vorderes Kreuzband

gestörte Einheilung des Ersatzbandes. 35% der operierten Patienten entwickeln innerhalb von 20 Jahren eine Arthrose gegenüber 65% der konservativ behandelten (Südkamp u. Schönfelder 1999).

Hinteres Kreuzband

Ätiologie, Klinik, Diagnostik und Klassifikation

Ätiologie

Eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes (HKB) wird durch hohe Krafteinwirkung von anterior auf den Schienbeinkopf verursacht. Eine solche Gewalteinwirkung kann im Rahmen eines Verkehrsunfalls mit Anprall am Armaturenbrett entstehen oder beim Sturz des Motorradfahrers mit dem gebeugten Knie auf eine Bordsteinkante oder ähnliche Mechanismen. Beim Anpralltrauma (dash-board injury) wirkt auf das gebeugte Knie eine nach posterior gerichtete Kraft. In dieser Stellung sind die sekundären Gelenkstabilisatoren entspannt, sodass die gesamte Energie das HKB trifft. Aber auch Hyperextensions-, Hyperflexions- und Rotationstraumen können die Ursache sein.

Die Verletzung tritt häufig in Kombination mit Femur- und Tibiakopfluxationsfrakturen auf (Fanelli u. Edson 1995). Aber mehr als 40% der HKB-Rupturen entstehen beim Kontakt- und Ballsport, wobei der Fußballtorwart durch prätibiale Anpralltraumen besonders gefährdet ist (Schulz et al. 2003). In einer prospektiven Untersuchung an 194 Patienten waren mit einem Anteil von 34% Motorradunfälle am häufigsten (Jung et al. 2006).

Klinik

Die frische hintere Kreuzbandruptur wird häufig primär nicht erkannt und erst zu einem späteren Zeitpunkt diagnostiziert, wenn die Patienten über eine anhaltende Instabilität und Schmerzen klagen.

Ein Gelenkerguss ist auch bei frischer Verletzung nicht obligat und die Patienten können das Knie oft weiterhin voll belasten. Die Patienten geben Schmerzen im Bereich der Kniekehle an und bei 80% findet sich dort auch ein Druckschmerz. Im Akutstadium lässt sich eine hintere Schublade meist nur dann klinisch diagnostizieren, wenn es zu einer komplexen Zerreißung mit Beteiligung peripherer Strukturen gekommen ist, z.B. der kompletten lateralen oder posterolateralen Gelenkecke (Jung et al. 2006).

Typisch für die chronische hintere Kreuzbandinsuffizienz ist ein anteriorer Knieschmerz aufgrund des erhöhten patellaren Anpressdrucks. Das Gangbild ist hinkend und es besteht eine mehr oder weniger ausgeprägte, vom Schwellungszustand des Kniegelenks abhängige Bewegungseinschränkung. Die Symptomatik ist eher unspezifisch. Bei chronischem Verlauf und zusätzlichen Verletzungen der posterolateralen Strukturen geben die Patienten oft intermittierende Schmerzen und ein Unsicherheitsgefühl im Kniegelenk bei Belastung im Alltag oder sportlicher Betätigung an.

Das Instabilitätsgefühl ist bei isolierter HKB-Ruptur nicht so gravierend wie bei der Verletzung des VKB. Dies hängt im Wesentlichen damit zusammen, dass die Hauptinstabilität erst bei höheren Beugegraden zur Geltung kommt, während in Extensionsnähe weitgehend stabile Verhältnisse herrschen. Dagegen können bei Beteiligung der posterolateralen und/oder -medialen Gelenkecke auch extensionsnah erhebliche Instabilitäten bestehen mit Wegdrehen oder Durchschlagen des Gelenks in Überstreckung (Jung et al. 2006).

Diagnostik

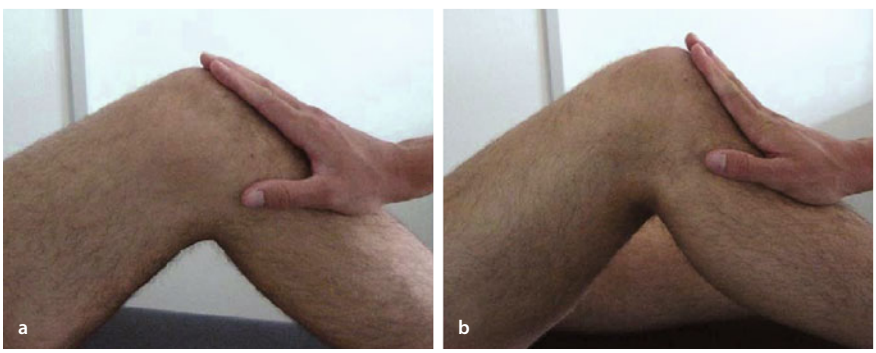
Die Anamnese gibt bei stattgehabter großer, dorsal gerichteter Gewalteinwirkung auf den Schienbeinkopf wertvolle Hinweise auf die eingetretene Verletzung. Der Untersucher sollte nach entsprechenden Veränderungen am Weichteilmantel des proximalen Unterschenkels fahnden. Hilfreich kann die Prüfung der so genannten palpatorischen hinteren Schublade beim Hyperextensionstest sein. Der Patient befindet sich in Rückenlage. Sein verletztes Knie ist bei angestelltem Bein 90° gebeugt. Der Untersucher legt eine Hand flach auf die Tuberositas tibiae und palpiert mit den Fingerspitzen die Patellavorderfläche. Beim Schub nach dorsal lässt sich an der Überstreckung der Fingergrundgelenke ein Zurückweichen des Schienbeinkopfs gegenüber der Patella registrieren (◘ Abb. 10.22). Beim Step-off-Test wird im Seitenvergleich die Prominenz des medialen Tibiaplateaus verglichen (◘ Abb. 10.23).

Bei ausgeprägter HKB-Insuffizienz wird nach einer Verletzung des posterolateralen Kapselecks durch den Außenrotationstest in 30 und 90° Kniebeugung gesucht. Bei diesem Test sollte sich der Patient in Bauchlage befinden, weil er dabei sein Bein besser entspannen kann (◘ Abb. 10.24).

In ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests, sind weitere Untersuchungsverfahren und Befunde beschrieben.

Standardröntgenaufnahmen des Kniegelenks zeigen knöcherne Bandausrisse oder Begleitverletzungen am Schienbeinkopf. Bei alten Läsionen können sich Verkalkungen und osteophytäre Ausziehungen an der posterioren Eminentia, aber auch eine manifeste Gelenksarthrose bilden.

Im Zweifelsfall, wenn die klinische und radiologische Diagnostik zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt hat, ist eine MRT indiziert. Das hintere Kreuzband stellt sich im seitlichen Strahlengang auf einer T1-gewichteten Aufnahme als kräftige Struktur im dorsalen Gelenkabschnitt dar, deren obere Hälfte halbkreisförmig gebogen ist. MR-tomografisch lassen sich akute Verletzungen des hinteren Kreuzbandes erkennen. Begleitende Schäden der posterolateralen Strukturen lassen sich ebenfalls darstellen. Bei chronischen Instabilitäten besitzt die Kernspintomografie eine einge-



◘ **Abb. 10.22a,b** Prüfung der sogenannten palpatorischen hinteren Schublade. **a** Ausgangsstellung. **b** Bei der Provokation einer hinteren Schublade durch manuellen Druck lässt sich an der Überstreckung der Fingergrundgelenke ein Zurückweichen des Schienbeinkopfs registrieren. (Aus: Jung et al. 2006)

schränkte Aussagekraft bezüglich der Veränderungen am HKB. Viel wichtiger ist sie für die Beurteilung von Begleitverletzungen wie degenerative Veränderungen und bone bruise (Abb. 10.25).

Die größte Aussagekraft aber haben gehaltene Aufnahmen, die mit dem Gerät nach Scheuba (Fa. Telos, Marburg) angefertigt werden (Abb. 10.26):

- Bei frischer Verletzung wird nur mit 5 kp belastet und in 90° Kniebeugung (oder der schmerzadaptiert maximal erreichbaren Beugung) geröntgt, um noch erhaltene HKB-Fasern nicht zu verletzten.
- Liegt die Verletzung mehr als 10–14 Tage zurück, sollte auf gehaltene Aufnahmen verzichtet werden, da hierbei das heilende HKB erneut geschädigt würde. In solchen Fällen empfehlen Jung et al (2006) eine konservative Behandlung ohne exakte Messung der hinteren Schublade.
- Bei chronischer Läsion werden die Kniegelenke in 90°-Beugung im Seitenvergleich sowohl nach posterior, als auch anterior mit jeweils 15 kp belastet und geröntgt, um die Seitendifferenz ermitteln und eine so genannte fixierte hintere Schublade ausschließen zu können.

Abb. 10.23 Beim Step-off-Test wird die Prominenz des medialen Tibiaplateaus palpiert. (Aus: Jung et al. 2006)

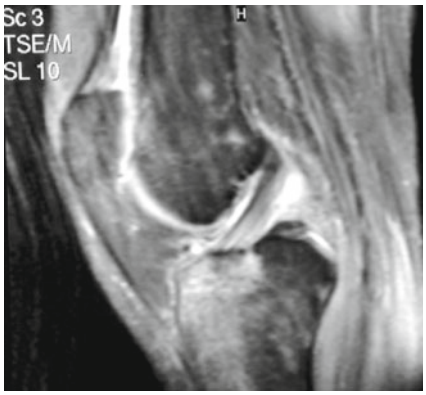


Abb. 10.25 MRT eines Leichtathleten, der durch ein Hyperextensionstrauma beim Weitsprung eine HKB-Ruptur erlitten hat. Das VKB stellt sich durchgehend dar. Im Tibiaplateau zeigt sich eine ausgedehnte bone bruise. (Aus: Jung et al. 2006)

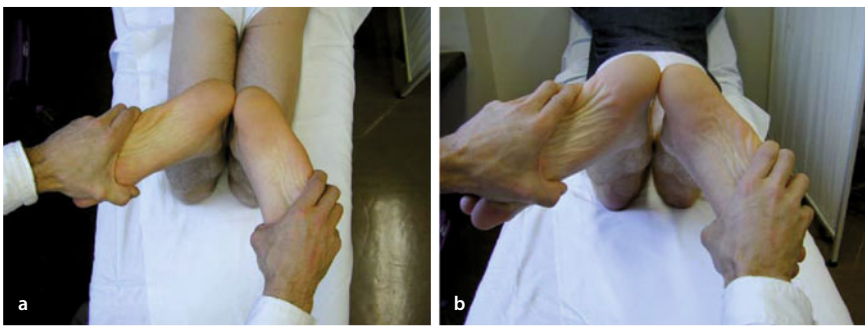


Abb. 10.24 Darstellung der vermehrten Außenrotierbarkeit bei chronischer HKB-Insuffizienz in 90°- (**a**) und in 30° Kniebeugung (**b**). (Aus: Jung et al. 2006)

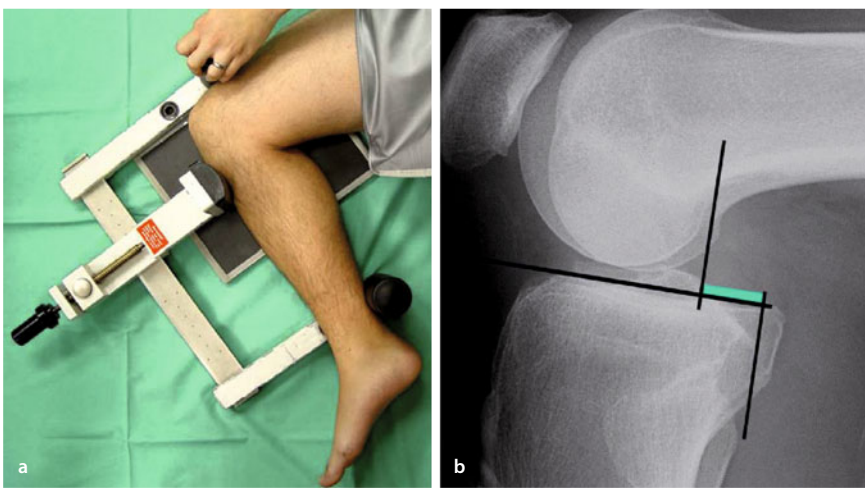


Abb. 10.26a,b Gehaltene Aufnahmen im Telos-Halteapparat. **a** Der Patient liegt auf der Seite, das Knie ist 90° gebeugt im Halteapparat. Der Stempel drückt mit 150 N/m gegen die Tuberositas tibiae. **b** Evaluierung des Befundes nach Jacobsen. (Aus: Jung et al. 2006)

Von einer fixierten hinteren Schublade spricht man, wenn trotz nach ventral gerichtetem Schub der Tibiakopf in einer dorsalen Subluxationsstellung von >3 mm verbleibt, was in einer Untersuchung von Strobel et al. (2002) an 248 Patienten in 44% der Fall war. In solchen Fällen ist eine HKB-Plastik zunächst nicht Erfolg versprechend, denn das Transplantat müsste nicht nur der Schwerkraft und den physiologischen in-situ-Kräften, sondern auch der vernarbten und verkürzten posteriore Kapsel Stand halten. Das Kniegelenk würde in einer falschen Stellung stabilisiert und fixiert werden. Deshalb muss vor der Bandplastik die fixierte hintere Schublade durch Physiotherapie und geeignete Schienen aufgedehnt werden.

Die Indikation zur Arthroskopie ist nur in Ausnahmefällen gegeben, denn die Diagnostik ist schwierig. Ein verletztes HKB kann von ventral unauffällig aussehen, deshalb ist die Inspektion des Bandes über ein dorsomediales Portal obligat. Aber auch dann lässt sich nicht in jedem Fall eine komplette von einer partiellen Ruptur eindeutig unterscheiden. Dies ist allein mit einer funktionellen Untersuchung durch gehaltene Aufnahmen möglich. Der proximale Bandverlauf kann von ventral nach Entfernung des aufliegenden Fettpolsters beurteilt werden. Ein scheinbar elongiertes VKB mit siphonartigem Verlauf ist ein Hinweis dafür, dass sich der Tibiakopf in einer hinteren Schubladenstellung befindet, als Ausdruck einer HKB-Insuffizienz (Abb. 10.27a). Häufig finden sich bei chronischer Instabilität begleitende Knorpelschäden am medialen Femurkondylus und im Femoropatellargelenk. Außerdem fällt eine Instabilität der posterolateralen Gelenkecke arthroskopisch in der 4er-Position durch eine deutliche Erweiterung des Gelenkspalts mit kompletter Darstellung des Außenmeniskus auf (Abb. 10.27b).

Klassifikation

In Tab. 10.5 ist die Klassifikation der HKB-Insuffizienz nach Harner und Hoher (1998) dargestellt.

Therapie

Grundlagen

Isolierte Teilrupturen des hinteren Kreuzbandes werden generell konservativ versorgt (Fowler u. Messieh 1987). Bei isolierter kompletter Ruptur ohne Begleitverletzungen sollte das Vorgehen vom Aktivitätslevel abhängig gemacht werden. Jungen, aktiven Patienten wird man eher zur operativen Intervention raten, älteren eher nicht (Tab. 10.6). Letztendlich kann das Ausmaß der posterioren Instabilität in den Stressaufnahmen als Anhaltspunkt für die Therapieentscheidung dienen. Geringe Instabilitäten mit einer hinteren Schublade <10 mm sind einer konservativen Therapie gut zugänglich. Die Therapie besteht in einer Ruhigstellung in einer Schiene und später auch einer Orthese. Gleichzeitig wird die agonistische Muskulatur, nämlich der M. quadriceps, aufgebaut und die ischiokrurale Muskulatur gedehnt.

Für die erforderliche Ruhigstellung empfehlen Jung et al (2006) eine insgesamt 12-wöchige Schienenbehandlung. Die Patienten tragen 6 Wochen lang 24 h täglich die PTS-Schiene (Posterior-tibial-support-Schiene, Fa. Medi, Bayreuth). Ab der 7. Woche wird dann tagsüber auf eine HKB-Orthese gewechselt. Die PTS-Schiene bringt das Bein in Streckung und hat dorsal am Unterschenkel eine großflächige Pelotte, welche die Tibia gegenüber dem Femur ventralisiert, sodass die rupturierten Bandanteile einander angenähert werden. Aus der Schiene heraus sollen passive Bewegungsübungen durchgeführt werden. Die Übungen dürfen nur beim am Bauch liegenden Patienten erfolgen, denn in Rückenlage würde die Schwerkraft den Schienbeinkopf wieder in eine hintere Schublade

Tab. 10.5 Klassifikation der HKB-Insuffizienz nach Harner und Hoher (1998)

	A	B	C	D
Hintere Schublade	<5 mm	5–10 mm	10–15 mm	>15 mm
Hintere Schublade in Innenrotation	Abnehmend	Gleich bleibend	Gleich bleibend	Zunehmend
Varusinstabiliät	-	-	+/-	+
Diagnose	Isoliert	Isoliert	Kombiniert	Kombiniert
Therapie	Physiotherapie	OP wenn symptomatisch	OP	OP

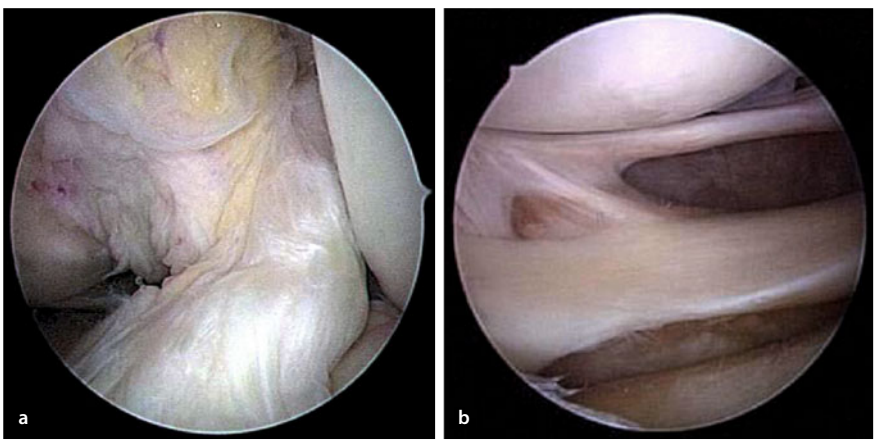


Abb. 10.27a,b Typische Befunde bei HKB-Insuffizienz. **a** Arthroskopische Aufsicht auf das VKB und HKB bei einer chronischen HKB-Insuffizienz. Das HKB scheint unverletzt zu sein. Das VKB verläuft nicht ausreichend vorgespannt, siphonartig durch die Gelenklichtung. **b** Bei einer kompletten Darstellbarkeit des gesamten Außenmeniskus sollte an eine Verletzung der posterolateralen Strukturen gedacht werden. (Aus. Jung et al. 2006)

zurückdrängen. Eine Übersicht über Bewegungsumfang und die Aufbelastung in der Schiene findet sich in der Tab. 10.7.

Operative Therapie

Komplette Rupturen mit Begleitverletzungen, auch als Komplexverletzungen bezeichnet, sollten dagegen frühzeitig operativ angegangen werden, da bei konservativer Therapie keine Wiederherstellung der posterioren und posterolateralen Stabilität zu erwarten ist (Fanelli 1993; Stäubli 1994) und die frühzeitige Versorgung ein besseres postoperatives Outcome zeigt (Strobel et al. 1996). Bei symptomatischen und insbesondere jüngeren Patienten ist auch bei geringen Instabilitäten bei HKB-Ruptur eine isolierte HKB-Plastik in Erwägung zu ziehen. Die Erfolgsaussichten einer operativen Therapie solcher Grenzfälle kann durch das probatorische Tragen einer HKB-Orthese evaluiert werden. Werden die Beschwerden durch die Maßnahme reduziert, ist eine operative Therapie sinnvoll. Im Einzelnen ist die Therapie von den verschiedenen Ausgangssituationen abhängig:

Schublade >12 mm

Bei einer Schublade >12 mm sind auch Begleitstrukturen verletzt. Rekonstruiert werden mit primärer Naht oder Fadenankern je nach Verletzungsschwere der Tractus iliotibialis, das Außenband und die Popliteussehne. Falls aufgrund einer ausgedehnten Kapselzerreißung ein arthroskopisches Vorgehen nicht sinnvoll erscheint, kann man sich zunächst auf die Rekonstruktion der peripheren Strukturen beschränken und die Ruptur des HKB anschließend konservativ behandeln. Die Chancen, dass sich eine stabile Struktur bildet, sind aufgrund der guten Durchblutungssituation gut.

Kombinierte frische HKB- und VKB-Ruptur

Bei maximaler Instabilität mit Verletzung beider Kreuzbänder und peripherer Strukturen empfehlen Jung et al. (2006) den arthroskopischen Ersatz in einer Sitzung durchzuführen. Hauptproblem dabei ist, dass die Spülflüssigkeit durch die ausgeprägte Kapselzerreißung nicht im Gelenk gehalten wird und die Weichteile zuschwellen. Die Autoren verwenden deshalb in solchen Fällen

Tab. 10.6 Bei Ruptur des hinteren Kreuzbandes hängt die Art der einzuschlagenden Therapie, ähnlich wie beim vorderen, vom Alter der Verletzung und des Patienten, dessen Aktivitätslevel und den Begleitverletzungen ab

Verletzungszeitpunkt	Kniebefund	Therapieempfehlung
Frische Ruptur	Frische Teilruptur Frische komplette Ruptur im mittleren Drittel bei jüngeren Patienten Frische komplette Ruptur im proximalen oder distalen Drittel bei älteren Patienten	Konservative Therapie mit funktioneller Therapie, Behandlung von Schmerz und Schwellung, dann intensiviertes Auftrainieren des agonistischen M. quadriceps
	Knöcherner Ausriss, Dislokation >3 mm	Frühzeitige offene Reposition und osteosynthetische Refixation
	Frische Ruptur im proximalen oder distalen Banddrittel des jungen Patienten mit hohem Aktivitätslevel	Frühzeitige augmentierte Naht hat bessere Ergebnisse als die verzögerte Rekonstruktion
	Frische Ruptur mit Begleitverletzungen	Frühzeitige Rekonstruktion mit Sehnentransplantat innerhalb der ersten beiden Wochen nach dem Unfall und Reparatur der Begleitverletzungen z.B. der Kollateralbänder oder des vorderen Kreuzbandes
Veraltete Ruptur	Ältere Teilruptur	Konservative Therapie
	Ältere Komplettruptur des aktiven Patienten mit persistierenden Beschwerden	Rekonstruktion mit Sehnentransplantat (Swenson et al.1994) Konservative Therapie (Stone u. Fu 1997)
	Ältere Komplettruptur mit Begleitverletzungen im Sinne einer Rotationsinstabilität	Rekonstruktion mit Sehnentransplantat
	Komplexverletzung	Rekonstruktion mit Sehnentransplantat und ggf. zusätzlicher Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes und der Kollateralbänder

Tab. 10.7 Behandlungsschema der konservativen Therapie der HKB-Ruptur mit der PTS-Schiene. (Nach Jung et al. 2006)

1.–2. Woche	PTS-Schiene 24 h	Physiotherapie in Bauchlage, Beugung 20°	10 kg Teilbelastung
3.–4. Woche	PTS-Schiene 24 h	Physiotherapie in Bauchlage, Beugung 40°	20 kg Teilbelastung
5.–6. Woche	PTS-Schiene 24 h	Physiotherapie in Bauchlage, Beugung 60°	halbes Körpergewicht
7.–12. Woche	Tagsüber funktionelle HKB-Orthese, nachts PTS-Schiene	Physiotherapie in Bauchlage, Beugung steigern	Zunehmend Vollbelastung

keine Pumpen, sondern nur die Schwerkraft der Flüssigkeitssäule, um das Gelenk mit Spülflüssigkeit zu füllen, und dichten die zerrissenen Kapselstrukturen durch Einnähen von Bauchtüchern ab. Keinesfalls sollte nur das VKB ersetzt werden, denn dadurch kann der Tibiakopf in einer dorsalen Subluxation fixiert werden, was zu einer völligen Destruktion des Gelenks führen kann.

Knöcherner Ausriss

Ein knöcherner Ausriss wird refixiert. Die Nachbehandlung erfolgt wie bei der konservativen Therapie, wobei die Dauer der Nachbehandlung verkürzt werden kann, wenn das übrige Gelenk in gutem Zustand ist und die Refixierung ausreichend stabil gelingt.

Chronische Läsionen

Bei Instabilitäten >12 mm liegen in aller Regel Begleitverletzungen vor, die mitbehandelt werden müssen, wobei es sich meist um eine Beteiligung der posterolateralen Gelenkecke handelt (Strobel u. Weiler 2001). Dies kommt darin zum Ausdruck, dass Jung et al. (2006) fast in 90% der Fälle aller HKB-Rekonstruktionen dieses Kapselareal mitversorgen. Bei alleiniger Stabilisierung des HKB tritt die Instabilität postoperativ schnell wieder auf. Gleichzeitige Beinachsenfehlstellungen können ggf. in gleicher Sitzung korrigiert werden und bei dieser Gelegenheit kann durch eine additive Umstellung des tibialen slope eine pathologische Hyperextension behoben und der hintere Schubladenausschlag unter Belastung verringert werden (▶ Abschnitt 10.2.4 Gelenkknorpel/Umstellungsosteotomie). Bei deutlicher kombinierter patellofemoraler und medialer Knorpeldegeneration ist eine hohe tibiale Umstellungsosteotomie ohne Kreuzbandersatz indiziert, während bei weniger ausgeprägter Knorpeldegeneration ein Ersatz noch sinnvoll sein kann.

Fixierte hintere Schublade

Bevor eine operative Versorgung geplant wird, muss geprüft werden, ob eine fixierte hintere Schublade vorliegt. Falls dies der Fall ist, muss sie, wie bereits oben erwähnt, zuerst konservativ behandelt werden, damit die Kreuzbandplastik nicht während der Ausheilungsphase insuffizient wird. Die verkürzten posterioren Strukturen werden durch konsequentes Tragen der PTS-Schiene aufgedehnt. Die Patienten tragen die Schiene nachts und werden in 6-wöchigen Abständen durch gehaltene Aufnahme kontrolliert. Die Patienten berichten häufig, die Therapie »sei nicht so gut, denn ihr Knie würde immer lockerer werden«. Diese Instabilität ist aber die unverzichtbare Voraussetzung für die optimale Einstellung des Gelenks beim geplanten Kreuzbandersatz. Bei ausgeprägter fixierter hinterer Schublade >10 mm kann eine arthroskopische Arthrolyse, bei der Verwachsungen zwischen dem VKB und dem HKB gelöst werden, die Behandlung verkürzen (Strobel et al. 2002). In Ausnahmefällen kann die Anlage eines Fixateur externe oder sogar die Resektion des VKB indiziert sein.

Transplantatmaterial

Bei der Rekonstruktion der chronischen Instabilität kommen unterschiedliche autologe und auch allogene Transplantate zum Einsatz. Bewährt haben sich das Semitendinosus-Grazilis-Transplantat in 5-Strang-Technik. Bei zusätzlicher Stabilisierung der posterolateralen oder -medialen Ecke müssen die Transplantate ggf. auch von der Gegenseite gewonnen werden. Besteht eine zusätzliche mediale Instabilität, ist die primäre Transplantatentnahme von der Gegenseite zu diskutieren, da durch die Entnahme von Semitendinosus- und Grazilissehne die medial stabilisierenden Strukturen zusätzlich geschwächt werden. Im Gegensatz zur VKB-Chirurgie sind das mittlere Patellarsehnendrittel und die Quadrizepssehne für die HKB-Rekonstruktion nur zweite Wahl. Dies hängt mit der erhöhten Morbidität durch die zusätzliche Schwächung des Streckapparats als Agonist des HKB zusammen.

Arthroskopisch assistierter hinterer Kreuzbandersatz und posterolaterale Stabilisierung mit Semitendinosus-/Grazilissehne (Weiler et al. 2006)

Die Indikation für diesen Eingriff besteht bei symptomatischer HKB-Insuffizienz, wenn eine oder mehrere folgender Kriterien gegeben sind:

- hintere Schublade >12 mm,
- vermehrte Außenrotierbarkeit in 30° oder 90° Beugung,
- vermehrte mediale Aufklappbarkeit,
- vermehrte posterolaterale Aufklappbarkeit während der Arthroskopie in 4er-Position.

Auf der zu operierenden Seite werden die Semitendinosussehne und die Grazilissehne, auf der Gegenseite nur die Semitendinosussehne entnommen. Dazu wird ein Querfinger medial und 2 cm distal der Tuberositas über einen 3 cm langen Zugang die Faszie über dem Pes anserinus dargestellt. Man orientiert sich an der prominenteren und ovaläreren Grazilissehne, die proximal der Semitendinosussehne verläuft. Die beiden Sehnen werden von der Aponeurose des M. sartorius bedeckt. Die Aponeurose wird nun entlang dem Unterrand der Grazilissehne gespalten. Die Semitendinosussehne wird angeschlungen, unter Spannung gehalten und mit der Präparierschere vorsichtig nach proximal mobilisiert. Dabei spannen sich Verbindungszügel zum M. gastrocnemius an, die durchtrennt werden müssen, damit durch diese der Sehnenstripper später nicht fehlgeleitet wird. Am Ende der Präparation sollte die Sehne so mobil sein, dass sie auf dem palpierenden Zeigefinger des Operateurs frei gleiten kann und ihre vollständige Entnahme beim anschließenden Strippen der Sehne digital kontrolliert werden kann. Die Semitendinosussehne wird nun in einen offenen Sehnenstripper (z.B. Fa. Karl Storz, Tuttlingen) eingefädelt. Der Stripper wird unter gleichzeitigem Zug an der Sehne bis zu deren proximalen Ende vorgeschoben. Die Länge der Sehne beträgt durchschnittlich 26–32 cm. Anschließend wird, um Länge zu gewinnen, der 1–2 cm lange periostale Ansatz am Knochen umschnitten und mit einem Raspatorium abgelöst.

Im Gegensatz zum VKB-Transplantat wird für den Ersatz des HKB obligatorisch die Grazilissehne benötigt. Ohne diese wäre die erforderliche Länge von über 10 cm und gleichzeitiger Dicke von 8 mm nicht zu erzielen. Die Entnahme erfolgt in gleicher Technik, wie für die Semitendinosussehne beschrieben. Abschließend wird die Inzision in der Sartoriusfaszie mit einzelnen Nähten verschlossen, um den meist abgesackten Faszienverbund des medialen Gastrocnemiusbauchs zu proximalisieren. Das Transplantat für das HKB besteht aus einer 3-fach gelegten Semitendinosussehne und einer 2-fach gelegten Grazilissehne (Abb. 10.28, Abb. 10.29).

Bei den Arthroskopie-Zugängen ist v.a. darauf zu achten, dass der mediale Instrumentenzugang sehr hoch angelegt wird, um weit nach posterior-inferior vorpräparieren zu können. Bei vorliegender posteriorer Instabilität erscheint das VKB in den meisten Fällen elongiert, was nicht mit einer VKB-Insuffizienz verwechselt werden darf. Bei der HKB-Rekonstruktion hat es sich bewährt, nur das biomechanisch wirksamere anterolaterale Bündel zu ersetzen. Zum Erhalt einer Rest-Propriozeption und Schutz des Transplantats sollte das posteromediale Bündel belassen werden.

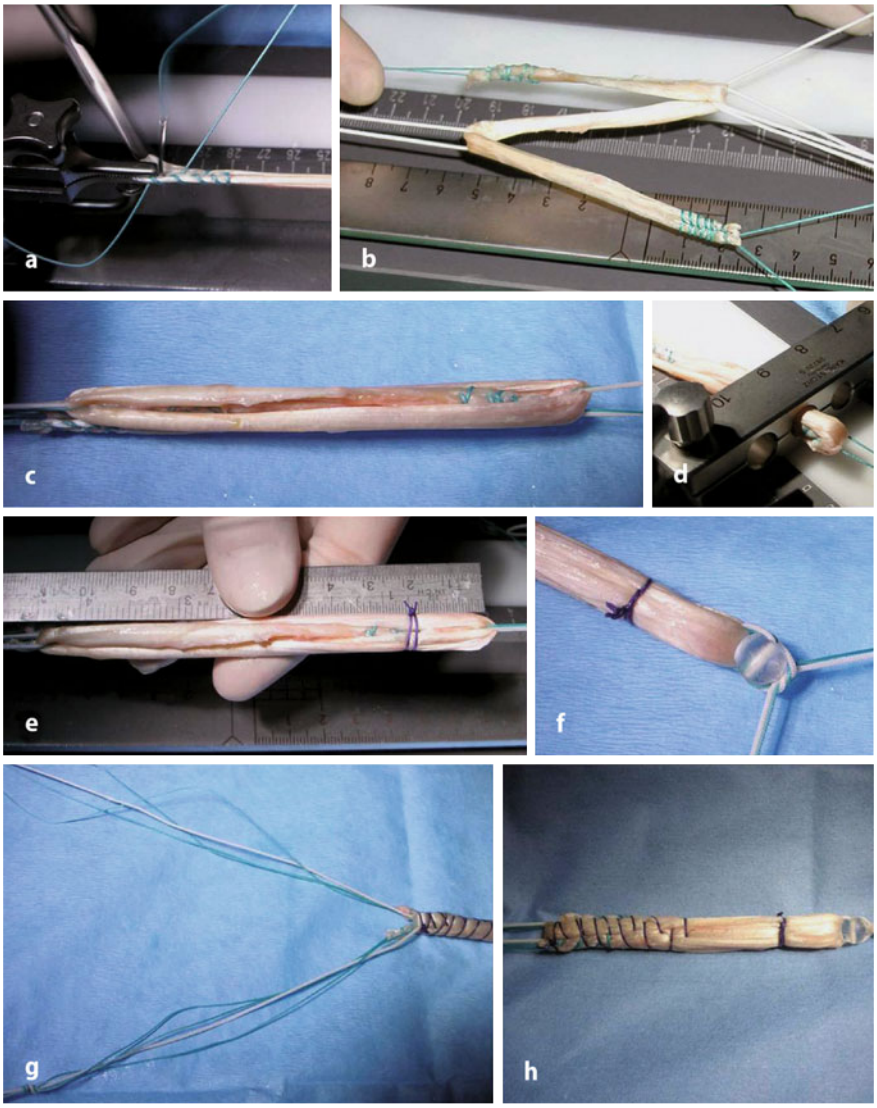


Abb. 10.28a–h HKB-Ersatz mit Semitendinosus-/Grazilissehnen. **a** Baseball-stitch. **b,c** 3-faches Legen der Semitendinosussehne. **d,e** Ermittlung des Durchmessers und der Länge. **f** Armierung mit einer Endoperl. **g** Korrespondierende Armierungsfäden. **h** Fertiges Transplantat. (Aus: Weiler et al. 2006)

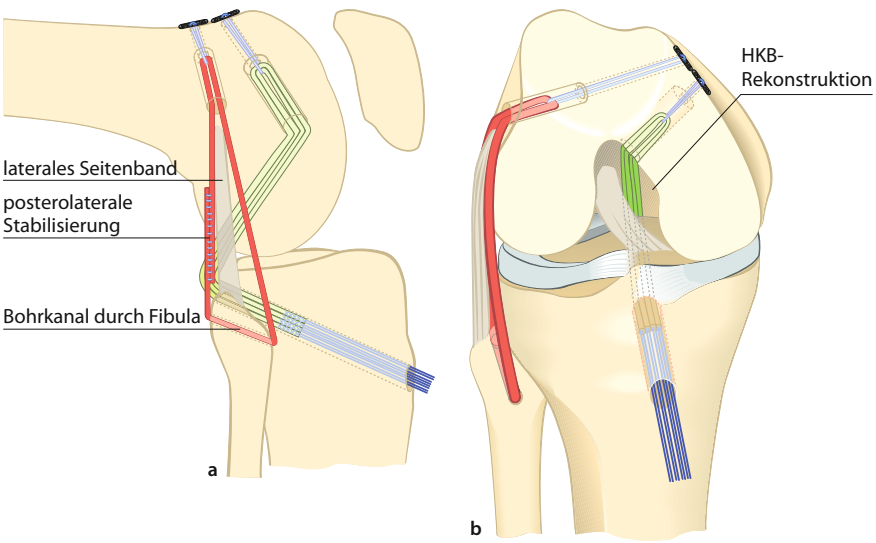


Abb. 10.29a,b **a** Posterolaterale Stabilisierung mit Semitendinosussehne der Gegenseite, seitlicher Aspekt (schematische Darstellung). **b** Posterolaterale Stabilisierung mit Semitendinosussehne der Gegenseite, anteriorer Aspekt (schematische Darstellung). (Aus: Strobel 1998)

Der femorale Bohrkanal wird bei 12:30 Uhr Position (rechtes Knie) bzw. 11:30 Uhr (linkes Knie) 5 mm hinter der Knorpel-Knochen-Grenze markiert und über einen tiefen anterolateralen Zugang zunächst mit einem Spickdraht und dann mit dem 4,5-mm-Bohrer gebohrt. Nach der Längenbestimmung wird der Bohrkanal 5 mm kürzer auf die definitive Dicke aufgebohrt.

Danach wird zur Anlage des tibialen Bohrkanals das Arthroskop in den dorsalen Rezessus vorgeschoben und unter Sicht ein dorsomedialer Zugang gesetzt. Nach der Freipräparation des tibialen Ansatzes des HKB und des späteren Transplantatverlaufs als Verbindung zwischen anteriorem und posteriorem Gelenk wird das tibiale Zielgerät eingesetzt. Zur genauen Einstellung des Insertionsareals mit dem Zielgerät wird das Arthroskop mit Hilfe eines Wechselstabs in den dorsomedialen Zugang umgesetzt. Nach dem Vorbohren eines Spickdrahts wird dieser schrittweise bis zur definitiven Transplantatdicke überbohrt. Danach wird ein Führungsfaden durch den Bohrkanal mit einer Ahle vorgeschoben und dieser mit einer Fasszange unter Sicht wieder in den anterioren Bereich vorgezogen. Danach wird das Arthroskop wieder anterolateral eingesetzt und eine Fadenschlaufe durch den femoralen Kanal vorgezogen. Durch diese Schlaufe wird nun der tibiale Faden gelegt und durch den femoralen Kanal herausgezogen. Mit dem Führungsfaden wird nun das Transplantat durch den tibialen Bohrkanal und anschließend durch den femoralen Bohrkanal gezogen. Zur Verbesserung der Umlenkung am dorsalen Tibiaplateau wird hier über den dorsomedialen Zugang ein Elevatorium eingesetzt. Erreicht die Flipp-Markierung auf dem Transplantat den Eingang des femoralen Bohrkanals, wird der Fixationsbutton geflippt.

Bei der Anlage der Bohrkanäle wird versucht, das größere der beiden Faserbündel des hinteren Kreuzbandes, also das anterolaterale, zu rekonstruieren. Daher soll der tibiale Kanal im lateralen Aspekt der tibialen Ansatzregion ausmünden und der femorale im anterioren Anteil der Ursprungsregion in der Notch. Die intraoperative radiologische Kontrolle der Bohrkanalplatzierung ist insbesondere bezüglich der tibialen Verankerung empfehlenswert.

Aufgrund der Länge des Transplantats und der weichen Knochenstruktur v.a. tibialseitig wird von manchen Autoren eine **Hybridfixation** empfohlen, also die Kombination einer gelenkfernen Fixierung (Button) mit einer gelenknahen Verankerung (Interferenzschraube) (Weiler et al. 2006). Dafür wird in den femoralen Bohrkanal eine biodegradable Interferenzschraube in den Spalt zwischen Knochen und Transplantat eingebracht. Bevor nun die tibiale Fixierung erfolgt, sollte das Knie bei 60° Flexion in eine Vordere-Schubladen-Position gebracht werden und am Transplantat gezogen werden, um nicht unbemerkt eine posteriore Subluxation zu fixieren. Erst dann wird eine Interferenzschraube in den tibialen Bohrkanal unter arthroskopischer Kontrolle eingedreht und anschließend ein tibialer Button auf die Eingangsöffnung des tibialen Bohrkanals unter Zug aufgeknüpft.

Noch in Narkose wird zur Sicherung des postoperativen Ergebnisses und zur Vermeidung von Stress auf das Transplantat eine PTS-Schiene am operierten Bein angelegt.

Die Technik des arthroskopisch assistierten hinteren Kreuzbandersatzes und der posterolateralen Stabilisierung mit Semitendinosus-/Grazilissehne haben Weiler, Jung und Strobel (2006) im Unfallchirurg 109 auf den Seiten 61–71 ausführlich beschrieben und eindrucksvoll bebildert. In dem Artikel ist auch die posterolaterale Stabilisierung in der von Strobel modifizierten Technik nach Larson dargestellt.

Nachbehandlung und Komplikationen

Nachbehandlung

Im Gegensatz zur VKB-Rekonstruktion sollte in der Nachbehandlung nach HKB-Plastik eher zurückhaltend vorgegangen werden und eine zu aggressive Physiotherapie vermieden werden, da sonst das Transplantat auslockern könnte. Deshalb wird das Behandlungsschema genutzt, das bei der konservativen Behandlung zur Anwendung kommt (s. oben). Aufgrund der hohen Kräfte, die auf dem HKB-Ersatz lasten, muss das Bein 6 Wochen in voller Streckung in der PTS-Schiene ruhiggestellt bleiben und darf während dessen nur in Bauchlage durch einen Physiotherapeuten nach obigem Schema vorsichtig passiv gebeugt werden, so dass nach 6 Wochen erst 70° Beugung erreicht sind. Wenn die Beugung zu diesem Zeitpunkt >110° beträgt, ist der HKB-Ersatz meist schon elongiert. Daher empfehlen Weiler et al. (2006), mit dem behandelnden Physiotherapeuten Rücksprache zu nehmen, um zu erklären, warum das Regime so konservativ sein muss. Auch eine Motorschienenbehandlung ist nicht geeignet, weil dabei der Schienbeinkopf durch die Schwerkraft nach dorsal belastet würde. Und wenn nach 6 Wochen die Beugung freigegeben wird, gilt dies zunächst nur für die passive Beugung, die aktive soll 12 Wochen unterbleiben. Eine stationäre Rehabilitation ab der 10.–12 Woche hat sich sehr bewährt.

Komplikationen und Prognose

In einer Literaturübersicht (Lobenhoffer 2000), die zahlreiche Studien aus den letzten 20 Jahren erfasst, waren die Ergebnisse eher ernüchternd. Es gelang nur im kleineren Teil der Fälle, eine akzeptable Stabilität und Funktion wiederherzustellen. Lobenhoffer (2000) empfiehlt deshalb, Eingriffe bei posterioren und posterolateralen Instabilitäten nur in Einrichtungen durchzuführen, in denen ausreichend viele Fälle behandelt werden.

Bereits die primäre operative Versorgung des HKB, arthroskopisch oder offen, ist aufwändiger und technisch anspruchsvoller als die des VKB. Versagensraten von 9–56% mit unterschiedlichen Sehnen und Techniken sind beschrieben (Noyes et al. 2005). Bei Revisionen macht v.a. die anatomische Nähe in vernarbtem Gewebe zu den neurovaskulären Strukturen der Kniekehle Probleme. Schlechte Ergebnisse stehen häufig in Zusammenhang mit einer begleitenden posterolateralen Insuffizienz, varischen Beinachse oder mit falsch platzierten Bohrkanälen. Aber selbst wenn die Bohrkanäle isometrisch liegen und die Transplantate korrekt fixiert wurden, entsteht im weiteren Verlauf häufig eine erneute translatorische Insuffizienz. Deshalb nimmt man an, dass sich die Transplantate im Lauf der Zeit dehnen.

Reichwein und Nebelung (2007) berichten über 7 Patienten, die nach HKB-Ersatz bei Ruptur im weiteren Verlauf eine neuerliche Insuffizienz ausbildeten und im Vergleich zur unverletzten Seite deutlich überstreckbare Gelenke hatten. Die Patienten berichteten über ein mitunter akut auftretendes schmerzhaftes »Durchschlagen« des Kniegelenks im Sinne einer akuten Überstreckung. Die Autoren haben diese Patienten bei der Revision nicht wieder mit einer Bandplastik versorgt, sondern mit einer ventral aufklappenden retroflektierenden Tibiakopfosteotomie. Die instabile Bandsituation wurde belassen. In 4 Fällen wurde gleichzeitig eine vorbestehende varische Beinachse korrigiert. Die Operationsplanung erfolgte auf dem Boden einer Ganzbeinaufnahme im Stand und im Seitenvergleich, einer flektierten Belastungsaufnahme, einer seitlichen Aufnahme und einer Patella-tangential-Aufnahme. Die Neigung der tibialen Gelenkfläche nach dorsokaudal (tibial slope) wurde präoperativ bestimmt. Intraoperativ wurde die supratuberositäre Osteotomie ventral so weit aufgeklappt, bis das

Bein nicht mehr überstreckbar war und im Durchhang in einer 0°-Stellung verblieb. Gleichzeitig wurde die Beinachse ausgegradet und nur bei bereits bestehenden medialen Knorpelschäden valgisch überkorrigiert, sodass das Achslot das Tibiaplateau lateral bei 62% Breite traf.

Bei alleiniger Korrektur des tibial slope wurde die dorsale Kortikalis des Tibiakopfs nicht osteotomiert, sondern beim Aufklappen nur plastisch verformt, was eine höhere Primärstabilität schafft und die Gefahr bannt, die dorsal gelegenen neurovaskulären Strukturen zu verletzen. Bei den kombinierten Flexions- und Valgisierungsosteotomien wurde zumindest eine posterolaterale Kortikalisbrücke stehen gelassen. Die Osteotomie wurde mit winkelstabilen Platten fixiert (Puddu-Platte, Fa. Arthrex, Tomofix-Platte, Fa. Synthes). Ein monokortikaler Spongiosablock wurde nur dann in den Osteotomiespalt eingesetzt, wenn der Spalt >7,5 mm klaffte. Der Block wurde distal der Osteotomieebene aus dem Tibiakopf entnommen. Nach 6 Wochen entlastendem Gehen wurde über 2–4 Wochen aufbelastet. Es traten keine Komplikationen auf. Alle Osteotomien durchbauten zeitgerecht. Der tibial slope wurde durchschnittlich um 7° vermehrt. Das schmerzhafte Durchschlagen des Gelenks war bei allen Patienten verschwunden. Der subjektive IKDC-Score verbesserte sich von 39 auf 61 Punkte und der objektive um mindestens eine Klasse. Bei 3 Patienten wurde wegen eines persistierenden Unsicherheitsgefühls nach durchschnittlich 9 Monaten zweizeitig eine HKB-Plastik durchgeführt. Der Eingriff brachte aber nur noch eine geringfügige subjektive Verbesserung und in einem Fall auch eine objektive.

Kollateralbandverletzung

Ätiologie

Isolierte Seitenbandverletzungen werden durch ein Varus- und/oder Valgustrauma ausgelöst, meist kombiniert mit einer übermäßigen Torsion des belasteten Kniegelenks. Bei frischen Läsionen beklagen die Patienten zumeist ein Schmerzmaximum über der Rupturstelle und eine eingeschränkte Belastbarkeit. Verletzungen der Kollateralbänder treten aber nicht nur isoliert auf, sondern häufig zusammen mit Kreuzbandrissen. Bei chronischen Verläufen steht die Instabilität bei Valgus- oder Varusstress im Vordergrund.

Klinik

Bei der klinischen Untersuchung empfiehlt sich zunächst, die mediale und laterale Kniegelenkseite nach Schmerzpunkten zu palpieren. Daraus lässt sich auf den Ort der eingetretenen Verletzung rückschließen, denn es gibt ursprungsnahe, proximale oder ansatznahe, distale sowie intraligamentäre Rupturen. Die exakte Lokalisation der Verletzung lässt sich insbesondere unmittelbar nach dem stattgehabten Trauma einschätzen, wenn noch keine wesentliche Schwellung entstanden ist und dadurch noch kein diffuser Schmerz im Bereich des gesamten seitlichen Aspekts des Kniegelenks.

Diagnostik

Neben der Anamneseerhebung und der Palpation des Weichteilmantels sowie der darunter liegenden Bandstrukturen ist die Beurteilung der medialen und lateralen Aufklappbarkeit bzw. der Kapsel-Band-Stabilität von entscheidender Bedeutung für die Diagnosestellung und die Einleitung der weiteren Therapie. Wie man dabei vorgeht, und auf welche Besonderheiten man dabei achten muss, ist in ▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests, detailliert beschrieben. Im Wesentlichen geht es darum, das Knie schmerzfrei in leichter Beugestellung zu lagern und dessen Stabilität im Seitenvergleich vorsichtig zu untersuchen. Dabei wird nicht nur die Stabilität der Kollateralbänder beurteilt, was in 20°-Kniebeugung bei entspannten Kreuzbändern und dorsalen Kapselstrukturen geschieht, sondern auch die des übrigen Kapsel-Band-Apparats.

Radiologische Diagnostik

Standardaufnahmen in 2 Ebenen dienen dem Nachweis knöcherner Begleitverletzungen und etwaiger vorbestehender degenerativer Veränderungen. In ◘ Tab. 10.8 sind die wichtigsten Befunde aufgeführt, die im Rahmen von Kollateralbandrupturen auftreten.

Konservative Therapie

Die konservative Therapie steht bei der Behandlung von Kollateralbandverletzungen im Vordergrund. Gerade im Fall des medialen Kollateralbandes konnten unter funktioneller Nachbehandlung mit frühzeitiger Mobilisierung und stufenweiser Belastungssteigerung im Vergleich zur operativen Versorgung bessere Langzeitergebnisse erzielt werden (Gomez et al. 1991, Woo et al. 1987). Dies hängt mit der sehr komplexen Kinematik des Kniegelenks zusammen. Die Kniebänder unterliegen, biomechanisch gesehen, den Gesetzen der Viergelenkkette. Dies hat W. Müller (1982) dargestellt (◘ Abb. 10.30).

Die komplexe isometrische Struktur der Bänder zu wahren und bei einer Naht nicht zu stören, ist sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich. Falls eine Naht die Isometrie eines Bandes beeinträchtigt, sind postoperative Einschränkungen der Beweglichkeit vorprogrammiert. Es kann für den Patienten sehr mühsam oder sogar unmöglich sein, die Bewegungseinschränkungen durch intensive Krankengymnastik zu überwinden. Da ein gewisses Maß an Limitierung verbleiben kann, wurde die operative Versorgung der Kollateralbänder zugunsten der rein funktionellen Behandlung mehr und mehr verlassen. Wenn die zentralen Bandstrukturen des Kniegelenks, die Kreuzbänder und die dorsalen Kapselstrukturen intakt oder rekonstruiert sind, können sich rupturierte Kollateralbandanteile in ihrer Gewebescheide wieder finden, sofern diese

◘ **Tab. 10.8** Bei der radiologischen Diagnostik von Kollateralbandrupturen gibt es zahlreiche typische Befunde, die auf die Art der Verletzung rückschließen lassen

Medial	Lateral
Proximaler knöcherner Ausriss des medialen Kollateralbandes aus dem medialen Femurepikondylus	Proximaler knöcherner Ausriss des lateralen Kollateralbandes aus dem lateralen Femurepikondylus
Das Strieda-Pelligrini-Zeichen ist eine Verkalkung im proximalen Bereich des medialen Kollateralbandes als Hinweis auf eine alte Verletzung	Das Segond-Fragment ist eine distale Avulsionsfraktur des lateralen Kapsel-Band-Apparats und ein Hinweis auf eine schwerwiegende intraartikuläre Verletzung meist mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes
Verkalkung des medialen Kapsel-Band-Apparats infolge eines stattgehabten operativen Eingriffs	Distaler knöcherner Ausriss des lateralen Kollateralbandes aus dem Fibulaköpfchen Knöcherner Ausriss aus dem distalen Ansatz des Tractus iliotibialis am Tuberculum Gerdy

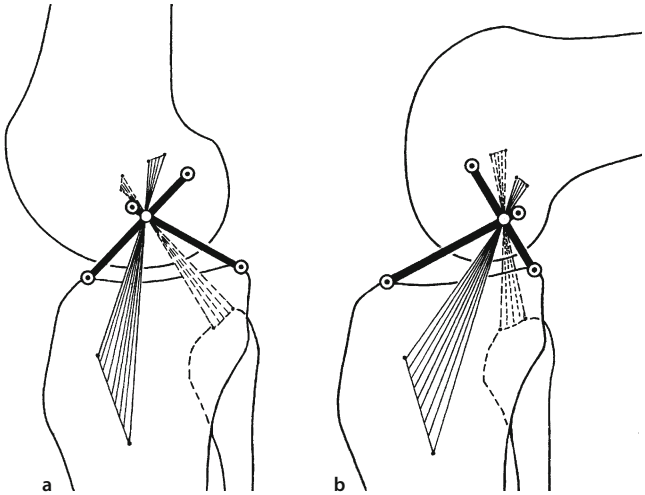


Abb. 10.30a,b Verlauf der Kreuzbänder (fette schwarze Linien) als überschlagene Viergelenkkette und Verlauf des medialen (schraffiert) und lateralen Kollateralbandes (gestrichelt). Alle 4 Bänder schneiden sich im Kreuzungspunkt der Viergelenkkette. Der Kreuzungspunkt wandert aus einer relativen anterioren Position bei Extension (**a**) in eine posteriore in Flexion (**b**). (Aus: Müller 1982)

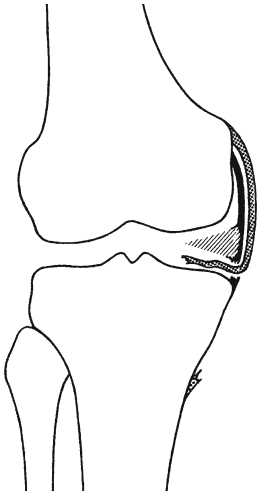


Abb. 10.31 Das Innenband ist distal ausgerissen und unter dem Ansatz des Pes anserinus herausluxiert. (Aus: Müller 1982)

10

intakt geblieben ist oder rekonstruiert wird. Dann ist eine funktionelle Therapie mit frühem Bewegungsbeginn im Rahmen der Schmerzgrenzen der beste Garant dafür, dass sich die Bandenden isometrisch richtig aneinander lagern, über das Rupturhämatom Anschluss bekommen und durch die später einsetzende Vernarbung die nötige Vorspannung wiedererlangen.

Bei der konservativen Therapie kann das Bein abhängig von den Beschwerden des Patienten für 2–6 Wochen schmerzabhängig teilbelastet werden. Ob dabei eine Orthese oder Schiene verwendet wird, hängt vom Ausmaß der Instabilität ab. Bei höhergradiger Instabilität liegt ohnehin eine Kreuzbandruptur oder eine zusätzliche Verletzung der dorsalen Kapsel vor. In diesen Fällen ist in der Regel die operative Stabilisierung dieser Strukturen angezeigt, sodass das Knie meist zusätzlich geschient wird. Rein isolierte Kollateralbandrupturen bedürfen eher aus Gründen der Schmerzreduktion, weniger aus Gründen der Stabilität, der äußeren Schienung.

Operative Therapie

Eine völlig andere Ausgangssituation ergibt sich bei einem knöchernen Ausriss. Durch Reposition und Fixierung des Fragments werden die anhängenden Bandstrukturen in ihre isometrisch korrekte Lage zurückgeführt. Je nach erreichter Stabilität kann mit oder ohne Orthese unter Teilbelastung des Beins funktionell weiter behandelt werden. Die Fragmente werden je nach Größe und Lage mit Kleinfragmentschrauben, K-Drähten, transossären Nähten oder einer Zuggurtung refixiert. Außenbandrupturen sollten bei komplexen Instabilitäten im Rahmen der operativen Versorgung der Kreuzbänder mit rekonstruiert werden, ggf. auch durch eine Semitendinosus- oder Grazilisplastik.

Die operative Versorgung der isolierten Ruptur des medialen Kollateralbandes ist in den seltenen Fällen angezeigt, bei denen aufgrund der bestehenden Klinik davon ausgegangen werden muss, dass das Innenband distal ausgerissen und unter dem Ansatz des Pes anserinus herausluxiert ist (Abb. 10.31). In diesem Fall ist eine orthotope, funktionell suffiziente Anheilung des Bandes nicht mehr gewährleistet und die operative Reposition und Refixation indiziert.

Vorgehen

Am Vorderrand des Pes anserinus wird unter Schonung des proximal quer verlaufenden R. infrapatellaris n. sapheni eine Längsinzision gesetzt und anschießend das Retinaculum extensorum gespalten. Das am Ort der Verletzung bestehende Hämatom hilft, die Rupturstelle zu finden. Bei rechtwinklig gebeugtem Kniegelenk wird dann der Pes anserinus mit einem Langenbeck-Haken nach hinten weggehalten und der tibiale Ansatz des Seitenbandes inspiziert. Das rupturierte Band kann nun reponiert und mittels resorbierbarer PDS-Fäden der Stärke 0 oder 1 in Form intraligamentär gelegter oder transossär geführter Nähte reinseriert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Band nicht gerafft wird, um die Isometrie (s. oben) nicht zu stören. Nach Refixation des Retinakulums erfolgt die Naht von Subkutis und Haut. Zuletzt wird ein mit Watte gepolsterter Kompressionsverband angelegt.

Biceps-femoris-Sehnenruptur

Anatomie und Ätiologie

Die Anatomie im Sehnenansatzbereich ist komplex. Der sich distal verjüngende Sehnenspiegel aus dem langen Kopf des M. biceps femoris vereinigt sich vor ihrem gemeinsamen Ansatz am Fibulaköpfchen mit der Sehne des kurzen Kopfs. Die resultierende Sehne setzt mit ihrem kräftigsten Arm am posterolateralen Aspekt des Fibulaköpfchens an. Ein retroflektierter Nebenarm zieht zum Tractus iliotibialis, ein vorderer Nebenarm strahlt ins laterale Kollateralband und ins Tuberculum Gerdy ein. Der Zug der Sehne führt zur Kniebeugung und davon abgehende retroflektierte Fasern spannen die dorsale Kniegelenkskapsel, andere Fasern strahlen ins Seitenband ein. Marshall et al. (1972) postulieren, dass die retroflektierten Fasern bei der Kniebeugung ein Impingement der dorsalen Gelenkkapsel verhindern und diejenigen, die zum Seitenband ziehen, bei zunehmender Beugung die laxer werdenden lateralen Bandstrukturen anspannen und damit das Kniegelenk auch in Beugung stabilisieren helfen. Die zum Tuberculum Gerdy ziehenden Fasern unterstützen die Außenrotation des Unterschenkels.

Die isolierte Ruptur der Biceps-femoris-Sehne ist ein seltenes Ereignis. Rehm et al. (2009) beschreiben einen einzigen eigenen Fall und fanden in der Literatur nur insgesamt 8 weitere Fälle. Dabei handelte es sich ausschließlich um sportlich sehr aktive Männer zwischen 37 und 44 Jahren, wobei der Patient von Rehm und Mitarbeiter erst 27 Jahre alt war.

Tab. 10.9 Diagnostik und Therapie der Kniegelenkluxation in Abhängigkeit vom zeitlichen Ablauf

Zeitlicher Ablauf	Diagnostik	Therapie
Bei Aufnahme	Anamnese Klinische Untersuchung mit neurovaskulärem Status Standardröntgen in 2 Ebenen	Geschlossene oder offene Reposition
Nach der Reposition	Verlaufskontrolle des neurovaskulären Status Angiographie Standardröntgen in 2 Ebenen CT oder MRT bei unklarem Befund	
Innerhalb von 6 h		Gefäßrekonstruktion evtl. kombiniert mit Dermatofasziotomie
Innerhalb von 24 h		Osteosynthese von Frakturen und knöchernen Kapsel-Band-Ausrissen
Innerhalb von 3–4 Wochen		Versorgung der begleitenden Kapsel-Band-Verletzung
Nach 1 Monat	Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit und Elektromyografie	Nervenrekonstruktion, Sehnentransfer

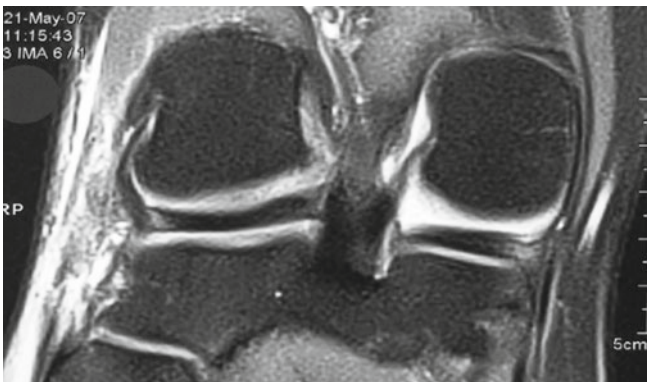


Abb. 10.32 Isolierte Ruptur der Sehne des M. biceps femoris. Das MRT zeigt das peritendinöse Weichteilödem am Sehnenansatz. (Aus: Rehm et al. 2009)

Klinik und Diagnostik

Die Verletzung kann wie eine Achillessehnenruptur bei einer plötzlichen Überlastung ohne Fremdeinwirkung eintreten. Der Patient verspürt dann am Ort der Ruptur einen einschießenden Schmerz und vernimmt dabei ein schnalzendes Geräusch. Nach dem Ereignis bestehen Belastungsbeschwerden und eine Kraftminderung bei der aktiven Kniebeugung. David et al. (1994) berichteten, dass die Resektion des distalen Biceps-femoris-Ansatzes die Beugekraft im Knie um 85% vermindert.

Am Ort der Ruptur bestehen Schwellung, Druckschmerz und eine tastbare Lücke im Verlauf der Sehne. Nach Begleitverletzungen wird klinisch gesucht. Radiologisch lässt sich ein knöcherner Bandausriss am Fibulaköpfchen ausschließen. Die Ruptur selbst kann sonografisch und im MRT nachgewiesen werden, wobei im MRT zudem die exakte Beurteilung benachbarter Strukturen möglich ist (Abb. 10.32).

Therapie

Bei frischer Ruptur körperlich aktiver Patienten ist die offene Sehnennaht laut Rehm et al. (2009) indiziert, damit der Patient die volle Kraft bei der Kniebeugung wiedererlangt. Aber auch eine laterale Instabilität, eine Impingement-Symptomatik und andere Begleitverletzungen stellen Indikationen dar. Intraoperativ sollte eine Gewebeprobe zur histologischen Untersuchung gewonnen werden, denn auffälliger Weise fanden sich in allen bisher veröffentlichten Fällen keine Hinweise auf degenerative Veränderungen des Sehnengewebes. Damit der N. peroneus nicht verletzt wird, sollte sein Verlauf im Operationsgebiet dargestellt werden.

Falls der distale Sehnenstumpf ausreichend lang ist, kann die Versorgung wie bei einer Achillessehnenruptur durchgeführt werden mit Kernnaht unter mehrfacher Durchflechtung beider Stümpfe und zusätzlicher, fortlaufend zirkulärer, atraumatischer Naht mit nicht- oder langsam resorbierendem Nahtmaterial. Bei knochennahem Abriss muss die Reinsertion durch transossäre Kanäle erfolgen oder, was einfacher ist und in der Nähe des N. peroneus auch sicherer, durch Knochenanker.

Die Nachbehandlung erfolgt zum Schutz gegen eine Überstreckung in einer Orthese. Darin wird das Knie 6 Wochen lang nur teilbelastet. Während dieser Zeit soll keine aktive Beugung erfolgen, sondern lediglich eine schmerzadaptierte passive Beugung. Mit einer annähernd vollständigen Wiederherstellung der Muskelfunktion innerhalb von 3–6 Monaten kann gerechnet werden.

Knieluxation

Ätiologie, Klinik und Klassifikation

Knieluxationen entstehen nur im Rahmen gewaltiger Krafteinwirkung meist infolge von Verkehrsunfällen mit hoher Geschwindigkeit oder bei Baumfällarbeiten oder Quetschverletzungen durch Industriepressen und Ähnlichem.

Eine Kniegelenkluxation ist bereits auf den ersten Blick ersichtlich. Der Versatz zweier so großer Gelenkpartner lässt nicht nur den gesamten Kapsel-Band-Apparat zerreißen, sondern schädigt auch die benachbarten neurovaskulären Strukturen der Kniekehle. Deshalb ist die Dokumentation des neurovaskulären Status unabdingbar und muss während der Erstversorgung kontinuierlich durchgeführt werden.

Die Einteilung der Luxationen erfolgt nach der Stellung von Femur zu Tibia, die sich aus der Richtung der einwirkenden Kraft ergibt. In 20–30% der Fälle handelt es sich um offene Verletzungen (Roman et al. 1987).

Therapie

Die Versorgung von frischen Knieluxationen verlangt ein zügiges Handeln. Das Ausmaß und die zeitliche Reihenfolge von Diagnostik und Therapie werden vom individuellen Verletzungsausmaß und der Patientenkonstitution bestimmt (Tab. 10.9).

Reposition

Unter Analgesie und leichter Sedierung ist eine geschlossene Reposition fast immer möglich. Nur selten, z.B. bei posterolateraler Luxation, ist ein offenes Vorgehen erforderlich (Quinlan u. Sharrard 1958). Nach der Reposition wird das Knie in 20- bis 30°-Beugung ruhiggestellt. Da nach der Reposition mit einer starken Weichteilschwellung zu rechnen ist, muss der Patient engmaschig überwacht werden. Der Verband oder die ruhigstellende Schiene darf die Blutversorgung nicht beeinträchtigen.

Gefäßverletzung

In 5–30% ist eine Knieluxation mit einer vaskulären Schädigung, zumeist der A. poplitea, verbunden (Varnell et al. 1989). Da selbst das Vorhandensein von Fußpulsen eine Gefäßbeteiligung nicht sicher ausschließt, ist bei jeder frischen Luxation des Kniegelenks eine notfallmäßige Angiografie indiziert.

Es versteht sich von selbst, dass bei Avaskularität der betroffene Gliedmaßenabschnitt schnellstmöglich revaskularisiert werden muss. Erfolgt dies erst später als 6 h nach dem Eintritt der Verletzung, steigt die Rate der Amputationen drastisch. Nach der Gefäßversorgung kann eine Dermatofasziotomie des Unterschenkels aufgrund eines Kompartment-Syndroms, das im Rahmen der Reperfusion eintritt, notwendig werden.

Frakturen und Kapsel-Band-Verletzung

Die operative Versorgung von Frakturen und Kapsel-Band-Verletzungen sollte so früh wie möglich erfolgen. Der Operationszeitpunkt wird vom Allgemeinzustand und dem Verletzungsausmaß abhängig gemacht. Bei notwendigen Gefäßeingriffen kann die Versorgung der Kapsel-Band-Verletzung erst 3–4 Wochen verzögert erfolgen, um die Gefäßanastomosen nicht zu gefährden. Zunächst werden die Kreuzbänder rekonstruiert, anschließend die Kapsel-Band-Strukturen in der Reihenfolge von posterior und tiefliegend nach anterior und oberflächlich.

10.2.3 Streckapparat

Traumatische Bursaeröffnung und Bursitis

Ätiologie

Bursaverletzungen entstehen durch Stürze, meist vom Zweirad. In die eröffneten Schleimbeutel gelangen Erreger, die im weiteren Verlauf zur akuten posttraumatischen Bursitis führen können. Chronische aseptische Bursitiden entwickeln sich dagegen durch anhaltende Druckbelastung. Das Bursagewebe reagiert mit einer Größenzunahme. Das kann soweit gehen, dass die 3 Gleitschichten vor dem Streckapparat zu einer einzigen monströsen Bursa konfluieren, was man bei Fliesenlegern oder Installateuren immer wieder sieht.

Klinik

Bursaeröffnungen werden häufig von den Patienten unterschätzt. Viele kommen erst verzögert mit bereits manifester Entzündung zur Behandlung. Verdächtig ist die anhaltende wässrige Sekretion aus einer Wunde mit begleitenden entzündlichen Veränderungen. Bei verzögertem Behandlungsbeginn findet man sogar Phlegmonen mit Zeichen der fortgeleiteten Entzündung.

Diagnostik

Liegt eine Riss-Quetsch-Wunde im Bereich einer Bursa, sollte die Wunde sorgfältig durch Verschieben der Wundränder und Ausleuchten der Wundtiefe inspiziert werden. Dabei sind die glänzende Schleimhautauskleidung oder wässriges Sekret zu erkennen. Hat es in eine Bursa nach stumpfen Trauma eingeblutet, imponiert dies als Vorwölbung. Bei Palpation lässt sich eine Fluktuation nachweisen. Nach länger zurückliegendem Knietrauma kann die betroffene Bursa auch fibrotisch verändert und druckschmerzhaft sein.

Sonografisch lässt sich die Flüssigkeitsansammlung innerhalb der Bursa gut nachweisen. Eitrige Flüssigkeit verändert das Echomuster charakteristisch: Es sind vermehrte Binnenechos zu sehen. Eine Röntgenuntersuchung des Kniegelenks in 2 Ebenen sollte durch eine Patella-tangential-Aufnahme ergänzt werden, zum Ausschluss frischer knöcherner Verletzungen oder etwaiger Fremdkörper. Die Bursapunktion unter sterilen Kautelen und die bakteriologische Untersuchung des Punktats lässt weitere Aufschlüsse zu.

Operative Therapie

Bei der frischen traumatischen Eröffnung einer zuvor blanden Bursa ist es ausreichend, die Wunde intensiv zu spülen, die gequetschten Wundränder zu exzidieren und anschließend primär zu verschließen. Falls die verletzte Bursa groß ist, sollte sie zudem mit einem Redon drainiert werden.

Eine intensive Spülung oder Drainage ist mit den räumlichen, zeitlichen und personellen Möglichkeiten, die in chirurgischen Notambulanzen gegeben sind, machbar. Eine echte Bursektomie ist technisch aufwändig. Dafür bedarf es guter Sicht, am besten in Form einer Blutsperre, und Assistenz zum Aufhalten der Wunde. Dieser Eingriff sollte deshalb gleich in den Operationssaal verlegt werden.

Bei veralteten Wunden mit beginnender Bursitis ist die Indikation zur Bursektomie gegeben. Das gilt auch für die sekundär entstandene, chronisch-fibrosierende Bursitis. Bei der hoch akuten, bakteriellen Bursitis ist die primäre Bursektomie jedoch nicht grundsätzlich sinnvoll. Häufig ist es günstiger, sie initial nur zu eröffnen und zu drainieren und erst sekundär, wenn die Entzündung abgeklungen ist, zu exzidieren. Das primär belassene Bursagewebe reduziert die Gefahr der phlegmonösen Infektausbreitung. Bei Infekt ist die intravenöse, später orale Antibiotikatherapie angezeigt. Bei offener Wunde muss der Tetanusschutz abgeklärt werden.

Operationstechnik

Die quere Hautinzision über der Bursamitte folgt den Langer-Spaltlinien und bietet das kosmetisch beste Ergebnis. Die Inzision entspricht etwa der Patellabreite und kann bogenförmig nach den Seiten erweitert werden. Etwaige Hautverletzungen werden in die Inzision mit einbezogen und gleichzeitig exzidiert.

Eine Längsinzision ist günstiger für spätere Folgeoperationen und für die etwaige Notwendigkeit der Schnitterweiterung; die Narbenbildung führt zu einem kosmetisch etwas schlechteren Resultat.

Nach Hautinzision wird die Bursa dargestellt. Sie wird mit einer Kocher-Klemme gefasst und unter Zug an der Klemme mit einer Präparierschere ausgeschält. Hilfreich ist, sich vor der Präparation einen Überblick über die Größenausdehnung der Bursa zu machen, indem man mit einem stumpfen Instrument den Schleimbeutel in alle Richtungen austastet. Beim Herausschälen des Gewebesacks orientiert man sich dann an der Grenzschicht zwischen Bursa und Subkutis einerseits und der Faszie des Kniestreckapparats andererseits. Bei starken Vernarbungen, z.B. nach rezidivierenden Bursitiden, kann der Schleimbeutel häufig nur scharf, mit dem Skalpell, herausgelöst werden. Anschließend erfolgt eine sorgfältige Blutstillung und es wird eine Redon-Drainage, Charr 10 oder 12, eingelegt. Dann werden Subkutis und Haut genäht, ein steriler mit

Watte gepolsterter Kompressionsverband von den Zehen bis zum Oberschenkel angelegt und das Bein geschient.

Bei eitriger Bursitis sind lediglich Inzision und Wunddrainage angebracht, ggf. mit offener Wundbehandlung mit in Ringerlösung getränkten Kompressen. Dabei ist die Ruhigstellung in einer Schiene unter Thromboseprophylaxe erforderlich.

Nachbehandlung

Die Frühmobilisation ist möglich. Eine Lagerung des Beins in leichter Kniebeugung wird allgemein als angenehm empfunden. Eine Beugung über 60° sollte vermieden werden. Das Bein ist voll belastbar. Bei manifester Infektion ist die Ruhigstellung des Extremitätenabschnitts bis zum Abklingen der Entzündung indiziert. Gegen den Wundschmerz können kurzfristig nichtsteroidale Antiphlogistika eingesetzt werden. Wundkontrolle und die Entfernung der Drainage erfolgen in der Regel am 2. postoperativen Tag. Das Nahtmaterial wird am 12. postoperativen Tag entfernt.

Komplikationen und Prognose

Wundheilungsstörungen drohen insbesondere dann, wenn Bursagewebe in situ verblieben ist. An der Patellavorderfläche können Narbenadhäsionen entstehen. Die Bursektomie führt aber normalerweise nicht zu einem Funktionsverlust. Postoperative Adhäsionen zwischen Hautmantel und Kniescheibe lösen sich im weiteren Verlauf wieder, wenn eine neue Gleitschicht entsteht.

Quadrizepssehnenriss

Ätiologie

Quadrizepssehnenrupturen sind häufig degenerativer Natur. Sie treten fast ausschließlich bei älteren Patienten oder Patienten mit Systemerkrankungen auf (Tab. 10.10). Der Riss entsteht meist bei dem Versuch, einen drohenden Sturz abzufangen. Eine gesunde Sehne würde dabei niemals reißen, denn sie hält enorme Zuglasten aus (Hohlbach et al. 1981). Seltener entstehen die Rupturen durch direktes Trauma an einem scharfkantigen Gegenstand.

Tab. 10.10 Zahlreiche Faktoren bergen ein Risiko für spontane Quadrizeps- oder Patellarsehnenrupturen. Das Durchschnittsalter der Verletzten liegt zwischen 60 und 64 Jahren

Entität	Risikofaktor
Entzündliche Erkrankungen	Polyarthritis Chronische Nephritis Chronische Osteomyelitis Lues Typhus Tuberkulose
Stoffwechselerkrankungen	Diabetes mellitus Gicht
Vaskuläre Erkrankungen	Arteriosklerose Periarteriitis Endangitis
Parasitäre Erkrankungen	Trichinose
Endokrine Erkrankung	Hyperparathyreoidismus
Gestörte Biomechanik	Arthrosis deformans Rezidivierende Patellaluxation Kontralaterale Oberschenkelamputation Vorangegangene Patella- oder Femurkondylenfraktur Adipositas

Klinik

Die Verletzten verspüren meist einen heftigen Schlag im Knie, der ohne äußere Gewalteinwirkung auftritt. Nach dem Ereignis stürzen sie zu Boden. Das betroffene Bein kann nicht mehr belastet und nicht mehr gestreckt von der Unterlage gehoben werden. Allerdings können manche Patienten eine Reststreckfunktion über die Retinakula entfalten, wenn diese nicht mitverletzt worden sind. Deshalb bezeichnet man diese auch als Reservestreckapparat. Über der Rupturstelle ist eine Delle zu tasten. Dieses Zeichen kann allerdings insbesondere bei älterer Ruptur durch das eingetretene und womöglich schon in Organisation begriffene Hämatom maskiert sein. Im Bereich der Verletzung besteht ein Druck- und Bewegungsschmerz. Die Patella steht kaudaler als auf der unverletzten Seite und lässt sich leichter als dort nach kaudal verschieben.

Diagnostik

Standardröntgenaufnahmen des Knies in 2 Ebenen werden angefertigt, um knöcherne Begleitverletzungen zu erfassen. Außerdem kommt ein Tiefstand der Patella zur Darstellung (Abb. 10.33). Degenerative Vorschäden können sich als osteophytäre Anbauten am Patellaoberpol finden. Sonografisch lässt sich die Sehnenruptur direkt nachweisen (▶ Kap. 20, Ultraschalluntersuchungen). Die MRT bleibt der Klärung vereinzelter Zweifelsfälle vorbehalten (Kaneko et al. 1994). Eine Patellafraktur lässt sich radiologisch und eine Patellarsehnenruptur anhand des klinischen und sonografischen Befundes leicht abgrenzen.

Abb. 10.33 Tiefstand und Verkippung der Patella als indirektes Zeichen einer Quadrizepssehnenruptur

Therapie

Durch die Kontinuitätsunterbrechung droht die Involution des Quadrizeps mit entsprechendem Funktionsausfall. Daher ist die operative Versorgung in jedem Fall angezeigt. Sie sollte wegen der drohenden Verkürzung des Streckapparats früh elektiv, möglichst aber innerhalb von 10 Tagen durchgeführt werden.

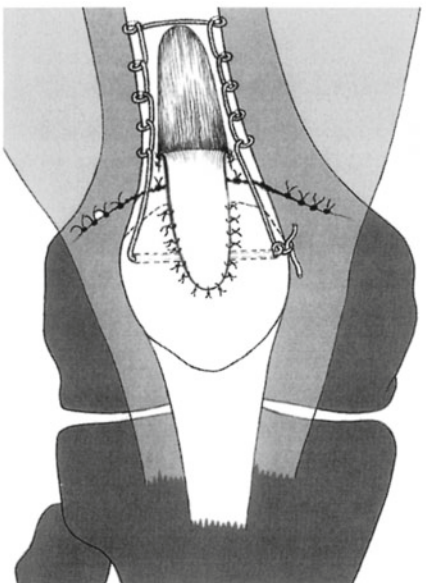
Operationstechnik

Bei Verwendung einer Blutsperre muss bedacht werden, dass diese den Quadrizeps fixiert und dadurch die Nahtspannung erhöhen kann. Deshalb sollte man die Blutsperre bei gebeugtem Knie insufflieren oder ganz auf sie verzichten.

Der Zugang erfolgt am besten bei entfalteten Weichteilen in leichter Kniebeugung. Die Lagerungsrolle kann später, wenn die Sehne genäht wird, wieder entfernt werden, damit die Nähte nicht unter Spannung geknotet werden müssen. Man kann einen queren Hautschnitt mit der Möglichkeit der S-förmigen Erweiterung zu beiden Seiten, den Hautspaltlinien folgend, anlegen oder einen geraden Längsschnitt wählen. Letzterer ermöglicht eine bedarfsadaptierte unbegrenzte Erweiterung nach proximal sowie distal und ist für jede erdenkliche Art von Folgeoperationen nutzbar. Nach Darstellung und Entwicklung der Sehnenenden werden diese sparsam angefrischt. Das resezierte Gewebe wird in Hinblick auf spätere gutachtliche Fragestellungen zur histologischen Untersuchung gegeben.

Das Kniegelenk wird ausgiebig gespült und von Koageln befreit. Dann erfolgt die Naht mit einem atraumatischen langsam resorbierbaren Faden der Stärke 1 oder 2 in U-Naht- oder Flaschenzugtechnik bei voll gestrecktem Knie. Zur Feinadaptation der überworfenen Ränder kann eine überwendliche fortlaufende Naht mit einem atraumatischen dünneren Faden angelegt werden. Ist die Sehne unmittelbar am Oberrand der Patella ausgerissen oder samt einer dünnen Kortikalisschale, erfolgt die Adaptation über dünne Bohrlöcher. Die Bohrlöcher kann man z.B. mit einem 2,0er K-Draht V-förmig anlegen. Zur Verstärkung der Naht kann ein Dreieck aus dem proximalen Sehnenstumpf ausgeschnitten und nach distal über die adaptierte Rupturstelle genäht werden. Der Sehnenlappen soll 3 mm stark, an seiner Basis 5 cm breit und die gleichseitigen lateralen Schenkel etwa 7,5 cm lang sein (Scuderi 1958) (◘ Abb. 10.34). Mit der VY-Plastik nach Codivilla können Defekte bei verkürztem Quadrizeps überbrückt werden.

Zur Augmentation kann zusätzlich eine Drahtschlinge oder eine resorbierbare Kordel quer durch das proximale Sehnenende einerseits und durch den Patellaoberpol andererseits gelegt werden. Vor dem Wundverschluss werden eine oder zwei 12er Redon-Drainagen eingelegt und kraniolateral ausgeleitet, denn medial verläuft die V. saphena magna. Eine der Drainagen wird intraartikulär eingelegt.



◘ **Abb. 10.34** Scuderi-Nahttechnik bei frischer Ruptur der Quadrizepssehne. Das distal gestielte vordere Blatt der Sehne wird zur Augmentation der Direktnaht um 180° nach unten geklappt. (Aus: Mittlmeier u. Ewert 2001)

Nachbehandlung

Postoperativ wird das Bein hoch gelagert, das Operationsgebiet gekühlt und die präoperativ begonnene Thromboseprophylaxe fortgeführt. Die Mobilisierung im Tutor unter schmerzabhängiger Teil- bis Vollbelastung kann schon ab dem 1. postoperativen Tag begonnen werden. Lymphdrainage ist bei ausgeprägten Schwellungszuständen günstig. Nach 5–6 Wochen kann die Mobilisierung ohne Tutor, evtl. unter Zuhilfenahme von Unterarmgehstützen, fortgesetzt werden, falls die Muskulatur noch nicht kräftig genug ist. Nach dieser Zeit ist der volle Bewegungsumfang erlaubt. Die Thromboseprophylaxe kann nun abgesetzt werden. Rad fahren auf dem Standfahrrad, Schwimmen und viel Gehen helfen, die Muskulatur rasch aufzubauen.

Komplikationen und Prognose

Bei verzögerter Diagnosestellung und Operation nach mehr als 6 Wochen zeigen sich schlechte funktionelle postoperative Resultate (Siwek u. Rao 1981). Bei der verzögerten Reparatur der Sehne wird die Mobilisierung des proximalen Stumpfs schwierig, weil dieser erheblich nach proximal verlagert und entsprechend verkürzt sein kann. Mit einer Umschlag- oder Griffelschachtelplastik aus dem proximalen Sehnenstumpf kann Abhilfe geschaffen werden.

Patellofemorale Dysfunktion

Die physiologische Funktion des patellofemoralen Gelenks ist abhängig vom komplexen Zusammenspiel dynamischer und statischer Strukturen. Bei Dysfunktionen im vorderen Kniebereich wird zwischen Schmerz und Instabilität unterschieden. Voraussetzung für eine adäquate Therapie ist das Wissen um die patellofemorale Anatomie und Biomechanik (▶ Abschnitt 10.1.1 Anatomie). Mit zunehmender Lateralisation der Patella steigt die Wahrscheinlichkeit von Schmerzen und Instabilität im anterioren Kniebereich. Der Quadrizeps stabilisiert das patellofemorale Gelenk dynamisch. Sein Kraftvektor verläuft parallel zum Femur, das in Bezug zum Kniegelenk durchschnittlich 6° valgisiert steht. Diese Valgisierung begünstigt die Lateralisation der Patella bereits bei physiologischen, anatomischen Verhältnissen. Besonders zum Tragen kommt dies nach Knieverletzungen oder Operationen, da der M. vastus medialis am schnellsten und stärksten atrophiert und gleichzeitig für die Wiederherstellung seiner ursprünglichen Kraft am längsten braucht. Die resultierende muskuläre Imbalance zwischen den medialen und lateralen Quadrizepsanteilen verstärkt die Lateralisation der Patella.

Ätiologie

Beschwerden im vorderen Kniebereich treten häufig ohne vorausgegangenes Trauma durch Überlastung auf. Ursachen können lange Bergwanderungen, Fahrradtouren oder kniebelastende Sportarten wie Tennis, Squash, Volley- oder Fußball sein. Manche Patienten berichten aber über ein stattgehabtes Subluxations- oder Luxationsereignis.

Klinik und Diagnostik

Bei der Untersuchung des Patienten werden die Beinachsen beurteilt und geprüft, ob sie valgisch, varisch oder gerade sind. Von einem so genannten in-facing der Patella spricht man, wenn die Achsen zueinander gedreht sind. Dies ist Ausdruck einer ausgeprägten Anteversion des Schenkelhalses und gleichzeitiger Außenrotation der Tibiae, was zu einer Lateralisation der Kniescheiben führt. Der Zustand des Quadrizeps wird ebenfalls beurteilt. Außerdem wird nach peripatellaren Schmerzpunkten gesucht. Bei

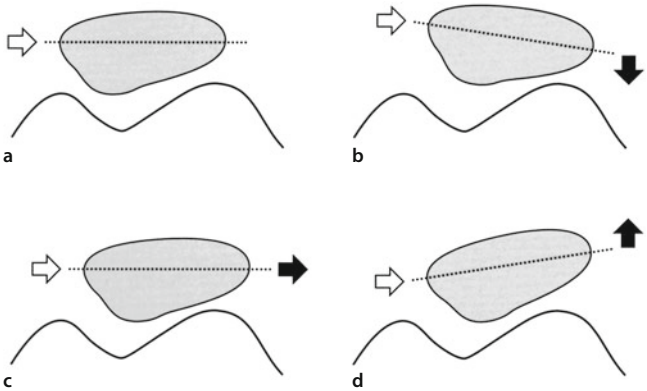
Insertionstendopathie der Quadrizeps- bzw. Patellarsehne findet sich ein Druckschmerz an entsprechender Stelle. In diesem Zusammenhang sollte auch das Tuberculum Gerdy palpiert werden, das bei kontraktem Tractus iliotibialis druckschmerzhaft sein kann. Das positive Zohlen-Zeichen ist ein Hinweis für eine retropatellare Problematik. Beim Apprehension-Test wird untersucht, ob sich durch die Lateralisation der Patella Schmerzen provozieren lassen, gleichzeitig wird deren Verschieblichkeit beurteilt (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests; ◘ Abb. 10.35, ◘ Tab. 10.11).

Des Weiteren wird die Führung der Patella beim passiven Durchbewegen des Kniegelenks beurteilt. Dabei kann eine etwaige Instabilität, Bewegungseinschränkung oder Krepitation im patellofemoralen Gelenk festgestellt werden. Am sitzenden Patienten lässt sich die Führung der Patella bei aktiver Beugung und Streckung gut beurteilen und eine Subluxationsneigung erkennen. Bei verkürzter ischiokruraler Muskulatur können die Beine auf der Untersuchungsliege nicht vollständig durchgestreckt werden. Die Dehnbarkeit des Quadrizeps lässt sich in Bauchlage beurteilen. Bei verkürztem Muskel kann die Ferse nicht ans Gesäß herangeführt werden.

Differenzialdiagnostisch müssen andere Ursachen für die Beschwerden ausgeschlossen werden. Infrage kommen Meniskusschäden, Kreuzbandinstabilitäten, ein Plicasyndrom, intraartikuläre Verwachsungen oder degenerative und entzündliche Prozesse.

◘ **Tab. 10.11** Patella-glide-Test. Das Ausmaß der medialen und lateralen Verschieblichkeit der Patella lässt Rückschlüsse auf die Stabilität der Retinakula zu

Befund	Aussage
Medialverschiebung nur um einen Patellaquadranten möglich	Straffe laterale Strukturen
Medialverschiebung um mehr als 3 Quadranten möglich	Hypermobile Patella
Lateralverschiebung um mehr als 3 Quadranten möglich	Insuffizienz der medialen Strukturen



◘ **Abb. 10.35a–d** Tilt-Test. Beurteilung des Spannungszustandes des lateralen Retinakulums. **a** Die Patella wird vom Untersucher manuell nach lateral bewegt. Nähert sich dabei der laterale Patellarand der Femurkondyle an, dann ist dies Ausdruck eines kontrakten lateralen Retinakulums. **b** Der Test zeigt in diesem Fall ein pathologisches Ergebnis und wird als negativ bezeichnet. **c,d** Ein neutraler Test liegt vor bei normal tonisiertem lateralen Retinakulum (**c**) und ein positiver bei gelockertem (**d**). (Aus: Strobel et al. 1995)

Radiologische Diagnostik

Zur radiologischen Basisdiagnostik gehören Standardaufnahmen des Kniegelenks in 2 Ebenen und eine Tangentialaufnahme der Patella in 60°-Kniebeugung. Auf der a.p.-Aufnahme kann die Patellakontur beurteilt werden. Erkennbar sind Frakturen und anlagebedingte Teilungen der Patella (Patella bipartita). Im seitlichen Strahlengang bei 30°-Kniebeugung lässt sich die patellofemorale Lagebeziehung in der Longitudinalebene beurteilen. Man kann feststellen, ob eine Patella alta oder baja vorliegt, dazu wird die Länge der Patellarsehne zur Länge der Patella in Relation gesetzt. Laut Insall u. Salvati (1971) beträgt das Verhältnis im Normalfall 1:1. Bei einem Hochstand der Patella wird dieses Verhältnis >1, bei einem Tiefstand <1. In 30°-Knieflexion liegt die Spitze des Patellaunterpols normalerweise auf einer Höhe zwischen der so genannten Blumensaat-Linie, dem Dach der Notch, und der sklerosierten Linie, die der ehemaligen femoralen Wachstumsfuge entspricht.

Auf der Tangentialaufnahme können Dysplasien, die Zentrierung in der Trochlea femoris, die Gelenkspaltweite und die angrenzenden knöchernen Strukturen beurteilt werden. Bei Verdacht auf Instabilität im Femoropatellargelenk wird die 60°-Aufnahme durch die beiden übrigen Défilé-Projektionen in 30°- und 90°-Flexion ergänzt. In Zweifelsfällen lassen sich die patellofemorale Lagebeziehung sowie Frakturen und Tumore sehr genau mit der CT beurteilen. Die Untersuchung kann auch bei angespanntem Quadrizeps durchgeführt werden (Ghelman u. Hodge 1992).

Die MRT wird hingegen zur Evaluierung von Veränderungen der Weichteile herangezogen. Partielle und komplette Verletzungen an Sehnen, Muskeln und Bändern können durch eine erhöhte Signalintensität in der T2-Gewichtung diagnostiziert werden. Flüssigkeitsansammlungen in der präpatellaren Bursa, entzündliche Auftreibungen der Patellarsehne an der proximalen (Patellaspitzensyndrom) und distalen Insertion sowie Kalzifikationen im Bereich des infrapatellaren Fettkörpers werden sichtbar. Außerdem kommen auch intraartikulär gelegene pathologische Veränderungen, die der klinischen Untersuchung entgangen sind, zur Darstellung. Zur Planung bestimmter operativer Eingriffe im Bereich des Streckapparats, z.B. dem Ersatz des medialen patellofemoralen Ligaments (MPFL) oder einer Versetzung der Tuberositas tibiae, ist die Bestimmung des TTTG-Abstandes (tibial tuberosity/trochlea groove displacement) notwendig. Hierfür werden im CT oder hochauflösenden MRT axiale Schnitte durch das gestreckte Knie gelegt und der tiefste Punkt der Trochlea femoris und der höchste Punkt der Tuberositas tibiae übereinander projiziert. Gemessen wird der laterale Abstand der Scheitelpunkte in Referenz zur posterioren Kondylenlinie, wobei ein Abstand von >20 mm als pathologisch zu werten ist. Zusammenfassend betrachtet sollten jedoch CT und MRT nicht als Routinediagnostik bei patellofemoralen Problemen eingesetzt werden, sondern spezifischen Indikationen vorbehalten bleiben.

Konservative Therapie

Patellofemorale Probleme können in den meisten Fällen durch konservative Maßnahmen erfolgreich behandelt werden.

Muskelaufbautraining stellt einen wichtigen Therapieansatz bei patellofemoralen Beschwerden dar. Das Auftrainieren besonders der medialen Anteile des Quadrizeps trägt zu einer verbesserten Patellaführung und konsekutiven Schmerzreduktion bei. Isometrisches Training in nahezu voller Extension ermöglicht eine Kräftigung der Muskulatur, ohne zu große Belastung auf das patellofemorale Gelenk zu übertragen (Tria et al. 1992). Kontrakte Muskeln, egal ob sie streck-, beugeseitig oder lateral liegen, müssen

gleichzeitig aufgedehnt werden. Eine Verkürzung des Quadrizeps lässt sich, wenn der Patient auf dem Bauch liegt, im Seitenvergleich am vergrößerten Gesäß-Fersen-Abstand bei maximaler Kniebeugung leicht erkennen. Der chronisch erhöhte Muskeltonus erhöht den Druck im femoropatellaren Gleitlager und schädigt auf Dauer den Knorpel.

Mit Antiluxationsbandagen oder Tapeverbänden kann man versuchen, der Lateralisationsneigung der Patella zu begegnen und hierdurch eine bessere Zentrierung zu erzielen. Der Erfolg unterstützender Hilfsmittel bei patellofemoralen Problemen wird jedoch in der Literatur kontrovers diskutiert (Arroll et al. 1997, Greenwald et al. 1996). Ein kurzfristiger Einsatz von Kniebandagen bei Patienten mit patellofemoraler Instabilität und akuter Schmerzsymptomatik erscheint aber gerechtfertigt, weil es immer wieder Fälle gibt, in denen diese Maßnahmen wenigstens vorübergehend die Beschwerden lindern. Wird jedoch die Bandage langfristig verwendet, kann dies eine Atrophie der Kniestreckmuskulatur unterhalten und die Gesamtsituation dadurch verschlechtern.

Bestimmte Bewegungsabläufe und Sportarten, wie häufige Kniebeugung über 100° unter Belastung, intensives Joggen oder Rad fahren, verschlechtern die Symptomatik. Solche schmerzprovozierenden Aktivitäten sollten gemieden werden. Vielfach reicht die Reduktion des Aktivitätsniveaus nicht. Dann ist eine komplette Sportpause nötig. Das empfiehlt sich gerade bei denjenigen Patienten, bei denen der anteriore Knieschmerz im Rahmen einer Überlastung aufgetreten ist.

Bei akuter Schmerz- und Entzündungssymptomatik ist der Einsatz von nichtsteroidalen Antiphlogistika empfehlenswert. Dabei wird selbstverständlich nur der Schmerz, nicht die Instabilität beeinflusst. Die Verwendung intraartikulärer Steroide bei patellofemoralen Schmerzen muss natürlich gut bedacht sein. Bei fortgeschrittener Osteoarthrose stellt sich diese Frage nicht mehr, denn dann sind sie meist das einzige Mittel, das dem Patienten vor dem Gleitflächenersatz überhaupt noch hilft, seine Beschwerden zumindest vorübergehend zu lindern. In jüngerer Zeit wurde mit der Stoßwellentherapie beim Patellaspitzensyndrom in vielen Fällen eine durchgreifende und anhaltende Besserung erzielt.

Synopse der konservativen Maßnahmen

- Schwache Muskeln aufbauen und verkürzte dehnen
- Kniebandagen allenfalls kurzfristig einsetzen
- Meidung kniebelastender Aktivitäten, Sportkarenz
- Nichtsteroidale Antiphlogistika, ggf. Steroide
- Stoßwellentherapie

Operative Therapie

Die laterale Retinakulumspaltung, offen (Larson et al. 1978, Merchant u. Mercer 1974, Micheli u. Stanitski 1981) oder arthroskopisch (Bigos u. McBride 1984, Dzioba 1990, Henry et al. 1986) durchgeführt, ist indiziert, wenn bei Patienten mit anteriorem Knieschmerz ein zu straffes laterales Retinakulum mit lateralem tilt der Patella nachgewiesen werden kann. Es handelt sich dabei um eine proximale Korrektur des Kniestreckapparats. Gute Resultate werden bei Patienten ohne Instabilitätszeichen erreicht. Ausgeprägte Knorpelschäden und Instabilitätsneigung der Patella reduzieren den Operationserfolg (Oglivie-Harris u. Jackson 1984, Shea u. Fulkerson 1992). Daher ist bei patellarer Instabilität mit signifikanter Subluxation oder Luxation ein kombiniertes proximales Realignment mit medialer Kapselraffung oder ein distal korrigierendes Verfahren an der Tuberositas tibiae der alleinigen lateralen Kapselspaltung vorzuziehen.

Für die laterale Retinakulumspaltung sind unterschiedliche offene Verfahren wie Inzision des Retinakulums, Exzision eines schmalen Retinakulumstreifens sowie die Durchführung einer Z-Plastik von den transvers verlaufenden Fasern des lateralen Reservestreckapparats beschrieben. Bei den geschlossenen Verfahren stellen die perkutane Kapselspaltung und die arthroskopische Inzision mit Spezialinstrumentarium oder Elektrokauter mögliche Therapieoptionen dar. Die laterale Kapsel sollte etwa 1 cm lateral des Patellarandes gespalten werden, da hier das Gewebe weniger durchblutet ist. Empfohlen wird eine schichtweise Spaltung, um die durchtrennten Gefäße gezielt koagulieren zu können. Für gute Ergebnisse ist eine relativ langstreckige, besonders nach distal reichende Retinakulumspaltung erforderlich. Deshalb wird beim arthroskopischen Vorgehen der anterolaterale Arthroskopiezugang 1–1,5 cm weiter distal gelegt. Proximal muss man darauf achten, nicht in den Muskel zu geraten. Wenn das mediale Retinakulum zu locker ist, ist eine gleichzeitige Raffung empfehlenswert. Die arthroskopische Nahttechnik ist im Abschnitt Patellaluxation (s. unten) beschrieben. Eine intraartikuläre Redon-Drainage ist sinnvoll, sonst droht ein Hämarthros. Das Auftreten einer medialen Patellasubluxation nach einem lateral release ist in der Literatur beschrieben (Hughston u. Deese 1988).

Patellofemorales Schmerzsyndrom

Terminologie

Der Begriff patellofemorales Schmerzsyndrom ist ein Überbegriff für Krankheitsbilder, die sich in diesem Gelenk abspielen. Synonyme Begriffe sind vorderer Knieschmerz und Chondropathia patellae. Ursprünglich wurde angenommen, die Beschwerden entstünden durch primäre, biochemische Veränderungen im Gelenkknorpel. Daher stammt der ehemals verwendete Begriff Chondropathia patellae. Heute weiß man, dass andere Ursachen zugrunde liegen. Deshalb sollte dieser Begriff nicht mehr verwendet werden.

Ätiologie

Das patellofemorale Schmerzsyndrom zählt zu den häufigsten Kniebeschwerden überhaupt. Man nimmt an, dass der Schmerz durch ein Ungleichgewicht zwischen Belastbarkeit und tatsächlicher Beanspruchung entsteht, wie es z.B. bei Lauf- oder Sprungsportarten häufig auftritt. Aber auch einmalige, direkte Traumen wie ein Armaturenbrettanprall oder ein Sturz auf eine Stufenkante können Ursachen sein.

Die Belastbarkeit kann aus unterschiedlichen anatomischen oder funktionellen Gründen reduziert sein. Das patellofemorale Gelenk kann knöcherne Inkongruenzen aufweisen wie eine Patelladysplasie, eine Formabweichung der Trochlea femoris oder eine Fehlstellung der Beinachsen oder Füße. Eine Inkongruenz kann sich aber auch durch ein muskuläres Ungleichgewicht mit ungleichmäßigem Zug der lateralen Quadrizepsanteile bei atrophiertem M. vastus medialis ergeben. Ähnlich wirkt sich eine Imbalance der lateralen und medialen Retinakula aus.

Klinik

Typischerweise wird ein nichtspezifischer, belastungsabhängiger vorderer Knieschmerz von zumeist jugendlichen Patienten, insbesondere von jungen Frauen angegeben. Der Schmerz tritt besonders nach langem Sitzen, Treppen steigen oder bei Laufsportarten auf. Manche Patienten berichten auch von einem Instabilitätsgefühl und Giving-way-Phänomenen mit Wegknicken des Knies, ausgelöst durch einen unvermittelt einschießenden Schmerz. Die

Beschwerden halten mitunter über Jahre an und können sich dann spontan zurückbilden.

Insbesondere bei älteren Patienten kann sich aufgrund einseitiger Bewegungsabläufe die Muskulatur verkürzen und zu einem patellofemoralen Schmerzsyndrom führen. Man findet darüber hinaus bei diesen Patienten auch zunehmend begleitende degenerative Schäden, die sich durch Anlaufschmerzen, Ergussbildung und Bewegungseinschränkung äußern oder in Form radiologischer Arthrosezeichen.

Therapie

Bei jungen Patienten, die keine degenerativen Gelenkveränderungen aufweisen, können verschiedene konservative Maßnahmen zum Ziel führen. Eine operative Therapie ist im Allgemeinen nicht erforderlich. Ausgenommen sind Patienten mit manifesten Knorpelschäden, die trotz intensiver konservativer Maßnahmen nicht beschwerdefrei werden. Solche Patienten profitieren von einer arthroskopischen Knorpelglättung. Bei ausgeprägter Knorpelschädigung ist evtl. auch eine Korrekturmaßnahme am Kniestreckapparat notwendig. Ein verkürzter Streckapparat sollte unter krankengymnastischer Anleitung aufgedehnt werden. Dabei ist wichtig, dass der Patient nicht in den Schmerz hinein übt und die Dehnung über die Kniegelenkflexion erwirkt, sondern sie sollte unter Entlastung des vorderen Gelenkraums über die Beckenextension herbeigeführt werden. Dies gilt zumindest für die Anfangsphase, solange ausgeprägte retropatellare Beschwerden bestehen. Kontrakte Retinakula sind der manuellen Therapie zugänglich.

Laterales Patellakompressionssyndrom

Ätiologie, Klinik und Diagnostik

Von einem lateralen Patellakompressionssyndrom spricht man, wenn der anteriore Knieschmerz durch eine patellare Verkippung ausgelöst wird. Die Verkippung wird tilt genannt. Sie tritt meist bei Jugendlichen auf (Fu u. Maday 1992). Die Ursache ist ein ligamentäres Ungleichgewicht zwischen straffem lateralen und normal konfiguriertem oder gedehntem medialen Retinakulum. Dies macht sich bei der klinischen Untersuchung folgendermaßen bemerkbar:

- deutlich reduzierter Patella-glide-Test von weniger als 2 Quadranten nach medial,
- negativer, also pathologischer Tilt-Test,
- Druckschmerz über dem lateralem Retinakulum,
- normaler Q-Winkel,
- keine Instabilitätszeichen im patellofemoralen Gelenk.

Indirekte radiologische Zeichen nach Ficat u. Hungerford (1977) sind Fibrose und Kalzifikation des lateralen Retinakulums, laterale Osteophytenbildung, Patella bipartita, laterale Patellafacettenhyperplasie und Hypoplasie des medialen patellofemoralen Gelenkkompartiments.

Wenn die unphysiologische laterale Kompression lange Zeit bestehen bleibt, kann durch die chronische Überbelastung der Knorpel der lateralen Patellafacette degenerieren. Ficat u. Hungerford (ebd.) nannten dies das »excessive lateral pressure syndrome«, von dem zumeist nur ältere Patienten betroffen sind. Der Schmerz wird dann nicht mehr vorwiegend am lateralen Retinakulum lokalisiert, sondern im Bereich der lateralen Patellafacette. Radiologische Zeichen des »excessive lateral pressure syndrome« sind

- subchondrale Sklerosierung,
- Lateralisation der Knochentrabekel,
- Osteoporose der medialen Patellafacette,
- Hypoplasie der lateralen Femurkondyle.

Therapie

Beim bloßen lateralen Kompressionssyndrom sollten in therapeutischer Hinsicht die medialen Quadrizepsanteile gekräftigt, die laterale und dorsale Oberschenkelmuskulatur hingegen gedehnt, das gespannte laterale Retinakulum mobilisiert und eine etwaige übermäßige Pronationsstellung des Fußes korrigiert werden. Diese Maßnahmen können, solange akute Beschwerden bestehen, durch eine antiinflammatorische Medikation unterstützt werden. Bei Beschwerdepersistenz ist eine laterale Kapselspaltung indiziert. Wenn hingegen ein »excessive lateral pressure syndrome« mit ausgeprägter Knorpelschädigung besteht, ist eine distale Korrekturmaßnahme des Kniestreckapparats in Erwägung zu ziehen.

Patellaluxation

Ätiologie

Aus pathogenetischer Sicht werden im Wesentlichen 3 Luxationsgenesen voneinander unterschieden: die habituelle, die traumatische und die posttraumatisch rezidivierende Luxation (Strobel et al. 1995).

Nach C.J. Wirth (1992) sind entwicklungsbedingte Formabweichungen der Gelenkkörper am Streckapparat als Ursache habitueller Luxationen bedeutsamer als traumatische Veränderungen. Solche Formabweichungen sind: Patellahochstand, Dysplasie des Gleitlagers mit Abflachung des lateralen Kondylus, Formveränderungen der Kniescheibe nach Wiberg (s. oben), vermehrtes Genu valgum mit Zugrichtung des Quadrizeps nach lateral, Außenrotation des Unterschenkels bei Innenrotation der distalen Femurepiphyse und die angeborene Schwäche des Kapsel-Band-Apparats. Des Weiteren können erworbene Veränderungen eine Luxation begünstigen, wie Muskelschwäche insbesondere des M. vastus medialis, traumatisch oder infektiös bedingte Gelenkdeformierung, posttraumatische Lockerung der medialen Retinakula oder Tumoren. Sind solche Voraussetzungen gegeben, genügt schon ein inadäquates Trauma oder eine abnorme Belastung, um die Kniescheibe aus ihrem Gleitlager zu hebeln.

Die traumatische Luxation wird dagegen durch eine adäquate Gewalteinwirkung ausgelöst, meist bei Ball- und Kampfsportarten, wenn bei außenrotiertem Unterschenkel und abduziertem Bein (gleichzeitiger Valgusstress) der Quadrizeps maximal angespannt oder wenn durch direktes Trauma die Patella nach lateral verschoben wird. Dabei reißt immer das mediale Retinakulum.

Von rezidivierender Luxation spricht man, wenn eine Verrenkung traumatischer Genese nicht stabil ausgeheilt ist und infolgedessen schon inadäquate Belastungen ausreichen, um die Kniescheibe zu luxieren.

Zwischen den beiden Gegenpolen habituell und traumatisch gibt es Übergangsformen, bei denen sich im femoropatellaren Gleitlager prädisponierende Formveränderungen einerseits und ein adäquates Trauma andererseits finden. Deshalb sprechen manche Autoren von einer 4. Untergruppe, der akuten dispositionellen Patellaluxation.

Klinik

Meist reponiert sich eine stattgehabte Luxation spontan, und die Verletzten sind oft nicht in der Lage zu benennen, was eigentlich passiert ist. Im Fall einer habituellen oder rezidivierenden Luxation kennt der Patient meist die Ursache seiner Beschwerden und stellt selbst die richtige Diagnose. Die Kniescheibe luxiert fast durchweg nach lateral. Nur ganz selten ist sie um 90° nach oben oder unten um ihre Querachse gekippt und im Gelenkspalt verklemmt. In der Literatur sind 30 Einzelfälle solcher horizontalen Verrenkungen der Patella jugendlicher Patienten beschrieben (Langendorff et al. 1990).

Steht die Patella noch neben ihrem Gleitlager, ist die Diagnose einfach zu stellen. In den meisten Fällen jedoch gelangen die Patienten mit bereits reponierter Kniescheibe zur Untersuchung, dann sind es die folgenden klinischen Zeichen, die die Sicherung der Diagnose ermöglichen:

- Es bestehen Druckschmerz und Schwellung über dem medialen Retinakulum.
- Die Kniescheibe ist abnorm nach lateral verschiebbar.
- Das Verschieben nach lateral ist schmerzhaft und löst eine typische Abwehrbewegung beim Verletzten aus – ein positiver Apprehension-Test liegt vor (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).
- Meist besteht ein Hämarthros bei begleitenden knöchernen Absprengungen mit Fettaugen.
- Das Zohlen-Zeichen ist positiv (aber eher unspezifisch).

Diagnostik

Standardaufnahmen des Kniegelenks in 2 Ebenen und insbesondere die tangentiale Aufnahme der Kniescheibe lassen neben einer womöglich noch bestehenden Luxation oder Subluxation der Patella auch etwaige begleitende osteochondrale Absprengungen erkennen sowie Formvarianten des femoropatellaren Gleitlagers. Darum sollte die tangentiale Projektion nach stattgehabter Luxation nicht fehlen. Man entdeckt mitunter knöcherne Ausrisse des medialen Retinakulums von der Patella. Osteochondrale Fragmente stammen meist vom inferiomedialen Patellapol oder dem lateralen Kondylus.

Bei traumatischer Luxation halten manche Autoren eine Arthroskopie für indiziert, um zusätzliche Kniebinnenläsionen erkennen und behandeln zu können. Scharf und Mitarbeiter (1991) fanden unter 35 Fällen in knapp der Hälfte Begleitverletzungen im Kniebinnenraum meist am Knorpel, selten an Bändern und Menisken. Der Vorteil dieser invasiven Diagnostik ist, dass bereits in gleicher Sitzung die Begleitverletzungen behandelt werden können. Außerdem kann man Retinakulumeinrisse mit versorgen.

Therapie

Die Reposition erfolgt bei überstrecktem Kniegelenk unter gleichzeitigem Verschieben der Patella nach medial und in der Regel ohne Narkose. Alles Weitere richtet sich nach der Genese der Luxation.

Bei habitueller Verrenkung wird ein konservativer Therapieversuch unternommen mit Auftrainieren des M. vastus medialis und zusätzlicher Kräftigung der gesamten Beinmuskulatur. Voraussetzung hierfür ist, dass die luxationsfördernden Formabweichungen des Kniegelenks nicht zu ausgeprägt sind. Wenn nach 2–3 Monaten intensiven Trainings die gewünschte Stabilität nicht eintritt, was oft der Fall ist, bleibt nur noch die Operation. Dafür stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. In den meisten Fällen reicht die Operation nach Insall aus (s. unten). Bei einer Valgusfehlstellung über 10° ist dagegen die Korrekturosteotomie angezeigt (▶ 10.3.1 Umstellungsosteotomien) oder eine Umsetzungsosteotomie der Tuberositas tibiae (s. unten).

Nach einer stattgehabten traumatischen Luxation wird entweder gleich arthroskopiert oder eine MRT durchgeführt. Wenn keine Begleitverletzungen vorliegen, kann auch funktionell mit einer Antiluxationsbandage und schmerzabhängiger Belastung behandelt werden. Allerdings ermöglicht die sofortige Arthroskopie nicht nur die Behandlung osteochondraler Abscherungen, Band- und Meniskusverletzungen, sondern auch die gleichzeitige arthroskopische Naht oder Raffung des medialen Retinakulums (s. unten). Wenn das femorale Gleitlager und die Patellarückfläche so konfiguriert sind, dass bei Kniebeugung eine Lateralisierung eintritt, kann es sinnvoll sein, die Kniebeweglichkeit beispielsweise auf 0/30° durch eine Orthese für 6 Wochen zu limitieren, bis das Retinakulum verklebt ist.

Bei einer rezidivierenden posttraumatischen Verrenkung ist auf lange Sicht eine operative Korrektur nicht zu umgehen.

Synopse der gängigen Korrekturmaßnahmen

- Proximale Korrekturen
  - Operation nach Insall
  - lateral release
  - Mediale Kapselraffung
  - Ersatz des medialen patellofemoralen Ligaments (MPFL)
- Distale Korrekturen
  - Umsetzungsosteotomie der Tuberositas tibiae
  - Umstellungsosteotomie am Tibiakopf

Operation nach Insall

Das Prinzip des von Insall (1984) empfohlenen operativen Vorgehens ist die kapsuläre Doppelung des medialen Retinakulums, die zu einer Medialisierung der Patella führt (◘ Abb. 10.36).

Über einen etwa 15 cm langen medialen oder mittig über der Patella liegenden geraden Zugang, der an der Tuberositas tibiae endet, wird der Streckapparat epifaszial dargestellt. Der Zugang muss ausgedehnt genug sein, um die Ansätze der Mm. vastus medialis und lateralis, die Quadrizepssehne und die Insertion der Rektusfasern einsehen zu können. Die Arthrotomie beginnt proximal, mittig in der Quadrizepssehne und verläuft innerhalb der Sehne nahe der Grenze zum Muskelansatz des Vastus medialis nach distal, dann weiter medial am Patellarand und Patellarsehnenrand entlang zur Tuberositas. Dann eröffnet man die Synovia, teilt den Hoffa-Fettkörper und kann nun die Patellarückfläche auf Knorpelschäden hin inspizieren. Ein etwaiges osteochondrales Fragment kann refixiert werden. Wenn die Knochenbasis dünn ist, können Fibrinkleber und biodegradable Stifte kombiniert werden, wenn sie stabil ist evtl. Minischrauben, die unter das Knorpelniveau versenkt werden.

Gegebenenfalls wird eine zweite Kapsulotomie proximal im muskulären Bereich des Vastus lateralis nahe der Quadrizepssehne beginnend gesetzt, lateral an der Kniescheibe vorbei, bis zum Schienbeinkopf. Diese zusätzliche Kapsulotomie ist ein **lateral release**. Es erübrigt sich, wenn das laterale Retinakulum elongiert ist und der angestrebten Medialisierung der Patella nicht nennenswert entgegenwirkt. Dies kann in verschiedenen Kniebeugegraden beim passiven Durchbewegen des Knies am Widerstand der lateralen Kapsel beim manuellen Zentrieren der Patella heraus untersucht werden. Beim lateral release wird im Idealfall die Synovia nicht miteröffnet, was allerdings nicht gelingt, wenn die fibrösen Kapselstrukturen sehr innig mit der Synovia verbunden sind. Dabei sollten die in Höhe des oberen und unteren Patellapols quer einstrahlenden Gefäße dargestellt und koaguliert werden, um Nachblutungen zu vermeiden.

Das gesamte Operationsgebiet wird jetzt gespült. Dann werden die Quadrizepsaponeurose und das mediale Retinakulum gedoppelt. Die erste Naht legt man so, dass die Aponeurose des Vastus medialis auf den oberen Patellapol und die Quadrizepssehne zu liegen kommt. Bei Bedarf wird die Synovia auf die gesamte Schnittlänge von der Unterfläche des Retinakulums nach medial hin abpräpariert. Das Ausmaß der notwendigen Überlappung ist abhängig von der Laxität des Gewebes. In seltenen Fällen kann es sogar notwendig sein, die Aponeurose bis zum lateralen Patellarand

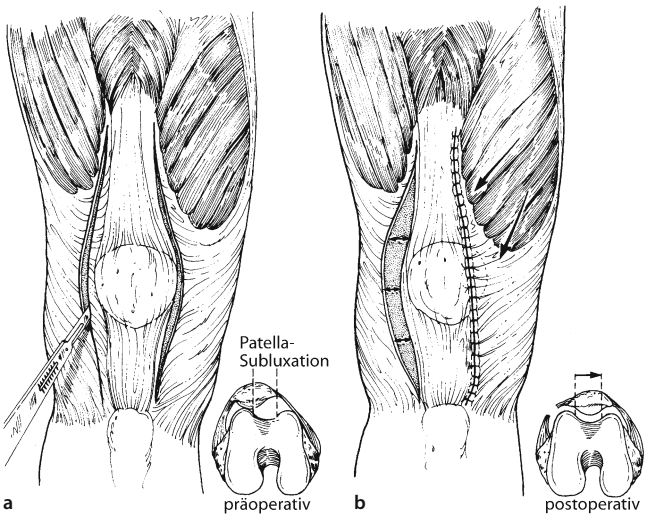


Abb. 10.36a,b Operation nach Insall. **a** Inzision des medialen und ggf. des lateralen Retinakulums. **b** Doppelung des medialen Retinakulums. (Aus Scuderi 1995, S. 231, Abb. 11.10 a,b)

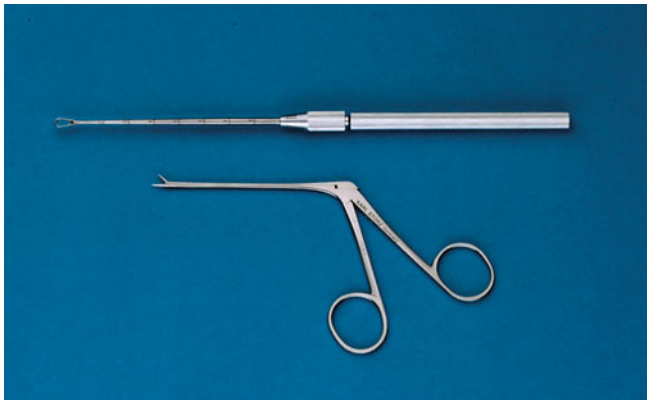


Abb. 10.37 Öse mit Längenmarkierung und kleiner Fasszange zur arthroskopischen Retinakulumnaht. (Aus: Strobel 1998)

hinüberzuziehen, und noch seltener, einen Randstreifen resezieren zu müssen. Meist reicht eine Doppelung von 10–15 mm aus. Eine zweite Naht wird am unteren Patellapol gesetzt und dabei der mediale Lappen gezügelt, soweit es die Gewebespannung zulässt. Verwendet wird langsam resorbierbares Nahtmaterial.

Nachdem diese ersten beiden Nähte gesetzt sind, werden die Spannungsverhältnisse in 90° Kniebeugung überprüft. Es wird beurteilt, ob die Medialisierung ausreicht, die Patella zu zentrieren. Wenn dies der Fall ist, vervollständigt man die Doppelung auf die gesamte Schnittlänge, wobei sich die Breite der Doppelung von proximal nach distal verjüngt.

Arthroskopische Retinakulumnaht

Die praktische Durchführung der arthroskopischen Retinakulumnaht hat z.B. Strobel plastisch beschrieben (Strobel 1998; Strobel et al. 1996). Er benutzt als einziges Zusatzinstrument neben denen, die auch für die Meniskusnaht (s. oben) verwendet werden, einen Stiel mit Längenmarkierung und einer Öse an der Spitze (Abb. 10.37).

Zwei Injektionskanülen werden wie bei der Inside-out-Naht mit PDS-Fäden der Stärke 0 armiert. Ein Faden steht etwas aus der Kanülenspitze hervor, der andere wird bis zur Mitte eingezogen und bildet eine Schlaufe. Laut Strobel (1998) wird bei rezidivierender Luxation der Arthroskopiezugang tief anterolateral gelegt, um evtl. auch ein **lateral release** durchführen zu können. Bei akuter Luxation oder Erstluxation wird der normale hoch anterolaterale Zugang gewählt, weil in diesem Fall ein lateral release kontraindiziert ist (s. unten). Nach Inspektion des Gelenks wird der Aufsetzpunkt der Patella auf der Trochlea femoris gesucht. Bei geringer Lateralisationsneigung reicht ein Release, bei ausgeprägter sollte es mit einer medialen Kapselraffung oder -naht kombiniert werden. Die mediale Kapsel ist besser zu erreichen, wenn der Instrumentenzugang nicht, wie gewohnt, unmittelbar suprameniskal gelegt wird, sondern etwa 1 cm höher.

Die Kanüle mit dem kurzen Fadenende wird unmittelbar am Patellarand eingestochen. Haut und Subkutis werden im Einstichbereich etwas gespreizt. Dann wird die Öse mit Längenmarkierung subkutan 3–6 cm weit nach medial vorgeschoben, je nachdem wie stark das Retinakulum gerafft werden soll. Die zweite Kanüle wird nun durch die subkutan tastbare Öse ins Gelenk vorgestochen. Nun kann mit einer Fasszange, die durch die Fadenschlinge geführt wird, das freie Fadenende der ersten Kanüle gefasst und durch die Schlinge zurück etwas aus dem Gelenk herausgezogen werden. Dann wird dieser Faden mit der Schlinge zurück ins Gelenk und durch die Öse nach außen gezogen. Nun kann die Öse zurückgezogen werden. Beide Fadenenden erreichen jetzt im Bereich der zuvor etwas aufgeweiteten Einstichstelle der ersten Kanüle das Hautniveau. Je nach Ausdehnung der Ruptur bzw. Elongation des medialen Retinakulums werden 3–5 solcher Nähte vorgelegt. Unter Zug an den Fäden kann man nun die erreichte Zentrierung der Patella beurteilen. Dafür muss man den Druck der Spülflüssigkeit reduzieren. Das Knoten der Fäden erfolgt bei Kniestreckung, unter Sicht und gleichzeitigem Anspannen aller Fäden, damit nicht zu viel Zuglast auf die ersten Nähte kommt.

Bei einer rezidivierenden Patellaluxation ohne kontraktes laterales Retinakulum kann eine alleinige mediale Kapselraffung ausreichend sein, um eine optimale Patellaposition zu erzielen. Das elongierte Retinakulum sollte aber vor der Naht synovektomiert werden, damit die gerafften Kapselanteile anschließend miteinander verkleben können.

Bei einer frischen Erstluxation der Patella sollte, wenn nötig, nur eine mediale Raffung und nicht gleichzeitig eine laterale Kapselspaltung erfolgen. Der Einriss der medialen Weichteilstrukturen durch die Luxation kann die mediale Blutversorgung der Patella beeinträchtigen. Dieser Effekt wird durch die iatrogene lateralseitige Unterbrechung des patellaren Blutflusses noch verstärkt. Dies erhöht die Gefahr einer Patellanekrose. Bei rezidivierenden, älteren Luxationen ist diese Komplikation aufgrund zwischenzeitlich ausgebildeter Umgehungskreisläufe nicht zu befürchten.

Ersatz des medialen patellofemoralen Ligaments (MPFL)

Die Stabilität des patellofemoralen Gelenks wird von passiven (Geometrie des patellofemoralen Gelenks, mediale und laterale Weichteilkräfte) und aktiven Faktoren (Muskelkräfte des Streckapparats) beeinflusst. Als einer der wichtigsten passiven Stabilisatoren des patellofemoralen Gelenks wird hierbei das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) angesehen (Farahmand 1998). Dieses läuft zwischen der medialen Patellafacette und dem Tuberculum adductorum, wo es fächerförmig ansetzt (Amis, 2003). Nach einer Patellaluxation ist

das MPFL in 90% der Fälle rupturiert (Salley 1996). Der Ersatz des MPFL ist ein geeignetes Mittel zur Stabilisierung des patellofemoralen Gelenks v.a. im Revisionsfall bei rezidivierender Patellaluxation (Nomura, 2000). Als autologes Transplantat kann hierfür die Semitendinosus- oder die Grazilissehne verwendet werden. Diese können über die oben beschriebene Technik nach Schnittführung über dem Pes anserinus gewonnen werden. Danach wird über einen 2 cm langen Hautschnitt der proximale Anteil der medialen Patellafacette dargestellt und eine knöcherne Furche geschaffen, welche mit 2 Fadenankern im Abstand von 1 cm versehen wird. Das umgeschlagene Transplantat wird in einer Schlinge in die Fadenanker eingelegt, fixiert und die freien Sehnenenden mit dicken resorbierbaren Fäden angeschlungen. Danach wird ein Führungsdraht am Tuberculum adductorum durch die Epikondylen eingebracht und dort ein 25 mm langes und 6 mm im Durchmesser messendes Bohrloch gesetzt. Die beiden freien Sehnenenden werden unter dem M. vastus medialis obliquus und mit Hilfe des Führungsdrahts im Bohrloch versenkt. In 90° Knieflexion wird nun das Alignment der Patella durch Zug am Transplantat eingestellt und durch Einbringen einer Interferenzschraube in das Bohrloch gesichert.

Umsetzungsosteotomie der Tuberositas tibiae

Die Umsetzungsosteotomie der Tuberositas tibiae ist eine distale Korrektur des Streckapparats. Sie ist bei therapieresistentem Schmerz oder Instabilität indiziert, wenn der Q-Winkel mehr als 20° beträgt und der TTTG Abstand vermehrt ist. Zugleich kann die Indikation zu distalen Korrekturmaßnahmen gestellt werden, wenn ausgeprägte Gelenkknorpelschäden im femoropatellaren Gleitlager vorliegen, denn dann bringen alleinige proximale Korrekturmaßnahmen oft nicht den gewünschten Erfolg. Häufig ist die Kombination einer distalen mit proximalen Korrekturen sinnvoll.

Es gibt verschiedene Operationstechniken. Die Technik nach Roux-Elmslie-Trillat besteht aus einer lateralen Kapselspaltung und einem nach medial gerichteten Transfer des anterioren Anteils der Tuberositas tibiae. Durch die Medialisierung der Tuberositas wird die Belastung der distalen und lateralen Patellafacetten reduziert (Brown et al. 1984, Shelbourne et al. 1994). Über einen parapatellaren lateralen Längsschnitt wird zunächst ein lateral release durchgeführt und anschließend die Synovia nach Mobilisierung ihrer Ränder genäht. Nach Identifizierung der proximalen Begrenzung der Tuberositas tibiae wird 3–4 cm distal davon die Kortikalis mit einem 2,7-mm-Bohrer mehrfach in sagittaler Richtung perforiert, sodass zwar die periostale Verbindung erhalten bleibt, die Kortikalis aber für die spätere Rotation der Tuberositas an dieser Stelle bricht. Dann wird ein 4,5er Bohrloch in die Tuberositas tibiae gelegt, um sie nach Versetzung leichter anschrauben zu können. Nun wird eine etwa 3–4 mm starke Kortikalisschale mit der anhaftenden Insertion der Patellarsehne in der Frontalebene mit der oszillierenden Säge und einem Meißel gehoben, die distale Kortikalis gebrochen und nach medial gedreht. Das Fragment wird in der gewünschten Position mit einer Spongiosaschraube fixiert.

Für die Durchblutung der Tuberositas bzw. der Patellarsehneninsertion ist es wichtig, den periostalen Verbund distal zu erhalten.

Bei der Umsetzungsosteotomie nach Maquet wird die Tuberositas durch Einbringen eines Knochenspans in den Osteotomiespalt angehoben. Diese Methode ist indiziert bei Patienten mit ausgeprägter patellofemoraler Gelenkknorpelschädigung der distalen Patella ohne begleitende patellare Fehlstellung. Der Eingriff wird immer mit einem lateral Release kombiniert. Im Unterschied zur Technik nach Roux-Elmslie-Trillat wird die Tuberositas 5–6 cm distal ihrer Oberkante mit einem 3,2 mm-Bohrer im Kortikalisniveau quer durchbohrt. Dann wird wieder eine 3–4 mm dicke Knochenscheibe mit der oszillierenden Säge bis zum distalen Bohrloch gehoben. Anschließend wird das Fragment angehoben, ohne dass dabei die distale Kortikalis komplett bricht. Ein keilförmiger Beckenkammspan wird nun unter die Knochenlamelle geschoben und diese Konstruktion schließlich mit einer Spongiosazugschraube fixiert. Die Schraube muss gut in der Tuberositas tibiae versenkt werden, um eine Irritation des darüber befindlichen Weichteilgewebes zu vermeiden.

Fulkerson hat die anteromediale Umsetzungsosteotomie der Tuberositas tibiae bei patellarer Fehlstellung und lateraler Gelenkfacettenarthrose empfohlen (Fulkerson et al. 1990, ◘ Tab. 10.12).

Nachbehandlung nach proximaler Korrektur

In den ersten postoperativen Tagen muss gerade nach einem lateral Release ein Kompromiss zwischen Be- und Entlastung gefunden werden, denn Bewegung und Belastung hält die Kapselspaltung offen, während Ruhe und Entlastung den Hämarthros und die postoperative Schwellneigung reduzieren. Es kann erforderlich sein, dass ein gewisses Maß an Kniebeugung, das der Operateur abhängig vom jeweiligen Fall festlegen sollte, während der ersten 6 Wochen nicht überschritten wird. Für die ersten 6–12 Wochen wird das Tragen einer Antiluxationsbandage empfohlen. Krankengymnastisch sollte durch Dehnung des Tractus iliotibialis und durch Kräftigung des M. vastus medialis das postoperativ verbesserte Alignment im Kniestreckapparat unterstützt werden.

◘ **Tab. 10.12** Abhängig von den verschiedenen patellofemoralen Dysfunktionen empfehlen sich unterschiedliche Behandlungsstrategien. (Mod. nach Evans u. Paulos 1992)

Pathologie	Therapie
Patellofemorale Gelenkinkongruenz durch ligamentäre Imbalance (laterales Patellakompressionssyndrom)	Laterale Kapselspaltung
Patellofemorale Gelenkinkongruenz durch ligamentäre und muskuläre Imbalance	Laterale Kapselspaltung Proximale Weichteilkorrektur (laterale Kapselspaltung plus mediale Kapselraffung)
Patellofemorale Gelenkinkongruenz mit ausgeprägter Knorpelschädigung	Distale und/oder proximale Korrektur des Kniestreckapparats Kniegelenkersatz (bei Osteoarthrose des gesamten Kniegelenks)
Akute Patellaluxation	Mediale Kapselnaht
Rezidivierende oder habituelle Patellaluxation	Proximale Korrektur des Kniestreckapparats Bei Q-Winkel >20°: distale Korrektureingriffe ggf. in Kombination mit proximaler Korrektur

Komplikationen und Prognose

Die Wahrscheinlichkeit, dass nach konservativ behandelter, traumatischer Patellaluxation des Erwachsenen eine Reluxation auftritt, ist sehr gering (Rüter et al. 1995). Bei Überkorrektur im Rahmen einer operativen Versorgung droht die Druckerhöhung im medialen Kniekompartiment mit möglicher, nachfolgender Arthrose. Besteht der Verdacht auf osteochondrale oder andere intraartikuläre Begleitverletzungen, muss vor dem Eingriff arthroskopiert werden. Eine Umsetzung der Tuberositas tibiae ist bei noch offenen Wachstumsfugen oder normalem Q-Winkel kontraindiziert (Cox 1982), denn es drohen Wachstumsstörungen, die zu einer Patella infera und einer Verstärkung der Außenrotationsstellung des Unterschenkels führen können. Die Umsetzung darf nicht zu weit nach medial erfolgen, da sonst eine mediale Subluxation auftreten könnte. Eine Versetzung nach posterior soll vermieden werden, da dies mit einem vergrößerten patellofemoralen Anpressdruck verbunden wäre (Fulkerson et al. 1992).

Patellafraktur

Physiologie, Epidemiologie und Ätiologie

Die Patella ist das größte Sesambein und verstärkt als Hypomochlion die Streckkraft des Beins. Sie reduziert dadurch den Kraftaufwand, der für den aufrechten Gang und Stand erforderlich ist und ermöglicht eine Feinabstimmung der Kniebeugung unter Belastung beim Heruntersteigen von einem Berg oder einer Treppe.

Patellafrakturen sind nicht besonders häufig. Sie machen nur etwa 1% aller Frakturen aus; der Altersgipfel liegt zwischen dem 30. und 60. Lebensjahr (Galla u. Lobenhoffer 2005). Meist entstehen diese Frakturen durch ein direktes Anpralltrauma bei gebeugtem Knie. Knöcherne Bandausrisse der angrenzenden Sehnen und Retinakula sind hingegen Folge indirekter Krafteinwirkung. Die indirekte Verletzung durch eine plötzliche passive Flexion bei aktiviertem Quadrizeps ist ein sehr seltenes Ereignis. Häufigere Ursachen sind die vorausgegangene Entnahme eines Knochenblocks zur Kreuzbandplastik oder ein Gleitflächenersatz.

Klinik

Die typischen Zeichen sind Schwellung, Schmerz und eine beeinträchtigte oder komplett aufgehobene Funktion des Streckapparats. Eine Restfunktion schließt jedoch eine Fraktur nicht aus. Sie kann über den Reservestreckapparat erhalten bleiben (Carson et al. 1984). Bei deutlicher Dislokation tastet man eine Delle über der Fraktur. Ein begleitender Hämarthros ist üblich. Häufig ist die präpatellare Bursa eröffnet. Bei offenen Frakturen muss das Ausmaß des Weichteilschadens eingeschätzt werden, es sei denn, die Wunde wurde bereits am Unfallort steril abgedeckt, dann erfolgt die Exploration erst im Operationssaal.

Bildgebende Diagnostik

Neben den üblichen Standardaufnahmen des Kniegelenks in 2 Ebenen wird eine Tangentialaufnahme der Patella in 30°-Projektion angefertigt. Darauf lassen sich Frakturen und osteochondrale Abscherungen gut erkennen. Auf der a.p.-Aufnahme kommt die Spitze des Patellaunterpols auf Höhe der distalen Profile beider Kondylen zu stehen. Man kann die scharfen, oft bizarr verlaufenden Frakturlinien von den glattrandigen Konturen einer Patella bi- oder tripartita, die meist im oberen äußeren Quadranten lokalisiert ist, unterscheiden. Auf der seitlichen Aufnahme sollte der Schienbeinkopf mit abgebildet sein, um auch die Tuberositas mitbeurteilen zu können. Der Stand der Patella wird nach der Methode von Insall eingeschätzt (s. oben).

Die CT und Szintigrafie helfen Stressfrakturen (Apple et al. 1983) zu erkennen. Die CT ist besonders geeignet, um Pseudarthrosen (Weber u. Cech 1976) sichtbar zu machen und die Kongruenz und Zentrierung der retropatellaren Gelenkfläche beurteilen zu können. Mit der Leukozytenszintigrafie kann eine Osteomyelitis nachgewiesen werden (Sanders 1992).

Klassifikation

Die verschiedenen Bruchtypen sind in ◘ Abb. 10.38 dargestellt. Jeder Typ trägt einen speziellen Code, bestehend aus 3 Elementen. Das 1. ist die Ziffer 45, die für die Lokalisation am Skelett steht. Das 2. Element ist ein Buchstabe, A, B oder C, der den Schweregrad und die Art der Fraktur wiedergibt. Das 3. Element sind die Untergruppen, durch die die verschiedenen Brucharten weiter differenziert werden:

- A bedeutet extraartikulärer Bruchverlauf bei dislozierten Polfrakturen mit rupturiertem Streckapparat.
- B bedeutet teilweise artikulärer Bruchverlauf mit intaktem Streckapparat bei vertikalen Frakturen.
- C sind komplett artikuläre Frakturen mit rupturiertem Streckapparat.

Therapie

Die Therapie der Wahl hängt vom Frakturtyp ab. Eine konservative Therapie, die auch funktionell unter schmerzabhängiger Teilbelastung ablaufen kann, ist insbesondere bei unverschobenen vertikalen Frakturen mit intaktem Streckapparat indiziert. Eine arthroskopisch kontrollierte, perkutane Zugschraubenosteosynthese ist bei einfachen Vertikalfrakturen mit retropatellarer Stufenbildung denkbar. In den übrigen Fällen ist jedoch fast immer eine offene Reposition und Osteosynthese erforderlich. In verzweifelten Fällen bleibt als Ausweg eine partielle oder komplette Patellektomie (Übersicht).

Synopse der Therapie der Patellafrakturen

Extraartikuläre Polfrakturen

- Großes Fragment: Zugschraube mit Zuggurtungsdraht in 8er-Tour, evtl. zusätzlich Sicherungsdraht zwischen Patella und Tuberositas
- Kleines Fragment: transossäre Nähte mit oder ohne Resektion des Fragments, evtl. zusätzlich Sicherungsdraht zwischen Patella und Tuberositas
- Trümmerfraktur: Resektion und Reinsertion durch transossäre Nähte, evtl. zusätzlich Sicherungsdraht

Partiell artikuläre Vertikalfrakturen

- Unverschobene Vertikalfrakturen: konservativ
- Einfache verschobene Frakturen: Zugschrauben
- Multifragmentäre, kaum dislozierte Frakturen: zirkuläre Cerclage kombiniert mit Zuggurtungsosteosynthese

Komplett artikuläre Querfrakturen

- Einfacher Querbruch: Zuggurtungsosteosynthese
- 3. Fragment: Zuggurtung, zusätzlich Zugschraube oder K-Draht
- 4 und mehr Fragmente: Zuggurtung, K-Drähte oder Interfragmentärschrauben
- Multifragmentär stark disloziert oder ausgedehnte irreparable Knorpeldefekte: partielle oder komplette Patellektomie

Bei der operativen Intervention muss darauf geachtet werden, dass die Patella ausreichend Kontakt zu den Retinakula behält, denn im Bereich der 4 Quadranten strahlt die Blutversorgung über diese Strukturen ein. Außerdem ist der infrapatellare Nerv gefährdet, der von medial aus dem N. saphenus am unteren Patellapol epifaszial zum medialen Aspekt des Schienbeinkopfs zieht.

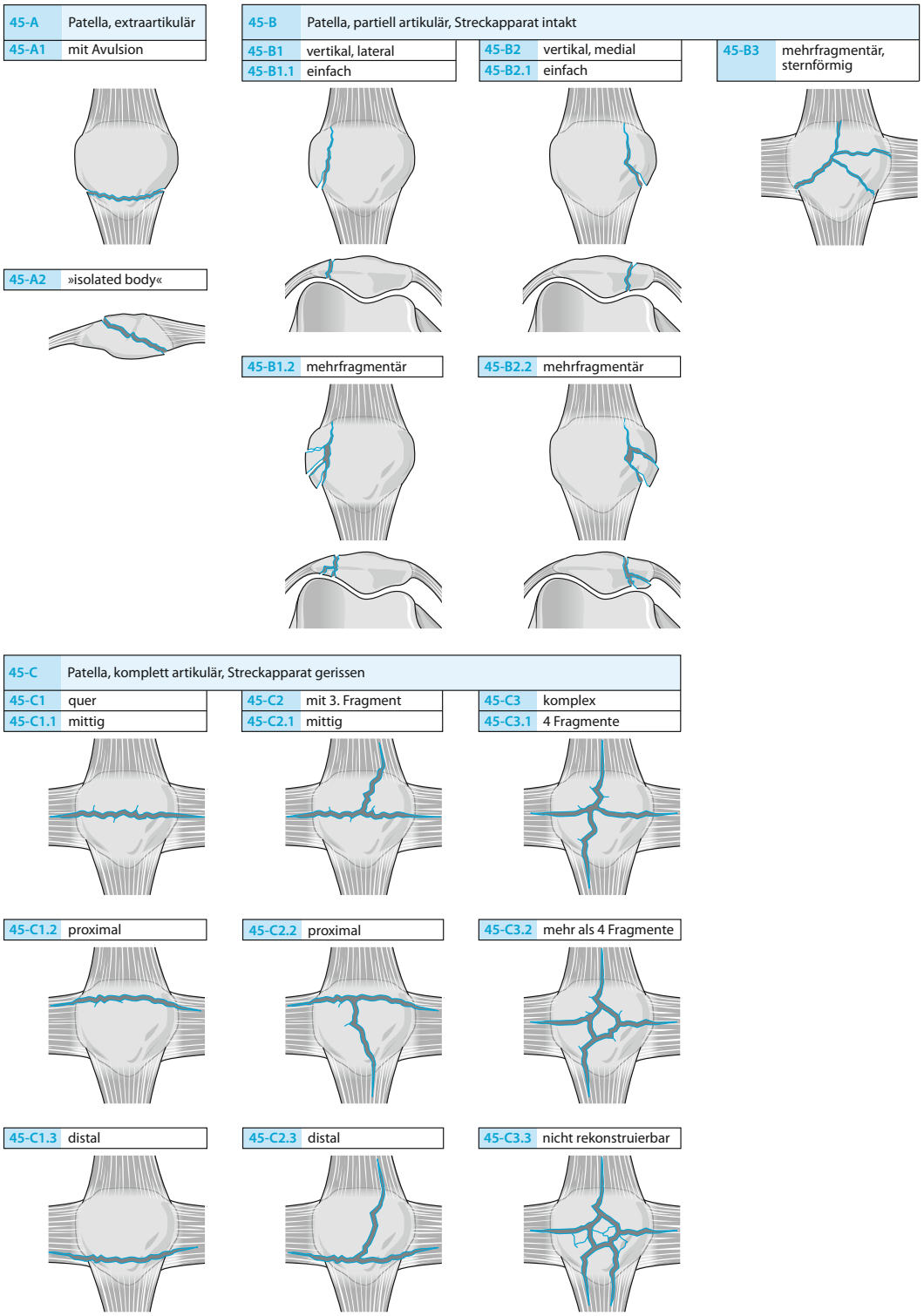


Abb. 10.38
Die AO/ASIF-Klassifikation der Patellafrakturen

Die Blutsperrenmanschette kann die Reposition erschweren, wenn man vor dem Aufblasen der Manschette das proximale Hauptfragment nicht nach distal zieht. Da der Reservestreckapparat zumindest randständig meist nicht komplett durchgerissen ist, gelingt diese Distalisierung am besten, wenn man das Knie vor dem Belüften der Manschette in maximaler Beugung hält. Alternativ kann die Blutsperre für die Reposition auch geöffnet werden. Allerdings verschlechtert dies dann die Sicht.

Ein gerader streckseitiger Zugang ist dem queren vorzuziehen, weil damit alle Möglichkeiten der Erweiterung und für etwaige Folgeoperationen bestehen bleiben. Häufig reichen bloße Zugschrauben nicht aus, und es wird eine Zuggurtung benötigt. Es kann sehr mühsam sein und wenig schonend für die Weichteile, diese über einen queren Zugang installieren zu müssen. Bei offenen Frakturen werden in aller Regel die streckseitig liegenden Weichteilläsionen in die Schnittführung mit einbezogen.

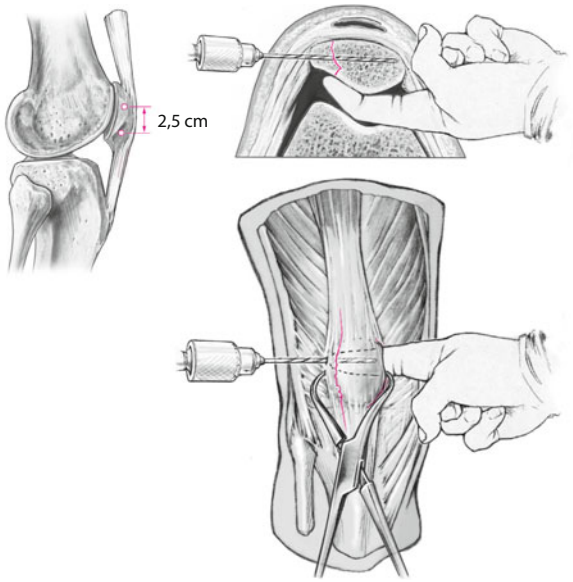


Abb. 10.39 Digitale Kontrolle der anatomischen Reposition einer Patellafraktur durch den Operateur. (Aus: Dietz et al. 2009)

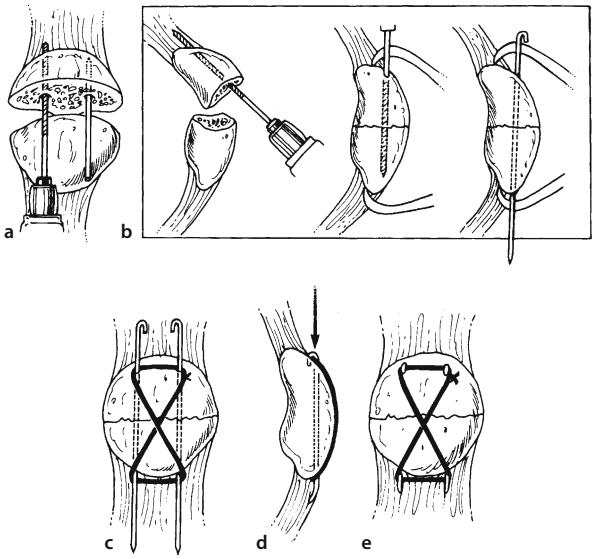


Abb. 10.40a–e Zuggurtungsosteosynthese. **a,b** Eine Querfraktur der Patella wird reponiert und mit 2 K-Drähten geschient. **c** Anschließend wird ein Cerclagendraht unter den K-Draht-Enden knochennah durchgezogen und in 8er-Tour über die Patellavorderfläche geführt. **d,e** Dann werden die K-Drähte proximal eingeschlagen und distal eingekürzt (**e**). (Aus: Scuderi 1995)

Zunächst wird der Streckapparat dargestellt. Wenn im Fall einer offenen Fraktur die Bursa verschmutzt ist oder Zeichen einer chronischen Bursitis bestehen, wird das veränderte Gewebe reseziert. Eine blande Bursa braucht jedoch nicht speziell versorgt zu werden. Nun wird das Gelenk parapatellar medial eröffnet und inspiziert. Begleitende intraartikuläre Läsionen werden am besten jetzt, bevor die Patella rekonstruiert wird, versorgt, weil die Übersicht besser ist.

Nach Darstellen der Frakturränder und Reinigen der Frakturflächen werden die Hauptfragmente mit einer Repositionszange aufeinandergesetzt. Ob die Reposition auch stufenfrei erfolgt, wird am besten digital kontrolliert. Für diesen Zweck wird das Gelenk zuvor durch Längsspaltung des medialen oder lateralen Retinakulums eröffnet unter Belassung eines ausreichend breiten Saums für den späteren Wundverschluss. Die laterale Retinakulumspaltung ist günstiger, weil man aufgrund der nach medial abfallenden Kondylenebene die Patella besser aufkippen und ihre Rückfläche dadurch leichter einsehen kann. Allerdings genügt es auch, die Patellarückfläche mit dem Finger lediglich auszutasten, um sicherzustellen, dass diese stufenfrei steht. Dies ist über eine mediale Retinakulumspaltung gut machbar, weil die mediale Wange des femoropatellaren Gleitlagers weniger prominent ist als die laterale (Abb. 10.39).

Querfrakturen lassen sich einfacher in Überstreckung des Knies reponieren. Bei multifragmentären Frakturen kann es aber hilfreich sein, sie in leichter Beugestellung einzurichten, weil dann das femorale Gleitlager als korrespondierende Form für die Reposition genutzt werden kann. Eine Zuggurtungsosteosynthese kann in Inside-out-Technik durchgeführt werden. Dann werden die K-Drähte vom Frakturbereich aus gebohrt. Impaktierte Gelenkflächenanteile müssen angehoben und bei Instabilität mit Spongiosa unterfüttert werden.

Die Zuggurtung hat sich sehr gut bewährt, die enormen Zugkräfte, die am Streckapparat wirken, aufzunehmen. Das Prinzip dieses Verfahrens ist, die streckseitig auftretenden Zugkräfte unter Nutzung des femoralen Hypomochlions bei zunehmender Kniebeugung in Gelenkflächennähe in Druckkräfte umzuwandeln.

Für eine Zuggurtung werden 1,5–2,0 mm starke K-Drähte verwendet. Die dicken Drahtstärken bleiben Ausnahmesituationen vorbehalten, weil die Gefahr der Fragmentsprengung mit zunehmender Drahtstärke steigt. Wenn der Knochen sehr hart ist, können die Bohrlöcher für die K-Drähte auch vorgebohrt werden. Für die Cerclage in 8er-Tour kann für sehr zarte Personen eine Drahtstärke von 1 mm ausreichen sein; in der Regel wird aber die Stärke 1,25 mm verwendet. Die Cerclage wird in Form eines O oder in 8er-Tour gelegt. Das O vermittelt mehr Rotationsstabilität. Die 8er-Tour verhindert dagegen das Abrutschen der Cerclage zu den Seiten hin, was bei randständiger Lage der K-Drähte passieren kann. Die Cerclage wird möglichst knochennah geführt.

Insbesondere bei sehr festem Kapsel-Band-Gewebe kann es sehr mühsam sein, die Cerclage knochennah unter den K-Draht-Enden durchzuführen. Das Vorgehen wird erleichtert, wenn man den Draht durch eine gebogene Kanüle führt oder einen Redon-Spieß benutzt. Bei Verwendung eines Redons wird der Cerclagendraht zunächst in den Plastikschlauch geschoben und anschließend mit dem Spieß knochennah unter den Drahtenden durchgezogen.

Die Cerclagenenden werden lateral oder medial vom oberen Pol verdrillt, weil hier die Weichteildeckung am besten ist. Während des Spannens wird der Bruchspalt retropatellar palpiert. Zuletzt werden die K-Drahtenden gebogen und eingekürzt. Beim Biegen der Enden müssen diese mit einer zweiten Zange stabilisiert werden, um ein Ausbrechen zu verhindern. Die gebogenen Enden werden in der Quadrizepssehne versenkt, damit sie die Weichteile nicht irritieren und ins Periost des Oberpols gestößelt. Im Gegensatz dazu brauchen die distalen Enden nur eingekürzt zu werden, denn die Drähte würden, wenn überhaupt, der Schwerkraft folgend nach distal wandern. Aus diesem Grund sollten die umgebogenen Drahtenden kranial liegen und nicht distal, und um die spätere Implantatentfernung zu vereinfachen, werden die distalen Enden nicht umgebogen (Abb. 10.40).

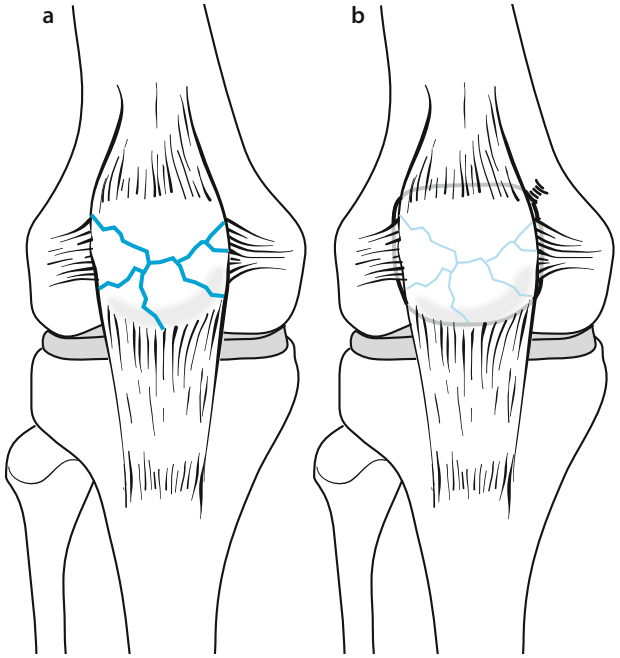


Abb. 10.41a,b Vor Anlage einer Zuggurtung wird eine kaum verschobene sternförmige Fraktur mit einer peripatellaren Cerclage gesichert

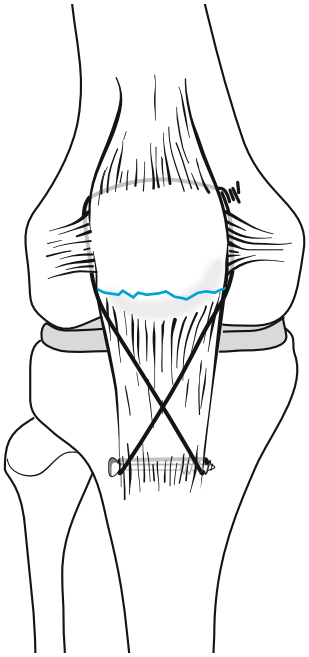


Abb. 10.42 Zur Neutralisierung der Zugkräfte des Streckapparats wird eine Schraubenosteosynthese bei unterer Polfraktur mit einer Drahtschlinge in Achtertour augmentiert

Für die Zugschraubenosteosynthese werden entweder 3,5er Kortikalisschrauben verwendet oder 4,0er Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde. Die Kortikalisschrauben lassen sich leichter entfernen, weil beim Zurückdrehen der Schraube im Gegensatz zu den Spongiosaschrauben kein neues Gewinde geschnitten werden muss, wobei der Imbus beschädigt werden kann. Deshalb empfehlen sie sich insbesondere für Jugendliche, deren Knochen besonders hart ist. Vor allem kleine dritte Fragmente werden am besten mit dünnen K-Drähten oder Minischrauben refixiert.

Kanülierte Schrauben können nicht nur (s. unten) beim perkutanen, arthroskopisch unterstützten Vorgehen hilfreich sein.

Sternförmige Frakturen, die wenig verschoben sind, können mit einer peripatellaren Cerclage vorläufig stabilisiert und gegen Dislokation geschützt werden, bevor man eine Zuggurtung anlegt (Abb. 10.41).

Wenn mehr als 2 Fragmente vorliegen, werden vor der Reposition der Querfraktur die kleineren durch Zugschrauben oder K-Drähte miteinander vereinigt, um 2 große Hauptfragmente zu erhalten, die dann mit einer Zuggurtung stabilisiert werden können.

Solide Polfrakturen lassen sich am besten mit Zugschrauben versorgen. Allerdings können die Schrauben vorzeitig brechen. Es ist sicherer, die Schrauben mit einer Drahtschlinge in 8er-Tour zu sichern. Die Schlinge wird durch ein queres Bohrloch in der Tuberositas gezogen, in 8er-Tour vor der Patellarsehne gekreuzt und über den Oberpol geführt. Bei der so genannten McLaughlin-Cerclage wird der Draht durch ein queres Bohrloch im Bereich des proximalen Patellafragments und im Bereich der Tuberositas gezogen. Bei Ausrissgefahr wegen schlechter Knochenqualität hängt man die Schlinge distal an einer queren Schraube in der Tuberositas auf (Abb. 10.42). Hilfreich ist es, eine kanülierte Schraube zu verwenden und die Schlinge durch die Kanülierung laufen zu lassen.

Carpenter et al. (1994) wiesen in biomechanischen Studien nach, dass kanülierte Schrauben, die für die Längsstabilisierung der Fraktur verwendet werden, in Kombination mit einer Drahtzuggurtung, die durch den Hohlraum der Schrauben geführt wird, stabiler ist als die modifizierte Zuggurtungsosteosynthese mit K-Drähten (Abb. 10.43). Nachteil der Methode ist, dass sie technisch anspruchsvoll ist und sich nur zur Versorgung 2 großer Hauptfragmente eignet. Die Vorteile liegen in der geringeren Weichteilirritation und der ebenfalls geringeren Quote von Implantatversagen bzw. von Implantatmigrationen. Deshalb gilt diese Form der Zuggurtungsosteosynthese mittlerweile als Verfahren der Wahl bei der einfachen Patellaquerfraktur mit guter Knochensubstanz.

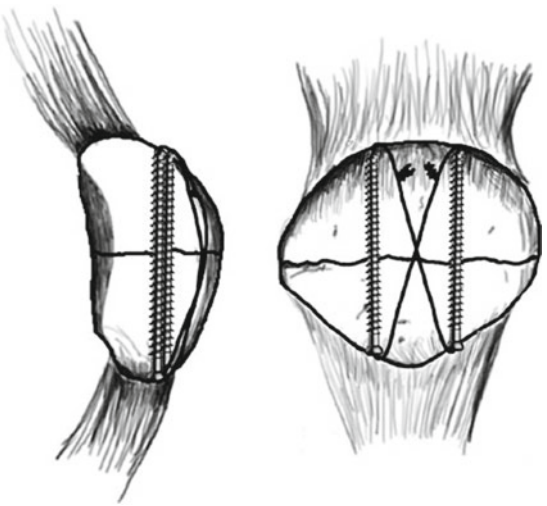


Abb. 10.43 Kanülierte Schrauben mit einer Drahtschlinge in 8er-Tour augmentiert. (Aus: Wild et al. 2010)

Zertrümmerte distale Polfrakturen werden am besten reseziert. Anschließend wird die Patellarsehne transossär reinseriert und die Naht ebenfalls mit einer Cerclage in 8er-Tour gesichert.

Bei Trümmerfrakturen ist eine partielle oder komplette Patellektomie manchmal nicht zu umgehen. Man sollte aber, um den Hebelarm der Patella für die endgradige Streckung zu erhalten, zumindest den rekonstruierbaren Teil der Patella belassen.

Wenn die Trümmerzone in der Mitte liegt, wird sie reseziert und anschließend der obere mit dem unteren Pol mit einer Zuggurtung wiedervereint. Liegt sie hingegen randständig, wird die jeweilige Sehne nach Resektion transossär refixiert. Wenn eine komplette Entfernung der Patella nicht zu umgehen ist, werden alle knöchernen Anteile scharf exzidiert und die beiden Sehnen miteinander vernäht. Durch die Verkürzung von 3–4 cm erhöht man die muskuläre Vorspannung des Quadrizeps, was im Hinblick auf die spätere Streckfunktion nicht ungünstig ist. Falls die Muskulatur zu kontrakt ist und die Nahtspannung zu hoch, kann eine Griffelschachtel- oder Umschlagplastik hilfreich sein.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung verläuft funktionell ohne ruhigstellenden Verband. Die Patienten dürfen schmerzabhängig teilbelasten. Den erlaubten Bewegungsumfang für die ersten 6 Wochen legt der Operateur fest. Grundsätzlich spricht jedoch nichts dagegen, das Knie bei stabiler Zuggurtungsosteosynthese und gesicherter Wundheilung bis zu 90° zu beugen, denn erst bei Kniebeugung entstehen die der Knochenheilung förderlichen Druckkräfte retropatellar. Abgesehen davon wird die Knorpelernährung verbessert. Die Zuggurtung muss meist schon frühzeitig, nach einem halben Jahr, entfernt werden, weil viele Patienten über Weichteilirritationen im Bereich der Drahtenden berichten. Gebrochene Sicherungscerclagen können intermittierend entfernt werden, da sie ja funktionslos geworden sind,

Komplikationen und Prognose

Wundrandnekrosen können entstehen, wenn die Weichteillappen zu oberflächlich präpariert wurden. Die richtige Schicht für die Mobilisation liegt zwischen subkutaner Faszie und der des Streckapparats, denn auf der subkutanen Faszie verlaufen die Blutgefäße zur Haut. Diese Gefäße können aber auch durch den Einsatz scharfer Haken geschädigt werden.

Tiefe Wundinfektionen müssen evtl. wiederholt revidiert werden. Bei der Revision wird nochmals die Stabilität der Osteosynthese überprüft, denn häufig sind Infektionen die Folge einer latenten Instabilität. Wenn Drahtenden die Weichteile irritieren, müssen sie nachgekürzt werden.

Eine Patella baja kann insbesondere durch eine zu kurze patellotibiale Zerklage entstehen. Sie kann die Kniebeugung auf die Länge der Sicht erheblich beeinträchtigen. Deshalb sollte beim Anlegen einer solchen Cerclage bereits intraoperativ der Stand der Patella unter Bildwandler im Seitenvergleich kontrolliert werden, damit man nicht vom postoperativen Röntgenbefund überrascht wird und nacharbeiten muss.

Auch eine Pseudarthrose kann entstehen. Sie braucht aber nur dann mit einer Reosteosynthese und Spongiosaplastik versorgt werden, wenn der Patient Beschwerden hat. Wenn eine Inkongruenz der Patellarückfläche verbleibt, kann eine Patellektomie indiziert sein. Smith (1997) berichtete, dass er unter Patienten, die mit einer Zuggurtung frühfunktionell versorgt worden waren, in >22% der Fälle signifikante Dislokationen der Frakturen von 2 mm und mehr fand. In einer Nachuntersuchung von Hubel (1987), die 7–8 Jahre nach partieller oder kompletter Patellektomie durchgeführt worden war, fielen eine eingeschränkte Streckfähigkeit und Muskelabbau im betroffenen Bein auf.

Patellarsehnenruptur

Ätiologie

Insgesamt sind Sehnenrisse am Kniestreckapparat insbesondere im Bereich der Patellarsehne selten. Patienten mit Quadrizepssehnenruptur sind meist älter, die mit Patellarsehnenruptur jünger als 40 Jahre. Männer sind im Verhältnis von 6:1 häufiger betroffen als Frauen und unilaterale Verletzungen 15- bis 20-mal häufiger als bilaterale. Letztere sind ausschließlich Folge zugrunde liegender Systemerkrankungen (Mittlmeier u. Ewert 2001).

Im Unterschied zur Ruptur der Quadrizepssehne tritt die der Patellarsehne sowohl bei alten als auch bei jüngeren Menschen auf. Man findet in der Anamnese häufiger ein adäquates Trauma mit Anprall an scharfkantigen Gegenständen wie Armaturenbrett oder Skikante bzw. Schlag durch Pferdehuf oder Fußballschuh. Wenn die Sehne degenerativ verändert ist, kann sie beim bloßen »Tritt ins Leere« oder beim Versuch reißen, einen drohenden Sturz abzufangen. Gesundes Gewebe würde bei einer solchen Gelegenheit niemals nachgeben, denn Messungen an Patellarsehnen von Gewichthebern haben ergeben, dass Zuglasten von bis zum 17-fachen Körpergewicht auftreten und toleriert werden (Rudig et al. 1993); das wären bei einem 100 kg schweren Athleten 1,7 t.

Umfragen in deutschen Fitnessstudios ergaben, dass jeder 5. Mann und jede 10. Frau regelmäßig Anabolika einsetzt (Boos et al. 1998). Ein erhöhtes Mortalitätsrisiko, Zeugungsunfähigkeit und schwere Leberschäden werden meist bagatellisiert oder negiert, obwohl die eingesetzten Dosen oft exzessiv hoch und die Präparate in ihrer Zusammensetzung nicht sicher definiert sind (Ritsch u. Mußhoff 2000). Dass Kortikoide Rupturen großer Sehnen verursachen können, ist bekannt. Gleiches gilt für Immunsuppressiva. Rupturen der langen Bizepssehne unter Einnahme von Anabolika sind beschrieben (Cope et al. 2004). »Aufgrund der hohen Dunkelziffer bei der Einnahme von Anabolika im Spitzen- und Kraftsport muss allerdings davon ausgegangen werden, dass anabole Steroide für die Ruptur großer Sehnen auch quantitativ von erheblicher Bedeutung sind« (Isenberg et al. 2008).

Klinik

Die Symptome decken sich im Wesentlichen mit denen bei einer Quadrizepssehnenruptur. Die Betroffenen verspüren eine Art Schlag im Knie ohne von außen einwirkendes Ereignis und stürzen zu Boden. Anschließend besteht eine Belastungsunfähigkeit. Das Bein kann nicht gestreckt von der Unterlage gehoben werden. Über der Rupturstelle liegt eine tastbare Delle mit Druck- und Bewegungsschmerz. Eine Schwellung kann initial fehlen. Die Kniescheibe steht höher als auf der unverletzten Seite, und sie lässt sich nach kranial verschieben, was bei intakter Sehne keinesfalls möglich wäre.

Diagnostik

Röntgenaufnahmen des Knies in 2 Ebenen zeigen den Hochstand der Patella, etwaige knöcherne Ausrisse und bei weicher Belichtung evtl. auch die Ruptur. Mitunter zeigen sich auch Verknöcherungen im Bereich des Sehnenursprungs oder -ansatzes als Zeichen bereits abgelaufener und wieder verheilter Mikrorisse. Für die spätere anatomische Höheneinstellung der Patella empfiehlt es sich, präoperativ ein seitliches Röntgenbild des unverletzten Knies anzufertigen. Die Ruptur lässt sich auch sonografisch erkennen (▶ Kap. 20, Ultraschalluntersuchungen).

Therapie

Es gibt keine Alternative zur operativen Versorgung.

Das Knie wird durch Unterlegen von Tüchern etwa 15–20° gebeugt, um die Weichteile zu entfalten. Dann inzidiert man die Haut

streckseitig über der Patellarsehne in Form eines Längsschnitts. Die Sehnenenden werden dargestellt, die Stümpfe angefrischt und eine Gewebeprobe zur histologischen Untersuchung eingeschickt, um später etwaige Versicherungsanfragen beantworten zu können.

Für die Adaptation der Sehnenstümpfe gibt es unterschiedliche Techniken. Die Rupturen finden sich vorwiegend am Patellapol. Die Reinsertion erfolgt dann über transossäre Bohrkanäle. Knöcherne Ausrisse der Patellarsehne aus der Ansatzstelle an der Tuberositas tibiae sollten durch frühzeitige offene Reposition und osteosynthetische Fixierung versorgt werden. Solide Fragmente werden verschraubt, kleinere transossär genäht. Bei intraligamentärer Ruptur legt man mit einem langsam resorbierbaren Faden der Stärke 1, wie bei der Achillessehnennaht, eine Kernnaht in einfacher Durchflechtung. Sie wird so gestochen, dass der Knoten in der Rupturstelle oder im Sehnenkaliber versenkt wird, damit er bei der späteren Mobilisation nicht am peritendinösen Gewebe scheuert. Anschließend wird die Naht mit einer dünneren, zirkulär fortlaufenden Naht um die Rupturstelle herum verstärkt.

Zur Augmentation der verschiedenen Nähte kann eine patellotibiale Cerclage oder PDS-Kordel in 8er-Tour gelegt werden, wie im ▶ Abschnitt 10.2.3, Streckapparat, Patellafraktur beschrieben. Bei allen Nahttechniken muss darauf geachtet werden, dass die Sehne nicht verkürzt wird, sonst ändert sich die Höheneinstellung der Patella, was chronische Beschwerden und eine Arthroseentwicklung zur Folge haben kann. Wenn kein präoperativ angefertigtes seitliches Bild vom gesunden Knie vorliegt, kann intraoperativ mit Hilfe des Bildverstärkers verglichen werden.

Bei verzögerter Reparatur ist entscheidend, ob und inwieweit der Streckapparat bereits verkürzt ist und bei der geplanten Naht gedehnt werden muss. Wenn sich der Quadrizeps intraoperativ nicht ausreichend mobilisieren lässt, muss evtl. zweizeitig vorgegangen werden. Zwischenzeitlich wird die Patella beispielsweise in Ilisarov-Technik schrittweise distalisiert (Mittelmeier u. Ewert 2001). Der Ringfixateur wird am Schienbeinkopf montiert und mit der Patella über 2 in Längsrichtung eingebrachte Olivendrähte verbunden, über die wiederum eine kontinuierliche Distalisierung um 1 mm pro Tag erfolgt. Bei erhöhter Nahtspannung, wie sie bei einer sekundären Rekonstruktion gegeben ist, empfiehlt sich eine Augmentation der Naht mittels zusätzlicher Cerclage oder resorbierbarer Kordel, alleine deshalb, weil die frühfunktionelle Nachbehandlung gerade bei verzögertem Verlauf wichtig ist.

Zur Rekonstruktion der Sehne können patienteneigene Sehnentransplantate aus der Semitendinosus- oder Grazilissehne verwendet werden (Mandelbaum et al. 1988). Synthetische Materialien wie

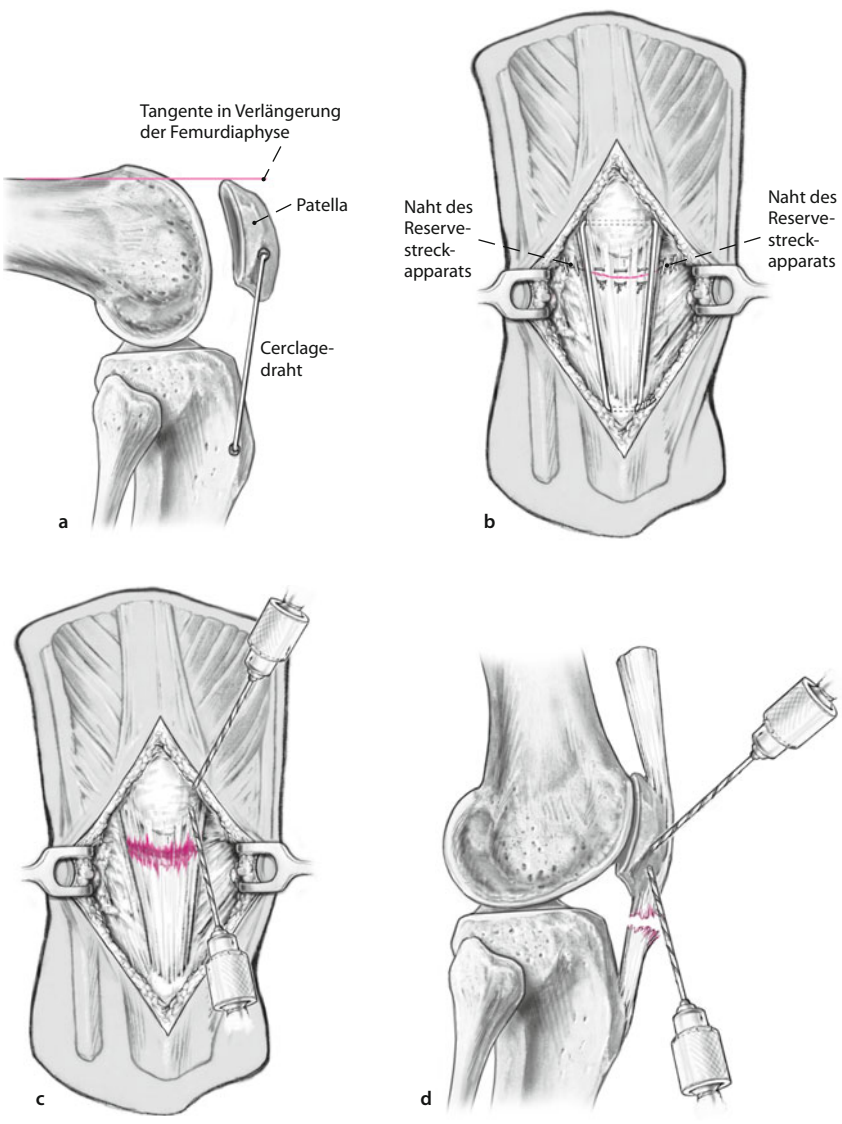


Abb. 10.44a–d Patellarsehnennaht. **a** Die Höheneinstellung der Patella korreliert mit der Länge der Patellarsehne. Sie ist korrekt, wenn die Verlängerung der ventralen Femurkontur den Oberpol der Patella tangential schneidet. **b** Nicht nur die Patellarsehne wird genäht, sondern auch die angrenzende Ruptur der Retinakula. **c,d** Knochennahe Ausrisse können transossär so stabil refixiert werden, dass man auf eine zusätzliche Augmentation mit einer McLaughlin-Cerclage verzichten kann und dem Patienten die Implantatentfernung ersparen kann. Die knöchernen Kanäle für die kräftigen Fäden werden im Patellaunterpol V-förmig vorgebohrt. (Aus: Dietz et al. 2008)

Dacronband, LAD oder Karbonfaserband, die früher propagiert wurden (Evans et al. 1987), gelten mittlerweile als obsolet, weil die Langzeitergebnisse nicht gut sind. Eine gute Alternative hierzu ist allerdings auch die so genannte Flip-Technik mit Entnahme eines zentralen Quadrizepssehnenstreifens mit anhängendem Knochenblock aus der Patella. Der Knochenblock wird in seinem Bett um 180° gedreht und verschraubt, das freie Sehnenende an der Tuberositas vernäht. Oder man entnimmt gleich ein Bone-tendon-bone-Transplantat aus der unverletzten Patellarsehne der Gegenseite wie beim Kreuzbandersatz und versorgt damit den Sehnendefekt. Die richtige Länge der Patellarsehne ist dann bereits vorgegeben. Außerdem lassen sich die Sehnenenden über die anhängenden Knochenblöcke sehr stabil verankern (◘ Abb. 10.44).

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung entspricht der bei Quadrizepssehnenriss (s. dort), mit der Einschränkung, dass die Patellarsehne einen kleineren Querschnitt hat als die Quadrizepssehne und die Weichteildeckung der Tuberositas schlechter ist als am distalen Femur. Deshalb ist tendenziell eher mit einem längeren Heilverlauf zu rechnen als proximal.

Luxation des Fibulaköpfchens

Ätiologie

Insgesamt handelt es sich um eine seltene Verletzung. Im amerikanischen Schrifttum ist die proximale tibiofibulare Luxation auch als Horseback-rider's knee bekannt. Es gibt 3 Luxationsrichtungen. Nach posterior wird das Fibulaköpfchen des Reiters geschlagen, der beim Durchreiten eines Tors gegen den Torpfosten stößt. Nach anterior luxiert es durch Torsionstraumen, wie es Bader und Mitarbeiter (1991) am Beispiel eines Fußballspielers beschrieben haben, der bei gebeugtem Knie und maximal innenrotiertem Unterschenkel gleichzeitig im Knie in Valgusrichtung einknickte. Der Vollständigkeit halber sei noch die Luxation nach superior erwähnt, die aber ohne eine begleitende Verletzung des oberen Sprunggelenks nicht denkbar ist und somit funktionell zu den Maisonneuve-Verletzungen gehört. Die chronische Instabilität des proximalen Tibiofibulargelenks tritt meist nach Sportunfällen mit starker Distorsion des flektierten Knies auf (Skating, Kampfsport, Skisturz, Fußball), aber auch idiopathisch und noch seltener bilateral.

Klinik

Das Fibulaköpfchen kann im Vergleich zur unverletzten Seite hervorstehen und überdies mobiler sein. Eventuell bestehen Schwellung und Druckschmerz in diesem Bereich. Die Kniegelenkbeweglichkeit ist möglicherweise endgradig schmerzhaft eingeschränkt. Der N. peroneus kann durch eine stattgehabte Überdehnung oder schwellungsbedingt geschädigt werden.

Die Patienten lokalisieren den Schmerz posterolateral evtl. verbunden mit einem Schnappen, Blockadegefühl oder Giving-way-Episoden.

Atraumatische Laxitäten meist heranwachsender Mädchen werden häufig im weiteren Verlauf spontan asymptomatisch. Bei traumatischer Genese hingegen können die Patienten häufig das Knie nicht richtig belasten, und die Beschwerden im Bereich des instabilen Gelenks lassen sich durch Kniestreckung und gleichzeitige Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk verstärken.

Diagnostik

Wegweisend bei der Untersuchung ist vor allem die schmerzhafte anteroposteriore Instabilität im Seitenvergleich. Man belastet für diesen Test das Fibulaköpfchen mit Daumen und Zeigefinger anteroposterior bei 90° gebeugtem Knie und entspanntem Kapselbandapparat. Das Radulecu-Zeichen prüft man am liegenden Patienten. Der Untersucher fasst das verletzte Bein mit einer Hand unter dem Knie, mit der anderen am Fuß und hebt es in eine 90° Hüft- und Kniebeugung an. Durch Innenrotation des Unterschenkels lässt sich bei rupturierter Kapsel im proximalen Tibiofibulargelenk eine Subluxation des Fibulaköpfchens auslösen.

Vergleichsaufnahmen beider Kniegelenke in 2 Ebenen bei exakt gleicher Projektion helfen die Diagnose sichern. Wenn dies nicht ausreicht, bringen wenige Schichten einer CT im Seitenvergleich sicheren Aufschluss.

Therapie

Zunächst wird ein konservativer Therapieversuch unternommen mit muskulärer Kräftigung der Harmstring- und Gastrocnemiusmuskulatur, Taping, ggf. Ruhigstellung für 2–3 Wochen und Umstellung der sportlichen Aktivitäten und des Trainings unter Vermeidung einer Hyperflexion im Knie. Bei ausbleibender Besserung wird nach einem halben Jahr eine operative Therapie erwogen, denn unbehandelt kann die Instabilität in einer Arthrose münden (van den Bekerom et al. 2004).

Akute Subluxationen sollten reponiert werden. Die Reposition erfolgt in Narkose unter Bildwandlerkontrolle. Bei posteriorer Luxationsrichtung gelingt sie durch Valgusstress in 90°-Kniebeugung, Supination im oberen Sprunggelenk und gleichzeitiger, maximaler Außenrotation des Unterschenkels. Die Supination schaltet den Zug des Ligamentum collaterale laterale aus, die Außenrotation den der Bizepssehne. Dadurch wird die Fibula distalisiert. Bei dieser Stellung des Beins wird nun das Fibulaköpfchen nach anterior gedrückt.

Bei anteriorer Luxationsrichtung wird der Unterschenkel ebenfalls unter Valgusstress in 90°-Kniebeugung bei supiniertem Sprunggelenk gehalten. Die anschließende Reposition erfolgt aber bei gleichzeitiger maximaler Innenrotation des Unterschenkels und Druck nach dorsal.

Wenn die Verrenkung geschlossen nicht reponierbar ist oder eine Reluxationstendenz besteht, muss sie offen unter Darstellung des N. peroneus durchgeführt werden mit Rekonstruktion des Kapselbandapparats und temporärer Fixation des proximalen Tibiofibulargelenks mit einer Stellschraube oder K-Drähten.

Janke und Mitarbeiter (2008) berichten über die Versorgung einer chronischen Instabilität des proximalen Tibiofibulargelenks, die erst 2 Jahre nach dem stattgehabten Trauma wegen anhaltender Beschwerden versorgt wurde. Sie verwendeten dafür die von Giachino (1986) beschriebene Technik. Dafür werden zunächst die distale Sehne des M. biceps femoris, das proximale Tibiofibulargelenk und der N. peroneus dargestellt. Dann wird die dorsale Hälfte der Sehne des M. biceps femoris, 7 cm weit proximal von ihrem Ansatz am Fibulaköpfchen aus gesehen, abgehängt und vom ventralen Anteil der Sehne gesplittet. Der Sehnenstreifen wird am proximalen Ende mit einer Kletternaht mit einem nicht resorbierbaren Faden (Fiber WireR) armiert. Auf Höhe des Tibiofibulargelenks wird ein 6 mm dickes Bohrloch von ventrolateral nach dorsomedial geschaffen. Der Sehnenstreifen wird dorsal in das Bohrloch eingezogen und bei reponiertem Tibiofibulargelenk ventral über dem Fibulaköpfchen vernäht und verknüpft (◘ Abb. 10.45). Auf die von Giachino (1986) beschriebene zusätzliche Augmentation mit einem Fascia-lata-Streifen haben die Autoren verzichten und dennoch ein stabiles Ausheilungsergebnis mit uneingeschränkter Funktion erzielt.

Nachbehandlung

Der Operateur legt, abhängig von der erreichten Stabilität, fest, ob funktionell nachbehandelt wird oder im Tutor unter Vollbelastung.

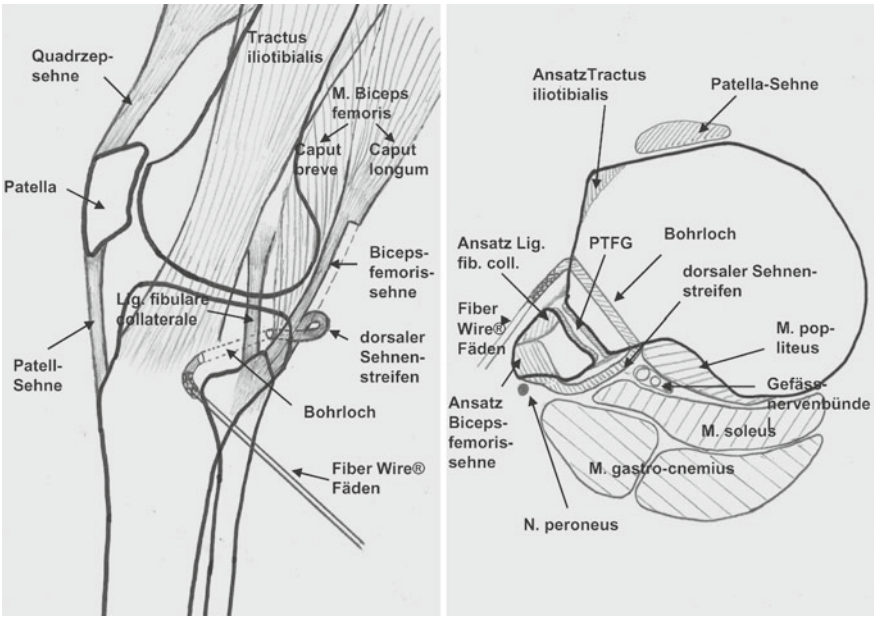


Abb. 10.45 Operationsschema mit dorsalem Streifen der Sehne des M. biceps femoris in seitlicher und transversaler Ansicht. (Aus: Janke et al. 2008)

10

Wenn die Reposition gelingt und keine Neigung zur Reluxation besteht, braucht die betroffene Extremität nicht ruhiggestellt zu werden, sondern es kann funktionell nachbehandelt werden. In diesem Fall soll der Patient 6 Wochen nur mit halbem Körpergewicht belasten und sich bezüglich des Bewegungsumfangs an den Schmerzgrenzen orientieren.

Komplikationen und Prognose

Prinzipiell sind Reluxationen denkbar. Odgen (1974) empfiehlt bei habitueller Luxation als ultima ratio die Resektion des Fibulaköpfchens. Aber auch die Arthrodese ist eine Möglichkeit. Die Prognose scheint gut zu sein. Für fundierte Aussagen fehlen die Fallzahlen.

Streckdefizite des Kniegelenks

Ätiologie

Unterschieden werden intraartikuläre, lokale und mechanische Ursachen, z.B. das Zyklopssyndrom, das nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes auftritt oder ein interkondyläres Impingement bei gestörter Isometrie durch fehlpositionierte Bohrkanäle ebenfalls nach Kreuzbandersatz.

Eine Arthrofibrose führt ebenfalls zu Streckdefiziten. Der Beginn der Erkrankung ist laut Freiling und Lobenhoffer (2009) durch eine zunehmende Fibrose des Hoffa-Fettkörpers gekennzeichnet, der die endgradige Streckung blockiert. Im Anschluss daran entstehen eine Kontraktur der posterioren Kapsel mit Adhäsionen zwischen Kapsel und Kondylen sowie dem distalen Femurschaft. Dies verdeutlicht, warum rein arthroskopische Verfahren über anteriore Arbeitsportale nicht erfolgreich sein können, sondern eine mini-offene Operationstechnik erforderlich ist, um ein Streckdefizit am Kniegelenk effektiv beseitigen zu können.

Therapie

Zum Ausschluss rein intraartikulärer mechanischer Ursachen wird direkt vor der Arthrolyse eine diagnostische Arthroskopie durchgeführt. Anschließend werden am medialen Rand der Patellarsehne der Hoffa-Fettkörper dargestellt und alle seine fibrosierten Anteile radikal reseziert unter Schonung der meniskalen Aufhängung.

Dann wird über einen kurzen posteromedialen Zugang die posteriore Gelenkkapsel dargestellt und samt den Adhäsionen vom distalen Femur abgelöst. Der Hautschnitt beginnt etwas posterior des Tuberculum adductorum und wird ca. 5 cm weit nach distal geführt (Abb. 10.46a). Das Retinakulum wird zwischen dem Hinterrand des Innenbandes und dem posteriomedialen Schrägband oberhalb des Innenmeniskus inzidiert. Dabei müssen die Äste des N. saphenus geschont werden. Haltefäden können die Übersicht erheblich verbessern. Die Inzision des Retinakulums beginnt im Sattel zwischen Epicondylus medialis und Tuberculum adductorum. Anschließend können die Sehne des M. adductor magnus, das Innenband und das Schrägband eingesehen werden. Am Übergang der dorsalen medialen Femurkondyle zum Femurschaft wird das Gelenk auf eine Strecke von 1–2 cm eröffnet. Dabei muss man darauf achten, dass man aufgrund der unübersichtlichen Narbenverhältnisse nicht zu weit distal eingeht und den Innenmeniskus verletzt (Abb. 10.46b). Die posteromediale Kapsel wird nun schrittweise teils scharf teils stumpf vom Femur gelöst. Um nach lateral gelangen zu können, muss das zentrale Septum inzidiert werden. Die gesamte Präparation muss knochennah erfolgen, damit man keine neurovaskulären Strukturen verletzt. Die dorsale Präparation erfolgt 5–10 cm weit nach proximal, um die Kapsel vollständig zu entspannen. Eine zweite Inzision muss ggf. distal direkt über den Meniskushinterhörnern erfolgen, falls an dieser Stelle noch eine Streckhemmung unterhalten wird. Anschließend wird mit dem Zeigefinger nach verbliebenen Briden getastet (Abb. 10.46c). Wenn das Streckdefizit sehr lange bestand, kann das Innenband kontrakt sein und eine volle Streckbarkeit unmöglich machen. Dann muss der Ursprung des Innenbandes durch Stichelung verlängert werden. Dazu hebelt man am Innenband mit einem Raspatorium, um es unter verstärkte Zugspannung zu bringen, gleichzeitig setzt man mit einem 11er Skalpell am posterioren femoralen Ursprung des Bandes kleine Inzisionen, wobei die Bandspannung spürbar schrittweise nachgibt. Das erreichte Bewegungsausmaß kann durch dosierten manuellen Druck von ventral oszillierend vorsichtig vervollständigt werden (Abb. 10.46d).

Vor dem Wundverschluss wird die Blutsperre eröffnet und eine sorgfältige Blutstillung durchgeführt. Dann werden 10er Redon-

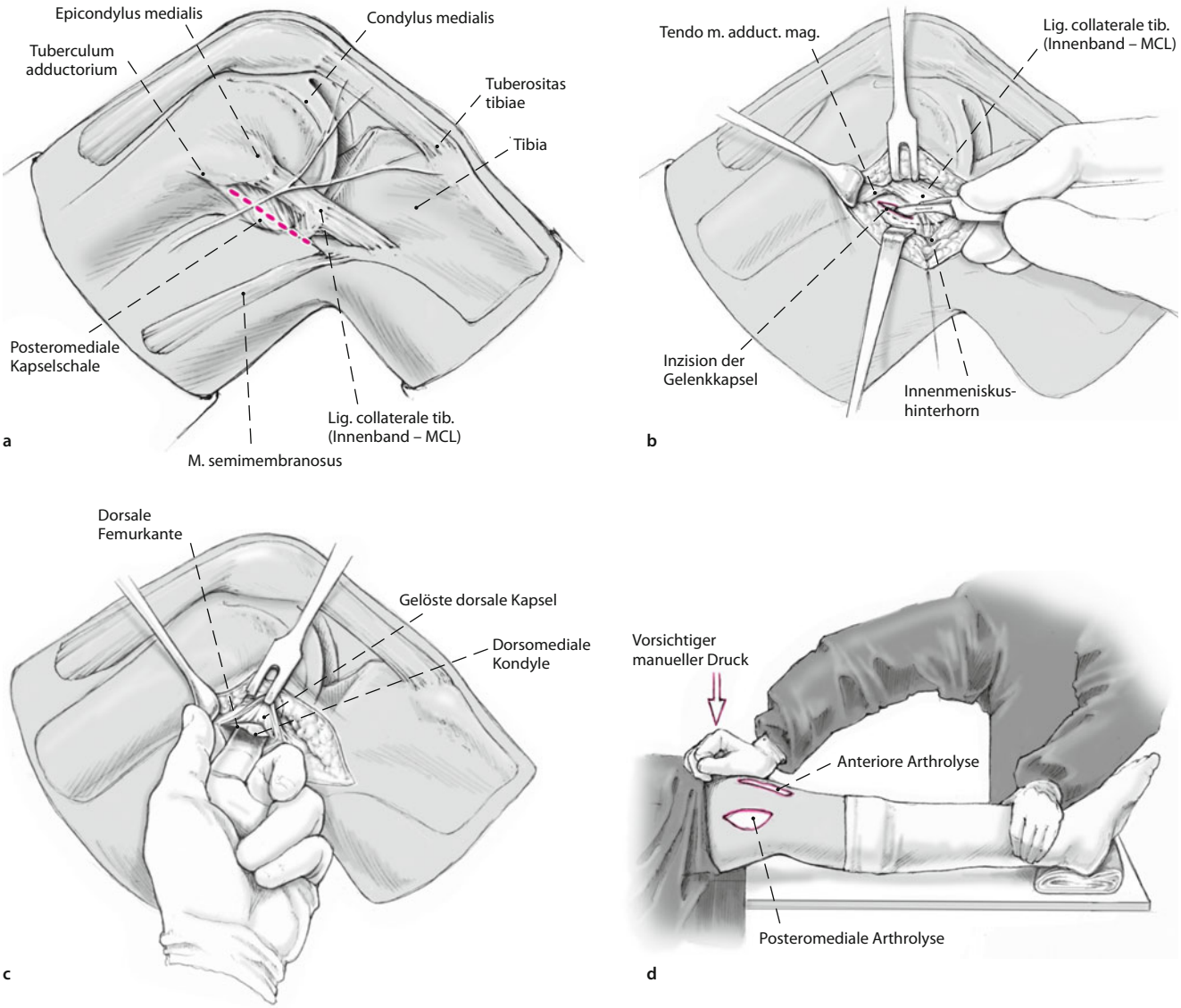


Abb. 10.46a–d Die operative Behandlung von Streckdefiziten am Kniegelenk. **a** Hautschnitt. **b** Das Retinakulum wird zwischen dem Hinterrand des Innenbandes und dem posteriomedialen Schrägband oberhalb des Innenmeniskus inzidiert. **c** Mit dem Zeigefinger tastet man nach verbliebenen Briden. **d** Das erreichte Bewegungsausmaß kann durch dosierten manuellen Druck von ventral oszillierend vorsichtig vervollständigt werden. (Aus: Freiling u. Lobenhoffer 2009)

Drainagen eingelegt. Damit sich keine artikulären Fisteln bilden können, müssen die Zugänge wasserdicht vernäht werden. Das Knie wird in einer Extensionsquengelschiene ruhiggestellt, die 4–6 Wochen lang täglich 6–8 h getragen werden sollte. In dieser Zeit soll das Bein nur mit 15 kg teilbelastet werden. Eine physikalische und medikamentöse Thromboseprophylaxe ergänzen die Nachbehandlung.

Freiling und Lobenhoffer haben mit der mini-offenen Arthrolyse des Streckdefizits am Kniegelenk sehr gute Erfahrungen gemacht. In einem 10-Jahreszeitraum haben sie 121 Patienten behandelt und nach durchschnittlich 4,6 Jahren 86 Patienten nachuntersuchen können. Sie fanden, dass das präoperative Streckdefizit von durchschnittlich 20° auf 3° reduziert wurde, wobei bei keinem Patienten postoperativ ein höheres Defizit von mehr als 5° verblieb. Bei 2 Patienten war innerhalb des stationären Aufenthalts eine operative Revision aufgrund einer Synovialfistel erforderlich geworden und bei einem Patienten eine Hämatomausräumung ventral.

10.2.4 Gelenkknorpel

Traumatische und degenerative Schäden

Traumatische Knorpelschäden können Schmerzen, intermittierende Schwellneigung und Blockierungserscheinungen auslösen. Sie können aber auch klinisch inapparent bleiben und als Zufallsbefund entdeckt werden.

Diagnostik

Besonders die MRT und die Arthroskopie haben sich für die Diagnosestellung bewährt. T1- und T2-gewichtete Bilder erlauben bereits die Detektion von beginnenden Knorpelschäden (Hayes et al. 1990). Durch die hochauflösende T1-gewichtete Spiralechografie ist die Darstellung von hyalinem Knorpel mit einer Dreischichtung möglich, sodass detaillierte Aussagen über die Knorpelschädigung erhoben werden können (Modl et al. 1991). Außerdem erlaubt die MRT den Nachweis von Hämatomen und Ödemen in den

Tab. 10.13 Die Klassifikation nach Outerbridge teilt den Knorpelschaden nach Tiefe und Größe ein

Gradeinteilung	Arthroskopisch erkennbare Geklenk-knorpelmorphologie
Grad I	Knorpelerweichung
Grad II	Fragmentation mit Fissuren <1,25 cm
Grad III	Fragmentation und Fissuren >1,25 cm
Grad IV	Knorpeldefekt bis zum Knochen

subchondralen Knochenarealen (bone-bruises), die einen Hinweis auf eine traumatisch bedingte Schädigung darstellen (Johnson et al. 1998).

Durch die Arthroskopie lassen sich Knorpelschäden genau diagnostizieren, lokalisieren und beurteilen. Das Alter einer traumatischen Knorpelverletzung kann an der Morphologie des Defektrandes grob abgeschätzt werden. Scharfe Kanten sprechen für eine frische Läsion, ein runder Randwall für eine ältere. Durch Palpation mit einem Tasthaken ist eine Beurteilung der Stabilität und Ausdehnung des Defekts möglich. Knorpelkontusionen sind an Unterblutungen erkennbar.

Bei degenerativen Schäden klagen die zumeist älteren Patienten über Beschwerden mit dumpfem Schmerzcharakter besonders bei Beginn einer Belastung, dem so genannten Anlaufschmerz. Jedoch sind auch Schmerzen bei Nacht und in Ruhe gerade für die Spätstadien der Arthrose typisch. Schon in den Standardaufnahmen zeigen sich zumeist osteophytäre Randzacken, subchondrale Sklerosierung, Geröllzysten und Gelenkspaltverschmälerungen. Arthroskopisch können Grad und Ausdehnung der degenerativen Abnutzung sehr gut beurteilt werden. Unterschiedliche Klassifikationen werden verwendet; eine der gebräuchlichsten ist die nach Outerbridge (1961), die ursprünglich für die Beschreibung retropatellarer Knorpelveränderungen entworfen wurde (Tab. 10.13).

Therapie

Gelenkknorpelrefixation

Bei Verletzungen wie z.B. einer Patellaluxation kommt es häufig zur Abscherung von Knorpel-Knochenanteilen. Im Akutfall sollten diese Fragmente, wenn sie gut erhalten sind, in den Defekt eingepasst und mit selbst auflösenden Pins refixiert werden. Häufig kann dies abhängig von der Lokalisation des Defekts über einen Mini-open-Zugang medial oder lateral erfolgen. Die erfolgreiche Einheilung ist abhängig von der soliden Verbindung des Knorpel-Knochenanteils mit dem knöchernen Defektgrund. Deshalb sollte postoperativ eine Teilbelastung mit 15 kg für 6–8 Wochen eingehalten werden. Der erlaubte Bewegungsumfang nach Refixation eines Knorpel-Knochen-Fragments ist abhängig von der Lokalisation des Defekts.

Débridement

Ein Débridement von verletztem Gelenkknorpel beseitigt mechanische Hindernisse. Das wirkt sich insofern günstig aus, als Knorpeldebris intraartikulär entzündliche Reaktionen hervorrufen kann (Buckwalter u. Lohmander 1994, Rand 1991). Anzeichen einer Spontanregeneration débridierten Knorpels konnten nicht gefunden werden (Kim et al. 1991, Mitchell u. Shepard 1987). Daher ist das Débridement eine rein symptomatische Therapie, die die Beschwerden zumeist nur kurzfristig verbessert.

Tissue-response-Verfahren

Durch Penetration der subchondralen Sklerosezone wird bei Gelenkknorpeldefekten versucht, eine Chondrogenese mit der Bildung von Ersatzknorpel zu induzieren. Hierbei können alle vaskulären Elemente wie Fibringerinnungsprodukte, Blut- und Knochenmarkzellen, Zytokine und Wachstumsfaktoren in den chondralen Defekt gelangen (Shapiro et al. 1993). Dadurch wird ein Gewebe induziert, das sich nach zunächst hyalinartigem Aussehen relativ schnell zu fibrösem, minderwertigem Ersatzknorpel umwandelt (Abb. 10.47, Johnson 1986).

Pridie (1959) beschrieb als erster die Induktion von Ersatzknorpel durch multiples Anbohren von Knorpeldefekten. Aufgrund unzuverlässiger Ersatzknorpelinduktion wird diese Technik aktuell nur für graben- und sternförmige Knorpeldefekte empfohlen.

Johnson (1990) führte die transarthroskopische Abrasionsarthroplastik ein, bei der die subchondrale Sklerosezone durch Verwendung einer Fräse durchbrochen wird (Abb. 10.47). Das sich dadurch ausbildende Fibringerinnsel wandelt sich in ein fibrokartilaginäres Regenerat um und muss durch eine Entlastung der verletzten Extremität für 2 Monate geschützt werden. Eine Abwandlung hiervon ist die Microfracture-Technik nach Steadman (1992; Rodrigo et al. 1994). Dabei wird die subchondrale Lamelle mit Meißeln oder Ahlen durchbrochen. Dies führt zum Austritt von Knochenmark und Blut, wodurch Stammzellen in den Defektbereich gelangen. Die Stammzellen füllen den Knorpeldefekt im Laufe der nächsten Monate mit Narbengewebe auf. Dieses unterscheidet sich in den biomechanischen Eigenschaften erheblich vom normalen hyalinen Gelenkknorpel, ist weich und deutlich weniger stoßfest. Bei kleinen Knorpelschäden bis 2 cm^2, in wenig belasteten Gelenkzonen und besonders bei Jugendlichen, kann diese Therapie dennoch sehr erfolgreich sein. Um die Zellzahl im Defekt zu erhöhen, wird neuerdings versucht, die Tissue-response-Technik mit einer arthroskopisch eingebrachten Abdeckung des Knorpeldefekts zu kombinieren. Ob sich dies langfristig bewährt, kann mit den bisherigen Studien noch nicht abschließend beurteilt werden.

Bei der Nachbehandlung wird die betroffene Extremität für 6 Wochen nur teilbelastet bei nicht limitiertem schmerzabhängigem Bewegungsumfang und CPM-Therapie zur Verbesserung der Knorpelernährung.

Transplantation von Gelenkknorpel oder chondrogenen Zellen

Mehrere Alternativen für eine Transplantation von Gelenkknorpel oder isolierten chondrogenen Zellen werden experimentell oder klinisch angewendet. Derzeit laufen Versuche mit Periost, Perichondrium und Knochenmark. In diesem Abschnitt soll auf die allogene und autogene osteochondrale Transplantation sowie die Transplantation von isolierten Chondrozyten eingegangen werden.

Bei **allogenen osteochondralen Transplantaten** muss auf eine orthotope Entnahme, perfekten Sitz in Bezug auf Oberflächenkontur und Höhe und auf eine stabile Fixierung Wert gelegt werden. Bei der Auswahl der Spender sind junge Patienten vorzuziehen (Convery et al. 1991). Nachteilig ist jedoch die Gefahr von Krankheitsübertragung wie Hepatitis oder HIV und von immunogenen Reaktionen, die besonders durch den ossären Teil des Transplantats ausgelöst werden (Czitrom et al. 1985).

Die **autologe osteochondrale Transplantation** ist nicht mit der Gefahr einer Abstoßungsreaktion oder einer Krankheitsübertragung verbunden. Sie ist neben der allogenen osteochondralen Transplantation die einzige Möglichkeit einen Gelenkknorpeldefekt mit hyalinem Knorpelgewebe aufzufüllen. Weitere Vorteile sind eine hohe Überlebensrate des transplantierten Gewebes sowie

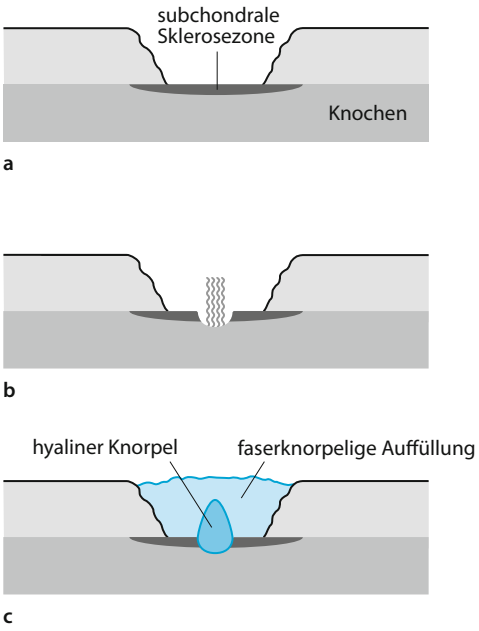


Abb. 10.47a–c Abrasionsarthroplastik mit Perforation der subchondralen Sklerosezone (schematische Darstellung). **a** Gelenkknorpeldefekt mit subchondraler Sklerosezone (schwarz). **b** Eröffnung der Sklerosezone, bis eine Blutung aus dem Knochen sichtbar wird. **c** Entstehung von hyalinartigem Knorpel im Zentrum und faserknorpeliger Auffüllung des restlichen Defekts

Abb. 10.48 Arthroskopiebefund 1 Jahr nach Mosaikplastik mit insgesamt 7 Zylindern am medialen Femurkondylus. (Aufnahme von F. Hoffmann Rosenheim)

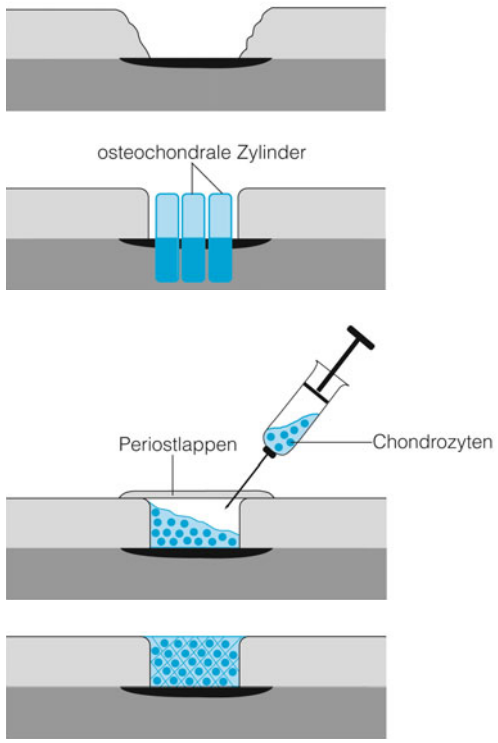


Abb. 10.49a–d Möglichkeiten für die Reparatur von chondralen Gelenkknorpeldefekten. **a** Ausgangssituation mit traumatisch bedingtem chondralem Defekt. **b** Transplantation osteochondraler Zylinder. **c** Chondrozytentransplantation nach In-vitro-Amplifikation unter einem eingenähten Periostlappen. **d** Endzustand

eine gute knöcherne Integration des Transplantats (Newman 1998). Nachteilig sind die begrenzte Menge an autogenem Gewebe, die Verletzung von Strukturen an der Transplantatentnahmestelle und das fixierte Patientenalter. Besonders vielversprechend sind die Methode nach Bobic (1996) und die Mosaikplastik nach Hangody, bei denen Knorpeldefekte mit multiplen osteochondralen Zylindern von 2,7–10 mm Durchmesser und 15–20 mm Tiefe aufgefüllt werden (Abb. 10.48). Diese osteochondralen Transplantate werden aus gering belasteten Zonen des Kniegelenks mittels Spezialinstrumentarium, vornehmlich an der lateralen Kante des femoralen Gleitlagers und aus der Notchbegrenzung, entnommen und in speziell zuvor präparierte Gelenkknorpeldefekte eingesetzt. Hierfür stehen verschiedene kommerziell erhältliche Operationssysteme zur Verfügung (z.B. ProCart von Aesculap, SDS von Sulzer Medica, OATS von Arthrex). Der Zylinder benötigt einen ausreichend großen knöchernen Anteil, um in den umliegenden Knochen solide einzuheilen. Der Knorpelanteil des Zylinders führt zu einer Auffüllung der Defektfläche mit hochwertigem, hyalinem Knorpel. Die zwischen den Zylindern verbleibenden Lücken werden mit einem minderwertigen Narbengewebe gedeckt. Die Ergebnisse sind bei diesem Verfahren gut, jedoch werden dabei gesunde Knorpelflächen zerstört, was zu ganz ähnlichen Beschwerden an der Zylinderentnahmestelle wie an der ursprünglichen Defektstelle führen kann. Des Weiteren nimmt die Inkongruenz der mit Zylindern rekonstruierten Knorpelfläche bei größeren Defekten zu. Deshalb kann die osteochondrale Transplantation (OCT) nur bei Knorpeldefekten bis ungefähr 3–4 cm^2 erfolgreich angewandt werden.

Brittberg und Mitarbeiter (1994) stellten 1994 zur Reparatur von Gelenkknorpeldefekten die **Transplantation autologer Chondrozyten** vor. Hierbei wird arthroskopisch hyaliner Knorpel entnommen. Daraufhin erfolgt durch enzymatische Digestion der umgebenden extrazellulären Matrix eine Isolierung der Chondrozyten. Nach In-vitro-Amplifikation werden diese Chondrozyten in einer zweiten Operation unter einen Periostlappen, der den Defekt abdeckt, gespritzt (Abb. 10.49). In Studien konnte eine hochwertigere Regeneratqualität mit hyalinem Charakter, weniger Transplantatversagen und ein besseres Outcome v.a. bei größeren Knorpeldefekten verglichen mit Tissue-response-Verfahren nachgewiesen werden (Peterson 2002, Knutsen 2006, Bentley, 2003). Die Nachteile der ACT in Form von Transplantathypertrophie, erhöhter Rate an Arthrofibrose und der Notwendigkeit eines ausgedehnten offenen Zugangs im Rahmen des Zweiteingriffs wur-

den durch die Weiterentwicklung zur matrixgestützten autologen Chondrozytentransplantation reduziert. In diesem Fall werden die Chondrozyten nach Gewinnung und Amplifikation auf einen Zellträger aufgebracht, mit Hilfe dessen die Zellen stabil im zu therapierenden Knorpeldefekt fixiert werden können. Dies geschieht meist über einen minimal-invasiven Zugang. Nach einem kleinen, ca. 5 cm langen Hautschnitt wird der Defektbereich von geschädigtem Knorpel befreit. Das Transplantat wird entsprechend der Defektform passgenau zugeschnitten und in dem Defekt mit resorbierbarem Nahtmaterial, Pins oder Fibrinkleber fixiert.

Unter Teilbelastung von bis zu 10 Wochen und unter Verwendung einer CPM-Schiene finden die Umbauvorgänge zu hyalinartigem Gelenkknorpel statt. Dieser Prozess kann mehrere Monate dauern. Eine Indikationsempfehlung zu den verschiedenen Methoden der biologischen Knorpelrekonstruktion im Kniegelenk ist in ◘ Tab. 10.14 wiedergegeben.

Allgemeine regenerative Gelenktherapie

Erfolgreiche Knorpeltherapie ist nur bei gleichzeitiger Behandlung der Zusatzverletzungen (Kreuzbandriss, Meniskusschaden) zu erwarten. Liegen instabile Bandverhältnisse in einem Gelenk vor, führen die entsprechenden Scherbelastungen zumeist zu einem Verlust des Knorpelregenerats und damit zu einem Scheitern des regenerativen Knorpelverfahrens. Auch pathologische Belastungsspitzen bedingt durch Fehlstellung der Beinachse müssen behoben werden. Daher wird bei Knorpelschaden und Achsabweichung das entsprechende Knorpeltherapieverfahren mit einer Umstellungsosteotomie (▶ 10.3.1 Umstellungsosteotomien) verbunden.

Eine suffiziente allgemeine regenerative Gelenktherapie mit Rekonstruktion der Bandstabilität und dem Ausgleich von Achsabweichungen sind die Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Knorpeltherapie.

Osteochondrosis dissecans

Ätiologie und Epidemiologie

Die Osteochondrosis dissecans (OCD oder OD) ist ein ätiologisch noch nicht eindeutig verstandenes Krankheitsbild, bei dem eine Demarkierung von Knorpel und dem subchondralen Knochen auftritt. Meistens sind Jugendliche und jüngere Erwachsene betroffen. Hauptlokalisationen sind die mediale Femurkondyle und die retropatellare Gelenkfläche (Hughston et al. 1984). Aber auch am Ellenbogen- und Sprunggelenk kann die OCD auftreten.

Diagnostik

Auf konventionellen Röntgenaufnahmen ist bei Mitbeteiligung knöcherner Strukturen ein Nachweis der OCD anhand der Sklerosierung und Dissektion möglich. Auf der Tunnelaufnahme in 90°-Kniebeugung sind auch weit posterior liegende Veränderungen erkennbar (Buckland-Wright et al. 1994). Eine genaue Beurteilung des Defekts mit Stadieneinteilung ist jedoch nur durch MRT und Arthroskopie möglich. Vier verschiedene Stadien werden differenziert (◘ Tab. 10.15).

In der MRT zeigt das betroffene Knochenareal eine niedrige Signalintensität in der T1- und T2-Gewichtung. Ein umgebendes Ödem in der Peripherie der Läsion wird an einem erhöhten Signal in der T2-Gewichtung sichtbar (Stadium 1). Die Knorpeldicke kann evaluiert und das Vorhandensein von Infraktionen und Ulzerationen beurteilt werden. Der Nachweis von Flüssigkeit auf der Seite der Osteochondrose deutet auf eine Ablösung des osteochondralen Fragments vom umgebenen Knochen und auf einen Defekt im Gelenkknorpel hin (Stadium 3). Osteonekrosen, die selten an der Patella, jedoch häufig an den Femurkondylen auftreten, können in gleicher Weise nachgewiesen werden.

Durch die Arthroskopie ist eine genaue Lokalisierung sowie Stadieneinteilung der Erkrankung möglich. Besonders die Stabilität des Dissekats kann beurteilt werden. Gleichzeitig kann die Erkrankung effektiv behandelt werden.

Therapie

Tritt die Osteochondrosis dissecans vor dem Schluss der Wachstumsfugen auf, sind die Erfolgsaussichten einer konservativen Therapie sehr gut (Cahill et al. 1989). In diesem Fall sollte die Belastung der betroffenen Extremität durch Sportkarenz und vorübergehende Teilbelastung reduziert werden. Die früher praktizierte Ruhigstellung im Gips- oder Kunststofftutor wird jedoch nicht mehr angewandt, denn sie beeinträchtigt durch die Bewegungseinschränkung die Knorpelernährung nachhaltig. Der Knorpel ist ja bezüglich seines Stoffwechsels auf zyklische Be- und Entlastungen

◘ Tab. 10.15 Stadieneinteilung der Osteochondrosis dissecans. (Mod. nach Dipaola et al. 1991, Johnson et al. 1990)

Stadium	Radiologisches und arthroskopisches Korrelat
Stadium 1	Röntgenologischer Nachweis einer Dissoziation im Knochenareal durch eine erkennbare Sklerosezone
Stadium 2	Fortschreitende Demarkierung des osteochondralen Defekts, Gelenkknorpel noch nicht durchbrochen, im Dissekatspalt bildet sich fibröses Gewebe aus, das Dissekat kann bei Arthroskopie mit dem Tasthaken bewegt werden
Stadium 3	Vollständige Dissektion mit Durchbrechen des Gelenkknorpels, das Dissekat ist jedoch noch teilweise im Defekt verankert
Stadium 4	Das Dissekat hat sich vollständig aus seinem Bett gelöst

◘ Tab. 10.14 Methoden der biologischen Knorpelrekonstruktion im Kniegelenk (Behrens 2004)

	Tissue Response Verfahren	Osteochondrale Transplantation	(Matrixgestützte) autologe Chondrozytentransplantation
Kinder und Jugendliche	+++	-	-
Defekte von ca. 1–2 cm^2	+++	++	-
Defekte von 1–4 cm^2	+	+++	++
Defekte von 3–14 cm^2	-	++	+++

angewiesen. Eine ständige radiologische Kontrolle der Befundsituation ist notwendig.

Die konservative Therapie wird abgebrochen, wenn das Dissekat beginnt, instabil zu werden. In diesem Fall ist die Anbohrung indiziert. Aglietti und Mitarbeiter (1994) konnten zeigen, dass bei Osteochondrosis-dissecans-Läsionen mit noch intakter Knorpelgelenkfläche, also im Stadium 2, die besten Heilungschancen durch eine Anbohrung des Defekts gegeben sind. Sie bevorzugten die Anbohrung von intraartikulär. Jedoch wurde auch, unter radiologischer Kontrolle, eine Anbohrung von retrograd beschrieben. Zeigt sich bei der Arthroskopie bereits eine partielle oder vollständige Ablösung des Dissekats, also ein Stadium 3 oder 4, kommt die Anbohrung zu spät. Das Bett eines instabilen Fragments im Stadium 3 wird angefrischt, ggf. mit Spongiosa aufgefüllt und anschließend das Fragment mit kanülierten Schrauben, K-Drähten oder biodegradablen Pins stabilisiert. Komplett heraus gelöste Dissekate des Stadiums 4, die vielfach auch noch mehrfach fragmentiert sind, werden bei der Arthroskopie entfernt. Eine Auffüllung von Defekten, die in der Belastungszone liegen, mit autologen oder allogenen osteochondralen Transplantaten ist gerade bei jungen Patienten empfehlenswert (Marco et al. 1993, Wirth et al. 1991, s. oben).

10.3 Spezielle Verfahren

10.3.1 Umstellungsosteotomien

Korrekturosteotomien sind bei kniegelenknahen Fehlstellungen der Beinachse angezeigt, falls schmerzhafte Funktionsstörungen vorliegen oder verhindert werden sollen. Die Operationsindikation wird auch im höheren Alter noch relativ großzügig gestellt, wenn es sich um unikondyläre Gonarthrosen handelt. Es sollte jedoch ein annähernd freier Bewegungsumfang vorliegen. Die Eingriffe können unter bestimmten Voraussetzungen bei Fehlstellungen in der Frontalebene ab etwa 5–10°, in der Sagittalebene ab etwa 10–15° erwogen werden.

Die Resultate einer Umstellungsosteotomie hängen von Grad und Lokalisation der Osteoarthrose und der Persistenz des postoperativen Realignments ab (Coventry 1979, Fujisawa et al. 1979, Healy et al. 1988, Kettelkamp et al. 1976). Daher ist eine gute Patientenselektion, präoperative Planung, gezielte Auswahl der Operationstechnik und stabile Fixierung für eine Maximierung des Operationserfolgs wichtig. Für jeden einzelnen Patienten muss individuell das beste Operationsverfahren ausgewählt werden. In die Betrachtung müssen die Möglichkeiten, welche die Endoprothetik (s. unten) bietet, mit einbezogen werden – also der unikompartimentale Gelenkflächenersatz oder die Totalendoprothese.

Ziel der kniegelenknahen Umstellungsosteotomie ist es, durch Wahl der richtigen Korrektur die Last im degenerativ veränderten Kompartiment zu reduzieren und sie auf gesunde Gelenkabschnitte zu verlagern. Durch Korrektur einer Varusfehlstellung wird z.B. die Belastung vom medialen Kompartiment ins laterale verschoben. Dadurch lässt sich die endoprothetische Versorgung bei jungen und körperlich aktiven Patienten hinauszögern (Coventry 1984).

Die kniegelenknahe Umstellungsosteotomie zur Behandlung des fehlgestellten, arthrotisch geschädigten Kniegelenks war eine Zeit lang durch die sich rasant entwickelnde Knieendoprothetik stark verdrängt worden. Durch Fehlschläge der Prothetik vornehmlich bei Patienten mit hohem Aktivitätslevel und verbleibender extraartikulärer Beinachsenfehlstellung fand eine Rückbesinnung statt, die durch die winkelstabilen Plattenfixateure befördert wurde, denn diese ermöglichen eine bessere Weichteilschonung bei gleichzeitig deutlich erhöhter Stabilität.

Valgisierende, öffnende Tibiakopfosteotomie

Lobenhoffer, Agneskirchner und Galla (2006) haben ein eindrucksvolles Buch zum Thema Umstellungsosteotomien herausgegeben, das dieses Thema und die operative Technik umfassend darstellt. Galla et al. (2006) z.B. beschreiben in diesem Buch die valgisierende öffnende Umstellungsosteotomie der proximalen Tibia mit dem Plattenfixateur. Diese Methode ist inzwischen zum Goldstandard geworden, weil sie nicht mit den Nachteilen der früher gebräuchlichen schließenden Osteotomie (closed Wedge) belastet ist. Die schließende Osteotomie von lateral erfordert eine Fibulaosteotomie oder eine Lösung des proximalen Tibiofibulargelenks, außerdem müssen die Extensorenursprünge am lateralen Tibiakopf mobilisiert werden. All dies geht mit einem bis zu 12%igen Risiko einher, den N. peroneus zu schädigen.

Bei der medial öffnenden Osteotomie hingegen bleiben Fibula und Extensorenursprünge unberührt. Die Osteotomie erfolgt in einer Region, wo keine Muskulatur mobilisiert werden muss. Die Beinlänge wird nicht verkürzt. Durch das langsame Aufspreizen des Osteotomiespalts, kann die Beinachse intraoperativ sehr exakt eingestellt werden bei gleichzeitig gegebener Möglichkeit, translatorische Instabilitäten durch Umstellung des tibial Slope günstig zu beeinflussen. Eine Reduktion des Slope vermindert den anterioren Shift der Tibia, eine Erhöhung des Slope den posterioren. Unabhängig davon können vorbestehende Streckdefizite von bis zu 10° durch eine Reduktion des Slope ausgeglichen werden. Bei Verwendung eines Plattenfixateurs durchbauen sich bis zu 13 mm breite Osteotomieöffnungen auch ohne Spongiosaplastik.

Die valgisierende öffnende Umstellungsosteotomie der proximalen Tibia mit dem Plattenfixateur ist bei der unikompartimentalen medialen Varusgonarthrose insbesondere bei hohem Aktivitätsanspruch indiziert. Der Eingriff kann auch Begleitmaßnahme eines osteochondralen autologen Transfers (OATS), einer autologen Chondrozytentransplantation (ACT), einer matrixassoziierten Chondrozytenimplantation (MACI) oder einer Kollagenmeniskusimplantation (CMI) sein. Als Kontraindikationen gelten starkes Übergewicht, Außenmeniskusverlust, Arthrose oder 3.- bis 4.-gradiger Knorpelschaden nach Outerbridge im lateralen Kompartiment (Tab. 10.13) sowie eine eingeschränkte Beweglichkeit insbesondere Streckdefizite >20°. Außerdem müssen die Weichteilverhältnisse im Bereich des Zugangs in Ordnung sein.

Vorbereitung

Die präoperative Diagnostik besteht aus der klinischen Prüfung insbesondere des Bewegungsumfangs, der Bandstabilität und der Weichteilverhältnisse sowie der Bildgebung mit Standardaufnahmen des Knies, Patella-tangential-Aufnahme, Ganzbein-Belastungsaufnahme und einer diagnostischen Arthroskopie zur Beurteilung der Knorpelverhältnisse im lateralen Gelenkkompartiment. Eine Rosenberg-Aufnahme (Belastungsaufnahme in 45° Kniebeugung) und ein MRT sind nicht zwingend erforderlich.

Der Patient wird über folgende Risiken aufgeklärt:

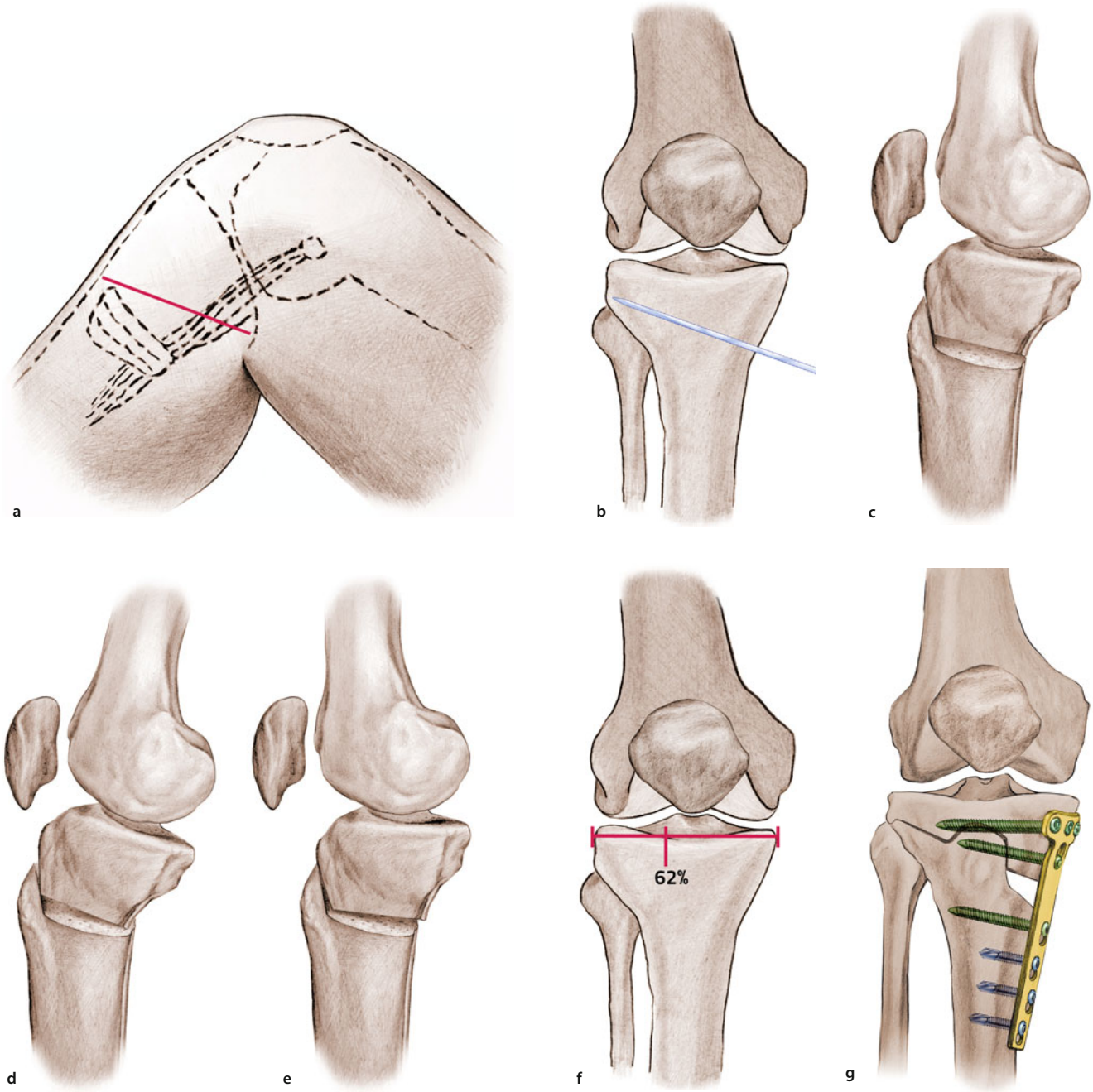
- Allgemeine Risiken wie Gefäß-/Nervenverletzungen, Thrombose/Embolie, Infekt
- Verzögerte Knochenheilung
- Hämatome, Schwellung, Lymphstau
- Entnahme und Transplantation von Beckenkammspongiosa bei einem Öffnungsspalt >13mm
- Geringfügige Beinverlängerung

Vorgehen

Nach Verabreichung einer Single-shot-Antibiotikagabe wird vor der Umstellung in gleicher Narkose zunächst arthroskopiert. Dabei kontrolliert man, ob die Voraussetzungen für den geplanten Eingriff gegeben sind, denn im lateralen Kompartiment sollten Knorpel und Außenmeniskus weitgehend intakt sein. Im medialen Kompartiment werden instabile Knorpelanteile geglättet, ggf. mikrofrakturiert und luxierbare Meniskusrisse abgetragen.

Für die Umstellung werden am Operationstisch eine Seitenstütze und eine Fußrolle befestigt, damit das Knie bei Bedarf 90° gebeugt aufgestellt werden kann. Die Seitenstütze dient außerdem als Hypomochlion beim späteren Aufklappen der Osteotomieebene. Der Operateur kommt dann mit einem Assistenten aus. Das Bein wird so abgedeckt, dass es bis hinauf zum Beckenkamm frei bleibt. Dies ermöglicht eine gute Beurteilung der Beinachse und ggf. die Entnahme eines kortikospongiösen Spans. Die Verwendung einer Blutsperre ist nicht unbedingt notwendig. Der Bildwandler kommt von der Gegenseite.

Die anatomischen Landmarken werden bei 90° gebeugtem Knie auf die Haut gezeichnet (■ Abb. 10.50a). Der Hautschnitt liegt in den



■ **Abb. 10.50a–e** Valgisierende öffnende Tibiakopfosteotomie. **a** Zugang mit aufgezeichneten Landmarken. **b** Lage des Führungsdrahts. **c** Prinzip der abgewinkelten und dadurch rotationsstabilen Osteotomie; die aufsteigende Osteotomieebene ist 10° nach ventral geneigt, bei gleichmäßiger Öffnung der Osteotomie bleibt der slope unbeeinflusst, **d** bei ventraler wird der slope verstärkt, **e** bei dorsaler reduziert. **f** Der Fujisawa-Punkt liegt bei 62% der Gesamtstrecke von medial nach lateral im Tibiaplateau-Frontalschnitt. **g** Situation nach Abschluss der Plattenmontage (Zeichnung: B. Gsedl)

Hautspaltlinien. Er beginnt ventral und kranial über dem Ansatz des Pes anserinus und zieht etwa 6–8 cm nach dorsokranial zur posteromedialen Gelenkecke über dem Tibiakopf. Der R. infrapatellaris des N. saphenus wird geschont. Nach Durchtrennung der Subkutis und der Faszie gelangt man auf die Sehnen des Pes anserinus. Die Sehnen werden mit einem Venenhaken nach kaudal gezogen. Dadurch wird das oberflächliche Innenband sichtbar. Das Band wird anschließend mit einem Raspatorium unterfahren, angehoben und im Ansatzbereich soweit mobilisiert, dass die posteromediale Kante des Tibiakopfs sichtbar wird. Dort wird ein Hohmann-Hebel gesetzt. Anterior wird die Patellarsehne dargestellt.

Nun wird das Bein gestreckt gelagert und unter Bildwandler im a.p.-Strahlengang so eingestellt, dass sich der Gelenkspalt medial und lateral exakt übereinander projiziert. Die Rotation des Beins wird so gehalten, dass das Fibulaköpfchen zu einem Drittel von der Tibia überlagert wird. Dann werden 2 K-Drähte der Stärke 2,3 mm von der Osteotomieebene aus parallel nach kranial ansteigend in den Tibiakopf gebohrt mit Zielrichtung auf die Spitze des Fibulaköpfchens (Abb. 10.50b). Die Drähte dienen später als Leitschienen für das Sägeblatt. Die Drahtspitzen sollen bündig mit der Gegenkortikalis zu liegen kommen, damit man sie zur Tiefenmessung für die spätere Osteotomie nutzen kann. Ein dritter gleich langer Draht wird an die eingebohrten K-Drähte gehalten. Der Überstand entspricht der Gesamtbreite des Tibiakopfs. Er ist anterior 5–10 mm kleiner als posterior. Die Tiefe des Sägeschnitts soll 10 mm kürzer sein als die Breite des Tibiakopfs beträgt. Die Osteotomie wird winkelförmig ausgeführt, sodass die Tuberositas tibiae vollständig mit dem Tibiaschaft verbunden bleibt (Abb. 10.50c). Dabei soll die Basis für die den verbleibenden Tuberositaskeil mindestens 15 mm stark sein. Die biplanare Form der Osteotomie vergrößert nicht nur die Kontaktfläche für die sich anschließende Knochenheilung, sondern erzeugt eine höhere Rotationsstabilität, was wiederum die Heilung fördert.

Die Osteotomie mit der oszillierenden Säge erfolgt unterhalb der Führungsdrähte. Damit die dorsale Tibiakortikalis vollständig durchschnitten werden kann, muss man die neurovaskulären Strukturen der Kniekehle mit einem Hohmann-Hebel vor den Ausschlägen des Sägeblatts schützen. Man sägt nur bis zur zuvor ermittelten Tiefe, sodass eine 10 mm breite Knochenbrücke lateral bestehen bleibt, und man durchtrennt dabei nur den zentralen und dorsalen Knochenbereich nicht das ventrale Drittel mit der Basis der Tuberositas. Die Tuberositas wird anschließend durch eine in der Frontalebene aufsteigende Osteotomie mit einem schmalen Sägeblatt vom gelenkflächentragenden Knochenblock gelöst. Bei diesem Schnitt wird auch die Gegenkortikalis durchtrennt.

Nun wird die Osteotomie vorsichtig aufgespreizt, indem man zunächst einen breiten Flachmeißel in die quere Schnittebene schiebt unter gleichzeitiger dosierter Valgisierung der Beinachse. Anschließend wird ein weiterer Meißel mit vorsichtigen Hammerschlägen zwischen den zuerst eingebrachten und die beiden Führungsdrähte getrieben wiederum unter gleichzeitigem Valgusstress. Die Eindringtiefe des zweiten Meißels soll 10 mm geringer sein als die des ersten, damit die laterale Knochenbrücke nicht gesprengt, sondern nur gekrümmt wird. Durch Setzen weiterer Meißel kann man die Ebene immer weiter aufspreizen, wobei jeder weitere Meißel etwas weniger weit eingeschlagen wird, als der vorausgegangene. Die Öffnung der Osteotomie sollte langsam erfolgen und sich über mehrere Minuten hinziehen, damit die laterale Kortikalis des Tibiakopfs Gelegenheit hat, sich plastisch zu verformen, anderenfalls würde sie brechen. Das Belassen der beiden Führungsdrähte versteift den proximalen Knochenblock und verhindert, dass er beim Aufspreizen gespalten wird.

Mediale Osteotomien öffnen sich anterior tendenziell weiter als posterior. Dies hängt mit dem dorsal gelegenen Innenbandkomplex zusammen. Es ist wichtig, beim Zugang den Ansatz des Innenbandes soweit zu mobilisieren, dass sich die Osteotomieebene später symmetrisch öffnet, denn bei Korrektur einer reinen Varusdeformität sollte der tibial Slope nicht verändert werden. Liegt hingegen auch eine posteriore Instabilität mit Überstreckbarkeit des Kniegelenks vor, kann man diese durch Erhöhung des Slope, bei anteriorer durch Reduzierung desselben günstig beeinflussen (Abb. 10.50d,e).

Nach Erreichen der geplanten Öffnungshöhe wird ein Arthrodesenspreizer in den posteromedialen Anteil der Osteotomie auf die harten Kortikalisränder gesetzt. In den weichen spongiösen Knochen würden sie einsinken und den erreichten Öffnungswinkel nicht halten können. Dann wird die Beinachse klinisch und radiologisch kontrolliert und nachjustiert. Die exakte Prüfung erfolgt am besten mit einer Messstange oder der Kabelmethode (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk). Die Traglinie sollte die Tibiaplateaulinie lateral am 62%-Punkt schneiden (Fujisawa et al. 1979, Abb. 10.50e,f). In gestreckter Stellung sollten die ventral aufsteigenden Osteotomieflächen Kontakt haben. Eine mechanisch stabile Montage des Implantats bedarf bei normaler Knochenstruktur und nikotinabstinentem Patienten selbst bei einer Spaltenweite der Osteotomie bis 20 mm keiner Spongiosaplastik (persönl. Mitteilung P. Lobenhoffer 2010).

Wenn die gewünschte Stellung in allen Ebenen erreicht ist, wird sie mit einer winkelstabilen Platte (Puddu-Platte, Fa. Arthrex; Tomofix-Platte, Fa. Synthes; HTO Position, Fa. Aesculap) fixiert. Für den langen Schenkel der Platte wird vom Zugang aus mit einer langen Präparierschere ein epiperiostaler Tunnel über dem Tibiaschaft geschaffen und das Plattenende eingeschoben. Dann wird das Implantat in beiden Bildwanderebenen an der Tibia ausgerichtet und mit einem K-Draht in der mittleren Bohrbüchse vorfixiert. Es soll das Kortikalisniveau weder ventral noch dorsal überragen. Der solide Mittelteil der Platte, der die Hauptschwinglast zu tragen hat, soll über dem Osteotomiespalt zu liegen kommen. Die proximalen Schrauben werden etwa 1 cm unterhalb der Gelenkfläche positioniert. Distanzstopfen sorgen für einen 3 mm großen Abstand vom Periost. Dies beschleunigt die Heilung und verhindert eine Irritation des Pes anserinus und des Innenbandes.

Die Platte wird zunächst mit 3 winkelstabilen Schrauben proximal befestigt. Dann wird das erste distal der Osteotomieebene gelegene Plattenloch temporär mit einer Zugschraube besetzt. Dadurch kommen etwaige Fissuren im Bereich der lateralen Kortikalisbrücke unter Kompression und der lange Schenkel des Plattenfixateurs wird dem Tibiaschaft angenähert, was einer späteren Weichteilirritation vorbeugt. Beim Festdrehen der Zugschraube muss man den Osteotomiespalt beobachten, um einen sekundären Korrekturverlust sofort zu erkennen. Die übrigen Plattenlöcher des langen Schenkels werden nun mit winkelstabilen Schrauben besetzt. Dazu schafft man sich einen 2 cm kurzen Zugang über dem 2. Plattenloch von distal. Von hier aus werden (von distal nach proximal) die restlichen Plattenlöcher besetzt. Zuletzt wird die Zugschraube gegen eine bikortikale Kopfverriegelungsschraube ausgetauscht (Abb. 10.50g).

Beim Wundverschluss wird zwischen Knochenniveau und Platte in Höhe des Osteotomiespalts ein Kollagenvlies eingezogen, das die Osteotomieöffnung abdichten soll. Die langen Fasern des Innenbandes werden reponiert und bedecken den hinteren Osteotomiespalt. Der Spalt braucht nicht mit Knochenersatzstoff aufgefüllt zu werden. Der neue Knochen entwickelt sich aus dem darin befindlichen Hämatom. Aus diesem Grund soll dieses Hämatom

auch nicht mit einer Saugdrainage kontinuierlich beseitigt werden, sondern es wird lediglich eine Überlaufdrainage eingelegt, die auf Osteotomieniveau am Bett des Patienten befestigt wird, damit sich nicht durch eine abfallende Flüssigkeitssäule eine unerwünschte Sogwirkung aufbaut. Da der Weichteilmantel über dem Implantat relativ dünn ist, muss die Haut dicht adaptiert werden. Es empfiehlt sich, die Einzelnähte relativ eng zu setzen und relativ weit vom Wundrand ein- bzw. auszustechen, um eine größere Raffwirkung und damit einen dichten Wundverschluss zu erzeugen.

Ausgedehnte Hämatome sollten ausgeräumt und drainiert werden. Beim postoperativen Infekt kann eine frühzeitige Revision mit Débridement, systemische Antibiose und ggf. die Einlage von Antibiotikaträgern bei stabiler Osteosynthese und erhaltener Weichteildeckung ermöglichen, dass das Implantat nicht entfernt zu werden braucht und man den Infekt ggf. mit geplanten Revisionen beherrschen kann. Anderenfalls empfiehlt sich der temporäre Wechsel auf einen Fixateur externe.

Die Nachbehandlung erfolgt ohne Orthese. Die Patienten werden mit Krücken mobilisiert. Die Aufbelastung kann bereits bei gesicherter Wundheilung erfolgen, denn eine schmerzadaptierte Vollbelastung führt bei korrekter Operationstechnik zu keinerlei Verlust der Korrektur (persönl. Mitteilung P. Lobenhoffer 2010). Erst wenn der Patient sein Bein wieder vollständig belasten kann, sollte die medikamentöse Thromboseprophylaxe abgesetzt werden.

Anhaltende Belastungsbeschwerden über die 6.–9. postoperative Woche hinaus können ein Hinweis auf eine verzögerte knöcherne Heilung sein. In der a.p.-Aufnahme sieht man dann häufig einen kleinen Unruhekallus an der lateralen Knochenbrücke in Höhe der Osteotomie. In diesen Fällen ist eine Spongiosaplastik indiziert.

Galla et al. (2006) haben 262 Patienten, bei denen dieser Eingriff durchgeführt wurde, nachuntersucht und in keinem Fall im weiteren Verlauf einen Korrekturverlust gesehen. In 4 Fällen waren postoperative Hämatomausräumungen erforderlich und in ebenfalls 4 Fällen sekundäre Spongiosaplastiken. In 2 Fällen trat nach 4 Monaten ein Spätinfekt auf dem Boden einer Weichteilirritation durch das Implantat auf. Die Infekte heilten nach Implantatentfernung und Einlage eines Antibiotikaträgers folgenlos aus.

Varisierende, schließende suprakondyläre Femurosteotomie

Bei lateraler monokompartimentaler Arthrose ist entweder eine lateral öffnende oder eine medial schließende suprakondyläre Osteotomie möglich. Die medial schließende Osteotomie mit erhaltender lateraler Knochenbrücke ist biomechanisch stabiler als eine lateral öffnende. Außerdem ist in dieser Hinsicht die schräg von proximal nach distal absteigende Osteotomieebene günstiger als die quere aufgrund einer besseren Kongruenz und medialen Abstützung der Osteotomieflächen zueinander. Deshalb wird die von Heerwaarden und Wymenga (2006) im Standardwerk von Lobenhoffer et al. vorgestellte Methode exemplarisch für die suprakondylären varisierenden Femurosteotomien dargestellt.

Die Osteotomie wird mit einem anatomisch angepassten winkelstabilen Plattenfixateur fixiert, dem TomoFix für das mediale distale Femur (TomoFix MDF, Fa. Synthes). Dabei handelt es sich im Prinzip um eine löffelförmig modifizierte Locking Compression Plate (LCP). Seitendifferente Versionen und distal um 20° ansteigende Plattenlöcher ermöglichen es, das Implantat korrekt am Femur zu positionieren und die Kopfverriegelungsschrauben im Kondylenmassiv sicher zu verankern. Die proximalen Plattenlöcher können sowohl mit mono- als auch bikortikalen Schrauben bestückt werden. Letzteres ist bei osteoporotisch geschwächtem Knochen unverzichtbar. Auch bei diesem Implantat wird das Periost mit 3 mm-Distanzstopfen geschützt.

Bei der Planung einer Umstellung muss man berücksichtigen, dass die Kniegelenkspaltebene nach erfolgter Korrekturosteotomie möglichst horizontal zur Belastungsachse eingestellt sein sollte. Wenn nicht nur femoral ein Achsenknick besteht, sondern auch im Bereich der proximalen Tibia, muss eine Doppelosteotomie erwogen werden, da eine rein femorale Varisation zu einer Verkippung der Kniegelenkspaltebene und zu konsekutiven Beschwerden führen kann (Heerwaarden u. Wymenga 2006, ◘ Abb. 10.51a).

In Hinblick auf Kontraindikationen, Risiken und vorgeschalteter Arthroskopie gelten sinngemäß die Ausführungen für die valgisierende öffnende Osteotomie am Tibiakopf (s. oben), wobei bei der suprakondylären varisierenden Femurosteotomie der Operateur auf der kontralateralen Seite steht und der Bildverstärker gegenüber aufgestellt wird.

Vorgehen

Der Zugang beginnt mittig und handbreit über der Patella und zieht bis zu deren Mitte (◘ Abb. 10.51b). Er wird hierher verlagert, um diesen für einen etwaigen später nötigen Kniegelenkersatz wieder nutzen zu können. Die Subkutis wird scharf durchtrennt. Dann wird der M. vastus medialis teils stumpf, teils scharf vom Septum intermusculare nach kranial abpräpariert. Mit einem ventral eingeschobenen stumpfen Hohmann-Hebel wird der anteromediale Aspekt der suprakondylären Region exponiert. Dann wird das Septum intermusculare vorsichtig knochennah längs inzidiert. Mit einem Raspatorium werden die Weichteile epiperiostal vom dorsalen Aspekt der Femurmetaphyse mobilisiert und anschließend dorthin ein zweiter Hohmann-Hebel unter ständigem Knochenkontakt nach lateral geschoben. Dieser Hebel schützt bei der späteren Osteotomie die neurovaskulären Strukturen. Distal wird das mediale Retinakulum und der Ansatz des M. vastus medialis inzidiert, um die mediale Femurkondyle darzustellen. Nach proximal wird der Vastus soweit vom Septum mobilisiert, dass die Platte am Femur ausgerichtet und fixiert werden kann.

Die schräge Osteotomie beginnt in der medialen suprakondylären Zone, endet innerhalb der lateralen Femurkondyle und verläuft etwa 10 mm kranial der patellaren Gleitrinne. Der optimale Ausgangspunkt für die Osteotomieebene lässt sich am einfachsten durch Auflegen der TomoFix-Platte ermitteln. Die Ebene soll ihren Ausgangspunkt dort haben, wo später das solide Mittelstück der Platte zu liegen kommt. Die Autoren verwenden für die Durchführung der Osteotomie eine Sägelehre (Balansys, Fa. Mathys, ◘ Abb. 10.51c). Die Keilentnahme kann aber auch analog zur valgisierenden öffnenden Osteotomie am Tibiakopf über Zieldrähte erfolgen, die zuvor unter Bildwandlerkontrolle gelegt werden. Die ventral und dorsal angrenzenden Weichteile werden durch die beiden Hohmann-Hebel geschützt. Zur Rotationskontrolle wird der Schaft mit dem Elektrokauter oder mit 2 K-Drähten markiert.

Die Osteotomie endet ebenfalls 10 mm vor der Gegenkortikalis. Bei der Entnahme des Keils muss man darauf achten, diesen vollständig zu entfernen. Wenn irgendwo Kortikalisgrate stehen bleiben, lassen sich die Osteotomieebenen nicht formschlüssig annähern. Nach der Keilentnahme wird die Osteotomie durch kontinuierlichen Varusstress, der über den langen Hebel der Beinachse ausgeübt werden kann, geschlossen. Dabei muss man geduldig sein, damit die laterale Knochenbrücke sich allmählich plastisch verformen kann und nicht bricht. Die Rotationsmarkierungen werden ausgerichtet und anschließend die erreichte Reposition

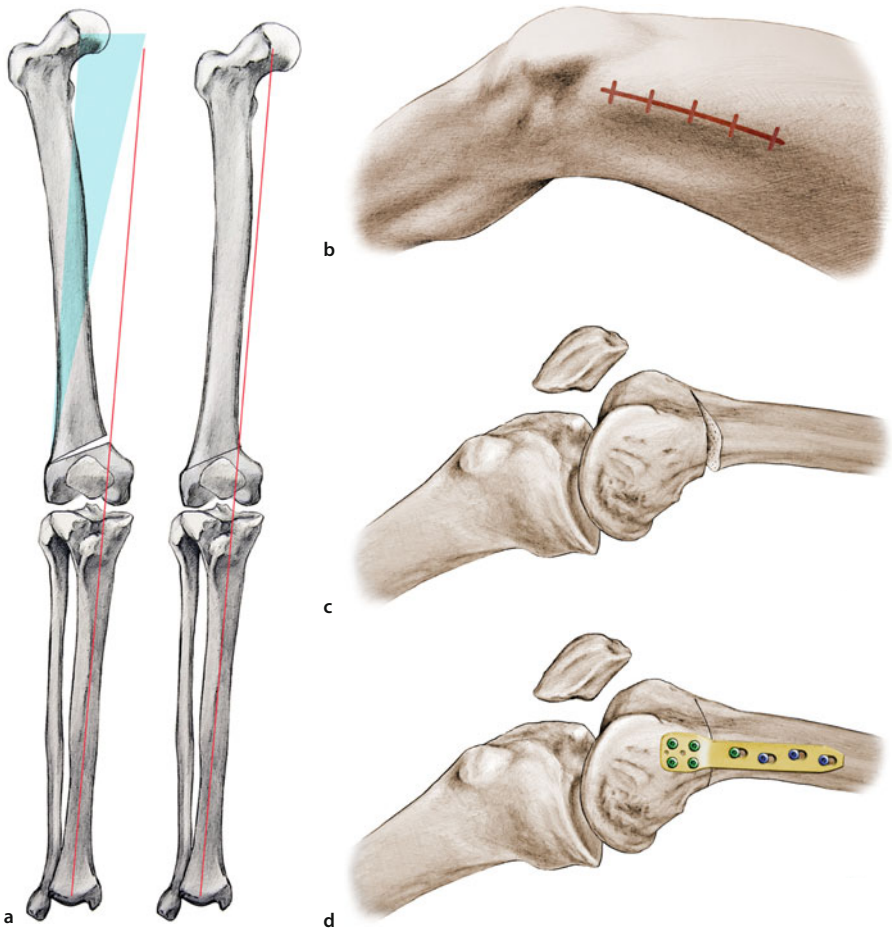


Abb. 10.51a–d Varisierende, schließende suprakondyläre Femurosteotomie. **a** Planung. **c** Osteotomie. **d** Situation nach Abschluss der Plattenmontage (Zeichnung: B. Gsedl)

mit 2 gekreuzten K-Drähten temporär fixiert, ohne dadurch das Plattenlager zu verlegen.

Bevor der Plattenfixateur montiert wird, muss die Beinachse mit dem Stab oder dem Kabel des Elektrokauters ermittelt und justiert werden. Die Belastungsachse soll durch das Zentrum des Knies oder etwas medial davon laufen. Über den idealen Punkt sind sich die Experten bisher nicht einig geworden. Der Plattenfixateur wird von distal unter den Vastus eingeschoben und unter Bildwandlereinsatz in die anatomisch optimale Position gebracht und mit einem K-Draht distal vorfixiert. Bevor man die distalen Kopfverriegelungsschrauben einbringt, muss man sich davon überzeugen, dass die beiden dorsalen Schrauben nicht die Kortikalis perforieren werden. Dies kann mit probatorischen K-Drahtbohrungen unter Bildwandlerkontrolle ermittelt werden und ggf. durch Versetzen der Platte nach ventral oder durch Aufkippen derselben in der Sagittalebene korrigiert werden. Die Bohrungen für die selbstschneidenden 5,0er Kopfverriegelungsschrauben werden mit einem kalibrierten 4,3er Bohrer angelegt, an dem man die Bohrtiefe ablesen kann. Nach Entfernung der Bohrbuchsen kann aber auch mit einem herkömmlichen Messgerät die Schraubenlänge bestimmt werden. Die Verwendung des Längenmessers hat den Vorteil, dass die posteriore Kortikalis damit ausgetastet werden kann und man eine etwaige Perforation ertasten kann.

Während der gesamten Dauer der Montage der distalen Schrauben wird der Osteotomiespalt manuell komprimiert. Nun wird der Spalt zusätzlich unter Druck gebracht, indem man das erste Plattenloch proximal der Osteotomieebene exzentrisch bohrt und zunächst mit einer herkömmlichen Kortikalisschraube besetzt. Wenn diese Schraube schräg nach proximal lateral eingebracht wird, kann man den Kompressionseffekt auch im Bereich der lateralen Knochenbrücke erzielen. Die Schraube sollte unter Durchleuchtungskontrolle angezogen werden, bis etwaige laterale Spalten geschlossen sind. Bei größeren Lücken kann der Einsatz eines Plattenspangeräts erwogen werden. Allerdings erfordert dies eine deutliche Erweiterung des Zugangs. Je nach Knochenqualität werden die proximalen Plattenlöcher mit mono- oder bikortikalen Schrauben besetzt. Der Distanzstopfen im proximalsten Plattenloch wird gegen eine Verriegelungsschraube getauscht, und zuletzt auch die Zugschraube durch eine solche ersetzt (Abb. 10.51d).

Beim Wundverschluss werden Retinakulum und die distale Insertion des M. vastus medialis rekonstruiert. Eine Saugdrainage wird unter dem Muskel positioniert. Faszie, Subkutis und Haut werden genäht. Die Nachbehandlung erfolgt nach den Prinzipien, die für die valgisierende öffnende Osteotomie am Tibiakopf beschrieben wurden (s. oben).

Die klinische Ausgangssituation, Indikationsstellung und exakte Beschreibung des Vorgehens bei posttraumatischen Fehlstellungen findet sich in ► Kap. 18, Extremitätendeformitäten.

10.3.2 Endoprothetik

Unikompartimentaler Gelenkflächenersatz

Indikation

Der Einsatz des unikompartimentalen Gelenkflächenersatzes für monolaterale Arthrosen des Kniegelenks erfährt in den letzten

Jahren eine stärkere Akzeptanz, weil der Eingriff weniger belastend ist als ein kompletter Gleitflächenersatz (Tinius et al. 2007). Der Blutverlust ist geringer, die Infektionsrate niedriger, die Rehabilitation rascher und die wieder erreichte Funktion besser. Postoperativ haben die Patienten weniger Schmerzen. Die Propriozeption wird weniger gestört. Die erhaltenen Seiten- und Kreuzbänder sorgen für eine ausgewogene Balance und kaum veränderte Kinetik des Gelenks (Fuchs et al. 2002). Vor allem junge Patienten mit hohem Aktivitätslevel, die durch einen Unfall oder eine Osteochondrosis dissecans eine monolaterale Arthrose entwickelt haben, profitieren vom unikompartimentalen Gelenkflächenersatz (Pfeil u. Hasch 2005).

Voraussetzung dafür ist die Vergewisserung des Operateurs mittels Arthroskopie, dass das kontralaterale und das retropatellare Kompartiment intakt sind und keine Knorpelschäden aufweisen, die den Grad 2 nach Outerbridge übersteigen. Ein suffizienter Halt der Seiten- und Kreuzbänder ist eine weitere unabdingbare Voraussetzung. Das vordere Kreuzband gilt aufgrund seiner stabilisierenden und propriozeptiven Funktion in Hinblick auf den Behandlungserfolg als Schlüsselstruktur (Banks et al. 2005). Außerdem sollte keine Varus- oder Valgusfehlstellung der Beinachse von >10° bestehen.

Oft findet sich bei einer anteromedialen Gonarthrose ein degeneriertes vorderes Kreuzband. Die vermehrte Translation der Tibia, das Pivoting und die konsekutiv vermehrte Muskelanspannung führen zur Erosion des anteromedialen Knorpels (O'Conner et al. 2005). Ein isolierter Kreuzbandersatz bei vorbestehender Arthrose beschleunigt die Gelenkzerstörung (McDaniel u. Dameron 1983). In Analogie dazu entwickelt sich nach einem isolierten unilateralen Gleitflächenersatz und fortbestehender Kreuzbandinsuffizienz ein verstärkter Polyethylenabrieb am Inlay (Engh u. Ammeen 2004). In solchen Fällen ist eine zweidimensionale Umstellungsosteotomie der Beinachse und des Slope (s. oben) angezeigt oder ein unilateraler Gleitflächenersatz mit gleichzeitigem Kreuzbandersatz.

Letzteres Verfahren haben Tinius et al. (2007) an 32 Patienten mit sehr guten Ergebnissen angewendet. In 21 Fällen wurden Gleitfläche und vorderes Kreuzband in einer Sitzung ersetzt. In 11 Fällen erfolgte die Semitendinosus-Grazilis-Sehnenplastik erst sekundär aufgrund neu aufgetretener Instabilitäten bei liegendem unilateralen Gleitflächenersatz, wobei die Instabilitäten einer Kreuzbandinsuffizienz zugeordnet werden konnten. Zeigte sich bei Kreuzbandverlust eine fest sitzende aber radiologisch oder navigatorisch >8° geneigte tibiale Komponente, wurde die Komponente mit reduziertem Slope neu platziert. Anschließend erfolgte die VKB-Plastik. Dabei achteten die Autoren darauf, dass das Transplantat nicht in Kontakt mit dem Implantat kommt und nahmen eine nicht optimale Position in Kauf, ohne dass dies bisher erkennbare Konsequenzen für die Patienten gehabt hätte. Allerdings sind die Nachuntersuchungszeiträume noch zu kurz, um eine gesicherte Aussage machen zu können. Ähnliches gilt auch für den Vergleich zwischen Umstellung und unikompartimentalen Gleitflächenersatz.

Im Vergleich mit dem kompletten Gleitflächenersatz ist die Lockerungsrate des unikompartimentalen höher, besonders wenn die Patienten nicht vorsichtig genug ausgewählt werden (Thornhill u. Scott 1989). Die Indikation für den bikondylären Gelenkflächenersatz hat sich in den letzten Jahren nur wenig verändert. Patienten mit Schmerzen im Kniegelenk, die durch konservative Maßnahmen nicht gebessert werden können, die radiologische Zeichen einer fortgeschrittenen Gonarthrose haben, die älter als 60 Jahre sind und möglichst nicht zu schwer sein sollen, profitieren von einem kompletten Gleitflächenersatz. Auch bei rheumatischer oder entzündlicher Genese zeigt dieses Verfahren gute Langzeitergebnisse.

Lang haltbare gekoppelte totale Knieendoprothesen wurden für eine ganze Reihe verschiedener Modelle beschrieben (Diduch et al. 1997, Insall et al. 1983, Stern u. Insall 1992). Die letztlich doch eintretenden Lockerungen hängen im Wesentlichen mit der rigiden Koppelung der Prothesenkomponenten und dem Polyethylenabrieb zusammen (Bartel et al. 1986, Blunn et al. 1991). Der Polyethylenabrieb war besonders bei Modellen mit runder Femurkomponente auf einer planen Tibiakomponente, round on flat Design, aufgrund hoher Kontaktbelastung entstanden (Szivek et al. 1996). Deshalb wurden besser geführte Prothesen mit größerer Kontaktfläche, round on round Design, entwickelt. Die daraus resultierende Einschränkung der Rotation stellte sich bald als nachteilig heraus (Kurosawa et al. 1985).

Dies führte zur Entwicklung ungekoppelter Systeme, bei denen der Polyethyleneinsatz im Sinne einer zweifachen Oberflächenartikulation meniskusähnlich sowohl mit der femoralen Prothesenkomponente als auch mit der tibialen Metallverstärkung artikuliert, dual-surface Articulation. Bekannte Prothesen diesen Typs sind beispielsweise das Innex-Knie und die LCS-Prothese (low-Contact Stress Knee Replacement). Erste Langzeitergebnisse zeigen vielversprechende Resultate, wenngleich eine meniskusähnliche Bewegung vom Polyethylen auf der tibialen Metallverstärkung nicht bei jedem Patienten erreicht wird (Callaghan et al. 2000). Die Gründe hierfür sind zurzeit noch unklar, könnten jedoch durch einen nicht exakten Prothesensitz oder nicht optimalen Spannungszustand des Kapsel-Band-Apparats bedingt sein.

Am Beispiel des unikondylären Kniesystems (Fa. Zimmer) wird der Einbau einer so genannten Schlittenprothese dargestellt. Dabei wird das Vorgehen bei einer Varusgonarthrose und somit der Ersatz des medialen Kompartiments beschrieben und darauf hingewiesen, dass auch der Ersatz des lateralen Kompartiments möglich ist.

Vorgehen beim unikondylären Kniesystems (Fa. Zimmer)

Bei der Ausrichtung einer unikondylären Knieprothese werden andere Ziele verfolgt als bei der Umstellung am Tibiakopf, bei der eine Überkorrektur angestrebt wird, um die Belastung vom geschädigten Gelenkkompartiment wegzuleiten. Im Gegensatz dazu soll dies beim unikompartimetalen Gleitflächenersatz unbedingt vermieden werden, sonst drohen Knorpelschäden im benachbarten Kompartiment, während eine leichte Unterkorrektur mit einer langen Überlebensrate der Komponenten korreliert (Cartier et al. 1996). Dabei unterscheidet sich die Methodik, wie man die Beinachse beeinflusst, vollkommen von der, die beim bikondylären Gleitflächenersatz angewendet wird. Beim bikondylären Ersatz wird die Einstellung der Beinachse durch die Schnittwinkel am distalen Femur und der proximalen Tibia festgelegt. Beim unikompartimentalen Ersatz wird durch die Gesamtdicke der unikondylären Komponenten die Beinachse ausgerichtet.

Für die **Operationsplanung** wird das Knie in 2 Ebenen unter Belastung im Stehen geröntgt und die Patella tangential aufgenommen. Eine Belastungsaufnahme der Beinachse im Stehen ergänzt die Bildgebung. Bei der Lagerung und Abdeckung des Beins geht man genauso vor, wie es für den bikondylären Gelenkflächenersatz beschrieben ist (s. unten). Der Eingriff erfolgt über einen kleiner gehaltenen streckseitigen Zugang zum Kniegelenk (▶ Kap. 21, Standardzugänge) oder über eine parapatellare Inzision (◘ Abb. 10.52a). Der mittige streckseitige Zugang hat den Vorteil, dass man diesen für etwaige Folgeeingriffe besser nutzen kann.

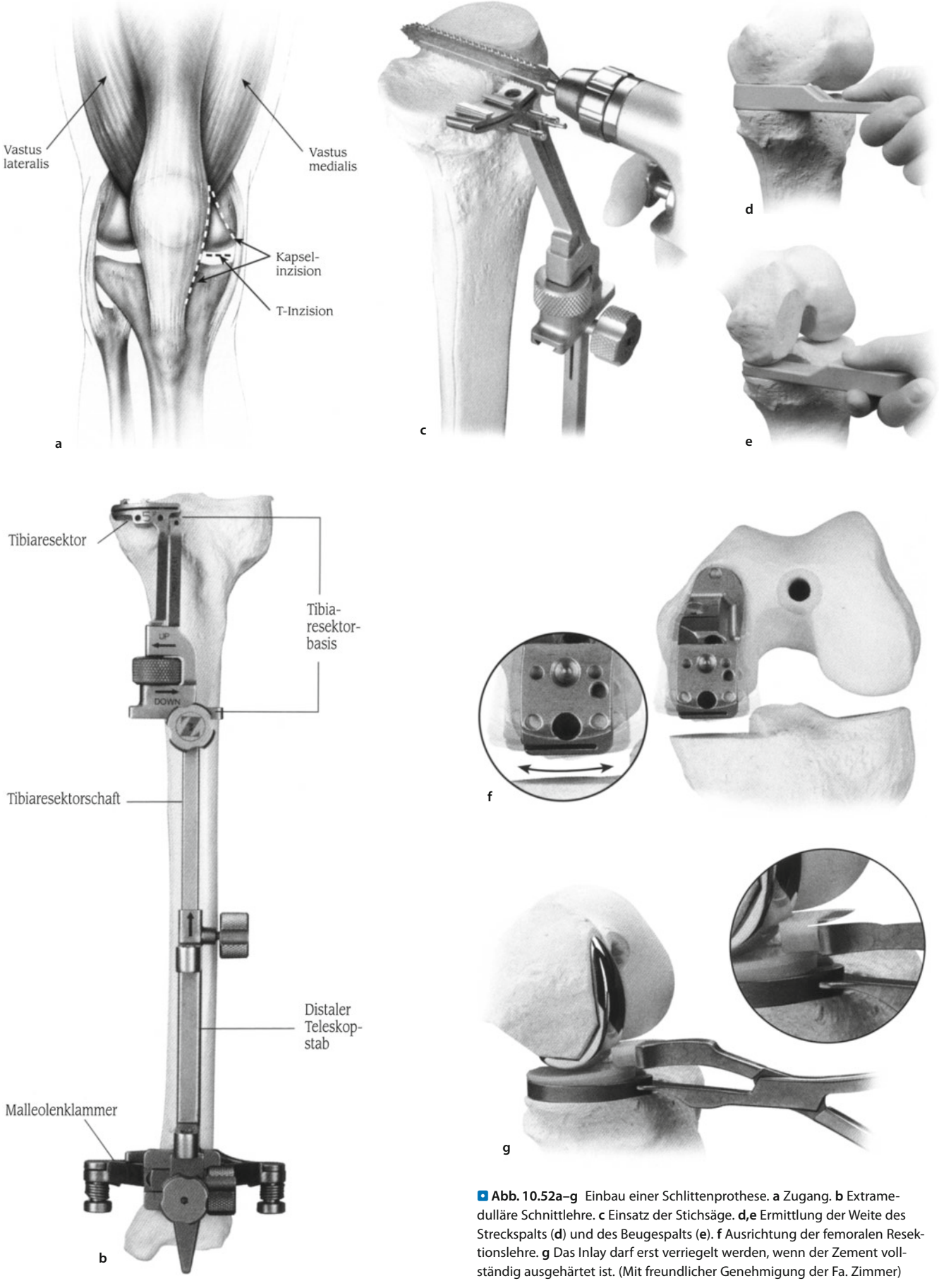


Abb. 10.52a–g Einbau einer Schlittenprothese. **a** Zugang. **b** Extramedulläre Schnittlehre. **c** Einsatz der Stichsäge. **d,e** Ermittlung der Weite des Streckspalts (**d**) und des Beugespalts (**e**). **f** Ausrichtung der femoralen Resektionslehre. **g** Das Inlay darf erst verriegelt werden, wenn der Zement vollständig ausgehärtet ist. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Zimmer)

Bei der Resektion des Hoffa-Fettkörpers im Zugangsbereich muss man darauf achten, dass man die Aufhängung des Außenmeniskusvorderhorns nicht schwächt. Am Tibiakopf wird die mediale Gelenkkapsel mobilisiert im Sinne eines medialen Release, ohne jedoch den Ansatz des Innenbandes abzulösen. Zur Mitte hin reicht das Release bis zum Ansatz der Patellarsehne. Für die bessere Beurteilung der Gelenkfläche wird bereits in diesem Stadium der Operation der vordere Anteil des Innenmeniskus reseziert. Der Restmeniskus wird erst nach Osteotomie der medialen Tibiakondyle entfernt. Osteophyten am Gelenkrand und im interkondylären Raum müssen ebenfalls abgetragen werden.

Bei der nun folgenden Zurichtung der Gelenkflächen kann man sowohl femoral als auch tibial beginnen. Im Folgenden wird die Vorgehensweise beschrieben, bei der die Tibia zuerst osteotomiert wird. Dazu wird an der Tibia eine extramedulläre Zielvorrichtung montiert. Sie gibt den Slope vor, mit dem das mediale Plateau osteotomiert wird. Das Zielgerät wird mittig vor dem Knie- und Sprunggelenk justiert, damit die tibiale Komponente exakt horizontal zur späteren Belastungsebene zu liegen kommt (◘ Abb. 10.52b). Mit Hilfe eines Messfühlers kann man die gewünschte Schnittstärke der Osteotomie ermitteln und einstellen. Um den tiefsten Gelenkdefekt bei der anschließenden Osteotomie mit zu erfassen, wird die Spitze des Messfühlers in den Defekt gesetzt. Die Sägelehre wird mit Pins fixiert. Die Osteotomie erfolgt mit einem relativ kräftigen Sägeblatt, das nicht dünner als 1,27 mm sein sollte, damit es nicht nach kranial oder kaudal abgelenkt wird, sondern eine plane Schnittfläche entsteht. Vor der Osteotomie wird mit der Stichsäge unmittelbar neben dem Ansatz des vorderen Kreuzbandes ein senkrechter Schnitt in der Sagittalebene gesetzt, geführt durch einen Schlitz in der Resektionslehre (◘ Abb. 10.52c).

Nach der Resektion der proximalen Tibia wird das Knie in vollständiger Streckung gelagert und der 8-mm-Spacerblock in den Gelenkspalt eingesetzt, bis der vordere Anschlag die anteriore Tibia berührt. Wenn der Spacerblock nicht in den Gelenkspalt passt, werden weitere 2mm von der proximalen Tibia reseziert. Sitzt der Block hingegen zu locker, verwendet man einen dickeren. Der passende Block wird anschließend mit einer Schraube fixiert. Dann werden Ausrichtlehre und Ausrichtstab aufgesetzt, die Ausrichtung der Beinachse beurteilt und ggf. durch Austausch des Spacerblocks oder Nachresektion an der Tibia korrigiert. Anschließend wird auf den Block der distale Femurresektor aufgeschoben und mit einer Halteschraube fixiert. Dann wird der mediale Femurkondylus distal osteotomiert.

Nach Entfernung des frei geschnittenen Gelenkflächenanteils kann mit Hilfe von verschieden starken Spacern die Weite des Beugespalts und des Streckspalts ermittelt werden. Das dicke Ende der Spacer entspricht jeweils der Gesamtdicke der Komponenten, die später an der Tibia und dem Femur eingesetzt werden, in Extension (◘ Abb. 10.53d). Das dünne Ende entspricht der Dicke der alleinigen tibialen Komponente zur Prüfung der Bandspannung in 90° Flexion (◘ Abb. 10.52e). Je nach Messergebnis des Beuge- und Streckspalts gilt:

- Wenn der Gelenkspalt sowohl in Beugung als auch in Streckung zu klein ist, um den dünnsten Spacer mit 8 mm einsetzen zu können, muss mehr Knochen von der Tibia reseziert werden.
- Wenn der Gelenkspalt sowohl in Beugung als auch in Streckung zu groß ist, werden Spacer in aufsteigender Dicke probiert.
- Wenn der Streckspalt bei regelrechter Beugespaltweite isoliert zu eng ist, kann entweder die Tibia mit reduziertem slope nachreseziert werden oder man trägt Knochen distal von der Femurkondyle ab.
- Wenn der Beugespalt bei regelrechter Streckspaltweite isoliert zu eng ist, muss man eine kleinere Kondylenkomponente wählen.

Nun wird die Kondyle mit der Femur-Resektionslehre zurechtgeschnitten. Die Resektionslehren stehen in 7 verschiedenen Größen zur Verfügung. Die richtige Größe liegt vor, wenn die Sägeschnittfläche die Vorderkante der Lehre noch 2–3 mm überragen. Dieser Überstand gewährleistet, dass die Patella später nicht in Kontakt mit der Komponentenspitze kommt. Nach Positionierung der Resektionslehre wird sie mit einem Nagel oder einer Schraube im ventralen Stiftloch fixiert, sodass die Lehre noch parallel zur tibialen Resektionsfläche ausgerichtet werden kann (◘ Abb. 10.52f). Dabei muss man darauf achten, dass die Lehre zu beiden Seiten von Knochen überragt wird und nicht auf einer Seite überhängt. Wenn alle Kriterien erfüllt sind, wird die Lehre endgültig befestigt. Anschließend werden die Zapfenlöcher gebohrt und die verschiedenen Osteotomieschnitte ausgeführt.

Jetzt werden tibial Meniskusreste und Osteophyten reseziert. Besonderes Augenmerk richtet man auf knöcherne Anbauten, die das Seitenband abdrängen. Sie gehören vollständig entfernt, denn sie erhöhen nicht nur die Bandspannung und beeinflussen damit das Weichteilbalancing, sondern sie können überdies postoperativ Beschwerden verursachen. Mit verschiedenen Schablonen kann man die geeignete Größe der tibialen Komponente ermitteln. Sie wird so gewählt, dass sie einerseits nirgendwo die Resektionsfläche überragt aber andererseits möglichst gut abdeckt sowohl in der a.p.- als auch in der Sagittalebene. Ein Messgerät erleichtert die Größenbestimmung. Anschließend wird ein Probeplateau platziert. Dann wird auch die femorale Probekomponente eingesetzt und zuletzt das Inlay. Anschließend können Bewegungsumfang und Bandspannung in Extension und Flexion beurteilt werden. Das Weichteilbalancing darf nicht zu straff sein, sowohl in Streckung als auch in Beugung soll es möglich sein, den Gelenkspalt um 2 mm aufzudehnen. Dies lässt sich mit dem 2 mm dicken Stab der Messlehre gut überprüfen. Man kann das Probe-Inlay bei 90° gebeugtem Knie zwischen die Komponenten platzieren. Dabei sollte es fest sitzen, aber sich nicht verklemmen. Das Gleiche gilt für den Test in voller Streckung.

Wenn alles gut passt, werden die endgültigen Komponenten bereit gelegt und der Knochen für die Zementierung vorbereitet. Zuerst wird die tibiale Komponente eingesetzt. Der Zement wird auf die gereinigten Knochenflächen aufgebracht und zwar nicht nur auf die horizontale Resektionsfläche, sondern auch auf die senkrechte an der Basis der Eminentia intercondylaris. Wenn der Zement etwas angezogen hat und nicht mehr ganz weich ist, wird die tibiale Komponente eingebracht. Dieser Schritt wird erleichtert, wenn man den Tibiakopf in eine vordere Schublade zieht und gleichzeitig nach außen oder innen rotiert in Abhängigkeit von der Position des Schlittens. Die Komponente wird zuerst posterior angepresst und dann erst anterior, damit der Zementüberschuss nach anterior ausgepresst wird und nicht Richtung Kniekehle. Die Komponente wird nun eingeschlagen. Dann wird bei stark gebeugtem Knie die femorale Komponente eingeschlagen. Nach Aushärten des Zements wird erneut die Bandspannung in Streckung und Beugung beurteilt und ein passendes Inlay ausgewählt und eingesetzt (◘ Abb. 10.52g).

Der Wundverschluss und die Nachbehandlung erfolgen nach den Prinzipien, die für den bikondylären Gleitflächenersatz gelten (s. unten).

Bikondylärer Gelenkflächenersatz

Indikationen

Ein bikondylärer Gleitflächenersatz ist indiziert bei:

- degenerativen Veränderungen in mehr als einem der 3 Kompartimente,
- nicht korrigierter translatorischer Instabilität,
- signifikantem Streckdefizit,
- Beinachsenfehlstellung >15°.

Am Beispiel des Innex-Knies (Fa. Zimmer) soll im Folgenden die operative Vorgehensweise beim kompletten Gleitflächenersatz dargestellt werden. Zur Planung wird neben den Standardaufnahmen eine Beinachsenaufnahme unter Belastung benötigt.

Vorgehen beim Innex-Knie (Fa. Zimmer)

Operiert wird in Blutsperre. Zur Lagerung werden am besten eine Seiten- und eine Fußstütze verwendet. Das spart erheblich Haltearbeit. Das Kniegelenk wird über einen geraden streckseitigen Zugang eröffnet (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der Zugang zum Knie erfolgt durch Längsspaltung des Streckapparats. Dazu wird die Quadrizepssehne mittig in Faserrichtung eröffnet. Oberhalb der Patella schwenkt der Schnitt S-förmig nach medial und parallel zur medialen Begrenzung der Patella wieder zurück in Richtung Patellarsehne. Dann verläuft er medial neben der Patellarsehne bis zur Tuberositas tibiae (Abb. 10.53).

Die Richtungswechsel innerhalb der Krümmungen des S-förmigen Zugangs sollten möglichst flach sein, damit sich nach erfolgter Rekonstruktion des Streckapparats die Zugkräfte, die auf die einzelnen Nähte einwirken, auf einen möglichst breiten Gewebeanteil verteilen.

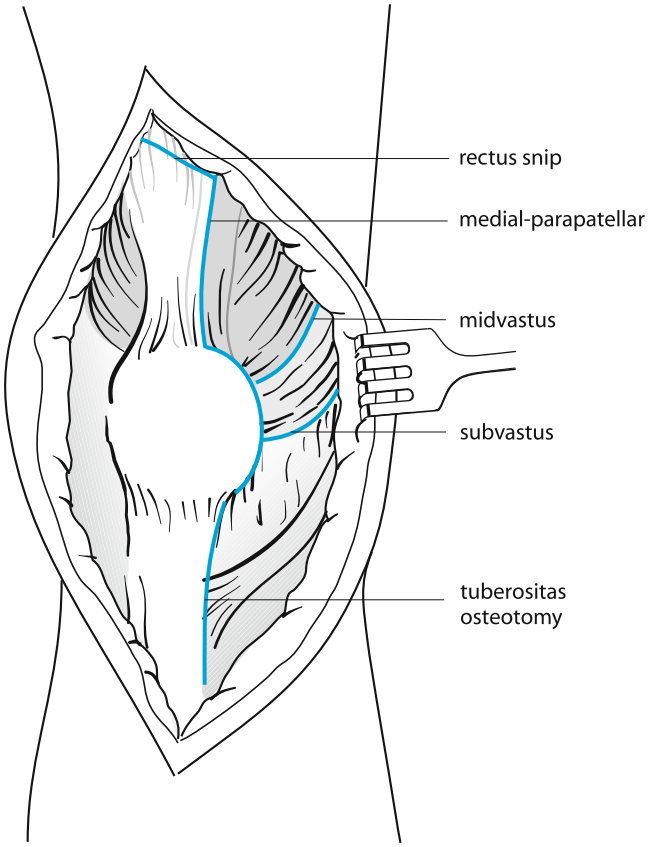


Abb. 10.53 Mögliche Zugangswege für die Knieendoprothetik

Wenn man hingegen am Patellaoberpol im Bereich des Ansatzes der Quadrizepssehne die Schnittrichtung rechtwinklig nach medial umlenkt, hat man zwar einerseits eine gute Höhenmarkierung für den späteren Wundverschluss, aber andererseits gleichzeitig unfreiwillig dafür gesorgt, dass in diesem Bereich nach erfolgtem Wundverschluss hohe Zuglasten auf wenige Nähte einwirken. Diese Nähte können im Rahmen der Mobilisierung der Patienten auslockern. Ausgelockerte Nähte im Bereich des Streckapparats bedeuten Instabilität, es bildet sich ein Serom, das sich leicht zur Hautoberfläche durcharbeiten kann, weil zwischen Streckapparat und Haut nur noch Fettgewebe liegt. Wenn das Serom sich zwischen den Hautnähten entlastet, besteht eine Verbindung zum Gelenk und damit die Gefahr einer Infektion.

Aus dem gleichen Grund ist es entscheidend wichtig, im gesamten Schnittverlauf einen ausreichend breiten Retinakulumsaum an der Patella zu belassen. Der Saum sollte etwa 5–10 mm breit sein. Für den Ungeübten ist es schwierig, beim Zugang zu erkennen, wo der optimale Abstand zur Patella verläuft. Es gibt aber einen einfachen Trick, um diesen zu treffen. In Knochennähe kippt man das Skalpell um etwa 45° von der Patella weg. Dann kann man mit der Spitze des Skalpells den Patellarand beim Schneiden immer wieder tasten und hat an der Oberfläche, wo man gerade den Streckapparat durchtrennt, einen ausreichend weiten, aber nicht zu weiten Abstand von der Patella.

Nun erfolgt das Release der Retinakula. Bei Varusgonarthrose ist der mediale Kapselbandapparat regelmäßig verkürzt. Um die Weichteilbalance auszugleichen, wird die Gelenkkapsel an ihrem Ansatz am medialen Tibiakopf mobilisiert. Mit dem Elektrokauter löst man vom Zugang aus den Ansatz der Kapsel und des Innenbandes subperiostal direkt vom Knochen. Der medioposteriore Ansatzbereich wird anschließend mit einem gebogenen Raspatorium bis zur posterioren Kante des Tibiakopfs mobilisiert. Das laterale Release wird bei Varusgonarthrose im Vergleich zum medialen Release nur zurückhaltend ausgeführt. Man löst, ebenfalls von der Zugangsebene ausgehend, lediglich den Kapselansatz ventrolateral vom Tibiakopf.

Nun wird das Knie 90° gebeugt und aufgestellt. Die Patella wird beim Beugen des Knies zur Seite abgedrängt und luxiert. Damit dies einigermaßen spannungsfrei möglich ist, muss man meistens die Längsspaltung der Quadrizepssehne nach kranial erweitern und ggf. den Ansatz der Patellarsehne medial etwas mobilisieren, ohne diesen zu weit abzulösen. Falls die Weichteilspannung dann immer noch zu groß sein sollte, um die Patella bei 90° Kniebeugung luxieren zu können, was bei Revisionen und vernarbtem Streckapparat der Fall sein kann, muss man den knöchernen Ansatz der Patellarsehne flach abmeißeln. Die Knochenschuppe kann beim späteren Wundverschluss angeschraubt werden. Dadurch lässt sich die Sehne viel stabiler refixieren, als wenn man sie vom Knochen lösen und später transossär nähen würde. Damit aber der abgemeißelte Sehnenansatz beim späteren Verschrauben nicht bricht, muss er ausreichend massiv sein, aber auch nicht zu massiv, um die Stabilität des Tibiakopfs nicht zu gefährden.

Jetzt wird das Kniegelenk mit zwei 2 Hohmann-Hebeln, die lateral und medial zwischen Kapselbandapparat und Tibiakopf eingesetzt werden, exponiert. Als nächstes werden alle Osteophyten reseziert, um die anatomische Gelenksymmetrie wieder zu finden, denn bei ausgeprägten Anbauten kann es schwierig sein, die Mitte des Tibiakopfs festzulegen oder die wahre Größe der Kondylen abzuschätzen, was für die weiteren Arbeitsschritte von Bedeutung ist.

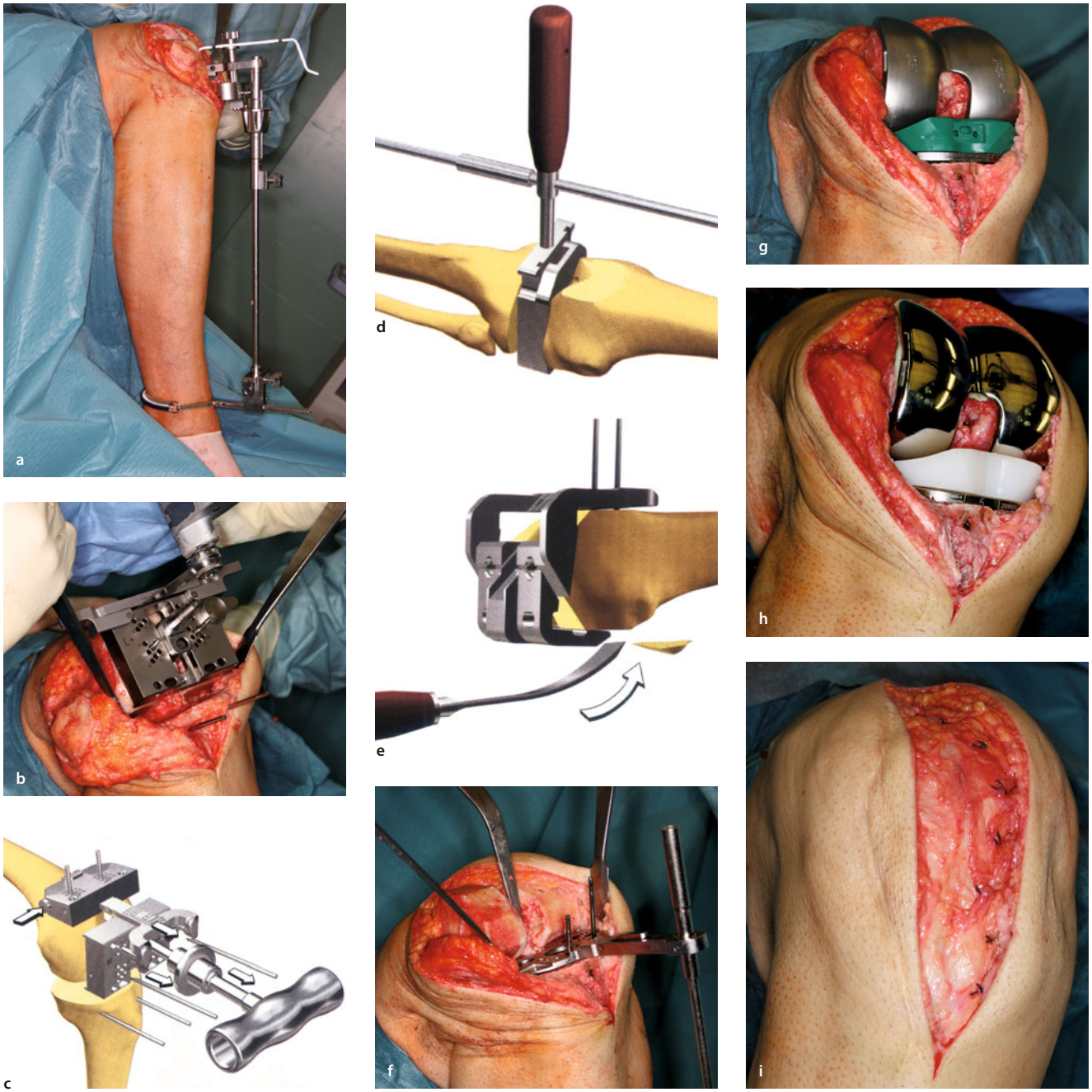


Abb. 10.54a–i Einbau eines bikondylären Gleitflächenersatzes. **a** Extramedulläres Zielgerät tibial. **b** Sägelehre femoral. **c** Montage des Distalschnittblocks. **d** Kontrolle der Weite des Streckspalts und der Beinachse. **e** Trimmen der posterokranialen Kondylenecken. **f** Größenbestimmung der tibialen Komponente. **g** Probereposition. **h** Nach dem Einzementieren der definitiven Prothese müssen alle Zementüberschüsse entfernt werden. **i** Rekonstruierter Streckapparat. (c, d, e mit freundlicher Genehmigung Fa. Zimmer)

Wenn die Notch durch Osteophyten »eingemauert« ist, muss man sie aufmeißeln, um an die Kreuzbänder zu gelangen. Je nach gewähltem Verfahren, wird nur das vordere Kreuzband reseziert oder beide Kreuzbänder, um das Knie für die weiteren Arbeitsschritte subluxieren zu können. Wenn beide Kreuzbänder entfernt werden, löst man mit dem Elektrokauter deren Ursprünge zunächst vom Dach und den Wänden der Notch und anschließend deren Ansätze am Tibiakopf. Zum Schluss werden die vorderen Meniskusanteile aus dem Gelenk geschnitten.

Als Nächstes folgt die Osteotomie der Gelenkfläche des Tibiakopfs. Dazu verwendet man entweder einen Führungsstab, der im Markraum versenkt wird, oder einen Ausrichtstab, der vor der Tibiavorderkante montiert wird (Abb. 10.54a). Diese Zielhilfen haben wie femoral den Zweck, die Sägelehre im rechten Winkel zur Belastungsachse der Tibia einzustellen. Gleichzeitig wird die Kippung des Tibiaplateaus nach dorsal, der tibial Slope, festgelegt. Der Slope hat Einfluss auf die Kniestreckung. Das externe Zielgerät wird an 4 anatomischen Landmarken ausgerichtet. Es wird

proximal mittig am Tibiaplateau fixiert und distal über dem Zentrum des Sprunggelenks; es soll parallel zum Markraum, nicht zur Schienbeinvorderkante, ausgerichtet sein; und die Zielhilfe muss, um eine korrekte Rotation zu erhalten, auf den 2. Zehenstrahl ausgerichtet werden.

Mit einem Höhentaster wird die Sägelehre so eingestellt, dass die Höhe der Osteotomie 10 mm unterhalb des höchsten Punkts des intakten Kompartiments zu liegen kommt. Falls beide Kompartimente so stark abgenutzt sind, dass sie für diesen Zweck nicht mehr genutzt werden können, orientiert man sich am höchsten Punkt der Notch und stellt die Osteotomieebene etwa 15 mm tiefer ein. Dann wird die Sägelehre mit 3 Pins fixiert und das Gestänge des externen Zielgeräts abgebaut.

Bei der nun folgenden Osteotomie wird das Sägeblatt durch Spülung laufend gekühlt, und damit sich das Blatt dorsal nicht verklemmt, hebt der Assistent das distale Femur gleichzeitig an. Zur Kniekehle hin wird stoßweise gesägt, um zu erkennen, wann der feste Widerstand des Knochens überwunden ist und die Weichteile der Kniekehle erreicht sind. Wenn das hintere Kreuzband nicht erhalten werden soll, kann die osteotomierte Gelenkfläche als Ganzes entfernt werden. Da diese dorsal noch mit der Gelenkkapsel verbunden ist, kostet es deutlichen Kraftaufwand, sie davon zu lösen. Am leichtesten gelingt dies, indem man einen möglichst breiten Flachmeißel in die Osteotomieebene schiebt und einen zweiten, ziemlich schmalen Flachmeißel durch die Notch am Hinterrand der Gelenkfläche ansetzt. Mit dem schmalen Meißel hebelt man die Fläche, die auf dem breiten Meißel gut gleiten kann, nach ventral und löst sie als Ganzes aus ihrem Weichteilverbund. Nun erfolgt die Präparation des distalen Femur. Dafür verwendet man einen intramedullären Führungsstab als Zielhilfe. Der Eintrittspunkt für den Führungsstab liegt 1 cm anterior vor dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes in Verlängerung der medialen Zirkumferenz dieses Bandes. Mit einem Bohrer wird die Kortikalis Richtung Markraum perforiert. Dann wird das Fett sorgfältig aus dem Markraum gesaugt und erst dann der Führungsstab langsam in den Markraum eingeführt, damit kein Überdruck entsteht, der eine Fettembolie verursachen könnte.

Das Ende des Führungsstabs überragt das Kondylenmassiv. Der Sagittaldurchmesser der Kondylen muss als nächstes ermittelt werden, um die geeignete Größe für die kondyläre Prothesenkomponente auswählen zu können. Dafür gibt es eine Messlehre mit einer Doppelkufe, die hinter die posterioren Kondylenflächen geschoben wird und einen Höhenfühler, der kranial des femoropatellaren Gleitlagers direkt auf die Kortikalis der Femurmetaphyse aufgesetzt wird. Dazu muss zuvor das Periost mit dem Elektrokauter sparsam nach kranial mobilisiert werden. Wenn man zwischen zwei Größen misst, wird die kleinere gewählt.

Nun kann ein Schnittblock geeigneter Größe ausgewählt und auf den Führungsstab gesetzt werden. Dabei muss die Winkeldifferenz zwischen der anatomischen Femurachse, in der der Führungsstab ausgerichtet ist, und der mechanischen Beinachse, zu der die kondyläre Komponente exakt horizontal eingestellt werden muss, ausgeglichen werden. Dies geschieht durch den Einsatz von sogenannten Nutensteinen, die es in 3 verschiedenen Winkeln gibt, 4, 6 und 8° (Abb. 10.54b). Bereits präoperativ wird anhand der Beinachsenaufnahme der Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der Linie ermittelt, die vom Zentrum des Hüftkopfs zum Mittelpunkt des Kniegelenks zieht. Die exakt horizontale Ausrichtung der Gleitflächen ist deshalb so wichtig, damit später keine Scherkräfte auf diese Flächen und den Kapsel-Band-Apparat wirken. Die korrekte Höhe des Schnittblocks wird mit Hilfe des Höhentasters so eingestellt, dass die ventrale Osteotomie bündig auf dem Niveau der ventralen Femurkortikalis ausläuft, ohne diese zu kerben. Dieses Kerben, im englischen Sprachraum Notching genannt, würde das distale Femur schwächen und außerdem dazu führen, dass die femorale Komponente in der Sagittalebene nach dorsal versetzt wird, was wiederum Auswirkungen auf die Weichteilbalance haben würde. Um sicherzugehen, kann man mit der Resektionslehre zuvor überprüfen, wo die Schnittebene ausmünden wird.

Als Nächstes muss die Rotation des Schnittblocks eingestellt werden. Man kann für diesen Schritt die Rotationsausrichtlehre verwenden. Man orientiert sich an der Bandspannung, die ausgeglichen sein soll. Die physiologische rotatorische Neutral-Null-Ebene ist zur Horizontalebene des Tibiaplateaus 3° nach außen rotiert. Sie verläuft tangential auf den Scheitelpunkten der posterioren Gelenkflächen der Kondylen. Falls diese Flächen defekt sind, verwendet man zur Orientierung die beiden höchsten Punkte der Epikondylen. Zum Peilen können am Schnittblock zu beiden Seiten Pins eingesteckt werden. Im Zweifelsfall wird der Schnittblock eher ein Grad zu weit nach außen als nach innen gedreht montiert, denn ein Innenrotationsfehler würde bei der endgradigen Beugung zur erhöhten Vorspannung des Streckapparats führen, die Beweglichkeit einschränken und Schmerzen verursachen.

Nun wird der Schnittblock mit Pins fixiert und das distale Ende des Femurs ventral und dorsal kastenförmig zugeschnitten. Dann wird mit Hilfe des ersten Schnittblocks ein zweiter auf der osteotomierten planen ventralen Schnittfläche des distalen Femurs befestigt, anschließend der erste abgebaut und der Führungsstab aus dem Markraum gezogen (Abb. 10.54c). Nach Prüfung der Beinachse durch Aufsetzen des Ausrichtstabs im streckseitigen Schnittblock wird die Gelenkfläche am distalen Femur osteotomiert.

Nun ist der hintere Gelenkraum zugänglich, sodass die hinteren Meniskusanteile unter Sicht reseziert werden können. Das Vorgehen wird durch Einsatz eines Arthrodesenspreizers erleichtert. Zunächst wird der Spreizer entweder lateral oder medial eingesetzt und das gegenüberliegende freie Kompartiment débridiert. Anschließend wird er umgesetzt und das Débridement vervollständigt.

Jetzt ist das Gelenk so weit präpariert, dass 2 sehr wichtige Schritte für den späteren Erfolg des Eingriffs vorgenommen werden können: die Kontrolle der Beinachse und die Feinjustierung der Weite des Streck- und Beugespalts.

Die Beinachse muss gerade sein, und beide Spalten müssen so weit sein, dass eine volle isometrische Streckung und Beugung möglich ist, ohne dass bei einem endgradigen Bewegungsausschlag die Spannung des Kapselbandapparats kritisch ansteigt, denn dies würde postoperativ Schmerzen verursachen, auf Dauer das Bewegungsausmaß einschränken und zu vorzeitigem Verschleiß und/oder zur Lockerung der Prothese führen.

In den Streckspalt wird die Spaltmesslehre gesteckt und in den Handgriff der Messlehre ein Ausrichtstab, mit dem die Beinachse kontrolliert werden kann (Abb. 10.54d). Die Spaltmesslehre muss bei ausgeglichener Weichteilbalance lateral und medial gut im Streckspalt sitzen. Wenn man sie unter Zug am Bein nicht einsetzen kann oder dies nur mit größter Mühe gelänge, ist der Spalt zu eng und muss erweitert werden. Jetzt kommt es darauf an, ob man den Spalt durch Resektion einer tibialen oder femoralen Knochenscheibe erweitert. Dies muss wiederum von der Weite des Beugespalts abhängig gemacht werden. Die Schablone für den Streckspalt repräsentiert ja die Gesamthöhe der beiden Komponenten samt kleinster Inlay-Höhe und muss folglich auch im Beugespalt Platz haben. Dies wird bei 90°-Beugestellung des Knies überprüft. Nun kann entschieden werden, an welchem Gelenkpartner nachgearbeitet werden muss:

- Sind Streck- und Beugespalt zu eng, muss tibial nachreseziert werden.
- Ist nur der Streckspalt zu eng, aber der Beugespalt ausreichend weit, wird distal femoral nachreseziert.
- Ist hingegen der Beugespalt isoliert zu eng bei regelrechter Streckspaltweite, werden Knochenscheiben von den posterioren Kondylen abgetragen und eine kleinere femorale Komponente gewählt.

Wenn die Spaltenweiten passen, prüft man die Weichteilbalance. In aller Regel handelt es sich um Varusgonarthrosen mit kontraktem medialen Kapselbandapparat. Wenn das Gelenk medial eine stärkere Vorspannung hat als lateral, wird das mediale Kapselrelease am Tibiakopf nach posterior bis zur Ansatzregion des hinteren Kreuzbandes erweitert. Bei sehr hoher Vorspannung müssen sogar die Ansätze des Pes anserinus der Reihe nach gelöst werden, bis die Balance ausgeglichen ist. Bei den selteneren Valgusgonarthrosen ist der mediale Kapselbandapparat überdehnt. Dann ist allenfalls ein laterales Release angezeigt.

Nun werden mit der Facettenschnittlehre Zapfenlöcher gebohrt, Kanten vom distalen Femur abgetragen und das Patellagleitlager vertieft. Zuletzt folgt noch eine sehr wichtige Maßnahme für die spätere Beugbarkeit des Knies. Die knöchernen Überstände der Kondylen posterokranial werden mit einem gebogenen Meißel getrimmt, damit das Tibiaplateau bei der endgradigen Beugung nicht aufläuft (◘ Abb. 10.54e). Dann wird mit Schablonen die richtige Größe für die tibiale Komponente gemessen. Sie soll nicht wesentlich kleiner sein als das zurecht gesägte Tibiaplateau, damit sie bei Belastung nicht einbricht, soll aber dessen Begrenzung auch an keiner Stelle nennenswert überragen, weil dies den angrenzenden Kapsel-Band-Apparat irritieren und Schmerzen verursachen könnte (◘ Abb. 10.54f). Anschließend werden Löcher zur Verankerung der späteren Komponenten tibial und femoral mittels Schablonen gebohrt und eine Probereposition mit Phantomen vorgenommen (◘ Abb. 10.54g). Wenn der Gelenkspalt bei Beugung zu eng wird, empfiehlt sich, den Sagittaldurchmesser der Kondylenebene zu verkleinern, um eine kleinere Femurkomponente verwenden zu können. Alternativ kann auch der tibiale Slope erhöht werden. Wenn der Spalt nur bei der Extension zu eng ist, muss am Femur nachreseziert werden, wenn er bei Beugung und Streckung zu eng ist, muss an der Tibia nachreseziert werden (s. oben).

Wenn die Phantome gut passen, werden die Originalkomponenten einzementiert. Vor dem Zementieren werden die Knochenlager mit einer gepulsten Druckspülung (Jet-Lavage) fett- und blutfrei gemacht und dann getrocknet (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk). Auch ein unzementiertes Vorgehen ist möglich. Allerdings hat dies den Nachteil, dass die Patienten postoperativ nicht gleich voll belasten können. Nach dem Einsetzen der Komponenten wird das bei der vorausgegangenen Probereposition ausgewählte Inlay eingebracht.

Bevor der Zement der Aushärtung überlassen wird, muss das Knie nochmals durchbewegt und voll gestreckt und gebeugt werden. Erst durch dieses Manöver werden die Komponenten fest auf ihre Unterlage gepresst und überschüssiger Zement quillt aus. Die Zementüberschüsse werden allseits entfernt (◘ Abb. 10.54h). Anschließend wird das Knie auf einer Rolle in leichter Beugung gelagert. Eine Lagerung in voller Streckung ist nicht empfehlenswert, weil dabei das tibiale Plateau unbemerkt aufkippen kann und der Zement womöglich unter Reduktion des tibial slope aushärtet, was die Beugbarkeit des Kniegelenks beeinträchtigen würde.

Die Patella wird nicht denerviert, weil sich in mehreren Studien gezeigt hat, dass im Vergleich die postoperativen Schmerzen dadurch nicht signifikant beeinflusst werden. Darüber, ob ein Ersatz der retropatellaren Gleitfläche erfolgen soll oder nicht, gehen die Meinungen nach wie vor auseinander. Da man sich durch einen Ersatz einerseits die Nachteile der Polyethylenimplantate einhandelt, wie Abrieb und Lockerung, und andererseits nicht bewiesen ist, dass die Patienten mit Ersatz im Vergleich zu denen ohne nachhaltig profitieren, gibt es keinen zwingenden Grund, die Rückfläche zu ersetzen. Überdies spart man sich Operationszeit und Kosten für das Inlay.

Wenn dennoch die retropatellare Fläche ersetzt wird, z.B. weil die Patella in ihrem neuen Lager nicht rund läuft, dann wird ein kreisrundes Bett von etwa 5–8 mm Tiefe je nach Dicke der Patella gefräst und anschließend das Inlay eingesetzt. Eine Patella, die <15 mm dick ist, eignet sich nicht für einen Rückflächenersatz, weil ihr knöchernes Lager nicht tief genug ist, um einen stabilen Sitz zu gewährleisten.

Nun erfolgt der schichtweise Wundverschluss. Das Kniegelenk wird zunächst intensiv gespült. Beim Sägen der Osteotomieflächen wird spongiöser Knochen in die umgebenden Weichteile verfrachtet. Das raue Material haftet insbesondere in der Synovia und der Subkutis relativ fest, sodass man es beim Spülen mit manueller Unterstützung auswaschen muss. Dann wird eine Überlauf-Redondrainage, die erst ab dem 1. postoperativen Tag unter Sog genommen wird, in das Gelenk eingelegt und über den oberen Rezessus ausgeleitet. Die Verwendung von Überlaufdrainagen während der ersten 24 h postoperativ spart Fremdblut.

Während der Rekonstruktion des Streckapparats muss immer wieder die Zentrierung der Patella im femoralen Gleitlager beim Durchbewegen beurteilt und ggf. korrigiert werden, z.B. durch ein laterales Release oder eine mediale Raffung des Retinakulums (◘ Abb. 10.54i). Ins subkutane Fettgewebe wird eine Redon-Drainage mit Sog eingelegt. Dann wird die Subkutis mit Einzelknopfnähten adaptiert. Der lange Hautschnitt wird am besten geklammert; dies spart nicht nur Zeit, sondern ist auch schonend für die Hauträndern.

Für bestimmte Indikationen eignet sich der bloße Gleitflächenersatz nicht. Bei Patienten mit starker Osteoporose kann die Oberflächenprothese vorzeitig auslockern. Bei Patienten mit starken Achsabweichungen und entsprechend überdehntem Bandapparat und bei Übergewichtigen vermittelt sie zu wenig Stabilität. Für solche Problemfälle eignen sich achsengeführte, gekoppelte oder teilgekoppelte Prothesen besser, die sich im Markraum abstützen und eine seitliche und translatorische Stabilität vermitteln. Die Operationstechnik für eine der zahlreichen Prothesen, die es für diesen Zweck gibt, ist in der ◘ Abb. 10.55 wiedergegeben.

Nachbehandlung

Kontinuierliche passive Bewegungstherapie und aktives Durchbewegen im schmerzfreien Bewegungsausmaß sollten frühzeitig postoperativ begonnen werden. Allerdings darf man dabei nicht übertreiben, denn gerade streckseitig am Kniegelenk kann die Weichteildeckung relativ dünn sein. Dazu kommt, dass sich die Wunde in kompletter Kniestreckung fältelt. Wenn zu viel geübt wird, bevor die Wundflächen ausreichend miteinander verklebt sind, kann sich in zu sehr belasteten Bereichen eine Dehiszenz bilden, über die Oberflächenkeime in die Tiefe wandern können.

Ungeachtet dessen müssen die Patienten frühzeitig das Knie möglichst vollständig strecken. Ein einmal entstandenes Streckdefizit wieder auszugleichen, ist schwierig. Komplett zementierte Prothesen sind von Beginn an voll belastbar, was die Mobilisation und die Rehabilitation der Patienten deutlich beschleunigt. Dennoch sollen sie während der ersten 4–8 Wochen Unterarmstockstützen zu Hilfe nehmen. Dadurch werden die Retinakulumnähte

entlastet und die Wundheilung unterstützt. Die Dauer der Thromboseprophylaxe kann vom Schwellungszustand, dem Ausmaß der Mobilisation und Beweglichkeit abhängig gemacht werden. Bei den meisten Patienten folgt nach einer Prothesenimplantation eine Anschlussheilbehandlung.

Umstellungsosteotomien, die mit Plattenfixateuren stabilisiert sind, können schon nach gesicherter Wundheilung schmerzabhängig belastet werden.

Komplikationen und Prognose

Manche Patienten machen zu viel Krankengymnastik. Schwellungs- und Schmerzzustände können auch noch Monate später durch zu viel Belastung und Bewegung auftreten. Man muss die Patienten darüber aufklären und ihnen zu körperlicher Schonung raten.

In 0,2–6,4% der Fälle wird bei der Knieendoprothetik der Streckapparat verletzt (Jarvela et al. 2005). Operationsbedingte Ursachen hierfür sind zugangsbedingte ligamentäre Rupturen, Patellafrakturen nach Osteotomie oder Rückflächenersatz und die Devaskularisierung durch Release. Postoperative Ursachen sind infektionsbedingte Gewebenekrosen, Komponenten-Malalignments und Traumen (Park et al. 2005). Die therapeutischen Möglichkeiten sind unter Umständen sehr rasch erschöpft, weil das betroffene Gewebe größtenteils bradytroph ist. Die Komplikation mündet häufig in einer Arthrodese insbesondere wenn die Regenerationskraft durch eine Stoffwechselerkrankung oder eine pAVK zusätzlich eingeschränkt ist. Wenn Infektfreiheit herrscht und Weichteildeckung sowie Durchblutung intakt sind, wird die Sehne primär genäht und ggf. augmentiert.

Im Rahmen der externen Qualitätssicherung haben Claus et al. (2006) die unmittelbar postoperativ aufgetretenen Komplikationen bei über 17.000 Patienten nach primärer Knieendoprothetik in Baden-Württemberg erfasst und 11,3% allgemeine Komplikationen gefunden, darunter 2,9% Hämatome, 1,8% kardiovaskuläre Komplikationen, 1,2% tiefe Beinvenenthrombosen, 0,2% Lungenembolien, 0,8% Infektionen und 0,3% Pneumonien. Die allgemeine Komplikationsrate war erhöht bei höherem Lebensalter, männlichem Geschlecht, hoher ASA-Klassifikation, aber auch bei verlängerter Operationsdauer, Fremdblutgabe und zusätzlicher Retinakulumspaltung.

10.4 Unterschenkel

10.4.1 Tibiakopffrakturen

Ätiologie

Schienbeinkopffrakturen sind relativ häufig. Sie entstehen durch seitliche, axiale oder rotatorische Gewalteinwirkung im Rahmen von Stürzen und Verkehrsunfällen. Die verschiedensten Frakturformen sind abhängig von deren Richtung und der Knochenqualität. Meist ist das laterale Kompartiment betroffen. Spaltbrüche entstehen vorwiegend bei jugendlichen Patienten, während der osteoporotisch geschwächte Knochen meist zusätzlich mehr oder weniger imprimiert wird. Zum Teil wird der Kapsel-Band-Apparat mitverletzt.

Klinik

Auffällig sind Schwellung, Druckschmerz, Belastungsunfähigkeit und ein Kniegelenkerguss. Eine Banduntersuchung wäre zum einen schmerzhaft, zum anderen aufgrund der knöchernen Instabilität nicht aussagekräftig. Die Bänder werden deshalb erst intraoperativ inspiziert bzw. nach erfolgter Osteosynthese geprüft. An ein beginnendes Kompartment-Syndrom muss gedacht werden, wenn eine ausgeprägte Schwellung mit analgetikaresistenten Schmerzen auftritt. Dann ist eine notfallmäßige Dermatofasziotomie indiziert.

Diagnostik

Röntgenaufnahmen des Knies in 2 Ebenen können durch 45°-Schrägaufnahmen in 2 Ebenen ergänzt werden. Allerdings macht die CT solche Zusatzaufnahmen überflüssig, denn die Möglichkeit der Bildrekonstruktion in sagittaler wie auch frontaler Schnittrichtung gibt einen vollständigen Eindruck von der Lokalisation und dem Ausmaß der eingetretenen Schäden.

Die MRT kann sehr gute Dienste leisten bei der Aufdeckung okkulter Frakturen. Es gibt immer wieder Fälle, in denen unverschobene Brüche vorliegen, die auf den Standardaufnahmen und auch nicht in einer CT zweifelsfrei ein- oder ausschließbar sind. Auf den MRT-Bildern sind sie dagegen eindeutig zu erkennen.

Bei begleitenden Gefäßverletzungen wird die periphere Strombahn dopplersonografisch untersucht, um einen aktuellen Ausgangsbefund vorliegen zu haben. Im nächsten Schritt wäre eine präoperative Angiographie indiziert, falls diese ohne großen Zeitverlust angefertigt werden kann. Dann erfolgt die notfallmäßige Reposition und Osteosynthese. Häufig sind die Gefäße durch die Fehlstellung der Fraktur nur geknickt und nicht abgerissen, dann sind sie nach der Reposition der Fraktur wieder durchgängig. Ideal ist, wenn die Möglichkeit für eine intraoperative Angiografie besteht. Dann kann man unmittelbar nach der Osteosynthese ohne Zeitverlust, Lagerungs- oder Transportaufwand die Gefäße darstellen und ggf. intervenieren.

Klassifikation

Es gibt verschiedene Klassifikationen zur Einteilung der Schienbeinkopffrakturen. Besonders verbreitet ist die Einteilung der AO. Sie gibt einen guten Überblick über die verschiedenen Frakturen, aus denen sich die einzelnen Behandlungsformen ableiten (◘ Abb. 10.56).

Therapie

A1: Knöcherner Bandausriss

Ein isolierter Ausriss der Eminentia intercondylaris kommt häufig bei Jugendlichen, aber auch bei Erwachsenen vor. Er wird am schonendsten arthroskopisch unterstützt versorgt. Dieses Vorgehen ist technisch anspruchsvoll.

Für die Fixierung des Fragments eignen sich verschiedene Implantate. Am stabilsten ist die Cerclage mit einer 1,0 mm starken Drahtschlinge. Die Arthroskopie beginnt mit dem Ausspülen des Hämarthros. Dann wird der Ausriss inspiziert und mit dem Tasthaken reponiert. Um für die nun folgende Fixierung ausreichende Sicht zu bekommen, empfiehlt es sich, den Hoffa-Fettkörper mit einem Shaver oder Cutter einzukürzen. Nun wird über dem medialen Aspekt des Tibiakopfs, an der Stelle, an der auch der Knochentunnel für eine Kreuzbandplastik gebohrt würde (s. oben), ein 2–3 cm kurzer Zugang geschaffen und die Kortikalis freigelegt. Dann wird Freihand oder unter Zuhilfenahme eines Zielgeräts ein 2 mm starker K-Draht zur medialen Seite des Eminentiaausrisses vorgebohrt. In dieses Bohrloch wird anschließend der 1,0er Cerclagendraht eingeschoben. Wenn dessen Spitze das Gelenk erreicht hat, wird sie mit einer kräftigen Klemme, am besten einem dünnen Nadelhalter, über den Instrumentenzugang gefasst und durch den eminentianahen Anteil des vorderen Kreuzbandes geführt. Dieser Schritt gelingt nur, wenn das ausgerissene Eminentiafragment gleichzeitig in seinem knöchernen Bett gegengehalten wird. Dazu bedarf es eines weiteren Instrumentenzugangs, der median, transpatellar anlegt wird. Über diesen Zugang kann ein kleiner Einzin-

kerhaken oder auch ein stabiler Tasthaken ins Gelenk eingeführt und damit das Fragment nach distal gezogen werden. Wenn die Spitze des Cerclagendrahts auf der lateralen Seite sichtbar wird, schiebt man sie zunächst nicht weiter, sondern fixiert den Cerclagendraht manuell in dieser Position, bis mit dem 2,0er K-Draht oder auch einem 3,2er Bohrer ein weiteres Bohrloch vom medialen Aspekt des Schienbeinkopfs aus, diesmal aber auf die laterale Seite des Eminentiaausrisses, geschaffen ist. Dann wird in dieses Bohrloch eine dicklumige Kanüle als Gleithilfe eingeführt. Anschließend wird der Nadelhalter über den transpatellaren Zugang ins

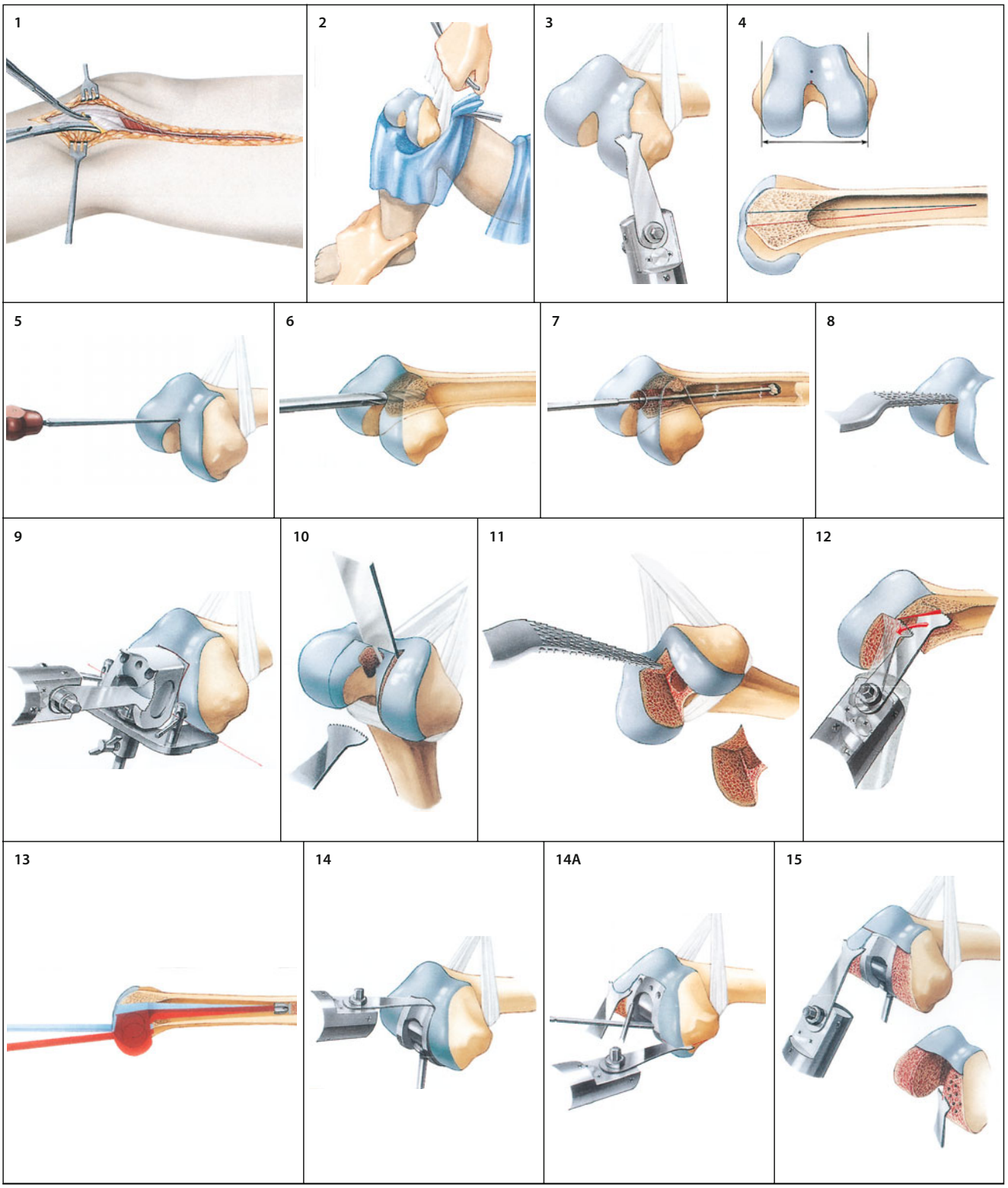
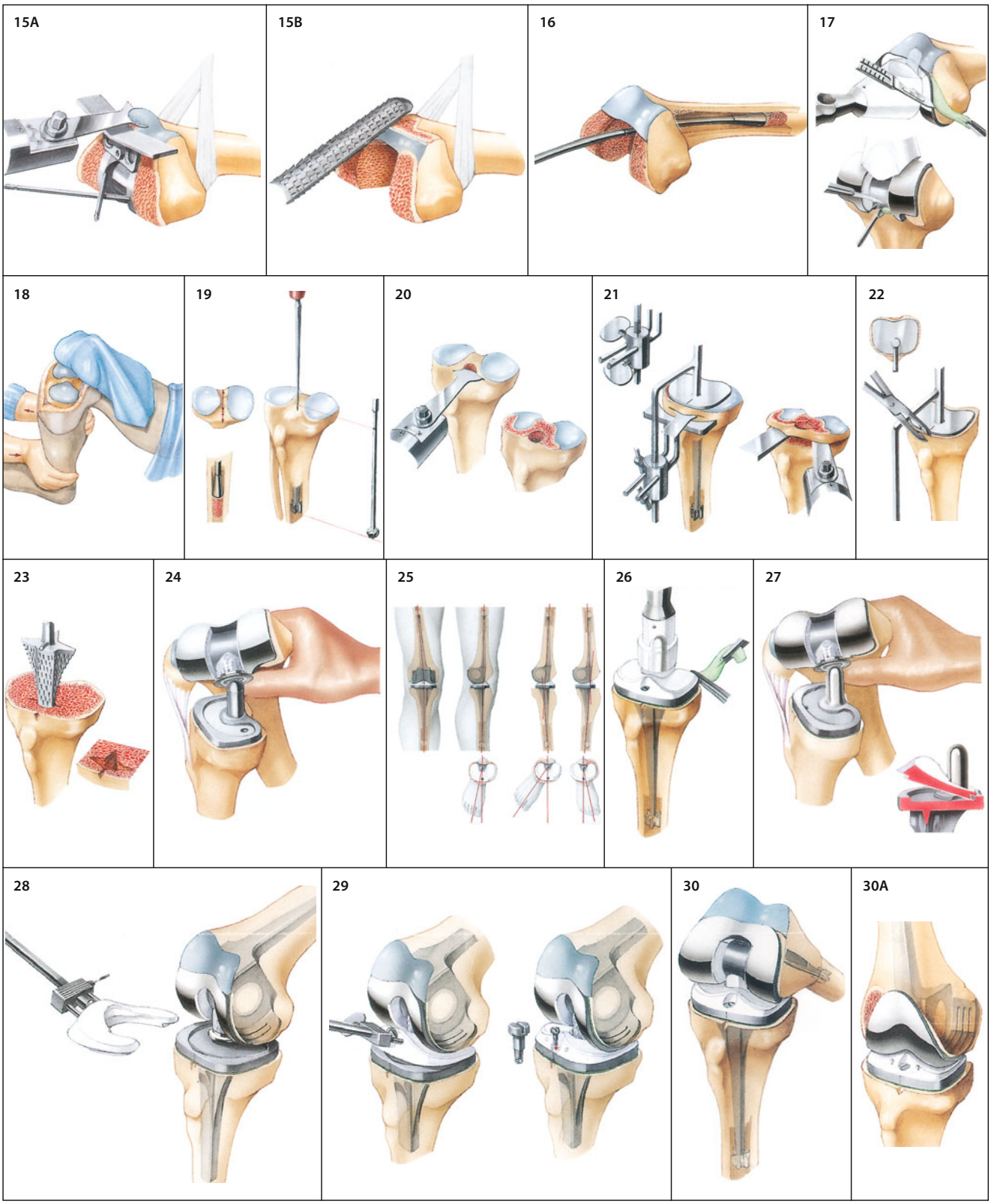


Abb. 10.55 Schematische Darstellung der Operationstechnik zum Einbau eines Rotationsknies. (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Link)

Gelenk eingebracht, die Cerclagenspitze gefasst und in die Spitze der Kanüle eingeführt, mit deren Hilfe man schließlich den Draht aus dem Bohrloch nach außen schiebt. Zuletzt wird die Cerclage bei korrekter Reposition des Eminentiafragments vorgespannt und verdrillt (Abb. 10.21).

Als Alternative kann bei sehr guter Knochenqualität, wie sie bei Jugendlichen vorkommt, das Fragment auch mit zwei gekreuzten 1,5er K-Drähten fixiert werden. Allerdings ist die Stabilisierung nicht so zuverlässig wie die mit einer Cerclage. Zum einen kann es selbst unter Einsatz des Bildwandlers sehr schwierig sein, das



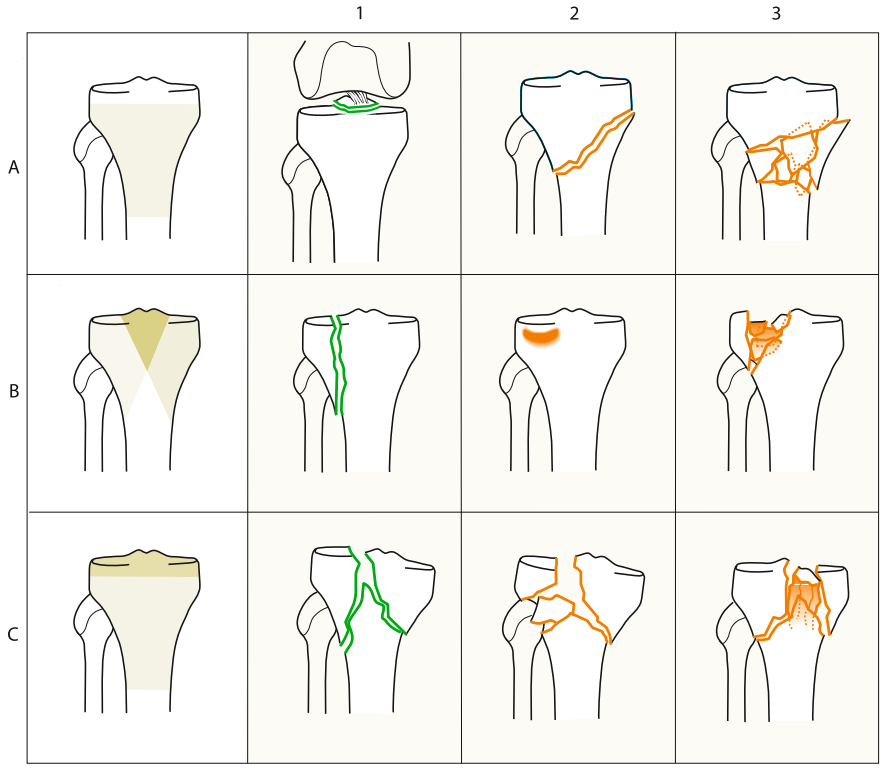


Abb. 10.56a–c AO-Klassifikation der Region 41 Tibiakopffraktur. Typ A: Extraartikuläre Fraktur, das Gelenk ist nicht direkt betroffen, und die Gelenkflachen sind nicht mit einbezogen. Typ B: Partiell intraartikuläre Fraktur, das Gelenk ist nur zu einem Teil betroffen, andere Anteile des gelenktragenden Knochens stehen noch in Kontakt zum Schaft. Typ C: Komplex intraartikuläre Fraktur, hier ist die Gelenkfläche mit den Frakturfragmenten vollständig von der Diaphyse gelöst.
a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3): A1: Ausriss der Eminentia intercondylaris; A2: Metaphysär einfach; A3: Metaphysär mehrfragmentär.
b Partiell intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3): B1: Reiner Spaltbruch, meist mit Depression, d.h. Absinken des frakturierten Anteils; B2: Impression; B3: Kombinationen aus Spalt- und Impressionsbrüchen.
c Vollständig intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen C1.1–C3.3): C1: Artikulär einfach, metaphysär einfach; C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär; C3: Artikulär und metaphysär mehrfragmentär. (Aus: Müller-Mai 2010)

Fragment zentral zu treffen. Zum anderen können auch bei sehr fester Knochenqualität die Drähte im weiteren Verlauf wandern. Dies führt zum vorzeitigen Repositionsverlust, insbesondere dann, wenn mehrere Fehlbohrungen vorausgegangen sind.

Wenn das Fragment ausreichend groß ist, kann es auch mit einer Kleinfragmentschraube refixiert werden, ggf. mit Spikeunterlegscheibe. Man geht arthroskopisch unterstützt vor, wie es oben beschrieben wurde. Das Fragment wird mit einem Einzinkerhaken reponiert gehalten. Über einen hohen parapatellaren medialen Instrumentenzugang kann mit einem 2er K-Draht oder 3,2er Bohrer vorgebohrt und das Fragment anschließend mit einer Schraube fixiert werden (Abb. 10.57).

Die Therapie bei knöchernen Sehnen- oder Bandausrissen von der Tuberositas tibiae und dem Fibulaköpfchen ist unter den jeweiligen Abschnitten abgehandelt (s. oben).

A2: Einfach metaphysär/A3: Mehrfragmentär metaphysär

Einfache und mehrfragmentäre metaphysäre Tibiakopffrakturen, also sehr weit proximal gelegene Frakturen, können problematisch in Hinblick auf eine korrekte Reposition und stabile Retention sein. Der gelenknahe Bruchverlauf schafft ungünstige Hebelverhältnisse, und die Weichteildeckung ist in dieser Region eher dünn. Für diese Frakturen eignen sich winkelstabile anatomisch konfigurierte Schrauben-Plattensysteme und verbesserte Marknägel mit erweiterten Verriegelungsoptionen, die eine stabile und weichteilschonende Versorgung ermöglichen.

LISS-Plattenfixateur. In zahlreichen Studien wurde bewiesen, dass das Limited-Invasive-Stabilisation-System, kurz LISS genannt, gute Ergebnisse bringt (Beck et al. 2008). Die Winkelstabilität ermöglicht eine sichere Retention. Die halboffene perkutane Operationstechnik über einen Zielbügel schont die Weichteile. Allerdings kann das Offset der Platte unter den Weichteilen am Tibiakopf deutlich auftragen und eine erhöhte Nahtspannung verursachen.

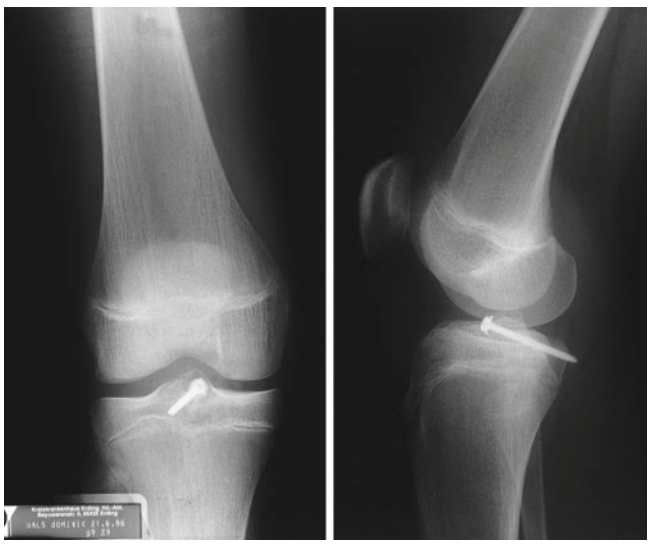


Abb. 10.57 Mit einer Schraube und Spikeunterlagscheibe refixierter knöcherner Ausriss des vorderen Kreuzbandes. Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen

Zwar ist das proximale Plattenende der Anatomie des Schienbeinkopfs angepasst, aber das Design ist für einen Durchschnitt verschiedener Menschen gemacht und kann in Einzelfällen von der individuellen Anatomie des Patienten erheblich abweichen. Das Plattenende steht in solchen ungünstigen Fällen vom lateralen Aspekt des Tibiakopfs weit ab und drückt permanent gegen die Weichteildeckung. Das macht nicht nur Probleme beim Wundverschluss, sondern insbesondere auch bei der Nachbehandlung, bis hin zur Notwendigkeit der vorzeitigen Implantatentfernung.

Aber auch das praktische Vorgehen birgt Schwierigkeiten. Es bedarf einer guten Vorstellung, um intra- und postoperativ keine

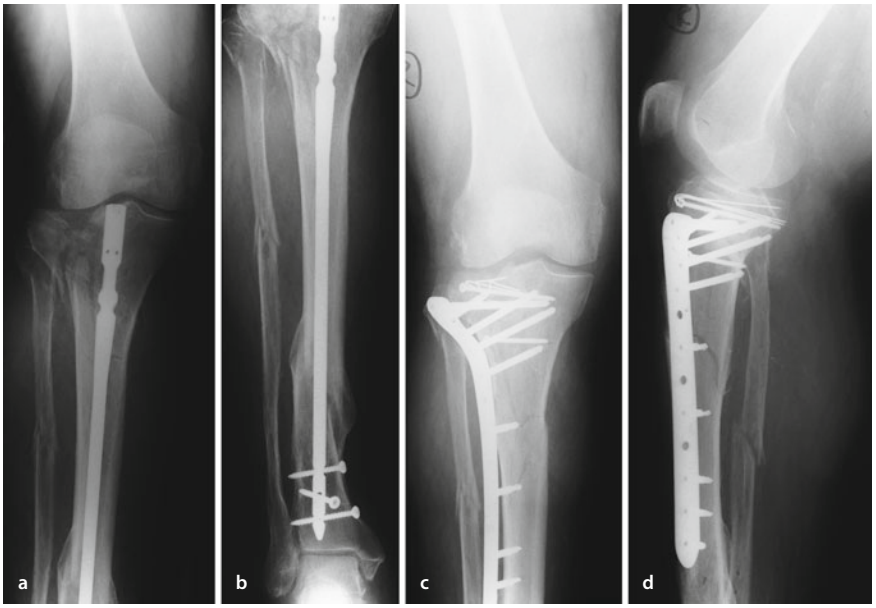


Abb. 10.58a–d **a,b** Tibiakopf-Spaltimpressionsfraktur bei ausgeheilter Unterschenkelschaftfraktur mit noch einliegendem Marknagel. **c,d** Stabilisierung nach Implantatentfernung mit dem LISS-Plattenfixateur

Überraschungen zu erleben, denn wenn die ersten Schrauben gesetzt sind, gibt es keine Korrekturmöglichkeiten mehr.

Vor der Operation wird anhand der präoperativen Röntgenbilder mit Schablonen eine Platte geeigneter Größe ausgewählt. Drei verschiedene Längen stehen zur Verfügung: kurz, mittel und lang, mit 5, 9 und 13 Plattenlöchern. Außerdem werden die Schraubenlängen abgeschätzt, die im proximalen Hauptfragment eingebracht werden sollen.

Das Implantat wird über einen kurzen lateralen Zugang am proximalen Unterschenkel epiperiostal unter die Muskulatur eingeschoben. Der Schnitt beginnt anterolateral etwa 1 cm oberhalb des Gelenkspalts und verläuft mittig zwischen Patellarsehne und Fibulaköpfchen, etwa 6 cm weit nach distal. Die Faszie wird gespalten. Im distalen Wundbereich wird die Muskulatur in Faserrichtung auseinander gedrängt, bis das Periost erreicht ist. Dann werden auf epiperiostalem Niveau die Weichteile digital oder mit einer langen Präparierschere unterminiert. Anschießend schiebt man die an einem Zielbügel befestigte Platte in diesen Weichteiltunnel. Das Implantat wird unter Bildwandlerkontrolle am lateralen Aspekt des Tibiakopfs und an der Flucht des Tibiaschafts in beiden Ebenen ausgerichtet. Zunächst wird es mit 2 K-Drähten durch jeweils ein dafür vorgesehenes proximales und distales Loch in der Platte vorläufig fixiert. Die Reposition der Fraktur hinsichtlich Achse, Länge und Rotation wird durch Zug am Bein bei unterpolstertem Knie erreicht.

Wenn die Platte zu weit vom Knochen entfernt ist, wirkt sich das schlecht auf die Weichteile aus, ist sie zu nah, kann sie eine Varusfehlstellung der proximalen Tibia verursachen und die periostale Durchblutung beeinträchtigen. In der Regel ist das Offset nach dem Einschieben der Platte meist zu groß. Es kann mit einem Zuginstrument, das aussieht wie eine Schanz-Schraube, auf einfache Weise verringert werden. Die Schanz-Schraube wird über eine Zielhülse, die in der geeigneten Höhe am Zielbügel eingebracht wird, im Knochen fest verankert. Dann wird eine Rändelmutter auf das Ende der Schanz-Schraube gedreht, bis sie Kontakt mit der Zielhülse bekommt. Nun wird die Rändelmutter unter Bildwandlerkontrolle weiter gedreht. Sie schiebt die Zielhülse, deren anderes Ende an der Platte aufsetzt, vor sich her. Dadurch lässt sich die Platte der Knochenoberfläche annähern und ein verbliebener Varus- oder Valgusknick auf sehr einfache Art ausgleichen. Beim Anziehen der Rändelschraube muss man nicht nur die Stellung der Fraktur, sondern auch den Sitz der Schanz-Schraube laufend kontrollieren, denn der kann sich bei schlechter Knochenqualität rasch lockern, insbesondere dann, wenn man die Gegenkortikalis nicht mit dem Gewindeanteil der Schanz-Schraube erfasst hat, sondern nur mit der Bohrspitze, die schon bei geringer Zugbelastung ausreißen kann.

Da man mit dem relativ kleinen Ausschnitt, den der Bildwandler liefert, die Beinachse nicht ausreichend beurteilen kann, lohnt es sich, in dieser Phase der Operation die Beinachse mit der Kabelmethode (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk) zu kontrollieren, weil jetzt noch alle Korrekturmöglichkeiten offen stehen.

Wenn Fraktur und Platte richtig stehen, werden die einzelnen Plattenlöcher mit Schrauben besetzt. Dabei kann man abhängig von der Knochenqualität mono- oder bikortikale Schrauben verwenden. Die Schrauben sind selbst bohrend und schneidend. Die Plattenlöcher selbst tragen ein Gewinde, in das die Schraubenköpfe mit einem Drehmomentbegrenzer eingedreht werden. Dadurch ergibt sich die Winkelstabilität des Implantats.

Nur bei ganz schlechter Knochenqualität werden distal alle Plattenlöcher besetzt, ansonsten richtet man sich nach den Prinzipien der Plattenosteosynthese (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk). Die kallöse Bruchheilung wird gefördert, wenn das Implantat schwingen kann. Deshalb bleiben die Plattenlöcher in unmittelbarer Nachbarschaft zur Fraktur am besten unbesetzt. Auch bei sehr weit proximal liegenden Bruchverläufen gibt es viele Optionen in Form zahlreicher Plattenlöcher, die so gerichtet sind, dass das proximale Hauptfragment mit 5 oder mehr Schrauben gefasst werden kann. Dabei ist es insbesondere bei kurzem proximalen Hauptfragment und schlechter Knochenqualität sehr wichtig, dass die Schraubenspitzen bis zur Gegenkortikalis reichen, um einen ausreichend stabilen Sitz im weichen spongiösen Knochen zu erhalten, denn in der Lichtung des Schienbeinkopfs ist der Knochen sehr weich und bei ausgeprägter Osteoporose zystisch abgebaut.

Durch die divergierende und gleichzeitig winkelstabile Ausrichtung der einzelnen Schrauben mit ausreichender Länge wird aber eine sehr hohe Stabilität erreicht. Dies spiegelt sich in hohen Ausheilungsraten wider (Beck et al. 2008). Die guten Ergebnisse können für diese problematische Region nicht hoch genug eingeschätzt werden (Abb. 10.58).

Ein Plattenfixateur ist bei gelenknahen Frakturen insbesondere bei schlechter Knochenqualität oder Trümmerfrakturen, die sich nicht abstützen, der herkömmlichen Plattenosteosynthese überlegen.

Bei der Implantatentfernung müssen zuerst alle Schrauben entriegelt werden, bevor sie im zweiten Schritt komplett herausgelöst werden, sonst kann sich die Platte beim Entfernen der letzten Schraube mitdrehen und die umliegenden Weichteile quetschen. Wenn der Schraubenzieher nicht greift, weil der Innensechskant beschädigt ist oder der Schraubenkopf sich nicht entriegeln lässt, wird in den Schraubenkopf eine konische Extraktionsschraube mit Linksgewinde eingesetzt und durch Linksdrehen im Innensechskant verkeilt, bis sich die Schraube mitdreht und auf diese Weise entfernt werden kann.

Retrograder Tibianagel. Hofmann (2002) hat einen retrograden Tibianagel (RTN) entwickelt, der für die proximalen Unterschenkelfrakturen geeignet ist. Dieser Nagel wird über einen vorderen Zugang zum oberen Sprunggelenk sagittal in die distale Tibia eingebracht. Er hat eine flexible kufenförmige Spitze, durch die insgesamt 6 Verriegelungsschrauben eingebracht werden können. Distal kann der Nagel zweifach verriegelt werden oder einfach mit zusätzlichem Einsatz einer Schubschraube, mit der die Fraktur unter Kompression gebracht werden kann. Der Nagel eignet sich insbesondere für proximale Frakturen oder Korrektureingriffe (Abb. 10.74).

B1: Spaltbruch

Wenn man diese Frakturen arthroskopisch unterstützt reponiert, lässt sich die Stellung der Gelenkfläche exakt beurteilen. Gleichzeitig können etwaige intraartikuläre Schäden mitbehandelt werden. Es ist aber genauso möglich, die Gelenkfläche durch eine quere Inzision der meniskotibialen Aufhängung einzusehen. Dabei empfiehlt sich, an der proximalen Lippe Haltefäden anzubringen, um den Meniskus daran nach kranial ziehen zu können.

Durch Varus- oder Valgusstress und Innen- oder Außenrotation kann die Stellung der Fraktur beeinflusst werden. Über Stichinzisionen werden eine, besser aber zwei große Repositionszangen angesetzt. Wenn das abgesprengte Hauptfragment in beiden Bildwandlerebenen oder unter arthroskopischer Sicht richtig steht, wird der Bruchspalt durch Schließen der Repositionszangen komprimiert. Die nun folgende Osteosynthese wird mit perkutan eingebrachten 6,5 mm-Spongiosazugschrauben durchgeführt. An Stellen, an denen der Knochen relativ weich ist, also in Gelenkflächennähe, werden Unterlegscheiben verwendet. Es können auch kanülierte Schrauben eingesetzt werden. Bei sehr gutem Schraubenhalt und fester Knochenqualität können 2 Schrauben ausreichen. Wenn genügend Platz vorhanden ist, können aber auch mehr Schrauben verwendet werden (Abb. 10.59). Wenn das abgesprengte Fragment distal vom Knochen etwas absteht, empfiehlt es sich, an dieser Stelle eine kleine Inzision zu schaffen, die Spitze des Fragments anatomisch zu reponieren und festzuschrauben. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Höheneinstellung exakt stimmt. Anschließend wird mit Hilfe der proximalen Zugschrauben der Bruchspalt unter Kompression gebracht.

Bei älteren Patienten, bei denen die Knochenqualität nicht mehr so gut ist, geben die Unterlegscheiben unter Umständen zu wenig Widerlager, um die Fraktur ausreichend zu komprimieren. In diesem Fall bedarf es einer Abstützplatte, die wie eine übergroße Unterlegscheibe wirkt. Da eine monokondyläre Verletzung vorliegt, kann man den abgesprengten Kondylus am unverletzten fixieren. Aus diesem Grund genügt es, eine Kleinfragmentabstützplatte zu verwenden. Sie trägt weniger auf, und die Kleinfragmentschrauben finden im metaphysären Knochen meist erstaunlich guten Halt.

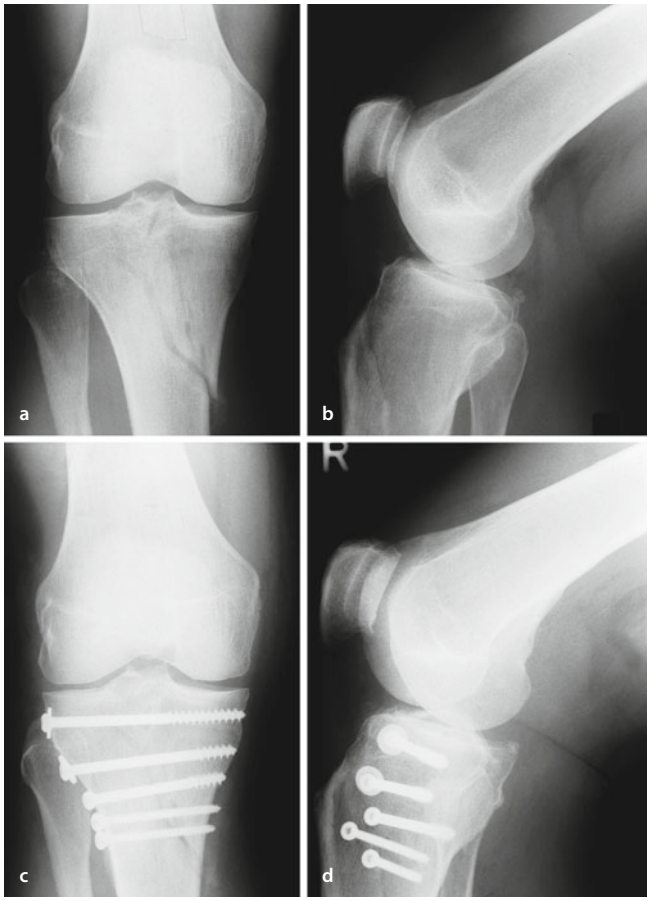


Abb. 10.59a–d 60-jähriger Patient mit monokondylärer Tibiakopffraktur. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Postoperative Kontrollen nach Schraubenosteosynthese. Die Schrauben wurden wegen der besseren Weichteildeckung von lateral eingebracht

Jetzt ist das Kniegelenk knöchern stabilisiert und dadurch eine Bandprüfung möglich. Kollateralbandverletzungen können, wenn die Kreuzbänder intakt sind, funktionell behandelt werden. Ein Kreuzbandersatz würde erst nach Ausheilung der Tibiakopffraktur durchgeführt werden. Meniskusläsionen können im Rahmen einer begleitenden Arthroskopie gesichert und behandelt werden (▶ Abschnitt 10.2.1, Menisken, Arthroskopie).

B2: Impression/B3: Spaltbruch plus Impression

Impressionsfrakturen liegen meist im lateralen Tibiaplateau, kommen aber auch medial vor. Reine Impressionen sind selten. Häufig handelt es sich um eine Kombination aus Spaltbruch und Impression.

Für die Reposition und Osteosynthese kommen insgesamt 3 Zugänge infrage, der laterale zum Tibiakopf, der streckseitige zum Kniegelenk oder der mediale zum Tibiakopf (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der laterale oder mediale Zugang zum Schienbeinkopf eignet sich sehr gut für eine Versorgung, die auf eine der beiden Tibiaplateauhälften begrenzt bleibt. Wenn hingegen der Gelenkbinnenraum und beide seitlichen Aspekte des Schienbeinkopfs erreicht werden müssen, weil begleitende Gelenkverletzungen wie eine Patellafraktur oder ein Eminentiaausriss mitbehandelt wer-

den sollen, wird besser ein streckseitiger Zugang zum Kniegelenk gewählt.

Bei bloßer Impression eines Gelenkflächenabschnitts, ohne begleitende Spaltbildung, muss ein Kortikalisfenster angelegt werden, um darüber den eingedrückten Gelenkflächenabschnitt heben zu können. Dabei muss ausreichend weit kaudal in den Markraum eingegangen werden, um mit einem geraden oder gebogenen Stößel, der einen verbreiterten Fuß hat, entgegengesetzt zur Impressionsrichtung Kraft ausüben zu können. Das Kortikalisfenster wird deshalb etwa 6 cm unterhalb der Gelenkfläche am anterolateralen Aspekt des Schienbeinkopfs angelegt. Weil der Stößel schräg von kaudal nach kranial gerichtet in den Markraum eintreten muss, wird das Fenster länglich konfiguriert. Die Fensterbreite entspricht dem Durchmesser des Stößelfußes und schwankt zwischen 10 und 15 mm, die Höhe zwischen 20 und 30 mm. An den 4 Eckpunkten wird jeweils ein 4,5er Bohrloch gesetzt, dann wird die Kortikalis an den Seiten mit einem Meißel durchschlagen und der Kortikalisdeckel hoch gehebelt. Wenn möglich, bleibt eine Seite im periostalen Verbund.

Beim Heben der imprimierten Gelenkfläche muss der Gelenkflächenverbund erhalten bleiben. Der Stößel darf die Gelenkfläche nicht perforieren. Der imprimierte Bezirk wird als Ganzes gehoben. Dazu muss der Stößelfuß unter Umständen an mehreren Stellen angesetzt werden, um die gesamte verdichtete Spongiosa schrittweise nach kranial verlagern zu können. Die Orientierung erfolgt mit dem Bildwandler, dem Arthroskop oder durch offene Sicht ins Gelenk durch quere Inzision des meniskotibialen Bandes und Anschlingen des Bandes mit Haltefäden. Bei der Reposition muss berücksichtigt werden, dass das laterale Tibiaplateau nicht wie das mediale konkav, sondern konvex ist. Da Repositionsverluste durch Sinterungsprozesse eintreten können, empfiehlt sich eine leichte Überkorrektur.

Die durch das Hochstößeln entstandene Höhlenbildung unter der Impressionszone wird mit einem großen kortikospongiösen Block und zusätzlichen Spongiosachips aufgefüllt. Unterbleibt dies, besteht die Gefahr, dass die Gelenkfläche unter zunehmender Belastung allmählich in den Defekt zurücksintert und der laterale Kondylus valgisch in den Schienbeinkopf eintaucht. Zum Unterfüttern können auch Hydroxylapatitzylinder verwendet werden. Man spart sich dadurch die Entnahme und den Hebedefekt. Allerdings hat der körpereigene Knochen wesentlich bessere mechanische Eigenschaften und durch Verdichten des eingebrachten Knochens kann die Primärstabilität erhöht werden. Darüber hinaus kann der eingebrachte Span mit einer Kleinfragmentschraube abgestützt werden. Deshalb wird Hydroxylapatit im eigenen Vorgehen nicht verwendet. Für größere Defekte eignet sich aber Fremdknochen aus der Knochenbank oder gefriergetrockneter Spenderknochen deutlich besser, weil er mechanisch viel besser belastbar ist (z.B. DIZG, Berlin, www.dizg.de).

Häufig liegt nicht nur eine Impression, sondern auch ein Spaltbruch vor. Dann wird dieser als Zugang und zum Heben der Impressionszone genutzt. Zunächst wird der Bruchspalt aufgesucht. Dies kann mühsam sein, wenn der Frakturspalt eng und das darüber liegende Periost noch intakt ist. Dann hilft der Bildwandler weiter. Wenn der Bruchspalt im Bereich des anterolateralen Tibiakopfs identifiziert ist, wird er mit einem Raspatorium vorsichtig sondiert und durch Hebeln des lateralen Fragments nach dorsolateral erweitert. Nun kann die Impressionszone eingesehen werden. Das Frakturhämatom wird sorgfältig ausgespült. Dann wird die Impression gehoben. Das kann auf dieselbe Weise geschehen, wie es oben beschrieben wurde oder unter Verwendung eines breiten Lambotte-Meißels, mit dem das Imprimat hoch gehebelt wird. Der

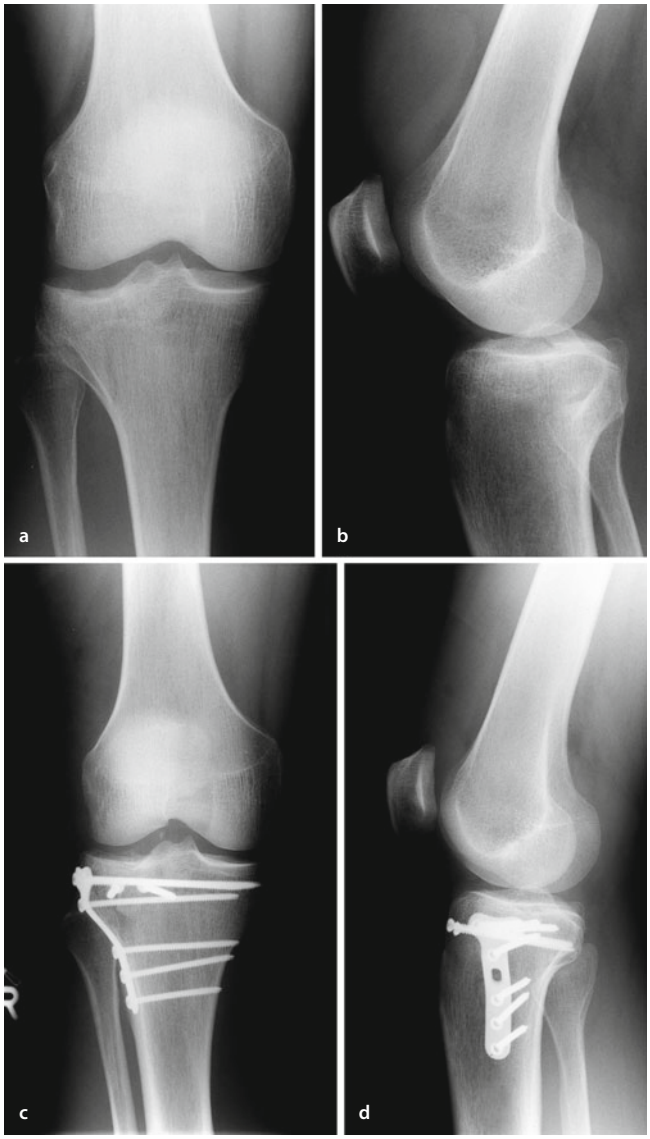


Abb. 10.60a–d Laterale Impressionsspaltfraktur des Tibiakopfs bei einem 47-jährigen Patienten. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Nach Hebung und Unterfütterung der Gelenkfläche mit einem trikortikalen Beckenkammspan wurde die Fraktur mit einer rostartigen Anordnung der Schrauben und einer Kleinfragmentplatte stabilisiert

Meißel wird mit vorsichtigen Schlägen unter Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen ins Zentrum des Schienbeinkopfs eingeschlagen. Es muss darauf geachtet werden, dass der gelenkflächentragende Knochen eine ausreichende Schichtdicke behält, um diesen nicht zusätzlich zu schwächen. Deshalb muss der Angelpunkt der Meißelspitze tief genug, etwa 2–3 cm unterhalb der Gelenkfläche eingeschlagen und genügend weit nach medial gelegt werden, damit beim Hochhebeln des Imprimats ein ausreichender Hub erreicht wird.

Durch das Hebeln entsteht unter dem angehobenen Gelenkflächenabschnitt ein keilförmiger Defekt, der sich gut mit einem entsprechend dimensionierten trikortikalen Knochenspan aus dem Beckenkamm unterfüttern lässt. Der Span wird in die Höhle mit einem Stößel eingebolzt. Dann wird er in dieser Position verklemmt, indem der laterale Knochendeckel, der anfangs zur Seite gehebelt wurde, wieder geschlossen wird. Der Knochendeckel kann

leicht brechen, wenn er nur mit Interfragmentärschrauben fixiert würde. Es ist sicherer und die Osteosynthese stabiler, wenn man den Deckel mit einer lateralen Abstützplatte anpresst. Da keine komplette Schaftfraktur vorliegt, genügt es, wie beim isolierten Spaltbruch auch, Kleinfragmentimplantate zu verwenden. Um die Stabilität zu erhöhen und die gehobene Gelenkfläche besser abzustützen, können zusätzliche Interfragmentärschrauben in sagittaler Richtung subchondral eingebracht und auf diese Weise eine Art Rost zur Abstützung der gehobenen Gelenkfläche konstruiert werden (Abb. 10.60).

Es gibt Fälle, bei denen es schwierig ist, die richtige Höhe für die Gelenkfläche zu ermitteln. Nicht nur bei alten Patienten mit weicher Knochenqualität, auch bei jungen kann das Plateau nicht nur dorsal oder zentral eingedrückt sein, sondern nach stattgehabter Überstreckung auch ventral. Zur Orientierung dient im Zweifelsfall die Höhe der Oberkante des lateralen Kortikalisdeckels. Da der Deckel zu Beginn der Impression seitlich weggedrückt wird, bleibt seine ursprüngliche Höhe erhalten. Für die Höheneinstellung wird der distale Ausläufer der Fraktur aufgesucht, sparsam deperiostiert und anschließend anatomisch eingestellt. Wenn man nun den Deckel »zuklappt«, kann exakt erkannt werden, wo das Niveau des lateralen Plateaus eigentlich liegt. Dann wird unter Umständen erst deutlich, dass nicht nur eine zentrale Impression vorliegt, sondern der Schienbeinkopf auch ventral abgesenkt ist und gehoben werden muss. Die Absenkung ventral kann durch eine plastische Verformung des Schienbeinkopfs entstehen, die primär nicht als Fraktur erkennbar ist (Abb. 10.61).

C-Frakturen

Wenn einer der beiden Kondylen seine stabile Verbindung zur Tibia behalten hat, liegt eine monokondyläre Fraktur vor. Dann ist lediglich eine Hälfte der Gelenkfläche instabil. Der gegenüber liegende Kondylus kann in diesem Fall zur Fixierung genutzt werden. Bei guter Knochenqualität reichen wie bei einem einfachen Spaltbruch Interfragmentärschrauben aus, bei schlechter ist eine größere Auflagefläche in Form einer Abstützplatte nötig, um den Auflagedruck ausreichend zu verteilen.

Wenn beide Kondylen instabil sind, können sie miteinander interfragmentär verschraubt werden. Das hört sich lapidar an, ist aber im Einzelfall meist eine schwierige Angelegenheit. Abhängig von der jeweiligen Fraktur wird versucht, zunächst denjenigen Kondylus zu stellen, der sich leichter reponieren lässt. Über einen streckseitigen Zugang zum Kniegelenk werden die beiden Aspekte des Schienbeinkopfs dargestellt. Um die Reposition zu beurteilen, braucht das Gelenk nicht unbedingt eröffnet zu werden. Die Beurteilung kann auch arthroskopisch erfolgen. Der Kondylus wird nun zunächst mit K-Drähten der Stärke 2,0 mm vorläufig fixiert. Nach Reposition der Gegenseite kann eine bilaterale Plattenosteosynthese erfolgen. Allerdings sollte dabei möglichst weichteilschonend vorgegangen werden. Medial, wo die Weichteildecke dünner ist, wird unter Umständen nur ein Kleinfragmentplättchen benutzt, um damit die Frakturränder zu schienen und eine Abstützung zu ermöglichen (Abb. 10.62). Lateral können auch voluminösere Implantate untergebracht werden, z.B. eine winkelstabile Großfragmentabstützplatte. Ein LISS-System findet nur hier ausreichende

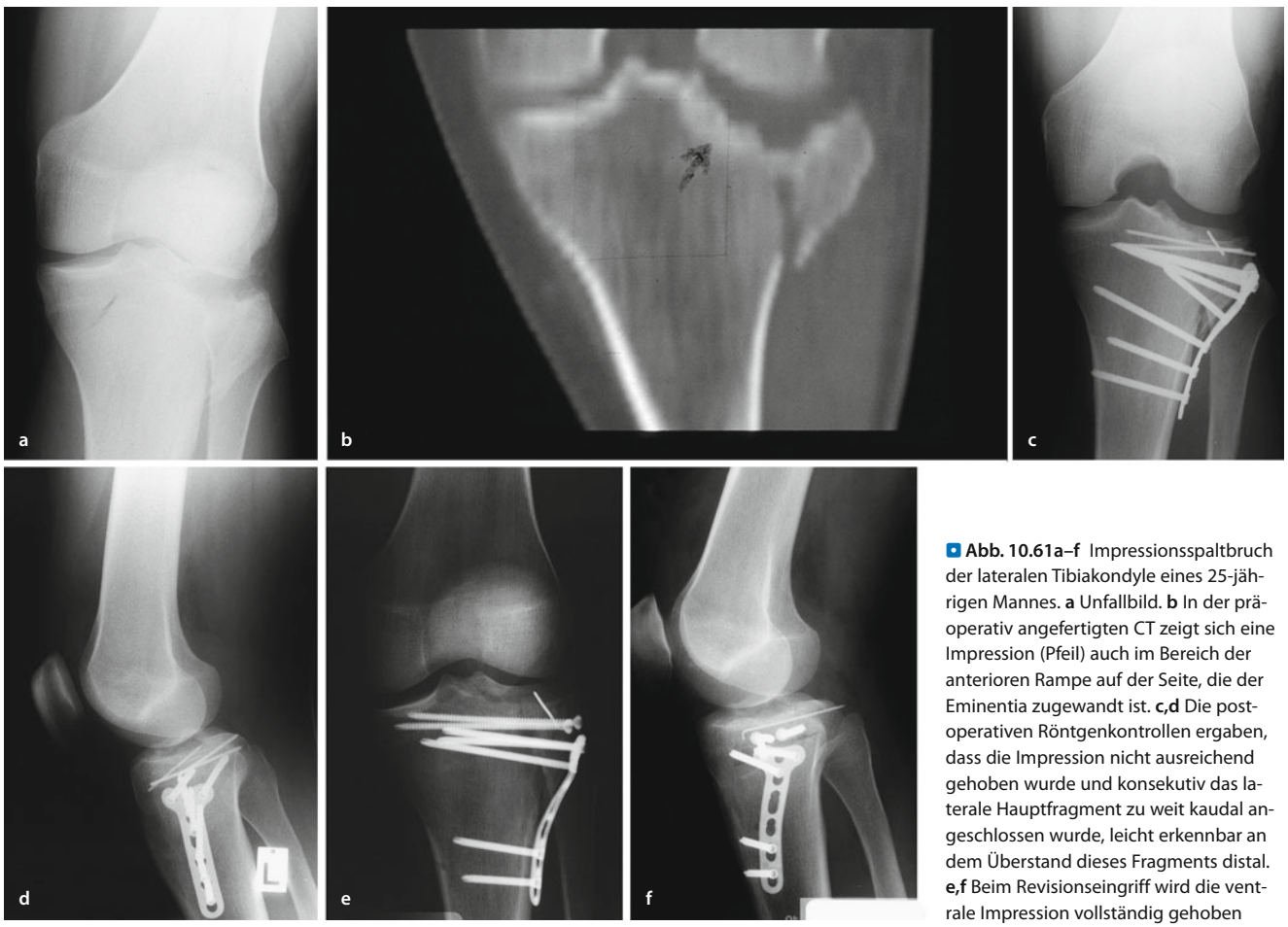


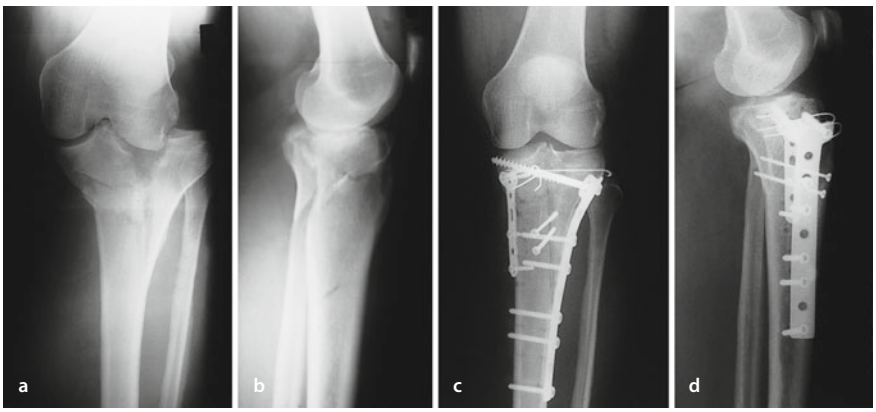
Abb. 10.61a–f Impressionsspaltbruch der lateralen Tibiakondyle eines 25-jährigen Mannes. **a** Unfallbild. **b** In der präoperativ angefertigten CT zeigt sich eine Impression (Pfeil) auch im Bereich der anterioren Rampe auf der Seite, die der Eminentia zugewandt ist. **c,d** Die postoperativen Röntgenkontrollen ergaben, dass die Impression nicht ausreichend gehoben wurde und konsekutiv das laterale Hauptfragment zu weit kaudal angeschlossen wurde, leicht erkennbar an dem Überstand dieses Fragments distal. **e,f** Beim Revisionseingriff wird die ventrale Impression vollständig gehoben

Weichteildeckung. Sein großer Vorteil ist, dass es wesentlich mehr Stabilität vermittelt als die herkömmliche Plattenosteosynthese und auf eine mediale Plattenanlage verzichtet werden kann. Wenn ein drittes Fragment vorliegt, ändert sich das Vorgehen nicht wesentlich. Man wird versuchen, das dritte Fragment an eine der beiden Kondylen oder dem distalen Hauptfragment anzulagern und vorläufig mit K-Drähten oder bereits definitiv mit einer Interfragmentärschraube zu fixieren, bevor ein Gelenkblock gebildet und mit dem Tibiaschaft verbunden wird.

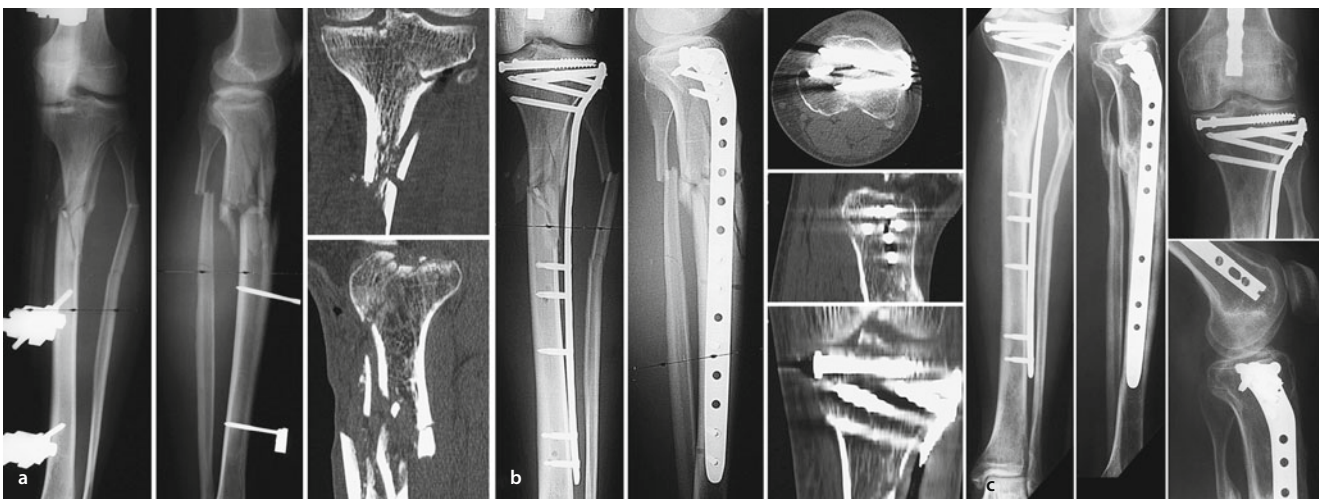
Intraartikuläre Trümmerfrakturen werden prinzipiell genauso versorgt wie bikondyläre Frakturen. Der meist weniger stark beschädigte mediale Kondylus wird mit K-Drähten oder Interfragmentärschrauben zu stabilisieren versucht, um ein Widerlager für den sich anschließenden Aufbau des lateralen Kondylus zu erlangen. Dieser weist meist einen Impressionsspaltbruch auf und wird nach Reposition sowie Hebung und Unterfütterung des Imprimats mit einer Abstützplatte versorgt, wie oben beschrieben.

Partenheimer und Mitarbeiter (2007) haben in einer multizentrischen Studie 68 Patienten mit 69 bikondylären Tibiakopffrakturen, die von insgesamt 41 verschiedenen Chirurgen operiert wurden, prospektiv untersucht. In allen Fällen erfolgte die Versorgung mit einer alleinigen unilateralen LISS-Plattenosteosynthese. Als Fehlreposition wurde eine verbliebene Gelenkstufe von >2 mm und als Achsabweichung in der Frontal- oder Sagittalebene ein Knick von >5° festgelegt. Infektionen wurden als solche gewertet, wenn eine operative Revision notwendig wurde und ein positiver Wundabstrich nachgewiesen werden konnte. Bei den meisten Frakturen wurde vor der Anlage der LISS-Platte ein Gelenkblock mit subchondral positionierten Interfragmentärschrauben gebildet. Eine primäre Spongiosaplastik wurde bei 3 Patienten durchgeführt. Bei der Analyse der postoperativen Röntgenkontrollen zeigten sich in 13 Fällen signifikante Gelenkstufen und Achsknicke, was einmal mehr deutlich macht, dass die Versorgung bikondylärer Frakturen schwierig ist. Im weiteren Verlauf heilten aber fast alle Frakturen regelrecht. Nur bei einem Patienten wurde ein Folgeeingriff mit zusätzlicher medialer Plattenanlage erforderlich. Die Infektionsrate war mit 4 oberflächlichen, bis zur Faszie reichenden und einem tiefen, subfaszial reichenden Infekt gering, obwohl 14 offene Frakturen eingeschlossen waren. Bei 9 Patienten wurde ein sekundärer Repositionsverlust beobachtet. Die Scores von 54 nachuntersuchten Patienten ergaben in 47 Fällen gute und exzellente Ergebnisse.

Die Studie beweist, dass aufgrund der niedrigen Infektionsrate und einer sicheren Knochenheilung die unilaterale Stabilisierung bikondylärer Tibiakopffrakturen mit einem winkelstabilen Plattenfixateur speziell bei Frakturen mit höhergradigem Weichteilschaden vorteilhaft ist (◘ Abb. 10.63).



◘ **Abb. 10.62a–d** Bikondyläre Tibiakopf-Spaltimpressionsfraktur. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Postoperative Kontrollen nach offener Reposition und Osteosynthese von medial und lateral



◘ **Abb. 10.63a–c** 39-jähriger polytraumatisierter Patient u.a. mit offener Tibiafraktur. **a** Am Unfalltag wurde eine Transfixation mit einem Fixateur externe vorgenommen. **b** Am 11. Tag Gelenkflächen- und Schaftstabilisierung mit Schrauben und langer Tibia-LISS. **c** Nach 12 Wochen weiterhin regelrechte Stellung im Bereich der Gelenkfläche und allseits durchbaute Frakturen. (Aus: Partenheimer et al. 2007)

Es gibt aber aussichtslose Fälle, bei denen die Zerstörung der Gelenkflächen so ausgedehnt ist, dass eine Rekonstruktion von vornherein nicht möglich ist. Dann bleiben verschiedene Möglichkeiten für das weitere Vorgehen: Zum einen die Montage eines gelenküberbrückenden Fixateur externe (▶ Kap. 9, Hüfte und Oberschenkel) oder besser eines Hybridfixateurs mit einem Ringsystem am Tibiakopf und Schanz-Schrauben am Tibiaschaft. Wenn die Instabilität nicht im Vordergrund steht, sondern nur die Impression, ist auch eine primär funktionelle Behandlung denkbar.

Über die endgültige Versorgung kann entschieden werden, wenn die Fraktur ausgeheilt ist und sichtbar wird, wie der Patient zurechtkommt. Zum einen besteht die Möglichkeit des endoprothetischen Kniegelenkersatzes (s. oben), zum anderen die der **Arthrodese**. Für die Arthrodese stehen zahlreiche Varianten zur Verfügung. Allen Verfahren gemeinsam ist, dass die Menisken und das vordere Kreuzband reseziert und die Gelenkflächen entknorpelt werden müssen, damit sie miteinander verknöchern können. Um die Fläche zu vergrößern, wird die femorale und tibiale Ebene begradigt. Im vorderen Gelenkraum wird die ebenfalls entknorpelte Patella festgeschraubt. Als Implantat bietet sich ein überlanger Marknagel an. Es gibt aber auch einen speziellen Arthrodesennagel (Fa. Link), der aus 2 Hälften besteht, einer femoralen und einer tibialen Komponente (◘ Abb. 10.38). Die Komponenten werden in beiden Röhrenknochen einzementiert und anschließend im Kniegelenkniveau miteinander verschraubt.

Die Technik der Arthrodese mit einem im Markraum liegenden Implantat bietet einen deutlich höheren Komfort für die Nachbehandlung als der Fixateur externe. Allerdings gibt es bei kritischen Weichteilverhältnissen keine Alternative zur äußeren Fixation. Prinzipiell lässt sich mit jeder Art Fixateur die Versteifung herbeiführen. Hinsichtlich der Stabilität muss jedoch darauf geachtet werden, dass günstige Hebelverhältnisse herrschen und die Pins gelenknah und gelenkfern verteilt sitzen. Bei schlechter Knochenqualität kann es erforderlich sein, 2 Systeme miteinander zu kombinieren, z.B. einen Spindelfixateur gelenknah, über den maximale Kompression aufgebaut werden kann, und einen Klammerfixateur gelenkfern, der die Hebelkräfte neutralisiert.

Primäre Endoprothetik. Beim älteren und alten Patienten scheint jedoch angesichts der zunehmend guten Ergebnisse bei der Endoprothetik die Ausweitung der Indikation für nicht rekonstruierbare Tibiakopffrakturen als Primärmaßnahme nahe liegend. In der Literatur gibt es wohl Mitteilungen über die sekundäre Endoprothetik nach fehlgeschlagenen Osteosynthesen bei Tibiakopffrakturen, aber nur vereinzelt Berichte über die primäre.

Schwarz und Mitarbeiter (2008) haben 10 Patienten im Alter zwischen 59 und 86 Jahren mit proximalen Tibiafrakturen der AO-Typen B3 oder C3 primär mit einem endoprothetischen Gelenkersatz versorgt. In einem Fall wurde eine unikondyläre Prothese verwendet, in 3 ein bikondylärer Oberflächenersatz und in 6 Fällen eine Revisionsprothese. In 2 Fällen bestand postoperativ der Verdacht auf eine Infektion, die sich aber nur in einem Fall bestätigte, dies allerdings bei einer Raucherin mit Diabetes mellitus. Ansonsten traten keine Komplikationen auf. Dagegen ist die perioperative Komplikationsrate bei der sekundären Endoprothetik nach Tibiakopffraktur im Vergleich zur primären bei Gonarthrose deutlich erhöht.

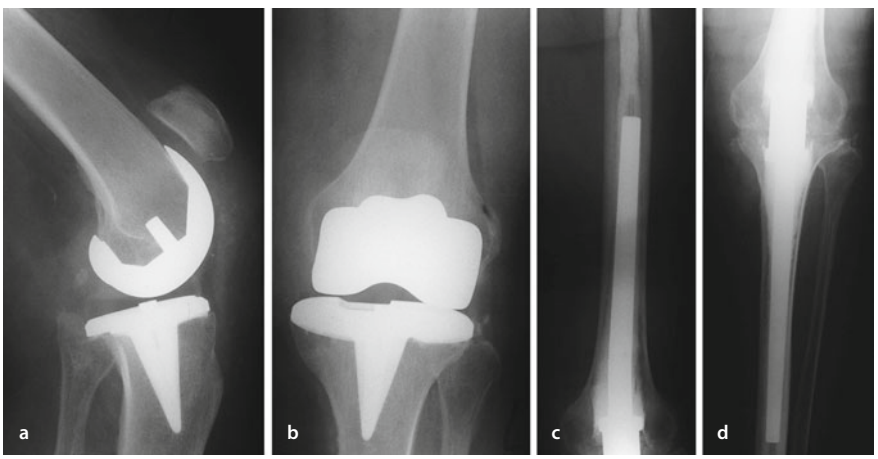
Durch die primäre Endoprothetik erspart man dem Patienten einen aufwändigen und unter Umständen frustranen Rekonstruktionsversuch, der bei Zertrümmerung der Gelenkfläche und begleitender Osteoporose erhebliche Probleme bereiten kann. Außerdem fällt die Notwendigkeit der postoperativen Entlastung weg, die bei diesen schwersten Bruchformen mehrere Monate betragen kann. Das Risiko eines Sekundäreingriffs bei neuerlicher Dislokation oder posttraumatischer Arthrose ist nicht gegeben (◘ Abb. 10.65).

Als Indikationen für eine primäre Endoprothese nennen Schwarz und Mitarbeiter (2008):

- Patientenalter >50 Jahre
- Nicht rekonstruierbare B3- oder C3-Fraktur oder ausgedehnte Knochendefekte bei Osteoporose
- Vorbestehende Arthrose
- Übergewicht
- Stoffwechselstörung
- Mangelnde Compliance

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt im Allgemeinen frühfunktionell. Das Bein wird für 6–12 Wochen nur mit 15 kg teilbelastet. Den genauen Zeitraum legt der Operateur abhängig vom jeweiligen Fall fest. Das gilt auch für das Ausmaß des erlaubten Bewegungsumfangs, das sonst schmerzabhängig freigegeben wird. Bei begleitenden Kapsel-Band-Verletzungen kann das Tragen einer Orthese sinnvoll sein. Zur Prophylaxe einer muskulären Atrophie und Thrombose sollte von Anfang an isometrisch geübt werden. Lymphdrainage ist meist sinnvoll, weil diese Verletzung erhebliche Schwellungszustände verursachen kann, wie immer, wenn große metaphysäre Bruchflächen entstehen.



◘ **Abb. 10.64a–d** Auswärts voroperierte 76-jährige Patientin mit chronischer Polyarthritis. **a,b** Die Patientin war aufgrund einer ausgeprägten Insuffizienz des Kapsel-Band- und Streckapparats gehunfähig geworden. **c,d** Deshalb wurde nach Ausbau der Prothese das Kniegelenk mit einem Arthrosdesennagel versteift

Komplikationen und Prognose

Eine häufige und gefährliche Komplikation ist das Kompartment-Syndrom (▶ Abschnitt 10.4.2, Unterschenkelschaftfrakturen). Wenn sich eine entsprechende Schwellung und starke Schmerzen einstellen, muss der Patient notfallmäßig versorgt werden. Sind die notwendigen strukturellen Voraussetzungen gegeben, kann nach der Dermatofasziotomie die Fraktur gleich mitversorgt werden. Von Nachteil kann allerdings sein, dass bei manifestem Kompartment-Syndrom die Durchblutung der Muskulatur grenzwertig und von daher eine Blutsperre kontraindiziert ist. Wenn die begleitende Fraktur komplex und aufwändig zu versorgen ist, empfiehlt sich daher, nach der Kompartmentspaltung nur einen transfixierenden Fixateur externe anzulegen und die definitive Versorgung erst durchzuführen, wenn sich die Weichteile wieder erholt haben. Die Dermatofasziotomiewunde interferiert in der Regel nicht mit dem späteren Zugang, denn die Schnittführung beginnt knapp unterhalb des Fibulaköpfchens und zieht zum Außenknöchel, sodass selbst zum lateralen parapatellaren Zugang ein ausreichender Abstand bestehen sollte. Eine einfache Orientierung ergibt sich aus der Maßgabe, dass die Breite einer Hautbrücke zwischen 2 Zugängen nicht weniger als die Hälfte ihrer Länge betragen darf. Im Zweifelsfall kann immer noch auf einen streckseitigen Zugang ausgewichen werden.

Läsionen des N. peroneus können traumatisch oder iatrogen bei der operativen Versorgung auftreten. Deshalb ist es wichtig, den präoperativen Status zu erheben und zu dokumentieren.

Eine Verlegung der A. poplitea kann durch ein Kinking oder eine Fragmentkompression entstehen. Deshalb muss die Fraktur möglichst rasch reponiert werden. Bei direkter Verletzung des Gefäßes muss es exploriert werden. Der Patient wird dafür auf dem Bauch gelagert und das Gefäß über einen hinteren Zugang zur Kniekehle dargestellt (▶ Kap. 13, Gefäßverletzungen und ▶ Kap. 21, Standardzugänge).

Die Versorgung mit einer LISS-Platte birgt einige spezifische Risiken. Dazu gehören Infektionen, postoperative Fehlstellungen, Korrekturverlust und verzögerte Heilung. Das Risiko, dass eine Infektion eintritt oder eine postoperative Fehlstellung verbleibt schwankt in der Literatur zwischen 0 und 22%, das Risiko für einen Korrekturverlust zwischen 0 und 14%, und das für eine verzögerte Heilung zwischen 0 und 17% (Beck et al. 2008).

Die Hauptkomplikation im Langzeitverlauf ist die Entwicklung einer Gonarthrose aufgrund einer primären oder sekundären Achsenfehlstellung oder einer verbliebenen Gelenkstufe.

10.4.2 Unterschenkelschaftfrakturen

Geschlossene Unterschenkelschaftfrakturen

Ätiologie

Unterschenkelfrakturen können direkt entstehen, z.B. durch Stoß oder Anprall gegen eine harte, unnachgiebige Kante wie eine Stoßstange oder Treppenstufe. Indirekte Verletzungen können durch ein Verdrehtrauma beim Ski fahren oder Ausrutschen auf glattem Untergrund zustande kommen. Bei direktem Trauma können erhebliche, zweit- oder drittgradige Schäden des äußeren Weichteilmantels die Fraktur komplizieren. Insbesondere durch Hochrasanztraumen im Rahmen von Motorradunfällen entstehen offene Frakturen. Bei Torsionsmechanismen wirken in der Regel geringere Kräfte. Der Weichteilmantel wird dann allenfalls durchspießt oder eingerissen.

Klinik

Schwellung, Druck- und Bewegungsschmerz sowie Belastungsunfähigkeit sind die klinischen Zeichen. Sensomotorische Ausfälle können vorliegen. Der neurologische Befund muss dokumentiert werden. Die Durchblutung der Peripherie kann in Frakturhöhe unterbrochen sein. Eine starke, prall-elastische Schwellung, analgetikaresistente Schmerzen und Hypästhesien in der Peripherie sind Zeichen eines Kompartment-Syndroms (▶ Kap. 17, Komplikationen).

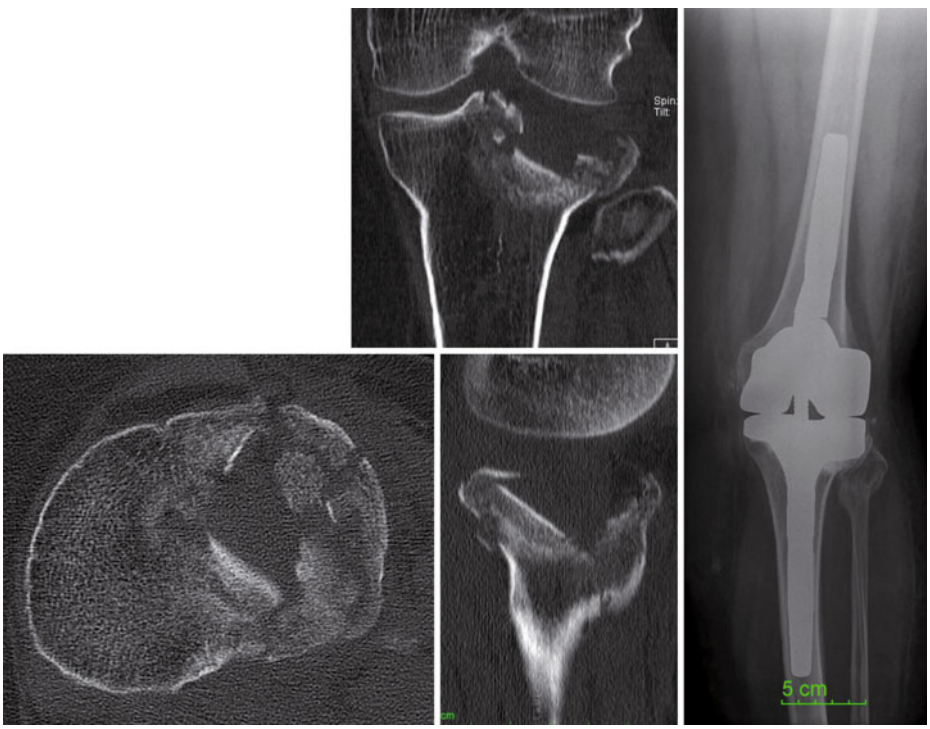


Abb. 10.65 55-jährige Patientin mit Osteoporose, Diabetes mellitus und ausgedehntem Substanzdefekt. Am 7. Tag Implantation einer Endoprothese. Postoperativ trat eine tiefe Wundinfektion auf, die durch arthroskopische Spülungen und Antibiotikatherapie zur Ausheilung gebracht werden konnte. (Aus: Schwarz et al. 2008)

Diagnostik

Durch eine eingehende klinische Untersuchung des gesamten Patienten werden begleitende Verletzungen ausgeschlossen. Auf den Röntgenaufnahmen des Unterschenkels in 2 Ebenen sollen die angrenzenden Gelenke mit dargestellt sein. Das ist wichtig, um etwaige intraartikulär ausmündende Frakturen zu sehen. Am Knie und Sprunggelenk werden Bandverletzungen ausgeschlossen, was oft erst nach Stabilisierung der Fraktur möglich ist. Bei begleitender Fibulafraktur muss an die Möglichkeit einer Syndesmosenverletzung gedacht werden. Hinweise darauf sind ein erweiterter Gelenkspalt des distalen Tibiofibulargelenks und eine Verbreiterung des Raums zwischen Innenknöchel und Talusschulter. Bei fehlenden oder nicht eindeutig palpierbaren Fußpulsen ist eine Dopplersonografie angezeigt, und wenn auch mit dieser Methode keine Pulse nachgewiesen werden können, eine Angiografie.

Klassifikation

Die Einteilung der verschiedenen Bruchtypen nach den Vorgaben der AO ist in ◘ Abb. 10.66 wiedergegeben.

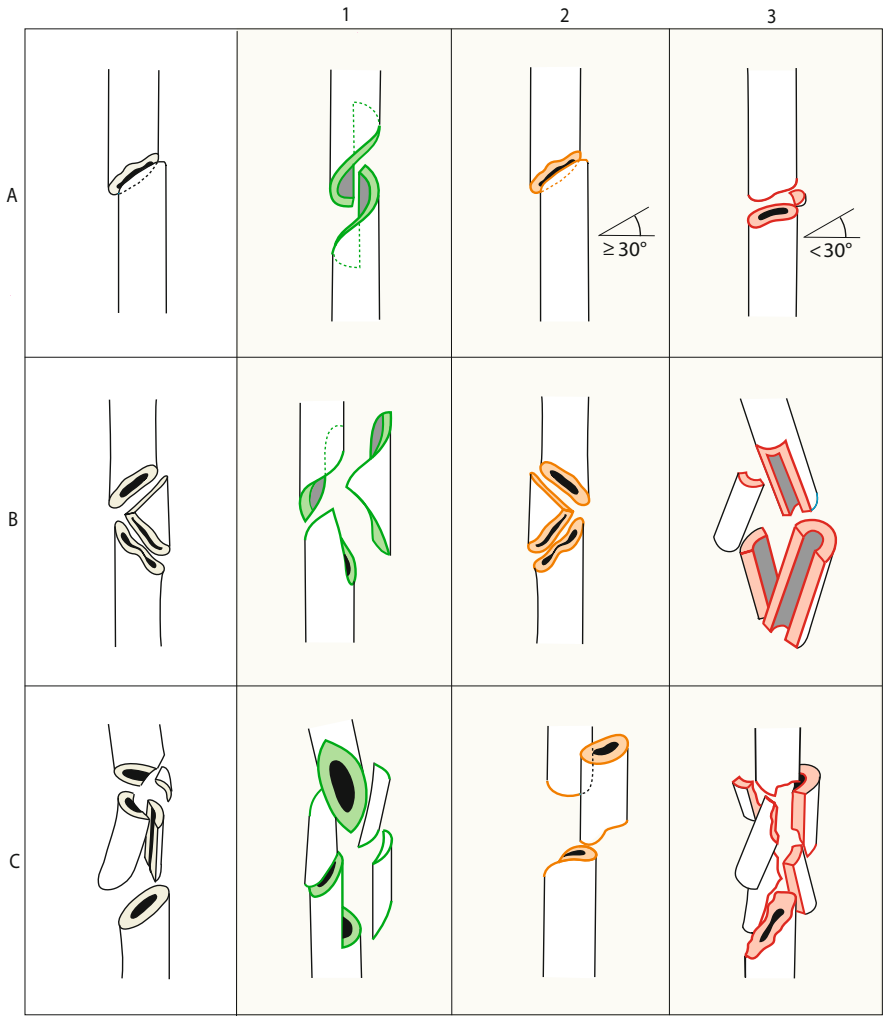
Zur Klassifikation der offenen Frakturen und des Weichteilschadens wird auf ▶ Kap. 14, Infektionen, verwiesen.

Des Weiteren ist der Mangled Extremity Severity Score (◘ Tab. 10.16) aufgeführt. Er soll einen prädiktiven Wert für die Notwenigkeit einer Amputation ab einem Punktwert ≥7 haben. Allerdings ist dies umstritten (s. unten, ▶ Abschnitt Fixateur externe).

Konservative Therapie

Einfache Spiral- oder Schrägfrakturen (A1/A2) können eingeschränkt, konservativ behandelt werden, weil sie im Gegensatz zu den Querfrakturen (A3) größere Bruchflächen haben und dadurch schneller verkleben. Eingeschränkt deshalb, weil die konservative Therapie erhebliche Risiken wie Muskelabbau, Thrombosegefahr und Beweglichkeitsdefizit mit sich bringt. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit einer monatelangen Ruhigstellung und Teilbelastung, die meist wesentlich länger durchgehalten werden muss als es nach einer operativen Stabilisierung der Fall ist. Der Patientenkomfort ist dadurch deutlich geringer.

Von daher ist es nicht überraschend, dass in Zeiten, in denen die für das operative Vorgehen nötige Allgemeinnarkose oder Regionalanästhesie bei einem halbwegs gesunden Patienten praktisch risikolos geworden ist und die chirurgischen Verfahrensweisen gleichzeitig immer schonender und sicherer bezüglich einer zeitgerechten Ausheilung geworden sind, die konservative Bruchbehandlung mehr und mehr in den Hintergrund tritt. Dennoch gibt es Konstellationen, für die sie sich anbietet: Ein sehr schlechter Allgemeinzustand, Bettlägerigkeit, Gerinnungsstörungen und der ausdrückliche Wunsch des Patienten sind hier zu nennen. Ganz abgesehen von den kindlichen Frakturen, die in Bezug auf die



◘ **Abb. 10.66** AO-Klassifikation der Region 42 Unterschenkelschaftfrakturen nach Müller. **a** Tibiadiaphyse: A1: Spiralförmige Fraktur; A2: Schrägfraktur; A3: Querfraktur. **b** Tibiadiaphyse, Keilfraktur: B1: Drehkeil; B2: Biegungskeil; B3: Keilfragment. **c** Tibiadiaphyse, Komplexfraktur: C1: Spiralförmige Fraktur; C2: Etagenförmige Fraktur; C3: Irreguläre Fraktur. (Aus: Müller-Mai 2010)

knöcherne Heilung anderen biologischen Gesetzten und zeitlichen Vorgaben unterliegen (▶ Kap. 12, Frakturen im Kindesalter).

Bei einem konservativen Vorgehen muss die Fraktur, wenn sie verschoben ist, zunächst reponiert werden. Dies kann in Regionalanästhesie oder Kurznarkose erfolgen. Dann wird die Fraktur mit einem Oberschenkelspaltgips stabilisiert und nochmals geröntgt.

Als Alternative oder sei es nur, um das Intervall bis zur operativen Versorgung zu überbrücken, kann auch eine Kalkaneusdrahtextension angelegt und die Fraktur unter Dauerzug mit 2–3 kg auf einer Braun-Schiene gelagert werden. Der Draht kann 1,5–2,0 mm stark sein. Er wird in Lokalanästhesie von medial ins Fersenbein gebohrt, damit die A. tibialis posterior nicht verletzt wird. Der richtige Eintrittspunkt liegt 2 cm vor dem dorsalen und 2 cm vor dem plantaren Rand des Tubers. Der Draht wird lotrecht zur Unterschenkelachse eingebohrt und dann in einem Bügel gespannt. Bei ausgeprägter Instabilität oder Redislokationstendenz empfiehlt es sich, den Unterschenkel zusätzlich in einem Oberschenkelspaltgips ruhig zu stellen.

Während der nun folgenden Ruhigstellungsphase ist eine Thromboseprophylaxe unerlässlich. Etwa 4 Tage später, nach Abschwellung, wird der Gips zirkuliert. Zuvor wird die Bruchstellung erneut röntgenologisch kontrolliert. Nach 2 Wochen wird der Gips in der Regel »zu weit«, weil die Schwellung nachlässt und die Muskulatur schwindet. Dann muss umgegipst werden. Abhängig vom Röntgenbefund kann nach 3–4 Wochen auf einen Oberschenkelgehgips umgestiegen werden. Ab dann kann das Bein zunehmend belastet werden. Das ist sehr wichtig, damit die ruhiggestellten Gewebe nicht zu sehr atrophieren. Die gesamte Ruhigstellungszeit beträgt durchschnittlich 13,4 Wochen (Oestern 2002), mitunter deutlich mehr. Um den muskulären und knöchernen Abbau in Grenzen zu halten und eine Thrombose zu verhindern, muss der Patient von Anfang an seine Beinmuskulatur intensiv isometrisch beüben.

Tibiaschaftfrakturen sollten bei einer Achsabweichung von >5°, einer Verkürzung von >1 cm oder einer Rotationsfehlstellung operiert werden (Streicher u. Reilmann 2008a).

Operative Therapie

Eine wichtige Frage, die präoperativ bereits beantwortet werden muss, ist, ob bei Sprunggelenkbeteiligung zuerst die Tibia oder die Fibula versorgt wird. Eine solche Begleitverletzung tritt in knapp einem Fünftel der Fälle auf (Stürmer 2002), Pilon-tibiale-Frakturen nicht eingerechnet. Wenn die Tibia stark dislozíert ist, muss zuerst die Tibia anatomisch gestellt werden, sonst lässt sich die Fibula nicht reponieren. Wenn die Fibula aber bei starker Dislokation der Tibia intakt geblieben ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Syndesmose und die Membrana interossea rupturiert sind. Voraussetzung für die exakte Einstellung der Knöchelgabel ist wiederum die anatomische Reposition der Tibia. Die Fibula wird nur mitversorgt, wenn das Sprunggelenk verletzt ist und die Fraktur im distalen Sechstel liegt.

Im Gegensatz zur Versorgung einer Pilon-tibiale-Fraktur wird bei einer Unterschenkelfraktur mit Beteiligung des oberen Sprunggelenks zuerst die Tibia anatomisch gestellt und erst anschließend die Syndesmose und ggf. die Fibula versorgt.

Tab. 10.16 Mangled Extremity Severity Score (MESS). Ein MESS (7 soll einen positiv prädiktiven Wert für die Notwenigkeit einer späteren Amputation haben (Aus: Johansen et al. 1990)

		Punktzahl
A Knochen- und Weichteilverletzung		
Niedrige Energie	Stichverletzung, einfache Fraktur, Kleinkaliberschusswunden	1
Mittlere Energie	Offene oder multiple Frakturen, starke Dislokation	2
Hohe Energie	Nahschuss mit Schrot, Militärwaffen, Crush-Verletzung	3
Sehr hohe Energie	Zusätzlich schwere Kontamination und Weichteilavulsion	4
B Extremitätenischämie		
Abgeschwächter oder fehlender Puls, ausreichende Perfusion		1*
Unterschenkel pulslos, Parästhesien, verminderte Kapillarfüllung		2*
Unterschenkel kühl, motorische Lähmung, fehlende Sensibilität		3*
C Schock		
Systolischer Blutdruck immer >90 mmHg		0
Transiente Hypotonie		1
Persistierende Hypotonie		2
D Alter		
<30 Jahre		0
30–50 Jahre		1
>50 Jahre		2

* = Verdoppelung des Scores für Ischämiezeiten >6 h. Der Punktwert ergibt sich aus der Addition der jeweiligen Werte der 4 Kategorien A–D

Im Folgenden werden anhand der gängigen Verfahrensweisen die einzelnen Indikationen und Operationstechniken beschrieben, mit Ausnahme der Pilon-tibiale-Fraktur, die in ▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß, abgehandelt wird.

Unaufgebohrter Tibianagel (UTN, Fa. Synthes)

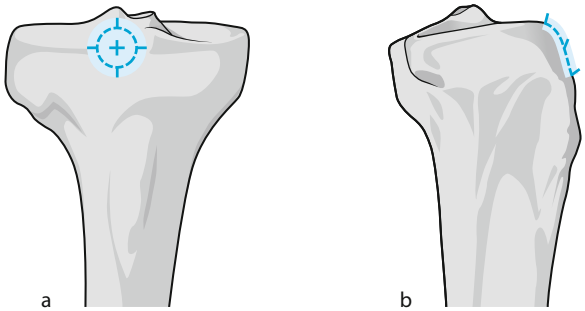
Die bevorzugten Verfahren zur Stabilisierung einer Unterschenkelschaftfraktur differieren von Land zu Land (Oestern 2002). In der Schweiz wird die Mehrzahl der Patienten mit einer Platte versorgt, bei uns dagegen mit einem unaufgebohrten Nagel, der wiederum in den USA kaum verwendet wird. Es gibt mehrere bewährte unaufgebohrte Nagelsysteme von verschiedenen Herstellern. Sie eignen sich für fast jeden Bruchtyp im diaphysären Bereich von der proximalen bis distalen Viertelgrenze. Selbst höhergradig offene Frakturen bis zu einem Grad III B nach Gustilo und Anderson können damit behandelt werden, denn die Durchblutung des Markraums wird beim unaufgebohrten Vorgehen weniger in Mitleidenschaft gezogen (▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk). Eine Metaanalyse hat bei offenen Frakturen, die mit einem unaufgebohrten Nagel versorgt worden sind, die besten Ergebnisse gezeigt (Oestern 2002).

Lagerung. Für die Osteosynthese wird der Patient auf einem röntgenstrahlendurchlässigen Normaltisch oder auf einem Extensionstisch gelagert. Wenn kein erfahrener Assistent zur Verfügung steht, kann es vorteilhaft sein, den Extensionstisch zu nutzen, weil die Fraktur vor der Osteosynthese reponiert werden kann. Nachteilig ist, dass die Lagerung sehr umständlich und zeitraubend ist. Zum einen wird eine Kalkaneusdrahtextension benötigt, zum anderen muss so abgedeckt und das gesunde Bein gelagert werden, dass die Handhabung des Röntgenbildverstärkers in beiden Ebenen nicht behindert wird. Einfacher und schneller ist das Vorgehen auf dem Normaltisch, das im Folgenden beschrieben wird.

Das gesamte Bein wird abgewaschen, am Oberschenkel eine Blutsperre angelegt und mit einer klebenden U-Folie abgedeckt. Dann werden Länge und Stärke des Nagels ermittelt. Dies geschieht mit einer röntgenstrahlendurchlässigen Messlehre, die parallel zum Tibiaschaft gehalten wird. Die Nagellänge wird im Zweifelsfall besser etwas kürzer gewählt, weil der Nagel bei Bedarf mit verschiedenen Aufsätzen in situ proximal verlängert werden kann. Der Assistent steht auf der Seite des verletzten Beins in Höhe des Oberschenkels und hält das Bein im Knie, sodass es 90° gebeugt wird und der Unterschenkel fast frei hängt. Der Operateur steht dagegen auf der kontralateralen Seite, weil er keine schwere Halteарbeit leisten muss und der Nagel später vom medialen Aspekt der Tibia aus, wo die Weichteildeckung dünn ist, verriegelt wird.

Zugang. Nun wird in Höhe des Patellaunterpols ein wenige Zentimeter langer gerader Zugang geschaffen und parapatellar medial an der Sehne vorbei stumpf auf den Vorderrand des Tibiakopfs präpariert. Anschließend eröffnet man den Tibiakopf mit einem Pfriem. Der ideale Eintrittspunkt liegt mittig hinter der Patellarsehne am Scheitelpunkt der vorderen tibialen Rampe (■ Abb. 10.67). Im anteroposterioren Strahlengang entspricht dies der Verlängerung des Markraums.

Wird der Eintrittspunkt zu weit distal gewählt, dann trifft die Nagelspitze beim Eintritt in den Markraum nicht flach genug auf die dorsale Kortikalis der proximalen Tibia und kann diese durchbrechen. Geht man hingegen zu weit proximal ein, kommt man beim Einbringen des Nagels in Konflikt mit dem patellaren Gleitlager.



■ **Abb. 10.67a,b** Verriegelungsnagel. Der ideale Eintrittspunkt für einen Tibianagel liegt mittig hinter der Patellarsehne (**a**), am Scheitelpunkt der tibialen Rampe (**b**). (Mit freundl. Genehmigung der Fa. Synthes)

Nageleinbringung. Bei Verwendung eines unaufgebohrten Tibianagels wird nach Eröffnung des Markraums zunächst ein Zentrierstift vorgeschoben. Die Richtung der Markhöhle muss beachtet werden, sonst läuft man unweigerlich im sich trichterförmig verjüngenden Markraum der proximalen Tibia auf. Die Orientierung in der Frontalebene erfolgt an der gut sicht- und tastbaren Schienbeinvorderkante, in der Transversalebene wird auf die Achillessehne gezielt. Werden diese Landmarken richtig getroffen, wird kein Bildwandler benötigt, um den Zentrierstift vorzuschieben. Die richtige Lage bemerkt man auch an der typischen Reibung, die sich beim Perforieren des spongiösen Knochens auf den Haltegriff des Zentrierstifts überträgt. Eine weitere Möglichkeit der Orientierung ist, den unaufgebohrten Tibianagel parallel zum Tibiaschaft außen anzulegen und sich die Richtung des abgewinkelten proximalen Nagelanteils einzuprägen.

Wenn der Zentrierstift richtig liegt, wird darüber ein Eröffnungsinstrument mit Schutzhülse geschoben und der Markraum eröffnet. Auf dem Eröffnungsinstrument ist eine Markierung angebracht, die anzeigt, wie weit es in den Markraum vorgedreht werden muss.

Reposition. Nun werden alle Instrumente wieder aus dem Markraum entfernt und der Nagel eingebracht. Zuvor wird der Nagel mit einem Zielbügel armiert. Der Bügel muss nach medial ausgerichtet werden. Auf dem Bügel wird eine Führungsschiene montiert, über die mit einem Schlitzhammer der Nagel vor und bei Bedarf auch zurück geschlagen werden kann. Das Implantat wird zunächst bis zur Fraktur vorgetrieben. Dann wird die Fraktur reponiert, indem der Verlauf der gut tastbaren Vorderkanten der beiden Hauptfragmente palpiert wird und sie exakt aufeinander gestellt werden. Dazu muss am Bein gezogen werden. Das proximale Nagelende kann mit dem darin verklemmten Nagel dirigiert werden. Wenn die Öffnungen der Fragmentenden schließlich aufeinander stehen, wird der Nagel weiter eingeschlagen. Sobald er in den Markraum des distalen Hauptfragments eintritt, wird der Unterschenkel spürbar stabilisiert. Wenn er dagegen am Rand des Fragments abweicht und den Markraum nicht trifft, entsteht eine deutlich tastbare Fehlstellung im Bruchbereich. Dann wird der Nagel sofort zurückgeschlagen, die Fraktur erneut reponiert und versucht, das distale Hauptfragment aufzufädeln.

Die geschlossene Reposition gelingt fast immer. Wenn dies jedoch nicht der Fall ist, dann bleiben 2 Ausweichmöglichkeiten. Zum einen kann ein Distraktor zur Reposition genutzt werden. Ein Pin wird von medial, weit dorsal in den Schienbeinkopf, der andere ins Pilon eingedreht. Dann wird der Distraktor gespannt und die Fraktur unter axialem Zug eingestellt. Dies kann insbesondere

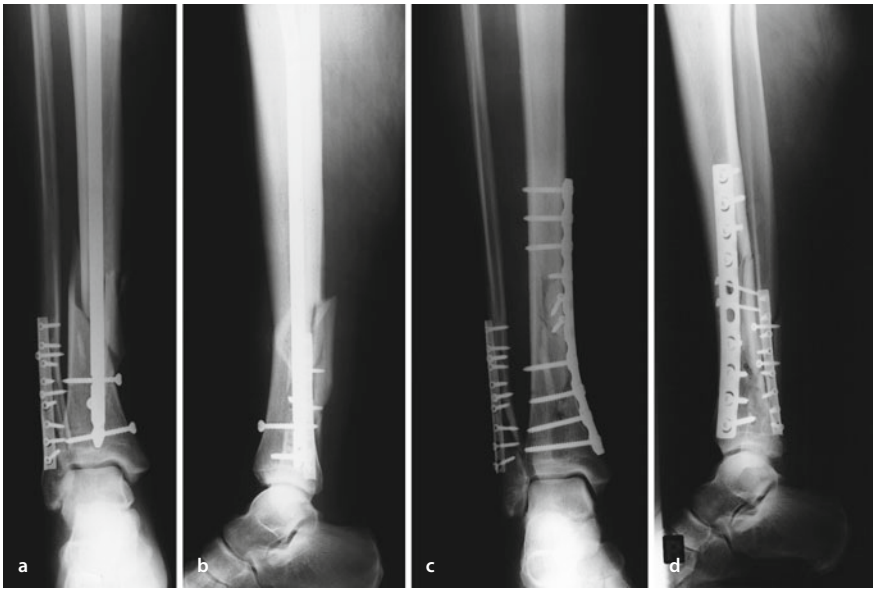


Abb. 10.68a–d Varus- und Retroversionsfehlstellung nach Versorgung einer distalen Unterschenkelfraktur bei einem 59-jährigen Patienten mit einem unaufgebohrten Marknagel. **a,b** Das distale Hauptfragment hat sich an der schrägen Bruchfläche in beiden Ebenen verkippt eingestellt. **c,d** Postoperative Stellungskontrollen nach Revision mit offener Reposition und Plattenosteosynthese. Der Patient hat das Bein nach einem Vierteljahr voll belastet. Die Fraktur verheilte ohne weitere Komplikationen

dann hilfreich sein, wenn man nur zu zweit arbeitet, der Patient groß gewachsen ist und eine Mehrfragmentfraktur vorliegt. Auf diese Weise bleiben die Hände frei, um die Fragmente in der Markraumflucht auszurichten, wenn der Nagel eingeschlagen wird. Die andere Alternative ist, die Fraktur offen zu reponieren. Dafür wird im Bruchbereich ein wenige Zentimeter langer Hautschnitt anlegt und die Fraktur digital oder unter Einsatz einer Repositionszange reponiert. Dies empfiehlt sich jedoch allenfalls bei einer einfachen Fraktur. Bei Trümmerbrüchen wirkt sich die Weichteildissektion besonders ungünstig in Bezug auf die Heilung aus. In diesen Fällen sollte von vornherein dem Distraktor oder dem Extensionstisch der Vorzug gegeben werden.

Wenn die Nagelspitze den Frakturspalt überwunden hat, muss man darauf achten, dass sie im distalen Hauptfragment den richtigen Weg nimmt und es achsengerecht auffädelt. Dies ist unproblematisch und geschieht ohne weiteres Zutun, wenn das distale Hauptfragment lang ist und durch die zentimeterlange Führung im engen Markraum eine ausreichende Schienung hat oder wenn sich ein Quer- oder kurzer Schrägbruch formschlüssig aufeinander stellt und dadurch die anatomische Richtung vorgibt. In diesem Fall kann die Fraktur auch weiter distal liegen, ohne dass mit einer Achsabweichung zu rechnen ist.

Problematisch wird es, wenn die Fraktur distal liegt, wo der Markraum bereits wieder weiter wird, und sie sich nicht anatomisch einstellt. Man nimmt dann die Achsenfehlstellung meist in Form einer Valgisierung und Retroversion im vollen Umfang mit. Hat aber der Nagel erst einmal den falschen Weg genommen und einen falschen Weg in der Markhöhle vorgeformt, kann eine Korrektur der Achse Probleme bereiten (Abb. 10.68).

Zentrierhilfe. Biewener et al. (2002) haben für diese Situation einen eleganten Ausweg beschrieben. Durch den Ad-latus-Versatz bekommt das distale Hauptfragment ein Kippmoment in die Richtung des Versatzes, weil es nicht mittig, sondern exzentrisch belastet wird. Erwartungsgemäß liegen die Achsabweichungen mehr in der Peripherie: 17% im proximalen Drittel, wo der Markraum besonders weit ist, 13% im distalen und nur 5% im mittleren. Im distalen Drittel tendiert der Nagel dazu, nach medial abzuweichen. Dies kann dadurch sicher verhindert werden, indem 2 K-Drähte aus Stahl der Stärke 1,8 in sagittaler Richtung unter Bildwandlerkontrolle ins kraniale Ende des distalen Hauptfragments eingebohrt werden und damit der Eintrittspunkt der Nagelspitze exakt zentriert wird. Dies bewirkt wiederum, dass sich das distale Hauptfragment auf der nahezu immer mehr oder weniger schräg verlaufenden Bruchfläche anatomisch einstellt und sich auf diesem Wege auch die korrekten Achsen wieder herstellen. Dadurch trifft der Nagel den Markraum des distalen Hauptfragments anschließend zentral. Alternativ können die K-Drähte auch palisadenartig angeordnet werden, wie es in der Abb. 10.69 dargestellt ist. Die Nachuntersuchung von 9 Fällen, bei denen so verfahren wurde, zeigte, dass das Ziel einer axialen Ausrichtung immer erreicht wurde und die maximale Abweichung nur 3° betrug.

Die Nagelspitze sollte bis zur ehemaligen Wachstumsfuge vorgetrieben werden, selbst wenn der Nagel dabei proximal weit im Tibiakopf eintaucht. Man kann dies ja durch einen variablen Verlängerungsaufsatz am Nagelende ausgleichen. Daher muss in der Regel nur bei einer etwaigen Überlänge das Implantat ausgetauscht werden. Hierbei sollten allerdings keine Kompromisse gemacht werden, denn postoperativ kann die Fraktur sintern, insbesondere wenn sie sich nicht gut abstützt. Dann wandert das Nagelende noch weiter nach kranial und die Patienten bekommen einen vorderen Knieschmerz, der sie anhaltend einschränkt.

Verriegelung. Nun wird der Nagel verriegelt. Dies ist bei unaufgebohrten Systemen grundsätzlich nötig. Vor dem Verriegeln sollte klinisch die Rotation beurteilt werden. Zur Orientierung dienen Patella und Vorfuß. Bei gestrecktem Bein und Neutralrotation im Knie soll der Vorfuß 15–20° nach außen rotiert stehen. Die Stellung der Fraktur und die Lage des Nagels werden nun unter Bildwandler kontrolliert. Falls der Bruchspalt klafft, muss er eingestaucht werden. Dazu stellt man das im Knie gebeugte Bein auf die Unterlage auf und schlägt mit der Faust kräftig auf den distalen Oberschenkel, dort wo die verlängerte Tibiaschaftachse kreuzt.

Die gängige Technik, zuerst distal zu verriegeln und anschließend den Nagel nach proximal auszuschlagen, ist beim unaufgebohrten Tibianagel nicht zu empfehlen, weil die Verriegelungsschrauben der beiden dünnen Nagelstärken nur 3,9 mm stark sind und sich schon bei relativ geringen Kräften verbiegen. Deshalb

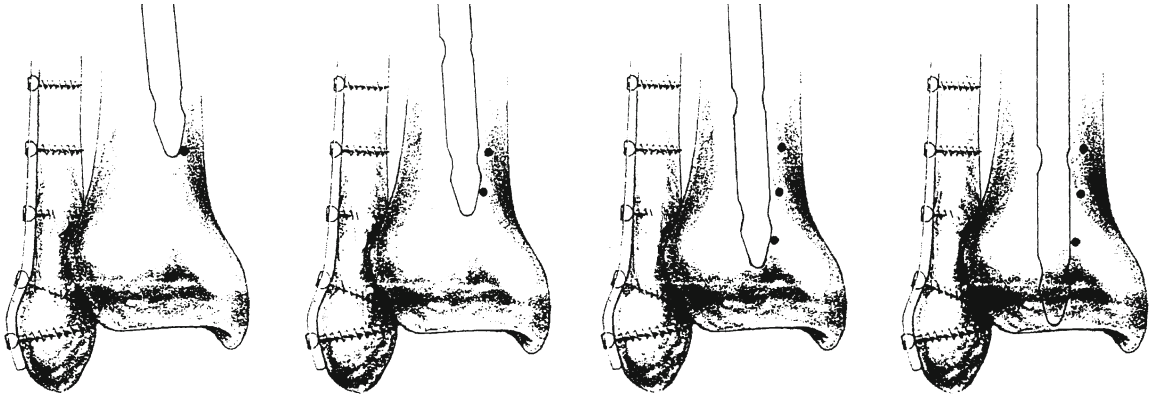


Abb. 10.69 Palisadenartige K-Draht-Barriere als Zentrierungshilfe für die Auffädelung des distalen Hauptfragments durch den Marknagel

ist es auch nicht erforderlich, zuerst distal zu verriegeln, sondern man beginnt proximal, nachdem zuvor die Frakturenden manuell maximal angenähert wurden. Zuerst wird über das Zielgerät die Schraube im Gleitloch besetzt. Eine zweite Schraube ist nur bei Trümmerfrakturen nötig, die sich nicht abstützen. Alle anderen Bruchtypen können primär dynamisch verriegelt werden. Wenn zuerst proximal verriegelt wird, hat dies den Vorteil, dass anschließend das Zielgerät abgebaut und das Bein für die distale Verriegelung gestreckt gelagert werden kann. Dann ist die Einstellung des Bildwandlers für das röntgenstrahlendurchlässige Winkelgetriebe oder andere Techniken, wie das Vorgehen mit der Zielbohrbüchse oder in Freihandtechnik, einfacher. Das Verriegeln mit dem Winkelgetriebe ist in ▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk beschrieben. Alle drei distalen Verriegelungslöcher sollen besetzt werden, damit kein Schweibenwischereffekt auftritt und damit eine möglichst große Stabilität erzielt werden kann.

Wenn sich die Hauptfragmente im Bruchbereich zirkulär oder in einem ausreichend großen Bezirk gegeneinander abstützen, dann kann primär dynamisch verriegelt werden. Die Annäherung der Fragmente muss über eine Einstauchung von außen erfolgen. Das Zurückschlagen des Nagels nach vorausgegangener distaler Verriegelung kann nur bei Nagelsystemen mit stabilen Verriegelungsschrauben angewendet werden. Vor dem definitiven Verriegeln wird nochmals die korrekte Rotation überprüft. Wenn man sich nicht im Klaren darüber ist, wie viele Verriegelungsschrauben verwendet werden sollen, hält man sich an den einfachen Wahlspruch: »In dubio pro bolzo!«

Verschlussschraube. Nach dem Abbauen des Zielgeräts sollte zur Erleichterung einer späteren Implantatentfernung in das Nagelende eine Verschlussschraube eingedreht werden. Wenn man mit der Verschlussschraube das Nagelende nicht von Anfang an axial trifft, kann das relativ weiche Titangewinde schnell zerschnitten werden. Dann greift die Schraube nicht mehr. Es ist gar nicht so einfach, die Richtung des Nagelendes in der Transversalebene auf Anhieb zu treffen. Dies hängt mit dem proximalen Achsenknick des Nagels zusammen. Deshalb ist es ratsam, für diesen Schritt von Anfang an den Bildwandler im seitlichen Strahlengang zu nutzen. Die Richtung in der Frontalebene zielt auf das Sprunggelenk. Beim Einbringen der Verschlussschraube kann der Nagel mit verschieden langen Aufsätzen verlängert werden. Dies erleichtert das Wiederauffinden bei der späteren Implantatentfernung (Abb. 10.70).

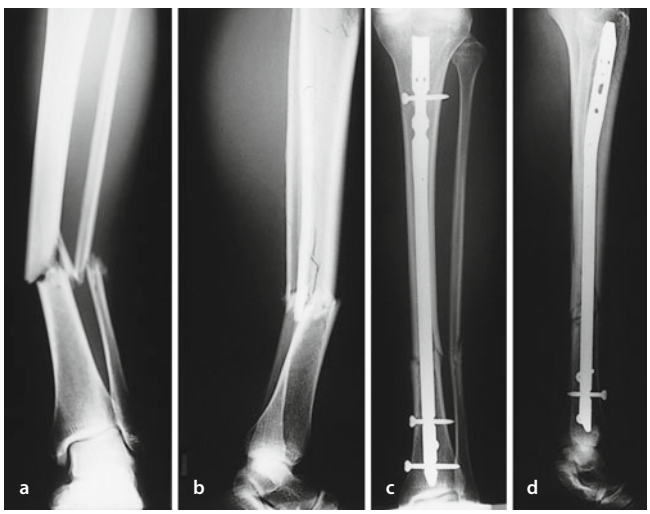


Abb. 10.70a–d Unterschenkelschaftfraktur. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Stabilisierung mit einem primär dynamisch verriegelten UTN

Implantatentfernung. Für die Implantatentfernung wird der Patient auf einem röntgenstrahlendurchlässigen Normaltisch oder wie für eine Arthroskopie gelagert. Der Normaltisch hat den Vorteil, dass die Entfernung der Verriegelungsschrauben am gestreckt und stabil liegenden Bein einfacher ist, aber den Nachteil, dass das Bein für die Nagelentfernung selbst aufgestellt und gehalten werden muss. Im zweiten Fall operiert man am hängenden Unterschenkel, tut sich vielleicht etwas schwerer bei den Verriegelungsschrauben, hat aber eine optimale Sicht und Stellung des Beins beim Freilegen und Ausschlagen des Nagels. Deshalb empfiehlt sich die Lagerung mit hängendem Unterschenkel immer dann, wenn zu erwarten ist, dass sich die Verriegelungsschrauben problemlos entfernen lassen werden.

Sind Schrauben gebrochen, wird zunächst der Anteil mit dem Schraubenkopf entfernt, der sich meist ganz leicht herausdrehen lässt. Dann schlägt man durch das freigewordene Loch die Restschraube zur Gegenseite, bis die Spitze unter der Haut tastbar ist. Dort kann sie über eine Stichinzision geborgen werden. Zum Ausschlagen dient ein schmaler Stößel oder ein Schraubenzieher. Wenn der Schraubenrest fest im Knochen steckt, kann er mit einer linksdrehenden Hohlfräse aus dem Set für abgebrochene Schrauben überbohrt und geborgen werden.

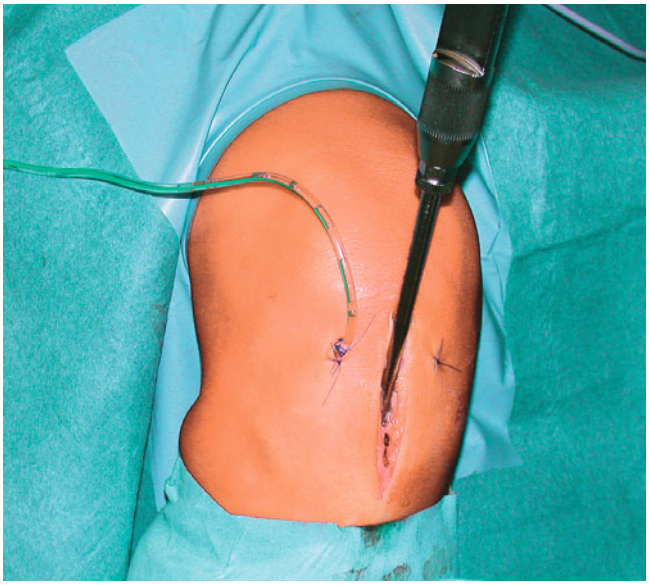


Abb. 10.71 Es ist viel einfacher, das Nagelende zur Implantatentfernung nur mit der Verbindungsschraube zu armieren und auf die versteifende Hülse zur Nagelextraktion, dem so genannten Verbindungsstück, zu verzichten – auf die Gefahr hin, dass sich die Verbindungsschraube verbiegt

Wenn alle Verriegelungsschrauben entfernt sind, wird das Nagelende dargestellt. Dazu geht man über den ehemaligen Zugang auf den Scheitelpunkt der vorderen Rampe des Schienbeinkopfs ein. Damit dieser Bezirk, der ja mittig hinter der Patellarsehne liegt, gut eingesehen werden kann, muss ein schmal-spitzer Hohmann-Hebel von medial unter der Patellarsehne durchgeschoben und im metaphysären Knochen des Schienbeinkopfs gegebenenfalls mit ein paar Hammerschlägen verankert werden. Dann kann man die Sehne etwas beiseite hebeln, und es bietet sich eine gute Sicht für die Entwicklung des Nagelendes.

Nach Entfernung der Verschlussschraube wird die Verbindungsschraube für das kombinierte Ein- und Ausschlaginstrument in das Nagelende eingedreht (Abb. 10.71). Es wird empfohlen, die Verbindungsschraube zusammen mit dem Verbindungsstück zu stabilisieren. Allerdings hat sich im täglichen Gebrauch gezeigt, dass dies sehr mühsam oder sogar unmöglich sein kann. Durch die Vernarbung der Umgebung ist diese Konstruktion meist zu voluminös, als dass sie in exakt axialer Richtung auf das Nagelende aufgesetzt werden könnte. Die Verbindungsschraube allein ist nur wenige Millimeter stark. Deshalb gelingt es viel leichter, sie ohne Verbindungsstück axial einzudrehen. Anschließend wird lediglich das kombinierte Ein- und Ausschlaginstrument aufgedreht und der Nagel ausgeschlagen. Da die Verbindungsschraube ohne Verbindungsstück jedoch nicht verwindungsstabil ist, kann sie beim Ausschlagen verbogen werden. Dem trägt man Rechnung, indem man beim Ausschlagen versucht, die axiale Richtung beizubehalten.

Aufgebohrter Tibianagel

In jüngerer Zeit erlebt der aufgebohrte Tibianagel eine Renaissance. Dies hängt vermutlich mit dem breiten Einsatz des unaufgebohrten und den sich daraus ergebenden Komplikationen durch dessen relative Instabilität zusammen. Aber auch neue Nagel-Designs, die anatomisch besser angepasst sind, tragen dazu bei (z.B. Sirus, Fa. Zimmer / T2, Fa. Striker / Expert, Fa, Synthes).

Abgesehen davon gibt es eindeutige Indikationen für ein aufgebohrtes Vorgehen. Dazu gehören ein weiter Markraum, eine proximale oder distale Lage der Fraktur und die Korrekturosteotomie (▶ Kap. 18, Extremitätendeformitäten). Prinzipiell können geschlossene und ein Teil der offenen A-, B- und C2-Frakturen von der proximalen Ein-Viertel- bis zur distalen Ein-Sechstel-Grenze versorgt werden. Die aufgebohrten Nagelsysteme werden alle über einen Führungsdraht eingebracht. Damit kann man vorherbestimmen, wo der Nagel später zu liegen kommt und damit auch die korrekte Achse leichter treffen. Allerdings werden zunehmend auch unaufgebohrte kanülierte Marknägel entwickelt oder sind schon verfügbar, die ebenfalls über einen Führungsdraht eingebracht werden können.

Das Vorgehen im Einzelnen ähnelt dem beim unaufgebohrten Marknagel. Der Eintrittspunkt liegt an derselben Stelle. Der Markraum wird mit einem Pfriem eröffnet. Nach Vorschieben eines Führungsdrahts wird dieser schrittweise überbohrt. Der Markraum wird so weit aufgebohrt, bis der zunehmende Widerstand des Bohrkopfs zeigt, dass die Kontaktfläche für den Nagel im kürzeren der beiden Hauptfragmente ausreichend lang ist. Als grober Wert für die notwendige Kontaktfläche werden häufig 7 cm genannt. Eine so lange Strecke kortikalen Kontakts lässt sich aber nur bei Frakturen in Schaftmitte erreichen. Die Dicke des Nagels kann auf den Röntgenbildern bereits präoperativ abgeschätzt werden. In der Regel wird um 1 mm weiter aufgebohrt als der Nagel dick ist.

Bei einer C2-Fraktur mit drittem Fragment muss dieses beim Aufbohren mit einer spitzen Repositionszange über 2 Stichinzisionen gefasst werden, damit es sich nicht mitdreht.

Das Einbringen des Nagels ist deutlich einfacher als bei nicht kanülierten unaufgebohrten Systemen, denn der Nagel kann über den Führungsdraht vorgeschoben werden. Die Nagelspitze soll die ehemalige Wachstumsfuge erreichen. Das Verriegeln funktioniert nach denselben Prinzipien wie sie oben im ▶ Abschnitt »Unaufgebohrter Tibianagel« beschrieben wurden (Abb. 10.72).

Über gute Erfahrungen bei der Versorgung proximaler Tibiafrakturen mit einem Verriegelungsnagel haben Josten et al. (2010) berichtet. Aufgrund der dünnen Weichteildeckung und der häufig stattgehabten hohen Energie sind diese Frakturen häufig mit einem äußeren Weichteilschaden kombiniert. Auch geschlossene Frakturen sind von einer Reduktion des periostalen Blutflusses betroffen. Mögliche Konsequenzen sind Wundheilungsstörungen und eine verzögerte Bruchheilung. Laut Josten ist unter solchen Voraussetzungen das intramedulläre Verfahren ideal, weil die Weichteile dabei viel weniger belastet werden als durch eine Platte. Die neueren Nagel-Designs mit erhöhter Anzahl und stabileren Verriegelungsoptionen verbessern den Halt der Reposition und ermöglichen dadurch eine Erweiterung der Indikation nach proximal und distal.

Die Autoren haben 22 Patienten mit proximalen Tibiafrakturen ohne Gelenkbeteiligung versorgt. Sie fanden in 3 Fällen Achsabweichungen, in 2 eine verzögerte Frakturheilung und in einem Fall eine Pseudarthrose, jedoch keine einzige Infektion und das bei einem Anteil von 28% offener Frakturen. Dies ist der entscheidende Vorteil des Nagels gegenüber dem Konkurrenzimplantat der winkelstabilen Platte, die Vorteile bei der Fixierung auch kleinerer proximaler Fragmente bietet.

Der Nachteil potenzieller Achsfehlstellungen lässt sich unter Verwendung neueren Nagel-Designs von über 50% der Vorläufermodelle auf Werte unter 20% senken. Eine häufige Ursache für eine primäre Achsfehlstellung sehen Josten et al. (2010) in einem zu weit medial und/oder ventral gelegenem Nageleintrittspunkt. Der nach lateral bzw. dorsal verkippte Einbringwinkel verursacht im Endergebnis eine Valgus- bzw. Rekurvationsfehlstellung. Um dem ent-

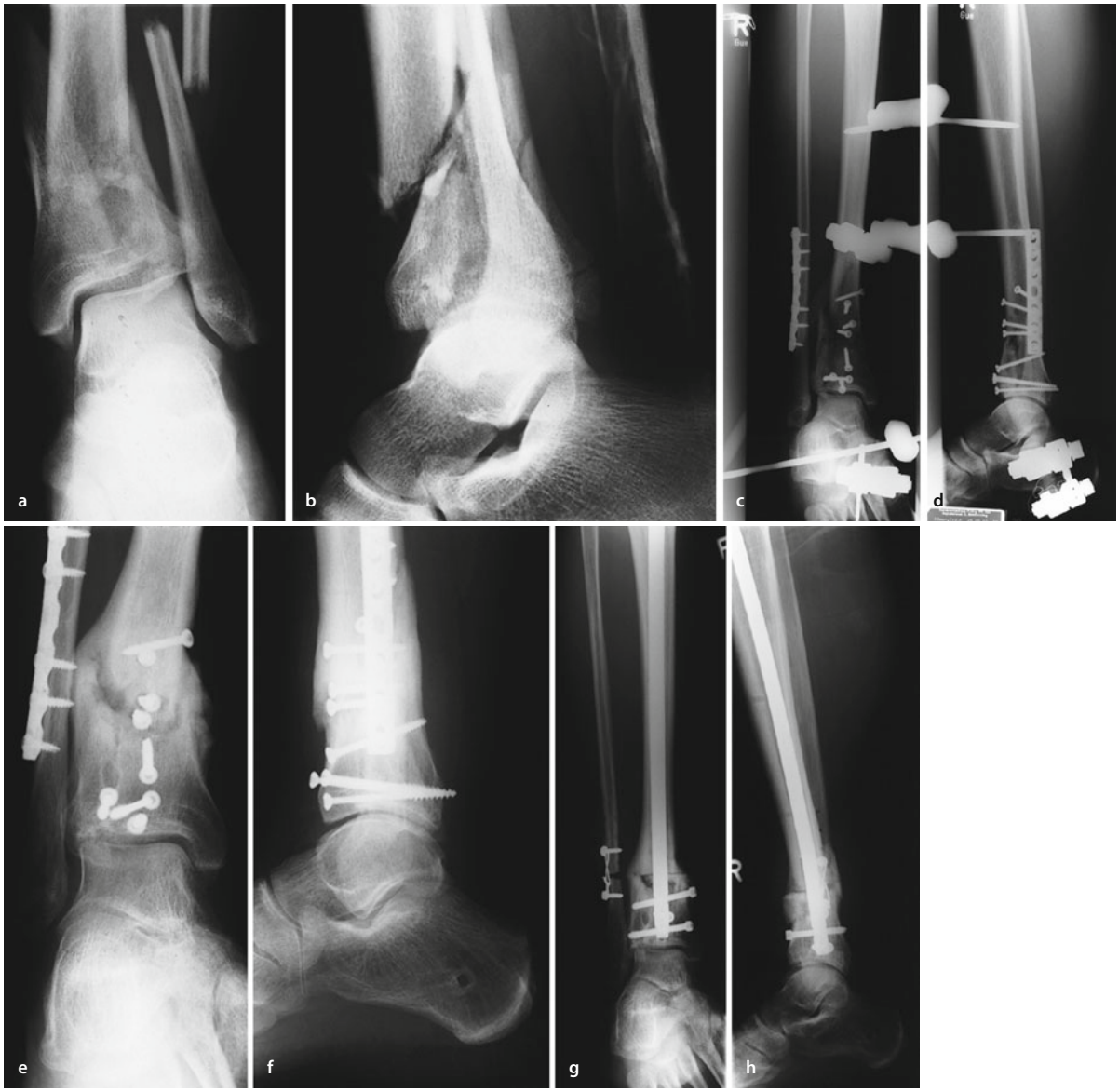


Abb. 10.72a–h Pilon-tibiale-Fraktur eines 36-jährigen Patienten. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Primäre Versorgung mit Schraubenosteosynthese und Fixateur externe. **e,f** Im weiteren Verlauf entstand durch Sinterungsvorgänge ein varischer Achsenknick. **g,h** Die Stabilisierung nach Korrekturosteotomie wurde mit einem aufgebohrten Tibianagel (T2-Nagel, Fa. Stryker) vorgenommen

gegenzuwirken, wählen die Autoren einen frakturadaptierten nach lateral und/oder proximal versetzten Eintrittspunkt für den Nagel. Damit der Zug der Patellarsehne das proximale Hauptfragment nicht zu sehr rekurviert, operieren sie bei 90° gebeugtem Knie.

Außerdem muss das kurze proximale Fragment mit möglichst dicken (4,9 mm) Verriegelungsschrauben fixiert werden, dünnere Schrauben brechen leichter. Und die Schrauben müssen überkreuzt angeordnet werden, denn wenn sie nur in einer Ebene ausgerichtet sind, stellen sich gehäuft Achsfehlstellungen ein (Krettek et al. 1999). Hansen et al. (2007) fanden am Modell vergleichbare und höhere Werte axialer Belastbarkeit beim Nagel mit proximaler Kreuzverriegelung im Vergleich zu extramedullären Implantaten.

Josten et al. (2010) betonen, dass gerade bei kurzen proximalen Fragmenten die Kreuzverriegelung möglichst weit oben und deshalb subchondral am Tibiaplateau platziert werden soll. Dies muss beim Einbringen des Nagels bedacht werden. Wird das Nagelende zu tief im Markraum versenkt, können aufgrund des geringeren Knochenquerschnitts nur relativ kurze Verriegelungsschrauben eingesetzt werden, was beim älteren Patienten mit geschwächter Knochenqualität nachteilig sein kann (Abb. 10.73).

Retrograder Tibianagel

Hofmann et al. (1999, 2001) haben, wie bereits oben erwähnt, einen retrograden Nagel (Fa. Stryker) entwickelt, der sich für die Versorgung proximal liegender Frakturen eignet. Weitere Indikationen sind Hindernisse am Schienbeinkopf wie eine einliegende Endoprothese, infizierte Weichteile oder Vernarbungen, welche die Wahl des herkömmlichen Zugangs verwehren oder zumindest nicht ratsam erscheinen lassen. Geschlossene A-, B- und C2-Frakturen der proximalen Ein-Fünftel-Grenze bis Schaftmitte können prinzipiell versorgt werden. Der Nagel eignet sich außerdem für proximale Korrekturosteotomien.

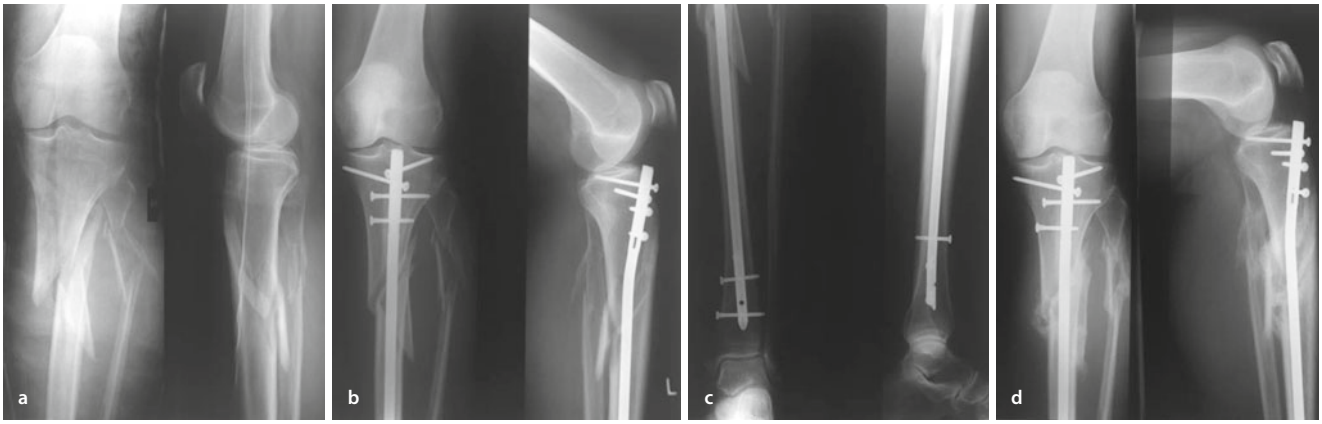


Abb. 10.73a–d Versorgung mit dem Sirus-Nagel (Fa. Zimmer). **a–c** Geschlossene B2.3-Fraktur (**a**), mit subchondral positionierter, 4-facher proximaler (**b**), und 3-facher distaler Verriegelung versorgt (**c**). **d** Ausheilung nach 6 Monaten ohne Repositionsverlust. (Aus Josten et al. 2010)

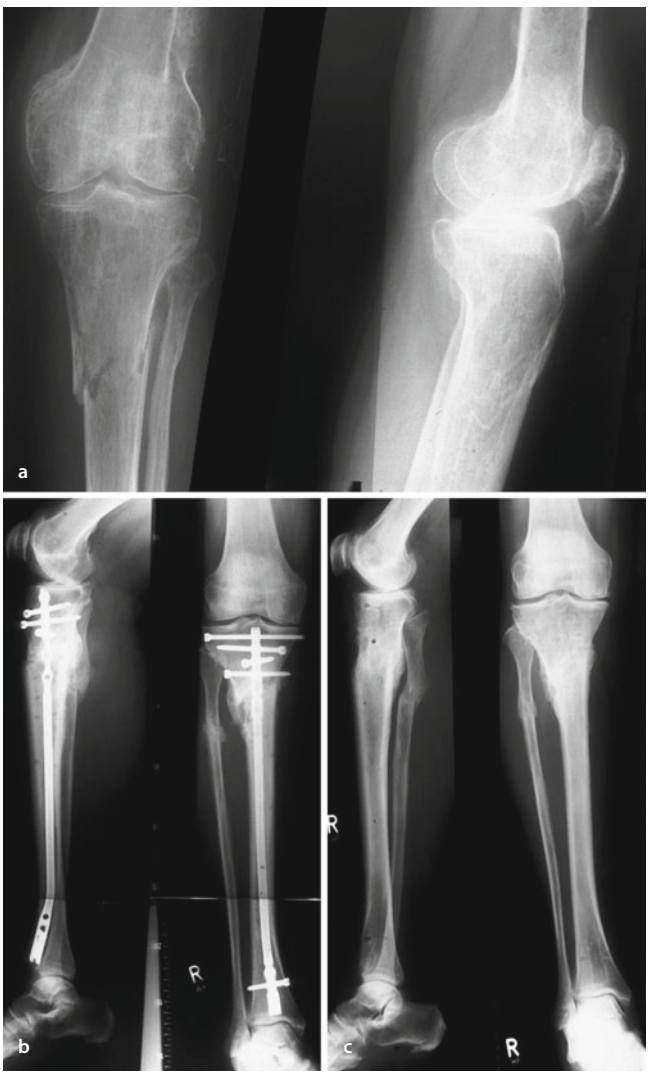


Abb. 10.74 Einsatz des retrograden T2-Tibianagels (Fa. Stryker). **a** Proximale Unterschenkelfraktur. **b,c** Nach stattgehabter Plattenosteosynthese entwickelte sich eine Pseudarthrose, die nach Resektion und Stellungskorrektur mit einem retrograden Tibianagel stabilisiert wurde (**b**) und innerhalb 1 Jahres ausheilte (**c**). (Bilder von G. Hofmann, Halle/Saale)

Es handelt sich um einen aufgebohrten Nagel, der bei weitem Markraum auch unaufgebohrt eingebracht werden kann. Analog zum Vorgehen am distalen Humerus gelangt man über einen streckseitigen Zugang zum Sprunggelenk (▶ Kap. 21, Standardzugänge) auf die Vorderkante der Tibia und schafft im Bereich des Pilons eine nach kranial gerichtete ovalere Öffnung zum Markraum. Die Zugangsmorbidität ist erstaunlich gering. Durch mehrfache, winkelstabile Verriegelungsmöglichkeiten mit stabilen Bolzen kann eine relativ hohe Primärstabilität erzielt werden, die postoperative Achsenverluste sicher verhindert. Außerdem besteht die Möglichkeit, Kompression auf den Bruchspalt auszuüben und auf diesem Weg die Stabilität weiter zu erhöhen. Dazu wird ein Bolzen ins Nagelende eingedreht, der auf den quer dazu verlaufenden Verriegelungsbolzen im Gleitloch trifft und diesen beim weiteren Eindrehen des Bolzens vor sich her schiebt. Dadurch wird das distale Hauptfragment, auf dem Nagel geschient, nach kranial gegen das proximale Hauptfragment gepresst (Abb. 10.74).

LISS

Das Limited-Invasive-Stabilisation-System (LISS) für die Tibia eignet sich zur Versorgung geschlossener und offener Frakturen bis Grad III A nach Gustilo und Anderson im gesamten proximalen Drittel. Das operative Vorgehen wurde bereits oben im Abschnitt Tibiakopffrakturen für die Frakturtypen A2 und A3 beschrieben. Das System bietet sich insbesondere für den osteoporotisch geschwächten Knochen an, bei dem es wie kein anderes durch seine zahlreichen, divergierend ausgerichteten Schrauben Halt vermittelt. Bei schlechter Knochenqualität können auch bikortikale Schaftschrauben verwendet werden (Abb. 10.75).

Verbundosteosynthese

In ausweglosen Situationen, wenn die Implantate im weichen Knochen keinerlei Halt finden, wie es in schweren Fällen von Osteopathie z.B. bei Alkoholikern vorkommen kann, und kein winkelstabiles System zu Verfügung steht, kann eine bilaterale Verbundosteosynthese ein möglicher Ausweg sein (Abb. 10.76). Dazu wird das Bein unter Zug von einem Assistenten gehalten, sodass die Fraktur bezüglich Achse, Länge und Rotation reponiert ist. Anschließend wird mit K-Drähten ein Gelenkblock gebildet. Dann werden 2 große Abstützplatten medial und lateral aufgebracht und mit Repositionszangen und einzelnen Schrauben vorläufig fixiert unter Ein-

Abb. 10.75a–d Wenig verschobene proximale Unterschenkelfraktur eines 80-jährigen. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Stabilisierung mit einer Tibia-LISS. Die Fraktur war nach 8 Wochen weitgehend konsolidiert

beziehung des zuvor geschaffenen Gelenkblocks. Nach und nach werden alle Schrauben eingebracht, aber noch nicht festgezogen. Dann wird in den osteoporotischen, metaphysären Hohlraum über ein oder mehrere kortikale Fenster Knochenzement eingespritzt. Erst wenn der Zement ausgehärtet ist, werden alle Schrauben definitiv festgezogen.

Plattenosteosynthese

Plattenosteosynthesen eignen sich für geschlossene A- und B-Frakturen im distalen Viertel. Die ausgesprochen dünne Weichteildeckung gepaart mit der ortständig mäßigen Durchblutung, die sich mit zunehmendem Lebensalter und anderen Risikofaktoren weiter verschlechtert, gefährdet die Wundheilung bei einliegenden Osteosyntheseplatten. Deshalb wurde dieses Implantat, das früher im Bereich des gesamten Unterschenkels häufig verwendet wurde, mehr und mehr von anderen Systemen verdrängt. Nur im distalen Viertel wird es noch relativ häufig und mit gutem Erfolg eingesetzt. Im proximalen Viertel wird es derzeit zusehends vom LISS und der LCP abgelöst, und die Diaphyse ist schon seit langem zur Domäne des Nagels geworden.

Wie bereits oben im ▶ Abschnitt »Unaufgebohrter Tibianagel« ausgeführt wurde, können weit distal liegende Schrägfrakturen erhebliche Probleme bei der Versorgung mit einem Marknagel bereiten (■ Abb. 10.68). Es ist im Einzelfall günstiger, grenzwertig weit distal liegende Frakturen primär mit einer Platte zu stabilisieren, bevor Kompromisse gemacht werden, die später einen Zweiteingriff zur Korrektur aufgetretener Fehlstellungen erfordern. Voraussetzung sind allerdings gute Weichteilverhältnisse, keine nennenswerten Risikofaktoren wie langjähriger Nikotinabusus oder jugendlicher Diabetes mellitus und ein kooperativer Patient, weil postoperativ eine 12- bis 16-wöchige Teilbelastungsphase eingehalten werden muss.

Über einen streckseitigen Zugang zum Unterschenkel (▶ Kap. 21, Standardzugänge) werden der anteromediale Aspekt der Tibia und die Fraktur dargestellt. Das Periost bleibt unangetastet. Der Einsatz eines Hohmann-Hebels sollte vermieden werden, weil seine Hebelkraft den Weichteilverbund zum Periost empfindlich beeinträchtigen kann. Die Wunde wird mit einer feuchten Kompresse oder einfach manuell aufgehalten. Das sieht zwar nicht elegant aus, ist aber viel schonender als jeder Wundhaken, über den keine Kontrolle besteht, insbesondere dann nicht, wenn dieser von einem noch unerfahrenen Assistenten gehalten wird, dem die Empfindlichkeit dieser Körperregion auf Hakendruck noch nicht ins eigene chirurgische »Fleisch und Blut« übergegangen ist.

Die Fraktur wird allenfalls randständig 1–2 mm deperiostiert, falls nicht zu beurteilen ist, wie die Fragmentenden aufeinander gestellt werden müssen. Bei schrägem Bruchverlauf können eine oder mehrere interfragmentäre Zugschrauben am besten in Form von Kleinfragmentschrauben lotrecht zur Bruchebene gesetzt werden – allerdings nur, wenn dadurch die periostale Deckung des Knochens nicht beeinträchtigt wird. Anderenfalls reponiert man die Fraktur ausschließlich hinsichtlich Achse, Länge und Rotation, belässt kleinere Spalten oder Verschiebungen und bringt die Platte in der No-touch-Methode auf.

Beim Anpassen der Platte im Bereich der distalen Tibia muss unbedingt beachtet werden, dass der mediale Tibiaaspekt sich nach distal hin nicht nur konkav krümmt, sondern auch nach innen torquiert. Die Platte muss also nicht nur vorgebogen, sondern auch geschränkt werden. Unterbleibt das Schränken, dreht sich die Tibia mit zunehmendem Anpressdruck nach außen weg, der Bruchspalt vergrößert sich und ein Drehfehler wird fixiert.

Die vorgebogene und geschränkte Platte wird an jedem Hauptfragment mit mindestens 3 Schrauben, die insgesamt 6 Kortikales fassen sollen, als Neutralisationsplatte fixiert. Interfragmentäre Zugschrauben können nur bei schrägem Bruchverlauf eingesetzt werden. Bei querem Bruchverlauf wird die Kompression über die Gleitlöcher der Platte erzeugt, indem man im Gleitloch auf der Seite exzentrisch bohrt, die der Fraktur abgewandt ist. Die Technik der Plattenosteosynthese ist im ▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk, beschrieben.

Abb. 10.76a–j Verbundosteosynthese. **a,b** Offene proximale Unterschenkelfraktur bei einem 50-jährigen Patienten mit schwerer alkoholinduzierter Osteopathie. **c,d** Nach initialer Versorgung mit einem Fixateur externe belastet der Patient die Extremität im Alkoholentzugsdelir voll und die Fraktur kippt valgisch ab. **e,f** Nach Stabilisierung mit einer lateralen Abstützplatte kommt es aus den gleichen Gründen zur vorzeitigen Lockerung, verbunden mit einer ausgedehnten Weichteilinfektion. **g,h** Um die drohende Amputation abzuwenden, wird eine Verbundosteosynthese durchgeführt. **i,j** Ausheilung nach 7 Monaten mit mäßigem varischem Achsknick bei vorbestehender, posttraumatischer valgischer Deviation suprakondylär

Elastische Plattenosteosynthese

Bei der Montage der Platte muss zwischen stabiler und elastischer Plattenmontage unterschieden werden. Bestehen Trümmerzonen oder lässt sich keine formschlüssige Reposition mit Aufbau einer interfragmentären Kompression erreichen, wird die Platte so fixiert, dass der Frakturbereich schwingen kann. Dafür ist es erforderlich, die frakturnahen Plattenlöcher unbesetzt zu lassen, sonst wäre die Strecke, auf der die Platte frei schwingen kann, zu kurz und die Gefahr erhöht, dass sie vorzeitig bricht. Die Technik der elastischen Plattenosteosynthese wird ebenfalls in ▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk, beschrieben.

Bei der elastischen Plattenosteosynthese werden dritte Fragmente oder Stückfrakturen nicht gefasst, sondern nur überbrückt. Insgesamt eignet sich dieses Verfahren bei solchen Frakturen im Schaftbereich, bei denen es im Hinblick auf die Stellung nur auf die korrekte Achse, Rotation und Länge ankommt. Bei Gelenkfrakturen ist dagegen eine anatomische Reposition notwendig. Hier ist das Verfahren der Wahl die stabile Plattenosteosynthese.

Man sollte niemals die beiden unterschiedlichen Verfahrensweisen der stabilen und der elastischen Plattenosteosynthesen miteinander mischen, weil sich die biomechanischen Grundsätze der Verfahren widersprechen und deshalb nicht kombinierbar sind (Muhr 2002).

Beim Wundverschluss bleibt die Faszie offen, weil sie sich nach Einsetzen eines so voluminösen Implantats wie einer Großfrag-

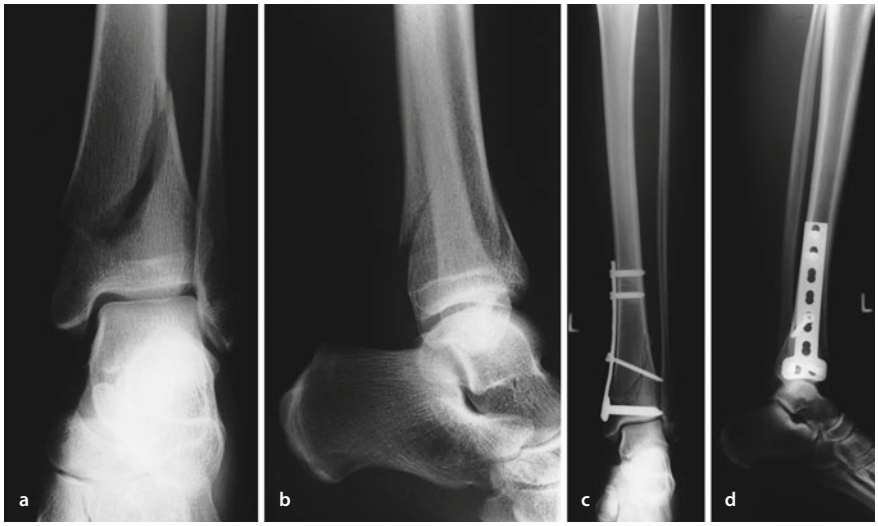


Abb. 10.77a–d Distale Tibiafraktur einer 30-jährigen Patientin. **a,b** Unfallbilder. **c,d** Postoperative Kontrollaufnahmen nach Versorgung mit einer Locking Compression Plate und interfragmentären Zugschraube

mentplatte ohnehin nicht mehr adaptieren ließe und sich damit überdies das Risiko für ein Kompartment-Syndrom erhöhen würde. Auch die Subkutis ist meist nicht dick und stabil genug, um sie separat vernähen zu können. Deshalb ist es oft günstiger, sie zusammen mit der Hautnaht zu adaptieren. Dann sollten die Nahtabstände eng gehalten werden, damit die Oberflächenkeime an keiner Stelle das Implantat erreichen können. Aus demselben Grund empfiehlt sich auch eine postoperative Ruhigstellung in einem Unterschenkelspaltgips, der 10–14 Tage belassen bleibt, bis die Wunde stabil verklebt ist.

Winkelstabiles Plattenschraubensystem

Die Locking Compression Plate (LCP) eignet sich für Frakturen außer höhergradig offenen ab Grad III B nach Gustilo und Anderson im proximalen Drittel und alle geschlossenen und erstgradig offenen A- und B-Frakturen im distalen Viertel. Die Platte kann von proximal sowohl medial als auch lateral eingebracht werden. Lateral ist die Weichteildeckung besser. Distal ist die anteromediale Lage Standard. Die Operationstechnik ist ebenfalls in ▶ Kap. 22, Chirurgisches Handwerk, beschrieben. Das Vorgehen am Schaft unterscheidet sich nicht davon (Abb. 10.77).

Fixateur externe

Mit dem Fixateur externe können prinzipiell alle Frakturen zumindest anbehandelt werden. Spezielle Indikationen sind jedoch höhergradig offene C-Frakturen aller Lokalisationen. Wegen der langen Heilungszeit ist ein rechtzeitiger Verfahrenswechsel angezeigt, möglichst noch bevor Pin-track-Infekte das weitere Vorgehen erschweren. Die Schanz-Schrauben gibt es in selbstschneidender und selbstbohrender Ausführung. Die Klemmbacken haben je nach Hersteller unterschiedliche Vorzüge oder Nachteile. Manche sind mit einem Schnappmechanismus ausgestattet, der die Montage erleichtern soll. Die Längsstäbe gibt es in Metall oder Kohlefaser. Letzteres Material hat den Vorteil, dass es Röntgenstrahlen durchlässt.

Zur Anlage eines Fixateur externe unterpolstert man das Bein so, dass der Unterschenkel in eine möglichst achsengerechte Stellung zu liegen kommt. Die einzelnen Pins werden anteromedial über Stichinzisionen eingebracht. Jedes Hauptfragment wird mit 2 Schanz-Schrauben besetzt. Die Schraubenlöcher werden mit einem 4,5er Bohrer vorgebohrt. Die Schrauben selbst haben einen Kerndurchmesser von 4,7 mm, sitzen dadurch im 0,2 mm kleineren Bohrkanal sehr fest und brauchen nicht mehr vorgespannt zu werden. Beim Aufbohren und Eindrehen der Schrauben verwendet man als Gewebeschutz eine Trokarhülse oder die 4,5-mm-Bohrbüchse, zum Eindrehen selbst ein Universalbohrfutter mit Handgriff oder die Pins werden maschinell mit einem entsprechenden Aufsatz eingedreht. Dies muss allerdings bei niedriger Drehzahl erfolgen, sonst können die Gewindegänge heiß laufen und Knochennekrosen entstehen, die zu einer vorzeitigen Lockerung führen würden.

Beim Einbringen der Pins muss man sich die am Fixateur wirkenden Hebelkräfte vergegenwärtigen. Sie sind am besten zu neutralisieren, indem ein Pin möglichst frakturnah, der zweite möglichst frakturfern und ggf. ein dritter dazwischen gesetzt wird. Außerdem sollte die Klammer des Fixateurs in sagittaler Richtung angreifen, was am Unterschenkel im Gegensatz zum Oberschenkel keine Probleme aufwirft, da die günstigste Stelle zum Einbringen der Pins ohnehin streckseitig liegt. Am Oberschenkel liegt sie lateral.

Zudem muss bei der Montage der Pins die spätere Lage der Längsstäbe einkalkuliert werden. Wenn es Art und Lokalisation der Fraktur zulassen, kann versucht werden, die Pins mit einem oder 2 Längsstäben zu vereinigen. Es ist hilfreich, dann zunächst die beiden frakturfernen Pins zu setzen, also in der Regel einen im Schienbeinkopf, den anderen im Pilon. Der Assistent muss die Fraktur schon während der Montage hinsichtlich Achse, Länge und Rotation reponiert halten, denn beim Einsatz durchgängiger Längsstäbe ist eine spätere Korrektur nicht mehr möglich. Wenn die beiden Pins eingebracht sind, verbindet man sie mit einem Längsstab und zieht die Klemmbacken provisorisch fest. Dann werden weitere Backen am Längsstab in Frakturnähe montiert und die Löcher, geführt durch die Klemmbacken, für die beiden frakturnahen Pins gebohrt. Anschließend werden die Schanzschrauben eingedreht und in den Klemmbacken arretiert. Nun hält bereits der Klammerfixateur die Fraktur. Wenn sich unter Bildwandler die korrekte Bruchstellung und Implantatlage bestätigt, werden die Klemmbacken definitiv festgezogen. Zur Erhöhung der Stabilität können anschließend weitere Pins auf die oben beschriebene Weise eingebracht werden. Außerdem kann man einen zusätzlichen parallelen Längsstab montieren (Abb. 10.78).

Wenn eine Fraktur schwierig zu reponieren ist, gelingt die Montage über einen Längsstab nicht. Dann kann der Fixateur als Repositionshilfe dienen. Zunächst wird jeweils eine Klammer pro

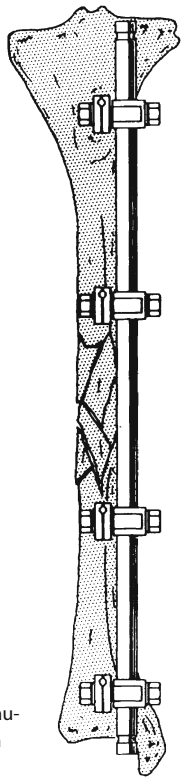


Abb. 10.78 Unilateraler Standardfixateur mit 4 Schrauben in gleicher Ebene, verbunden mit einem einfachen langen Rohr. (Aus: Heim et al. 1992)

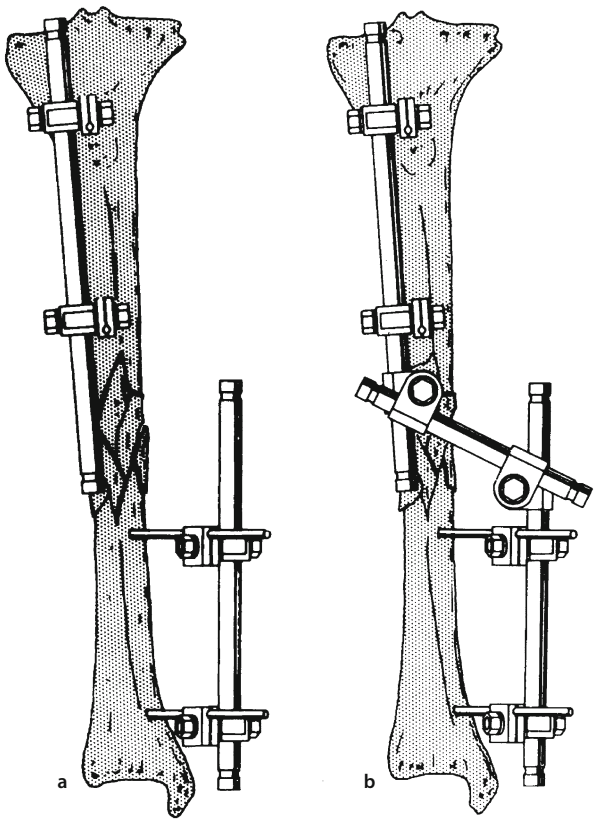


Abb. 10.79a,b Rohr-zu-Rohr-Fixateur. **a** Montage eines Modularfixateurs mit Schanz-Schrauben in verschiedenen Ebenen. **b** Verbindung der Module mit einem kurzen Zwischenrohr unter Anwendung von 2 Rohr-zu-Rohr-Backen. (Aus: Heim et al. 1992)

Hauptfragment montiert. Dazu werden wiederum frakturnah und frakturfern Pins eingebracht. Dann werden jeweils die beiden Pins eines Hauptfragments miteinander verbunden. Dadurch entstehen 2 Klammern, die man als Haltegriff zum Reponieren nutzen kann. Unter gleichzeitigem Längszug an der Ferse durch den Assistenten werden nun die Fragmente unter Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen aufeinander gestellt. Bei gut reponierter Fraktur werden die beiden Längsstäbe Rohr-zu-Rohr mit einem oder 2 weiteren Stäben verbunden. Am einfachsten ist es, die Verbindung mit Rohr-zu-Rohr-Backen zwischen den Stäben herzustellen (Abb. 10.79). Dies kann aber auch ohne diese speziellen Backen zwischen den Pins oder zwischen Stäben und Pins geschehen. In diesem Fall ist die Stabilität geringer. Dafür werden für die Überbrückung 2 Stäbe eingesetzt. Wichtig ist außerdem, dass die 2 oder 3 Pins eines Hauptfragments untereinander verbunden sind, denn nur dann entsteht die nötige Rigidität. Würde man die Pins nur über Längsstäbe von einem zum anderen Hauptfragment verbinden und nicht in sich, dann könnte das System zu sehr schwingen und sich lockern.

Bei gelenknahen Frakturen erfolgt die Montage gelenküberbrückend. Im Oberschenkel werden die Pins von lateral durch den Tractus iliotibialis eingebracht, am Schienbeinschaft von streckseitig. Die Längsstäbe, welche die beiden Fixateurklammern miteinander Rohr-zu-Rohr verbinden, müssen in ausreichendem Abstand an den prominenten Weichteilen des Kniegelenks vorbeigeführt werden. Dies muss bereits beim Einbringen der Pins berücksichtigt werden. Es müssen ausreichend lange Pins verwendet werden, damit man die Klemmbacken entsprechend weit nach außen setzen kann.

Bei distalen Frakturen (▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß) muss der Fuß manchmal mit in die Konstruktion einbezogen werden. Dies kann zur bloßen Spitzfußprophylaxe geschehen oder weil sprunggelenknahe Frakturen einen weiter distal liegenden Ansatz des Gegenzugs erfordern. Man kann dazu ein oder 2 Schanz-Schrauben mit mittig liegendem Gewindeanteil im Talus oder Kalkaneus positionieren. Der Vorfuß kann z.B. mit einer dünneren Schanz-Schraube in der Basis des 3. Mittelfußknochens gefasst werden oder mit je einem Pin im Köpfchen oder der Basis des 1. und 5. Mittelfußstrahls.

Eine Alternative zur Transfixation ist die Montage eines Hybridfixateurs. Zahlreiche Systeme stehen dafür zur Verfügung. Allen gemeinsam ist, dass ein uni- oder bilaterales Rohrsystem mit einem Ringsystem kombiniert wird. Dadurch wird mehr Stabilität auf kleinstem Raum geschaffen, was die Fixierung kurzer gelenkflächentragender Fragmente überhaupt erst ermöglicht.

Die Stabilität eines Fixateur externe wird erhöht, indem man das Hauptelement in der Sagittalebene anbringt, zwischen den Schanz-Schrauben in demselben Hauptfragment möglichst großen Abstand lässt, die Schraube radial vorspannt, also für Schrauben mit 4,7 mm Kerndurchmesser auf 4,5 mm aufbohrt, die Anzahl der Schrauben pro Fragment erhöht, zwischen Knochen und Längsstab einen möglichst kurzen Abstand wählt, einen zweiten Längsstab montiert oder das System V-förmig erweitert.

Laut Heim und Mitarbeitern (1992) hängt es weniger vom Frakturtyp ab als vom Grad der Stabilität, den der Fixateur vermittelt, ob eine Ausheilung erfolgt: »Einfache Frakturen erfordern eine hohe Stabilität, da jegliche Verschiebung sich auf eine Frakturspalte konzentriert und eine übermäßige Instabilität zu hohen Dehnungsverhältnissen an der einzigen Frakturfläche führt, was die Frakturheilung verhindert. Multifragmentäre Frakturen sind einem gewissen Grad von Instabilität gegenüber weniger empfind-

Tab. 10.17 Synopse der Indikationen. Abhängig von Frakturform und -höhe kommen verschiedene Verfahren in Betracht

Frakturhöhe	Frakturform	Osteosyntheseverfahren
Proximale bis distale Ein-Viertel-Grenze	Alle Frakturen außer höhergradig offene ab Grad IIIB*	Unaufgebohrter Tibianagel
Proximale Ein-Viertel-Grenze bis distale Ein-Sechstel-Grenze	Geschlossene A-,B- und C2-Frakturen, Korrekturosteotomien	Aufgebohrter Tibianagel
Proximale Ein-Fünftel-Grenze bis Schaftmitte	Geschlossene A-,B- und C2-Frakturen, Korrekturosteotomien	Retrograder Tibianagel
Proximales Drittel	Alle Frakturen außer höhergradig offene ab Grad IIIB*	LISS
Distales Viertel	Geschlossene und erstgradig offene* A- und B-Frakturen	Plattenosteosynthese
Alle Lokalisationen	Prinzipiell alle Frakturen, speziell jedoch höhergradig offene C-Frakturen	Fixateur externe

* Klassifikation der offenen Frakturen nach Gustilo u. Anderson

lich, da die Verschiebung sich auf mehrere Frakturspalten verteilt.« Beide Frakturarten können jedoch ausschließlich mit der Fixateur-externe-Osteosynthese ausgeheilt werden.

Eine Spongiosaplastik kann die Heilung signifikant beschleunigen. Wegen der besseren Weichteildeckung wird sie lateral eingebracht, wo sie über die Muskulatur revaskularisiert werden kann. Falls ein Verfahrenswechsel vorgesehen ist, sollte er möglichst innerhalb der ersten 3 Wochen stattfinden, jedoch nicht bei manifestem Pin-track-Infekt (Tab. 10.17).

Offene Frakturen

Die Prinzipien der Versorgung offener Frakturen sind in ▶ Kap. 14, Infektionen, beschrieben. Dennoch wird auch an dieser Stelle auf dieses Thema eingegangen, weil offene Frakturen aufgrund des dünnen Weichteilmantels an der Tibia am häufigsten sind und weil diese Verletzungen in dieser Körperregion die meisten Probleme bei der Heilung machen. Dies hängt mit der deutlich schlechteren Durchblutung der unteren Extremität im Vergleich zur oberen zusammen und mit dem Faktum, dass der hydrostatische Druck an der inaktivierten unteren Extremität rasch Ödeme verursacht, welche die Wundheilung zusätzlich beeinträchtigen.

Therapie

Offene Frakturen werden bereits am Unfallort steril abgedeckt. Der Verband sollte erst im Operationssaal für das definitive Débridement wieder entfernt werden. Wichtig ist die initiale Ruhigstellung in einer Schiene, damit die Mikroorganismen, welche die Weichteildeckung und den Knochen kontaminieren, nicht durch die fortbestehende Instabilität in die Umgebung massiert werden. Eine kalkulierte Antibiose wird präoperativ begonnen. Intraoperativ sollten mehrere Abstriche aus verschiedenen Gewebeschichten gewonnen werden, um nach Erhalt des Keimspektrums die Antibiose gezielt umstellen zu können.

Beim Débridement werden die kontusionierten Hautränder exzidiert und gequetschtes Unterhautfettgewebe entfernt. Verschmutzte Faszienanteile lassen sich reinigen, zerfetzte Anteile werden entfernt. Aus der Muskulatur werden alle makroskopisch sichtbaren Schmutzpartikel ausgespült. Eine gepulste Drucklavage empfiehlt sich aber für diesen Arbeitsschritt nur für stabiles Gewebe wie beispielsweise Knochen oder Muskulatur jugendlicher Patienten. Anderenfalls hat die Jet-Lavage den Nachteil, dass sie zu Flüssigkeitseinlagerungen in den bindegewebigen Septen führt und damit zu Hohlräumen, in denen Mikroorganismen gute Wachstumsbedingungen haben. Der Knochen eignet sich dagegen besonders gut für die intensive Reinigung mit einer Jet-Lavage. Wenn er grob verschmutzt ist, kann man zunächst auch eine sterile Handbürste einsetzen. Vollständig deperiostierter kortikaler Knochen, hat im offenen Bruch keine Chance zur Heilung und muss deshalb entfernt werden. Dies gilt nicht für spongiöse Anteile, die nach intensiver Reinigung zur Rekonstruktion verwendet werden können.

Entscheidend für die Wundheilung und die Beherrschung des drohenden Infekts ist die stabile Ruhigstellung der Fraktur. Aufgrund der bereits gegebenen Weichteilschädigung bei offenen Frakturen und der stattgehabten Kontamination des Knochens eignen sich für diesen Zweck am besten Implantate, welche die Weichteildeckung und die Durchblutung des Knochens möglichst wenig zusätzlich belasten. Dies ist beim Fixateur externe und der unaufgebohrten Marknagelung der Fall (s. oben).

Beim Wundverschluss sollte zumindest der Knochen abgedeckt werden. Wenn dies aufgrund einer zu hohen Weichteilspannung nicht möglich ist, kann man den Knochen mit einer Vakuumversiegelung temporär versorgen und die Wunde zu einem späteren Zeitpunkt, wenn der akute Schwellungszustand abgeklungen ist, sekundär nähen oder ggf. mit ortsständigen Weichteillappen oder auch Fernlappen decken (s. unten). Bei ausgedehnten Weichteilschäden und/oder Knochendefekten kann eine primäre Verkürzung des betroffenen Röhrenknochens mit der Option der späteren Verlängerung ein guter Ausweg sein. Dabei muss man bedenken, dass es bei einer Verkürzung von >5 cm zu Knickbildungen im Bereich der Gefäße und damit zu Durchblutungsstörungen kommen kann. Alternativ ist bei ausreichender Erfahrung mit der anspruchsvollen Technik nach Ilisarov die primäre Anlage eines Segmenttransports möglich.

Lokal gestielte Muskellappenplastiken

Die Deckung von Weichteildefekten mit lokal gestielten muskulären und fasziokutanen Lappen kommt in der Regel erst ab der 2. postoperativen Woche nach Konditionierung des Wundgrundes mit einer Vakuumversiegelung in Frage. Markmiller (2001) hat die verschiedenen Verfahren zusammengestellt.

Medialer Gastrocnemiuskopf

Dieser Muskel kann bei medial gelegenen Defekten eingesetzt werden. Die Defekte können in einer Region liegen, die knapp oberhalb des Knies beginnt und bis zum proximalen Tibiakopf reicht (Abb. 10.80a). Das Einsatzgebiet kann nach distal erweitert werden, wenn die Faszie an der Unterseite des Lappens an mehreren

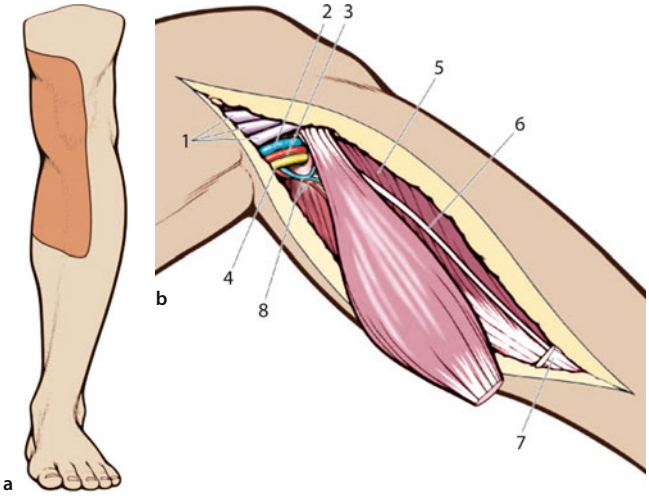


Abb. 10.80a,b Lokal gestielter Muskellappen mit den Caput medialis des M. gastrocnemius. **a** Deckungsbereich. **b** Schema der anatomischen Gegebenheiten. (Aus: Markmiller 2001)

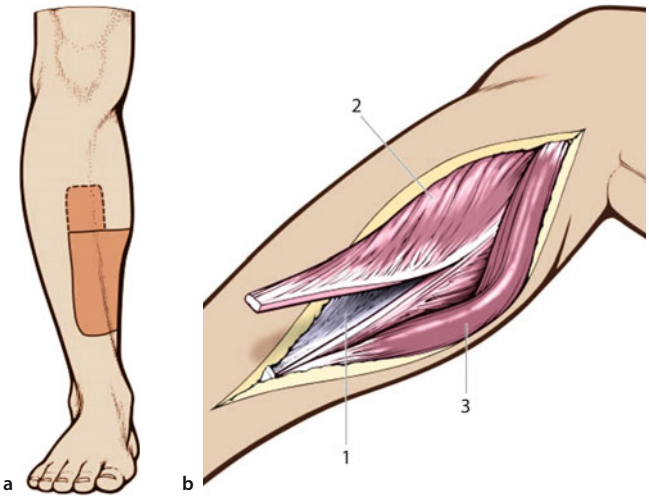


Abb. 10.81a,b Lokal gestielter Soleus-Lappen. **a** Deckungsbereich. **b** Schema der anatomischen Gegebenheiten. Erklärung im Text. (Aus: Markmiller 2001)

Stellen quer inzidiert wird oder der proximale Ursprung mobilisiert wird. Letzteres erfordert eine Erweiterung des Zugangs nach proximal. Die Hautinzision für die Lappenhebung erfolgt 2 cm dorsal der hinteren Tibiakante vom Tibiakopf bis handbreit oberhalb des Innenknöchels. Die V. saphena magna und ihr begleitender Nerv liegen ventral des Zugangs. Das Spatium zwischen M. soleus und dem medialen Gastrocnemiuskopf wird digital aufgespreizt. Dabei muss man auf den N. suralis achten, der zwischen den beiden Muskelbäuchen verläuft. Der Gastrocnemiuskopf wird kurz vor seinem Ansatz an der Achillessehne scharf abgesetzt und nach proximal entwickelt. Proximal bleibt der neurovaskuläre Hilus stehen. Die Muskelköpfe müssen von dorsal her getrennt werden, weil ihre Begrenzungen von ventral her aufgrund der hier gelegenen dicken Faszie nicht zu erkennen sind (Abb. 10.80b).

Lateraler Gastrocnemiuskopf

Dieser Muskelanteil ist kürzer als der mediale, zudem verliert er durch die Umlenkung über die Fibula an Länge. Deshalb kann man ihn nur zur Deckung kleinerer lateraler Defekte am proximalen Unterschenkel verwenden. Das Einsatzgebiet kann durch eine Osteotomie der Fibula ggf. erweitert werden. Die Schnittführung erfolgt 2 cm dorsal der Fibula vom lateralen Tibiakondylus bis handbreit über den Außenknöchel. Der laterale Muskelbauch wird in gleicher Technik wie der mediale entwickelt (s. oben: Medialer Gastrocnemiuskopf).

M. soleus

Der Muskel eignet sich zur Deckung medialer Defekte in Unterschenkelmitte (Abb. 10.81a). Langstreckige Defekte können mit einem medialen längsgespaltenen Hemilappen verschlossen werden. Aber auch eine distale Stielung für körperferne Läsionen ist möglich, weil der Muskel von der A. fibularis und A. tibialis nicht nur proximal und im mittleren Drittel über einzelne Äste versorgt wird, sondern auch über variable distale Äste. Der Zugang liegt 3 cm dorsal der Tibiahinterkante, er beginnt handbreit unterhalb des Kniegelenkspalts und zieht hinab bis zum Mittelpunkt zwischen Innenknöchel und Achillessehne. In der Loge der oberflächlichen Beuger präpariert man dorsal der V. saphena und ihres begleitenden Nervs. Die Loge der tiefen Beuger wird nicht eröffnet. Aus ihr treten zahlreiche Gefäße in die Loge der oberflächlichen Beuger über, die allesamt ligiert werden müssen. Der distale Muskelausläufer des Soleus wird scharf von der Achillessehne abgesetzt. Anschließend wird der Muskel nach proximal mobilisiert. Es empfiehlt sich, nur die längs gespaltene mediale Hälfte des Muskel zu verwenden und die laterale in situ und im Verbund mit der Achillessehne zu belassen, weil der Muskel proximal sehr breit wird und Probleme bei der Torsion des Lappens bereitet (Abb. 10.81b). Generell ist die Verwendung der lateralen Hälfte nicht empfehlenswert, weil die Fibula bei der Lappenhebung und Schwenkung im Weg ist. Bei großen Defekten sollte man mittels MRT oder Sonografie vor dem Eingriff abklären, wie lang der sehnige Übergang des Muskels in die Achillessehne ist. Bei langer muskelfreier Strecke muss die Rotationsachse des Lappens entsprechend weit nach proximal verschoben werden. Je weiter distal ein Defekt liegt, umso entscheidender ist dieser Faktor für die Operationsplanung.

M. peroneus brevis

Mit dem proximal gestielten M. peroneus brevis lassen sich Defekte über dem distalen Fibulaschaft decken. Der Muskel wird über proximale Gefäße aus der A. peronea und A. tibialis anterior ernährt. Sein Funktionsausfall kann durch den unversehrten M. peroneus longus vollständig kompensiert werden. Der Zugang verläuft fingerbreit dorsal der Fibula. Bei der Mobilisierung des Muskels muss der N. peroneus superficialis dargestellt und sicher geschont werden. Die über dem M. peroneus brevis liegende Sehne des M. peroneus longus wird entwickelt und nach dorsal weggehalten. Die distalen zwei Drittel des Muskelbauchs des peroneus brevis können mobilisiert werden. Aber es ist auch möglich, den Muskel distal gestielt zu lassen und proximal zu heben, z.B. als Ergänzung eines distal zu kurzen Soleuslappens. Um eine ausreichende Durchblutung sicherzustellen, wird aber nur die proximale Hälfte des M. peroneus brevis präpariert und die distale im Weichteilverbund belassen (Abb. 10.82).

M. tibialis anterior

Damit lassen sich schmale Defekte des vorderen Aspekts der Tibia im mittleren Drittel decken. Der Muskel wird über einen anterolateralen Zugang vom lateralen Aspekt der Tibia mobilisiert. Dabei

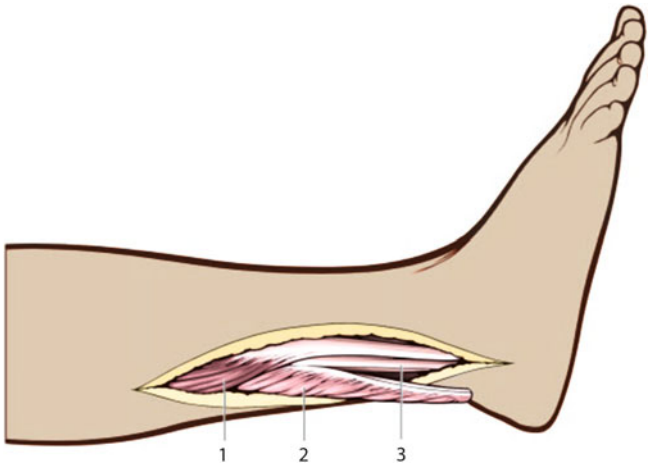


Abb. 10.82 Lokal gestielter M.-peroneus-brevis-Lappen. Erklärung im Text. (Aus: Markmiller 2001)

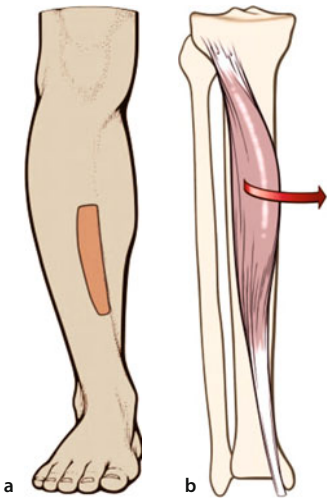


Abb. 10.83a,b Lokal gestielter M.-tibialis-anterior-Lappen. **a** Deckungsbereich. **b** Der Muskel kann im medialen Drittel über die Tibiakante mobilisiert werden. Erklärung im Text. (Aus: Markmiller 2001)

müssen der N. peroneus profundus und A. und V. tibialis anterior, die auf der Membrana interossea verlaufen, geschont werden. Eine Stielung des Muskels verbietet sich, weil dies die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk beeinträchtigen würde und eine Gangstörung und Schwäche im Quergewölbe des Fußes zur Folge hätte. Deshalb wird der Muskel lediglich längs gespalten, nach medial verzogen, am medialen Weichteildefektrand fixiert und zur Deckung der Tibiavorderkante genutzt. Die Längsspaltung erfolgt in Nähe der Membrana interossea und reicht bis zur zentral im Muskel verlaufenden Sehne. Bis der Lappen sicher eingeheilt ist, wird das Sprunggelenk in Neutralstellung ruhiggestellt – bei kritischen Weichteilverhältnissen am besten mit einem gelenkübergreifenden Fixateur externe (Abb. 10.83).

Kompartment-Syndrom

In ▶ Kap. 17 wird das Thema systematisch behandelt und das praktische Vorgehen bei der Dermatofasziotomie bezogen auf die verschiedenen topografischen Regionen einzeln dargestellt. Dennoch wird das Thema aus den gleichen Gründen, die für die offenen Frakturen gelten, bezogen auf den Unterschenkel, auch an dieser Stelle zumindest skizziert, denn die häufigsten Ursachen für Kompartment-Syndrome sind Tibiakopf-, Unterschenkel- und Fußwurzelfrakturen.

Es gibt aber auch Kompartment-Syndrome als Folge sportlicher Betätigung (ECS, Exertional Compartment Syndrome), wobei zwischen akuten und chronischen Formen unterschieden wird (Wilder und Sethi 2004). Fallberichte, bei denen nach intensiven Training Kompartment-Syndrome aufgetreten sind, liegen für Joggen, Rad fahren, Krafttraining, Reiten und verschiedene Kontaktsportarten vor. Metze et al. (2007) berichten über einen Fall, der durch Bowling ausgelöst wurde. Anamnestisch liegt die körperliche Belastung häufig schon viele Stunden, teilweise bis zu 2 Tagen, zurück. Entscheidend ist nicht unbedingt die Dauer, sondern die Intensität der Belastung.

Pathophysiologie des Kompartment-Syndroms

Ein Kompartment-Syndrom tritt auf, wenn der Druck in einer Muskelloge, bedingt durch eine Blutung und/oder Schwellung, so hoch wird, dass der Blutfluss in den Kapillaren zum Erliegen kommt. Wann dies der Fall ist, hängt nicht nur vom Logendruck selbst ab, sondern auch von der Höhe des diastolischen Blutdrucks. Letzterer kann erheblich schwanken, z.B. zwischen einen Patienten mit Bluthochdruck und einem beatmeten Patienten im Schock. Das erschwert die Beurteilung und die therapeutische Entscheidungsfindung. Man kann sich nicht an einem definierten kritischen Logendruckwert orientieren, den man mit einem Messgerät ermitteln kann, sondern muss die Druckdifferenz zwischen diastolischen Druck und Logendruck betrachten. Dieses Gefälle sollte mindestens 30 mmHg betragen. Sinkt es unter diesen kritischen Wert droht ein Kompartment-Syndrom und die Indikation zur notfallmäßigen Dermatofasziotomie ist gegeben.

Patienten, die ein Kompartment-Syndrom entwickeln, haben zunehmend heftige, analgetikaresistente Schmerzen im betroffenen Extremitätenabschnitt aufgrund der sich entwickelnden Ischämie im Muskelgewebe. Der Schmerz wird durch das Hochlagern der Extremität sogar verstärkt, denn dies verringert das ohnehin schon grenzwertige Gefälle zwischen diastolischen Blutdruck und Logendruck. Die Extremität muss deshalb, obwohl sie stark geschwollen ist, flach gelagert werden. Aus dem gleichen Grund müssen zirkuläre, elastische oder starre Verbände gespalten werden. Der Logendruck kann mit einem speziellen Messgerät oder einem arteriellen Messsystem direkt gemessen werden. Dazu braucht man eine exakte Vorstellung von der topografischen Lage, denn jede einzelne Loge muss gezielt punktiert und gemessen werden (▶ Kap. 17). Im Einzelnen handelt es sich um folgende Lokalisationen:

1. Die Loge des M. tibialis anterior wird ventrolateral punktiert,
2. die Loge der Peronealmuskulatur lateral,
3. die Loge der oberflächlichen Beuger dorsolateral oder dorsomedial und
4. die Loge der tiefen Beuger lässt sich am einfachsten an der distalen Drittelgrenze von medial, dorsal der gut tastbaren Hinterkante der Tibia punktieren. Die tiefen Beuger verlaufen dorsal am Tibiaschaft entlang.

Das wegweisende, pathognomonische Symptom Schmerz fehlt beim beatmeten Patienten. Gleichzeitig ist gerade bei diesen Patienten der Blutdruck unter Umständen grenzwertig niedrig. In solchen Fällen ist die Gefahr der Minderperfusion in traumatisierten Muskellogen besonders hoch.

Die Indikation zur Dermatofasziotomie besteht bei einer Druckdifferenz zwischen diastolischem Druck und Logendruck <30 mmHg. Man kann aber die Entscheidung auch aufgrund der klinischen Symptome allein stellen. Bei adäquatem Trauma, eindeutigem klinischen Befund und analgetikaresistenten Schmerzen kann man dem Patienten die Logendruckmessung ersparen und gleich in den Operationssaal bringen lassen. Hypästhesien im Bereich des Fußes sind ein Zeichen für eine fortgeschrittene Ischämie. Die Dermatofasziotomie sollte möglichst erfolgen, noch bevor diese auftreten.

Vorgehen

Die einzelnen Logen können über 2 gesonderte Zugänge von medial und lateral eröffnet werden oder über einen einzigen Zugang von lateral. Das Vorgehen über 2 Zugänge ist in ▶ Kap. 17, Komplikationen, beschrieben. Das Vorgehen über einen Zugang von lateral wird im Folgenden beschrieben. Viele Unfallchirurgen bevorzugen es, weil man nur eine Narbe am Unterschenkel hinterlässt und die Faszienhüllen medial unverletzt bleiben. Dadurch wird die Weichteilsilhouette des Unterschenkels insgesamt weniger verändert. Die Lagerung des Beins, die Verbandswechsel und die spätere Sekundärnaht sind einfacher, weil man nur eine Seite zu versorgen hat.

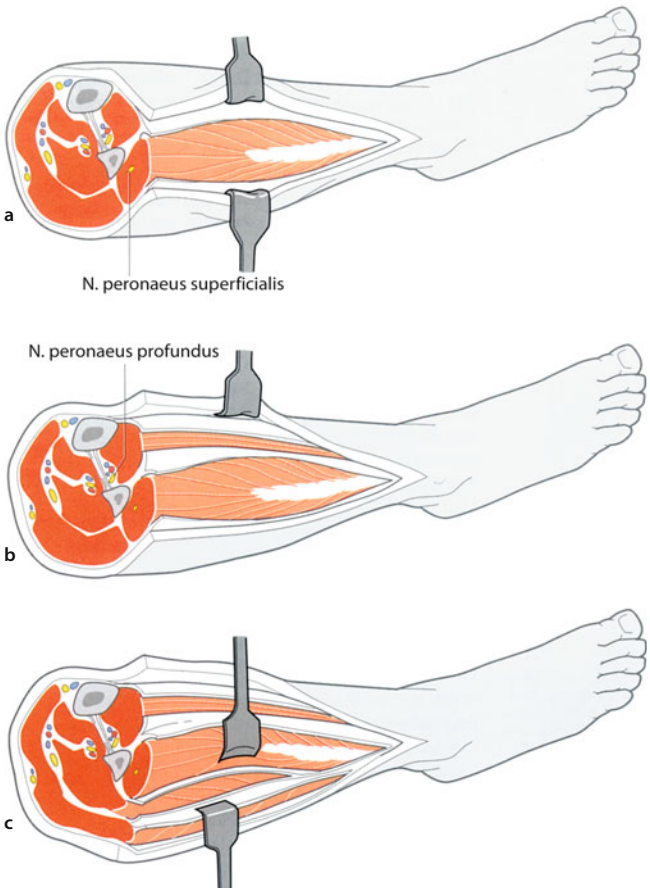
Dass sich bei der Dermatofasziotomie eine Blutsperre verbietet, versteht sich von selbst, da die Vitalität der Muskulatur durch die bestehende Durchblutungsstörung im Bereich der kapillären Endstrecke bereits massiv gefährdet ist.

Nach Hautdesinfektion und Abdeckung des Operationsgebiets eröffnet man die Haut mit einem Schnitt, der knapp unterhalb des Fibulaköpfchens beginnt und etwa handbreit oberhalb der Außenknöchelspitze endet. Die Subkutis wird auf die gesamte Schnittlänge auf epifaszialem Niveau unterfahren und unter Schonung kreuzender Hautnerven gespalten. Bevor man die Faszienhülle der ersten Loge spaltet, sollte man alle 3 Logen, die von diesem Zugang aus gut darstellbar sind, frei präparieren, indem man den Haut-Subkutismantel auf epifaszialem Niveau nach ventral und dorsal mobilisiert. Solange die einzelnen Logen intakt sind, lassen sie sich einfacher voneinander abgrenzen und zuordnen, was den anatomischen Überblick erleichtert. Ventral stellt man sich die Loge des M. tibialis anterior dar und dorsal die der oberflächlichen Beuger, dazwischen liegt die Loge der Mm. peronei. Die 4. Loge ist die der tiefen Beuger. Man kann sie von diesem Zugang aus nicht offen einsehen, sondern nur tasten. Dazu bahnt man sich in Höhe der distalen Drittelgrenze zwischen den Logen der Mm. peronei und der oberflächlichen Beuger hinter der Fibula stumpf einen Weg nach medial zur Rückfläche der Tibia. In der Tiefe kann man dann die Faszienhülle der tiefen Beuger palpieren.

Mit der Spaltung der einzelnen Logen beginnt man z.B. mit dem Fach der Peronealmuskulatur (◘ Abb. 10.84a). Als nächstes werden die Logen des M. tibialis anterior eröffnet (◘ Abb. 10.84b) und dann die der oberflächlichen und tiefen Beuger (◘ Abb. 10.84c).

Man muss sich die anatomischen Verhältnisse gut ansehen, denn es kommt immer wieder vor, dass unerfahrene Operateure das Fach der tiefen Beuger versehentlich nicht eröffnen. Dann haben die Patienten auch nach erfolgter Dermatofasziotomie noch unstillbare Schmerzen und die Ursache wird bei der Revision offenbar. Allerdings ist es dann für den Muskel meist zu spät.

Das Fach der tiefen Beuger muss in der Tiefe zwischen dem peronealen Fach und den oberflächlichen Beugern meist ohne ausreichende Sicht eröffnet werden. Man muss dabei besonders vorsichtig sein, denn in diesem Fach verlaufen die großen neurovaskulären Strukturen. Um diese Strukturen sicher zu schonen, kann man sich zunächst mit der Präparierschere eine kleine Lücke in die Faszientextur schneiden und spreizen und anschließend diese Lücke digital nach kranial und distal erweitern. Die Faszie muss sicher und ausreichend weit eröffnet werden, sonst droht die muskuläre Ischämie und in der Folge eine Volkmann-Kontraktur mit Krallenzehenbildung.



◘ **Abb. 10.84a–c** Parafibulare Dermatofasziotomie. **a** Eröffnung des peronealen Fachs. **b** Eröffnung des Fachs des M. tibialis anterior. **c** Eröffnung des Fachs der oberflächlichen Beuger. Nicht dargestellt ist die Eröffnung des Fachs der tiefen Beuger, das im distalen Zugangsbereich in der Tiefe zwischen dem M. solens und der Fibula aufgesucht wird (siehe Text) (Aus: Nerlich, Berger 2003)

Bei jedem Kompartment-Syndrom sollten sicherheitshalber alle 4 Logen eröffnet werden, damit der Zustand der Muskulatur zweifelsfrei beurteilt werden kann. Nekrosegefährdete Muskulatur ist grau verfärbt und kontrahiert sich nicht, wenn man sie durch einen leichten Schlag mit einem stumpfen Instrument stimuliert. Sie kann sich aber wieder erholen. Deshalb wird man in der Regel die nächste Revision abwarten, bevor man Gewebe reseziert. Definitiv abgestorbene Muskulatur ist lehmfarben und zeigt bei Inzision keinerlei frische Blutungen mehr, sondern schwarz verfärbtes, in den Gefäßen koaguliertes Blut (◘ Abb. 10.85). Wenn man Muskulatur resezieren muss, sollte man die Sehnen stehen lassen, um die Möglichkeit für eine Ersatzplastik offen zu halten.

Der Wundverschluss erfolgt mit Kunsthaut oder einer Vakuumversiegelung. Falls größere Hämatome abgelaufen sind, kann die Weichteilspannung bereits intraoperativ soweit nachgelassen haben, dass der laterale Zugang teilweise zugenäht werden kann. Wichtig ist dabei, dass man nicht zu viel Nahtspannung aufbaut und dadurch eine erneute Kompression einzelner Logen provoziert. Im Zweifelsfall lässt man den Zugang lieber weit offen, denn

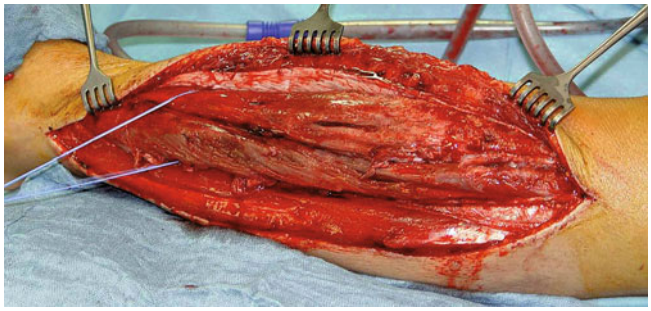


Abb. 10.85 Lehmfarbene Verfärbung avitaler Anteile des M. extensor digitorum longus und M. tibialis anterior. (Aus: Metze et al. 2007)

wenn nach einigen Tagen die Weichteile weitgehend abgeschwollen sein werden, erfolgt ohnehin die Revision mit Sekundärnaht. Gegebenenfalls sind weitere Schwammwechsel erforderlich, bis die Weichteilsituation einen definitiven Wundverschluss zulässt.

10.4.3 Distale Tibiafrakturen

Ätiologie

Man unterscheidet bei den distalen Tibiafrakturen aufgrund des Unfallmechanismus zwischen Torsionsfrakturen und Stauchungsfrakturen. Eine eigene Entität sind die so genannten Robinson-Frakturen, bei denen das Sprunggelenk beteiligt ist. Eine axiale Stauchung durch Sturz aus der Höhe oder eine Pedalverletzung im Kraftfahrzeug erzeugt Pilon-tibiale-Frakturen. Verletzungen der distalen Tibiametaphyse und des umgebenden Weichteilmantels entstehen beim Überrolltrauma oder der Verschüttung. Die indirekte Gewalteinwirkung beim Verdrehtrauma kann zu distalen Tibiafrakturen mit Beteiligung des Sprunggelenks führen.

In Hinblick auf Klinik und Diagnostik gelten die Ausführungen im ▶ Abschnitt 10.4.2 Unterschenkelschaftfrakturen, wobei die Bildgebung bei Beteiligung des Pilons durch ein CT ergänzt wird.

Klassifikation

Die AO-Klassifikation unterscheidet zwischen extra- und intraartikulären Frakturen (Abb. 10.86).

Die Klassifikation nach Robinson (et al. 1995) teilt die Tibiaschaftfrakturen mit Beteiligung des oberen Sprunggelenks mit Erweiterung um den Typ II D nach Rzesacz (et al. 1998) folgendermaßen ein:

- Typ II A: Spiralfraktur der distalen Tibia
- Typ II B: Typ II A mit Abbruch des Innenknöchels
- Typ II C: Typ II A mit Abbruch des hinteren Tibiakantendreiecks
- Typ II D: Typ II A mit Abbruch des Innenknöchels und des hinteren Tibiakantendreiecks

Therapie

Konservativ behandelt werden können nur einfache Frakturen, die nicht verschoben sind oder sich gut reponieren und im Gips retinieren lassen. Aber auch ein erhöhtes Operationsrisiko z.B. durch eine arterielle Verschlusskrankheit oder andere schwere Grunderkrankungen kann ein konservatives Vorgehen geboten erscheinen lassen.

In der Regel wird man aber die Risiken der konservativen Therapie wie Thrombose, Embolie, Reflexdystrophie, Muskelatrophie und sekundäre Fehlstellungen durch ein operatives Vorgehen zu vermeiden suchen.

Bereits im ▶ Abschnitt 10.4.2, Unterschenkelschaftfrakturen, wurde darauf hingewiesen, dass Tibiaschaftfrakturen bei einer Achsabweichung von >5°, einer Verkürzung von >1 cm oder einer Rotationsfehlstellung operiert werden sollten. Zu ergänzen ist, dass bei intraartikulären Frakturen Gelenkstufen >1 mm oder Dehiszienzen >2 mm nicht belassen werden dürfen, weil sie eine posttraumatische Arthroseentwicklung einleiten können. Bei allen instabilen Frakturen der Gruppen A3 und B2–C3 nach AO besteht die Indikation zur Reposition und Stabilisierung. Das Gleiche gilt für Ketten- oder Mehretagenfrakturen und für sekundäre Dislokationen. Eine notfallmäßige Indikation zur Versorgung besteht bei geschlossenen oder offenen Weichteilschäden 2.–3. Grades sowie bei begleitenden Nerven- oder Gefäßverletzungen und bei drohendem oder manifestem Kompartment-Syndrom (Streicher u. Reilmann 2008a). Die Pilon-tibiale-Frakturen des Typs B1–C3 nach AO werden im folgenden ▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß, behandelt.

Der beste Zeitpunkt zur Versorgung ist in der Regel ein möglichst frühzeitiger, solange die Weichteile noch nicht so stark geschwollen sind, dass der primäre Wundverschluss gefährdet ist. Wenn aber bereits bei der Erstversorgung des Patienten ein ausgeprägter Schwellungszustand vorliegt, ist es günstiger, die Fraktur zunächst nur ruhig zu stellen. Bei geschlossener Weichteildeckung kann dies in einer Schiene erfolgen, bei offenen Wunden und/oder Wundflächen empfiehlt sich die Ruhigstellung im Fixateur externe. Ein Verfahrenswechsel sollte innerhalb von 14 Tagen durchgeführt werden, weil bei einem späteren Zeitpunkt das Risiko durch Pintrack-Infekte deutlich steigt.

Operative Versorgung extraartikulärer distaler Tibiafrakturen

Wie bereits im vorausgegangenen Abschnitt Unterschenkelschaftfrakturen ausgeführt, eignen sich zur Stabilisierung distal gelegener Frakturen Marknägel dann, wenn das distale Hauptfragment mit 3 Verriegelungsschrauben in 2 Ebenen gefasst werden kann und wenn die Verriegelungsschrauben kein großes Winkelspiel im Verriegelungsloch des Marknagels haben, um ausreichend Stabilität erzeugen zu können. Problematisch sind Schräg- oder Spiralfrakturen, weil bei diesen Bruchformen die Frakturflächen verkippt zur axialen Belastungsachse stehen und während der Heilung ein ständiger shift einwirkt, der insbesondere bei weitem Markraum zur sekundären Fehlstellung führen kann und dann im Verfahrenswechsel mündet.

Dieses Problem hat man bei der Plattenosteosynthese nicht (▶ Abschnitt 10.4.2, Unterschenkelschaftfrakturen). Wenn man die Platte ausreichend vormodelliert und beachtet, sie auch zu schränken und damit der anatomischen Torsion des medialen Aspekts der Tibia anzupassen, kann man mit einer herkömmlichen Druckplattenosteosynthese eine anatomisch reponierte Fraktur stabil retinieren und eine primäre Knochenbruchheilung erzielen. Bei der Reposition muss man darauf achten, dass man die Fragmente nicht denudiert. Die Stabilität der Osteosynthese wird erhöht durch die gleichzeitige Versorgung einer distalen Fibulafraktur (▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß).

Mit winkelstabilen Platten ist es auch bei sehr kurzen distalen Fragmenten noch möglich, das Repositionsergebnis stabil zu retinieren (Abb. 10.87a,b). Die Frakturen werden durch Längszug reponiert und ggf. perkutan, passager mit K-Drähten fixiert, denn nach Möglichkeit sollte man die Fraktur nicht offen reponieren, um die periostalen Gefäßverbindungen zu schonen. Über einen kurzen anteromedialen Längsschnitt über dem Innenknöchel wird auf epiperiostalem Niveau ein Weichteiltunnel mit einer großen

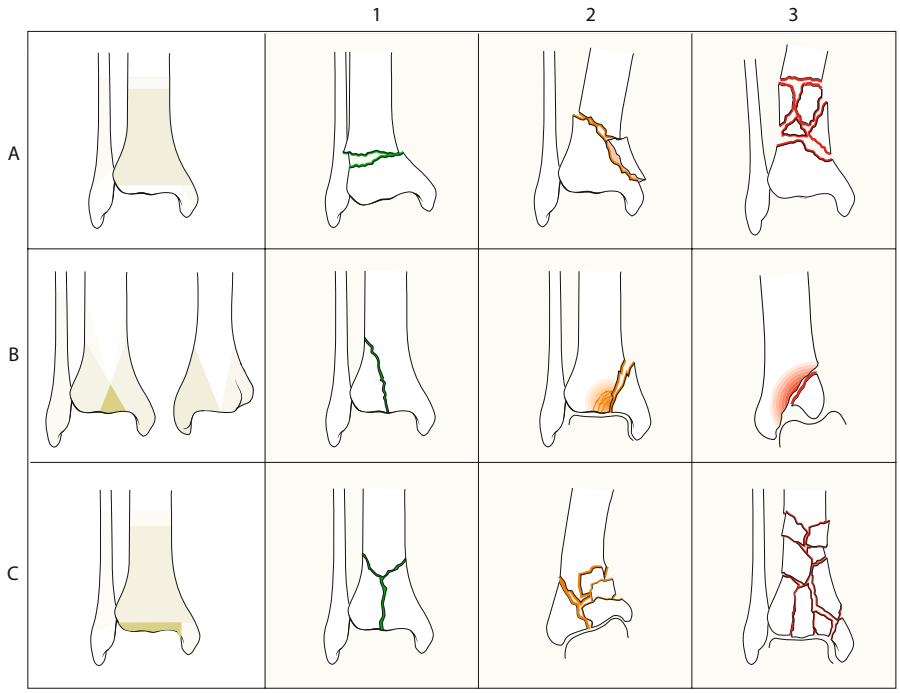


Abb. 10.86 AO-Klassifikation der Region 43 Distaler Unterschenkel. Die eigentlichen Pilon-Frakturen betreffen die Bruche der Schweregrade B und v.a. C. Der Schweregrad A ist selten und kommt eher durch indirekte Krafteinwirkung zustande.
a Extraartikuläre Frakturen: A1: Metaphysär einfach; A2: Mit metaphysärem Keil; A3: Metaphysär komplex.
b Partielle Gelenkfrakturen: B1: Reine Spaltung; B2: Impression mit Spaltung; B3: Mehrfragmentär mit Impression.
c Vollständige Gelenkfrakturen: C1: Artikulär einfach, metaphysär einfach; C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär; C3: Mehrfragmentär.
Bei allen Frakturen muss die Beteiligung der Fibula extra erwähnt werden. (Aus: Müller-Mai 2010)

Abb. 10.87a–e Distale Unterschenkelfraktur. **a,b** Unfallbilder. **c** Die beiden minimal-invasiven Zugänge sind rot eingezeichnet. **d,e** Einschieben einer winkelstabilen Platte. (Aus: Streicher u. Reilmann 2008b)

Präparierschere geschaffen (Abb. 10.87c). Anschließend wird die vorgebogene und geschränkte Platte von distal nach proximal in diesen Tunnel hochgeschoben (Abb. 10.87 d,e). Über dem proximalen Plattenende wird ein weiterer wenige Zentimeter langer Zugang angelegt, um die korrekte Ausrichtung der Platte am Schaft sicherzustellen und von hier aus Schrauben einbringen zu können. Bevor die Schrauben eingebracht werden, richtet man die Platte am Schaft in beiden Ebenen aus und fixiert ihre Lage am Knochen mit jeweils einem K-Draht proximal und distal. Eine verbliebene Varusfehlstellung lässt sich jetzt elegant korrigieren, indem man als erstes eine Kortikaliszugschraube in Plattenmitte eindreht und durch dosiertes Anziehen der Schraube die Fehlstellung ausgleicht (Abb. 10.88a). Erst dann wird die Platte distal und proximal mit mehreren winkelstabilen Schrauben befestigt. Die Zugschraube kann nach abgeschlossener Osteosynthese in situ bleiben oder entfernt werden.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung bei konservativer Therapie besteht in einer langwierigen Ruhigstellung mit teilweise mehreren Gipswechseln. Die durchschnittliche Ruhigstellungszeit beträgt 13,4 Wochen. Mit einer Teilbelastung kann begonnen werden, wenn sich erst knöcherne Reaktionen im Frakturbereich im Sinne eines Durchbaus zeigen.

Nach einer Osteosynthese mit einem unaufgebohrten Verriegelungsnagel ist eine funktionelle Nachbehandlung möglich. Die verletzte Extremität wird mit 15 kg teilbelastet. Einfache Querfrakturen, die sich gut abstützen, können primär schmerzabhängig belastet werden. Isometrische Übungen und Bewegungsübungen der angrenzenden Gelenke sind wichtig als Prophylaxe gegen Thrombose, Muskelatrophie und Kontrakturen. Die Belastung wird abhängig von den Röntgenkontrollen, die anfangs in einem Intervall von jeweils 6 Wochen durchgeführt werden, gesteigert. In der Regel ist bereits nach 12 Wochen Vollbelastung erreicht. Eine Dy-

Abb. 10.88 Reposition und Osteosynthese. Durch Einsatz einer Zugschraube lässt sich ein ad-latus-Versatz elegant ausgleichen. Die Zugschraube kann belassen bleiben oder nach winkelstabiler Osteosynthese wieder entfernt werden. (Aus: Streicher und Reilmann 2008b)

namisierung, wie man sie von Nagelsystemen mit rigiden Verriegelungsbolzen kennt, ist beim unaufgebohrten Tibianagel (UTN) häufig gar nicht nötig, weil sich die Schrauben sofort verbiegen und sogar häufig brechen, wenn sie statisch belastet werden. Die Implantatentfernung kann nach 1–2 Jahren erfolgen.

Das Vorgehen nach Implantation eines aufgebohrten Marknagels ist fast identisch. Der Unterschied liegt darin, dass die aufgebohrten Nägel stabiler und deshalb früher belastbar sind. Aufgrund der höheren Rigidität müssen die Nägel ggf. spätestens vor der Vollbelastung dynamisiert werden, damit die Fraktur ausreichend komprimiert wird.

Nach einer Plattenosteosynthese am distalen Unterschenkel wird die Wundheilung evtl. in einem Unterschenkelspaltgips abgewartet, bevor die Krankengymnastik wie bei den oben beschriebenen Verfahren intensiviert wird. Am proximalen Unterschenkel sind die Weichteilverhältnisse weniger kritisch. Hier kommt man meist ohne zusätzliche Ruhigstellung aus. Alle Plattenmodelle werden zunächst nur mit 15 kg teilbelastet. Die Belastung wird dann in Abhängigkeit von den Röntgenkontrollen gesteigert. Dabei sind Entlastungszeiten von 16 Wochen keine Seltenheit.

Die adäquate Pflege der Pins ist das Entscheidende für die Nachbehandlung eines Fixateur externe, um Infektionen vorzubeugen. Am besten macht man den Patienten damit vertraut, denn die Pineintrittsstellen müssen täglich von Blut- und Fibringerinnseln befreit und desinfiziert werden. Außerdem werden die Schrauben wöchentlich kontrolliert und gelockerte nachgezogen. Auch hier ist das übliche Programm gegen Thrombose, Muskelabbau und Versteifung der angrenzenden Gelenke angezeigt sowie die frühzeitige Planung eines Verfahrenswechsels, falls keine Ausheilung im Fixateur erfolgen soll.

Komplikationen und Prognose

Eine Sichtung (Oestern 2002) der amerikanischen Literatur ergab, dass in den USA nach Unterschenkelfrakturen am zweithäufigsten Malpractice-Verfahren eingeleitet werden. Dies verdeutlicht, dass es sich um eine problematische Körperregion handelt, in der Komplikationen nicht gerade selten sind. Bei einer mittleren Ruhigstellungszeit unter konservativer Behandlung von 13,4 Wochen wird deutlich, welche Sekundärschäden durch die monatelange Immobilisation auftreten und dass in 20% der Fälle Komplikationen wie Thrombosen, verzögerte oder ausbleibende Heilung und Refrakturen zu verzeichnen sind.

Hinsichtlich Infekt-, Pseudarthrose- und Fehlstellungsrate zeitigt der unaufgebohrte Tibianagel sehr gute Ergebnisse. Die schlimmste Katastrophe für den Patienten, die Markraumphlegmone, ist nicht zu befürchten. Einziger Nachteil ist seine relative Instabilität, die sich in der höchsten Revisionsrate aller Systeme niederschlägt. Systemimmanent sind Achsenfehlstellungen und Repositionsverluste bei distalen Schrägfrakturen und gebrochene Verriegelungsschrauben. Dagegen haften postoperative Rotationsfehler allen Marknagelungsverfahren an. Die Infektgefahr wird durch den Aufbohrvorgang erhöht. Am höchsten ist sie aber bei den Plattenosteosynthesen. Minimal-invasive Verfahren wie das LISS-System sind davon weniger betroffen. Bei Fixateur externe limitieren Pin-track-Infekte nicht selten die Behandlungsdauer. Wenn die Fraktur wegen dieser Komplikation im Fixateur nicht ausbehandelt werden kann, muss sich eine Phase der Gips- oder Orthesenbehandlung anschließen. Auch beim Fixateur gibt es verbleibende Achsfehler und Pseudarthrosen.

Am distalen Tibiaschaft ist die Gefahr einer Pseudarthrosenbildung mit 3–48% besonders hoch (Bhandari et al. 2001). Die Ursachen dafür liegen in verletzungs- oder operationsbedingten lokalen Durchblutungsstörungen, klaffende Frakturspalten durch Substanzdefekte, mangelnde Reposition, Weichteilinterponate und instabile Osteosynthesen (Kuner et al. 1996). Allgemeine Risikofaktoren, wie schlechter Ernährungszustand, hohes Lebensalter, Steroideinnahme, Nikotinabusus, Diabetes mellitus und pAVK kommen hinzu (Mückley et al. 2007, Abb. 10.89). Nolting et al. (2006) berichten über 4 Fälle hypertropher distaler Tibiapseudarthrosen, die mit perkutan eingebrachten winkelstabilen Platten zur Ausheilung gebracht werden konnten. Die Patienten wurden nach durchschnittlich 2,3 Monaten wieder arbeitsfähig.

10.4.4 Amputationen

R. Baumgartner

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich bis zu 60.000 Amputationen an der unteren Extremität durchgeführt, 90% davon wegen chronisch arterieller Verschlüsse mit und ohne Diabetes mellitus und 10% wegen Traumata oder seltener wegen Tumoren (Heller et al. 2005).

Die überwiegende Mehrzahl der Amputationen wird am Unterschenkel unterhalb des Kniegelenks vorgenommen. Der Erhalt des Kniegelenks verbessert die Möglichkeiten für die spätere prothetische Versorgung und damit die Lebensqualität der Patienten.

Für eine Amputation am Unterschenkel werden die Patienten auf den Rücken gelagert. Man kann in Blutsperre operieren oder lediglich bei angelegter aber nicht insufflierter Blutsperremanschette arbeiten, dann sieht man die einzelnen Blutungen bei der Präparation der Weichteile und kann sie gezielt stillen. Bei chronischer arterieller Verschlusskrankheit sollte nach Möglichkeit ohnehin keine Blutsperre zur Anwendung kommen, es empfiehlt sich aber, sie anzulegen, um sie bei etwaigen Blutungszwischenfällen und unübersichtlichem Situs kurzfristig aktivieren zu können.

Zu den verschiedenen Amputationshöhen am Fuß wird auf das ▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß, verwiesen. Am Bein gibt es zahlreiche unterschiedliche Amputationshöhen (Übersicht).

Abb. 10.89a,b Beidseitige Tibiapseudarthrose. **a** Ausgangsbefund. **b** Röntgenkontrollen nach Spongiosaplastik und Verplattung mit winkelstabiler Platte im Sinne einer modifizierten Fibula-pro-Tibiarekonstruktion auf der rechten Seite und Pseudarthrosenresektion mit Kompressionsnagelung sowie Fibulaverkürzungsosteotomie auf der linken. (Aus: Mückley et al. 2007)

Amputationshöhen am Bein

- Syme-Stumpf
- Umgekehrter Syme-Stumpf
- Modifizierter Syme-Stumpf
- Langer Unterschenkelstumpf
- Mittellanger Unterschenkelstumpf
- Kurzer Unterschenkelstumpf
- Ultrakurzer Unterschenkelstumpf
- Exartikulation im Kniegelenk
- Transkondyläre Amputation
- Langer, mittlerer und kurzer Oberschenkelstumpf

Syme-Stumpf

Die Schnittführung beginnt laut Brückner (2007) an einem der beiden Knöchel, zieht ventral über den Fußrücken zum anderen Knöchel, dann in Höhe des Chopart-Gelenks nach distal zur Fußsohle und von dort zurück nach proximal, wo sie ihren Ausgangspunkt trifft (Abb. 10.90a). Bereits bei diesem ersten Schnitt werden die Weichteile bis auf den Knochen durchtrennt. Anschließend wird der Fuß maximal plantarflektiert und wechselweise proniert oder supiniert, um den knöchernen Rückfluss schrittweise aus seinem Weichteilverbund schälen zu können (Abb. 10.91b,c). Bei der Präparation muss man insbesondere am Innenknöchel absolut knochennah vorgehen, damit A. und V. tibialis posterior nicht verletzt werden, denn die sind für die Durchblutung des Fersenlappens von entscheidender Bedeutung. Es empfiehlt sich daher, zunächst den Knochen am Stumpf knapp über Gelenkflächenniveau zu osteotomieren, denn bei diesem Schritt wird der Innenknöchel mit entfernt, wodurch die Gefäße besser zur Darstellung kommen (Abb. 10.91d). Bei der Präparation der Achillessehne droht die Hautperforation, weil die Weichteildeckung in diesem Bereich besonders dünn ist. Baumgartner und Botta (2008) empfehlen deshalb dieses Hautareal bei der Präparation von außen mit einer Hand zu palpieren, damit man eine Kontrolle darüber hat, wie nahe man der Hautoberfläche ist. Man kann dann die Achillessehne gezielt in ihrem Ansatzbereich mit einer gebogenen stumpfen Klemme von innen umfahren. Nach

der stumpfen Präparation kann man die Sehne kontrolliert absetzen, ohne die darüber liegende Haut zu gefährden. Nach Herauslösen des Rückfußes wird der N. tibialis 1 cm proximal der Resektionsfläche gekürzt. Die Knochengrate im Stumpfbereich werden sorgfältig abgerundet. Die Sehnen werden auf die Höhe der knöchernen Resektionsflächen eingekürzt und nicht miteinander vernäht. Der Wundverschluss erfolgt nach Einlegen einer Redon-Drainage durch Umklappen und Annähen des langen Fersenlappens an den Rand des kurzen ventralen Weichteillappens (◘ Abb. 10.91e). Die »Hundeohren«, die sich an den beiden Umschlagecken zwangsläufig bilden, sollten nicht gekürzt werden, damit die Lappenbasis nicht verkleinert wird, denn dies könnte die Durchblutung beeinträchtigen.

Umgekehrter Syme-Stumpf

Dieses Verfahren empfiehlt sich, wenn der Weichteilmantel im Fersenbereich verletzt oder minderdurchblutet ist. Dann wird ventral ein langer Mantel und dorsal bzw. plantar ein kurzer gebildet. Der Nachteil der Methode ist, dass die Endbelastbarkeit aufgrund der schlechten Lappenqualität geringer ist. Laut Koller et al (2001) wird nur in 45% der Fälle eine volle Endbelastbarkeit erreicht.

Modifizierter Syme-Stumpf

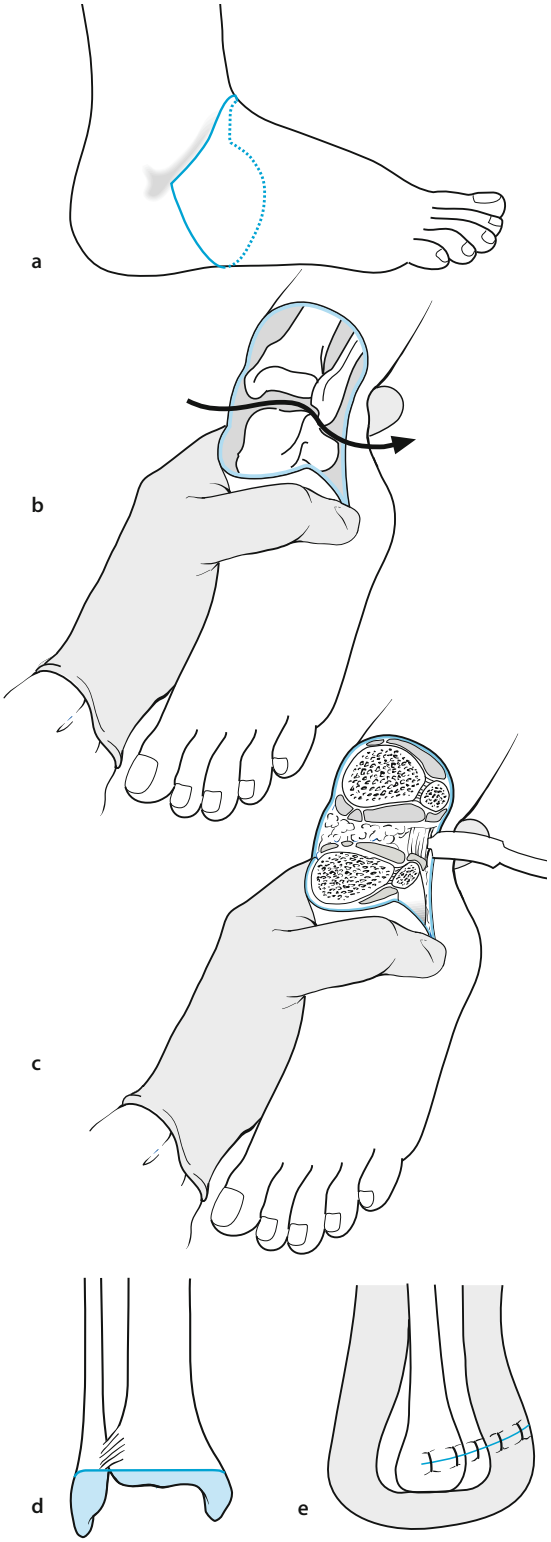
Diese Technik kommt zur Anwendung, wenn die Weichteildeckung ventral und plantar geschädigt ist. Der knöcherne Stumpf wird wie beim Syme-Stumpf gebildet. Für seine Deckung werden intakte, gut belastbare Weichteilanteile z.B. der Fußsohle gewählt, die ggf. gefäßgestielt in den neu geschaffenen Weichteilmantel integriert werden.

Langer Unterschenkelstumpf

Man bildet einen langen dorsalen und kurzen ventralen Lappen, um den Narbenverlauf aus dem Hauptbelastungsbereich zu bringen. Bei Hautdefekten kann auch umgekehrt vorgegangen werden und ein langer ventraler und kurzer dorsaler Lappen geschnitten werden. Die Knochenkanten werden abgerundet, die Gefäße doppelt ligiert und die Nerven bis zu 5 cm weit proximal der Resektionsebene scharf durchtrennt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist der gute Hebelarm, der Nachteil die geringe Endbelastbarkeit mit nur 10%, was bei der Prothetik durch eine langstreckige Abstützung am Unterschenkel ausgeglichen werden muss. Häufig sind die Stümpfe kühl und schmerzhaft. Die Muskelpumpe funktioniert durch die fehlende Vorspannung schlecht. Aufgrund schlechter Weichteildeckung und gleichzeitiger hoher Druckbelastung entwickeln sich häufig im Laufe der Zeit trophische Störungen, die nicht selten in Nachamputationen münden.

Mittellanger Unterschenkelstumpf

Es gibt verschiedene Methoden der Stumpfbildung. Die gängigste ist die nach Burgess (1968). Dabei werden ein kurzer ventraler und ein langer dorsaler Weichteillappen gebildet. Die Länge des ventralen Lappens beträgt 1–2 cm, die des dorsalen 13–15 cm (◘ Abb. 10.91). Die Schnittführung wird auf der Haut markiert. Haut und Subkutis werden samt der darunter liegenden Faszie auf ganzer Länge senkrecht zur Oberfläche inzidiert. Dann werden Blutungen aus den Hautvenen koaguliert und der Stumpf der V. saphena magna ligiert. Der M. tibialis anterior und die peronealen Muskeln werden schrittweise quer durchtrennt. Dabei muss man die Vitalität des Muskelgewebes anhand seiner Farbe, Kontraktilität und dem Zustand der Venen beurteilen. Thrombosierte Venen sind ein Zeichen für einen stattgehabten Gewebeuntergang. Dann muss die Amputationsebene so weit nach proximal verlagert werden, bis man vitales Gewebe erreicht. Die peronealen Gefäße werden ligiert. Den Nerv setzt man möglichst 5 cm weiter proximal ab. Auf Höhe der geplanten Osteotomie wird das Periost inzidiert und nach distal abgeschoben. Unter ständiger Kühlung wird osteotomiert. Zuerst wird die Fibula abgesetzt und zwar 5 mm proximaler als die Tibia in einer leicht schräg von medial nach lateral ansteigenden Schnittführung. Wenn die Ge-



◘ **Abb. 10.90a–e** Syme-Amputation. **a** Schnittführung. **b,c** Entwicklung des Rückfußes aus dem Weichteilverbund. **d** Knochenresektion. **e** Hautverschluss. Erklärung im Text.

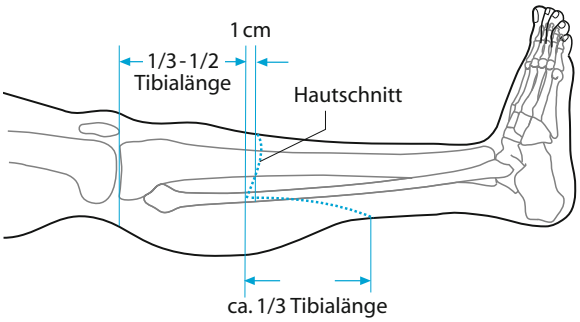


Abb. 10.91 Operationstechnik nach Burgess. Erklärung im Text.

samtlänge der Fibula 8 cm unterschreitet, wird sie samt anhängender Muskulatur ganz entfernt (s. unten: Kurzer Unterschenkelstumpf). Der ventrale Schnitt durch die Tibia erfolgt transversal, wobei nach dem vollständigen Absetzen der Gliedmaße das ventrale Drittel des tibialen Stumpfs auf eine 2 cm lange Strecke bogenförmig abgerundet wird. Der dorsale Lappen wird mit dem Amputationsmesser gebildet. Dabei wird der Lappen unter Zug genommen. Dann schneidet man zunächst unmittelbar dorsal der Tibia nach distal und schwenkt anschließend der Hautinzision folgend bogenförmig nach außen ab. Dann erfolgt die Blutstillung. Falls der dorsale Lappen nicht lang genug ist, um den Stumpf komplett decken zu können, muss der Knochen nachgekürzt werden. Die Markhöhle wird weder ausgelöffelt noch mit Knochenwachs gefüllt. Im nächsten Schritt wird der M. soleus von medial her entfernt. Das Gefäßnervenbündel wird separiert und einzeln ligiert, wobei wiederum der Nerv nachgekürzt wird. Der N. suralis, der sich an der Spitze des dorsalen Muskellappens befindet, wird freipräpariert und um 3 cm gekürzt.

Die Knochenkanten sollen, laut Baumgartner und Botta (2008), nicht mit der Feile gebrochen werden, weil man dabei das umliegende Gewebe zu sehr traumatisieren würde. Viel schonender ist die Verwendung der oszillierenden Säge oder ein quer zur Kante, mit beiden Händen abgestützt geführter Lüer. Die Kanten sollen rund herum gebrochen werden und insbesondere ventral und medial, wo die Haut dem Knochen direkt aufliegt. Eventuell vorhandene Gefäßprothesen sollten entfernt werden, weil sie als nicht durchblutetes Gewebe eine potenzielle Infektionsgefahr sind.

Beim Wundverschluss wird der lange dorsale Lappen vom Assistenten nach ventral gehalten. In die Tiefe der Wundhöhle werden eine oder zwei Drainagen eingelegt und seitlich ausgeleitet. Dann wird die oberflächliche Faszie des M. gastrocnemius an das mediale Periost der Tibia und die oberflächliche Faszie des M. tibialis anterior und des M. peroneus mit resorbierbaren Nahtmaterial genäht. Der Lappen muss dem Knochen gut anliegen, darf aber nicht zu sehr vorgespannt werden. Er wird nicht an der Tibia fixiert. Haut und Subkutis werden mit Rückstichnähten in Mokassin-Nahttechnik adaptiert. Man beginnt in der Lappenmitte und teilt die Hälften wiederum in Hälften – solange, bis die verschiedenen Lappenbreiten einander auf der gesamten Schnittlänge ausgewogen angenähert sind (Abb. 6.103).

Kurzer Unterschenkelstumpf

Brückner (1992) hat das Verfahren der kurzen Stumpfbildung am proximalen Unterschenkel in Anlehnung an die Methode nach Burgess modifiziert. Dabei werden die Fibula und alle Muskeln außer dem M. gastrocnemius entfernt (Abb. 10.92). Wiederum wird die Schnittführung auf der Haut markiert. Der ventrale Hautschnitt verläuft halbkreisförmig 2 cm distal der Tuberositas tibiae und wird zirkulär bis auf Fibulaniveau geführt. Am Hinterrand der Fibula wird mit dem Amputationsmesser die Wade durchstochen und ein dorsaler Lappen geschaffen, der etwa einem Drittel der Tibialänge entspricht. Die Blutstillung erfolgt durch Kompression des Lappens zwischen Bauchtüchern für 3 min. Dann werden Tibia und Fibula mit der Säge auf Höhe der ventralen Schnittführung osteotomiert. Dabei wird die ventrale Tibiakante wie oben beschrieben angeschrägt und abgekantet. Anschließend werden die großen Gefäße mit resorbierbarem Nahtmaterial unterbunden. Der N. tibialis und der N. peroneus werden bis zum Gelenkspaltniveau verfolgt und hier scharf durchtrennt. N. suralis und N. saphenus werden ebenfalls, soweit dies gut machbar ist, nach proximal verfolgt und durchtrennt. Die in der Abbildung mit einem Kreuz markierten Muskeln werden komplett entfernt. Der laterale Anteil des M. gastrocnemius wird so weit reseziert, dass ein spannungsfreier Wundverschluss möglich ist. Der mediale Anteil wird unter physiologischer Vorspannung über den Tibiastumpf nach ventrolateral geschlagen und im ehemaligen Ursprungsbereich des M. tibialis anterior am ventrolateralen Periost der Tibia mit resorbierbaren Fäden verankert. Zuvor wird die Loge mit einem Redon drainiert, das in Höhe der ursprünglichen Lage des Fibulaköpfchens ausgeleitet wird. Die physiologische Vorspannung der Muskelplastik verbessert die Durchblutung und wirkt einer Atrophie des Muskels sowie Phantomschmerzen entgegen (Brückner 2007).

Ultrakurzer Unterschenkelstumpf

Beim diesem Verfahren bleiben die Tuberositas tibiae als Ansatzpunkt für die Patellarsehne und damit die Streckbarkeit des Kniegelenks erhalten.

Knieexartikulation

Laut Baumgartner und Botta (2008) ist der Knieexartikulationsstumpf dem Oberschenkelstumpf haushoch überlegen, angefangen von der operativen Technik bis zur Rehabilitation. Der knieexartikulierte Earl Conner ist mit 12,4 s über 100 m mehr als 2 s schneller als die Oberschenkelamputierten (Berlitz 2004). Der Stumpf ist voll endbelastbar, sodass bei der Prothesenzurichtung keine Abstützung am Becken erforderlich ist und das Hüftgelenk in allen Ebenen frei beweglich bleibt, verbunden mit allen Vorteilen einer physiologischen Krafteinleitung im Knochen. Nur bei voller Endbelastung kann die Vollhaut über dem Stumpfende die propriozeptiven Funktionen der Fußsohle übernehmen. Bei doppelseitigen Amputationen ist »Barfuß«-Gehen ohne Hilfsmittel möglich. Die operative Technik ist ausgesprochen schonend, denn es müssen weder Muskel noch Knochen durchtrennt werden. Der birnenförmige Stumpf sitzt fest und drehstabil im Vollkontakt-Container mit Weichwandschaft der späteren Prothese. Der einzige Nachteil besteht in einer erhöhten Dekubitusgefahr, weil der Stumpf nicht mit Muskel abgepolstert ist. Besonders gefährdet ist die Haut über der Patella und dem lateralen Kondylus. Außerdem ist eine Überlänge in sitzender Position nicht ganz zu vermeiden. Mit polyzentrischen Gelenken lässt sie sich auf 3 cm begrenzen. Die Operationsnarbe soll, wenn möglich, außerhalb der Belastungszone zu liegen kommen (Abb. 10.93). Die dorsalen Hautanteile sind belastbarer als die ventralen. Die Haut im Kniebereich ist überaus elastisch und zieht sich während des Eingriffs zurück, sodass man in der Regel längere Lappen braucht als angenommen. Deshalb wird ein dorsaler Lappen bevorzugt. Am einfachsten ist es, zunächst 5–7 cm unterhalb des Tibiaplateaus Haut und Subkutis zirkulär zu inzidieren. Dann wird die Patellarsehne von der Tuberositas abgelöst und hochgehalten. Bei 90° gebeugtem Knie und vorderem Schubladenstress wird das Gelenk

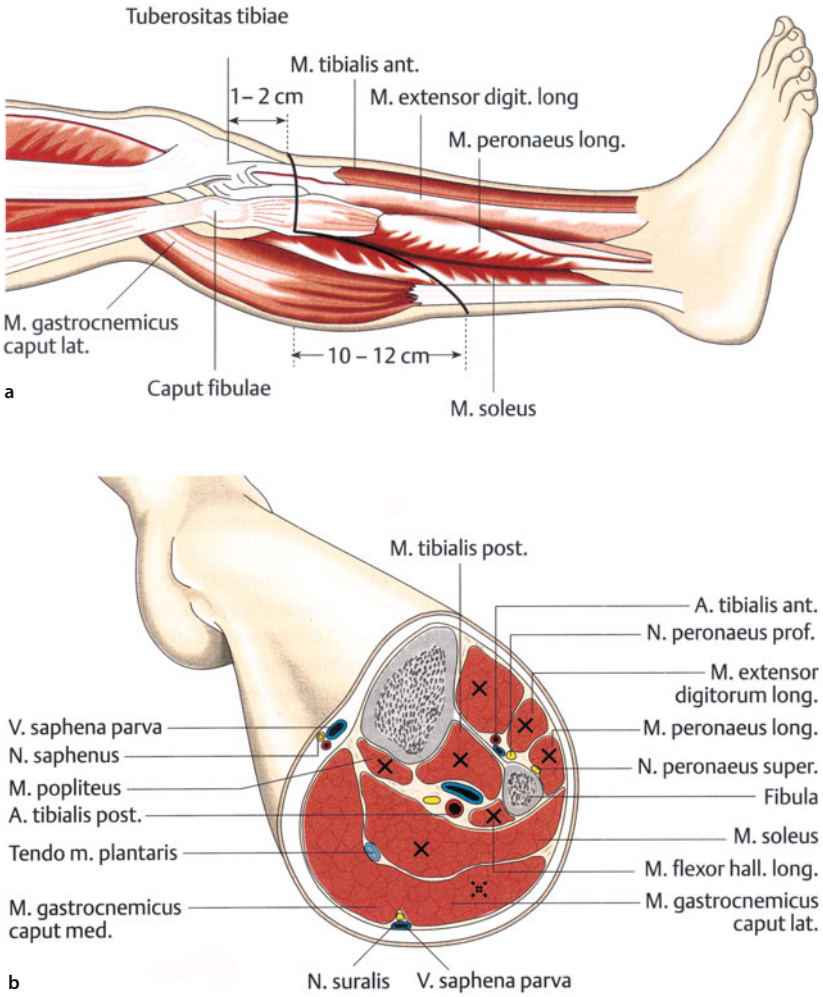


Abb. 10.92a,b Standardisierte Amputationstechnik nach Brückner. **a** Schnittführung. **b** Die mit Kreuzen markierten Muskeln und die Fibula werden entfernt. Erklärung im Text. (Aus: Brückner 1992)

10

auf Höhe des Tibiaplateaus quer eröffnet. Die Seitenbänder und Kreuzbänder werden bei diesem Schritt durchtrennt, während man die Aufhängung der Menisken an den Femurkondylen schont, um die Menisken, wenn sie in gutem Zustand sind und keine pAVK vorliegt, als Vergrößerung der späteren Belastungsfläche erhalten zu können. Nach Durchtrennung der posterioren Gelenkkapsel sind die poplitealen neurovaskulären Strukturen gut einsehbar und können einzeln ligiert werden. Anschließend wird die bradytrophe Patellarsehne vom Unterpol der Kniescheibe entfernt. N. tibialis und N. peroneus werden 5 cm weiter proximal des Gelenkspaltniveaus durchtrennt, wobei der N. tibialis wegen seines begleitenden Gefäßes gesondert ligiert werden muss. Nun werden die Gastrocnemii direkt an ihrem Ursprung oder wenige Zentimeter distal davon abgesetzt und ein dorsaler Weichteillappen gebildet. Die Femurkondylen bleiben samt Knorpel erhalten und bei guter Durchblutung auch die Menisken. Die Patella wird nur dann entfernt, wenn dies für einen spannungsfreien Wundverschluss erforderlich ist. Sie wird aber nicht zur Stumpfdeckung im Belastungsbereich verwendet. Die Ligamenta patellae, die Kreuz- und Seitenbänder werden an ihren Ursprüngen abgesetzt. Eine Synovektomie ist nicht erforderlich. Bei vorliegender Gonarthrose werden Osteophyten entfernt. Der Hautverschluss soll in Neutralstellung des Hüftgelenks spannungsfrei erfolgen. Wenn kein spannungsfreier Wundverschluss möglich ist, stehen als Alternativen die Resektion der Patella zur Verfügung oder die Verjüngung der Kondylen oder die Verkürzung des Femurschafts.

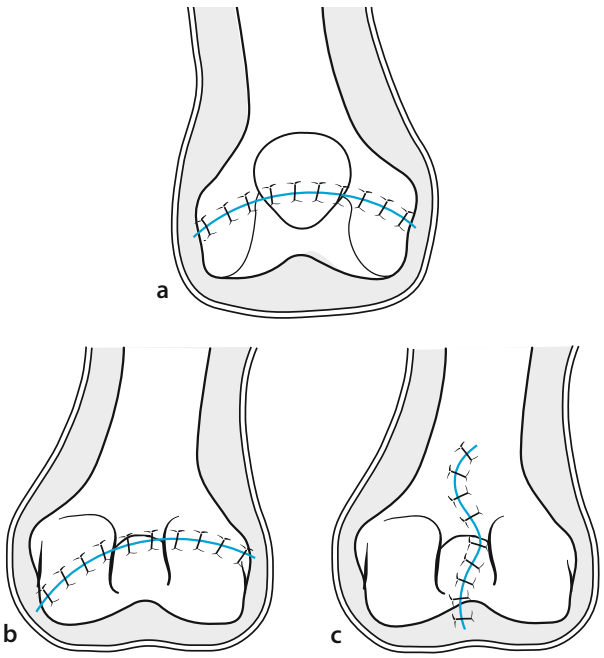


Abb. 10.93a–c Hautverschluss außerhalb der Belastungszone. **a** Langer Hinterlappen. **b** Langer Vorderlappen. **c** Seitliche Lappen mit dorsalem Verschluss zwischen den Kondylen

Transkondyläre Amputation

In der breiten kondylären Ebene reicht der halbe Knochenquerschnitt aus, um eine volle Endbelastbarkeit des Stumpfs zu erreichen. Deshalb kann auch bei erheblichen Knochendefekten, wie sie nach einer stattgehabten Osteomyelitis oder Endoprothetik gegeben sein können, in dieser Etage amputiert werden. Die Stumpfbildung erfolgt in Anlehnung an die Technik nach Burgess beim mittellangen Unterschenkelstumpf mit einem queren ventralen Schnitt und einem langen dorsalen Lappen zur Stumpfdeckung. Zu Beginn des Eingriffs wird die Schnittführung ventral und dorsal auf der Haut markiert. Dann werden ventral quer über dem oberen Rand der Patella Haut, Subkutis und Faszie in einem senkrechten Schnitt halbkreisförmig inzidiert. Die V. saphena magna wird vom begleitenden Nerv separiert und unterbunden. Der Nerv wird weiter proximal abgesetzt. Die Quadrizepssehne wird durchtrennt. Die Retinakula werden zu beiden Seiten hin gespalten. Eine etwaig einliegende Prothese wird entfernt, indem man sie nach distal ausschlägt. Falls dies aufgrund einer guten knöchernen Integration oder einer langstreckigen Zementierung nicht möglich ist, wird am ventralen Femur über der vollen Länge des Prothesenstiels ein Kortikalisdeckel gehoben. Die Breite des Deckels soll nur ein Drittel der Knochenzirkumferenz betragen, damit der verbleibende Knochenquerschnitt endbelastungsstabil bleibt. Das hat den Vorteil, dass der Deckel verworfen werden kann und nicht refixiert zu werden braucht; das spart Fremdmaterial und reduziert das Infektionsrisiko. Der Knochen wird defektadaptiert transkondylär reseziert. Nun wird das Knie 90° gebeugt. Unter Zug des Unterschenkels in eine vordere Schublade werden die Weichteile der Kniekehle vorgespannt und die Poplitealgefäße distal der Abgänge der Äste für die Gastrocnemii unterbunden. N. tibialis und N. peroneus werden durchtrennt und mit kleinen Klemmen markiert, um sie vor dem Wundverschluss proximal nachresezieren zu können. Anschließend wird der dorsale Lappen gebildet. Dazu inzidiert man zunächst der Markierung folgend Haut, Subkutis und Faszie wiederum in einem senkrecht geführten Schnitt. Dann wird mit dem Amputationsmesser der lange dorsale Muskellappen aus dem M. triceps surae geschnitten, wobei man sich am Verlauf des Hautschnitts orientieren kann. Nun folgen Blutstillung, Prüfung der Vitalität der Muskulatur und die Versorgung des N. suralis an der Lappenspitze. Bevor der Lappen zur Deckung nach ventral umgeschlagen wird, werden die beiden mit Klemmchen markierten Nerven nachgekürzt. Der dorsale Lappen wird wie bei der Technik nach Burgess im Bereich der oberflächlichen Faszie fixiert. Anschließend werden Haut und Subkutis mit Mokassinnähten adaptiert (Abb. 6.103).

Auch das muskuläre Gleichgewicht wird stark durch die Stumpflänge beeinflusst. Je kürzer der Stumpf wird, umso mehr verschiebt es sich in der Frontalebene zugunsten der Abduktoren. In der Sagittalebene überwiegen die Hüftbeuger, denn der kräftige M. iliopsoas setzt weit proximal am Trochanter minor an, während seine Gegenspieler der M. gluteus maximus und die Kniebeuger ihren knöchernen Ansatz abhängig von der Stumpflänge mehr und mehr verlieren. In der Transversalebene tritt eine vermehrte Außenrotation ein.

Für die Stumpfdeckung werden zwei gleich lange Lappen gebildet (Abb. 10.94). Dadurch wird das Prinzip, den Narbenverlauf aus dem Hauptbelastungsbereich auszulagern, aufgehoben. Dies ist am Oberschenkel aufgrund des großen muskulären Volumens nötig. Das Verhältnis von Lappenbreite zu Lappenlänge wird in Hinblick auf die Durchblutung des Lappens optimiert und die Problematik großer »Hundeohren« an den Umschlagecken reduziert. Wieder wird die Schnittführung zunächst auf der Haut angezeichnet. Haut, Subkutis und oberflächliche Faszie werden in einem senkrecht geführten Schnitt ventral und dorsal durchtrennt. Die V. saphena magna wird ligiert. Anschließend werden mit der Durchstichmethode der dorsale und ventrale Lappen gebildet. Dazu geht man mit dem Amputationsmesser am Hinterrand des M. vastus medialis ein, zieht den Muskel mit der anderen Hand hoch, um mit der Messerspitze ventral der Femoralgefäße zu bleiben und schiebt dann das Messer weiter vor. Wenn man auf das Femur trifft, führt man das Messer über die Vorderfläche des Femurs entlang der Unterfläche des M. vastus lateralis zur Gegenseite, dann wird es dem Hautschnitt folgend nach distal gezogen und auf diese Weise der ventrale Lappen geschaffen. Der Lappen wird anschließend zur Blutstillung 3 min zwischen Bauchtüchern komprimiert. Anschließend werden die noch bestehenden Blutungen ligiert oder elektrokoaguliert. Nun werden die femoralen Gefäße versorgt. Die distalen Stümpfe werden mit einer Klemme provisorisch verschlossen, die proximalen mit Durchstechungsligaturen unterbunden. Einliegende Gefäßprothesen sollten entfernt werden, um potentiellen aufsteigenden Infektionen vorzubeugen. Etwa 2 cm distal der Basis des Weichteillappens wird das Femur abgesetzt. Dazu wird das Periost zirkulär durchtrennt und 0,5 cm nach distal abgeschoben. Dann wird mit einer oszillierenden Säge oder einer Gigli-Säge osteotomiert. Anschließend kann das Amputat nach unten abgeklappt werden und der dorsale Weichteillappen durch Einsetzen eines Einzinker-Hakens in die Markhöhle des distalen Femurschaftanteils vorgespannt werden. Anschließend bildet man wiederum mit dem Amputationsmesser den dorsalen Lappen, wobei man dem bereits gesetzten Hautschnitt folgt. Die

Langer, mittlerer und kurzer Oberschenkelstumpf

Selbst der lange Oberschenkelstumpf ist jeder Amputation im Kniebereich funktionell deutlich unterlegen. Deshalb sollte, wenn irgend möglich, nicht im Oberschenkel amputiert werden, sondern weiter distal. Mit 2 Unterschenkelstümpfen kommen selbst AVK-Patienten zum Gehen und können ihre Prothesen ohne fremde Hilfe im Sitzen an- und ausziehen. Oberschenkelamputierte erreichen diese Selbständigkeit meist nicht mehr. Deshalb ist die alte Faustregel, ein AVK-Patient sei a priori im Oberschenkel zu amputieren, absolut überholt (Baumgartner u. Botta 2008).

Auch am Oberschenkel gilt wie bei jeder Operation die Grundregel, so viel Länge wie möglich zu erhalten, denn die Prothese sitzt umso besser, je länger der Stumpf ist.

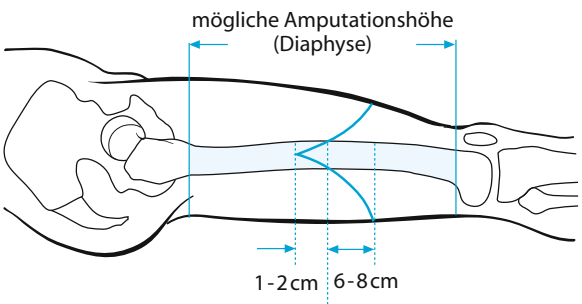


Abb. 10.94 Die Länge des Femurstumpfs überragt den proximalsten Punkt der Schnittführung um 1–2 cm und die Länge der Weichteillappen das Ende des Knochenstumpfs um 6–8 cm

Blutstillung erfolgt wie oben beschrieben zwischen Bauchtüchern. Die A. profunda femoris wird auf jeden Fall gesondert ligiert. Der N. ischiadicus provisorisch abgeklemmt, um die Blutung aus der begleitenden Arterie zu stillen, denn erst einmal wird geprüft, ob das Verhältnis der Länge des Knochenstumpfs zur Größe der Weichteillappen passt. Die Stumpfdeckung soll durch die beiden Lappen einerseits ohne zu große Weichteilspannung möglich sein; andererseits darf die Spannung auch nicht zu gering sein – je nachdem müssen ggf. Knochen oder Lappen gekürzt werden. Dann rundet man die Kanten des Femurs ab. Dieser Schritt erfolgt am besten mit der oszillierenden Säge oder mit einem Lüer.

Die Markhöhle wird weder kürettiert noch mit Knochenwachs oder Spongiosa aus dem Amputat verschlossen, denn beides ist unnötiges, nicht durchblutetes Material, das direkt in der Wundfläche des Stumpfs zu liegen käme.

Der Ischiasnerv wird 5 cm proximal des Knochenniveaus abgesetzt. Bei der Präparation darf er nicht nach distal gezogen werden, um seine Wurzeln nicht zu verletzen. Das Nervenende soll nicht mehrfach gequetscht werden, sondern lediglich mit einer resorbierbaren Durchstechungsligatur der Stärke 2/0 unterbunden werden, um die Blutung aus der begleitenden Arterie definitiv zu stillen.

Eine Drainage wird in die Nervenloge gelegt und eine zweite quer zwischen Knochenstumpf und Weichteildeckung.

Entweder werden die Weichteillappen nur miteinander auf Faszienniveau vernäht oder am Femurstumpf über ein Bohrloch transossär fixiert. Dazu schafft man 5 mm proximal über dem Stumpfende 2×2 Bohrlöcher mit einem 2 mm dicken, gut schneidenden Bohrer, um Hitzenekrosen und damit Kronensequestern vorzubeugen. Das Setzen der Nähe und Zurichten der Muskulatur muss in voller Extension und leichter Adduktion des Stumpfs erfolgen. Baumgartner und Botta (2008) verwenden dafür dicke resorbierbare Fäden, verlegen die Knoten in den Markraum und achten darauf, dass nur Teile des Muskels gefasst werden, nie der gesamte Querschnitt, um Strangulationen zu vermeiden. Die Nähte werden erst geknotet, wenn alle vorgelegt sind. Dann werden die adaptierten Muskeln auf das Stumpfniveau eingekürzt. Nur der M. quadriceps bleibt länger und wird über den Stumpf geschlagen. Die oberflächlichen Faszien der Lappenenden werden miteinander vernäht. Haut und Subkutis werden wiederum mit Mokassinnähten versorgt.

Literatur

Aglietti P, Insall JN, Cerulli G (1983) Patellar pain and incongruence. I Measurements of incongruence. Clin Orthop 176: 217–224

Aglietti P, Buzzi R, Bassi PB (1994) Arthroscopic drilling injuvenile osteochondritis dissecans of the medial femoral condyle. Arthroscopy 10: 286–291

Agneskirchner JD, Lobenhoffer P (2004) Arthroskopische Meniskuschirurgie. Unfallchirurg 107: 783–793

Apple JS, Martinez S, Allen NB et al. (1983) Occult fractures of the knee: Tomographic evaluation. Radiology 148: 383–387

Arnoczky SP (1983) Anatomy of the anterior cruciate ligament. Clin Orthop 172: 19–27

Arnoczky SP (1992) Gross and vascular anatomy of the meniscus and its role in meniscus healing, regeneration, and remodeling. In: Mow VL, Arnalzky SP, Jackson DW (eds) Knee meniscus: Basic and clinical foundations. Raven, New York, pp 1–14

Arnoczky SP, Warren RF (1982) Microvasculature of the human meniscus. Am J Sports Med 10: 90–95

Arnoczky SP, Warren RF, Spivak JM (1988) Meniscal repair using an exogenous fibrin clot. An experimental study in dogs. J Bone Joint Surg Am 70: 1209–1217

Arnoczky SP, DiCarlo EF, O'Brien SJ, Warren RF (1992) Cellular repopulation of deep-frozen meniscal autografts: An experimental study in the dog. Arthroscopy 8: 428–436

Arroll B, Ellis-Pegler E, Edwards A, Sutcliffe G (1997) Patellofemoral pain syndrome. A critical review of the clinical trials on nonoperative therapy. Am J Sports Med 25: 207–212

Bader D, Schratz W, Kienzle HF (1991) Isolierte, traumatische Luxation des Fibulaköpfchens. Unfallchirurg 94: 603–604

Banks SA, Fregly BJ, Boniforti F et al. (2005) Comparing in vivo kinematics of unicondylar and bicondylar knee replacements. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 13: 551–556

Bartel DL, Bicknell VL, Wright TM (1986) The effect of conformity, thickness and material stresses in ultra-high-molecular weight components for total joint replacement. J Bone Joint Surg 68: 1041–1051

Baumgartl F (1964) Das Kniegelenk. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg New York

Baumgartner R, Botta P (2008) Amputationen und Prothesenversorgung, 3. Auflage, Thieme Verlag Stuttgart, 239-405

Beck M, Gradl G, Gierer P, Rotter R, Witt M, Mittlmeier T (2008) Versorgung der komplikationsbelasteten proximalen Tibia-Etagenfraktur mit dem winkelstaabilen Less-invasive-stabilization-System. Unfallchirurg 111: 493–498

Berlitz G (2004) Kopernikanische Wende. Erfahrungen mit dem MAS-Schaft. Handicap 4:54-56

Bhandari M, Guyatt GH, Swionthowski MF, Schemitsch EH (2001) Treatment of open fractures of the shaft of the tibia. J Bone Joint Surg Br 83: 62–68

Biewener A, Grass R, Holch M, Zwipp H (2002) Intramedulläre Nagelplazierung mit perkutanen Kirschnerdrähten. Darstellung der Methode und klinische Beispiele. Unfallchirurg 105: 65–70

Bigos SJ, McBride GG (1984) The isolated lateral Retinakular release in the treatment of patellofemoral disorders. Clin Orthop 186: 75–80

Blunn GW, Walker PS, Joshi A, Hardinge K (1991) The dominance of cyclic sliding in producing wear in total knee replacements. Clin Orthop 273: 253–260

Bobic V (1996) Arthroscopic osteochondral autograft transplantation in anterior cruciate ligament reconstruction: A preliminary clinical study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 3: 262–264

Boden BP, Pearsall AW, Garrett WE, Feagin JA (1997) Patellofemoral instability: Evaluation and management. J Am Acad Orthop Surg 5: 47–57

Boenisch UW, Faber KJ, Ciarelli M, Steadman JR, Arnoczky SP (1999) Pull-out strength and stiffness of meniscal repair using absorbable arrows or ticron vertical and horizontal loop sutures. Am J Sports Med 27: 626–631

Boos C, Wulff P, Kujath P, Bruch H-P (1998) Medikamentenmissbrauch beim Freizeitsportler im Fitnessbereich. Dtsch Ärztebl 95: 953–957

Brattstrom H (1964) Shape of the intercondylar groove normally and in recurrent dislocation of the patella: A clinical and x-ray-anatomical investigation. Acta Orthop Scand Suppl 68: 1–148

Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A (1994) Treatment of deep articular cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. N Engl J Med 331: 889–895

Brown DE, Alexander AH, Lichtman DM (1984) The Elmslie-Trillat procedure: Evaluation in patellar dislocation and subluxation. Am J Sports Med 12: 104–109

Brückner L (2007) Amputationen an den unteren Extremitäten – Unterschenkel: Indikation, Technik. OP-Journal 23: 200–209

Brückner L (1992) Die standardisierte Unterschenkelamputation nach Brückner bei chronischer arterieller Verschlusskrankheit im Stadium IV nach Fontaine. Operat Orthop Traumatol 4: 186–195

Buckland-Wright JC, Macfarlane DG, Jasani MK, Lynch JA (1994) Quantitative microfocal radiographic assessment of osteoarthritis of the knee from weight bearing tunnel and semiflexed standing views. J Rheumatol 21: 1734–1741

Buckwalter JA, Lohmander S (1994) Operative treatment of osteoarthritis. Current practice and future development. J Bone Joint Surg 76: 1405–1418

Burgess EM (1968) The Below-knee amputation. Bull Prosthet Res 10-9: 19–25

Burks RT, Metcalf MH, Metcalf RW (1997) Fifteen-year follow-up of arthroscopic partial meniscectomy. Arthroscopy 13: 673–679

Busam ML, Provencher MT, Bach BR Jr (2008) Complications of anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone constructs:

care and prevention. Am J Sports Med 36:379-394Butler DL, Grood ES, Noyes FR, Sodd AN (1985) The interpretation of our ACL data. Clin Orthop Rel Res 196: 26–34
Bylski-Austrow DI, Malumed J, Meade T, Grood ES (1993) Knee joint contact pressure decreases after chronic meniscectomy relative to the acutely meniscectomized joint: A mechanical study in the goat. J Orthop Res 11: 796–804
Cahill BR, Phillips MR, Navarro R (1989) The results of conservative treatment of juvenile osteochondritis dissecans using joint scintigraphy: A prospective study. Am J Sports Med 17: 601–606
Callaghan JJ, Insall JN, Greenwald AS et al. (2000) Mobile-bearing knee replacement. J Bone Joint Surg 82: 1020–1041
Canham W, Stanish W (1986) A study of the biological behavior of the meniscus as a transplant in the medial department of a dog's knee. Am J Sports Med 14: 376–379
Carpenter JE, Kasman RA, Patel N et al (1997) Biomechanical evaluation of current patella fracture fixation techniques. J Orthop Trauma 11: 351–356
Carson WG, James SL, Larson RL et al. (1984) Patellfemoral disorders: Physical and radiographic evaluation, part II: Radiographic examination. Clin Orthop 185: 178–186
Cartier P, Seinouiller JL, Grelsamer RP (1996) Unicompartimental knee arthroplasty 10-year minimum follow-up period. J Arthroplasty 11: 782–788
Claus A, Asche G, Brade J, Bosing-Schwenkglenks M, Horchler H, Müller-Färber J, Schumm W, Weise K, Scharf H-P (2006) Identifizierung von Risikofaktoren postoperativer Komplikationen in der primären Knieendoprothetik. Unfallchirurg 109: 5–12
Convery FR, Meyers MH, Akeson WH (1991) Fresh osteochondral allografting of the femoral condyle. Clin Orthop 273: 139–145
Cope MR, Ali A, Bayliss NC (2004) Biceps rupture in body builders – three case reports of the long head of the biceps at the tendon-labrum junction. J Shoulder Elbow Surg 13: 580–582
Coventry MB (1979) Upper tibial osteotomy for gonarthrosis: The evolution of the operation in the last 18 years and long term results. Orthop Clin North Am 10: 191–210
Coventry MB (1984) Uper tibial osteotomy. Clin Orthop 182: 46–52
Cox JS (1982) Evaluation of the Roux-Elmslie-Trillat procedure for knee extensor realignment. Am J Sports Med 10: 303–310
Czitrom AA, Axelrod T, Fernandes B (1985) Antigen presenting cells and bone allotransplantation. Clin Orthop 197: 27–311
David A, Buchholz J, Muhr G (1994) Tear of the biceps femoris tendon. Arch Orthop Trauma Surg 113: 351–352
De Groot JH, de Vrijer R, Pennings AJ, Klompmaker J, Veth RPH, Jansen HWB (1996) Use of porous polyurethanes for meniscal reconstruction and meniscal prostheses. Biomaterials 17: 163–173
DeHaven KE (1985) Meniscus repair in the athlete. Clin Orthop Rel Res 198: 31–35
DeHaven KE, Bronstein RD (1997) Arthroscopic medial meniscal repair in the athlete. Clin Sports Med 16: 69–86
Diduch DR, Insall JN, Scott WN, Scuderi GR, Font-Rodriguez D (1997) Total knee replacement in young, active patients. Long term follow-up and functional outcome. J Bone Joint Surg 79: 575–582
Dietz SO, Hessmann MH, Gercek E, Rommens PM (2009) Patellafraktur. Operat Orthop Traumatol 21: 206–220
Dietz SO, Rommens PM, Hessman MH (2008) Transossäre Naht der Patellarsehnenruptur. Operat Orthop Traumatol 20: 55–64
Dipaola JD, Nelson DW, Colville MR (1991) Characterizing osteochondral lesions by magnetic resonance imaging. Arthroscopy 7: 101–104
Dzioba RB (1990) Diagnostic arthroscopy and longitudinal open lateral release: A four year follow-up study to determine predictors of surgical outcome. Am J Sports Med 18: 343–348
Engh GA, Ammeen D (2004) Is an intact anterior cruciate ligament needed in order to have a well-functioning unicondylar knee replacement? Clin Orthop Relat Res 428: 170–173
Evans D, Pritchard GA, Jenkins DHR (1987) Carbon fibre used in the late reconstruction of rupture of the extensor mechanism of the knee. Injury: Br J Accid Surg 18: 57–60
Evans IK, Paulos LE (1992) Complications of patellofemoral joint surgery. Orthop Clin North Am 23: 697–710
Fairbank TJ (1948) Knee joint changes after meniscectomie. J Bone Joint Surg Br 30: 664–670
Fanelli GC (1993) Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients. Arthroscopy 9: 291–294
Fanelli GC, Edson CJ (1995) Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients: Part II. Arthroscopy 5: 526–529
Ficat P, Hungerford DS (eds) (1977) Disorders of the patellofemoral joint. Williams & Wilkins, Baltimore
Fischer SP, Fox JM, Del Pizzo W (1991) Accuracy of diagnoses from magnetic resonance imaging of the knee. A multi-center analysis of one thousand and fourteen patients. J Bone Joint Surg 73: 2–10
Fitzgibbons RE, Shelbourne KD (1995) »Aggressive« nontreatment of lateral meniscal tears seen during a cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 23: 156–159
Fowler PJ, Messieh SS (1987) Isolated posterior cruciate ligament injuries in athletes. Am J Sports Med 15: 553–557
Fox RJ, Harner CD, Sakane M (1998) Determination of in situ forces in the human posterior cruciate ligament using robotic technology: A cadaveric study. Am J Sports Med 26: 395–401
Freiling D, Lobenhoffer P (2009) Die operative Behandlung von Streckdefiziten am Kniegelenk. Operat Orthop Traumatol 21: 545–556
Fu FH, Maday MG (1992) Arthroscopic lateral release and the lateral patellar compression syndrome. Orthop Clin North Am 23: 601–612
Fuchs S, Frisse D, Tibesku CO et al. (2002) Proprioceptive function, clinical results, and quality of life after unicondylar sledge prosteses. Am J Phys Med Rehabil 81:478-482
Fujisawa Y, Masuhara K, Shiomi S (1979) The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee: An arthroscopic study of 54 knee joints. Orthop Clin North Am 10: 585–608
Fulkerson JP, Becker GJ, Meaney JA et al. (1990) Anteromedial tibial tubercle transfer without bone graft. Am J Sports Med 18: 490–497
Fulkerson JP, Kalenak A, Rosenberg TD, Cox JS (1992) Patellofemoral pain. Instr Course Lect 41: 57–71
Galla M, Lobenhoffer P (2005) Patella fractures. Chirurg 76: 987–997
Galla M, Lobenhoffer P, Staubli AE (2006) Die valgisierende öffnende Umstellungsosteotomie der proximalen Tibia mit Plattenfixateur. In: Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Galla M (2006) Kniegelenknahe Osteotomien. Indikation – Planung- Operationstechnik mit Plattenfixateuren. Thieme, Stuttgart, 51-64
Ghelman B, Hodge JC (1992) Imaging of the patellofemoral joint. Orthop Clin North Am 23: 523–543
Giachino AA (1986) Recurrent dislocation of the proximal tibiofibular joint: Report of two cases. J Bone Joint Surg Am 68: 1104–1106
Gomez MA, Woo SL-Y, Amiel D, Harwood F (1991) The effects of increased tension on the healing medial collateral ligaments. Am J Sports Med 19: 347–354
Greenwald AE, Bagley AM, France EP, Paulos LE, Greenwald RM (1996) A biomechanical and clinical evaluation of a patellofemoral knee brace. Clin Orthop 324: 187–195
Grood ES, Stowers SF, Noyes FR (1988) Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. J Bone Joint Surg 70: 88–97
Gustilo RB (1993) Open fractures. In: Gustilo RB, Kyle RF, Templeman DC (eds) Fractures and dislocations. Mosby, St. Louis. pp 169–195
Hallisey MJ, Doherty N, Bennett WF (1987) Anatomy of the junction of the vastus lateralis tendon in the patella. J Bone Joint Surg 69: 545–549
Hansen M, Mehler D, Hessmann MH et al (2007) Intramedullary stabilization of extraarticular proximal tibia fractures: a biomechanical comparison of intramedullary and extramedullary implants including a new proximal tibia nail (PTN). J Orthop Trauma 21: 701–709
Harner CD (1994) Presented at the 40th Annual Meeting: Transactions of the Orthopaedic Research Society 19: 624
Harner CD (1998) Evaluation nd treatment of posterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Med 3: 471–482
Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA (1995) The human posterior cruciate ligament complex: An interdisciplinary study. Am J Sports Med 23: 736–745
Hayes CW, Sawyers DJ, Conway WF (1990) Patellar cartilage lesions: In vitro detection and staging with MR imaging and pathologic correlation. Radiology 176: 479–483
Healy WL, Anglen JO, Wasilewski SA et al. (1988) Distal femoral varus osteotomy. J Bone Joint Surg Am 70: 102–109

Heim D, Regazzoni P, Perren SM (1992) Der Fixateur externe bei offenen Frakturen: Gegenwärtiger Stand seiner Anwendung. Injury 23, Beilage 2
Heller C, Günster C, Swart E (2005) Über die Häufigkeit von Amputationen unterer Extremitäten in Deutschland. Dtsch Med Wochenschr 130: 1689–1690
Henning CE (1983) Arthroscopic repair of meniscus tears. Orthopedics 6: 1130–1132
Henry JH, Goletz TH, Williamson B (1986) Lateral Retinakular release in patellofemoral subluxation. Indications, results, and comparison to open patellofemoral reconstruction. Am J Sports Med 14: 121–129
Hirshmann PH, Daniels DM, Miyasaka K (1990) The fate of unoperated knee ligament injuries. In: Daniels DM, Akenson V, O'Conner TT (eds) Knee ligaments: Structure, function, injury and repair. Raven, New York, pp 255–264
Hofmann G (2002) Retrograde Marknagelung bei proximalen Unterschenkelfrakturen, Vortrag auf der 4. Dresdner Unfalltagung, Dresden
Hofmann GO, Gonschorek O, Bühren V (1999) Retrograde tibial nailing: Anatomical considerations and first clinical experiences. Osteosynthese Int 7: 162–169
Hofmann GO, Gonschorek O, Bühler M, Bühren V (2001) Retrograde Nagelung der Tibia. Trauma Berufskrankh 3 Suppl 2: 303–308
Hohlbach G, Kiffner E, Liepe B (1981) Bilaterale, simultane, spontane und subkutane Quadrizepssehnenruptur, Aktuelle Traumatol 11: 234–237
Hubel P (1987) Spätergebnisse nach Patellafrakturen. Inaugural-Dissertation, Med. Fakultät der Universität Tübingen
Huberti HH, Hayes WC, Stone JL, Shybut GT (1984) Force ratios in the qudriceps tendon and the ligamentum patella. J Orthop Res 2: 343–347
Hughston JC, Deese M (1988) Medial subluxation of the patella as a complication of lateral Retinakular release. Am J Sports Med 16: 383–388
Hughston JC, Hergenröder PT, Courtenay BG (1984) Osteochondritis dissecans of the femoral condyles. J Bone Joint Surg 66: 1340–1348
Insall J, Salvati E (1971) Patella position in the normal knee joint. Radiology 101: 101–104
Insall JN, Hood RW, Flawn LB, Sullivan DJ (1983) The total condylar knee prosthesis in gonarthrosis: A five to nine-year follow-up of the first one hundred consecutive replacements. J Bone Joint Surg 65: 619–628
Insall JN (ed) (1984) Surgery of the knee. Churchill Livingstone, New York
Isenberg J, Prokop A, Skouras E (2008) Mehrzeitige Rupturen von Patellar- und Achillessehnen. Anabole Steroide im Leistungssport. Unfallchirurg 111: 46–49
Janke M, Warzecha C, Ballmer PM (2008) Traumatische chronische Instabilität des proximalen Tibiofibulargelenks. Unfallchirurg 111: 1033–1036
Jarvela T, Halonen P, Jarvela K, Moilanen T (2005) Reconstruction of ruptured patellar tendon after total knee arthroplasty: a case report and a description of an alternative fixation method. Knee 12:139-143
Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen Jr ST (1990) Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. J Trauma 30: 568–573
Johansson H, Sjolander P, Sojka P (1991) A sensory role for the cruciate ligaments. Clin Orthop Rel Res 268: 161–178
Johnson DL, Urban WP, Caborn DNM, Vanarthos WJ, Carlson CS (1998) Articular cartilage changes seen with magnetic resonance imaging-detected bone bruises associated with acute anterior cruciate ligament rupture. Am J Sports Med 26: 409–414
Johnson LJ, Uitvlugt G, Austin MD (1990) Osteochondritis dissecans of the knee: Arthroscopic compression screw fixation. Arthroscopy 6: 179–189
Johnson LL (1986) Arthroscopic abrasion arthroplasty. Historical and pathological perspective: Present status. Arthroscopy 2: 54–69
Johnson LL (1990) The sclerotic lesion: Pathology and the clinical response to arthroscopic abrasion arthroplasty. In: Ewing JW (ed) Articular Cartilage and knee joint function. Raven, New York, pp 319–333 (1990)
Jung TM, Strobel MJ, Weiler A (2006) Diagnostik und Therapie von Verletzungen des hinteren Kreuzbands.Unfallchirurg 109: 41–60
Josten C, Marquass B, Schwarz C, Verheyden A (2010) Marknagelosteosynthese proximaler Tibiafrakturen. Unfallchirurg 113: 21–28
Kaneko K, DeMouy EH, Brunet ME (1994) Radiographic diagnosis of quadriceps tendon rupture: Analysis of diagnostic failure. J Emerg Med 12: 225–229
Kapandji IA (1985) Funktionelle Anatomie der Gelenke, Bd 2, Untere Extremität. Enke, Stuttgart
Karachalios T, Hantes M, Zibis AH et al (2005) Diagnostic accuracy of a new clinical test (the Thessaly test) for early detecation of meniscal tears. J Bone Joint Surg [Am] 87: 955–962
Kettelkamp DB, Wenger DR, Chao EYS et al. (1976) Results of proximal tibial osteotomy: The effects of tibiofemoral angle, stance-phase flexion-extension, and medial-plateau force. J Bone Joint Surg Am 58: 952–960
Kim HKW, Moran ME, Salter RB (1991) The potential for regeneration of articular cartilage in defects created by chondral shaving and subchondral abrasion. An experimental investigation in rabbits. J Bone Joint Surg 73: 1301–1315
Kirkley A, Birmingham TB, Litchfield RB et al (2008) A randomized trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the Knee. N Engl J Med 359: 1097–1107
Kohn D, Sander-Beuermann A (1994) Donor-site morbidity after harvest of a bone-tendon-bone patellar tendon autograft. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2: 219–223
Koller A, Hafkemeyer U, Wetz HH (2001) Syme-Amputationen bei Fersendefekten. Der Orthopäde 30: 145–149
Krettek C, Miclau T, Schandelmaier P et al (1999) The mechanical effect of blocking screws (»Poller screws«) in stabilizing tibia fractures with short proximal or distal fragments after insertion of small-diameter intramedullary nails. J Orthop Trauma 13: 550–553
Kuner EH, Berwarth H, Lucke SV (1996) Behandlungsprinzipien bei aseptischen Pseudarthrosen. Orthopäde 25:394-404
Kurosawa H, Walker PS, Abe S, Garg A, Hunter T (1985) Geometry and motion of the knee for implant and orthotic design. J Biomech 18: 487–499
Kusayama T, Harner CD (1994) Anatomical and biomechanical characteristics of the human meniscofemoral ligaments. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2: 234–237
Langendorff H-U, Grabbe F, Jungbluth KH (1990) Die horizontale Patellaluxation. Unfallchirurgie 16: 80–83
Larson RL, Cabaud HE, Slocum DB et al, (1978) The patellar compression syndrome: Surgical treatment by lateral Retinakular release. Clin Orthop 134: 158–167
Levy I, Torzilli P, Warren R (1982) The effect of medial menisectomy on anterior-posterior motion of the knee. J Bone Joint Surg 64: 883–888
Lieb FJ, Perry J (1968) Quadriceps function. J Bone Joint Surg Am 50: 1535–1548
Lobenhoffer P (2000) Therapie chronischer Instabilitäten nach hinterer Kreuzbandverletzung. Arthroskopie 13: 17–29
Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Galla M (2006) Kniegelenknahe Osteotomien. Indikation – Planung- Operationstechnik mit Plattenfixateuren. Thieme, Stuttgart
Lüring C, Bäthis H, Grifka J (2006) Bikondyläre Knieendoprothetik. Indikation, Technik, Ergebnisse und neue Entwicklungen. OP-Journal 22: 184–189
Mandelbaum BR, Bartolozzi A, Carney B (1988) A systematic approach to reconstruction of neglected tears of the patella tendon. Clin Orthop 235: 268–271
Mankin HJ (1982) The response of articular cartilage to mechanical injury. J Bone Joint Surg 64: 460–466
Marco F, Lopez-Oliva F, Fedz-Arroyo JM (1993) Osteochondral allografts for osteochondritis dissecans and osteonecrosis of the femoral condyles. Int Orthop 17: 104–108
Markmiller M (2001) Lokal gestielte Muskellappenplastiken in der Traumatologie des Unterschenkels. Unfallchirurg 104: 536–547
Marshall JL, Girgis FG, Zelko RR (1972) The biceps femoris tendon and its functional significance. J Bone Joint Surg Am 54:1444-1450
McDaniel W, Dameron T (1983) The untreated anterior cruciate ligament rupture. Clin Orthop 172:158-163
Merchant AC (1988) Classification of patellofemoral dissorders. Arthroscopy 4: 235–240
Merchant AC, Mercer RL (1974) Lateral release of the patella: A preliminary report. Clin Orthop 103: 40–45
Metze M, Siekmann H, Josten C (2007) Belastungsinduziertes Kompartmentsyndrom der Peronealloge nach Bowling. Unfallchirurg 110: 1065–1067
Meyers MH, McKeever FM (1970) Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. J Bone Joint Surg (Am) 52: 1677–1684
Micheli LJ, Stanitski CL (1981) Lateral patellar Retinakular release. Am J Sports Med 9: 330–336

Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ (1989) Homologous meniscus transplantation. International Orthopaedics (SICOT) 13: 1–11
Mitchell N, Shepard N (1987) Effect of patellar shaving in the rabbit. J Orthop Res 5: 388–392
Mittlmeier T, Ewert A (2001) Verletzungen des Kniestreckapparats. Unfallchirurg 104: 344–357
Modl JM, Sether LA, Haughton VM et al. (1991) Articular cartilage: Correlation of histologic zones with signal intensity at MRI imaging. Radiology 181: 853–855
Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM (1997) The anatomic origin of the posterior cruciate ligament: Where is it? Reference landmarks for PCL reconstruction. Arthroscopy 13: 325–331
Moseley JB, O'Malley K, Peterson NJ et al (2002) A controlled trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the knee. N Engl J Med 347: 81-88
Mow VC, Rosenwasser M (1988) Articular cartilage: Biomechanics. In: Woo SL-Y, Buckwalter JA (eds) Injury and repair of the musculoskeletal soft tissüs. AAOS, Park Ridge/IL, pp 427–463
Mow VC, Holmes MH, Lai WM (1984) Fluid transport and mechanical properties of articular cartilage: A review. J Biomech 17: 377–394
Mow VC, Ateshian GA, Ratcliffe A (1992) Anatomic form and biomechanical properties of articular cartilage of the knee joint. In: Finerman GAM, Noyes FR (eds) Biology and biomechanics of the traumatized synovial joint: The knee as a model. AAOS, Rosemont/IL, pp 55–81
Mückley T, Wilharm A, Marintschev I, Hofmann GO, Bühren V (2007) Differenzierte Behandlung beidseitiger distaler Tibiapseudarthrosen. Unfallchirurg 110: 264–267
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Müller W (1982) Das Knie. Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellung. Springer, Berlin Heidelberg New York
Müller-Mai C, Ekkernkamp A (2010) Frakturen. Klassifikation und Behandlungsmethoden. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Muhr G (2002) Diskussionsbeitrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar
Murphy PG, Frank CB, Hart DA (1993) The cell biology of ligaments and ligamnet healing. In: Jackson DW, Arnoczky SP, Woo SL-Y (eds) The anterior cruciate ligament: Current and future concepts. Raven, New York, pp 165–177
Nerlich M, Weigel B (2000) Patella. In: Rüedi TP, Murphy WM (eds) AO Principles of Fracture Management. Thieme, Stuttgart, pp 483–497
Newman AP (1998) Articular cartilage repair. Am J Sports Med 26: 309–324
Nikolaou VS, Efstaphopoulos N, Wredmark T (2007) Hamstring tendons regenration after ACL reconstruction: an overview. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15: 153–160
Nolting J, Wirbel R, Seekamp A, Pohlemann T (2006) Die Behandlung hypertropher distaler Tibiapseudarthrosen mit perkutan eingebrachten winkelstabilen Implantaten. Unfallchirurg 109:256-260
Noyes FR, Barber-Westin S (1995) Irradiated meniscus allografts in the human knee: A two to five year follow up study. Presented at the meeting of the Meniscus Transplant Study Group, Orlando
Noyes FR, Butler DLGrood ES (1984) Biomechanical analysis of human knee ligament grafts used in knee ligament repairs and reconstructions. J Bone Joint Surg 66: 334–352
Noyes FR, Barber-Westin SD (2005) Posterior cruciate ligament revision reconstruction, part 1: Causes of surgical failure in 52 consecutive operations. Am J Sports Med 33: 646–654
Ockert B, Haasters F, Polzer H, Grote S, Kessler MA, Mutschler W, Kanz KG (2010) Der verletzte Meniskus: Wie sicher ist die klinische Untersuchung? Eine Metaanalyse. Unfallchirurg 113:293-299
O'Connor DP, Laughlin MS, Woods GW (2005) Factors related to additional knee injuries after anterior cruciate ligament injury. Arthroscopy 21: 431–438
Odgen JR (1974) Subluxation und dislocation of the proximal tibiofibular joint. J Bone Joint Surg Am 56: 145–154
Oestern HJ (2002) Diaphysäre Unterschenkelfrakturen. Algorithmus des operativen Vorgehens und differenzierte Indikationsstellung hinsichtlich der Retentionsverfahren, Vortrag auf der 4. Dresdner Unfalltagung, Dresden
Ogilvie-Harris DJ, Jackson RW (1984) The arthroscopic treatment of chondromalacia patellae. J Bone Joint Surg 66: 660–665
Operationstechnik für die SAL Knie-Totalendoprothese (1999) Protek AG, Sulzer Medica, Baar, Schweiz
Outerbridge RE (1961) The etiology of chondromalacia patellae. J Bone Joint Surg Br 43: 752–757
Paletta GA, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J (1997) The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. A biomechanical study. Am J Sports Med 25: 692–698
Park SS, Kubiak EN, Wasserman B et al. (2005) Management of extensor mechanism disruptions occuring after total knee arthroplasty. Am J Orthop 34: 365–372
Partenheimer A, Gösling T, Müller M, Schirmer C, Kääb M, Matschke S, Ryf C, Renner N, Wiebking U, Krettek C (2007) Versorgung von bikondylären Tibiakopf-Frakturen mit einem unilateral platzierten winkelstabilen Plattensystem. Unfallchirurg 110:675-684
Pfeil J, Hasch E (2005) Transposition osteotomy on the knee joint. Z Orthop Ihre Grenzgebiete 143:43-64
Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ et al. (2007) A 10-year comparison of anteriror cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. Am J Sports Med 35:564-574
Poolman RW, Abouali JA, Conter HJ, Bhandari M (2007) Overlapping systematic reviews of anterior cruciate ligament reconstruction comparing hamstrings autograft with bone-patellar tendon-bone autograft: why are they different? J Bone Joint Surg [Am]89: 1542–1552
Pridie KH (1959) A method of resurfacing osteoarthritic knee joints. J Bone Joint Surg 41: 618–619
Quinlan AG, Sharrard WJW (1958) Postero-lateral dislocation of the knee with capsular interposition. J Bone Joint Surg 40: 660–663
Race A, Amis AA (1994) The mechanical properties of the two bundles of the human posterior ligament. J Biotech 27: 13–24
Rand JA (1991) Role of arthroscopy in osteoarthritis of the knee. Arthroscopy 7: 358–363
Reichwein F, Nebelung W (2007) Die retroflektierende Tibiakopfosteotomie als Revisionseingriff bei hinterer Kniegelenkinstabilität. Unfallchirurg 110: 597–602
Rehm O, Linke R, Schweigkofler U, Hoffmann RF, Jäger A (2009) Die isolierte Ruptur der Biceps-femoris-Sehne. Unfallchirurg 112: 332–336
Reicher MA, Hartzmann S, Duckwiler GR, Bassett LW, Anderson LJ, Gold RH (1986) Meniscal injuries: Detection using MR imaging. Radiology 166: 753–757
Reider B, Marschall JL, Koslin B (1981) The anterior aspect of the knee joint. J Bone Joint Surg 63: 351–356
Ritsch M, Mußhoff F (2000) Gefahren und Risiken von Schwarzmarktanabolika im Sport – eine gaschromatographisch-massenspektrometische Analyse. Sportverletz Sportschaden 14: 1–11
Robinson CM, McLauchlan GJ, McLean IP, Court-Brown CM (1995) Distal metaphyseal fractures of the tibia with minimal involment of the ankle. J Bone Joint Surg Br 77: 781–787
Rockborn P, Gillquist J (2000) Results of open meniscus repair. Long-term follow-up study with a matched uninjured control group. J Bone Joint Surg Br 82: 494–498
Rodkey WG, DeHaven KE, Montgomery WH, et al. (2008). Comparison of the collagen meniscus implant with partial meniscectomy. A prospectice randomized trial. J Bone & Joint Surg 90: 1413–1426
Rodrigo JJ, Steadman JR, Silliman JF (1994) Improvement of full-thickness chondral defect healing in the human knee after Débridement and microfracture using continuous passive motion. Am J Knee Surg 7: 109–116
Roessler M (1997) Die schwer traumatisierte untere Extremität – Wann muß amputiert werden? Dissertation, Med. Hochschule Hannover
Roman PD, Hopson CN, Zenni EJ (1987) Traumatic dislocation of the knee: A report of 30 cases and literature review. Orthop Rev 16: 33–40
Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM (1988) The forty-five degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. J Bone Joint Surg 70: 1479–1483
Rudig L, Ahlers J, Lengsfeld M, Runkel M (1993) Behandlung und Ergebnisse nach Rupturen des Ligamentum patellae. Unfallchirurgie 19: 214–220
Rupp S, Seil R, Kohn D (2002) Meniskusläsion. Orthopäde 31: 812–831
Rüter A, Trentz O, Wagner M (1995) Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg, München
Rzesacz EH, Könneker W, Reilmann H, Culemann U (1998) Die Kombination von Marknagel- und gedeckter Schraubenosteosynthese zur Versorgung

der distalen Unterschenkelfraktur mit Sprunggelenkbeteiligung. Unfallchirurg 101: 907–913
Sanders R (1992) Patella fractures and extensor mechanism injuries. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG (eds) Skeletal trauma, vol 2. Saunders, Philadelphia, pp 1685–1710
Scharf W, Weinstabl P, Kwasny O, Schratter M (1991) Therapeutische Maßnahmen bei Subluxation und Luxation der Kniescheibe. Unfallchirurgie 17: 225–231
Schulz MS, Russe K, Weiler A, Eichhorn HJ, Strobel MJ (2003) Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. Arch orthop Trauma Surg 4: 186–191
Schwarz N, Buchinger W, Mähring M, Schedl R, Widhalm HK (2008) Unfallkrankenhaus. Knieendoprothese als Ersttherapie bei proximaler Tibiafraktur. Unfallchirurg 111: 928–932
Scuderi C (1958) Ruptures of the quadriceps tendon. Am J Surg 95: 626–635
Scuderi GR (ed) (1995) The patella. Springer, New York
Seil R, Kohn D (2001) Meniskusrekonstruktion. Unfallchirurg 104: 274–287
Shapiro F, Koide S, Glimcher MJ (1993) Cell origin and differentiation in the repair of full-thickness defects of articular cartilage. J Bone Joint Surg 75: 532–553
Shea KP, Fulkerson JP (1992) Preoperative computed tomography scanning and arthroscopy in predicting outcome after lateral Retinakular release. Arthroscopy 8: 327–334Shelbourne KD, Heinrich J (2004) The long-term evaluation of lateral meniscus tears left in situ at the time of anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy 20: 346–351
Shelbourne KD, Porter DA, Rozzi W (1994) Use of a modified Elmslie-Trillat procedure to improve abnormal patellar congruence angle. Am J Sports Med 22: 318–323
Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A (1991) Arthrofibrosis in acute ACL reconstruction: The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. Am J Sports Med 19: 332–336
Shoemaker S, Markolf K (1986) The role of the meniscus in the anterior-posterior stability of the loaded anterior cruciate deficient knee. J Bone Joint Surg 68: 71–79
Siwek CW, Rao JP (1981) Ruptures of the extensor mechanism of the knee joint. J Bone Joint Surg 63: 932–937
Smith ST (1997) Early complications in the operative treatment of patella fractures. J Orthop Trauma 11: 183–187
Spindler KP, Kuhn JE, Freedman KB et al (2004) Anterior cruciate ligament reconstruction autograft choice: bone-tendon-bone versus hamstrings. Does it realy matter? A systematic review. Am J Sports Med 32: 1986–1995
Stäubli HU (1994) Posteromedial and posterolateral capsular injuries associated with posterior cruciate ligament insufficiency. Sports Med Arthrosc Rev 2: 146–164
Steadman R (1992) Chondral defects in athletes. The 5th Annual Panther Sports Medicine Symposium, Pittsburgh/PA, April 2–4
Stern SH, Insall JN (1992) Posterior stabilized prosthesis. Results after follow-up of nine to twelve years. J Bone Joint Surg 74: 980–986
Stone JD, Fu FH (1997) Meniscal and ligamentous injuries of the knee. In: Dee R, Hurst LE, Gruber MA, Kottmeier SA (eds) Principles of orthopaedic practice, McGraw-Hill, New York, pp 895–940
Stone KR, Steadman JR, Rodkey WG, Li ST (1997) Regeneration of meniscal cartilage with use of a collagen scaffold. Analysis of preliminary data. J Bone Joint Surg 79: 1770–1777
Streicher G, Reilmann H (2008a) Distale Tibiafrakturen. Unfallchirurg 111.905-918
Streicher G, Reilmann H (2008b) Distale Tibiafraktur. Unfallchirurg 111. 919-922
Strobel MJ (1998) Arthroskopische Chirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Strobel MJ, Eichhorn J, Schiessler W (1996) Arthroskopie des Kniegelenkes. Deutscher Ärzte Verlag, Köln
Strobel MJ, Stedtfeld HW, Eichhorn HJ (Hrsg) (1995) Diagnostik des Kniegelenkes. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Strobel MJ, Weiler A (2001) Management of the posterior cruciate ligament-deficient knee. Tech Orthop 2: 167–194
Strobel MJ, Weiler A, Schulz MS, Russe K, Eichhorn HJ (2002) Fixed posterior subluxation in posterior cruciate ligament-deficient knees: diagnosis and treatment of a new clinical sign. Am J Sports Med 1:32-38
Stürmer HM (2002) Diaphysäre Unterschenkelfraktur mit zusätzlicher Verletzung der oberen Sprunggelenks, Vortrag auf der 4. Dresdner Unfalltagung, Dresden
Südkamp NP, Schönfelder V (1999) Tibiakopffrakturen. In: Mutschler W, Haas N (Hrsg) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart New York, S 458–466
Swenson TM, Harner CD, Fu FH (1994) Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction with allograft. Sports Med Arthrosc Rev 2: 120–128
Szivek JA, Anderson PL, Benjamin JB (1996) Avarage and peak contact stress distribution evaluation of total knee arthroplasties. J Arthroplasty 11: 952–963
Tapper EM, Hoover NW (1969) Late results after meniscectomie. J Bone Joint Surg Am 51: 517–526
Thornhill TS, Scott RD (1989) Unicompartmental knee arthroplasty. Orthop Clin North Am 20: 245–256
Tinius M, Ecker TM, Klima S, Tinius W, Josten C (2007) Mediale Gonarthrosen mit Kreuzbanddefekt. Kombinierte Versorgung mittels unikondylärer Endoprothese und additivem Kreuzbandersatz. Unfallchirurg 110: 1030–1038
Tria AJ, Palumbo RC, Alicea A (1992) Conservative care for patellofemoral pain. Orthop Clin North Am 23: 545–553
Van Heerwaarden R, Wymenga A (2006) Die suprakondyläre varisierende Femurosteotomie mit speziellem Plattenfixateur. In: Lobenhoffer P, Agneskirchner J, Galla M (2006) Kniegelenknahe Osteotomien, Thieme Stuttgart, 93-106
Van Wachem PB, van Luyn MJA, Nieuwenhuis P, Koerten HK, Olde Damink L, Ten Hoopen H, Feijen J (1991) In vivo degradation of processed dermal sheep collagen evaluated with transmission electron microscopy. Biomaterials 12: 215–223
Vardi G (2004) Sciatic nerve injury following hamstring harvest. Knee 11: 37–39
Varnell RM, Coldwell DM, Sangeorzan RJ, Johansen KH (1989) Arterial injury complicating knee disruption. Am Surg 55: 699–701
Veltri DM, Deng X-H, Torzilli PA (1995) The role of the cruciate and posterolateral ligaments in stability of the knee. A biomechanical study. Am J Sports Med 23: 436–443
Voloshin AS, Wosk J (1983) Shock absorption of meniscectomized and painful knees: A comparative in vivo study. J Biomech 5: 157–161
Von Lübken F, Schmidt R, Jouini C, Gerngroß H, Friemert B (2006) Der Einfluss einer aktiven Bewegungsschiene auf die Propriozeption nach vorderer Kreuzbandplastik. Unfallchirurg 109: 22–29
Weber BG, Cech O (1976) Pseudarthrosis. Grune & Stratton, New York
Weiler A, Jung TM, Strobel MJ (2006) Arthroskopisch assistierter hinterer Kreuzbandersatz und posterolaterale Stabilisierung mit Semitendinosus-/Grazilissehne. Unfallchirurg 109: 61–71
Wenzl ME, Hasse W, Seide K, Wolter D (2002) Prophylaxe thromboembolischer Komplikationen in der Unfallchirurgie mit niedermolekularem Heparin, Aktuelle Traumatol 32: 105–110
Wiberg G (1941) Röntgenographic and anatomic studies on the femoropatellar joint. Acta Orthop Scand 12: 319–410
Wild M, Flohé S (2010) Patellafrakturen. Unfallchirurg 113: 401–412
Wilder RP, Sethi S (2004) Overuse injuries: tendionapathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. Clin Sports Med 23: 55–81
Wirth CJ (1992) Kniegelenk. In: Jäger M, Wirth CJ (Hrsg) Praxis der Orthopädie, 2. neubearb. Aufl. Thieme, Stuttgart, S 927–969
Wirth CJ, Peters G (1997) Die Meniskusläsion. Unfallchirurg 100: 386–401
Wirth T, Rauch G, Schuler P (1991) Das auto Knorpel-Knochen-Transplantat zur Therapie der Osteochondrosis dissecans des Kniegelenkes. Zs Orthop Ihre Grenzgeb 129: 80–84
Woo SL-Y, Gomez M, Sites TJ, Newton PO (1987) The biomechanical and morphological changes in the medial collateral ligament of the rabbit after immobilization and remobilization. J Bone Joint Surg 69: 1200–1211
Woodland LH, Francis RS (1992) Parameters and comparisons of the quadriceps angle of college-aged men and women in the supine and standing positions. Am J Sports Med 20: 208–211

Sprunggelenk und Fuß

S. Rammelt, H. Zwipp

11.1 Grundlagen – 692
11.2 Frakturen und Luxationsfrakturen – 699
11.3 Band- und Sehnenverletzungen – 731
11.4 Rekonstruktive Fußchirurgie – 746
Literatur – 764

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_11,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

11.1 Grundlagen

11.1.1 Anatomie und Biomechanik

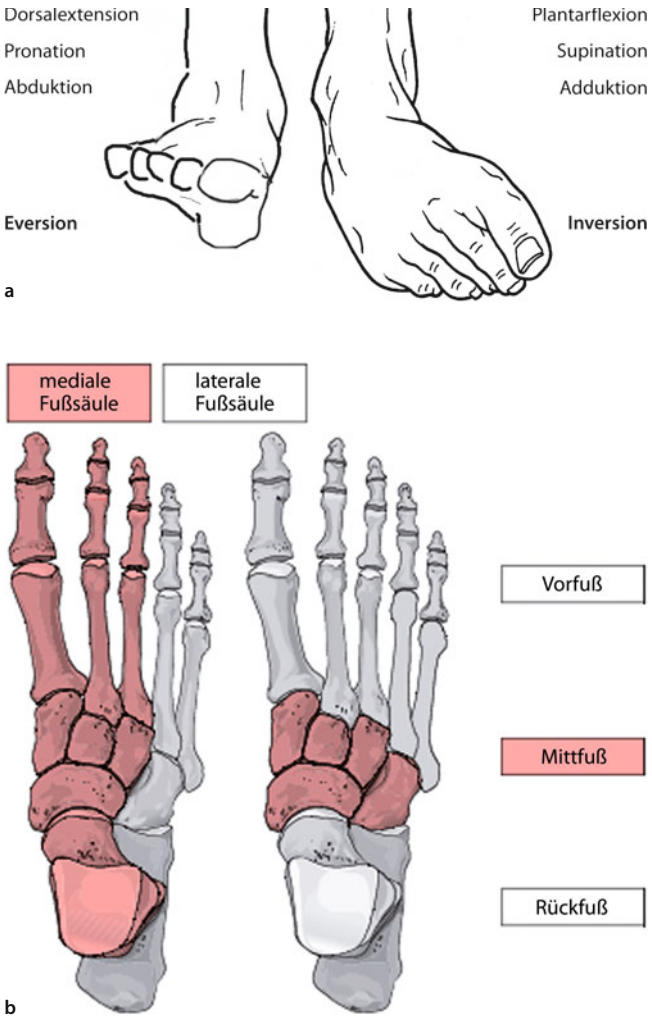
Grundlagen

Sprunggelenk und Fuß stellen eine morphologische und kinetische Einheit dar. Die Gesamtbeweglichkeit von oberem Sprunggelenk und Fuß ist ein dreidimensionaler Ablauf, dessen Einzelkomponenten durch die vermittelnde Funktion des Talus als »knöcherner Meniskus« eines dreikammerigen Sprunggelenks aufeinander einwirken (Zwipp 1994). Die Komplexbewegung des Fußes ist von Fick im Jahre 1911 sinnbildlich als »Maulschellenbewegung« bezeichnet worden, deren Einzelkomponenten nicht streng voneinander zu trennen sind. So ist die Plantarflektion im oberen Sprunggelenk mit einer dreidimensionalen Inversion des Fußes, die Dorsalextension im oberen Sprunggelenk mit einer Eversion des Fußes verbunden (◘ Abb. 11.1a).

Die anatomisch-topografische Zuordnung der Fußknochen zum Tarsus (Fußwurzel: Talus, Calcaneus, Os cuboideum, Os naviculare, Ossa cuneiformia I–III), Metatarsus (Ossa metatarsalia I–V) und Phalangen ist für die biomechanische Betrachtung der Funktion und Verletzungen des Fußes nicht immer nützlich. Die im angloamerikanischen Schrifttum vorgenommene Unterteilung in 3 Blöcke: hindfoot (Rückfuß: Talus + Kalkaneus), midfoot (Mittfuß: Os cuboideum, Os naviculare, Ossa cuneiformia I-III) und forefoot (Vorfuß: Metatarsalia und Phalangen) wird daher den funktionellen Gegebenheiten eher gerecht (◘ Abb. 11.1b). Ebenso bedeutsam für das Verständnis von Funktion und Fehlfunktion des Fußes ist die Unterteilung in mediale (Pes talus) und laterale (Pes calcaneus) Fußsäule (Pisani 1998, Hansen 2000).

Die Gewölbestruktur des Fußes ist nicht starrer, sondern flexibler Natur und wird durch in 3 Etagen angeordnete plantare Bandstrukturen unter Spannung gehalten. Diese sind von dorsal nach plantar: das Ligamentum calcaneonaviculare plantare (spring ligament) und angrenzende Kapselbänder, das Ligamentum plantare longum sowie die zweilagige Plantaraponeurose. Auf der anderen Seite übt die Achillessehne eine kräftige Hebelwirkung auf den Kalkaneus und indirekte Zugwirkung auf die plantaren Ligamente aus. Das Zusammenwirken von Achillessehne und Plantaraponeurose bei der dynamischen Verspannung des Fußskelettes wurde von Hicks (1954) mit einer Seilwinde verglichen (windlass mechanism). Oberes und unteres Sprunggelenk bilden mit den tarsalen und metatarsalen Gelenken während des Bodenkontaktes eine geschlossene kinetische Kette. Aus chirurgisch-funktioneller Sicht wird für die Sprunggelenke die folgende, von der anatomischen Definition abweichende Einteilung der Sprunggelenke verwandt (Zwipp 1989):

1. oberes Sprunggelenk,
2. hinteres unteres Sprunggelenk (Subtalargelenk),
3. vorderes unteres Sprunggelenk (Talokalkaneonavikular-/Chopart-Gelenk).



◘ **Abb. 11.1a,b** **a** Komponenten der Maulschellenbewegung als dreidimensionale Gesamtbewegung der oberen und unteren Sprunggelenke (Eversion und Inversion). **b** Funktionelle Einteilung des Fußskeletts (Einzelheiten im Text)

◘ **Tab. 11.1** Funktionelle Einteilung der Sprunggelenke

Oberes Sprunggelenk	**Tibiotalargelenk**		
	Fibulotalargelenk		
	Distale tibiofibulare Syndesmose		
Unteres Sprunggelenk	Hinteres unteres Sprunggelenk	Subtalargelenk (hintere Kammer)	
	Vorderes unteres Sprunggelenk	Subtalargelenk (vordere Kammer)	Talokalkaneonavikulargelenk (Coxa pedis)
		Talonavikulargelenk	Chopart-Gelenk
		Kalkaneokuboidgelenk	Chopart-Gelenk

Dabei geht die Definition des vorderen unteren Sprunggelenks durch die Einbeziehung des funktionell nicht zu trennenden Chopart-Gelenks über die rein anatomische Abgrenzung des Talokalkaneonavikulargelenks hinaus (Tab. 11.1).

Oberes Sprunggelenk

Das obere Sprunggelenk (Articulatio talocruralis) ist eine anatomische Einheit aus den gelenktragenden Anteilen der distalen Tibia und Fibula, des Corpus tali mit der Gelenkkapsel sowie den verbindenden ligamentären Strukturen. Die distale Tibiametaphyse verbreitert sich am oberen Sprunggelenk zu einem kräftigen Pfeiler, dem Pilon (franz., Stößel). Die horizontale Gelenkfläche (Tibiaplafond) besitzt die Form eines unregelmäßigen Vierecks, welches vorne breiter als hinten und lateral tiefer als medial sowie um 15–20° gegenüber der Horizontalen nach dorsal geneigt ist. Der Innenknöchel (Malleolus medialis) begrenzt das mediale Gelenkkompartiment und läuft nach distal in leichter Varusposition aus. Er besteht aus zwei kräftigen Portionen, dem Colliculus anterior und posterior, den Ansatzstellen des Pars anterior und posterior des Ligamentum deltoideum. Hinter dem Colliculus posterior verläuft eine Grube für die Sehnen des M. tibialis posterior und des M. flexor digitorum longus.

Die distale Fibula verbreitert sich zum Malleolus lateralis, dessen hintere Knöchelspitze etwa 1 cm weiter nach distal reicht als der Malleolus medialis. Die breite Rückfläche weist eine Rinne als Gleitlager für die Peronealsehnen auf. An den Tubercula anterius et posterius setzen vorderes und hinteres Syndesmosenband an, korrespondierende Tubercula finden sich an der lateralen Tibiametaphyse. Zwischen letzteren befindet sich die muldenförmige, unterschiedlich tief ausgeprägte Incisura fibularis, in welche sich die mediale Fibulafläche exakt einpasst. Tibia und Fibula sind durch den straffen Syndesmosenkomplex verbunden, welcher aus den Ligamenta tibiofibulare anterius, posterius, transversale (inominatum) und interosseum, sowie dem distalen, verstärkten Anteil der Membrana interossea, besteht.

Die anatomisch korrespondierende Gelenkfläche zu distaler Tibia und Fibula bildet die Trochlea tali (Talusdom). Das obere Sprunggelenk ist kein Scharniergelenk. Die Bewegungsachse des oberen Sprunggelenks läuft direkt unterhalb der Malleolen um 8° nach medial ansteigend und um 6° medial nach vorn gerichtet (Inman 1976). Die Trochlea tali ist vorne breiter als hinten und fibulawärts breiter als tibiawärts (Abb. 11.2). Nach Inman stellt diese keinen Zylinder, sondern den Ausschnitt eines Kegelmantels dar, dessen Spitze nach medial zeigt (Inman 1976). Somit entspricht nur die mediale Talusfacette einer Kegelfläche, die laterale hingegen einer Ellipse. Aus diesem Grunde entsteht bei Beugung und Streckung im oberen Sprunggelenk eine »Pseudorotation« des Talus, welcher der knöchernen Kontur der Knöchelgabel folgt. Die distale Fibula beschreibt aufgrund der elastischen Aufhängung der Sprunggelenkgabel in der tibiofibularen Syndesmose, der unregelmäßigen Form der Talusrolle und der geneigten Bewegungsachse eine dreidimensionale Eigenbewegung bei jeder Beugung und Streckung des Talus.

Der mediale Kollateralbandapparat wird summarisch nach seinem oberflächlichen Aspekt als Ligamentum deltoideum bezeichnet. Das oberflächliche Deltoid besteht aus den fächerförmig ausstrahlenden Fasern der Ligamenta tibiotalare superficiale, tibiocalcaneare und tibionaviculare. Der tiefer gelegene Anteil des Ligamentum deltoideum ist deutlich kräftiger ausgeprägt und führt als Pars anterior und Pars posterior vom Innenknöchel zum Talus. Den lateralen Kollateralbandapparat bilden, in ansteigender Stärke, das Ligamentum fibulotalare anterius, das Ligamentum fibulocalcaneare und das Ligamentum fibulotalare posterius. Die fibularen Kollateralbänder sind in ihrer Gesamtheit schwächer als der Innenbandapparat und wesentlich anfälliger für Rupturen beim Vertreten des Fußes (Zwipp 1986, 1994).

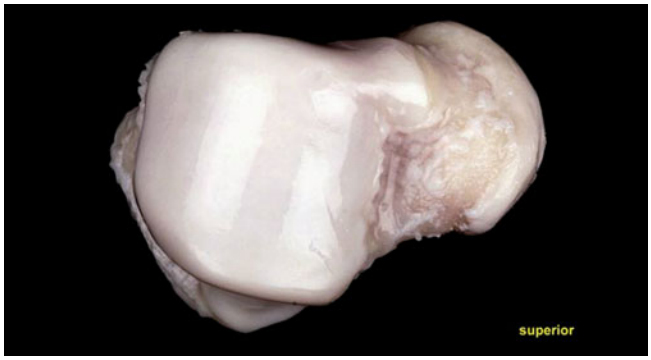


Abb. 11.2 Ansicht einer rechten Talusrolle (Trochlea tali) von oben. Diese ist vorn breiter als hinten und fällt medial steiler ab als lateral, was für die Biomechanik des oberen Sprunggelenks von entscheidender Bedeutung ist

Abb. 11.3 Ansicht eines rechten Talus von unten. Zwischen Taluskorpus und Taluskopf mit den hinteren und vorderen Facetten des unteren Sprunggelenks liegt der Talushals, welcher lateral das Dach des weiten Sinus tarsi und medial des Canalis tarsi bildet

Talus

Der Talus nimmt als Schlussstein des Fußlängsgewölbes und Schaltknochen zwischen Unterschenkel und Fuß eine zentrale Stellung ein. Er besitzt keinen Muskel- oder Sehnenansatz, zwei Drittel seiner Oberfläche sind von Gelenkknorpel bedeckt. Der kräftige Taluskörper (Corpus tali) liegt zwischen Tibia und Kalkaneus, der Taluskopf (Caput tali) stellt über das Talokalkaneonavikulargelenk die Verbindung zum Mittelfuß dar. Dazwischen liegt der breite und kurze Talushals, welcher das Dach des Sinus bzw. Canalis tarsi bildet (Abb. 11.3). Hier liegt auch die Eintrittsstelle für die wichtigsten, den Taluskorpus versorgenden Gefäße. Die laterale Talusschulter läuft distal zum kräftigen Processus lateralis tali aus, am Hinterrand des Subtalargelenks verjüngt sich der Taluskörper zum Processus posterior. Der Processus posterior weist im zentralen Anteil eine Gleitrinne für die Sehne des M. flexor hallucis longus auf. Lateral davon ist in etwa 12% der Fälle ein akzessorischer Knochen (Os trigonum) vom Taluskorpus separiert (Sarrafian 1993) und muss von Frakturen des Tuberculum posterolaterale abgegrenzt werden.

Die Blutversorgung des Talus erfolgt zu 90% über ein periostales Gefäßnetz aus der A. sinus tarsi und der A. canalis tarsi sowie einen Deltoideusast aus der A. tibialis posterior (Mulfinger

u. Trueta 1970). Zusätzlich gibt jedes der 3 Hauptgefäße zum Fuß direkte periostale Äste zur Talusoberfläche ab: die A. tibialis posterior und die A. peronea zum Processus posterior, die A. tibialis anterior bzw. A. dorsalis pedis zum Taluskopf.

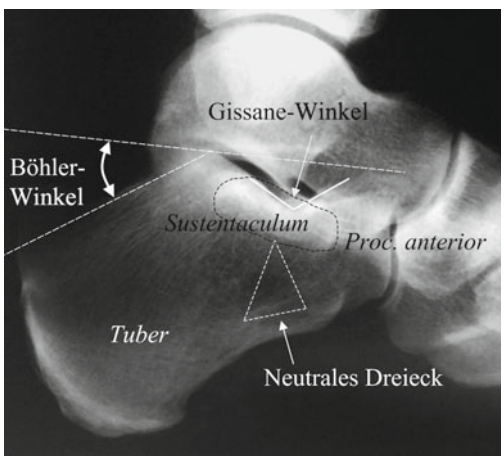
Kalkaneus

Der Kalkaneus besitzt eine unterschiedlich kräftig ausgebildete Kortikalis und eine an der axialen Krafteinleitung ausgerichtete spongiöse Binnenstruktur. Lokale Verdichtungen der Kortikalis und Spongiosa finden sich folgerichtig in Bezirken hoher Lastaufnahme, so unterhalb der subtalaren Gelenkfläche (Thalamus calcanei), im Sustentaculum tali und Tuber calcanei (◘ Abb. 11.4). Unterhalb des Kalkaneushalses liegt eine wenig belastete Zone mit rarifizierter Trabekelstruktur (so genanntes neutrales Dreieck, Trigonum calcis).

Der Kalkaneus weist eine unregelmäßige Form mit vier knöchernen Fortsätzen auf:

1. Sustentaculum tali (trägt die mediale Gelenkfacette, feste Lagebeziehung zum Talus über Ligamentum talocalcaneare mediale und Ligamentum tibiocalcaneare),
2. Tuber calcanei (Abstützung des hinteren Fußlängsgewölbes, Ansatz von Achillessehne und Plantaraponeurose),
3. Processus anterior calcanei (trägt die anteriore Gelenkfacette, Verbindung zum Chopart-Gelenk über die kuboidale Gelenkfläche sowie Ligamenta calcaneocuboidalia und Ligamentum bifurcatum),
4. Trochlea peronealis (Gleitlager für die Peronealsehnen mit dem Sulcus peronealis und dem Retinaculum peroneale distale).

Die Blutversorgung des Kalkaneus erfolgt zu 90% über ein periostales Gefäßnetz zu gleichen Teilen aus der A. calcanea lateralis und medialis, welche aus der A. tibialis posterior stammen und beide mit der A. dorsalis pedis anastomosieren. Lediglich etwa 10% der Blutversorgung stammen aus der A. sinus tarsi (Andermahr et al. 1999). Die posterioren Facetten von Talus und Kalkaneus bilden das **hintere untere Sprunggelenk** (Subtalargelenk, Articulatio talocalcanea posterior). Die posteriore Facette des Talus ist konkav, diejenige des Kalkaneus konvex und hat eine Fläche von durchschnittlich 33×25 mm (Sarrafian 1993, Zwipp 1994). Das kräftige Ligamentum talocalcaneum interosseum, welches für die Stabilität des unteren Sprunggelenks verantwortlich ist, zieht im Sinus und Canalis tarsi mit 2 Schenkeln flächig zum Talushals und trennt das Subtalargelenk vom vorderen Anteil des unteren Sprunggelenks (Articulatio talocalcaneonaviculare) ab.



◘ **Abb. 11.4** Radiologische Anatomie des Kalkaneus in der seitlichen Ansicht

Vorderes unteres Sprunggelenk/Chopart-Gelenk

Die medialen und anterioren Facetten von Talus und Kalkaneus sind in 20% der Fälle miteinander verschmolzen. Sie bilden den vorderen Anteil des Subtalargelenks. Die konvexe Gelenkfläche des Taluskopfes artikuliert mit dem Os naviculare. Dabei bilden die mediale und anteriore Facette des Kalkaneus mit der konkaven Gelenkfläche des Os naviculare eine funktionelle Einheit, das so genannte Acetabulum pedis. Das Talokalkaneonavikulargelenk wird daher auch als »Coxa pedis« bezeichnet und ist von überragender Bedeutung für die Funktion von Mittel- und Rückfuß (Pisani 1998).

Talonavikular- und Kalkaneokuboidgelenk bilden wiederum die funktionelle Einheit des **Chopart-Gelenks** (◘ Tab. 11.1). Im Gegensatz zum sphärischen Talonavikulargelenk sind die Gelenkflächen von Kalkaneus und Os cuboideum in beiden Ebenen S-förmig geschwungen. Auch wenn das Kalkaneokuboid-Gelenk einen deutlich geringeren Bewegungsumfang als das Talonavicular-Gelenk aufweist, so ist seine Integrität doch wesentlich für die Flexibilität der lateralen Fußsäule (Hansen 2000).

Auf der Plantarseite des Os cuboideum liegt der schräg verlaufende Sulcus peronealis, welcher als Hypomochlion für die Sehne des M. peroneus longus dient. Das Os naviculare ist breiter und kürzer als das Kuboid und artikuliert nach distal über 3 versetzte Gelenkfacetten mit den Ossa cuneiformia (Articulationes naviculocuneiformia). An der medialseitigen Tuberositas ossis navicularis setzt der größte Arm der Sehne des M. tibialis posterior an, welchem eine entscheidende Funktion für die Aufrechterhaltung des Fußlängsgewölbes zugeschrieben wird. Der breiter auslaufende Teil der Tibialis-posterior-Sehne zieht flächig plantar medial des Os naviculare zum Os cuneiforme mediale. Das Fußlängsgewölbe, welches auf Höhe der Chopart-Gelenkreihe seinen Scheitelpunkt hat, wird durch die Zügelfunktion der Tibialis-posterior- und Peroneus-longus-Sehne dynamisch stabilisiert.

Das kräftige Ligamentum bifurcatum, welches vom Processus anterior calcanei gabelförmig zum Os naviculare und Os cuboideum zieht, dient als Drehpunkt und Stabilisator des Chopart-Gelenks. Die straffe Bandführung des Chopart-Gelenks wird medial gewährleistet durch das Ligamentum talonaviculare dorsale, das schräg verlaufende Ligamentum calcaneonaviculare plantare (spring ligament) und das Ligamentum calcaneonaviculare mediale (Ligamentum neglectum); lateral durch die Ligamenta calcaneocuboidalia dorsale, laterale und plantare.

Um eine longitudinale Achse durch die tiefe Portion des Ligamentum bifurcatum, welche um 15° zur Horizontalebene und um 9° zur Sagittalebene gekippt ist, erfolgt eine schraubenförmige Bewegung von 10°-Steigung linksdrehend beim rechten Fuß bzw. rechtsdrehend beim linken Fuß (Manter 1941). Die Bewegung verläuft gegensinnig zu der des Subtalargelenks (◘ Abb. 11.5). Eine schräge Gelenkachse ist um 52° zur horizontalen und um 57° zur sagittalen Ebene geneigt, deren Bewegungsfreiheit jedoch durch das Ligamentum bifurcatum deutlich eingeschränkt ist (Manter 1941). Bildlich gesprochen interagieren Subtalargelenk und Chopart-Gelenk, also vorderes und hinteres unteres Sprunggelenk, wie 2 gegensinnig laufende Zahnräder (Inman 1976). Bei Inversion des Subtalargelenks kommt es zu einer Aufrichtung der schrägen Achse des Chopart-Gelenks, was die mechanische Stabilität erhöht. Bei Eversion des Rückfußes im Subtalargelenk kommt es zu einer Horizontalisierung der schrägen Chopart-Achse, wobei die Rotationskräfte zunehmen (◘ Abb. 11.5, Root et al. 1977).

Lisfranc-Gelenk

Die Lisfranc-Gelenkreihe wird proximal von den 3 Ossa cuneiformia und dem Os cuboideum, distal von den Basen der Ossa me-

tatarsalia gebildet. Dabei artikulieren die medialen 3 Metatarsalia mit den korrespondierenden Cuneiformia, die beiden lateralen mit dem Kuboid. Zum Lisfranc-Gelenkkomplex gehören zudem die zwischen diesen Knochen gelegenen intertarsalen und intermetatarsalen Gelenke. Sowohl die Basen der Metatarsalia als auch die Cuneiformia haben, wie deren Name bereits verrät, einen keilförmigen Querschnitt und bilden somit in ihrer Gesamtheit einen »römischen« Gewölbebogen (Lenczner et al. 1974). Zudem setzen die distalen Tarsalia und die Metatarsalia das Fußlängsgewölbe fort. In der Sagittalebene existiert durch die Verzahnung des 2. Metatarsale zwischen Cuneiforme mediale und laterale eine zusätzliche mechanische Stabilität. Eine dynamische Zügelung des Fußquergewölbes erfolgt durch die »Steigbügel« der Sehnen des M. tibialis posterior und M. peroneus longus, welche an der Plantarseite der Cuneiforme mediale und der Metatarsalia I und II ansetzen. Beide Sehnen können Repositionshindernisse darstellen (Suren u. Zwipp 1986).

Während der dorsale Bandapparat schwach ausgebildet ist, verbinden kräftige plantare und interossäre Bänder die benachbarten Basen der Metatarsalia untereinander sowie mit den korrespondierenden Fußwurzelknochen. Eine Ausnahme bildet auch hier der 2. Strahl. Ein Y-förmiges Band, das Lisfranc-Ligament, zieht vom Cuneiforme mediale zur Basis der Metatarsalia I und II. Eine direkte Bandverbindung zwischen letzteren fehlt, was das häufige Auftreten isolierter Luxationen an dieser Stelle erklärt (Arntz et al. 1988). Das Bewegungsausmaß des Lisfranc-Gelenks ist an den äußeren Strahlen I und V mit 15–20° in der Sagittalebene und einer geringfügigen Abduktion bzw. Adduktion am größten, während der II. und III. Strahl als straffe Amphiarthrosen lediglich Wackelbewegungen zulassen.

Das neurovaskuläre Bündel aus A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus verläuft zwischen 1. und 2. Strahl und ist daher sowohl bei Verletzungen in diesem Bereich als auch bei der Reposition gefährdet. Besondere Aufmerksamkeit bei der Präparation des Gelenks verdient der R. perforans der Arterie, welcher zwischen 1. und 2. Metatarsale hindurch zum Arcus plantaris führt.

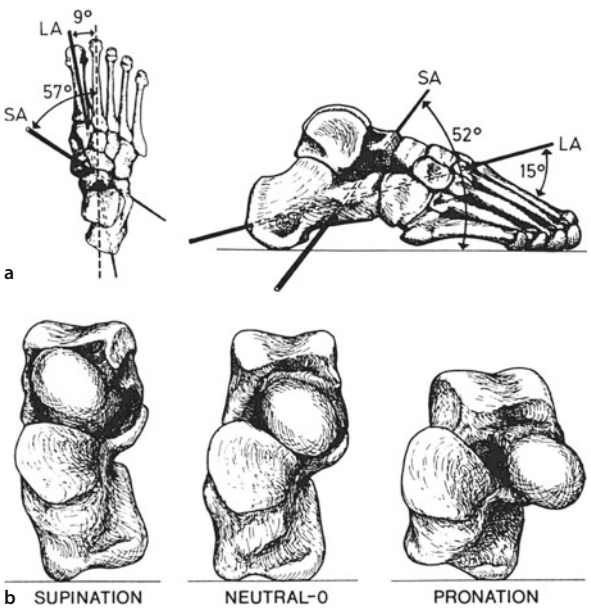


Abb. 11.5a,b Longitudinale (*LA*) und schräge (*SA*) Chopart-Gelenkachsen (**a**) sowie Bewegung von Taluskopf und Processus anterior calcanei um die longitudinale Achse im Chopart-Gelenk.(**b**) Bei Eversion des Rückfußes kommt es zu einer Horizontalstellung im Chopart-Gelenk, was die Flexibilität der Fußwurzel beim Abrollen erhöht. Bei Inversion im Rückfuß kommt es zu einer Vertikalstellung von Taluskopf und Processus anterior calcanei, wodurch ein rigider Hebelarm für das Abstoßen des Fußes entsteht. (Aus Root et al. 1977)

Metatarsalia und Zehen

Metatarsalia

Die Mittelfußknochen bestehen als kurze Röhrenknochen aus Basis, Schaft, Hals und Kopf. Während die relativ planen Gelenkflächen der Basen in den tarsometatarsalen Gelenken nur einen geringen Bewegungsumfang zulassen, erlauben die sphärischen Metatarsaleköpfchen eine für den Abstoßvorgang wichtige Bewegung in der Frontalebene. Die Randstrahlen führen mittels eigener intrinsischer Muskulatur zudem eine Abduktions-Adduktions-Bewegung in der Horizontalebene aus. Die Köpfchen der Mittelfußknochen sind durch eine kräftige Bandverbindung querverspannt (Ligamentum metatarseum transversum profundum). Die Randstrahlen sind gegenüber Verletzungen wesentlich stärker exponiert als die Mittelstrahlen. Der 1. Strahl nimmt während des Abrollvorgangs etwa das Doppelte der Last der übrigen Strahlen auf und ist dementsprechend kräftiger gebaut (Shereff u. Baumhauer 1998). Der 5. Strahl besitzt an seiner Basis die Tuberositas ossis metatarsalis V, an welcher die Sehne des M. peroneus brevis und das laterale Band der Plantaraponeurose ansetzen. Die Basis des 5. Mittelfußknochens ist zudem der Schlusspunkt der Hellpap-Supinationslinie (Hellpap 1963). Die Blutversorgung des 5. Strahls erfolgt sowohl von der Tuberositas als auch vom Schaft her, wodurch eine minderdurchblutete Zone (»Wasserscheide«) auf Höhe der Metaphyse entsteht, weshalb hier mit einer verzögerten Frakturheilung zu rechnen ist (Torg et al. 1984).

Zehen

In Analogie zur Hand besteht der 1. Strahl aus 2, die übrigen aus 3 Phalangen. Die Großzehe ist für die Abroll- und Abstoßphase des Gangzyklus von entscheidender Bedeutung und wesentlich kräftiger als die übrigen 4 Zehen ausgebildet. Die Metatarsophalangealgelenke sind Ellipsengelenke, jedoch lassen nur die Randstrahlen neben der Flexion/Extension eine gewisse Abduktion/Adduktion zu. Die Gelenkkapseln werden durch kräftige Kollateralbänder und die Fibrocartilago plantaris verstärkt, welche distal fest und proximal nur lose an den Metatarsalia verankert ist. In dieser Struktur befinden sich am 1. Strahl 2 Sesambeine, welche plantar mit dem Caput des Os metatarsale I artikulieren. Die dorsale Kapsel ist nur schwach ausgeprägt. Die Interphalangealgelenke sind Scharniergelenke mit kräftigen Kollateralbändern. An der Großzehe findet sich auch hier inkonstant ein plantares Sesambein.

11.1.2 Komplextrauma des Fußes

Funktionell-anatomische Ebenen

Für die Einteilung, Therapieplanung und Prognoseabschätzung komplexer Fußverletzungen hat sich die Orientierung an 5 funktionell-anatomischen Ebenen bewährt (◘ Abb. 11.6).

Die Definition des komplexen Fußtraumas ergibt sich sowohl aus der regionalen Ausdehnung (ein Punkt für jede verletzte Fußebene) als auch aus dem Ausmaß des Weichteilschadens (0–4 Punkte nach Tscherne und Oestern) Ein komplexes Fußtrauma liegt bei 5 und mehr Punkten vor (Zwipp 1994).

Therapierichtlinien

Erhaltungsversuch vs. Amputation

Die Entscheidung zum primären Erhaltungsversuch beim komplexen Fußtrauma wird nicht unwesentlich von der Schwere der Begleitverletzungen mitbestimmt (Zwipp 1994). Häufig findet sich ein

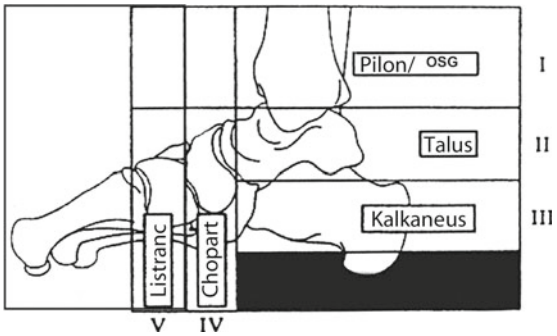


Abb. 11.6 Komplexes Fußtrauma. Für jede betroffene funktionell-anatomische Ebene wird 1 Punkt vergeben, ebenso für den Grad des Weichteilschadens. Ein komplexes Fußtrauma liegt bei 5 und mehr Punkten vor. (Nach: Zwipp 1994)

komplexes Fußtrauma als Hinweis auf den Schweregrad einer Mehrfachverletzung oder eines Polytraumas. Tscherne (1986) empfiehlt den Erhaltungsversuch bei einem PTS (Hannoveraner Polytraumaschlüssel, Regel et al. 1993) von 1, sowie eine primäre Amputation bei einem PTS von 3 und 4. Absolute Priorität hat dabei das Prinzip »life before limb«. Bei einem PTS von 2 ist ein individueller Therapieentscheid von weiteren Begleitfaktoren abhängig. Immer wieder in der Diskussion sind prädiktive Score-Systeme wie der Mangled Extremity Severity Score (MESS) sowie der um nervale Verletzungen erweiterte NISSSA-Score, welche dem Chirurgen bei dem schwerwiegenden Entschluss über Extremitätenerhalt oder Amputation zumindest eine zusätzliche Entscheidungshilfe geben können (Rammelt et al. 2005). Letztlich schlagen sich in allen Scores und Studien wenige prinzipielle Grundsätze nieder (MacKenzie et al. 2002):

- Der Verlust großer Anteile der belasteten Planta pedis, welche mit gleichartigem Gewebe nicht ersetzbar ist, wiegt schwerer als Defekte am Dorsum pedis.
- Gefäßverletzungen von Hauptstrombahnen gefährden die Vitalität distaler Fußabschnitte und erschweren die Wiederherstellbarkeit der Fußfunktion (insbesondere den Anschluss freier Lappenplastiken).
- Der Verlust der protektiven Fußsohlensensibilität aufgrund einer traumatischen N.-tibialis-Läsion birgt ein erhöhtes Potenzial weichteilbedingter Spätkomplikationen.
- Schwere Zertrümmerungen des knöchernen Fußgerüsts und Gelenkzerstörungen, die eine primäre Arthrodese zuungunsten einer Osteosynthese notwendig machen, können zu einem rigideren Fuß mit erhöhtem, unphysiologischem Druck auf die ohnehin kompromittierten Weichteile führen. Insbesondere der traumatische Verlust des Talus oder seiner Gelenkflächen mit einer notwendigen pantalaren Arthrodese führt selbst bei problemloser Knochen- und Wundheilung zu einem rigiden Fuß mit erheblichen Funktionsbeeinträchtigungen (Grob et al. 1985, Sangeorzan u. Hansen 1989).

Allgemeines Therapieregime

Die operative Therapie komplexer Fußverletzungen stellt eine Notfallindikation dar. Bei schwerem Weichteilschaden wird im Rahmen des ersten Débridements nach aggressiver Wundreinigung (Jet-Lavage) und kompromissloser Resektion avitaler Strukturen die Entscheidung zu Amputation oder Erhaltungsversuch gefällt. Auf eine Blutsperre wird verzichtet, um die Vitalität von Haut, Muskulatur und Knochen einschätzen zu können.

Oft sind die bekannten Kriterien für die Vitalität der Muskulatur (Farbe, Blutung, Kontraktilität und Konsistenz) an den kleinen Fußmuskeln nach Quetschtraumata nicht eindeutig anwendbar. In diesen Fällen erfolgt die endgültige Einschätzung im Rahmen einer primär festgelegten Second-look-Operation nach 48–72 h (Zwipp 1994). Im Rahmen der Erstversorgung beschränkt sich die Therapie der Skelettverletzungen auf eine offene oder geschlossene Reposition – falls nicht schon am Unfallort erfolgt – und die weichteilschonende, minimal-invasive Kirschner(K)-Draht- oder Schraubenosteosynthese kombiniert mit einem tibio(meta)tarsalen Fixateur externe (Rammelt et al. 2005). Dieser schützt die Weichteile und den ggf. sekundär durchgeführten Gewebetransfer. Bei offenen Frakturen erfolgt eine Antibiotikaprophylaxe, wobei entsprechend dem erwarteten Keimspektrum Cephalosporine der 2. Generation empfohlen werden (Myerson 1999b).

Ein frühzeitiger Weichteilverschluss ist bei Verletzungen der unteren Extremität anerkanntermaßen eine entscheidende Voraussetzung zur Infektvermeidung. Als günstiges Zeitfenster wird hierbei eine definitive Weichteildeckung innerhalb von 72 h angestrebt, für welche eine signifikante Minderung der Infektrate beschrieben wurde (Godina 1986), wenngleich in der Literatur Zeiträume zwischen 48 h und 2Wochen für einen »frühen« Gewebetransfer angegeben werden. Bei zweit- bis drittgradig offenen Unterschenkelschaftfrakturen hat sich die frühe oder sogar notfallmäßige Defektdeckung innerhalb von 24 h mit unmittelbar anschließender freier Lappenplastik (fix and flap) gegenüber verspäteter Deckung eindeutig bewährt (Gopal et al. 2000). In einer eigenen Serie von 24 Patienten mit offenen bzw. drittgradig geschlossenen komplexen Fußverletzungen (Brenner et al. 2001) wurde die frühe Weichteildeckung im Rahmen der »urgence differée« (innerhalb 24–120 h) durch eine gestielte bzw. freie Lappenplastik mit definitiver Osteosynthese erprobt. Dadurch wurde die Infektrate auf 7,1% gesenkt. Tendenziell sollten mit diesem Konzept bei tiefen, kontaminierten Defekten langwierige Verläufe mit letztlich unbefriedigenden Funktionsresultaten vermieden werden können. Die Art der Weichteildeckung richtet sich nach Defektgröße, Lage und freiliegenden Strukturen. Ein Schema eigener Präferenz (Brenner et al. 2001, Zwipp u. Rammelt 2002) ist in Abb. 11.7 dargestellt.

Kompartment-Syndrom des Fußes

Aufgrund der Zerreißung der Fußbinnenmuskulatur prädisponieren besonders Lisfranc-Luxationsfrakturen zu einer pathologischen Druckerhöhung der Mittelfußkompartimente (Myerson 1999a). Jedoch weisen auch Kalkaneusfrakturen und schwere direkte Quetschverletzungen eine erhöhte Gefährdung auf, bei letzteren ist in etwa 40% mit der Entwicklung eines Kompartment-Syndroms zu rechnen (Manoli 1990; Stiegelmar et al. 2001). Insbesondere beim Kompartment-Syndrom des Unterschenkels sowie bei Mehrfachverletzten ist auf ein begleitendes Fußkompartment-Syndrom zu achten.

Die Fasziotomie wird von den meisten Autoren ab 30 mmHg empfohlen (Myerson 1999b). Im eigenen Vorgehen hat sich abweichend vom Unterschenkel die Kompartmentspaltung bereits ab 25 mmHg bewährt, da es am Fuß rascher zur Blasenbildung kommt und die Toleranz der kleinen Fußmuskeln sowie der Endaufzweigungen von Nerven und Gefäßen im Vergleich zum Unterschenkel gegenüber vergleichbaren Drücken geringer ist (Zwipp u. Rammelt 2002). Sowohl die dorsomediane (Abb. 11.8) als auch die mediale Fasziotomie (modifizierter Henry-Zugang) erlauben in experimentellen und klinischen Studien die suffiziente Entlastung aller Fußkompartimente (Manoli 1990, Myerson 1999b). Bei

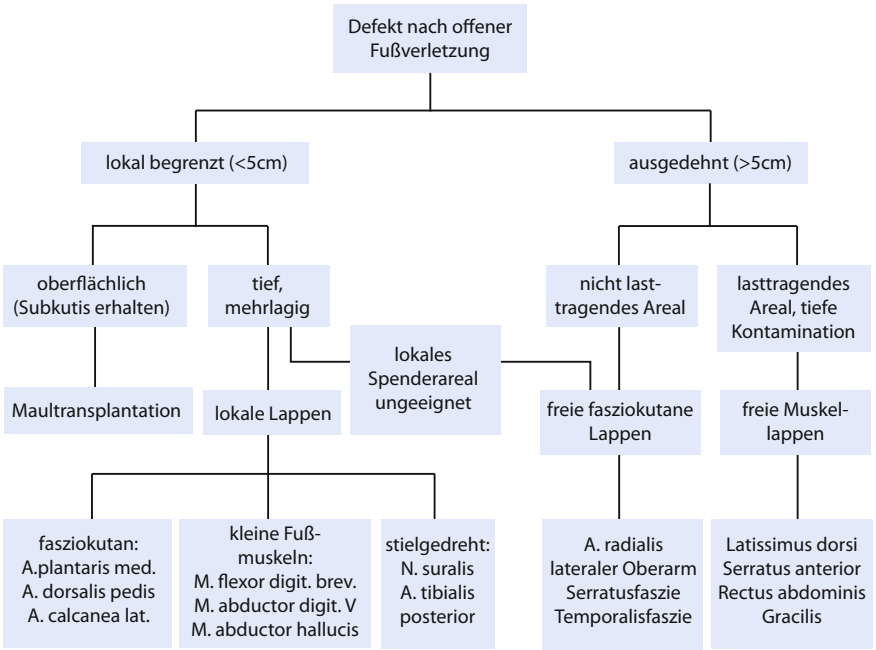


Abb. 11.7 Schema der Weichteildeckung bei traumatischen Defekten. Die Grenze von 5 cm stellt eine Richtgröße dar, die Verfahrenswahl muss in jedem Falle individuell auch in Abhängigkeit von lokalen und systemischen Besonderheiten des Patienten erfolgen. Die angeführten Lappenplastiken entsprechen eigenen Präferenzen (vgl. Brenner et al. 2001) und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit

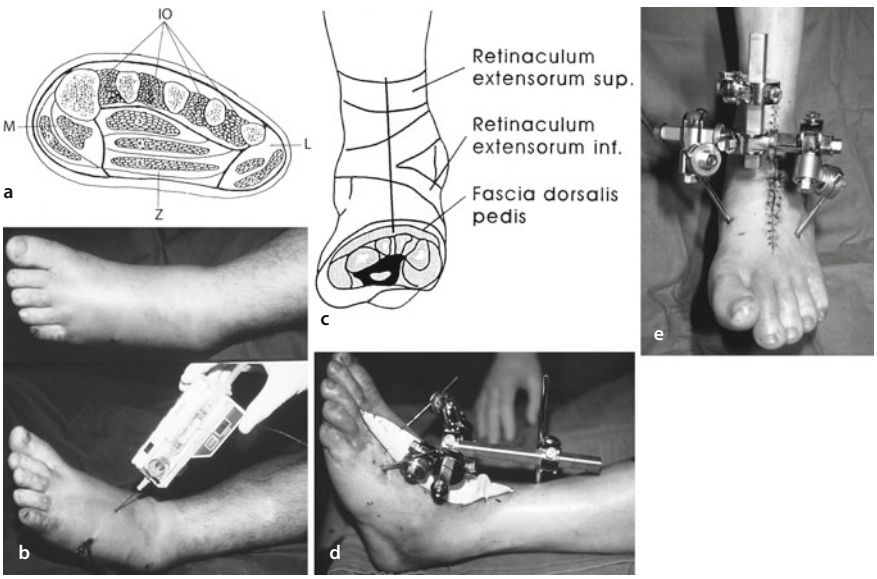


Abb. 11.8a–e Fußkompartimente und Position für die Dermatofasziotomie. **a** Auf Höhe der Metatarsaleschäfte unterscheidet man die interossäre (*IO*), zentrale (*Z*), mediale (*M*) und laterale (*L*) Muskelloge. **b** Invasive Kompartment-Druckmessung beim bewusstlosen Patienten. **c** Die vollständige Entlastung aller Kompartimente gelingt über die dorsomediane Dermatofasziotomie, welche bis zum Retinaculum extensorum geführt wird, da es bei komplexen Fußverletzungen zu einer Zerreißung der zarten intermuskulären Septen und damit zu einer Verbindung der Kompartimente untereinander kommt. **d,e** Bei rechtzeitiger Kompartmentspaltung gelingt nach zwischenzeitlicher Kunsthautdeckung zumeist innerhalb weniger Tage die problemlose Sekundärnaht

letzterer wird oberhalb des M. abductor hallucis und direkt am Unterrand des Os metatarsale I entlang präpariert, um das mediale Gefäß-Nerven-Bündel nicht zu gefährden (▶ Kap. 21, Standardzugänge).

11.1.3 Amputationstechniken am Fuß

Phalangeale und metatarsophalangeale Amputation

Während Amputationen des 2.–5. Strahls mit nur geringen Funktionseinbußen einhergehen, müssen die Erhaltungskriterien an der Großzehe aufgrund deren wichtiger Funktion während der Abstoßphase streng geprüft werden. Die Zehenendglieder werden zur Vermeidung einer Beugekontraktur eher vollständig exartikuliert, die Mittelglieder je nach Defektgröße basisnah oder vollständig abgesetzt und die Grundglieder möglichst lang belassen, wobei man eine Refixation der Strecksehnenaponeurose vornimmt. Beugesehnen und Nerven werden unter leichtem Zug zurück gekürzt, verbleibende prominente Kondylen seitlich abgerundet. Nach vollständiger Zehenexartikulation verbleibt der Gelenkknorpel der Metatarsalia als Infektbarriere. Beim Absetzen der 1. oder 5. Zehe werden die Metatarsaleköpfchen seitlich beigetrimmt. Nach Großzehenexartikulation werden Beuge- und Strecksehnen mit der intrinsischen Muskulatur über dem Metatarsaleköpfchen vernäht, um eine Retraktion der Sesambeine zu verhindern. Generell sollte mehr plantare Haut zum Weichteilverschluss gewonnen werden, wie auch bei kompletter metatarsophalangealer Exartikulation (Zwipp 1994).

Transmetatarsale Amputation (Sharp)

Die Absetzungshöhe orientiert sich an der verfügbaren plantaren Haut, welche für eine stabile Narbenbildung erforderlich ist. Die Absetzungslinie verläuft möglichst weit distal, um einen langen Mittelfußstumpf mit günstiger Hebelwirkung zu erreichen, und leicht konvex. Lässt sich nur ein kurzer Mittelfußstumpf herstellen, sollte im spongiösen Bereich abgesetzt werden. Im Idealfall können die Strecksehen transössär fixiert werden, um einer Beugekontraktur vorzubeugen (Abb. 11.9a). Hansen (2000) empfiehlt aus gleichem Grunde den Transfer der Extensor-digitorum-longus- auf die Peroneus-tertius-Sehne bzw. auf die dorsolaterale Faszie, sowie eine Achillessehnenverlängerung.

Tarsometatarsale Amputation (Lisfranc) und mediotarsale Amputation (Chopart)

An diesen Amputationslinien orientiert man sich bei schwerer Vorfußzerstörung im Rahmen der Notfallversorgung. Sie sind jedoch von Seiten der Stumpfbildung eher problematisch. Hinzu kommt die exzessive Neigung zur Beugekontraktur, weswegen ein dauerhafter Lisfranc- oder Chopart-Stumpf bei guter Weichteildeckung mit einer Sehnenplastik kombiniert werden sollte. Bei Lisfranc-Exartikulation werden die Strecksehnen in leichter Dorsalflexion des Restfußes durch Cuneiformia und Kuboid geführt und steigbügelartig vernäht (Abb. 11.9b). Auf Höhe des Chopart-Gelenks erfolgt die Steigbügelbildung mit der Tibialis-anterior-(posterior-) und Peroneus-longus-(brevis-)Sehne, welche durch Taluskopf und Processus anterior calcanei gezogen werden, um eine aktive Anhebung des Corpus tali zu ermöglichen (Abb. 11.9c). Eine Alternative stellt die transtarsale Amputation nach Bona-Jäger zwischen Navikulare und Cuneiformia unter Erhalt des proximalen Kuboids dar. Sowohl Chopart- als auch Lisfranc-Amputation eignen sich jedoch gut zur präliminaren notfallmäßigen Absetzung eines gefährdeten Vorfußes bei kritischem Allgemeinzustand des Patienten bzw. schwer einzuschätzenden Weichteilverhältnissen am Amputationsrand. Die definitive Stumpfbildung (z.B. nach Pirogoff) erfolgt dann im Intervall.

Transkalkaneare Amputation (Pirogoff)

Die osteoplastische Amputation nach Pirogoff (1854) erlaubt nach eigener Erfahrung sowohl bei schwerer Vorfuß- und Fußwurzelzerstörung als auch beim neuropathischen Charcot-Fuß eine stabile Stumpfversorgung mit belastbarem Fersenpolster und stellt einen Schutz gegen aufsteigende Infektionen dar (Zwipp 1994). Ein Vorteil ist die Möglichkeit der radikalen Resektion von zerquetschtem, avitalem und bradytrophem Muskel- und Sehnengewebe im Fußwurzelbereich. Die resultierende Beinlängenverkürzung bleibt unter Verwendung der häufig praktizierten Modifikation nach Boyd (1939) mit 1–2 cm im unkritischen Bereich. Nach präliminarer Chopart-Exartikulation werden die Sehnen bis in den vitalen Bereich (am Übergang von Muskel- zum Sehnengewebe) zurück gekürzt. Der Talus wird exartikuliert und die Malleolengabel komplett von Gelenkknorpel befreit. Anschließend erfolgt die Osteotomie des Processus anterior calcanei ca. 1 cm proximal des Chopart-Gelenks und die Verschmälerung des Sustentaculum tali, wodurch sich die spongiöse Resektionsfläche des Kalkaneus, welcher nun um 70–80° aufgerichtet wird, in die Malleolengabel einpasst. Eine Achillessehnenverlängerung ist hierfür erforderlich. Die Fixation erfolgt mit zwei von distal eingebrachten 6,5 mm Spongiosaschrauben zur Tibia hin (Abb. 11.10). Verbleibende ventrale Hautdefekte können sekundär mit Spalthaut problemlos gedeckt werden, da sie nicht lasttragend sind. Die orthopädische Schuhversorgung besteht in einem elastischen Prothesenfuß aus hochgezogenem karbonfaserverstärktem Gießharzschaft unter Verwendung von einlagengerechtem Serienschuhwerk mit Abrollhilfe.

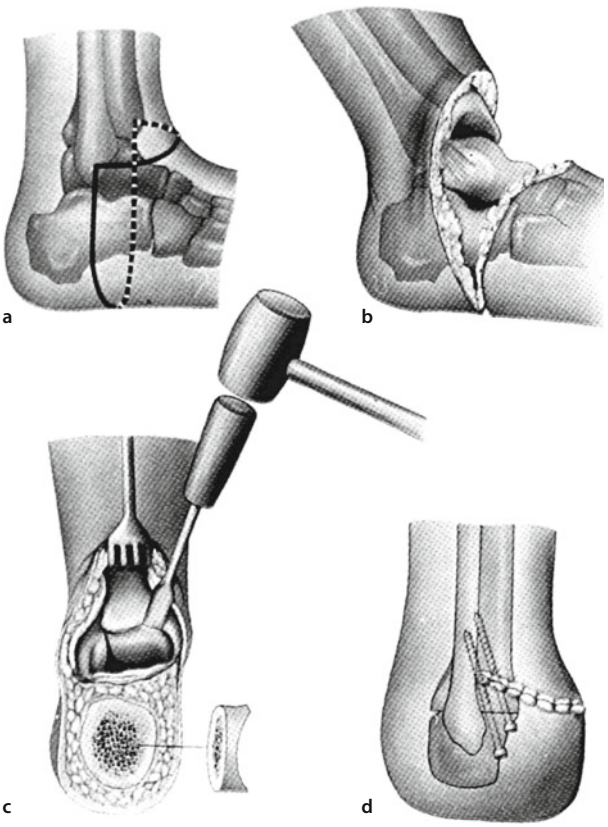


Abb. 11.10a–d Osteoplastische Rückfußamputation nach Pirogoff in der Variante von Boyd. (Aus: Zwipp 1994)

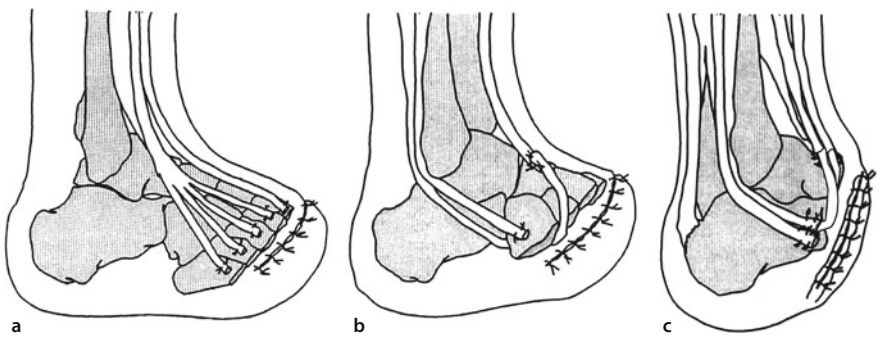


Abb. 11.9a–c Amputationshöhen am Fuß. Die Durchführung einer transmetatarsalen Sharp- (**a**), Lisfranc- (**b**) oder Chopart-Amputation (**c**) sollte zur Vermeidung einer Spitzfußstellung immer mit einer Sehnenplastik verbunden werden, wenn es sich um eine definitive Versorgung handelt. (Modifiziert nach Zwipp 1994)

11.2 Frakturen und Luxationsfrakturen

11.2.1 Malleolarfrakturen

Ätiologie

Frakturen und Luxationsfrakturen des oberen Sprunggelenks gehören zum Alltag des Unfallchirurgen. Mit einer Inzidenz von 10% stehen sie an dritter Stelle aller Frakturen und sind gleichzeitig die häufigsten Frakturen eines lasttragenden Gelenks (Kuner u. Schlosser 1995). In >80% der Fälle liegt ein Luxationsmechanismus durch Fehltritt oder Sturz zugrunde. Dezelerationstraumata im Rahmen von Verkehrsunfällen (ca. 10%) und eine direkte Gewalteinwirkung (<5%) sind eher seltene Ursachen für Malleolarfrakturen (Zwipp 1994).

Klinik

Klinisch präsentieren sich Malleolarfrakturen mit einer Schwellung und dezidiertem Druckschmerz über der Malleolarregion sowie einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung und Unmöglichkeit der Lastaufnahme. Eine erkennbare Fehlstellung oder Instabilität bei Luxationsfrakturen ist abhängig vom Schweregrad der Verletzung sowie einer ggf. bereits erfolgten Reposition. Die Palpation der Fibula über ihrer gesamten Länge erlaubt bereits einen Rückschluss auf die Frakturhöhe und ist unerlässlich zum Ausschluss einer Maisonneuve-Fraktur. Zur klinischen Untersuchung gehören weiterhin die Erfassung des Gefäßstatus sowie die Dokumentation sensibler Ausfälle.

Bildgebende Diagnostik

Die Standardröntgenaufnahme des oberen Sprunggelenks in 2 Ebenen erfordert eine Innenrotation des Unterschenkels von 20° für die anteroposteriore (a.p.) Aufnahme, wodurch Knöchelgabel und Gelenkspalt frei projiziert werden (mortise view). Liegt der Verdacht auf eine Maisonneuve-Fraktur vor, ist eine Gesamtaufnahme des betreffenden Unterschenkels erforderlich. Bei der Beurteilung der Gelenkkongruenz ist auf eine gleichmäßige radiologische Gelenkspaltbreite in allen Kompartimenten und die laterale Translation bzw. Verkürzung der Fibula zu achten, welche von hoher prognostischer Relevanz ist (Phillips et al. 1985). Chaput beschrieb 1907 die Weite des fibulotibialen Abstandes auf Höhe der Articulatio tibiofibulare distale (ligne claire, tibiofibular clear space) als Maß für die Syndesmosenintegrität (Abb. 11.11). Eine Verbreiterung der ligne claire über 5 mm ist ein Hinweis auf das Vorliegen einer Syndesmoseninsuffizienz, wobei die Gegenseite aufgrund individueller Schwankungen zum Vergleich herangezogen werden sollte (Weber 1966). In Zweifelsfällen verschafft die CT Klarheit. Ein weiteres Maß für die korrekte Stellung der distalen Tibia und Fibula zueinander ist die tibiofibulare Überlappung von 1 mm im mortise view bzw. 10 mm im a.p.-Strahlengang auf Höhe des Gelenkspalts (Geissler et al. 1996).

Bei zusätzlicher Impaktation eines gelenktragenden Anteils, insbesondere bei Anhalt auf Vorliegen einer Pilon-tibiale-Fraktur und schwer klassifizierbaren kindlichen Übergangsfrakturen sollte zur Operationsindikation oder -planung eine CT zu Rate gezogen werden (Rammelt et al. 2007). Sie ist zudem bei veralteten, schwer rekonstruierbaren Fehlstellungen oder Übergangsfrakturen bei Jugendlichen empfehlenswert. Die MRT erlaubt bei speziellen Fragestellungen die Evaluierung von Knorpeldefekten, Knochennekrosen und Bandläsionen, gehört allerdings nicht zur Standarddiagnostik. Bei Stressfrakturen und bei Verdacht auf Vorliegen eines Sudeck-Syndroms sollte eine Szintigrafie Klarheit schaffen.

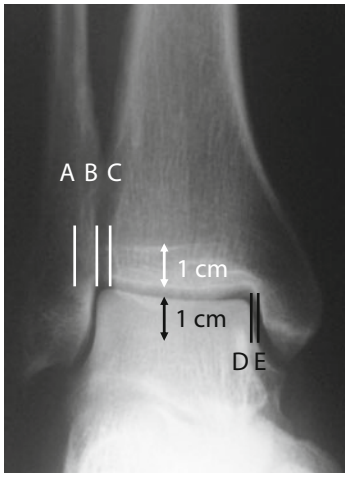


Abb. 11.11 Determinanten der Syndesmosenstabilität im 20°-innenrotierten a.p.-Bild des OSG (mortise view). Der Abstand zwischen Vorderrand der medialen Fibulakante (*B*) und lateraler Tibiakante am Tubercule de Chaput (*C*) wird als ligne claire oder tibiofibular clear space bezeichnet und soll 5 mm nicht überschreiten. Der Abstand zwischen Vorderrand der Fibula (*B*) und Hinterrand der Tibia (*A*) beträgt als tibiofibulare Überlappung (tibiofibular overlap) in dieser Einstellung mindestens 1 mm. Auf eine Erweiterung des medialen Gelenkraums (*DE*: medial clear space) über 5 mm als Zeichen einer Subluxationsstellung des Talus infolge Syndesmoseninstabilität ist ebenfalls zu achten

Klassifikation

Die genetische Klassifikation von Lauge-Hansen (1950), welche anhand einer Serie biomechanischer Experimente aufgestellt wurde, ist noch heute für das Verständnis des Verletzungsmechanismus sowie die Therapieplanung von großer Bedeutung (Abb. 11.12a, Lauge-Hansen 1950). Die Bezeichnung der 4 Luxationsformen setzt sich aus der Stellung des Fußes zum Unfallzeitpunkt (Pro-/Supination) und Richtung der einwirkenden Kraft (Abduktion/Adduktion/Eversion) zusammen (Abb. 11.12b). Hierbei ist der Terminus »Eversion« durchaus missverständlich, da er eigentlich die dreidimensionale Gesamtbewegung des Fußes, insbesondere im unteren Sprunggelenk, beschreibt (▶ Abschnitt 12.1.1).

Entscheidend für das Verständnis der Pathomechanik ist, dass Lauge-Hansen mit »Eversion« die Außenrotation des Talus in der Sprunggelenkgabel meint, weswegen im englischsprachigen Schrifttum auch der Begriff external rotation verwendet wird.

Alle Verletzungstypen verlaufen wiederum in mehreren Stadien, welche Subgruppen der Klassifikation bilden und neben den knöchernen auch die ligamentären Strukturen des oberen Sprunggelenks einschließen. Bei den häufigeren Supinationsverletzungen beginnt die Zerstörung am Außenknöchel, bei den Pronationsverletzungen am Innenknöchel. Letztere sind prinzipiell kritischer einzuschätzen, da sich aufgrund der oben beschriebenen dreidimensionalen Bewegung der breitere Teil der Talusrolle in die Knöchelgabel einstellt und einen erheblichen Stress auf die Syndesmose ausübt.

Die Gewalteinwirkung bei der **Supinations-Adduktions-Fraktur** beginnt am Außenknöchel, wo eine fibulare Bandruptur oder infrasyndesmale Fibulafraktur resultiert (Stadium I). Setzt sich der Adduktionsstress fort, entsteht eine vertikale Innenknöchelfraktur (selten eine Deltabandruptur) mit resultierender Instabilität der

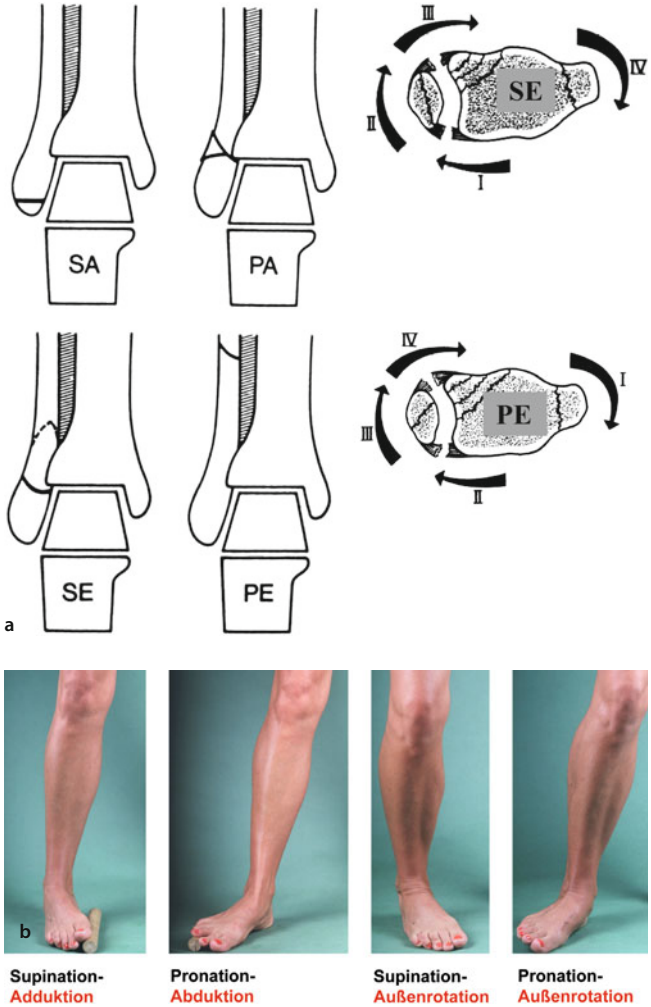


Abb. 11.12a,b **a** Lauge-Hansen-Klassifikation mit Stadien. Während sich die Supinations-Adduktions(*SA*)-Verletzung in 2 und die Pronations-Abduktions(*PA*)-Verletzung in 3 Stadien vollziehen, werden bei den Supinations-Eversions(*SE*)- und Pronations-Eversions(*PE*)-Verletzungen jeweils 4 Stadien unterschieden. Bei ersterer beginnt die Gewalteinwirkung an der vorderen Syndesmose, bei letzterer am Innenknöchel bzw. Deltaband. Die Skizzen der 4 Stadien machen deutlich, dass der Begriff »Eversion« die Außenrotation des Talus beschreibt. **b** Der erste Begriff beschreibt die Stellung des Fußes zum Unfallzeitpunkt (Pro- oder Supination), der zweite Begriff die Richtung der Gewalteinwirkung (Abduktion, Adduktion oder Außenrotation)

Knöchelgabel (Stadium II). Bei hoher Gewalteinwirkung resultiert in diesem Stadium eine Impression des medialen Tibiaplafonds (Rammelt et al. 2007).

Bei der **Pronations-Abduktions-Fraktur** entsteht zunächst eine Deltabandruptur oder Fraktur am Innenknöchel (Stadium I), bei fortgesetzter Gewalteinwirkung kommt es zum knöchernen oder ligamentären Ausriss der vorderen und hinteren Syndesmosenbänder (Stadium II), schließlich entsteht eine indirekte Fibulafraktur, typischerweise mit lateralem Biegungskeil oder Trümmerzone, auf Syndesmosenhöhe (Stadium III).

Die mit ca. zwei Dritteln aller Verletzungen häufigste **Supinations-Eversions-Fraktur** vollzieht sich in 4 Stadien: Die Krafteinwirkung beginnt am vorderen Syndesmosenband bzw. Tubercúle de Chaput (Stadium I) und setzt sich bei fortdauernder Gewalt (Außenrotation des Talus) zirkulär über Fibula (Stadium II) und hinteres Syndesmosenband bzw. Volkmann-Dreieck (Stadium III) bis zum Innenknöchel bzw. Deltaband (Stadium IV) fort (Abb. 11.12a). Typischerweise entsteht eine Spiralfraktur der distalen Fibula auf Höhe der Syndesmose.

Die **Pronations-Eversions-Fraktur** folgt dem prinzipiell gleichen Mechanismus, nur dass aufgrund der Einstellung des breiteren Anteils des Talus in der Knöchelgabel bei Pronation des Fußes die Gewalteinwirkung am Innenknöchel beginnt, welcher nach medial weggeschlagen wird, und sich durch die Talusrotation zirkulär nach lateral fortsetzt (Abb. 11.12a). Die resultierende Fibulafraktur entsteht somit indirekt oberhalb der Syndesmosenhöhe als Quer- oder Schrägfraktur. Eine Sonderform der Pronations-Eversions-Fraktur ist die Maisonneuve-Fraktur, welche eine knöcherne oder ligamentäre Verletzung auf Höhe des Innenknöchels, Instabilität der Syndesmose sowie eine komplette Ruptur der Membrana interossea mit hoher Fibulafraktur oder Luxation des Fibulaköpfchens auf Höhe der proximalen Syndesmose darstellt.

Die im klinischen Alltag am häufigsten verwendete **Danis-Weber-Klassifikation** (Weber 1966) bezieht sich ausschließlich auf die Frakturhöhe der Fibula in Bezug auf die Syndesmose. Sie unterscheidet zwischen

- infrasyndesmaler Fibulafraktur (Typ A) mit intakter Syndesmose,
- transsyndesmaler Fraktur (Typ B), bei welcher der Syndesmosenkomplex meist verletzt, jedoch nicht notwendigerweise instabil ist und
- der generell instabilen suprasyndesmalen Fraktur (Typ C).

Die Danis-Weber-Klassifikation sagt nichts über die biomechanisch wichtigen Verletzungen von Innenknöchel und Tibiahinterkante aus und erlaubt somit keine sichere Aussage bezüglich der Stabilität und damit zur Operationsindikation bei den häufigen Typ-B-Frakturen. Die komplexere **AO-Klassifikation** benutzt prinzipiell die von Danis und Weber vorgenommene Einteilung und ergänzt diese um nach der Schwere der Begleitverletzungen ansteigende Untergruppen (A1.1 bis C3.3). Sie erlaubt somit eine Differenzierung der Weber-B-Frakturen in stabile und instabile Frakturtypen. Während B1-Verletzungen isolierte Außenknöchelfrakturen darstellen, tritt bei B2-Verletzungen eine Fraktur des Innenknöchels hinzu, wodurch eine instabile Situation vorliegt.

Zusätzlich hat sich aufgrund ihrer Einfachheit eine rein **deskriptive Einteilung** nach uni-, bi- oder trimalleolären Sprunggelenkfrakturen eingebürgert, wobei die kräftige hintere Tibiakante als »dritter Knöchel« betrachtet wird. Das entstehende Fragment, erstmals beschrieben von Earle 1828, wird im deutschen Sprachraum gewissermaßen historisch unkorrekt als hinteres Volkmann-Dreieck bezeichnet (Zwipp 1994). Weitere therapierelevante Eigennamen bezeichnen den knöchernen Ausriss des Ligamentum tibiofibulare anterius an der lateralen Tibiavorderkante als so genanntes Tubercúle du Tillaux-Chaput (erstmals jedoch 1822 von Cooper beschrieben) sowie dessen Pendant an der ventralen Fibula als Wagstaffe-Fragment.

Grundsätzliches zur Therapie

Sichtbar dislozierte Frakturen müssen notfallmäßig am Unfallort, ggf. unter intravenöser Analgesie, reponiert werden, da durch persistierenden Fragmentdruck von innen bereits nach kurzer Zeit erhebliche Haut- und Weichteilschäden provoziert werden. Die betroffene Extremität wird anschließend in einer Luftkammerschiene ruhiggestellt.

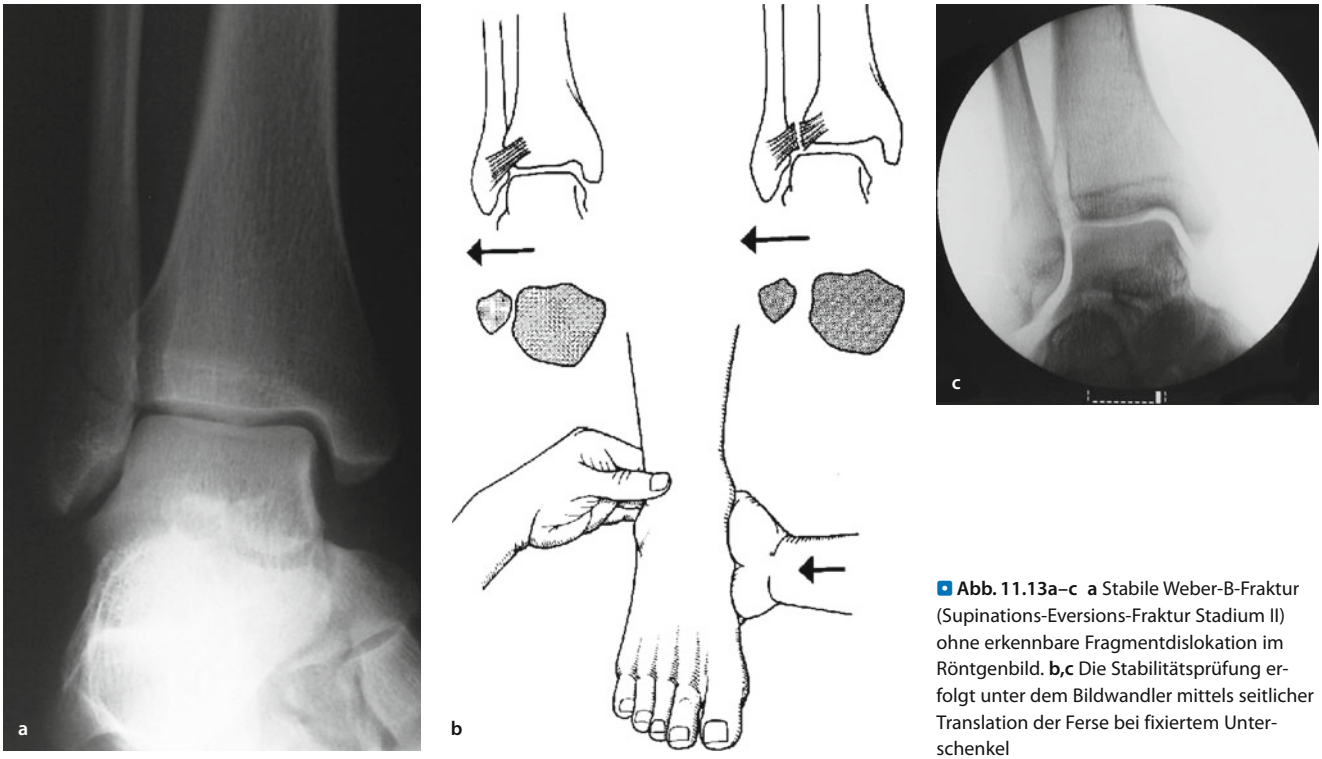


Abb. 11.13a–c **a** Stabile Weber-B-Fraktur (Supinations-Eversions-Fraktur Stadium II) ohne erkennbare Fragmentdislokation im Röntgenbild. **b,c** Die Stabilitätsprüfung erfolgt unter dem Bildwandler mittels seitlicher Translation der Ferse bei fixiertem Unterschenkel

Konservative Therapie

Folgende Frakturformen können konservativ behandelt werden:

- Isolierte, nichtdislozierte infrasyndesmale Außenknöchelfrakturen (Typ A1 nach AO, Supination-Adduktion Stadium I)
- Stabile nichtdislozierte transsyndesmale Frakturen ohne Syndesmoseninstabilität (Typ B1 nach AO, Supination-Eversion Stadium I–II)
- Isolierte Innenknöchelfrakturen (Pronation-Abduktion bzw. Pronation-Eversion Stadium I–II) bei sicherem Ausschluss einer hohen Fibulafraktur oder Luxation des Fibulaköpfchens.

Aufgrund des seltenen Auftretens isolierter Innenknöchelfrakturen muss eine Syndesmosenläsion bzw. Maisonneuve-Verletzung sicher ausgeschlossen werden. Von eminenter Bedeutung für die Indikationsstellung bei den häufigen SE-Verletzungen ist der Ausschluss von Syndesmoseninstabilitäten (oder Frakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks) bzw. Verletzungen des medialen Kompartiments (Ligamentum deltoideum, Innenknöchel). Besteht solch eine Zusatzverletzung, liegt eine instabile Supinations-Eversions-Fraktur Stadium III bzw. IV vor, welche eine Operationsindikation darstellt. Da die klinischen Zeichen einer medialen Bandverletzung (Schmerzen, Schwellung, Ekchymose) keine hohe Aussagekraft bezüglich der Stabilität aufweisen (Egol et al. 2004), erfolgt die Stabilitätsprüfung im Zweifelsfall unter dem Bildwandler mittels seitlicher Translation der Ferse bei fixiertem Unterschenkel (Abb. 11.13). Eine Verschieblichkeit von mehr als 2 mm stellt ein Instabilitätskriterium dar (Richter et al. 1999). Für den Patienten schonend und mit einer hohen Sensitivität und Spezifität einher gehend ist auch das passive Überhängen des verletzten Fußes über eine weiche Rolle in Seitenlage (Gravity stress test nach Michelson) (Schock et al. 2007). Im Zweifelsfalle gibt die CT Aufschluss über subtile, therapierelevante Fehlstellungen der Fibula. Insgesamt ist beim geringsten Zweifel an der Stabilität der Verletzung, z.B. bei erheblicher Klinik am Innenknöchel, – auch aufgrund der niedrigen Operationsmorbidität – die Indikation zur Operation großzügig zu stellen.

Die Behandlung der oben genannten Verletzungen mit Ruhigstellung im Gipsverband für 6 Wochen führte in größeren Serien zu guten bis sehr guten Langzeitergebnissen (Bauer et al. 1985, Kristensen u. Hansen 1985, Herscovici et al. 2007). Sie können jedoch nach jüngeren Untersuchungen auch frühfunktionell unter Vollbelastung des betreffenden Beins entweder nur mit einer elastischen Bandage (Port et al. 1996) oder mit einer Sprunggelenkorthese (Richter et al. 1999) behandelt werden.

Bei dislozierten Frakturen und gleichzeitigem Vorliegen lokaler oder systemischer Kontraindikationen zur Operation erfolgt eine möglichst anatomische, geschlossene Reposition in Lokalanästhesie (Peroneusblock), oder Bruchspaltanästhesie unter Bildwandlerkontrolle. Die Repositionstechnik dislozierter Verletzungen folgt prinzipiell dem Frakturmechanismus gemäß der genetischen Klassifikation von Lauge-Hansen (1948), indem sie diesen zunächst nachvollzieht, um durch vermehrte Dislokation ein Lösen der Fragmente zu erreichen, worauf dann unter Längszug die Reposition in entgegengesetzter Richtung erfolgt. Der Fuß wird jeweils bis zum Aushärten des Gipsverbandes in Repositionsstellung gehalten (Zwipp 1994).

Die Fraktur wird im sparsam gepolsterten, gut modellierten Unterschenkelgips retiniert. Die schonendste Position für Patienten und Therapeuten während der Gipsanlage ist bei rechtwinkliger Flexion in Hüft- und Kniegelenk am liegenden Patienten gegeben, wobei die Poplitea mit einem Kniebänkchen unterstützt wird. Nach dem Aushärten wird der Gipsverband bis auf die letzte Faser gespalten und angewickelt. Das Repositionsergebnis wird mit konventionellen Röntgenaufnahmen kontrolliert. Nach Abschwellen der Weichteile wird auf einen zirkulären Cast gewechselt. Die Ruhigstellungszeit beträgt bei einfachen Frakturen 6 Wochen,

bei bi- oder trimalleolären Frakturen, bei Trümmerbrüchen bzw. schlechter Knochenqualität ggf. 8–10 Wochen.

Operative Therapie

Entsprechend den oben angeführten Kriterien wird die Operationsindikation für folgende Verletzungen gestellt:

- Dislozierte infrasyndesmale Außenknöchelfrakturen und solche mit zusätzlicher Innenknöchelfraktur (Typ A2 bis A3 nach AO, Supination-Adduktion Stadium II)
- Instabile und dislozierte transsyndesmale Frakturen (Typ B2 bis B3 nach AO, Supination-Eversion Stadium III–IV, Pronation-Abduktion Stadium III)
- Suprasyndesmale Frakturen (Typ C1 bis C3 nach AO, Pronation-Eversion Stadium III–IV)

Die Notfallindikation zur sofortigen Operation besteht bei offenen Frakturen sowie bei geschlossenen Frakturen mit schweren Weichteilschäden wie ausgedehntem subkutanen Décollement, Hautinkarzeration bzw. drohendem oder manifestem Kompartment-Syndrom.

Bei Vorliegen **offener Frakturen** sollten die Standardzugänge, wenn möglich, der Wunde angepasst werden und die Operation ohne Blutsperre erfolgen. Die Kompartmentspaltung erfolgt über eine großzügig angelegte mediale Inzision der Fascia cruris mit Entlastung des proximalen und distalen Retinaculum extensorum (erweiterter medialer Innenknöchelzugang, ▶ Kap. 21, Standardzugänge). Der Wundverschluss darf nie erzwungen werden, das Weichteilmanagement folgt den eingangs genannten Prinzipien (▶ Abschnitt 12.1.2). Das osteosynthetische Vorgehen erfolgt aufgrund der Infektgefährdung ggf. zweizeitig mit temporärer tibiotarsaler Transfixation mittels Fixateur externe und definitiver interner Osteosynthese im Intervall.

Die Versorgung frischer Verletzungen sollte generell **innerhalb der ersten 6-8 h** nach dem Trauma angestrebt werden. Eine Ausnahme bilden superinfizierte Wunden oder geschwollene und überwärmte Weichteile, welche oft vorzufinden sind, wenn der Patient nach dem Unfall die betroffene Extremität noch längere Zeit belastet hat. In diesen Fällen sowie beim Überschreiten der Zeitspanne sollte bis zur Konsolidierung der Weichteilverhältnisse zugewartet werden, um keine Wundheilungsstörungen oder Infekte zu riskieren. Eine erhebliche Schwellung für sich genommen ist jedoch prinzipiell keine Kontraindikation zur sofortigen Versorgung. Bis zur Operation wird ein Unterschenkelspaltgips in Neutralstellung des Fußes angelegt. Für die extrem instabilen Pronations-Abduktions-Verletzungen ist bei Unmöglichkeit der sofortigen Definitivversorgung die temporäre Anlage eines tibiometatarsalen Fixateur externe vorzuziehen. Die operative Stabilisierung der Malleolarfrakturen folgt typischerweise der Reihenfolge Außenknöchel, Innenknöchel, hinteres Volkmann-Fragment.

Weber A

Dislozierte infrasyndesmale **Außenknöchelfrakturen** (Supination-Eversion, Weber A) werden über einen kleinen geraden Zugang über der Fibulaspitze versorgt. Bei guter Fragmentverzahnung und ausreichender Fragmentgröße erfolgt die Retention durch eine Spongiosaschraube, bei glatten Bruchflächen oder kleinem distalen Fragment mittels Zuggurtung.

Weber B

Transsyndesmale (Weber B) Fibulafrakturen werden über einen lateralen Zugang dargestellt, die Fragmentenden gesäubert. Bei der Reposition der Fraktur ist besonders die Vorderkante zu kontrollieren. Auf die millimetergenaue Reposition der Gelenkfläche und eine korrekte Rotation und Längeneinstellung ist unbedingt Wert zu legen. Die typische Spiralfraktur (Supination-Eversion) wird zunächst mit einer interfragmentären Zugschraube stabilisiert. Anschließend wird eine Drittelrohrplatte zur Neutralisation exakt an die Außenseite der distalen Fibula anmodelliert und idealerweise mit 2–3 Schrauben im proximalen und distalen Fragment verankert. Prognostisch wichtig ist das Erkennen und die Refixation knöcherner Syndesmosenausrisse, d.h. ein Wagstaffe-Fragment oder ein Tubercúle du Tillaux-Chaput. Diese werden anatomisch reponiert und mit einer zusätzlichen Schraube gefasst, welche je nach Knochenqualität mit einer Unterlegscheibe versehen wird (◘ Abb. 11.14). Bei langgezogenen Schrägbrüchen sowie bei osteoporotischem Knochen wird die mechanisch stabile dorsale Plattenlage als Antigleitmechanismus empfohlen (Weber 1966). Die Platte darf in diesen Fällen jedoch nicht bis zur Fibulaspitze reichen, damit die Peronealsehnen nicht irritiert werden (Weber u. Krause 2005). Bei Pronations-Abduktions-Frakturen liegen häufig Trümmerzonen oder ein osteoporotischer Knochen vor, sodass der Einsatz winkelstabiler Implantate und evtl. einer zusätzlichen axialen Drahtschienung zu erwägen ist. Bei schlechten Weichteilverhältnissen kann zur Wiederherstellung von Länge und Rotation ein Minifixateur eingesetzt und in diesem ausnahmsweise auch ausbehandelt werden (Zwipp 1994).

Bei allen potenziell instabilen transsyndesmalen Fibulafrakturen vom Pronations-Abduktions-Typ wird nach erfolgter Osteosynthese die Syndesmosenstabilität unter dem Bildwandler mittels Einzinkerhaken in lateraler und a.p.-Richtung kontrolliert (Heim u. Pfeiffer 1988), falls nicht mechanisch relevante knöcherne Syndesmosenausrisse bereits refixiert wurden (◘ Abb. 11.15a-f). Bei Verbreiterung der ligne claire um >2 mm sowie einer sagittalen Instabilität muss von einer Syndesmoseninstabilität ausgegangen werden. In diesen Fällen erfolgt die Reposition der Fibula in die Incisura fibularis der Tibia mittels übergreifender Repositionszange. Eine temporäre fibulotibiale Stellschraube, welche die innere Kortikalis der Tibia nicht erfasst, wird ca. 2 cm oberhalb des Tibiaplafonds im Winkel von 30° nach ventral in Neutralstellung des Sprunggelenks eingebracht. Bei zu weit proximaler Schraubenplatzierung wird die Knöchelgabel unter Umständen auseinander gedrängt. Der Einsatz resorbierbarer Syndesmosenschrauben macht die Implantatentfernung entbehrlich und hatte in einer ersten Serie keinen negativen Einfluss auf das Ergebnis (Hovis et al. 2002).

Weber C

Suprasyndesmale Fibulafrakturen (Pronation-Eversion, Weber C) werden prinzipiell analog zu den transsyndesmalen Frakturen versorgt. Eine interfragmentäre Zugschraube ist bei den meist relativ quer verlaufenden Frakturen nicht immer sinnvoll. Beim Vorliegen von Trümmerzonen oder metaphysären Mehrfragmentbrüchen (Typ C2 nach AO) ist die Verwendung einer 3,5er dynamischen Kompressionsplatte (LCDCP), aufgrund der höheren Stabilität, der Drittelrohrplatte vorzuziehen. Die natürliche Fibulatorsion muss dabei beachtet werden. Unabhängig von der Art der Osteosynthese ist der Periost-Weichteil-Verbund der Fibula zu erhalten. Die Reposition der distalen Fibula in die Tibiainzisur und die temporäre Stellschraubenimplantation ist obligat. Hohe Fibulafrakturen (vom Maisonneuve-Typ) müssen nicht separat stabilisiert werden, ihre Stellung erlaubt jedoch einen Rückschluss auf die korrekte Fibulalänge. Zur korrekten Einstellung der Fibula in der Tibiainzisur ist eine offene Syndesmosenrevision erforderlich, um eingeschlagene Bandanteile entfernen und die Rotation sowie die Translation der Fibula in der Sagittalebene kontrollieren

Abb. 11.14a–f Versorgung einer instabilen Weber-B-Fraktur (Pronations-Abduktions-Fraktur Stadium III). **a,b** Die Standardaufnahmen lassen den Verletzungsmechanismus gut nachvollziehen. **c** Der Hakenzugtest nach Plattenosteosynthese der Fibula zeigt eine erhebliche Erweiterung der Ligne claire und des medialen Gelenkspalts als Zeichen einer relevanten Syndesmoseninstabilität. **d,e** Die Fibula wird mittels übergreifender Repositionszange in die Tibiainzisur reponiert und eine fibulotibiale Stellschraube implantiert. **f** In der postoperativen CT-Kontrolle nach Stellschraubenimplantation ist auf (*1*) die korrekte Stellung der Fibula in der Tibiainzisur, (*2*) die korrekte Rotation der distalen Fibula und (*3*) die korrekte Fibulalänge und Kongruenz der Malleolengabel zu achten

zu können. Die Stabilisierung der Syndesmose erfolgt durch zwei fibulotibiale Stellschrauben für 6 Wochen.

Nach Implantation einer fibulotibialen Stellschraube sowie bei Zweifeln an der anatomischen Reposition der Gelenkebene wird die Durchführung einer postoperativen CT empfohlen (Abb. 11.14), um eine subtile Fehlstellung oder Fehlrotation der distalen Fibula feststellen zu können, welche der Bildwandler- oder Standardröntgendiagnostik verborgen bleiben (Zwipp u. Rammelt 2002). Bei biomechanisch relevanter Fehlstellung der Fibula, Verkürzung oder Diastase von >2 mm, Fehlrotation von >5° (15°) im Vergleich zur Gegenseite (Thordarson et al. 1997, Vasharelyi et al. 2007), sollte eine Frühkorrektur durchgeführt werden, um das Risiko einer posttraumatischen Arthrose zu minimieren. Günstig ist für diese Frakturformen prinzipiell die Verfügbarkeit einer intraoperativen 3-D-Bildgebung, wenngleich hier der Seitenvergleich fehlt. Erste klinische Studien haben gezeigt, dass in reichlich 20% der mit Stellschraube versorgten Verletzungen eine Korrektur notwendig wurde (Gardner et al. 2006).

Innenknöchelfrakturen werden nach exakter Reposition (Kontrolle des medialen Gelenkwinkels!) mittels Zuggurtung oder alternativ mittels zweier parallel eingebrachter 3,5er Spongiosazugschrauben stabilisiert. Wichtig ist die Entfernung kleiner intraartikulärer Fragmente sowie die Reposition und ggf. Unterfütterung intraartikulärer Impressionszonen (Heim u. Pfeiffer 1988, Rammelt et al. 2007). Einzelne Autoren empfehlen alternativ die perkutane Verschraubung unter arthroskopischer Sicht (Lorez u. Hintermann 1999).

Die Indikation zur Versorgung eines **hinteren Volkmann-Fragments** ist nach allgemeiner Ansicht gegeben, wenn seine Größe mehr als ein Viertel bzw. ein Drittel der Gelenkfläche beträgt (Heim

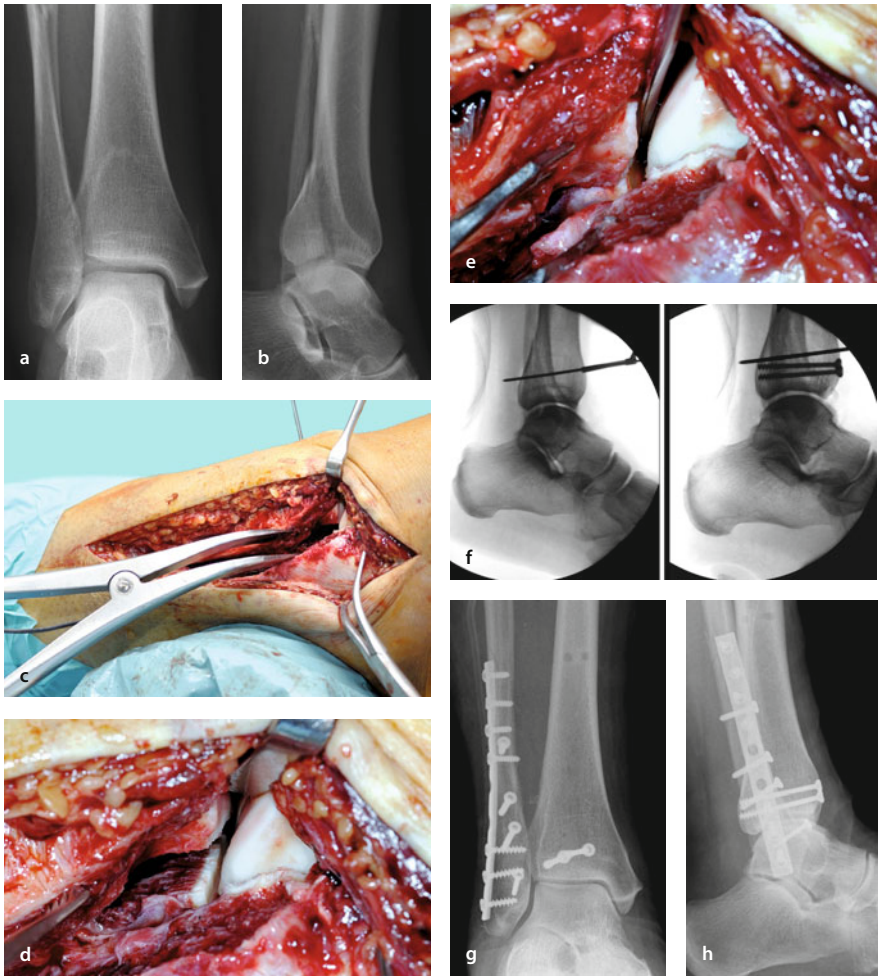


Abb. 11.15a–h **a,b** Supinations-Eversions-Fraktur im Stadium IV mit großem, gelenktragenden Hinterkantenfragment. Die Fibulafraktur mit dem typischen Spiralverlauf beginnt auf Höhe der Syndesmose und wird daher trotz des hohen Frakturausläufers als transsyndesmal (Weber B) klassifiziert. **c–f** Zuweilen ist es ratsam, die Tibiahinterkante zuerst zu reponieren, da man die Reposition gelegentlich durch die Fibulafraktur hindurch kontrollieren (Weber 1966) und in jedem Falle jedoch in der seitlichen Bildwandlerkontrolle ohne Überlagerung durch weiteres Osteosynthesematerial darstellen kann (Rammelt et al. 2007). **g–h** Anschließend erfolgen die Osteosynthese der Fibula sowie die Refixation des Wagstaffe-Fragments an der Fibulavorderkante. Durch die knöcherne Refixation von vorderer und hinterer Syndesmose ist die Knöchelgabel stabil und keine Stellschraubenimplantation erforderlich

u. Pfeiffer 1988, Broos u. Bisschop 1991). Bei hochgradig instabilen Verletzungen oder schlechter Knochenqualität kann auch die Refixation kleinerer Fragmente die Stabilität des Gesamtkonstrukts erhöhen. Die Reposition erfolgt, wenn möglich, indirekt mittels Hakenzug oder Raspatorium über die vorhandenen medialen bzw. lateralen Zugänge. Über eine anteromediale Stichinzision werden anschließend, unter strenger Schonung der neurovaskulären Strukturen (A. tibialis anterior, N. peronaeus superficialis) sowie der langen Strecksehnen, nach präliminarer K-Draht-Fixation 2 Kortikalis- oder Spongiosazugschrauben eingebracht. Ist eine indirekte Reposition nicht möglich, so kann die anatomische Reposition über einen dorsolateral angelegten Fibulazugang oder eine separate posterolaterale Inzision erzielt werden. Als speziellen Trick bei großem Volkmann-Fragment empfiehlt Weber (1966) eine Reposition unter direkter Sicht auf den Frakturspalt durch die Fibulafraktur hindurch (Abb. 11.15). In diesem Fall wird abweichend von der üblichen Reihenfolge das Volkmann-Fragment zuerst versorgt, das distale Fibulafragment wird dazu ggf. mit einer spitzen Repositionszange weggehalten, um den Blick auf die Tibiahinterkante freizugeben. Dieses Vorgehen hat auch den Vorteil einer überlagerungsfreien Darstellung des Tibiaplafonds in der seitlichen Ansicht, welche nach Plattenosteosynthese der Fibula nicht mehr gegeben ist.

Nachbehandlung

Die operierte Extremität wird ca. 1 Woche im Unterschenkelspaltgips ruhiggestellt. Durch den Patienten selbst können die venösen Plexus mittels Anpressen des Fußes gegen die Gipssohle leer gepumpt werden. Für krankengymnastische Bewegungsübungen wie Plantarflektion und Dorsalextension wird der Unterschenkel ab dem 2. postoperativen Tag aus dem Gipsverband herausgenommen. Zusätzlich ist die Anwendung einer Bewegungsschiene empfehlenswert.

Stabil versorgte uni- oder bimalleoläre Frakturen werden bei normaler Knochenqualität im patienteneigenen Schuh unter Teilbelastung mit 15–20 kp für insgesamt 6 Wochen postoperativ ausbehandelt. Alternativ kann im Spezialschuh (Variostabil) oder Gehgips primär voll belastet werden, wobei der Variostabil-Schuh einen höheren Patientenkomfort mit der Möglichkeit der krankengymnastischen Beübung bei sicherer Protektion bietet (Biewener et al. 2002). Trimalleoläre Frakturen oder Trümmerbrüche sollten auch mit Protektion nur unter Teilbelastung mit 15–20 kp nachbehandelt werden. Wurde eine Syndesmosenstellschraube eingebracht, darf 6 Wochen nicht voll belastet werden, um kein Materialversagen zu provozieren. Eine intensive krankengymnastische Therapie schließt sich nach Aufhebung der Protektion an.

Die Implantatentfernung wird aufgrund der unmittelbar subkutanen Materiallage und der geringen Morbidität insbesondere beim jungen Patienten prinzipiell nach 1 Jahr empfohlen.

Komplikationen

Dem Weichteilmanagement kommt bei der Komplikationsvermeidung nach Sprunggelenkfrakturen eine Schlüsselrolle zu. Die

unmittelbar subkutane Lage der Malleolen und die oft erhebliche Fragmentdislokation stellen einen nicht unerheblichen Risikofaktor für postoperative Hämatome, Hautnekrosen oder Infektionen dar. Die beste Prophylaxe besteht in einer frühzeitigen Reposition und definitiven Versorgung sowie in einer atraumatischen Operationstechnik. Oberflächliche Wundrandnekrosen treten in etwa 3% der Fälle auf (Lindsjö 1981, Zenker u. Nerlich 1982) und können meist mit lokalen Maßnahmen zur Ausheilung gebracht werden. Gespannte Hämatome sollten hingegen über den Operationszugang entlastet werden. Vollhautnekrosen erfordern neben dem Débridement eine vorzeitige Implantatentfernung und externe Stabilisierung sowie eine plastische Defektdeckung.

Tiefe Weichteil- und Knocheninfekte treten in <2% der operierten Malleolarfrakturen auf (Broos u. Bisschop 1991, Lindsjö 1981, SooHoo et al. 2009). Nach den Regeln der septischen Chirurgie erfolgt zunächst die radikale Nekrektomie bzw. Sequestrektomie sowie temporäre PMMA-Ketteneinlage und Weichteildeckung. Der Wiederaufbau aller Strukturen nach Infektsanierung erfordert meist einen (Mini)fixateur externe sowie den zweizeitigen Spongiosa- und Weichgewebstransfer. Bei Diabetikern werden signifikant erhöhte Raten an Wundkomplikationen und -infekten zwischen 40 und 50% beschrieben (Bibbo et al. 2001).

Pseudarthrosen der Malleolen sind nach operativer Stabilisierung nach AO-Standard mit 0,01–0,02% die extreme Ausnahme und werden lediglich bei schlechter Knochenqualität, nach Infektverläufen, jedoch auch bei falscher initialer Einschätzung der Stabilität und daraus folgender inadäquater Versorgung beobachtet (Zwipp et al. 1999b). Bei Vorliegen einer diabetischen oder neurogenen Osteoarthropathie (so genannter Charcot-Fuß) erfordern die nachgewiesene erhöhte Infektrate, die bis zur sicheren Knochenheilung verdoppelten Entlastungszeiträume und die gehäuft notwendige sekundäre Früharthrodese verstärkte Beachtung und einen individuellen Therapieentscheid (Zwipp et al. 1999c).

Prognose

Bei anatomischem Repositionsergebnis werden in größeren Studien in 75–89% der Fälle unabhängig vom Frakturtyp gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse angegeben (Broos u. Bisschop 1991, Lindsjö 1981, Mont et al. 1992), wobei insbesondere der korrekten Einstellung der distalen Fibula in die Tibiainzisur eine signifikante prognostische Bedeutung zukommt (Weening u. Bhandari 2005). Einen signifikant negativen Einfluss auf das Behandlungsergebnis von Malleolarfrakturen hatten in mehreren Serien die zusätzlichen Verletzungen des Deltabandes sowie des hinteren Kantenfragments (Broos u. Bisschop 1991, Mont et al. 1992). Nach anderen Autoren (Lorez u. Hintermann 1999, Zenker u. Nerlich 1982) ist eher die Zahl der verletzten knöchernen oder ligamentären Einzelkomponenten, entsprechend dem Fortschreiten der Verletzungsstadien nach Lauge-Hansen, von prognostischer Bedeutung.

Eine prospektiv-randomisierte Studie, welche geschlossene Reposition und Gipsruhigstellung mit offener Reposition und operativer Therapie nach AO-Technik bei Supinations- und Pronations-Eversions-Frakturen im Stadium IV nach Lauge-Hansen verglich, ergab hochsignifikant bessere funktionelle Resultate nach operativer Therapie (Phillips et al. 1985). Zum gleichen Ergebnis kamen eine prospektiv-randomisierte Studie, welche operative und konservative Therapie bei dislozierten Sprunggelenksfrakturen bei Patienten über 55 Jahren verglichen hatte, sowie mehrere vergleichende Studien (Makwana et al. 2001).

Bei konservativer Therapie von Weber-A- und stabilen Weber-B-Frakturen (Supination-Eversion Stadium I–II) sind gute Langzeitresultate zu erwarten (Bauer et al. 1985, Kristensen u. Hansen 1985). Sobald jedoch eine Verletzung des posterioren Fragments und der medialen Säule hinzutritt (Supination-Eversion Stadium III–IV), führt die konservative Therapie zwangsläufig zu schlechteren Ergebnissen (Bauer et al. 1985, Kristensen u. Hansen 1985), was die Notwendigkeit einer subtilen Diagnostik und strengen Indikationsstellung unterstreicht. Die selteneren isolierten Innenknöchelfrakturen ohne begleitende laterale oder posteriore Verletzung weisen nach konservativer Therapie ebenfalls eine gute Prognose auf (Herscovici et al. 2007).

Aufgrund begleitender Knorpelschäden und Knochenödemen ist selbst bei korrekter Reposition in etwa 10% der Fälle mit der Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose zu rechnen, welche jedoch nicht immer symptomatisch wird (Mont et al. 1992, Zenker u. Nerlich 1982).

11.2.2 Frakturen des Pilon tibiale

Ätiologie

Frakturen des Pilon tibiale entstehen im Gegensatz zu den Malleolarfrakturen zumeist durch axiale Stauchung. Zur Frakturierung des kräftigen distalen Tibiaendes ist eine erhebliche Energie notwendig, z.B. ein Sturz aus großer Höhe oder eine erhebliche Dezeleration beim Verkehrsunfall (high energy trauma). Der kompakte Talus wird durch die axiale Gewalteinwirkung in das breite Tibiaplafond eingedrückt. Bei fortgesetzter Gewalteinwirkung werden die Fragmente zusätzlich auseinander getrieben. Dieser Mechanismus führt regelhaft zu schweren trophischen Schäden der spärlichen Weichteilbedeckung in diesem Bezirk. Leichtere Frakturformen mit entsprechend geringgradigeren Weichteilschäden entstehen beim Skisport durch Torsion des fixierten Fußes gegen das gesamte Körpergewicht, oft verbunden mit einer Hyperflektion des oberen Sprunggelenks, wodurch zusätzliche dorsale Kantenfragmente entstehen. Entsprechend kommt es bei Hyperextension zur Ausbildung eines ventralen Kantenfragments und bei Abduktions- oder Adduktionskräften unter gleichzeitiger axialer Gewalteinwirkung zur Absprengung medialer oder lateraler Kantenfragmente. Nach Angaben von Heim u. Näser (1976), die v.a. Skisportverletzungen analysierten, machen Frakturen des Pilon tibiale etwa 15% aller Tibiafrakturen aus. In anderen Serien werden Anteile von 8–10% angegeben (Mast u. Teipner 1980, Rüedi u. Allgöwer 1978). Die Fibula ist in ca. 80% der Frakturen des Tibiaplafonds mitfrakturiert. Bei intakter Fibula ist die Syndesmosenstabilität zu überprüfen.

Klinik

Pilonfrakturen präsentieren sich klinisch mit einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk und der Unmöglichkeit der Lastaufnahme durch den betroffenen Fuß. Von größter Wichtigkeit für die Planung des weiteren Vorgehens ist die genaue Dokumentation und kritische Prüfung des begleitenden Weichteilschadens.

Bildgebende Diagnostik

Die Verdachtsdiagnose wird mittels Röntgenaufnahmen von oberem Sprunggelenk und distalem Unterschenkel bestätigt. Durch den erheblichen Stauchungsmechanismus entstehen jedoch regelhaft Impressions- und Trümmerzonen, die im Standardröntgenbild unerkannt bleiben. Für die präoperative Frakturanalyse und definitive Operationsplanung ist generell die CT indiziert, welche bei einem mehrzeitigen Vorgehen nach der Reposition und Transfixaton erfolgen sollte. Die Durchgängigkeit der A. dorsalis pedis

und A. tibialis posterior ist klinisch, dopplersonografisch oder angiografisch abzuklären.

Klassifikation

Die am häufigsten angewandte, von Heim (1990) erarbeitete **AO-Klassifikation** unterteilt nach dem klassischen AO-System 9 Untergruppen von Frakturen der distalen Tibia von aufsteigender Frakturschwere. Die ebenfalls weit verbreitete, einfachere Einteilung von **Rüedi u. Allgöwer** (1969) berücksichtigt ausschließlich die Gelenkfrakturen, also Frakturen des Tibiaplafonds im engeren Sinne. Dabei wird in Frakturen ohne (Typ I) und mit Dislokationen (Typ II) unterschieden, beim Typ III tritt eine zentrale Impression hinzu.

Im eigenen Vorgehen hat sich für die Planung der Operationstaktik die Erfassung und Beurteilung der regelhaft auftretenden **6 Hauptfragmente** anhand der CT-Analyse (Abb. 11.17, Abb. 11.19) als nützlich erwiesen (Zwipp 1994). Dies sind im Einzelnen (Abb. 11.16):

- Innenknöchelfragment (meist das größte)
- Anterolaterales Fragment (mit vorderem Syndesmosenband)
- Posterolaterales Fragment (mit hinterem Syndesmosenband)
- Vorderes Tibiakantenfragment
- Hinteres Tibiakantenfragment (Abb. 11.18)
- Zentrales Pilonfragment (häufig impaktiert)

Konservative Therapie

Gute funktionelle Ergebnisse lassen sich nur in Ausnahmefällen mit konservativer Behandlung erreichen. Lediglich die extraartikulären, nicht imprimierten A-Frakturen und die nichtdislozierten, stabilen B1-Frakturen können für 6 Wochen im Gipsverband ohne Belastung und für weitere 2–4 Wochen im Sarmiento-Brace ausbehandelt werden. Alternativ sollte auch in diesen Fällen eine perkutane Osteosynthese mit der Möglichkeit der funktionellen Nachbehandlung erwogen werden. Alle anderen Frakturtypen sollten beim Fehlen von lokalen oder systemischen Kontraindikationen osteosynthetisch versorgt werden. Kontraindikationen bestehen neben fehlender Narkosefähigkeit bei entgleistem Diabetes mellitus, fortgeschrittener pAVK und chronisch-venöser Insuffizienz mit trophischen Störungen.

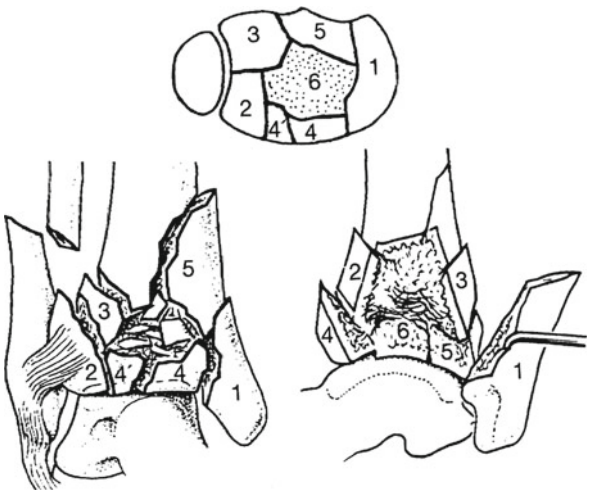


Abb. 11.16 Die 6 Hauptfragmente der Pilonfraktur (Einzelheiten im Text). (Aus: Zwipp 1994)

Operative Therapie

Offene Verfahren

Aufgrund der dünnen Weichteildeckung der distalen Tibia und des zumeist erheblichen Traumas empfiehlt sich für die operative Versorgung der Impaktionsfrakturen des Tibiaplafonds generell ein zwei- bis mehrzeitiges Vorgehen (Abb. 11.17). Beim Vorliegen offener Frakturen bzw. eines Kompartment-Syndroms gelten die allgemeinen, eingangs dargestellten Regeln. Beim typischerweise vorliegenden Hochrasanztrauma wird in einem ersten Schritt über einen (postero)lateralen Zugang zunächst die Länge der Fibula als wichtige Referenz für das obere Sprunggelenk wiederhergestellt und die Tibia mittels tibiometatarsalem Fixateur externe primär zum Fuß hin transfixiert. Zur Wiederherstellung der Länge ist die zusätzliche Einbringung eines transkalkanearen Fixateurpins erforderlich. Für die Fibulaosteosynthese kommen die oben dargestellten Verfahren zur zur Anwendung. Bei längerstreckigen Frakturen und Trümmerzonen bietet sich statt der Drittelrohrplatte die Verwendung einer Rekonstruktionsplatte oder LCDCP an. Keinesfalls darf jedoch die Fibula durch eine starre Plattenmontage in eine falsche Rotation auf Höhe des oberen Sprunggelenks gezwungen werden, was durch die Anpassung der Platte an die natürliche Fibulatorsion verhindert wird. Die exakte Position des lateralen Zugangs muss die geplanten Zugänge zur Tibia bereits berücksichtigen.

Im zweiten Schritt wird nach Abschwellen der Weichteile (zumeist 10 Tage nach dem Unfallereignis) sowie Verschluss einer evtl. notwendigen Fasziotomie die Rekonstruktion des Tibiaplafonds und Stabilisierung zum Tibiaschaft hin vorgenommen. Die Lage und Anzahl der medialen Zugänge wird anhand des präoperativen CT bestimmt. Auf eine ausreichende Weichteilbrücke zwischen den Zugängen (>5 cm) ist unbedingt zu achten, um die Hauttrophik nicht zusätzlich zu kompromittieren. Zur Vermeidung eines Bowstring-Effekts sollte die Tibialis-anterior-Sehne nicht freipräpariert werden (Mast et al. 1980). Die Fixateurpins können zur Einstellung der exakten Länge zur Anlage eines Distraktors verwendet werden. Der Aufbau der Gelenkfläche erfolgt schrittweise von lateral nach medial mit dem Talus als »natürliche Schablone« (Zwipp 1994). Zunächst wird zur besseren Übersicht das Innenknöchelfragment (Abb. 11.16) nach medial weggeklappt. Anschließend erfolgt der Aufbau des vorderen Tibiakantenfragments und anterolateralen Fragments (Tubercúle de Chaput) zum zentralen Pilonfragment, welches vorsichtig nach kaudal gestößelt werden muss. Die Fragmente werden temporär mit parallel zur Gelenkfläche eingebrachten 2,0 mm-K-Drähten retiniert. An den entstandenen Gelenkblock werden abschließend das hintere Tibiakantenfragment sowie das Innenknöchelfragment mit K-Drähten retiniert, welche ggf. durch 3,5-mm-Kortikalisschrauben ausgetauscht werden. Kleinere Gelenkfragmente sollten eher mit resorbierbaren Pins als mit »verlorenen« K-Drähten bereits definitiv refixiert werden.

Die Stabilisierung des gebildeten Gelenkblocks zur Diaphyse erfolgt abschließend mittels anatomisch geformter Platte mit der Möglichkeit einer winkelstabilen oder konventionellen Besetzung der Schraubenlöcher. Hierzu stehen u.a. von der AO entwickelte, wenig auftragende Pilonplatten zur Verfügung (Abb. 11.17f,g). Diese gestatten die Fixation des Gelenkblocks mit zusätzlichen seitlichen Armen von variabel einstellbarer Länge. Die Platte kann nach proximal hin subkutan getunnelt und die Schraubenlöcher perkutan besetzt werden, um den Weichteilschaden zu minimieren. In diesem letzten Schritt ist das Hauptaugenmerk auf ein korrektes Achsen-Alignement zu richten, wobei Pilonfrakturen insbesondere anfällig für Antekurvations- und Varus-Valgus-Fehl-

stellungen sind. Verbleibende ausgedehnte Defekte nach Anhebung von Impaktionszonen werden mit autologer Spongiosa aufgefüllt. Die Plattenosteosynthese erlaubt nunmehr eine funktionelle Nachbehandlung. Bei unverändert kritischen Weichteilverhältnissen sollte jedoch alternativ im Fixateur ausbehandelt werden.

In Ausnahmefällen (einfachere Frakturtypen, blande Weichteile, Möglichkeit der raschen Erstversorgung beim Monotrauma) kann die einzeitige Plattenosteosynthese von Fibula und Tibia erfolgen, wobei für letztere eine eingeschobene Platte (Khoury et al. 2002) zur Minimierung des Operationstraumas vorzuziehen ist (Abb. 11.19).

Minimal-invasive Verfahren

Im Bemühen um die Verringerung der noch in den 1980er Jahren erheblichen Infektraten und der rascheren Wiedererlangung der Beweglichkeit wurden seit den 1990er Jahren zunehmend minimal-invasive Verfahren zur definitiven Osteosynthese eingesetzt. Insbesondere bei primär kritischen Weichteilverhältnissen kann

Abb. 11.17a–g **a–c** Mehrzeitige Versorgung einer Pilon-Trümmerfraktur (C3 nach AO) mit geschlossenem Weichteilschaden Grad II. **d,e** Primär notfallmäßige Reposition und tibiometatarsaler Transfixation. **f,g** Nach Konsolidierung der Weichteile erfolgt die offene Rekonstruktion der Gelenkfläche und Osteosynthese mittels Plattenosteosynthese, im vorliegenden Fall mit einer winkelstabilen Pilonplatte der AO/ASIF Foot and Ankle Expert Group

Abb. 11.18a–f a–d Einzeitige Versorgung einer Pilonfraktur vom Typ B3 (mediales und hinteres Kantenfragment, zentrale Impression und einfache Spiralfraktur der Metaphyse) bei geringgradigem Weichteilschaden (geschlossen Grad I) mit limitiert-offener Reposition und Schraubenfixation sowie eingeschobener Plattenosteosynthese (**e,f**)

bei ausgewählten Frakturtypen anstelle der Plattenosteosynthese eine »limitiert interne Fixation« mit Schraubenosteosynthese durchgeführt werden. Im Rahmen der Primärversorgung erfolgt hierzu die Distraktion der imprimierten Frakturzone zunächst mit gelenküberbrückendem Fixateur externe, welcher zur Ausbehandlung der Fraktur nach Reposition des Plafonds durch nicht gelenküberbrückende externe Verfahren wie dem beim Komplikationsmanagement bewährten Ilizarov-Ringfixateur (McDonald et al. 1996) oder Hybridfixateur (Barbieri et al. 1996) ersetzt wird. Die Wiederherstellung der Gelenkfläche erfolgt unter Distraktion durch externe Manipulation und Aufstößelung der Impaktionszone über ausreichend dimensionierte direkte Inzisionen, ggf. unter arthroskopischer Kontrolle (Kim et al. 1997), mit anschließender minimal-invasiver Schraubenosteosynthese (Manca et al. 2002). Der Fixateur externe verbleibt in diesen Fällen bis zur knöchernen Konsolidierung (Tornetta et al. 1993, Wyrsch et al. 1996), wobei das obere Sprunggelenk bei nicht gelenküberbrückenden Verfahren bereits beübt werden kann. In ausgewählten Fällen kann bei arthroskopisch oder computertomografisch nachgewiesener kongruenter Gelenkstellung nach geschlossener Reposition unter Ligamentotaxis die Fraktur allein im Hybrid-Fixateur behandelt werden (Endres et al. 2003, Abb. 11.20). Essenziell für ein gutes Ergebnis ist jedoch eine anatomische Rekonstruktion der Gelenkfläche. Zeigt die postoperative CT eine verbliebene Gelenkstufe von 2 mm und mehr, so ist die offene Reposition im Intervall indiziert. Zur Stellungskontrolle und Beurteilung der Konsolidierung sind regelmäßige Röntgenkontrollen erforderlich.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung beinhaltet intensive aktive und passive Bewegungsübungen zum Erhalt der Gelenktrophik, die besonders durch die kontinuierliche passive Bewegung (CPM) auf der Bewegungsschiene gefördert wird. Nach abgeschlossener Wundheilung erfolgt die Mobilisation des Patienten unter Teilbelastung von 15 kp für mindestens 8 Wochen, die Vollbelastung wird je nach Frakturschwere und Zeitpunkt der radiologischen Konsolidierung in 12–16 Wochen erreicht.

Komplikationen und Prognose

Das Schicksal der Pilon-tibiale-Frakturen wird wesentlich von den Weichteilverhältnissen bestimmt. Oberflächliche Wundrandnekrosen heilen zumeist unter lokal-antiseptischen Maßnahmen und prolongierter Protektion im Fixateur externe ab. Gefürchtet ist die Ausbildung von Vollhautnekrosen mit nachfolgendem tiefem Infekt, welcher im ungünstigsten Fall einer Osteomyelitis zur Unterschenkelamputation zwingt (Sirkin et al. 1999, Teeny u.

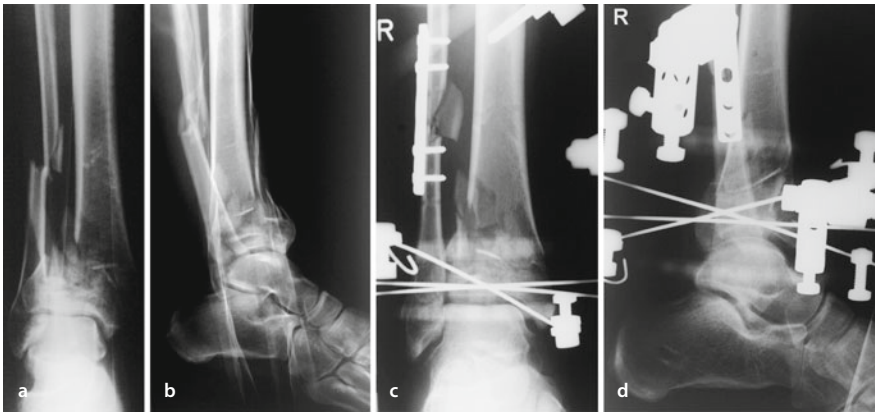


Abb. 11.19a–d **a,b** Versorgung einer Pilon-Trümmerfraktur (C3) mit höhergradigem Weichteilschaden (geschlossen Grad II) mittels Hybrid-Ilizarov-Fixateur und Plattenosteosynthese der Fibula (**c,d**). Bei kritischen Weichteilen und guter Gelenkstellung kann die Fraktur im Fixateur ausbehandelt werden

Wiss 1993). Nach konsequentem Débridement ist zum definitiven Weichteilverschluss zumeist ein lokaler oder freier Gewebetransfer erforderlich. Insgesamt konnte die Rate lokaler Wundkomplikationen und tiefer Infekte durch ein abgestuftes, mehrzeitiges Vorgehen bzw. den gezielten Einsatz minimal-invasiver Verfahren im Vergleich zu den erschreckenden Zahlen aus den 1980er und frühen 1990er Jahren deutlich gesenkt werden.

Bei zwei- bis mehrzeitigem Regime mit einem Zeitintervall von 12–14 Tagen bis zur definitiven Osteosynthese liegt die Infektrate bei etwa 10% selbst bei den schweren C3- und offenen Frakturen (Sirkin et al. 1999). Die Ergebnisse nach minimal-invasiver Osteosynthese mit Hybrid- oder Ilizarov-Fixateur liegen in vergleichbarer Größenordnung (Barbieri et al. 1996, Endres et al. 2003, McDonald et al. 1996, Tornetta et al. 1993). Eine prospektiv-randomisierte Studie, die offene Reposition und Plattenosteosynthese von Fibula und Tibia mit externer Fixation und limitierter interner Fixation (Fibulaplatte, Schraubenosteosynthese der Tibia) verglich, ergab eine deutlich geringere Infektrate für die externen Verfahren bei gleicher Arthroserate und funktionellem Zweijahresergebnis (Wyrsch et al. 1996). In einer jüngeren Studie sahen Manca et al. (2002) mit perkutaner Schraubenosteosynthese und Hybridfixateuranlage keinerlei Infekte bei 22 Patienten. Probleme bei den externen Verfahren sind Pinkanalinfekte in 5–69% und ein sekundärer Korrekturverlust mit relevanter Fehlstellung in ca. 5%, was die Notwendigkeit einer radiologischen Verlaufskontrolle unterstreicht (Tornetta et al. 1993, McDonald et al. 1996, Watson et al. 2000).

Das funktionelle Resultat zeigt eine deutliche Korrelation zur Frakturschwere und dem initialen Knorpelschaden. In der Zusammenschau der Literatur werden mit einem abgestuften Vorgehen in 67–83% gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt, wobei Typ-C-Verletzungen und Gelenkstufen von 2 mm und mehr mit einem signifikant schlechteren Resultat assoziiert sind (Barbieri et al. 1996, Manca et al. 2002, Watson et al. 2000). Die Rate posttraumatischer Arthrosen liegt in größeren Serien zwischen 20 und 52%, mit notwendiger sekundärer Arthrodese des oberen Sprunggelenks zwischen 0 (Heim 1990) und 13% (Teeny u. Wiss 1993). Eine Verbesserung kann bis zu 2 Jahre nach der Versorgung eintreten.

11.2.3 Talusfrakturen

Ätiologie

Die häufigsten Ursachen für das Entstehen der zentralen Talusfrakturen (Körper und Hals) sind Dezelerationstraumata wie der Sturz aus großer Höhe sowie Verkehrsunfälle. Entsprechend finden sich in einem nicht unbedeutenden Anteil Mehrfachverletzungen und Polytraumata sowie schwere begleitende Weichteilschäden (Zwipp 1994). In ca. 15% liegen offene Frakturen vor (Canale u. Kelly 1978).

Talushalsfrakturen machen aufgrund der anatomischen Prädisposition etwa die Hälfte aller Talusfrakturen aus (Abb. 11.20). Der häufig postulierte Frakturmechanismus, die forcierte Dorsalextension des Fußes im Augenblick der axialen Gewalteinwirkung, konnte in biomechanischen Versuchen nicht nachvollzogen werden (Peterson et al. 1976). Vielmehr wirkt beim gegen die Unterlage fixierten Fuß der Talus als Freiträger zwischen Kalkaneus und Tibia zum Zeitpunkt der axialen Gewalteinwirkung. Das Sustentaculum tali, der kräftigste Anteil des Kalkaneus, fungiert hierbei als Hypomochlion (Rammelt u. Zwipp 2009). Eine forcierte Plantarflektion in Kombination mit einer Rotationskomponente zum Zeitpunkt der Gewalteinwirkung wird für die Entstehung von **Taluskorpusfrakturen** (etwa 20% aller Verletzungen) verantwortlich gemacht. Die Abgrenzung distaler Korpusfrakturen gegenüber Talushalsfrakturen erfolgt anhand des Austrittspunkts der Frakturlinie am Unterrand des Talus in der CT (Inokuchi et al. 1996). Liegt diese hinter dem Processus lateralis, so handelt es sich um eine Taluskorpusfraktur, tritt sie davor aus, so liegt eine Talushalsfraktur vor. Bei erheblicher linearer Stauchungsgewalt entstehen zentrale Berstungsfrakturen. Die selteneren **Taluskopffrakturen** (<10% aller Frakturen) sind meist Ausdruck eines Luxationsmechanismus im Chopart-Gelenk und werden durch forcierte Abduktion oder Adduktion des Vorfußes bei gleichzeitiger Rotation des Rückfußes gegenüber der Fußwurzel hervorgerufen (Rammelt et al. 2002b, Zwipp 1994).

Periphere Talusfrakturen entstehen eher durch Luxationsmechanismen im Subtalar- bzw. oberen Sprunggelenk. Als Mechanismus für Frakturen des Tuberculum laterale des **Processus posterior tali** wird die maximale Plantarflektion mit Impingement an der Tibiahinterkante (Fehltritt bei Fußballern, Balletttänzern etc.), für die selteneren Frakturen des Tuberculum mediale eine Avulsionsverletzung des Ligamentum fibulotalare posterius bei maximaler Dorsalextension diskutiert (Paulos et al. 1983). Sie werden aber auch als Stressfrakturen durch chronische Überlastung, insbesondere bei Balletttänzern (En-pointe-Position) beobachtet. Generell gilt es, Frakturen des Processus posterior tali von der häufigen Variante des Os trigonum bzw. einer traumatischen Separation desselben zu unterscheiden. Die forcierte Dorsalextension kombiniert mit Inversion des Fußes führt nach Meinung der meisten Autoren zur Fraktur des **Processus fibularis (lateralis) tali** (Hawkins 1965). Diese Theorie erfuhr in neuerer Zeit durch das gehäuften Auftretens beim Snowboard-Fahren Unterstützung, weswegen sich der (anatomisch nicht ganz exakte) Begriff des snowboarder's

Abb. 11.20a–g **a** Talushalsfraktur (Typ Hawkins III) mit deutlicher Dislokation im Subtalargelenk im konventionellen Bild. **b,c** Die CT-Analyse zeigt zusätzlich eine Kippung des Taluskorpus im oberen Sprunggelenk und Fraktur des Processus fibularis tali. **d** Die Therapie besteht in der notfallmäßigen Reposition, Schraubenosteosynthese der Talushalsfraktur und Versorgung der Processus-fibularis-Fraktur mit Minischrauben und temporärer Transfixation des Subtalargelenks bei hochgradiger Instabilität. **e** Die a.p.-Aufnahme nach 8 Wochen zeigt ein positives Hawkins-Zeichen (*Pfeil*) als Ausdruck einer beginnenden Revitalisierung des Taluskorpus nach passagerer Ischämie. **f,g** Nach 2,5 Jahren kongruente Gelenkflächen des Talus. Eine Implantatentfernung wird nicht empfohlen

ankle eingebürgert hat. **Osteochondrale Abscherfrakturen** (flake fractures) der Talusrolle entstehen fast ausschließlich bei Inversionsverletzungen des oberen Sprunggelenks, vorrangig am anterolateralen Aspekt der Talusrolle. Frische osteochondrale Frakturen sind von chronischen Läsionen im Sinne einer Osteochondrosis dissecans abzugrenzen, welche meist posteromedial gelegen sind, häufig Kinder oder Jugendliche ohne Traumaanamnese betreffen und in der Regel mit einer ungünstigeren Prognose behaftet sind (Flick u. Gould 1985).

Klinik

Dislozierte Talusfrakturen weisen neben den spezifischen und unspezifischen Frakturzeichen – wie Fehlstellung, Krepitation, Schwellung, Schmerzen und Unfähigkeit zur Belastung – eine schwere Beeinträchtigung der Hauttrophik auf. Gelegentlich lässt sich ein disloziertes Fragment durch die dünne Haut am Dorsum pedis tasten. Abhängig vom Dislokationsgrad kann dies bei zu später Entlastung bis zur Vollhautnekrose durch die Protrusion der Fragmente bzw. durch ein Kompartment-Syndrom bei schwerem

Kompressionstrauma führen. Bei peripheren Talusfrakturen werden die Schmerzen in den Verlauf der Ligamente projiziert, weswegen sie häufig initial übersehen, osteochondrale Frakturen gar in bis zu 75% als Distorsionen fehldiagnostiziert werden (Flick u. Gould 1985). Aus diesem Grunde sollten periphere Talusfrakturen nach geschlossener Reposition von subtalaren Luxationen prinzipiell mittels CT-Kontrolle ausgeschlossen werden.

Bildgebende Diagnostik

Die Grundlage der Röntgendiagnostik bilden die exakt eingestellten Standardaufnahmen des Talus in 2 Ebenen (lateral und a.-p. in 20°-Innenrotation, Mortise view). Der dorsoplantare so genannte Canale view in 15°-Pronation mit 75° aus der Waagerechten nach kranial gekippter Röhre lässt auch eine subtile Varusfehlstellung des Talushalses sowie die Beteiligung des Talonavikulargelenks erkennen (Canale u. Kelly 1978). Der Processus fibularis tali wird in einem modifizierten Mortise view mit 25°-Innenrotation in der Frontalebene oder einer Brodén-Aufnahme in 40°-Innenrotation gut abgebildet, im Zweifelsfalle ist jedoch eine CT in koronarer und sagittaler 1-mm-Schnittführung indiziert. Auch bei gesicherten zentralen Talusfrakturen ist generell eine CT zu empfehlen (Rammelt u. Zwipp 2009). Dieses erleichtert zum einen die Operationsplanung und lässt zum anderen regelmäßig zusätzliche Verletzungen erkennen, die der konventionellen Röntgendiagnostik verborgen bleiben (Abb. 11.21).

Häufige Zusatzbefunde sind verhakte subtalare Luxationen, subtile Inkongruenzen scheinbar unbeteiligter Gelenke, zentrale Trümmerzonen, osteochondrale Abscherfragmente, zusätzliche periphere Frakturen und Syndesmosenläsionen. Die MRT erbringt im Rahmen der Primärversorgung aufgrund des ausgeprägten Knochenmarködems keine zusätzlichen Informationen, sie ist vielmehr für die Beurteilung der Vitalität bzw. Revaskularisierung des Taluskorpus von Bedeutung.

Klassifikation

Mit hoher prognostischer Relevanz werden Talusfrakturen nach ihrem Dislokationsgrad und der Anzahl der betroffenen Gelenke klassifiziert. Die im englischen Sprachraum fast ausschließlich verwendete **Hawkins-Klassifikation** (Hawkins 1970) beschränkt sich auf die häufigen Talushalsfrakturen, bei welchen ein direkter Zusammenhang zwischen Dislokationsgrad und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer avaskulären Nekrose besteht. Nach Hawkins gilt:

- Typ I entspricht der nichtdislozierten Talushalsfraktur.
- Typ-II-Frakturen weisen eine Dislokation im Subtalargelenk auf.
- Bei Typ-III-Frakturen ist der Talus sowohl aus dem subtalaren als auch aus dem tibiotalaren Gelenk luxiert.

Diese Klassifikation wurde von Canale u. Kelly (1978) um den Typ IV erweitert, bei welchem eine Dislokation in allen 3 Gelenken, also auch im Talonavikulargelenk, vorliegt.

Im deutschsprachigen Raum hat die Klassifikation von **Marti u. Weber** (Marti 1974) weite Verbreitung gefunden, welche alle peripheren und zentralen Talusfrakturen einschließt (Abb. 11.21):

- Typ I umfasst periphere und osteochondrale Frakturen inklusive Taluskopffrakturen.
- Typ II entspricht nicht dislozierten, zentralen Frakturen (Körper und Hals).
- Bei Typ III liegt eine Dislokation im Subtalar- oder Tibiotalar-Gelenk vor.
- Der Typ IV beschreibt Taluskorpus- und -halsfrakturen mit kompletter Dislokation sowohl im Subtalar- als auch im Tibiotalargelenk sowie Trümmerfrakturen.

Die **AO/ICI-Klassifikation** des Fußes der AO/ASIF Foot and Ankle Expert Group umfasst extraartikuläre (Typ A), intraartikuläre (Typ B) und Luxationsfrakturen (Typ C). Die Untergruppen (1–3) orientieren sich an der Anzahl der betroffenen Gelenke (tibiotalar, subtalar, talonavikular). Sie umfasst alle zentralen und peripheren Frakturen sowie zusätzlich die reinen Luxationsformen (Typ D).

Berndt u. Harty (1959) unterscheiden 4 Stadien der osteochondralen Taluskantenfrakturen:

- Stadium I entspricht einer fokalen Knorpelkompression,
- Stadium II einer partiellen Ablösung und
- Stadium III einer totalen Ablösung des osteochondralen Fragments,
- Stadium IV einer Dislokation und Rotation des abgelösten Fragments.

Konservative Therapie

Nicht dislozierte Frakturen des Taluskörpers und -halses (Hawkins I, Marti II) können im Unterschenkelgipsverband unter Entlastung der betroffenen Extremität für 6–12 Wochen ausbehandelt werden (Canale u. Kelly 1978). Da in der Literatur jedoch auch Nekrosen nach undislozierten zentralen Talusfrakturen beschrieben sind (Canale u. Kelly 1978, Kuner et al. 1992, Rammelt et al. 2000), werden im eigenen Vorgehen auch diese Frakturen primär oder mit aufgeschobener Dringlichkeit übungsstabil verschraubt, wodurch eine frühfunktionelle Nachbehandlung möglich wird. Ein weiteres Argument für die perkutane Schraubenosteosynthese in diesen Fällen ist die hohe Arthroserate (bis 30%) verbunden mit deutlichen Beschwerden in 46% der Fälle nach konservativer Therapie nicht dislozierter Talushalsfrakturen (Lorentzen et al. 1977). Konservative Behandlungsversuche nach Hawkins-II-Frakturen weisen eine hohe Rate von Redislokationen und unbefriedigenden Resultaten auf (Canale u. Kelly 1978, Pennal 1963). Ebenso muss vor konservativen Therapieversuchen peripherer Talusfrakturen, insbesondere des Processus fibularis (lateralis) gewarnt werden, da diese häufig in schmerzhafte Pseudarthrosen münden, die im Verlauf sogar die Durchführung einer subtalaren Arthrodese erfordern (Sneppen et al. 1977).

Operative Therapie

Taluskorpus- und Talushalsfrakturen

Alle Luxationsfrakturen des Talus erfordern die sofortige offene Reposition als Notfallmaßnahme, um eine weitere Kompromittierung der Weichteile und der Blutversorgung des Taluskorpus zu vermeiden. Unter ausreichender Analgesie wird der Rückfuß in voller Plantarflektion je nach Dislokationsrichtung durch Manipulation am Tuber calcanei evertiert bzw. invertiert. Gelingt die geschlossene Reposition nicht, so ist von weiteren, forcierten Repositionsversuchen abzusehen und die zügige offene Reposition anzustreben, um den bereits vorhandenen Weichteilschaden nicht zu verschlimmern.

Dislozierte Taluskorpus- und Talushalsfrakturen sollten frühzeitig einer offenen Reposition und übungsstabilen Osteosynthese zugeführt werden (Lindvall et al. 2004, Vallier et al. 2004, Zwipp 1994). Der Zugang zu Talushalsfrakturen und Frakturen des vorderen Taluskörpers (Abb. 11.21) erfolgt in der Regel von anteromedial in der sicheren Zone zwischen dem Tibialis anterior- und Tibialis-posterior-Gefäß-Nerven-Bündel. Taluskorpusfrakturen mit Beteiligung des Talusdoms können durch eine Osteotomie des Innenknöchels besser eingesehen werden, welcher in bis zu 50% der Fälle ohnehin mitfrakturiert ist (Rammelt u. Zwipp 2009). Keinesfalls sollte hinter dem Sustentaculum tali und im Bereich des Liga-

Abb. 11.21a–j **a–f** Kombinierte Taluskorpus- und Talushalsfraktur (Typ Marti IV) mit medialer Trümmerzone, welche erst in der Schrägaufnahme (**c**) bzw. in der CT (**d–f**) ersichtlich wird. Der Zugang zum medialen Taluskorpus und Talushals erfolgt von anteromedial mit Innenknöchelosteotomie, das Subtalargelenk wird über einen zusätzlichen Ollier-Zugang kontrolliert. **g,h** Nach offener Reposition und Transfixation. **i,j** Schraubenosteosynthese der Talushalsfraktur und Versorgung der sagittalen Taluskorpusfraktur mit einer unter das Knorpelniveau versenkten Doppelgewindeschraube

mentum deltoideum präpariert werden, um die Blutversorgung des Talusdoms über die verbliebenen »Deltoideus-Äste« nicht zu gefährden (Cronier et al. 2004).

Zur korrekten Reposition der Talusachse und des Subtalar-Gelenks bei dislozierten Frakturen sowie bei Beteiligung des Processus fibularis ist generell ein bilaterales Vorgehen erforderlich, um keine residuelle Achsfehlstellung oder Gelenkstufe zu riskieren.

Hierfür wird ein zusätzlicher lateraler, schräg verlaufender Ollier-Zugang angelegt (Cronier et al. 2004). Alternativ kann auch ein anterolateraler Zugang gewählt werden. Dorsal gelegene Korpusfrakturen und Frakturen des Processus posterior tali werden über einen posterolateralen, paraachillären Zugang am besten eingesehen. Nur selten ist ein posteromedialer Zugang, hinter dem tibialen Gefäß-Nerven-Bündel, erforderlich. Generell kann bei allen Zugängen mit der Anlage eines medialen Distraktors die Manipulation erheblich erleichtert werden (Zwipp 1994). Für Hawkins-II-Frakturen wird fallweise auch die arthroskopisch gestützte Osteosynthese beschrieben (Saltzman et al. 1994). Die einzelnen Zugänge sind detailliert in ▶ Kap. 21 dargestellt.

In jedem Falle sind die Zugänge zum Taluskorpus und -hals so zu wählen, dass unter ausreichender Übersicht eine anatomische Reposition erfolgen kann. Die Fragmente werden temporär mit K-Drähten fixiert (Abb. 11.21g,h). Bei einfachen Frakturtypen wird durch eine Zugschraubenosteosynthese die höchste Stabilität erreicht, die in biomechanischen Untersuchungen der reinen K-Draht-Spickung deutlich überlegen ist (Swanson et al. 1992). In den meisten Fälllen sind zwei 3,5-mm-Kortikalisschrauben ausreichend. Alternativ können Spongiosaschrauben bzw. Doppelgewinde-(Herbert-)Schrauben verwendet werden, letztere insbesondere dann, wenn die Schrauben durch eine Gelenkfläche eingebracht werden müssen (so z.B. bei sagittalen Korpusfrakturen, Abb. 11.21i). Auch in Gelenknähe sollten die Schraubenköpfe mit der Kopfraumfräse versenkt werden. Insbesondere bei Talushalsfrakturen mit zentralen Trümmerzonen dürfen die Schrauben keinesfalls zu fest angezogen werden, um nicht eine Verkürzung oder Achsenfehlstellung des Talushalses zu provozieren (Baumhauer u. Alvarez 1995). Die Eintrittsstelle der Schrauben sollte nicht zu nahe am Talushals liegen, um ein Ausbrechen nach dorsal zu vermeiden. Generell sollten Titanschrauben verwendet werden, um eine spätere Verlaufskontrolle mittels MRT zu ermöglichen.

Nach Swanson und Mitarbeitern (1992) ergaben die in posterior-anteriorer Richtung gegenüber den von anterior nach posterior eingebrachten Schrauben eine höhere biomechanische Stabilität, dies erfordert jedoch einen zusätzlichen posterolateralen Zugang und geht mit der Gefahr eines posterioren Impingements durch die Schraubenköpfe einher.

Liegt eine zentrale (typischerweise medial gelegene) Trümmerzone vor, so sollten die Schrauben schräg zueinander liegen und als Stellschrauben platziert werden, um keine weitere Kompression und damit Verkürzung bzw. Varusfehlstellung des Talus zu provozieren (◘ Abb. 11.21i,j). Relevante Trümmerzonen werden mit autologer Spongiosa aufgefüllt. Im eigenen Vorgehen wird in diesen Fällen die Osteosynthese alternativ mit einem anatomisch geformten winkelstabilen Plättchen durchgeführt. Kleine osteochondrale Fragmente werden mit biodegradablen Implantate, z.B. auf Polylactid-Basis refixiert.

Bei Trümmerfrakturen des Talus mit ausgedehnter Zerstörung der Gelenkflächen kann im Ausnahmefall eine primäre oder früh sekundäre Arthrodese notwendig sein (Sanders 2007; Zwipp 1994). Ein möglicher positiver Nebeneffekt dieser Maßnahmen könnte in einer besseren Revitalisierung des Taluskörpers durch den tibialen bzw. kalkanearen Spongiosakontakt liegen. In jedem Fall sollte die Arthrodese auf das am schwersten betroffene Gelenk beschränkt bleiben.

Offene Frakturen und Luxationen

Die Versorgung von offenen Talusfrakturen und Luxationsfrakturen erfolgt analog der allgemeingültigen Prinzipien, wie im Eingangskapitel (▶ Abschn. 11.1) dargestellt. Bei der offenen Luxatio tali totalis wird die Replantation des Talus nach ausgiebiger Lavage empfohlen, solange noch eine bindegewebige Verbindung zum Fuß besteht, welche als Schiene für die Revaskularisierung dienen kann (Sanders 2007). Kontrollierte Studien hierzu gibt es aufgrund der geringen Fallzahlen jedoch nicht. Bei der seltenen offenen, totalen Talusluxation mit vollständiger Enucleatio ex corpore ist in jedem Falle aufgrund der vorliegenden Erfahrungsberichte der Versuch einer Replantation unter antibiotischer Abschirmung lohnenswert (Assal et al. 2007). Entscheidend ist für den Behandlungserfolg ist wiederum die frühestmögliche Versorgung (Coltart 1952, Sanders 2007). Bei florider Osteitis erfolgt die sekundäre Versorgung nach temporärer Transfixation und Einlage von PMMA-Ketten als Platzhalter im Intervall von 6 Wochen. Die verschiedenen rekonstruktiven Maßnahmen sind in ▶ Abschn. 11.4 ausführlicher dargelegt.

Periphere Talusfrakturen

Frakturen des **Taluskopfs** sind nach eigenem Verständnis immer Ausdruck einer Chopart-Luxationsfraktur, sodass nach therapiepflichtigen Zusatzfrakturen des Os cuboideum, Os naviculare oder Processus anterior calcanei und begleitenden Bandinstabilitäten gesucht werden muss (Zwipp 1994, Rammelt et al. 2002b). Entsprechend werden die Taluskopffrakturen von Weber und Marti auch als periphere Talusfrakturen (Typ I) klassifiziert. Sie haben aufgrund der überwiegend periostalen Blutversorgung ein deutlich geringeres Risiko der Entstehung einer avaskulären Nekrose als Brüche des Taluskörpers oder Talushalses (Baumhauer u. Alvarez 1995, Kuner et al. 1992). Die meist dislozierten Taluskopffrakturen werden über einen anteromedialen Zugang offen anatomisch reponiert. Die Retention erfolgt je nach Fragmentgröße mit 2,7- oder 3,5-mm-Kortikalisschrauben, welche unter die Knorpelfläche versenkt werden. Kleinste ossäre oder osteochondrale Fragmente sollten nach der Meinung der meisten Autoren (Coltart 1952, Pennal 1963) exzidiert werden. Nur in Fällen einer schweren Zerstörung des Taluskopfs sollte die funktionell ungünstige primäre oder postprimäre talonavikulare Arthrodese innerhalb von 10 Tagen als ultima ratio erwogen werden.

Frakturen des **Processus fibularis (lateralis) tali** sollten auch bei geringer Dislokation (1 mm und mehr) offen reponiert und mit Minifragmentschrauben (2,0–2,7 mm) über einen Ollier-Zugang versorgt werden (Fehnel et al. 1994, ◘ Abb. 11.21, ◘ Abb. 11.27). Postoperativ wird der betroffene Fuß für 6 Wochen mit 20 kp teilbelastet. Trümmerfrakturen, kleine Fragmente (>1 cm) oder ältere Läsionen werden vorzugsweise exzidiert (Fehnel et al. 1994). Konservative Therapieversuche enden häufig in schmerzhaften pseudarthrotischen Fehlheilungen und erfordern dann die sekundäre Exzision, oft sogar die subtalare Arthrodese (Sneppen et al. 1977, Rammelt et al. 2006). Ein weiterer Nachteil des konservativen Vorgehens liegt – wie auch bei Frakturen des Processus posterior tali – in der Notwendigkeit der Immobilisation in leichter Spitzfußstellung, sodass dieses nur beim Vorliegen von Kontraindikationen zum operativen Vorgehen gerechtfertigt ist.

Frakturen des **Processus posterior tali** werden zur Vermeidung schmerzhafter pseudarthrotischer Fehlverheilungen primär über einen posterolateralen, gelegentlich posteromedialen Zugang mit einer Schraubenosteosynthese versorgt. Die Fraktur wird unter Längszug reponiert und mit 2 Minifragmentschrauben retiniert, welche den Taluskorpus nach anteromedial und zentral hin fassen. Kleinste Bruchstücke werden zur Vermeidung freier Gelenkkörper primär exzidiert (Zwipp u. Rammelt 2002).

Die Therapie der relativ häufigen, zumeist lateral gelegenen **osteochondralen Läsionen** (flake fractures) richtet sich nach dem Dislokationsgrad. Symptomatische Läsionen im Stadium I nach Berndt und Harty können frühfunktionell behandelt werden. Pettine u. Morrey (1987) berichten über 90% gute bis sehr gute Ergebnisse nach 6-wöchiger Ruhigstellung im Unterschenkelgehgipsverband bei Stadium-II-Läsionen. Bei Läsionen im Stadium III wird die operative Versorgung mit Refixaton des Fragments emfpohlen. Liegen kleinste, mehrfragmentäre Fragmente vor, so ist die Exzision und Anfrischung der subchondralen Fläche (microfracturing) zur Anregung der Bildung von Faserknorpel eine Behandlungsalternative (Kelberine u. Frank 1999). Für Stadium-IV-Läsionen wird die offene oder arthroskopische Refixation des dislozierten Fragments mit je nach Fragmentgröße versenkten Minifragmentschrauben, biodegradablen Stiften, direkter Knorpelnaht oder Fibrinkleber empfohlen (Shea u. Manoli 1993). Bei ausgedehnten, primär nicht rekonstruierbaren Defekten sowie chronischen osteochondralen Läsionen – von denen die Mehrzahl ebenfalls eine Traumaanamnese aufweist – sind der autologe Knochen-Knorpel-Transfer (OATS) – vorzugsweise vom Rand der Gelenkfläche der vorderen Talsurolle oder des Taluskopfs (Sammarco u. Makwana 2002) – sowie die Transplantation von ex vivo kultivierten autologen Chondrozyten (ACT bzw. MACI) (Giannini et al. 2005). Die Nachbehandlung erfolgt in der Regel frühfunktionell mit Bewegungsübungen unter Vollbelastung für die Stadien I–III, unter Teilbelastung für 6 Wochen im Stadium IV.

Komplikationen

Oberflächliche Hautnekrosen werden in bis zu 11% der Fälle gesehen (Schuind et al. 1983). Sie resultieren aus dem Fragmentdruck von innen und schreiten bei verzögerter Reposition rasch zu einer extrem infektgefährdeten Vollhautnekrose fort. Tiefe Infekte werden in 5–7% der Fälle beobachtet und treten fast ausschließlich nach offenen Frakturen auf (Canale u. Kelly 1978, Kundel et al. 1995). Das Komplikationsmanagement umfasst ein ausgiebiges Débridement mit einer Defektdeckung im Intervall durch fas-

ziokutane Lappen, ggf. auch durch Spalthauttransplantate. Die Entwicklung einer Osteomyelitis, meist auf dem Boden einer septischen Talusnekrose, ist sicherlich die schwerwiegendste Komplikation nach komplexen Talusfrakturen und mit erheblichen Funktionseinbußen auch nach Ausheilung verbunden (Rammelt et al. 2006).

Die avaskuläre Nekrose ist aufgrund der Blutversorgung über den Talushals eine spezifische Komplikation nach zentralen Talusfrakturen. Die Nekroserate ist abhängig vom initialen Dislokationsgrad und liegt für undislozierte Talushalsfrakturen zwischen 0 und 12%, bei Hawkins-II-Verletzungen zwischen 0 und 50%, bei Hawkins-III- und -IV-Frakturen zwischen 30 und 100% (Zwipp u. Rammelt 2002). Die Nekroserate bei Taluskörperfrakturen liegt bei 10% für nichtdislozierte Frakturen und bei 25% für dislozierte Frakturen, bei Taluskopffrakturen um 5% (Kuner et al. 1992). Die ursprünglich fast schicksalshafte Nekroserate von 80–100% nach Hawkins-III- und -IV-Verletzungen konnte in einigen jüngeren Studien durch eine frühzeitige Versorgung mit übungsstabiler Osteosynthese innerhalb von 6 h nach dem Unfall deutlich gesenkt werden (Lindvall et al. 2004, Schulze et al. 1998, Vallier et al. 2004, Zwipp 1994). Die Behandlung der meist nur einen Teil des Taluskorpus umfassenden avaskulären Talusnekrose erfolgt konservativ. Im eigenen Vorgehen wird eine schmerzadaptierte, funktionelle Therapie mit Vollbelastung spätestens 16 Wochen nach Frakturversorgung favorisiert. Die Heilung tritt spontan nach 12–24 Monaten ein, die Entwicklung einer Arthrose ist nicht zwangsläufig (Grob et al. 1985, Kundel et al. 1995). Nur bei Totalnekrose des Taluskorpus mit Kollaps des Talusdoms ist die subtalare oder tibiotalare Arthrodese ggf. mit Knochenplastik indiziert.

Die Inzidenz der posttraumatischen Arthrose variiert je nach Autor und Definition stark zwischen 16 und 100% (Lindvall et al. 2004, Peterson et al. 1977, Schulze et al. 1998). Die Häufigkeit von Pseudarthrosen wird mit bis zu 10% angegeben (Paulos et al. 1983, Sangeorzan u. Hansen 1989). Als Ursache wird die verfrühte Wiederaufnahme der Vollbelastung nach Talushalsfrakturen angesehen, wobei entlang der noch nicht konsolidierten Frakturzone erhebliche Scherkräfte entstehen. Die Therapie besteht in einer Pseudarthrosenausräumung, der Knochenspanbolzung und Reosteosynthese (Baumhauer u. Alvarez 1995). Schmerzhafte Pseudarthrosen werden auch regelhaft nach übersehenen peripheren Frakturen beobachtet. Die Therapie besteht in der Fragmentresektion, häufig ist jedoch bei persistierenden Beschwerden sekundär eine subtalare Arthrodese indiziert (Sneppen et al. 1977).

Prognose

Die Prognose von Talusfrakturen ist direkt abhängig vom Frakturtyp und dem begleitenden Weichteilschaden. Mit steigendem Dislokationsgrad werden schlechtere funktionelle Ergebnisse und gleichzeitig höhere Raten an avaskulären Nekrosen und posttraumatischen Arthrosen gesehen. Die Rate guter bis sehr guter Ergebnisse bei Talushalsfrakturen reicht in der Literatur von 40–100% für Hawkins-I-Frakturen, über 32–80% für Hawkins-II-Frakturen bis zu 15–55% für Frakturen vom Typ Hawkins III (Rammelt u. Zwipp 2009). Die meist fallweise berichteten Frakturen vom Typ Hawkins IV haben in der Regel eine schlechte Prognose (Canale u. Kelly 1978). In der größten gesonderten Zusammenstellung von Taluskörperfrakturen (Sneppen et al. 1977) klagten 39 von 66 Patienten (59%) über zeitweilige bzw. dauernde Beschwerden. Bemerkenswerterweise berichteten die Autoren in derselben Arbeit über die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose bei 8 von 9 konservativ behandelten Frakturen des Processus posterior tali.

11.2.4 Kalkaneusfrakturen

Ätiologie

Kalkaneusfrakturen entstehen typischerweise durch axiale Gewalteinwirkung beim Sturz aus der Höhe oder durch Dezelerationstraumata wie z.B. beim Verkehrsunfall. Aufgrund der relativ dünnen Kortikalis und der spongiösen Binnenstruktur des Kalkaneus sind hierzu nicht notwendigerweise hohe Energien erforderlich. Aus diesem Grund entstehen auch überdurchschnittlich häufig eingestauchte Frakturen und Trümmerbrüche. Über drei Viertel aller Kalkaneusfrakturen sind intraartikulär, davon weisen 97% intraartikuläre Verwerfungen der posterioren Facette, 59% zusätzlich des Kalkaneokuboidgelenks und 8% der anterioren Facette auf (Zwipp 1994).

Aufgrund der seitlich zueinander versetzten Vertikalachsen von Talus und Kalkaneus kommt es bei axialer Einstauchung des Processus fibularis tali zu einer Scherfraktur zwischen dem Sustentaculum tali und der Tuberositas (**primäre Frakturlinie**). Befindet sich der Fuß zum Zeitpunkt des Aufpralls in Pronationsstellung, liegt die primäre Frakturlinie eher lateral, bei Neutralstellung in Gelenkmitte und bei Supinationsstellung anteromedial, sodass gelegentlich isolierte Sustentakulumfrakturen entstehen (Zwipp 1994). Durch **sekundäre** und **tertiäre Frakturlinien** entstehen bei fortdauernder Gewalteinwirkung bis zu 5 Hauptfragmente sowie eine Absprengung der dünnwandigen lateralen Kortikalis (lateral bulge, ◘ Abb. 11.22a). Zusätzlich wird das tuberositäre Fragment durch den Zug der Achillessehne, das Processus-anterior-Fragment durch das Ligamentum bifurcatum und Ligamentum interosseum nach kranial dislozierd. Nach CT-Analyse von über 200 Frakturen wurden in 36% vier und in 58% fünf Hauptfragmente gesehen (Zwipp 1994). Beim Jugendlichen mit noch elastisch verformbarem Kalkaneus entstehen beim Sturz aus der Höhe durch die reflektorische Aktion des M. triceps surae eher die typischen extraartikulären Abrissfrakturen des Achillessehnenansatzes (so genannte »Entenschnabelbrüche«).

Klinik

Die klinische Diagnose spielt für das weitere Schicksal der Verletzung eine entscheidende Rolle. Immer wieder werden Frakturen ohne ersichtliche Dislokation oder Weichteilschäden gelegentlich als Sprunggelenkdistorsion fehldiagnostiziert und beim polytraumatisierten Patienten initial leicht übersehen. Eine subtile Palpation des Fersenbeins von medial und lateral sollte bei jedem Sturz auch aus geringerer Höhe erfolgen. Typischerweise findet sich allerdings eine höhergradige Weichteilschädigung mit Hämatom über dem Fersenbein sowie einem begleitenden Ödem der Sprunggelenkregion und des Fußrückens. Der betroffene Fuß kann nicht belastet und nicht schmerzfrei pro- oder supiniert werden. Die primäre Graduierung des Weichteilschadens muss immer ein akutes Kompartment-Syndrom, beim bewusstlosen Patienten ggf. mit invasiver Druckmessung, ausschließen lassen. Ein Spezifikum bei Kalkaneusfrakturen ist die – allerdings selten beobachtete – isolierte Druckerhöhung im zentralen Kompartiment des M. quadratus plantae bei äußerlich normalem Erscheinungsbild des Fußes (Manoli 1990).

Bildgebende Diagnostik

Die klinische Verdachtsdiagnose wird radiologisch durch exakte konventionelle Röntgenaufnahmen in 3 Standardebenen (Kalkaneus lateral und axial, Fuß dorsoplantar) gesichert. Ergänzend wird eine a.p.-Aufnahme des oberen Sprunggelenks zur Detektion einer Subluxation des Talus und eines fibulokalkanearen abutment (Anstoßen). Bei klarer Operationsindikation sollte präoperativ

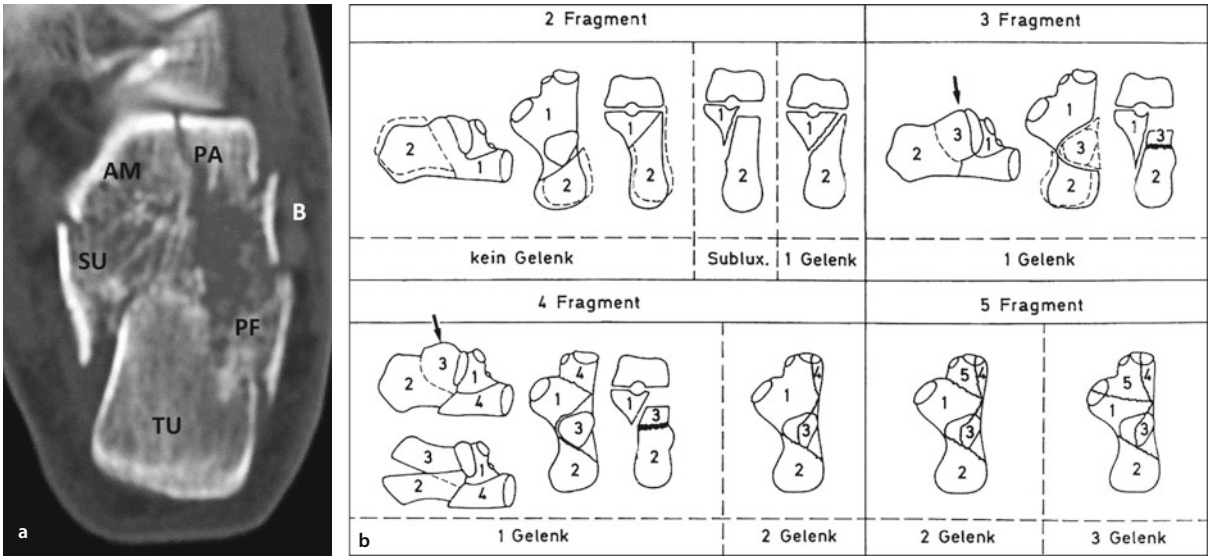


Abb. 11.22a,b **a** Lage der reproduzierbaren 5 Hauptfragmente, welche die Grundlage der CT-gestützten Frakturklassifikation (**b**) bilden (*TU* Tuberositas, *SU* sustentaculumtragendes Fragment, *PF* posteriores Facettenfragment, *PA* Processus-anterior-Fragment, *AF* anteromediales Facettenfragment, *B* lateral bulge – die schalig ausgesprengte Wand). (Nach Zwipp 1994)

zum Vergleich eine seitliche Aufnahme des kontralateralen Fußes angefertigt werden, da die anatomischen Parameter, insbesondere der Tuber-Gelenk-Winkel, eine erhebliche Streubreite aufweisen (Zwipp 1994). Unabdingbare Voraussetzung für die Frakturklassifikation und präoperative Planung ist die Durchführung einer CT mit axialer und koronarer Schnittführung (Sanders et al. 1992, Zwipp et al. 1993). Die CT hat die präoperative Anfertigung einer Brodén-Serie zur Evaluation des Subtalar-Gelenks weitgehend abgelöst, welche allerdings für die intraoperative Repositionskontrolle weiterhin von Bedeutung ist.

Klassifikation

Die modernen, prognostisch relevanten Frakturklassifikationen stützen sich auf die primäre CT-Diagnostik. Die **Sanders-Klassifikation** (Sanders et al. 1992) basiert auf der für das therapeutische Vorgehen und das funktionelle Ergebnis entscheidenden Anzahl und Dislokation der Frakturlinien im koronaren CT-Schnitt auf Höhe der posterioren Facette. Alle nichtdislozierten Frakturen werden unabhängig von der Anzahl der Frakturlinien Typ I zugeordnet. Typ II weist eine, Typ III zwei, Typ IV drei und mehr dislozierte Frakturlinien in der posterioren Facette auf. Die Unterbezeichnung A, B, C beschreibt die Position der Frakturlinie(n): A = lateral, B = zentral, C = medial (Höhe Sinus tarsi). Sanders sieht die Operationsindikation bei Typ II und III, die Indikation zur primären subtalaren Arthrodese beim Typ IV (Sanders 2000).

Die **12-Punkte-Frakturskala nach Zwipp** (Zwipp 1994) bezieht neben der Anzahl der Hauptfragmente (maximal 5) und der beteiligten Gelenkfacetten (maximal 3) den Weichteilschaden bei offenen und geschlossenen Frakturen (1–3 Punkte) sowie regionale Zusatzfrakturen oder Trümmerfrakturen eines der Hauptfragmente (Zusatzpunkt) mit ein. Dadurch erreicht diese Frakturskala einen prognostisch prädiktiven Wert von 86% (Zwipp 1994).

Die **AO/ICI-Frakturklassifikation** (Zwipp et al. 2004) erlaubt neben den extraartikulären (Typ A) und intraartikulären Frakturen (Typ B) auch die Klassifikation der Luxationsfrakturen (Typ C). Die Belegung der einzelnen Gelenkfacetten mit kleinen lateinischen Lettern, die exakte Beschreibung der Frakturform und des Dislokationsgrades in den Subgruppen sowie der Dislokationsrichtung mit griechischen Buchstaben dient der exakten Verschlüsselung der Fraktur für wissenschaftliche Zwecke.

Konservative Therapie

Ein konservatives Vorgehen ist bei extraartikulären Frakturen ohne relevante Fehlstellung, den seltenen undislozierten intraartikulären Frakturen (Sanders Typ I) sowie bei bestehenden Kontraindikationen zur operativen Therapie indiziert. Lokale Kontraindikationen zur Osteosynthese bestehen bei kritischen Weichteilverhältnissen mit hohem Infektionsrisiko wie Spannungsblasen, Hautnekrosen sowie bei fortgeschrittenen arteriellen bzw. venösen Durchblutungsstörungen. Dislozierte Frakturen sollten aufgrund der rasch einsetzenden Weichteilkontraktur jenseits des 14. Tages nicht primär operiert werden, sofern nicht primär über einen medialen Dreipunkt-Fixateur reponiert wurde (Rammelt et al. 2003). Bei den Crush-Verletzungen (12-Punkte-Frakturen) sollte die Indikation zur Osteosynthese individuell gestellt werden. Generelle Kontraindikationen sind der schlecht eingestellte insulinpflichtige Diabetes mellitus, HIV-Infektion sowie fehlende Compliance (Alkohol- und Drogenabhängige). Beim betagten Patienten (biologisches Alter von über 65 Jahren) wird der individuelle Therapieentscheid anhand der Begleiterkrankungen und des Funktionsanspruchs gestellt (Zwipp et al. 2005).

Ziel der konservativ-funktionellen Therapie ist die frühe Mobilisation des Patienten nach initialer Abschwellung der Weichteile, was durch kurzzeitige Bettruhe (3–4 Tage) mit begleitenden antiphlogistischen Maßnahmen, Kühlung und Lymphdrainage erreicht wird. Nach dieser Zeit beginnen die aktive Beübung der Sprunggelenke und die Mobilisation mit Abwickeln des betroffenen Fußes unter Entlastung für 3–6 Wochen. Die Vollbelastung wird abhängig von der Knochenqualität und Frakturanatomie nach 6–12 Wochen erreicht. In speziell angefertigtem Schuhwerk mit Abstützung am Tibiakopf (Entlastungsstiefel) ist die Vollbelastung u.U. bereits nach 8–10 Tagen erlaubt.

Bei jungen Patienten mit absoluter Kontraindikation zur operativen oder semioperativen Behandlung, die eine ausgeprägte

Fehlstellung des Rückfußes aufweisen, kann im Einzelfall der Versuch der geschlossenen **Reposition nach Omoto** in Bauchlage mit rechtwinklig gebeugtem Knie unternommen werden (Omoto u. Nakamura 2001). Die Reposition gelingt aufgrund der meist erheblichen Weichteilschwellung und indirekten Technik nur unvollständig, das Repositionsergebnis ist im Unterschenkelgips schwer zu halten.

Minimal-invasive Therapie

Perkutane Osteosyntheseverfahren mittels K-Drähten und Fixateur externe dienen der Stabilisierung dislozierter Frakturen beim jungen Patienten mit lokaler oder allgemeiner Kontraindikation zum offenen Vorgehen oder bei geschlossenen Frakturen beim Polytrauma mit innerem Druck der Fragmente auf die Weichteile. Bei offenen Frakturen erlauben sie eine temporäre Fixation der Fragmente bis zur definitiven Versorgung (Abb. 11.23). Die Reposition erfolgt in Bauchlage (alternativ Lagerung auf der unverletzten Seite) unter Bildwandlerkontrolle durch eine perkutan in das Tuber calcanei eingebrachte Schanz-Schraube mit Handgriff (so genanntes Westhues-Manöver) oder alternativ über einen Dreipunktdistraktor (Zwipp et al. 2005). Die Retention der Fragmente erfolgt durch fächerförmig vom Tuber aus über die Fraktur eingebrachte, dicht unter der Haut abgesetzte K-Drähte, welche bis zur Frakturheilung bzw. in den meisten Fällen bis zur definitiven Versorgung belassen werden.

Zur Anlage des Dreipunktdistraktors werden die Schanz-Schrauben von medial quer in den Talus, das tuberositäre Fragment des Kalkaneus und das Os naviculare bzw. Os cuneiforme mediale eingebracht, was eine Manipulation in allen 3 Ebenen ermöglicht (Zwipp 1994). Dieses Vorgehen ermöglicht die primäre Wiederherstellung der Achsenverhältnisse am Rückfuß und eignet sich insbesondere beim polytraumatisierten Patienten bzw. initial kritischen Weichteilen zur temporären Retention bis der Allgemeinzustand des Patienten bzw. der lokale Weichteilstatus eine klassische Osteosynthese über den lateralen Zugang erlaubt (Rammelt et al. 2005). Forgon et al. (1992) behandeln auch intraartikuläre Frakturen im Dreipunktfixateur aus, was im eigenen Vorgehen auf Patienten mit kritischen lokalen Weichteilen beschränkt bleibt.

Bei einfachen Frakturtypen (Sanders Typ II) wird zunehmend die perkutane Reposition und Schraubenosteosynthese favorisiert (Tornetta 1998), welche bei Vorliegen einer Gelenkverwerfung in der posterioren Facette unter arthroskopischer Kontrolle erfolgt (Rammelt et al. 2002a). Die Grobreposition erfolgt wiederum mit dem Westhues-Manöver. Die Schanz-Schraube wird – abhängig von der Frakturanatomie – möglichst dicht im subtalaren Bezirk unter der posterioren Gelenkfacette platziert. Durch Varus-Valgus-Stress mit dem Handgriff werden die Fragmente zunächst gegeneinander mobilisiert. Dann erfolgt die geschlossene Reposition der Hauptfragmente unter Bildwandlerkontrolle in der seitlichen und axialen Ansicht, um sowohl die Höhenminderung als auch die Varus- (oder Valgus-) Fehlstellung auszugleichen. Nach temporärer K-Draht-Transfixation wird die Gelenkstellung bei intraartikulären Frakturen (Sanders Typ II A und II B) mittels subtalarer Arthroskopie über ein posterolaterales oder anterolaterales Portal überprüft (Rammelt et al. 2002a). Kleinere Inkongruenzen oder zusätzliche laterale Fragmente können nun durch perkutane Manipulation anatomisch reponiert werden. Abschließend erfolgt die Schraubenfixation je nach individuellem Frakturmuster wiederum über Stichinzisionen unter Bildwandlerkontrolle. Prinzipiell sollte mindestens eine Schraube von lateral auf das Sustentaculum tali geführt werden. Die Nachbehandlung erfolgt gipsfrei funktionell im eigenen Schuh unter Teilbelastung für 6–8 Wochen.

Operative Therapie

Die notfallmäßige Operationsindikation besteht bei offenen Frakturen, inkarzerierten Weichteilen sowie manifestem Kompartment-Syndrom. Bei offenen Verletzungen erfolgen ein gründliches Wunddébridement, ggf. die Kunsthautdeckung, und eine temporäre perkutane K-Draht-Osteosynthese mit tibiometatarsaler Transfixation (Abb. 11.23).

Alternativ kommt die mediale externe Transfixation (mit je einer Schanz-Schraube in distaler Tibia, Tuber calcanei und Metatarsale I) oder ein bilateraler triangulärer Distraktor (zwischen Talus, Os cuboideum und Tuber calcanei) zur Anwendung. Die präliminare Reposition und Fixation dient der Protektion der Weichteile und Verhinderung einer übermäßigen Weichteilretraktion. Bei ausgedehnten knöchernen Defekten wird eine PMMA-Kette als temporärer Platzhalter eingelegt. Eine Second-look-Operation muss regelhaft innerhalb von 48–72 h erfolgen. Die Indikation zur frühen Lappendeckung sollte großzügig gestellt werden (Brenner et al. 2001).

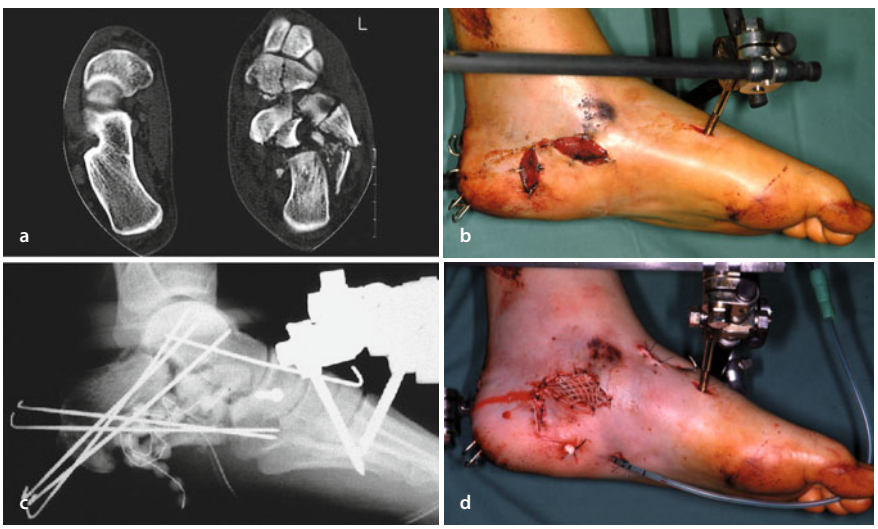


Abb. 11.23a–d **a–c** Klassisches Vorgehen bei offener Kalkaneusfraktur mit typischerweise medial liegender Wunde. Nach radikalem Débridement erfolgt (**b,c**) die K-Draht-Transfixation, temporäre Kunsthautdeckung bei traumatischem Weichteilverlust und tibiometatarsale Transfixation. Eine zusätzliche Navikularefraktur wird mit Schraubenosteosynthese versorgt. Ein Second look muss nach 48–72 h durchgeführt werden. **d** Die definitive Weichteildeckung erfolgt im Intervall, bei einlagigen Hautdefekten mit Spalthauttransplantaten. Alternativ ist bei mehrlagigen Defekten eine frühe Lappendeckung zu erwägen, welche eine Osteosynthese mit der Möglichkeit der funktionellen Nachbehandlung erlaubt

Bei drittgradig geschlossenen Frakturen mit erheblichem Fragmentdruck auf die Weichteile ist eine notfallmäßige perkutane Reposition mit einer in das Tuber calcanei eingebrachten Schanz-Schraube erforderlich, da die geschlossene Reposition nur selten gelingt. Die Hauptfragmente werden ggf. minimalinvasiv mit K-Drähten fixiert, das Hämatom über Stichinzisionen abgesaugt. Das Repositionsergebnis wird durch einen medialen Dreipunktfixateur gesichert, um nach Ablauf von 8–10 Tagen die definitive Versorgung, wie unten geschildert, durchzuführen. Bei drittgradig geschlossenen Frakturen mit manifestem Kompartment-Syndrom erfolgt beim Polytrauma die notfallmäßige Dermatofasziotomie über einen ausgedehnten dorsomedianen Zugang mit Anlage eines medialen Fixateurs, beim Monotrauma alternativ die sofortige operative Versorgung mit definitiver Plattenosteosynthese.

Die Versorgung der klassischen dislozierten intraartikulären Kalkaneusfrakturen erfolgt fast ausschließlich durch den **ausgedehnt lateralen Zugang** (Benirschke u. Sangeorzan 1993, Zwipp et al. 1993, 2005). Zur Darstellung der Frakturanatomie wird das abgesprengte laterale Wandfragment türflügelartig weggeklappt und ggf. mit einer Haltenaht gesichert. Die Lösung der regelhaft impaktierten posterioren Facette gelingt wiederum durch Mobilisation des tuberositären Hauptfragments. Diese erfolgt mittels axialem Zug und Valgisation über eine in das Tuber calcanei eingebrachte Schanz-Schraube (Westhues-Manöver).

Ist das sustentakulumtragende Fragment in Relation zum Talus gekippt, muss dieses zunächst gegen diesen reponiert und temporär mit einem von plantar eingebrachten K-Draht kongruent gegen den Talus fixiert werden. Der Aufbau der posterioren Gelenkfacette erfolgt nun schrittweise von medial nach lateral. Die Fragmente werden mit zwei parallel zur Gelenkfläche subtalar eingebrachten K-Drähten gegeneinander fixiert, welche beim Vorliegen von Intermediärfragmenten temporär nach medial durchgebohrt werden (Abb. 11.24a).

Nach erfolgter Reposition und K-Draht-Retention der posterioren Facette wird im eigenen Vorgehen die Kongruenz der nunmehr visuell schlecht einsehbaren posterioren Facette mittels Arthroskopie des subtalaren Gelenks kontrolliert (Rammelt et al. 2002a). Dazu wird ein Arthroskop (2,7 mm/30°) am offenen Situs in den subtalaren Gelenkspalt eingeführt (Abb. 11.24b–c). Unter arthroskopischer Sicht können jetzt Feinkorrekturen und Nachrepositionen bei verbliebenen Inkongruenzen insbesondere im schlecht einsehbaren medialen Anteil der posterioren Gelenkfacette erfolgen, freie Knochen-Knorpel-Fragmente können entfernt werden.

Nun wird die Tuberositas in korrekter Achsenausrichtung mittels der liegenden Schanz-Schraube gegen den wiederhergestellten Gelenkblock reponiert und mit 1–2 K-Drähten gehalten. Zur Manipulation des Processus anterior ist es häufig erforderlich, den Fettkörper im Sinus tarsi partiell zu entfernen und das Ligamentum talocalcaneare interosseum einzukerben. Anschließend wird der gesamte hintere Tuber-Gelenk-Block gegen das Processus-anterior-Fragment reponiert. Nach Erreichen einer kongruenten Stellung im Kalkaneokuboidgelenk wird das Processus-anterior-Fragment wiederum mittels zweier K-Drähte fixiert, welche von der Tuberositas aus in den Processus anterior eingebracht werden (Abb. 11.24). Nur bei höhergradiger Instabilität ist eine temporäre Transfixation des Subtalar- oder Kalkaneokuboidgelenks erfor-

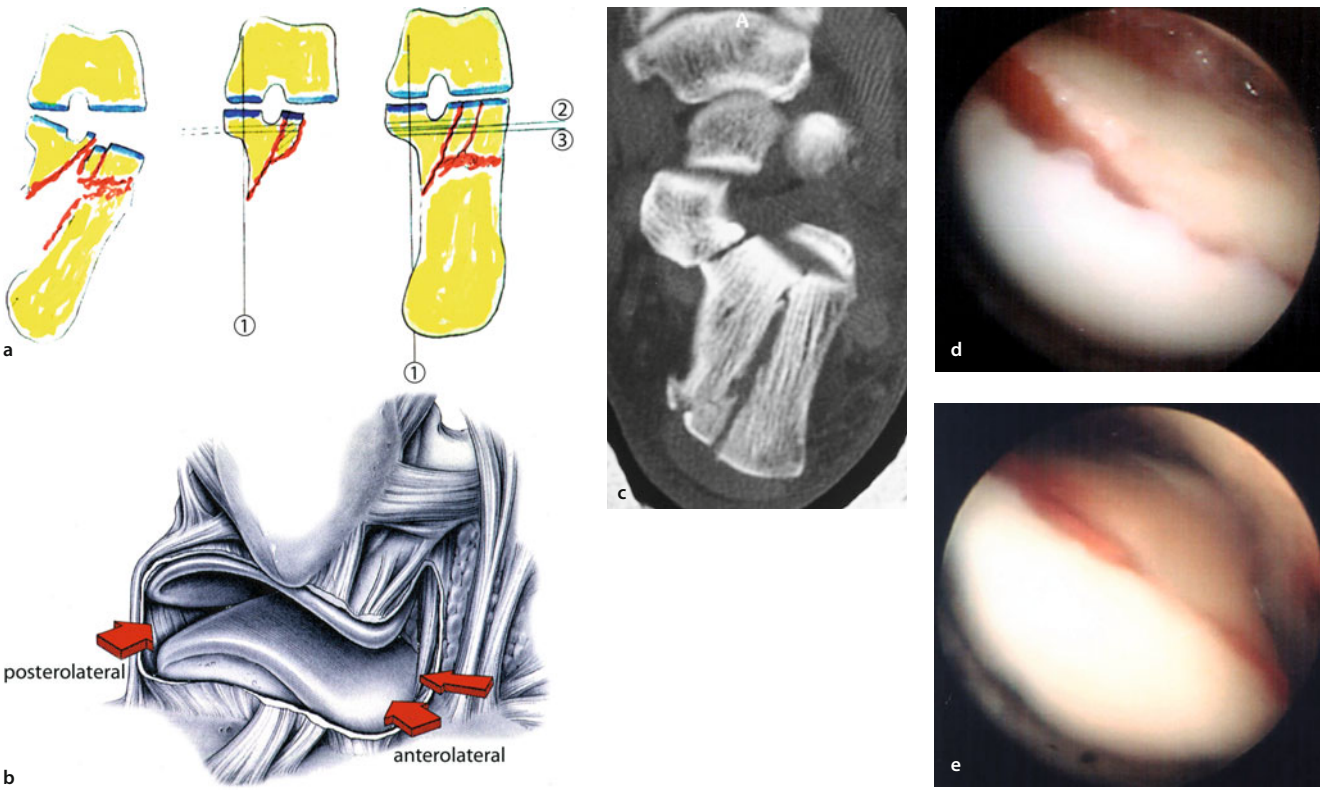


Abb. 11.24a–e **a** Schrittweiser Aufbau des subtalaren Gelenkblocks von medial nach lateral und Schema der temporären K-Draht-Transfixation bei offener Reposition intraartikulärer Kalkaneusfrakturen. **b** Die Eintrittsportale zur subtalaren Arthroskopie liegen anterolateral am Gissane-Winkel und posterolateral am Tuber-Gelenk-Winkel. **c–e** Die Arthroskopie, die zur Kontrolle am offenen Situs erfolgt, bietet einen vollständigen und präzisen Überblick über das Gelenk, insbesondere bei vorliegendem Intermediärfragment, ggf. verbliebene Inkongruenzen können so unmittelbar behoben werden

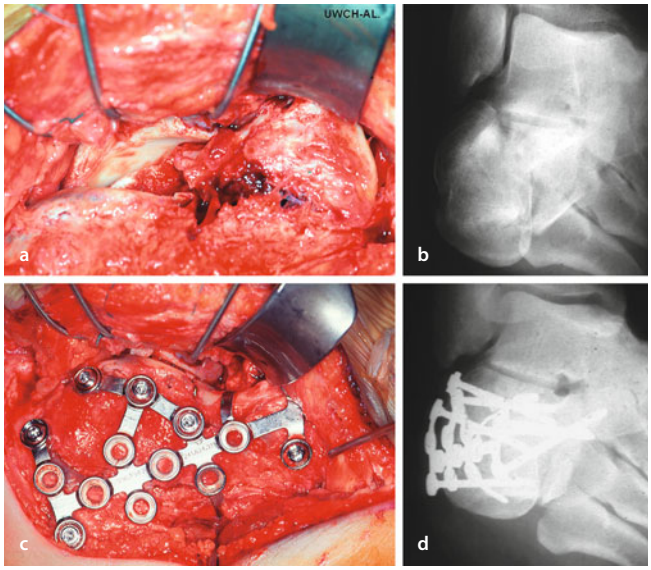


Abb. 11.25a–d **a,c** Laterale Plattenosteosynthese einer dislozierten, intraartikulären Kalkaneusfraktur mit der winkelstabilen AO-Kalkaneusplatte. **b,d** Prä- und postoperative Brodén-Aufnahme zur Dokumentation der Repositon der posterioren Gelenkfacette

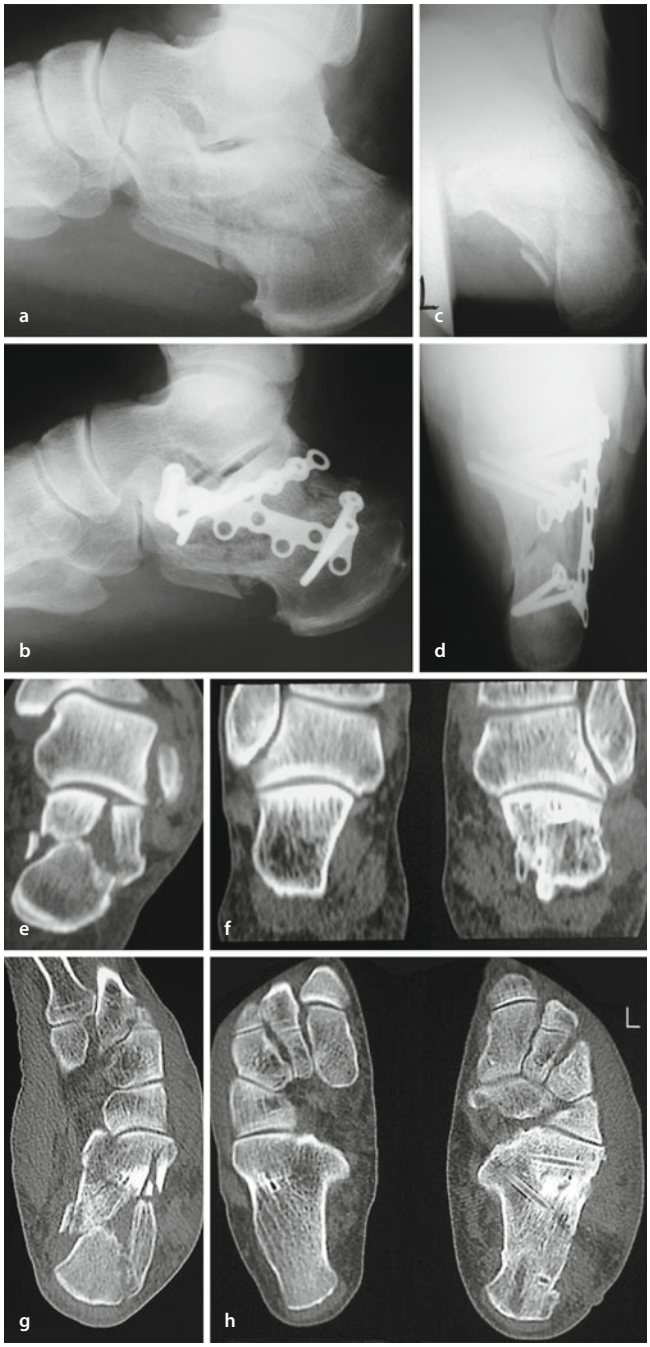


Abb. 11.26a–h **a–d** Versorgungsbeispiel einer intraartikulären Kalkaneusfraktur (5-Fragment/2-Gelenk) mit Sanders-Platte. **e–h** Präoperative CT in koronarer (**e**) und axialer Schnittführung (**g**) sowie Kontroll-CT (**f,h**) nach Implantatentfernung im Seitenvergleich. Erfolgskriterien sind die Aufrichtung des Böhler-Winkels in der seitlichen Ansicht, die Korrektur der Rückfußachse, die stufenfreie posteriore Gelenkfacette und der Längenausgleich

11

derlich. Eine Auffüllung von in der subtalaren Stauchungszone verbleibenden Defekten mit autologer Spongiosa oder Knochenersatzstoffen ist – insbesondere durch die Verfügbarkeit winkelstabiler Implantate – prinzipiell entbehrlich. Abschließend wird das türflügelartig weggeklappte Wandfragment zurückgeschlagen, welches sich nun exakt einpassen lässt.

Die Retention erfolgt durch eine anatomische Kalkaneusplatte (konventionell oder winkelstabil), welche mit mindestens 6 Kortikalisschrauben der Stärke 3,5 mm, davon 2 subtalar in Richtung auf das Sustentaculum tali, 2 gelenknah im Processus anterior und 2 in das Tuber calcanei, an der lateralen Wand des Kalkaneus befestigt wird (Zwipp et al. 1993, Abb. 11.25, Abb. 11.26). Die korrekte Implantatlage und anatomische Reposition wird mit Röntgenaufnahmen in den 3 Standardebenen (Fuß seitlich und dorsoplantar, Kalkaneus axial) sowie einer 20°-Brodèn-Spezialaufnahme kontrolliert. Der Hautverschluss erfolgt schichtweise unter Zurücklassen einer Redon-Drainage.

Besteht eine Fraktur des Sustentaculum tali bis in die mediale Gelenkfacette hinein, welche sich von lateral nicht anatomisch reponieren lässt, so ist zusätzlich zum ausgedehnt lateralen Zugang eine kleine, quer verlaufende Inzision direkt über dem tastbaren Sustentaculum tali erforderlich (Sustentakulumzugang, Zwipp 1994). In einem ersten Operationsschritt wird unter Schonung der Sehnen des M. tibialis posterior, des M. flexor digitorum longus und des M. flexor hallucis longus zunächst das Sustentakulum gegen die mediale Gelenkfacette des Talus reponiert und mit 2 Kortikalisschrauben retiniert, um anschließend mit der Versorgung von lateral fortzufahren. In diesen Fällen ist die Lagerung des Patienten in Rückenlage mit Keilanhebung der betroffenen Seite und beiderseitigen Stützen empfehlenswert. Isolierte Sustentakulumfrakturen werden über denselben Zugang mit Schraubenosteosynthese versorgt (Abb. 11.27).

Komplikationen

Oberflächliche aseptische Wundrandnekrosen treten beim ausgedehnt lateralen Zugang in 2–10% der Fälle auf und können durch lokal-antiseptische Maßnahmen zum Ausheilen gebracht werden (Benirschke u. Sangeorzan 1993, Zwipp et al. 1993). Bei ausgedehnten bilateralen Zugängen werden Wundkomplikationen in 27% berichtet (Stephenson 1987), weswegen diese wieder verlassen wurden. Bei der Notwendigkeit eines zusätzlichen medialen Vorgehens wird daher der schonende Sustentakulumzugang empfohlen (Zwipp 1994). Revisionspflichtige Hämatome werden in 2,6–5%

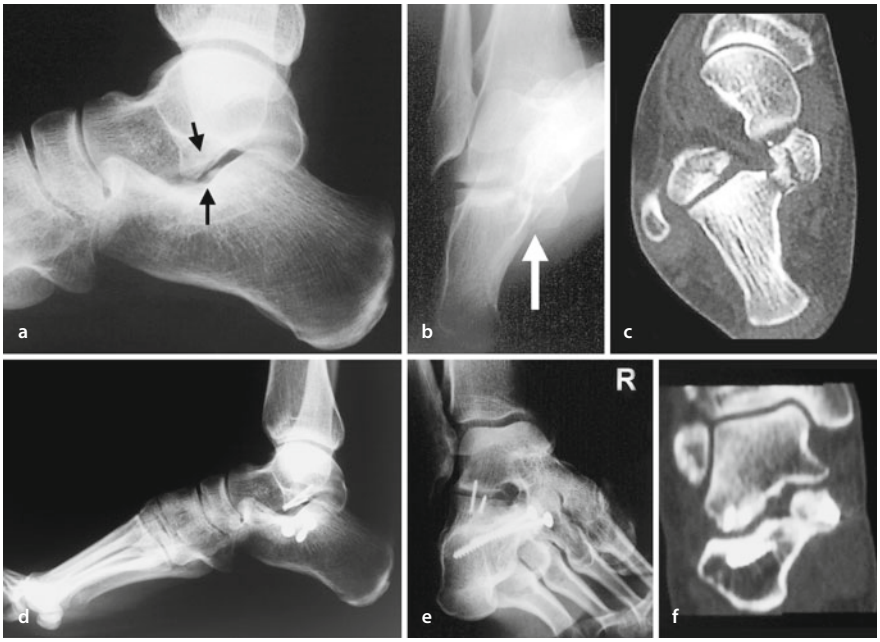


Abb. 11.27a–f **a–c** Sustentakulumfraktur (*Pfeile*), die über einen medialen Sustentakulumzugang versorgt wurde. **d–f** Die Schrauben werden parallel zur Gelenkfläche in den subtalaren Bereich eingebracht. Die zusätzliche Processus-fibularis-tali-Fraktur wird mit Minifragmentschrauben von lateral versorgt

der Fälle gesehen. Sie heilen nach Entlastung problemlos ab (Rammelt et al. 2003, Zwipp et al. 1993).

Tiefe Weichteil- und Knocheninfekte sind gefürchtete Komplikationen, welche in 1,3–7% nach offener Operation beobachtet werden (Benirschke u. Sangeorzan 1993, Bèzes et al. 1993, Rammelt et al. 2003, Sanders et al. 1992, Zwipp et al. 1993). Besonders gefährdet sind hierbei offene Frakturen sowie geschlossene Frakturen, welche später als 14 Tage nach dem Unfallereignis versorgt werden (Rammelt et al. 2003). Die Therapie besteht in radikalem Débridement, ggf. der Plättchenentfernung und alternativer K-Draht- oder Schraubenfixation mit der Einlage von Antibiotikaträgern, tibiotarsaler Transfixation und systemischer Antibiotikatherapie. Im Extremfall einer chronischen Kalkaneusosteitis ist die partielle oder totale Kalkanektomie erforderlich.

Pseudarthrosen werden mit 0,7–1,6% (Zwipp u. Rammelt 2002) nach operativer Versorgung nur selten beobachtet. In diesen Fällen ist die Revision mit Anfrischung der Fragmentenden, zusätzlicher autologer Knochenplastik und anschließender Schraubenkompressionsosteosynthese angezeigt.

Prognose

In größeren Serien mit mehr als 100 nachuntersuchten Patienten werden nach offener Reposition und Plattenosteosynthese in 60–85% gute und ausgezeichnete Resultate beschrieben (Bèzes et al. 1993, Rammelt et al. 2003, Sanders et al. 1992, Zwipp et al. 1993). Ungünstige Prognosefaktoren sind offene Frakturen, schwere Frakturformen und nichtanatomische Reposition – insbesondere der posterioren Gelenkfacette. Während einige Autoren nach 6–10 Jahren noch Verbesserungen des funktionellen Ergebnisses und der subjektiven Beschwerden fanden (Melcher et al. 1995), sahen andere keine wesentlichen Änderungen der Unfallfolgen nach dem Ablauf von 1–2 Jahren (Myerson u. Quill 1993).

Eine prospektiv-randomisierte Studie sowie mehrere retrospektive klinische Studien zeigten die Überlegenheit der Plattenosteosynthese im Vergleich zur konservativen Therapie dislozierter Kalkaneusfrakturen (Thordarson u. Krieger 1996). Vergleichende Studien, welche keine signifikanten Unterschiede feststellten konnten, fanden jedoch signifikant bessere Ergebnisse in der Gruppe operativ versorgter Patienten mit anatomiegerechter Reposition (Zwipp u. Rammelt 2002). Die schlechtesten Ergebnisse haben erwartungsgemäß Patienten, welche nach operativer Therapie eine ungenügende Reposition aufweisen (Paul et al. 2004). Die Rate notwendiger sekundärer Arthrodesen nach primärer Osteosynthese liegt zwischen 2 und 5% (Benirschke u. Sangeorzan 1993, Rammelt et al. 2003, Zwipp et al. 1993). Eine prospektiv-randomisierte Multicenterstudie mit über 200 Patienten operativ bzw. konservativ behandelten dislozierten, intraartikulären Kalkaneusfrakturen pro Studienarm ergab hinsichtlich der Lebensqualität (SF-36) keine deutliche Überlegenheit der Operation, jedoch signifikant weniger sekundäre subtalare Arthrodesen. Aus dem großen Krankengut wurden zudem Gruppen identifiziert, welche eindeutig von einer Osteosynthese profitieren. Darunter zählen Frauen sowie Männer unter 50 Jahren, weiterhin Patienten mit einer geringen Arbeitsbelastung und einem großen individuellen Böhler-Winkel. Kritisch wurde die Prognose bei Schwer- und Schwerstarbeit sowie generell bei versicherten Arbeitsunfällen gesehen (Buckley et al. 2002).

Einige Arbeitsgruppen berichten über gute bis sehr gute Ergebnisse nach perkutanen Osteosyntheseverfahren wie externer Dreipunkttraktion intraartikulärer Frakturen mit Fixateur externe (Forgon 1993). Allerdings sahen Börner et al. (1975) bei 32 von 161 (20%) mit Drahtextension und Steinmann-Pins behandelten Patienten eine Fersenbeinosteomyelitis, wenngleich auch in einem hohen Prozentsatz (45%) offene Frakturen vorlagen. Die perkutane, arthroskopisch gestützte Schraubenosteosynthese ergab in einer Serie von 15 Patienten mit einfachen (Sanders II-) Frakturen durchweg sehr gute funktionelle Ergebnisse (Rammelt et al. 2002a).

11.2.5 Chopart-Luxationen und Luxationsfrakturen

Ätiologie

Aufgrund der kräftigen kapsuloligamentären Führung des Chopart-Gelenks sind hohe externe Krafteinwirkungen erforderlich, um eine Luxation bzw. Luxationsfraktur hervorzurufen. In etwa der Hälfte der dokumentierten Fälle liegt ein Verkehrsunfall als

Ursache vor. In bis zu 80% finden sich Mehrfachverletzungen bzw. Polytraumata (Kotter et al. 1997, Zwipp 1994). In etwa 40% wird ein Sturz aus größerer Höhe als Unfallursache angegeben, ein lokal isoliertes Trauma in <10% der Fälle (Zwipp 1994).

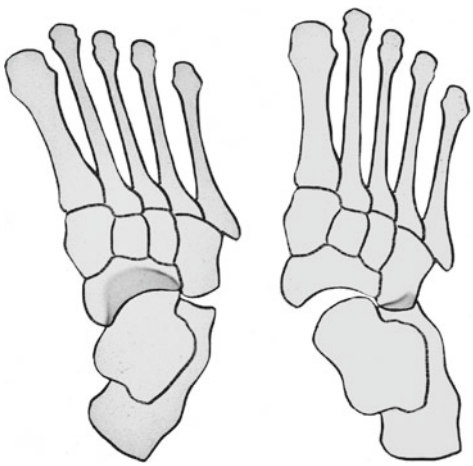
Der klassische **Luxationsmechanismus** im Chopart-Gelenk besteht in einer forcierten Abduktion oder Adduktion des Vorfußes gegen den fixierten Rückfuß oder vice versa. Eine zusätzliche axiale Stauchung im Augenblick der Luxation führt zu einer erheblichen Krafteinwirkung auf die Fußwurzelknochen mit nachfolgenden Impressionsbrüchen auf der Seite der Stauchungskräfte und Bandzerreißungen mit oder ohne knöcherne Avulsionen auf der Seite der Biegungskräfte.

Insbesondere für das starrer fixierte Os cuboideum wurde daher der Begriff der »Nussknackerfraktur« geprägt. Dieser Mechanismus ist jedoch nach den Prinzipien der Biomechanik in gleicher Weise für das Os naviculare anzunehmen, auch wenn dieses aufgrund der lockeren Aufhängung eher zur Luxationsfraktur neigt (◘ Abb. 11.28). Main u. Jowett (1975) klassifizierten die Verletzungen des Chopart-Gelenks analog zum vermuteten Hauptvektor der einwirkenden Kraft (Häufigkeit in Klammern):

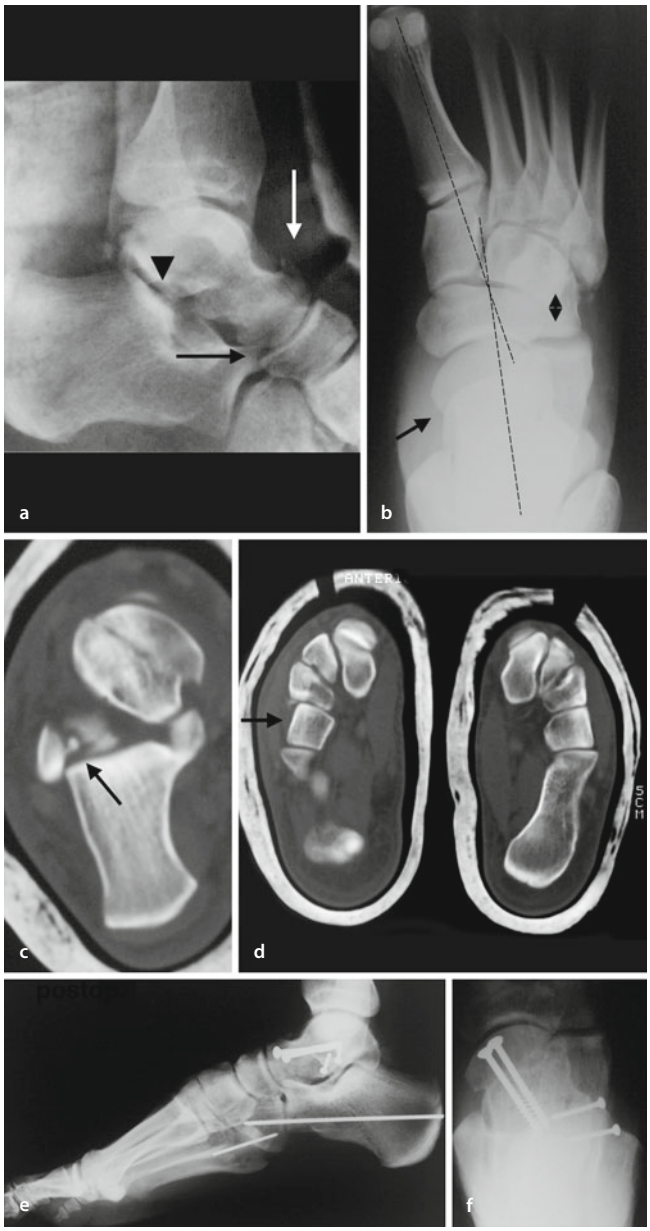
1. Axiale Gewalteinwirkung (40%)
2. Mediale Gewalteinwirkung (30%)
3. Laterale Gewalteinwirkung (17%)
4. Plantare Gewalteinwirkung (7%)
5. Zertrümmerung (crush) (6%)

Die häufig unerkannten **Subluxationen** des Chopart-Gelenks mit minimalen knöchernen Absprengungen entstehen klassischerweise bei Frauen im mittleren Lebensalter durch ein Niedrigenergietrauma wie Fehltritt oder Treppensturz. Ihnen liegen häufig kombinierte Abduktions-Dorsalflexions-Kräfte zugrunde. Nach Main u. Jowett (1975) werden sie als Unterform der lateralen Stressverletzungen (lateral strain) bezeichnet.

Frakturen des Os naviculare oder Os cuboideum werden gelegentlich noch isoliert betrachtet. Aus dem beschriebenen Verletzungsmechanismus und der funktionellen Einheit von Talonavikular- und Kalkaneokuboidgelenk folgt jedoch, dass bei Kompressions- und Avulsionsfrakturen dieser Knochen prinzipiell bis zum Beweis des Gegenteils von okkulten Bandverletzungen der jeweiligen Gegenseite ausgegangen werden muss (Dewar u. Evans 1968, Rammelt et al. 2002b, ◘ Abb. 11.29).



◘ **Abb. 11.28** Luxationsmechanismus im Chopart-Gelenk: Bei forcierter Adduktion (mediale Gewalteinwirkung) entsteht ein Stauchungsmoment auf der Innenseite und Biegungsmoment auf der Außenseite des Chopart-Gelenks, umgekehrt verhält es sich bei forcierter Abduktion (laterale Gewalteinwirkung). Daraus folgt, dass bei Kompressionsfrakturen auf der einen Seite immer nach Bandverletzungen oder Avulsionen auf der Gegenseite zu suchen ist. Bei fortgeleiteter axialer Gewalteinwirkung können auch auf beiden Seiten Kompressionsfrakturen entstehen



◘ **Abb. 11.29a–f** Transtalare Chopart-Luxationsfraktur mit Subluxation des Kuboids. **a** In der seitlichen Aufnahme erkennt man trotz mangelhafter Aufnahmetechnik eine knöcherne Avulsion am Taluskopf (*weißer Pfeil*), eine unruhige Knochenkontur im Bereich des Processus fibularis tali (*Pfeilspitze*) sowie eine deutliche Verwerfung der Cyma-Line (*schwarzer Pfeil*). **b** In der dorsoplantaren Aufnahme imponiert ein Varusknick in der talometatarsalen Achse (*gestrichelte Linie*) mit seitlichem Überhang des Os naviculare (*Pfeil*) und ein erweiterter Gelenkspalt im Kalkaneokuboidgelenk (*Doppelpfeil*). **c,d** Erst in der CT zeigt sich das gesamte Verletzungsausmaß mit Kompressionsfraktur des Taluskopfs und des Processus fibularis tali sowie einer Subluxation des Os cuboideum nach medial (**d**), was ein Indiz für den oben angeführten Luxationsmechanismus zu werten ist (vgl. ◘ Abb. 11.28). **e,f** Operative Versorgung mit Schraubenosteosynthese des Talus und Processus fibularis tali sowie offene Reposition und temporäre Transfixation des Kuboids für 6 Wochen

Klinik

Luxationsfrakturen des Chopart-Gelenks gehören zu den am häufigsten übersehenen oder bagatellisierten Verletzungen. In der Studie von Main u. Jowett (1975) wurden 40% aller Chopart-Luxationen initial übersehen oder als Distorsionen fehldiagnostiziert, woran sich in den vergangenen Jahren nicht viel geändert hat (Kotter et al. 1997, Rammelt et al. 2009). Die Klinik bietet ein sehr variables Bild, welches von ziehenden Schmerzen bei forcierter Adduktion oder Abduktion des Vorfußes über Schwellung, Ödem und Hämatom, bis hin zu schweren Fehlstellungen des gesamten Tarsus reicht. Dewar u. Evans (1968) beschrieben eine **plantare Ekchymose** als pathognomonisch für die Ruptur der Sehnenansätze des M. tibialis posterior, welche einen wichtigen klinischen Hinweis für okkulte Verletzungen im Chopart-Gelenk bieten. Dynamische Tests beinhalten die aktive Vorfußsupination und -pronation sowie die Kontrolle der Instabilität bei passiver Adduktion und Abduktion.

Apparative Diagnostik

Die Unkenntnis der exakten radiologischen Projektionen ist eine Ursache für das häufige Übersehen von Verletzungen im Chopart-Gelenk. Die Standarddiagnostik bei entsprechender Klinik über dem Tarsus beinhaltet (Suren u. Zwipp 1986, Zwipp 1994):

1. eine dorsoplantare Aufnahme des gesamten Fußes mit 30° kraniokaudal gekippter Röhre,
2. eine exakt seitliche Aufnahme des gesamten Fußes und
3. eine 45°-Schrägaufnahme des Fußes.

Bei Verdacht auf das Vorliegen einer rein ligamentären Instabilität werden in Leitungsanästhesie zusätzlich gehaltene dorsoplantare Röntgenaufnahmen unter Varus- und Valgusstress (ggf. auch Plantar- und Dorsalflexion) des Vorfußes gegen den Rückfuß durchgeführt. Beim geringsten Anhalt auf geringfügige Dislokationen oder okkulte Frakturen ist eine axiale CT durchzuführen (Rammelt et al. 2002b). Letztere ist nach eigener Erfahrung auch bei gesicherten Frakturen generell zu empfehlen, da häufig zusätzliche Verletzungen wie zentrale Trümmerzonen, Subluxationsstellungen oder knöcherne Band- und Sehnenausrisse gesehen werden, was eine exakte Operationsplanung erleichtert (◘ Abb. 11.29, ◘ Abb. 11.30).

In der seitlichen Aufnahme muss die Chopart-Gelenklinie stufenlos und harmonisch S-förmig geschwungen verlaufen, daher auch der Name Cyma-Linie, nach dem griechischen Wort κυμα für Welle (Schiffchen). In der dorsoplantaren Aufnahme ist insbesondere darauf zu achten, dass sich der proximale Rand der Ossa cuneiformia gleichmäßig mit dem distalen Rand des Os naviculare überschneidet und der kalkaneokuboidale Gelenkspalt nicht über 2 mm erweitert oder asymmetrisch ist. In beiden Projektionen ist auf die gerade Ausrichtung der **talometatarsalen Achse** zu achten. Bandavulsionen, insbesondere des Ligamentum bifurcatum, und minimale Subluxationen werden eher in den Schrägaufnahmen gesehen.

Klassifikation

Entsprechend dem Weg der luxierenden Kraft, welche auf das Chopart-Gelenk einwirkt, werden sechs typische Formen der Chopart-Luxationsfrakturen unterschieden (Zwipp 1994):

1. transligamentär,
2. transkalkanear,
3. transkuboidal,
4. transnavikular,
5. transtalar,
6. Kombinationen von 2–5.

Im eigenen Krankengut stellen die Kombinationsverletzungen mit annähernd 50% den bei Weitem größten Anteil, die distale Gelenkreihe ist mehr als doppelt so häufig frakturiert wie die proximale (Rammelt et al. 2002b). Die rein transligamentäre komplette Luxation im Chopart-Gelenk ist extrem selten und in der Literatur nur fallweise beschrieben (Kotter et al. 1997, Main u. Jowett 1975, Zwipp 1994).

Konservative Therapie

Lediglich Subluxationen, insbesondere der lateralen Fußsäule, mit marginalem knöchernem Ausriss der kalkaneokuboidalen Bänder, sowie nicht dislozierte knöcherne Verletzungen können konservativ behandelt werden (Randt et al. 1998, Zwipp 1994). Diese so genannten tarsalen Distorsionen werden nach initialer Ruhigstellung für 5 Wochen funktionell im Tapeverband behandelt. Von herausragender Bedeutung ist das Erkennen von Instabilitäten auch bei minimalen knöchernen Verletzungen oder Fehlstellungen, da hieraus fast zwangsläufig ein Kollaps des Tarsus mit Ausbildung eines Pes plano valgus und schmerzhafter Mittelfußarthrose entsteht (Dewar u. Evans 1968, Suren u. Zwipp 1986). Aus diesem Grund sind beim Verdacht auf das Vorliegen einer Instabilität (Klinik auf der Gegenseite!) gehaltene Aufnahmen unter Lokalanästhesie durchzuführen. Bestätigt sich das Vorliegen einer ligamentären Verletzung, so führt die Gipsruhigstellung für 6–8 Wochen zu guten funktionellen Ergebnissen. Dislozierte Avulsionen der Tibialis-posterior-Sehne sollten hingegen operativ refixiert werden, um einen posttraumatischen Pes planus zu verhindern.

In seltenen Fällen können komplette Luxationen mit extraartikulären knöchernen Verletzungen in Regional- oder Allgemeinanästhesie je nach Dislokationsrichtung mittels Abduktion oder Adduktion unter gleichzeitiger Plantarflexion oder Dorsalextension des Fußes reponiert werden. Nur wenn dies problemlos gelingt, ist die konservative Ausbehandlung zunächst im Unterschenkelspaltgips, später im Unterschenkelgehgips unter Teilbelastung des betroffenen Fußes für insgesamt 6 Wochen möglich (Main u. Jowett 1975).

Operative Therapie

Das Versorgungsprinzip der überwiegenden Mehrzahl der Chopart-Luxationsfrakturen beinhaltet die offene Reposition und anatomische Rekonstruktion von Achsen- und Längenverhältnissen und der Gelenkkongruenz sowie das Erkennen und Behandeln begleitender ligamentärer Instabilitäten (Rammelt et al. 2002b, Zwipp 1994). Die Operation ist bei allen geschlossen nicht reponiblen Luxationen, Frakturen mit Stauchungszonen und entsprechender Verkürzung der medialen oder lateralen Fußsäule sowie auch bei nur geringer Gelenkverwerfung indiziert (Kotter et al. 1997, Randt et al. 1998).

Bei allen Frakturen oder Luxationen mit relevanter Fehlstellung, zweit- bis drittgradig geschlossenem Weichteilschaden sowie bei offenen Verletzungen ist die notfallmäßige Operationsindikation innerhalb von 6 h zur Vermeidung von Weichteilnekrosen und Infekten gegeben.

Transnavikulare Chopart-Luxationsfrakturen

Die talonavikulare Gelenkebene wird je nach Frakturlokalisation über einen dorsomedialen oder dorsomedianen Zugang vollständig dargestellt, wobei zur besseren Einsicht in die geschwungenen Gelenkflächen ein Minidistraktor zwischen Taluskopf und Os cuneiforme mediale eingesetzt wird. Wegen der Gefahr der avaskulären Nekrose sollte das Os naviculare nicht vollständig denudiert werden,

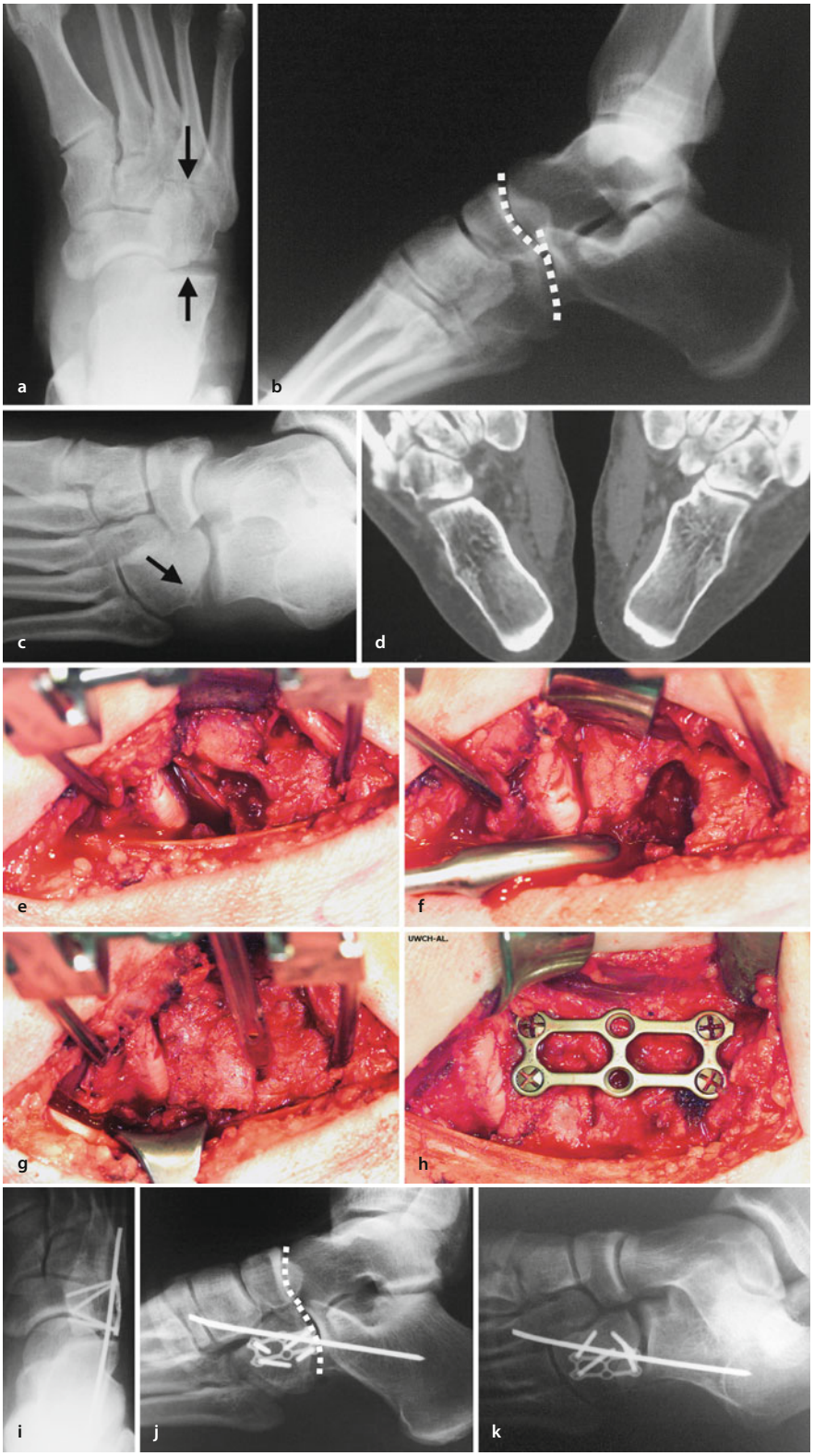


Abb. 11.30a–k Transkuboidale Chopart-Luxationsfraktur. **a–c** Die Röntgenaufnahmen in den Standardeinstellungen zeigen eine Verkürzung der lateralen Fußsäule (**a**: *Pfeile*) mit erweitertem kalkaneokuboidalen Gelenkspalt (**c**: *Pfeil*) und Verwerfung der Cyma-Line (**b**: *gestrichelte Linie*). **d** Die axiale CT veranschaulicht die Gelenkinkongruenz und die Impression des Kuboids. **e–g** Intraoperativ verbleibt nach Anheben der imprimierten Gelenkfläche zum Processus anterior calcanei (**e**) unter Zuhilfenahme des Minidistraktors ein zentraler Stauchungsdefekt von ca. 5 mm (**f**), welcher mit einem kortikospongiösen Span vom Beckenkamm aufgefüllt wird (**g**). **h** Die Osteosynthese erfolgt mittels Miniplättchen. Zusätzlich wird das Kalkaneokuboidgelenk bei persistierender Instabilität für 6 Wochen transfixiert. **i–k** Postoperative Aufnahmen. **j** Die postoperative seitliche Aufnahme zeigt die harmonische Ausrichtung der Cyma-Line (*gestrichelte Linie*). **k** In der Schrägaufnahme wird die Wiederherstellung der Länge der lateralen Fußsäule erkennbar

es genügt die vollständige Gelenkflächeneinsicht. Bei knöchernen Ausrissen der Tibialis-posterior-Sehne und einfachen Spaltbrüchen genügt die anatomiegerechte Reposition und einfache bzw. doppelte Schraubenosteosynthese mit dem Kleinfragmentinstrumentarium. In den meisten Fällen liegen jedoch nicht unerhebliche Trümmerzonen vor, sodass nach entsprechender Distraktion und Rekonstruktion des Os naviculare die Indikation zur Defektauffüllung mit autologer Spongiosa großzügig gestellt werden sollte. Mittlerweile stehen spezielle, anatomisch vorgeformte Implantate für das Os naviculare zur Verfügung, die wahlweise auch winkelstabil besetzt werden können. Alternativ kommen anmodellierte Plättchen aus dem Hand- oder Miniinstrumentarium zum Einsatz.

Transtalare Chopart-Luxationsfrakturen

Transtalare Chopart-Luxationsfrakturen (Taluskopffrakturen) werden über einen anteromedialen Zugang analog zu den Talushalsfrakturen versorgt. Ist der Taluskopf als Ganzes frakturiert, ist eine Kleinfragment-Schraubenosteosynthese ausreichend (Abb. 11.29). Müssen zum Erreichen einer ausreichenden Stabilität Schrauben durch die Gelenkfläche eingebracht werden, so sind die Schraubenköpfe (vorzugsweise Doppelgewindeschrauben) unter das Knorpelniveau zu versenken. Häufig finden sich osteochondrale Absprengungen am Taluskopf. Die abgescherten Knorpelfragmente werden mit Fibrinkleber oder resorbierbaren Pins refixiert, um eine bestmögliche Gelenkrekonstruktion zu erreichen. Beim Vorliegen zentraler Stauchungs- oder Trümmerzonen ist auch hier die technisch anspruchsvolle Wiederherstellung der Länge der medialen Fußsäule erforderlich. In diesen Fällen ist die Einbringung von autologer Spongiosa bzw. eines kortikospongiösen Spans mit anschließender Miniplattenosteosynthese indiziert.

Transkalkaneare und transkuboidale Chopart-Luxationsfrakturen

Das Kalkaneokuboidgelenk wird über einen geraden lateralen Zugang parallel zur Planta pedis versorgt. An dieser Stelle ist der Einsatz eines Minidistraktors zur Darstellung der Gelenkflächen und Längenausgleich in jedem Falle gewinnbringend (Abb. 11.30). Regelhaft verbleiben im Kuboid bzw. Processus anterior calcanei nach Anhebung der Gelenkfläche über ein subkortikales Fenster größere Impressionszonen, welche mit autologer Spongiosa aus der distalen Tibia bzw. trikortikalen Spänen vom Beckenkamm aufgefüllt werden müssen, um eine sekundäre Sinterung und biomechanisch ungünstige Verkürzung der lateralen Fußsäule zu vermeiden. Zur exakten Modellierung der Gelenkoberfläche dient die jeweils korrespondierende unverletzte Gelenkfläche von Kuboid oder Processus anterior calcanei als Schablone. Die Retention erfolgt je nach Lage und Größe der Fragmente durch Schrauben- oder Plattenosteosynthese (Abb. 11.30). Für letztere stehen auch für das Kuboid anatomisch geformte, winkelstabile Plättchen der Foot and Ankle Expert Group der AO/ASIF zur Verfügung, welche einer Sinterung entgegenwirken.

Kombinationsverletzungen

Bei Kombinationsverletzungen ist ein bilateraler Zugang mit ausreichender Weichteilbrücke zu wählen. In der eigenen Erfahrung sind die transnavikulokuboidalen Chopart-Luxationsfrakturen am häufigsten anzutreffen. Es wurde mittlerweile jedoch jede mögliche Kombination bis hin zur Verletzung aller 4 am Chopart-Gelenk beteiligten Knochen gesehen. Die Osteosynthese der individuellen Frakturen folgt den oben genannten Prinzipien.

Ligamentäre Instabilitäten

Nach Komplettierung der Osteosynthese ist nach verbliebenen ligamentären Instabilitäten auf der versorgten, v.a. jedoch der gegenüber liegenden Fußsäule zu suchen. Verbleibt nach der Frakturversorgung eine mediale oder laterale Aufklappbarkeit bzw. eine rotatorische Instabilität im Talonavikulargelenk (so genannte swivel dislocation nach Main u. Jowett 1975), so wird die temporäre K-Draht-Transfixation des betroffenen Gelenks für 6 Wochen zur sicheren Bandheilung empfohlen (Abb. 11.29, Abb. 11.30). Bei höhergradiger Instabilität, wie sie insbesondere bei Kombinations- und Trümmerverletzungen vorliegt, erfolgt eine temporäre tibiometatarsale Transfixation für 6 Wochen bei additiv transartikulär eingebrachten K-Drähten.

Nachbehandlung

Der betroffene Fuß wird bei allen Luxationsformen im Unterschenkelcast mit 15–20 kp für 6 Wochen teilbelastet. Nach dieser Zeit sollten evtl. eingebrachte K-Drähte und externe Fixationen entfernt werden. Die schrittweise Steigerung auf Vollbelastung vollzieht sich je nach Frakturschwere und erfolgter Spongiosaplastik über weitere 3–6 Wochen. Intensive Bewegungsübungen, Gangschulung, Lymphdrainage und gleichzeitige manuelle Mobilisation des Tarsus sind für die Wiedererlangung der Fußwurzelbeweglichkeit unbedingt erforderlich (Randt et al. 1998). Die Rezeptur von Maßeinlagen zur Unterstützung des Fußgewölbes und Anregung der plantaren Fußbinnenmuskulatur ist empfehlenswert.

Komplikationen

Nach operativer Versorgung von Chopart-Luxationsfrakturen werden die folgenden Frühkomplikationen angegeben: Infekt, Phlebothrombose, Kompartmentsyndrom und Verletzungen der Endäste des N. peroneus superficialis bzw. profundus (Kotter et al. 1997, Randt et al. 1998). Infektverläufe wurden v.a. bei verzögerter Behandlung beobachtet, was die Forderung nach der frühzeitigen Versorgung von Chopart-Luxationsfrakturen unterstreicht. Aufgrund der prekären Blutversorgung des Os naviculare ist besonders mit zunehmendem Patientenalter mit der Ausbildung einer avaskulären Nekrose zu rechnen.

Prognose

Main u. Jowett (1975) mussten bei der Analyse eines größeren Krankenguts feststellen, dass der Versuch einer geschlossenen Reposition häufig frustran endet und bei konservativer Therapie mit Bandagen oder Gipsimmobilisation regelhaft nur befriedigende bis schlechte Ergebnisse beobachtet werden. Lediglich rein ligamentäre Verletzungen mit oder ohne knöcherne Avulsionen (strain) haben mit konservativen Maßnahmen eine sehr gute Prognose. Bereits marginale Gelenkbeteiligungen führen selbst bei korrekter Reposition häufig zur Ausbildung einer Früharthrose, welche jedoch nicht immer symptomatisch wird (Kotter et al. 1997). Initial übersehene Bandläsionen auf der Seite der Zugkräfte können selbst bei korrekter Versorgung der Frakturen auf der Seite der Biegungskräfte zu schmerzhaften chronischen Instabilitäten bis hin zum posttraumatischen Plattfuß führen. Ein nicht zu unterschätzender negativer Prognosefaktor ist auch das häufige Vorhandensein von Begleitverletzungen. In einer eigenen präliminaren Serie von 25 Patienten wurden im Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 2 Jahren mehrheitlich gute Ergebnisse gesehen (Rammelt et al. 2002b). Die schlechteste Prognose haben Verletzungen mit ausgeprägten Trümmerzonen und Gelenkzerstörung (Crush-Verletzungen), welche häufig zu chronischen Schwellungs- und Schmerzzuständen mit erheblicher Bewegungseinschränkung führen (Main u. Jowett 1975, Rammelt et al. 2002b).

11.2.6 Lisfranc-Luxationen und Luxationsfrakturen

Ätiologie

Das facettenreiche Bild der Luxationen und Luxationsfrakturen im tarsometatarsalen Übergang reicht von subtilen, rein ligamentären Verletzungen bis hin zur völligen Desintegration des Gelenks mit schweren begleitenden Weichteilschäden durch Überrolltraumata. In bis zu 80% der Fälle finden sich Mehrfachverletzungen und Polytraumata, besonders häufig ist die Kombination mit Chopart-Luxationsfrakturen in bis zu einem Drittel der Fälle (Randt et al. 1998, Richter et al. 2002). Häufigste Unfallursache ist das Hochrasanztrauma (high velocity trauma), wovon etwa 50% auf Verkehrs-

unfälle entfallen (Arntz et al. 1988, Hardcastle et al. 1982, Zwipp 1994). In 9–17% liegen offene Verletzungen vor (Arntz et al. 1988, Vuori u. Aro 1993).

Pathomechanisch wird prinzipiell zwischen direkten und indirekten Verletzungen unterschieden. Eine direkte Gewalteinwirkung auf Höhe des Lisfranc-Gelenks liegt bei Überroll- oder Quetschverletzungen vor. Da die Kraft hierbei auf den Fußrücken einwirkt, wird in mehr als der Hälfte der Fälle eine plantare Dislokation der Metatarsalia in der Horizontalebene gesehen (Lenczner et al. 1974, Myerson et al. 1986). Indirekte Traumata sind häufiger und entstehen durch axiale Gewalteinwirkung mit gleichzeitiger Plantarflektion des Fußes. Sie entstehen beim Sturz aus der Höhe oder beim Anprall gegen ein Hindernis im Sinne eines Dezelerationstraumas, Steigbügelverletzungen beim Reitsport und gelegentlich sogar beim Balletttanz. Typisch sind Torsionskräfte auf Höhe des tarsometatarsalen Übergangs gegen das gesamte Körpergewicht wie beim Sturz nach hinten bei fixiertem Vorfuß z.B. in der Zweiradfußraste oder eine Kombination aus Hyperflexion, Torsion und axialer Stauchung wie beim Pkw-Frontalzusammenstoß mit Intrusion des Fußraums. Aufgrund des schwächer ausgeprägten dorsalen Bandapparats wird in >90% der indirekten Verletzungen eine Dislokation der Metatarsalia nach dorsal beobachtet (Arntz et al. 1988, Myerson et al. 1986). In etwa 10% liegen subtile, rein ligamentäre Verletzungen vor (Faciszewski et al. 1990, Vuori u. Aro 1993). Meist ist jedoch eine Fraktur der zwischen den Cuneiformia gut verzahnten Basis des Os metatarsale II Voraussetzung für eine Luxation im Lisfranc-Gelenk, weswegen typischerweise Luxationsfrakturen gesehen werden (Myerson et al. 1986, Vuori u. Aro 1993). Entsprechend stellt eine niedrige Gabel zwischen dem medialen und lateralen Cuneiforme eine gewisse anatomische Prädisposition für das Entstehen von Lisfranc-Luxationsfrakturen dar (Peicha et al. 2002).

Klinik

Die Klinik der Lisfranc-Luxationen und Luxationsfrakturen reicht von diffusen Schmerzen ohne äußere Verletzungszeichen bis hin zu ausgeprägten Fehlstellungen (◘ Abb. 11.31) mit schweren Weichteilschäden wie offenen Frakturen, Hautnekrosen und drohendem bzw. manifestem Kompartment-Syndrom des Fußes. Während bei letzterem die Diagnosestellung mittels Druckmessung unproblematisch ist und schnelles Handeln erfordert, bedürfen alle unklaren Schmerzzustände einer subtilen Abklärung, da persistierende Subluxationen zu chronischen Instabilitäten mit Schmerzzuständen und progredienten Fehlstellungen führen (Zwipp u. Rammelt 2003). Das Vorliegen einer **plantaren Ekchymose** weist auf eine Zerreißung der plantaren Bandstrukturen und somit in Analogie zum Chopart-Gelenk auf eine relevante Verletzung hin (Ross et al. 1996). Bei plantarer Luxation der Metatarsalia wird häufig eine nicht redressierbare Krallenzehenstellung gesehen. Das Abweichen einzelner oder mehrerer Zehen nach lateral deutet auf eine Fehlstellung benachbarter Metatarsalebasen hin. Diese linked toe dislocation entsteht durch den unphysiologischen Zug der an den dislozierten Metatarsalia ansetzenden Mm. interossei an den Basen der benachbarten Zehengrundglieder (English 1964).

◘ **Abb. 11.31** Typische Deformität bei homolateraler Lisfranc-Luxationsfraktur

Bildgebende Diagnostik

Die Standardröntgendiagnostik beinhaltet exakt seitliche und dorsoplantare Aufnahmen (mit 20°-kraniokaudal gekippter Röhre) des gesamten Fußes sowie 45°-Schrägaufnahmen des Mittelfußes (Suren u. Zwipp 1986). In allen Einstellungen ist auf ein bündiges Alignment der Ossa metatarsalia und der korrespondierenden Ossa cuneiformia zu achten, wobei 1. und 2. Strahl in der dorsoplantaren Aufnahme, der 3.–5. Strahl in der Schrägaufnahme gut zur Darstellung kommen. Eine Distanz von >3 mm zwischen den Basen des Os metatarsale I und II in der dorsoplantaren Aufnahme spricht für eine Verletzung des Lisfranc-Ligaments (Foster u. Foster 1976). Der Überhang der Basis des Os metatarsale V gegenüber dem lateralen Rand des Os cuboideum stellt wiederum kein verlässliches Maß für eine Dislokation im Lisfranc-Gelenk dar. Eine unruhige Knochenstruktur im Bereich der in 90% frakturierten Basis des Os metatarsale II (fleck sign) gilt als pathognomonisch für das Vorliegen einer Lisfranc-Luxationsfraktur (Myerson et al. 1986).

Bei jedem Verdacht auf Vorliegen einer Instabilität sind bei fehlender Dislokation in den Standardprojektionen seitliche und dorsoplantare Belastungsaufnahmen des Fußes in Leitungsanästhesie durchzuführen, um subtile ligamentäre Verletzungen des Lisfranc-Gelenks nicht zu übersehen (Myerson et al. 1986, Suren u. Zwipp 1986). Liegt der plantare Rand der Basis des Metatarsale V in der seitlichen Einstellung dorsal (oberhalb) des plantaren Randes des medialen Cuneiforme, so spricht dies für ein Zusammensinken des Fußlängsgewölbes aufgrund einer ligamentären Lisfranc-Instabilität (Faciszewski et al. 1990). Beim Verdacht auf Vorliegen einer horizontalen Instabilität werden zusätzlich unter ausreichender Analgesie gehaltene Abduktions-Adduktions-Aufnahmen angefertigt (Zwipp 1994). Beim geringsten Zweifel sollte die CT zur Indikationsstellung hinzugezogen werden. Sie dient zudem bei komplexen Verletzungen (v.a. mit Beteiligung des Chopart-Gelenks) der Operationsplanung. Die MRT hat eine hohe Sensibilität bei subtilen ligamentären Verletzungen (Peicha et al. 2002), spielt bei der Akutdiagnostik von Luxationsfrakturen jedoch keine Rolle. Sie erlaubt bei akutem Trauma allerdings eine zuverlässige Aussage über die Stabilität des Lisfranc-Ligaments (Raikin et al. 2009).

Klassifikation

Die Einteilung der Lisfranc-Luxationsfrakturen erfolgt nach der klassischen klinischen und biomechanischen Arbeit von Quénu und Küss aus dem Jahre 1909 in:

- homolaterale,
- divergierende und
- isolierte Verletzungen.

Die homolateralen Luxationsfrakturen sind die mit Abstand häufigsten Verletzungen (Arntz et al. 1988, Zwipp 1994). Hardcastle

und Mitarbeiter (1982) schlugen eine Modifikation der Klassifikation von Quénu und Küss vor, welche an die gebräuchliche ABC-Einteilung der AO angelehnt ist. Sie unterscheiden in:

- totale Inkongruenz nach lateral (A1) bzw. dorsoplantar (A2),
- partielle mediale (B1) bzw. laterale Inkongruenz (B2) sowie
- divergierende Verletzungen mit partieller (C1) und totaler Dislokation (C2).

Die AO/ICI-Klassifikation (Zwipp et al. 2004) beinhaltet neben extraartikulären (A), intraartikulären (B) und Luxationsfrakturen (C) zusätzlich die reinen Dislokationen als Typ D. Sie erlaubt zudem die exakte Bezeichnung der diversen Luxationstypen durch Belegung der einzelnen Gelenke des Lisfranc-Komplexes mit kleinen römischen Buchstaben und der Luxationsrichtung mit griechischen Lettern.

Konservative und semioperative Therapie

Die konservative Therapie ist reserviert für stabile, isolierte Basisfrakturen der Ossa metatarsalia oder ligamentäre Avulsionen sowie inkomplette Bandrupturen ohne erkennbare Diastase oder Instabilität (Nunley u. Vertullo 2002). Eine geschlossene Reposition und temporäre Transfixation von Lisfranc-Luxationen oder Luxationsfrakturen ist bei der Erstversorgung polytraumatisierter Patienten indiziert, wenn lebenserhaltende Maßnahmen im Vordergrund stehen. In Regional- oder Allgemeinanästhesie wird unter Bildwandlerkontrolle unter ständigem axialem Zug am Vorfuß (1. Helfer) und bei fixiertem Unterschenkel (2. Helfer) je nach Dislokationsrichtung eine forcierte Abduktion/Adduktion unter gleichzeitiger Plantarflektion/Dorsalextension durchgeführt. Die Basen der Metatarsalia werden dabei durch direkten digitalen Druck gegenüber den Fußwurzelknochen eingerichtet (Randt et al. 1998, Zwipp 1994). Eine stabile anatomische Reposition von Lisfranc-Luxationsfrakturen lässt sich auf diese Weise jedoch zumeist nicht erreichen, wie die Analyse der fehlverheilten Verletzungen deutlich macht (Zwipp et al. 1999a), sodass die offene Reposition und interne Osteosynthese nach Stabilisierung des Allgemeinzustandes des Patienten indiziert ist.

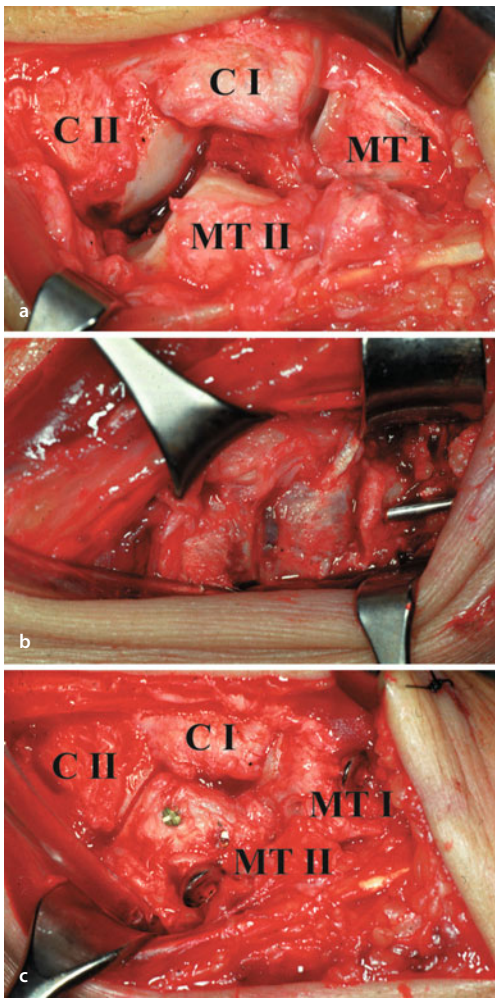
Eine perkutane Osteosynthese kann bei isolierter Instabilität zwischen 1. und 2. Strahl mit Ruptur des Lisfranc-Ligaments vorgenommen werden. Die Reposition erfolgt mittels zwischen Metatarsale-II-Basis und Os cuniforme mediale aufgesetzter spitzer Repositionszange, die Retention mit einer unter Bildwandlerkontrolle perkutan eingebrachten Schraube zwischen diesen beiden Knochen (Lisfranc-Schraube) sowie Os cuneiforme mediale und laterale (Nunley u. Vertullo 2002). Jedoch wird eine geschlossene Reposition regelhaft durch interponierte Kapsel- und Bandstrukturen, eine eingeschlagene Tibialis-anterior-Sehne bzw. osteochondrale Abscherfragmente behindert (Arntz et al. 1988, Hardcastle et al. 1982, Lenczner et al. 1974), sodass beim Zweifel an der Güte der Reposition die offene Exploration angezeigt ist.

Operative Therapie

Aufgrund der dünnen dorsalen Weichteilbedeckung, welche durch von innen hervortretende Frakturfragmente extrem nekrosegefährdet ist, und der hohen Inzidenz eines Fußkompartment-Syndroms stellen dislozierte Lisfranc-Luxationsfrakturen einen fußchirurgischen Notfall dar.

Beim Fehlen lokaler oder systemischer Kontraindikationen ist die offene Reposition und primär stabile Osteosynthese die Therapie der Wahl (Arntz et al. 1988, Hardcastle et al. 1982, Myerson et al. 1986, Randt et al. 1998). Der Zugang zum Lisfranc-Gelenk erfolgt je nach Lokalisation und Ausdehnung der Verletzung über eine bis zwei parallele, längs verlaufende dorsale Inzisionen, in letzterem Falle mit einer ausreichenden Weichteilbrücke (mindestens 5 cm). Beim gleichzeitigen Vorliegen eines Kompartment-Syndroms des Fußes erlaubt eine lange dorsomediane Inzision die Darstellung der gesamten Gelenkebene und gleichzeitige Entlastung aller Fußkompartimente (▶ Abschnitt 11.1.2).

Die Reposition der Lisfranc-Reihe beginnt nach dem Débridement von Kapsel- und Bandfasern an der Basis des Os metatarsale II. Hier liegt in etwa 90% der Fälle eine Y- oder schmetterlingsförmige Fraktur vor (Myerson et al. 1986), welche zunächst mit Minifragmentschrauben versorgt wird (◘ Abb. 11.32a–c). Anschließend erfolgt die anatomische Ausrichtung der rekonstruierten Metatarsale-II-Basis zum Os cuneiforme intermedium und die temporäre Sicherung mit einem von lateral eingebrachten K-Draht, um die spätere Schraubentransfixation nicht zu behindern. In analoger Weise werden danach der 1. und 3.–5. Strahl reponiert (◘ Abb. 11.33a–h). In einigen Fällen richten sich, insbesondere bei homolateralen Luxationsformen, der 4. und 5. Strahl nach Reposi-



◘ **Abb. 11.32a–c** **a** Offene Reposition einer homolateralen Lisfranc-Luxationsfraktur. Beachte den vergrößerten Abstand zwischen den Basen der Ossa metatarsalia I und II (MT I und MT II), die horizontale Basisfraktur von MT II sowie die fehlerhafte Ausrichtung zu den korrespondierenden Ossa cuneiformia (C I und C II). **b** Zunächst erfolgt die offene Reposition und K-Draht-Fixation. **c** Dann folgt die schrittweise Schraubenfixation. Die regelhaft auftretende Basisfraktur des Os metatarsale II wird mit Minischrauben retiniert

tion der medialen Strahlen spontan ein, was eine separate laterale Osteosynthese erübrigt.

Die Retention besteht in einer stabilen Transfixation entweder mit einem K-Draht (bei kleinem Knochen bzw. Trümmerzone der Metatarsalebasis) oder nach Möglichkeit durch eine 3,5 mm-Kortikalisschraube, welche in Längsrichtung von der Basis des Os metatarsale bis in das Os cuneiforme II eingebracht wird (Abb. 11.33a–c). Diese soll als Stellschraube keine Kompression auf das Gelenk bringen. Der Schraubenkopf wird durch eine mit der kleinen Markraumfräse eingebrachte Vertiefung unter das Knochenniveau versenkt, um das Gleiten der Strecksehnen nicht zu behindern und ein Ausbrechen der Kortikalis zu verhindern. Bei Instabilität, Basisfrakturen oder isolierten Verletzungen des 4. und 5. Strahls erfolgt die Osteosynthese nicht in Längsrichtung, sondern schräg von lateral, um die Gelenkfläche des Kuboids rechtwinklig zu kreuzen (Abb. 11.33a–h). Je nach Ausmaß der Instabilität ist meist eine zusätzliche intercuneiforme Schraubenfixation erforderlich.

Aus Gründen der höheren Stabilität sowie der nach K-Draht-Osteosynthese beobachteten Komplikationen – wie Migration, Repositionsverlust und Pininfekten (Arntz et al. 1988, Hardcastle et al. 1982, Zwipp et al. 1999a) – wird im eigenen Vorgehen am 1.–3. Strahl die Schraubenosteosynthese bevorzugt, sofern keine Trümmerfrakturen an den Metatarsale-Basen oder kritische Weichteilverhältnisse vorliegen (Rammelt et al. 2008). Für eine K-Draht-Osteosynthese spricht neben einer kürzeren Operationsdauer die geringere Affektion der Gelenkflächen, was jedoch bei dem insgesamt geringen Bewegungsumfang im medialen Lisfranc-Gelenk nicht ins Gewicht fallen sollte. Für die beweglicheren lateralen Strahlen wird aus diesem Grund die K-Drahtfixation bevorzugt, wenn eine separate Retention erforderlich ist. Klinische Studien fanden beim Vergleich von Schrauben- und K-Draht-

Abb. 11.33a–h Fallbeispiel einer homolateralen Lisfranc-Luxationsfraktur. In den Röntgenaufnahmen imponiert eine Verwerfung der talometatarsalen Achse in der seitlichen (**a**) und dorsoplantaren (**b**) Aufnahme, ein vergrößerter Abstand der Metatarsale-I- und -II-Basen (*weißer Pfeil*) sowie die fehlende Ausrichtung der 2. und 3. Metatarsalebasen zu den korrespondierenden Cuneiformia. **c** Die axiale CT zeigt eine Dislokation der frakturierten Metatarsale-II-Basis nach dorsal. **d** Im koronaren CT-Schnitt wird die Unterbrechung des Quergewölbebogens auf Höhe der Metatarsale-I- und -II-Basis sichtbar. **e–g** Offene Reposition und Schraubenosteosynthese der Lisfranc-Gelenkreihe sowie Fixation der Metatarsale-II-Basis mit Minischrauben. Dadurch werden die talometatarsale Achse (*gestrichelte Linie*) sowie die bündige Ausrichtung der Metatarsaleachsen zu den Ossa cuneiformia wiederhergestellt. **h** Die KFI-Schrauben werden nach 8 Wochen entfernt

Osteosynthese keine Unterschiede bezüglich des Auftretens einer posttraumatischen Arthrose der Tarsometatarsalgelenke (Arntz et al. 1988) bzw. des funktionellen Ergebnisses (Rammelt et al. 2008). Die primäre Arthrodese sollte nur bei extremer Zerstörung der Gelenkflächen zur Anwendung kommen, einige Autoren empfehlen sie jedoch auch für die mit einer schlechteren Prognose behafteten ligamentären Verletzungen (Kuo et al. 2000, Ly u. Coetzee 2006).

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt im gut anmodellierten abnehmbaren Cast-Schuh (Geisha-Schuh oder Lopresti-Slipper), nach Schraubenosteosynthese bei guter Compliance ggf. auch im patienteneigenen Schuh mit fester Sohle, jeweils unter Teilbelastung der betroffenen Extremität. Die transfixierenden Implantate werden nach 8 Wochen über Stichinzisionen entfernt und die Belastung schrittweise auf volles Körpergewicht gesteigert, was in der Regel nach 10 Wochen erreicht wird. Einige Autoren empfehlen die Belassung der Implantate für 3–9 Monate und nehmen den (meist asymptomatischen) Schraubenbruch nach Wiederaufnahme der Belastung in Kauf (Arntz et al. 1988, Kuo et al. 2000, Ly u. Coetzee 2006). Ergänzende rehabilitative Maßnahmen bestehen in Gangschulung, manueller Fußmobilisation, aktiven Bewegungsübungen und der Rezeptur von stützenden Einlagen (Randt et al. 1998).

Komplikationen

Die unmittelbare Lagebeziehung der Tarsometatarsalgelenke zu den Logen der Fußbinnenmuskulatur prädisponiert zum Auftreten eines Kompartment-Syndroms, welches in bis zu einem Drittel der Fälle von Lisfranc-Luxationsfrakturen auftritt (Zwipp 1994, Richter et al. 2002). Insbesondere bei den zunehmend auftretenden Hochrasanzverletzungen sollte eine engmaschige klinische Überwachung, Druckmessung und ggf. (bei Werten von >25 mmHg) die Dermatofasziotomie erfolgen, um gravierende Spätschäden wie manifeste Hammerzehendeformitäten und Vorfußkontrakturen mit schweren Ganganomalien und Schmerzzuständen zu vermeiden. Meist kann nach Abschwellen der Weichteile die Sekundärnaht erfolgen, ohne dass eine Spalthauttransplantation erforderlich wird (Abb. 11.8). Gelingt die Sekundärnaht nicht, lassen sich durch wenig auftragende fasziokutane Lappenplastiken Kontrakturen und Beeinträchtigungen des Gleitverhaltens der Strecksehnen verhindern (Arntz et al. 1988, Zwipp u. Rammelt 2002).

Ausgedehnte Hautnekrosen stellen einen hohen Risikofaktor für die Entwicklung tiefer Infekte dar und sind häufig Folge einer verzögerten Akutversorgung. Ein frühzeitiges radikales Débridement avitaler Strukturen zum Versorgungszeitpunkt (Operation ohne Blutsperre) kann dies meist vermeiden. Dem frühzeitigen definitiven Weichteilverschluss kommt eine große prognostische Bedeutung zu (Brenner et al. 2001). Gelegentlich wird eine avaskuläre Nekrose des Metatarsale-II-Köpfchens beobachtet, welches direkt durch die A. dorsalis pedis oder Rr. interossei derselben versorgt wird. Sie ist an dieser Lokalisation wesentlich seltener als am Talus oder Os naviculare. Ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS, Morbus Sudeck) wird in seltenen Fällen nach übersehenen Lisfranc-Verletzungen mit dauernden Schmerzzuständen beobachtet (Myerson et al. 1986, Zwipp et al. 1999a).

Prognose

Die Prognose nach Lisfranc-Verletzungen hängt maßgeblich von der rechtzeitigen und präzisen Reposition sowie der Stabilität der definitiven Versorgung ab. So wurden zusammenfassend in der Literatur nach anatomischem Repositionsergebnis zwischen 50 und 95% gute und sehr gute Ergebnisse gesehen, bei verbleibenden Inkongruenzen nur in 17–30% (Arntz et al. 1988, Kuo et al. 2000, Myerson et al. 1986). Als Maß für die Qualität des Repositionsergebnisses werden ein tarsometatarsaler Winkel von <10° in der seitlichen Ansicht und eine Distanz zwischen den Basen der Ossa metatarsalia I und II von <2 mm angesehen, welche signifikant mit den klinischen Ergebnissen korrelieren (Myerson et al. 1986). Arthrotische Veränderungen in der Lisfranc-Gelenkreihe werden selbst bei exakter Reposition in 30 (Arntz et al. 1988) bis 100% (Myerson et al. 1986) der Fälle beobachtet, bleiben jedoch oft ohne klinische Relevanz. Rein ligamentäre Lisfranc-Luxationen hatten in der Studie von Kuo et al. (2000) eine schlechtere Prognose als Luxationsfrakturen. In pedobarografischen Untersuchungen besteht eine Korrelation zwischen klinischem Ergebnis und der Beweglichkeit im Chopart-Gelenk sowie der Geschwindigkeit des Impulstransfers vom Rückfuß zum Vorfuß (Mittlmeier et al. 1997).

11.2.7 Metatarsalefrakturen

Ätiologie

Mittelfußfrakturen sind etwa 10-mal häufiger als Lisfranc-Luxationsfraturen (Vuori u. Aro 1993). Isolierte Frakturen an den Mittelfußbasen sind selten und sollten immer den Verdacht auf Vorliegen eines Luxationsmechanismus im Lisfranc-Gelenk nahe legen (Vuori u. Aro 1993, Zwipp 1994). Häufiger findet sich eine Kombination von seriellen Basisfrakturen und Schaftfrakturen als so genannte Lisfranc-Variante. Gelegentlich entstehen Trümmerfrakturen an der Metatarsale-I-Basis durch direkte Gewalteinwirkung. Schaftfrakturen der äußeren Strahlen sind zumeist auf einen Torsionsmechanismus zurückzuführen (Sammarco 1993). Serienfrakturen des 2.–4. Strahls resultieren dagegen eher aus direkter Kompression. Frakturen an Hals und Kopf entstehen meist als Serienbrüche sowohl durch direkte als auch indirekte Gewalteinwirkung.

Frakturen des Os metatarsale V am Übergang von der gut fixierten Basis zum relativ beweglichen Schaft (Jones-Frakturen) entstehen durch eine forcierte Adduktion des Fußes bei plantarflektiertem Sprunggelenk, so z.B. beim Fehltritt an einer Bordsteinkante (Jones 1902). Diese Frakturen verlaufen typischer Weise quer auf Höhe des IV. Intermetatarsal-Gelenks und weisen gelegentlich eine mediale Trümmerzone auf (Lawrence u. Botte 1983). Die weit verbreitete Annahme, dass die Abrissfraktur der Basis des Os metatarsale V (tennis fracture) einem knöchernen Ausriss der Sehne des M. peroneus brevis entspricht, konnte in experimentellen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Vielmehr setzt an der Spitze der Tuberositas der laterale Anteil der Plantaraponeurose an (Richli u. Rosenthal 1984).

Die wiederholte, gleichförmige subtraumatische Belastung des Fußes, zunächst als Marschfraktur bei Militärrekruten, heute v.a. bei professionellen Sportlern und Tänzern beobachtet, wird als Ursache für das Auftreten von Stress- und Ermüdungsbrüchen der Metatarsalia angesehen. Am häufigsten sind die Basen und das proximale Schaftdrittel des Os metatarsale II und V betroffen (Geyer et al. 1993). Durch angeborene oder erworbene Fußdeformitäten und muskuläre Defizite wird den Stressfrakturen zusätzlich Vorschub geleistet, was ihre hohe Inzidenz im Mittelfußbereich erklärt.

Klinik

Die klinische Blickdiagnose ist aufgrund des dünnen Weichteilmantels am Dorsum pedis bei frischen Verletzungen durch direkte Schmerzangabe über der Fraktur bereits wegweisend. Hinzu kommen Schwellung, Ekchymose und begleitende Zehenfehlstellun-

gen. Die Patienten beklagen die Unmöglichkeit der Belastung des betroffenen Fußes. Stressfrakturen äußern sich in einer allmählichen, diffusen Beschwerdezunahme nach überproportionaler Belastung.

Bildgebende Diagnostik

Die Standardröntgendiagnostik beinhaltet neben der a.p.- und lateralen Ansicht aufgrund der Überlagerung der Knochenränder zusätzlich 45°-Schrägaufnahmen. Auf exakte Einstelltechnik und Ausbelichtung der Aufnahmen ist zu bestehen, da sonst haarfeine Frakturen insbesondere der Diaphysen übersehen werden. Weiterführende Untersuchungen haben keine therapeutische Konsequenz. Eine Ausnahme stellen die Metatarsalebasisfrakturen dar. Hier sollten bei adäquatem Trauma zum Ausschluss von Instabilitäten des Lisfranc-Gelenks gehaltene Abduktions-Adduktions-Aufnahmen unter Leitungsanästhesie erfolgen.

Stressfrakturen werden meist erst über 2 Wochen nach dem Auftreten eines diffusen Schmerzes über dem Mittelfuß durch eine diskrete Aufhellung (Resorptionssaum) entlang der Frakturlinie radiologisch sichtbar (Geyer et al. 1993). Beweisend ist die Skelettszintigrafie, ggf. die MRT (Zwipp 1994). Frakturen der Metatarsalia müssen von anatomischen Normvarianten und akzessorischen Knochen wie dem Os vesalianum, Os peroneum, Os intermetatarseum und Os cuneometatarsale I abgegrenzt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass die Apophyse an der Basis des Os metatarsale V bei Mädchen ab dem 9. und Knaben ab dem 11. Lebensjahr bis zum Abschluss des Wachstums sichtbar ist.

Klassifikation

Metatarsalefrakturen werden topografisch eingeteilt in:

- Basisfrakturen,
- Schaftfrakturen,
- subkapitale Frakturen und
- Köpfchenfrakturen.

Eine eigene Frakturklassifikation wurde für die häufigen Metatarsale-V-Basisfrakturen eingeführt, um die undifferenzierte Benutzung des Begriffs Jones-Fraktur für alle diese Verletzungen zu vermeiden. Demnach teilen **Dameron und Quill** (Quill 1995) die Metatarsale-V-Frakturen ein in:

- Typ I: Abrissfraktur der Tuberositas,
- Typ II: Akute Fraktur im Übergang Metaphyse-Diaphyse (Jones-Fraktur),
- Typ III: Stressfraktur des proximalen Schafts.

Die eigentliche Jones-Fraktur, eine der ersten überhaupt beschriebenen Frakturen inklusive derjenigen des Namensgebers (Jones 1902), ist somit definiert als Querbruch am gefäßarmen Übergang von der Metaphyse zur Diaphyse, typischerweise 1,5 cm distal der Basis und in die Gelenkfacette zur Metatarsale-IV-Basis ziehend (Sammarco 1993). Häufig ist jedoch eine exakte Abgrenzung zwischen protrahiert heilenden Jones-Frakturen und chronischen Stressreaktionen des proximalen Schaftes schwierig, sodass die viele Autoren lediglich die therapierelevante Unterscheidung nach Dameron (1975) zwischen Frakturen der Tuberositas und Frakturen des meta-diaphysären Übergangs distal der Tuberositas treffen, da sich die Therapie von Frakturen distal der Tuberositas mehr nach ihrer Heilungspotenz als nach der exakten Lokalisation richtet (Torg et al. 1984, Chuckpaiwong et al. 2008).

Torg und Mitarbeiter (1984) klassifizieren die Stressfrakturen und -reaktionen am Os metatarsale V nach ihrem Heilungspotenzial in:

- Typ I: akute Frakturen,
- Typ II: Frakturen mit verzögerter Heilung bei intramedullärer Sklerose und
- Typ III: komplette Pseudarthrosen.

Konservative Therapie

Prinzipiell können alle nicht dislozierten Metatarsalefrakturen inklusive der Stressfrakturen konservativ behandelt werden. Dasselbe gilt für Schaftfrakturen der Strahlen 2–4, welche lediglich in der Frontalebene disloziert sind und keine Verkürzung aufweisen, da in der Regel auch bei verbleibender Fehlstellung keine Funktionsdefizite resultieren (Sanders u. Papp 2007). Basis- und Schaftfrakturen der Ossa metatarsalia II–IV werden nach initialer Abschwellung im Unterschenkelspaltgips für 3–5 Tage, anschließend im gut anmodellierten Gipsschuh (Lopresti-Slipper) für 2–4 Wochen ruhiggestellt (Giannestras u. Sammarco 1975). Bei guter Patientencompliance ist unter engmaschiger Röntgenkontrolle alternativ die frühfunktionelle Behandlung im Spezialschuh mit harter Sohle und frühzeitiger Vollbelastung nach 1–2 Wochen möglich (Zwipp 1994). Nicht dislozierte Basisfrakturen des Os metatarsale V können ebenfalls frühfunktionell im Stützverband ausbehandelt werden (Heineck et al. 2001). Die Jones-Fraktur, welche typischerweise nicht disloziert ist, neigt hingegen aufgrund der kritischen Blutversorgung dieses Bezirks zu prolongierten Heilverläufen mit häufig verspäteter knöcherner Konsolidierung und sollte 8–10 Wochen entlastet und ruhiggestellt werden (Quill 1995).

Beim Auftreten von Stressfrakturen genügt die Einschränkung der Aktivität und progrediente Wiederaufnahme der Belastung je nach Beschwerdebild. Die volle Belastbarkeit ist in der Regel nach 4–6 Wochen, am Metatarsale V nach 8–10 Wochen wieder erreicht (Torg et al. 1984). Bei Leistungssportlern und professionellen Tänzern sollte die Indikation zur Osteosynthese mit der Möglichkeit sofortiger Lastaufnahme sowohl bei der Jones-Fraktur als auch bei der frischen Stressfraktur großzügig gestellt werden zumal bei erneuter Belastung das nicht unerhebliche Risiko einer Refraktur besteht (Torg et al. 1984, Quill 1995, Mologne et al. 2005).

Operative Therapie

2.–4. Strahl

Subkapitale und diaphysäre Frakturen der Mittelstrahlen mit Dislokation in der Sagittalebene werden zur Vermeidung von Fehlbelastungen des Fußballens operativ versorgt (Heckman 1996, Sanders u. Papp 2007). Die Fraktur wird in der Regel mit einer perkutan auf die Basis des Zehengrundgliedes aufgesetzten, spitzen Repositionszange durch axialen Zug eingerichtet. Anschließend erfolgt die Retention mit einem ante- oder retrograd eingebrachten K-Draht (Heim u. Pfeiffer 1988). Bei der retrograden Spickung ist darauf zu achten, dass die Basis der zugehörigen Grundphalanx miterfasst wird, um eine exakte Schaftreposition und -retention sowie eine physiologische Stellung des Zehengrundgelenks zu ermöglichen (◘ Abb. 11.34). Dislozierte Frakturen der Metatarsalebasen und -köpfchen sollten ebenfalls der perkutanen Reposition und K-Draht-Osteosynthese zugeführt werden (Giannestras u. Sammarco 1975, Heckman 1996). Bei ausgeprägter Gelenkverwerfung eines Metatarsaleköpfchens oder subkapitaler Trümmerzone ist die offene Reposition und Rekonstruktion mit Minischrauben oder Plättchen erforderlich (Zwipp 1994).

1. und 5. Strahl

Die Randstrahlen werden auch bei Dislokation in der Frontalebene einer operativen Korrektur unterzogen, da diese unbehandelt in einer veränderten Geometrie des Mittelfußes und konsekutiver

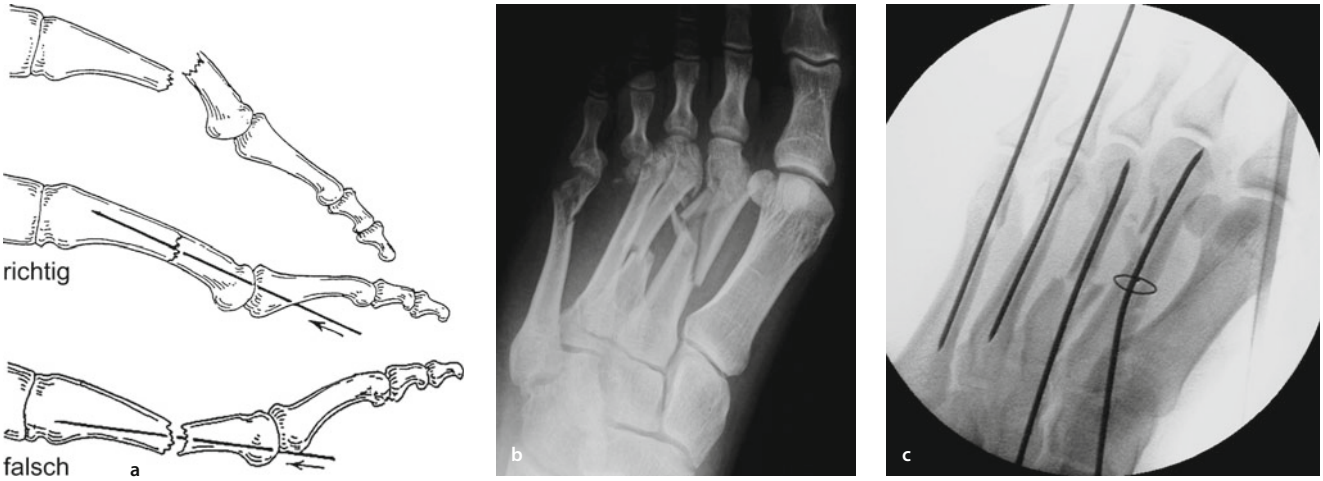


Abb. 11.34a–c **a** Richtige und falsche Vorgehensweise bei der Fixierung einer Metatarsalefraktur mit einem retrograden K-Draht (nach Heim u. Pfeiffer 1988). **b,c** Die Entscheidung zur ante- oder retrograden Spickung erfolgt anhand des individuellen Frakturmusters. Im vorliegenden Fall wurde aufgrund der sehr kleinen Kopffragmente an Os metatarsale IV und V die retrograde Technik, an den anderen Strahlen die antegrade Technik gewählt

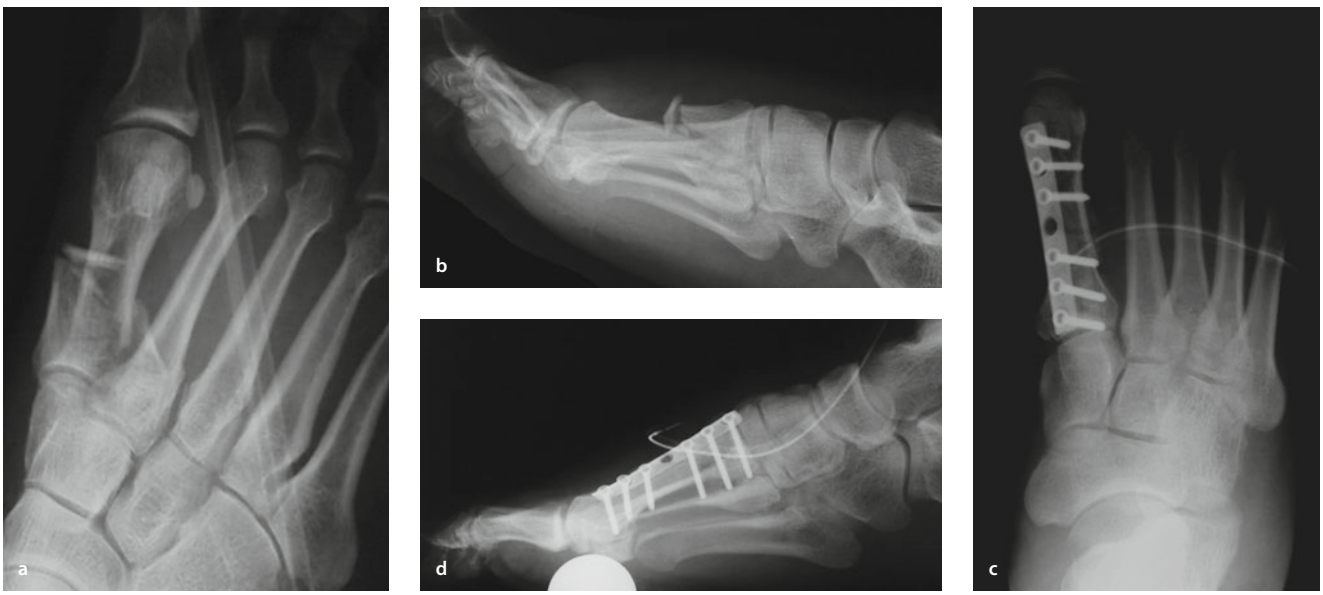


Abb. 11.35a–d **a,b** Dislozierte Mehrfragmentfraktur des Os metatarsale-I-Schafts. **c,d** Die Osteosynthese erfolgt am 1. Strahl vorzugsweise mit einer entsprechend dimensionierten Platte (2,7 mm), um eine ausreichende Stabilität zu erzielen

Zehenfehlstellung (Hallux valgus, Digitus quintus varus) einhergehen. Gelingt die geschlossene Reposition nicht, so wird das Os metatarsale I offen reponiert und mittels Kleinfragmentplattenosteosynthese, bei kritischen Weichteilverhältnissen alternativ mit 2 gekreuzten K-Drähten oder Fixateur externe versorgt (Zwipp u. Rammelt 2002, Abb. 11.35).

Gelenknahe Abrissfrakturen sollten alternativ mit Minischraubenosteosynthese stabilisiert werden (Heckman 1996, Heim u. Pfeiffer 1988). Offene Frakturen erfordern neben dem obligaten Débridement eine minimal-invasive Osteosynthese auch am 1. Strahl (Zwipp 1994). Dislozierte Schaftfrakturen des Os metatarsale V werden ebenfalls mit K-Draht- oder Miniplattenosteosynthese stabilisiert (Heim u. Pfeiffer 1988) (Abb. 11.36). Metatarsale-V-Basisfrakturen mit einer Gelenkbeteiligung von über 30% oder einer Gelenkstufe von >2 mm zum Kuboid sollten offen reponiert und mit Zuggurtungs-, Schrauben- oder Miniplattenosteosynthese stabilisiert werden (Heim u. Pfeiffer 1988, Heineck et al. 2001).

Frakturen des meta-/diaphysären Überganges und Stressfrakturen des proximalen Schafts am Os metatarsale V werden bei professionellen Sportlern und Tänzern, für die prolongierte Ruhigstellungszeiten nicht akzeptabel sind, zunehmend mittels einer perkutan über die Tuberositas eingebrachten Markschraube von ausreichendem Kaliber (4,5–6,5 mm) minimal-invasiv versorgt (Mologne et al. 2005).

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt unter schmerzadaptierter Belastung im gut anmodellierten Gipsschuh (Lopresti-Slipper) für 4–6 Wo-

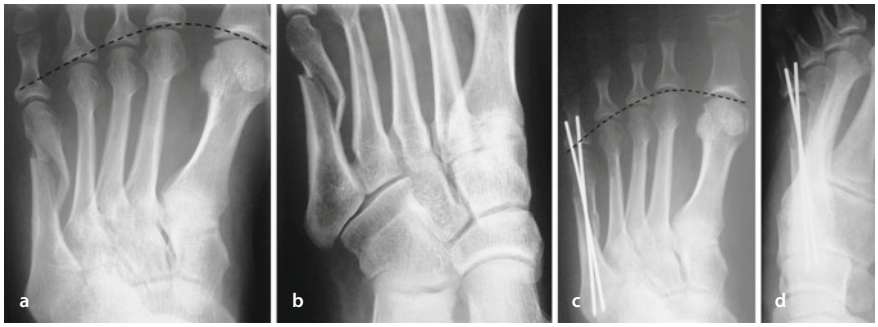


Abb. 11.36a–d **a,b** Verkürzte und nach lateral dislozierte Metatarsale-V-Fraktur. **c,d** Nach geschlossener Reposition und K-Draht-Fixation wiederhergestelltes Alignement der Metatarsaleköpfchen

chen, bei Metatarsale-V-Basisfrakturen alternativ in einer supinationshemmenden Caligamed-Orthese (Heineck et al. 2001).

Prognose und Komplikationen

Schmerzhafte Fehlstellungen mit Klavusbildungen und Metatarsalgien resultieren insbesondere aus konservativ behandelten, primär oder sekundär dislozierten Metatarsalefrakturen und sollten einer sekundären Korrektur zugeführt werden (Zwipp u. Rammelt 2002). Systematische Nachuntersuchungen liegen in der Literatur lediglich für den 5. Strahl vor. Torg und Mitarbeiter (1984) berichten über eine 93%ige Erfolgsquote bei konservativer Behandlung der Stressfrakturen des Os metatarsale V unter 7-wöchiger Entlastung und Ruhigstellung, ggf. im Gips. Schlägt der konservative Behandlungsversuch unter Ausbildung einer manifesten Pseudarthrose (Typ Torg III) fehl, so kann diese mit Aufbohrung des sklerosierten Markraums und Zugschraubenosteosynthese zur Ausheilung gebracht werden. Bei atrophen Pseudarthrosen ist eine zusätzliche Spanbolzung erforderlich (Quill 1995). Glasgow et al. (1996) fanden als Ursache für fehlgeschlagene Operationen bei Jones-Frakturen in 11 Fällen u.a. ein fehlendes Aufbohren des Markraums, eine zu geringe Dimensionierung des Knochenspans (empfohlene Größe 0,7–2 cm) sowie eine zu kleines Implantat (empfohlener Schraubendurchmesser mindestens 4,5 mm). Frische Frakturen der Basis des Os metatarsale V haben bei operativer Therapie mittels Zuggurtungsosteosynthese in den wenigen vorliegenden Studien eine gute Prognose (Heineck et al. 2001).

11.2.8 Zehenfrakturen

Ätiologie

Zehenfrakturen stellen die häufigsten Frakturen am Vorfuß dar. Sie entstehen überwiegend durch direktes Trauma wie dem Anstoßen des ungeschützten Fußes an eine harte Kante als klassische »Nachtwandlerfraktur« oder eine Quetschverletzung durch einen schweren Gegenstand. An der Großzehe frakturiert die Grundphalanx häufiger als die Endphalanx, letztere neigt eher zu Luxationsfrakturen (Sanders u. Papp 2007). Auch Avulsionsfrakturen an der Endgliedbasis (ähnlich denen am Daumen) werden beschrieben, insgesamt bietet sich hier ein buntes Bild bis hin zu offenen Brüchen und Trümmerfrakturen (Zwipp u. Rammelt 2002). An den kleinen Zehen kommt es aufgrund deren Länge am häufigsten zu Frakturen der Grundphalangen. Der permanente Sehnenzug führt gemeinsam mit der Aktion der Fußbinnenmuskulatur regelmäßig zu sekundären Fehlstellungen nach Zehenfrakturen. Auch Stressfrakturen an der Großzehenendphalanx wurden beschrieben. Prädisponierend hierfür sind Vorfußdeformitäten wie der Hallux valgus. Die Systematik der AO/ICI-Klassifikation gilt in der oben beschriebenen Weise auch für die Zehenfrakturen (Zwipp et al. 2004).

Klinik

Anamnese, Schmerzangabe und ggf. sichtbare Dislokation sind für die Diagnose wegweisend. Die Patienten beklagen einen starken Berührungs- und Bewegungsschmerz. Normales, geschlossenes Schuhwerk kann aufgrund der Berührungsempfindlichkeit und/oder begleitenden Schwellung nicht getragen werden. Die Fähigkeit zur Belastung ist bei Frakturen der kleinen Zehen häufig nicht eingeschränkt. Durch die dünne Haut ist leicht eine Krepitation spürbar. Ein gespanntes subunguales Hämatom weist auf eine Verletzung der Endphalanx hin.

Bildgebende Diagnostik

Die klinische Diagnose wird durch a.p.- und 45°-Schrägaufnahmen gesichert, wobei ausgeblendete Aufnahmen das Erkennen feiner Haarrisse erleichtern. Seitliche Einstellungen bringen aufgrund der Überlagerungen keine zusätzliche Information, lassen bei Luxationsfrakturen jedoch die Dislokationsrichtung erkennen.

Konservative Therapie

Nicht dislozierte Fakturen können generell frühfunktionell mit einer harten Gehsohle oder einer temporären Verstärkungsleiste unter Anheftung der frakturierten an die benachbarte gesunde Zehe mittels Pflasterzügelverband für 2–3 Wochen ausbehandelt werden (buddy taping). Dabei ist stets auf eine ausreichende Durchblutung der Zehe zu achten. Die Zwischenzehenräume werden gepolstert, um Hautmazerationen zu vermeiden.

Operative Therapie

Subunguale Hämatome werden unter sterilen Kautelen über Trepanation entlastet. Frakturen mit Verletzungen des Nagelwalls sind als offene Frakturen zu betrachten und entsprechend zu behandeln. Dies beinhaltet analog der üblichen Prinzipien ein notfallmäßiges Débridement, Lavage und temporäre K-Draht-Transfixation.

Die Reposition dislozierter Kleinzehenfrakturen (2.–5. Strahl) erfolgt in Leitungsanästhesie über Längszug und gleichzeitige Abduktion oder Adduktion – in Abhängigkeit von der Fehlstellung. Gelingt die geschlossene Reposition, so kann die weitere Therapie im Pflasterzügelverband erfolgen (Abb. 11.37). Nur in Ausnahmefällen ist bei geschlossen irreponiblen Frakturen oder offenen Frakturen die offene Reposition erforderlich. Unter permanentem Längszug erfolgt die Retention mittels retrograder Kirschnerdrahtfixation für 3–4 Wochen, bei Luxationsfrakturen bis zu 6 Wochen.

Frakturen der funktionell bedeutsameren Großzehe müssen häufiger offen reponiert und stabil retiniert werden, um eine Achsenfehlstelung oder Gelenkverwerfung mit der Entwicklung eines posttraumatischen Hallux rigidus zu vermeiden. Die Osteosynthese erfolgt bei unikondylären Frakturen mit parallel zur Gelenkflä-

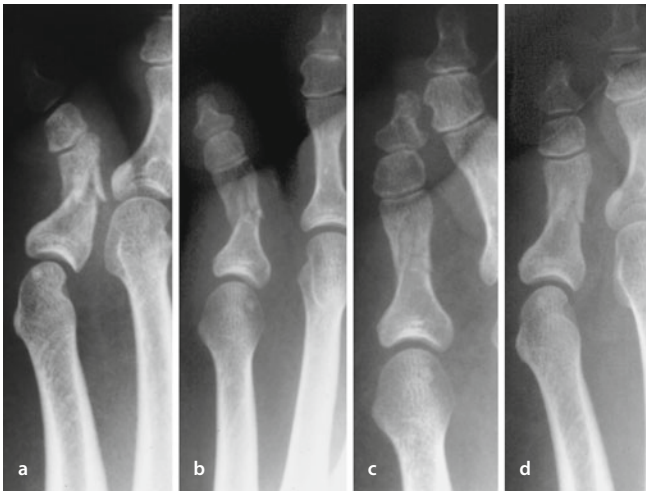


Abb. 11.37a–d Dislozierte Kleinzehenfrakturen lassen sich in Lokalanästhesie meist mühelos reponieren (**a,b**) und werden im Pflasterzügelverband für 2–3 Wochen ruhiggestellt (**c,d**)

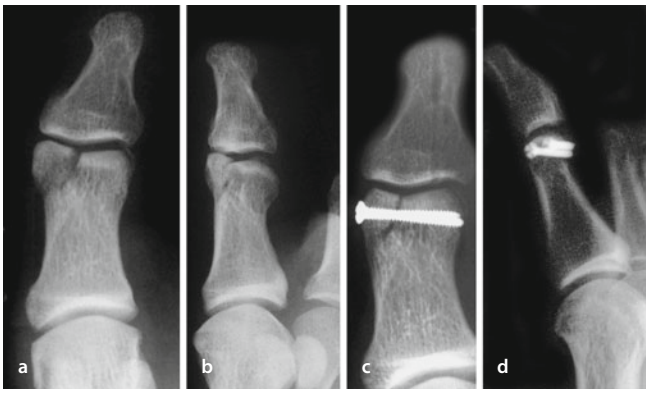


Abb. 11.38 Schraubenosteosynthese einer dislozierten Kondylenfraktur des Großzehengrundgliedes

che eingebrachten Minischrauben. Bei den instabilen bikondylären Frakturen werden Platten des Minifragment-Instrumentariums zur Gelenkrekonstruktion eingesetzt (Mittlmeier u Haar 2004, Abb. 11.38). Postoperativ wird die Ruhigstellung unter Vollbelastung im Lopresti-Slipper mit Verstärkungssteg über der Großzehe für 10 Tage empfohlen (Zwipp 1994). Beim Vorliegen einer erheblichen Weichteilschwellung oder Hautkontamination sollte die Osteosynthese wie am übrigen Fuß im Intervall erfolgen. Frakturen der Epiphysenfugen werden analog zu denjenigen der langen Röhrenknochen behandelt (Noonan et al. 1994).

Bei persistierenden Schmerzzuständen nach Frakturen oder Stressfrakturen der Sesambeine wird die partielle Resektion des meist betroffenen tibialen Sesambeines über einen medialen Zugang empfohlen (Giannestras u. Sammarco 1975). Bei der Präparation ist das mediale Gefäß-Nerven-Bündel darzustellen und zu schonen, der betroffene Pol des tibialen Sesambeins wird vorsichtig aus der Sehne des M. flexor hallucis brevis herausgeschält, ohne deren Kontinuität zu durchtrennen, um der Entstehung eines Hallux valgus vorzubeugen (Pfeffinger u. Mann 1986). Die Exzision beider Sesambeine sollte wann immer möglich vermieden werden (Richardson 1999).

Komplikationen und Prognose

Frakturen der kleineren Zehen heilen zumeist folgenlos aus, selbst wenn geringe Fehlstellungen bestehen bleiben (Giannestras u. Sammarco 1975, Sanders u. Papp 2007). Lediglich Achsenabweichungen nach Grundphalanxfrakturen können zu einer schmerzhaften Mehrbelastung am Fußballen führen (Myerson 1991). Gelenkfrakturen der Großzehenphalangen können jedoch zu einer erheblichen posttraumatischen Arthrose und Bewegungseinschränkung bis hin zum Vollbild des Hallux rigidus führen. Pinckney et al. (1981) berichten über die Entwicklung einer Osteomyelitis bei 4 von 6 Patienten mit okkulten Frakturen der Großzehe bei Anpralltraumata mit Nagelbettverletzungen, weswegen diese Verletzungen mit allen Kautelen offener Frakturen behandelt werden müssen. Epiphysenfugenverletzungen der Großzehe bei Kindern und Jugendlichen unter 16 Jahren führen häufig zu einem zumindest partiellen frühzeitigen Fugenschluss mit entsprechenden Wachstumsstörungen, welche jedoch in den wenigen bislang dokumentierten Fällen gut toleriert wurden (Noonan et al. 1994).

11.3 Band- und Sehnenverletzungen

11.3.1 Distale tibiofibulare Syndesmose

Ätiologie

Rein ligamentäre Verletzungen der distalen Syndesmose entstehen in etwa 1–11% aller Distorsionen im oberen Sprunggelenk (Grass et al. 2000, Zwipp 1994). Als Verletzungsmechanismus wird die forcierte Außenrotation des Talus in der Knöchelgabel bei dorsalextendiertem Fuß angegeben, wodurch der breitere hintere Anteil der Talusrolle die Sprunggelenkgabel sprengt (Frick 1986), was häufig bei Kontaktsportarten wie Fußball, Rugby und Lacrosse, aber auch beim Skisport auftritt. Aus dem Gesagten resultiert die hohe Inzidenz von knöchernen oder ligamentären Syndesmosenverletzungen bei Malleolarfrakturen vom Pronations-Eversions- und Pronations-Abduktions-Typ nach Lauge-Hansen. Bei den rein ligamentären Syndesmosenrupturen muss zwischen stabilen Verletzungen (meist eine isolierte Ruptur des Ligamentum tibiofibulare anterius) und instabilen Verletzungen (mit latenter oder manifester Diastase) unterschieden werden.

Klinik

Akute Syndesmosenrupturen präsentieren sich klinisch mit Schmerzen über dem anterolateralen Aspekt des oberen Sprunggelenks, welche sich auf Druck und forcierte Dorsalflexion des Fußes verstärken. Die Abgrenzung gegenüber den häufigen Läsionen des lateralen Kollateralbandapparats gelingt bereits mittels klinischer Tests, wie dem Frick-Test (Außenrotation des Fußes gegen den fixierten Unterschenkel) und dem tibiofibularen Kompressionstest, welche eine hohe Spezifität für Syndesmosenverletzungen aufweisen (Frick 1986). Als Hinweis auf eine frische oder chronische Syndesmoseninsuffizienz gilt zudem das subjektive Instabilitätsgefühl, die eingeschränkte Dorsalflexion sowie eine zurückliegende »Distorsion«, welche protrahierte Beschwerden verursacht (Grass et al. 2000, ► Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Bildgebende Diagnostik

Zur Standarddiagnostik gehören konventionelle Aufnahmen des oberen Sprunggelenks im lateralen, a.p.- und 20°-einwärtsgerichteten Strahlengang (Mortise view). In den letztgenannten Aufnahmen erfolgt die Beurteilung des Espace clair (tibiofibular clear space), welcher in beiden Projektionen unter 6 mm betragen muss

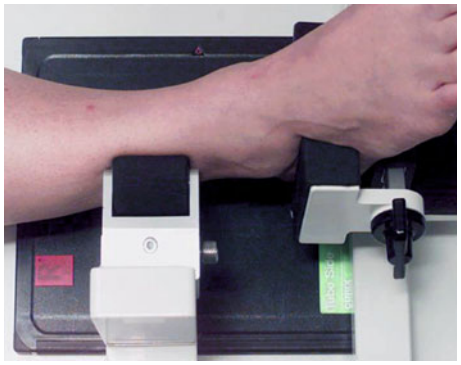


Abb. 11.39 Dynamische Überprüfung der Syndesmosenstabilität im TELOS-Halteapparat. Bei manifester Syndesmoseninsuffizienz kommt es zu einer Subluxation des Talus nach lateral mit einer nachweisbaren Erweiterung der medialen Gabelweite

(Abb. 11.11). Aufgrund der interindividuellen Variabilität sind bei grenzwertigen Befunden Aufnahmen der Gegenseite indiziert; eine Differenz von >2 mm weist hier auf eine Syndesmoseninstabilität hin. Die Projektion des Tuberculum anterius tibiae über die Fibula (tibiofibular overlap) beträgt im a.p.-Strahlengang >6 mm (oder 40% der Tibiabreite), bei 20°-Innenrotation mindestens 1 mm. Die mediale Gelenkspaltweite (medial clear space) beträgt im Normalfall <4 mm bzw. überschreitet nicht die obere Gelenkspaltweite (Weber 1966, 1981). Bei chronischen Syndesmosenläsionen lassen sich fakultativ zusätzlich arthrotische Veränderungen und Ossifikationen auf Syndesmosenhöhe beobachten. Die dynamische Untersuchung zur Aufdeckung einer latenten Diastase erfolgt unter dem Bildwandler. Hierzu fasst eine Hand des Untersuchers den distalen Unterschenkel knapp oberhalb der Syndesmose von lateral, mit der anderen Hand wird der Fuß von medial umfasst und nach lateral gedrückt. Bei Syndesmoseninsuffizienz kommt es zu einer deutlichen Erweiterung der medialen Gabelweite. Reproduzierbare Ergebnisse lassen sich durch die standardisierte Messung im TELOS-Halteapparat erreichen (Abb. 11.39).

Bei grenzwertigen Befunden bzw. zur Planung der operativen Syndesmosenstabilisierung ist eine CT in sagittaler Schnittführung angezeigt, welche auch Rotationsfehler der distalen Fibula aufdeckt (Zwipp et al. 2002). Dabei ist darauf zu achten, dass die CT-Schnitte auf beiden Seiten in exakt derselben Höhe gelegt werden. Eine Seitendifferenz von 2 mm und mehr ist pathognomonisch für eine Syndesmoseninsuffizienz (Xenos et al. 1995). Darüber hinaus hat sich in der eigenen Praxis die frontale Rekonstruktion zur Objektivierung einer lateralen Subluxation des Talus bewährt (Grass et al. 2000).

Eine zuverlässige Methode zur Detektion isolierter Rupturen des Ligamentum tibiofibulare anterius bei fehlender Instabilität ist die Arthrografie, welche jedoch innerhalb von 48 h nach dem Unfallereignis durchgeführt werden muss (Frick 1986, Zwipp 1994). Die MRT hat ebenfalls eine hohe Spezifität und Sensitivität und ist insbesondere im Zweifelsfall bei rein ligamentärer Läsion hilfreich.

Klassifikation

Neben der praxisrelevanten Unterscheidung von stabilen und instabilen Syndesmosenläsionen, muss zwischen akuten, subakuten und chronischen Verletzungen unterschieden werden. Nach Edwards u. DeLee (1984) wird in latente (nur in Stressaufnahmen sichtbare) und evidente Diastasen unterschieden. Wenig Verbreitung gefunden hat die weitere Unterteilung der evidenten Diastasen in z.T. extrem seltene Untergruppen.

Einigkeit besteht anhand klinischer und biomechanischer Studien, dass eine latente oder evidente Diastase des Espace clair von >2 mm im Seitenvergleich einer Ruptur von mindestens 2 Syndesmosenbändern entspricht und somit operativ stabilisiert werden muss.

Therapie und Prognose

Akute Syndesmoseninstabilität

Stabile Verletzungen ohne nennenswerte Diastase, wie isolierte Rupturen des Ligamentum tibiofibulare anterius können erfolgreich konservativ-funktionell in einer supinationshemmenden Knöchelorthese für 5 Wochen ausbehandelt werden (Zwipp 1994). Akute Syndesmosenrupturen mit resultierender Instabilität werden mit einer, besser 2 Syndesmosenstellschrauben fixiert (Heim u. Pfeiffer 1988, Zwipp et al. 2002). Eingeschlagene Bandanteile werden über einen anterolateralen Zugang ausgeräumt, die Fibula mittels übergreifender Repositionszange exakt in die Inzisur eingepasst und temporär mit einem K-Draht gehalten. Die definitive Stabilisierung erfolgt mit einer oder 2 fibulotibialen Stellschrauben – analog zum Vorgehen bei Malleolarfrakturen. Größere erhaltene Bandzügel des Ligamentum tibiofibulare anterius werden transossär refixiert.

Chronische Syndesmoseninstabilität

Die Therapie chronischer Syndesmosenläsionen wird in der Literatur kaum behandelt. Ogilvie-Harris u. Reed (1994) beschrieben eine symptomorientierte arthroskopische Therapie bei Patienten mit mindestens 2-jähriger Leidensgeschichte. Die arthroskopische Resektion der Bandreste des Ligamentum tibiofibulare interosseum, verbunden mit einer Gelenktoilette und Knorpelglättung im oberen Sprunggelenk führte kurzfristig zu einer Beschwerdeminderung in einer Gruppe von 19 Patienten. Harper (2001) sah gute kurzfristige Resultate in 6 Fällen einer geschlossenen Reposition und sekundären Stellschraubenfixation.

Castaing und Mitarbeiter (1961) entwickelten eine Peroneus-brevis-Bandplastik, welche das Ligamentum tibiofibulare anterius und posterius rekonstruierte. Diese Technik wurde von Grass et al. (2003) dahingehend modifiziert, dass mittels Peroneus-longus-Bandplastik die anatomische Dreipunktfixation der Fibula in der Tibiainzisur wiederhergestellt wird (Abb. 11.40a,b, Grass et al. 2003). Syndesmosenregion und Peronealsehnenverlauf werden über einen bogenförmigen anterolateralen Hautschnitt dargestellt. Die Tibiainzisur wird von Pannusgewebe und narbigen Bandresten débridiert und die Fibula wie bei der akuten Verletzung mit übergreifender Repositionszange in die Inzisur reponiert, wo sie mittels K-Draht gehalten wird. Die Peroneus-longus-Sehne wird von proximal her bis auf Syndesmosenhöhe gespalten und das freie Ende mit einer PDS-Naht armiert. Nun wird ein 4,5 mm-Kanal in a.p.-Richtung 2,5 cm oberhalb des Tibiaplafonds und 1,5 cm medial des lateralen Randes in die distale Tibia gebohrt. Ein zweiter, 3,5 mm messender Kanal wird auf Höhe des Tuberculum posterius fibulae schräg nach dorsal, kranial und medial gebohrt, ein dritter wird etwas weiter kranial von der Mitte des lateralen Aspektes der Fibula direkt auf den Bohrkanal in der Tibia gerichtet (Abb. 11.40a, Grass et al. 2003). Die armierte halbe Peroneus-longus-Sehne wird nun zunächst in den tibialen Kanal auf Höhe des Tuberculum posterius fibulae eingebracht und aus dem Tuberculum anterius tibiae ausgeleitet. Mit einer Öse wird der Armierungsfaden vom kranialen fibularen Kanal aus gefasst und die Sehne aus dem kranialen fibularen Bohrloch herausgezogen. Die Sehne wird dann von lateral nach medial ansteigend über den Vorderrand von fibularer Gelenkfläche, Außenknöchel und Tibiainzisur in den vorderen Anteil des tibialen Kanals geführt, gestrafft und mit einer 3,5 mm-Spongiosaschraube

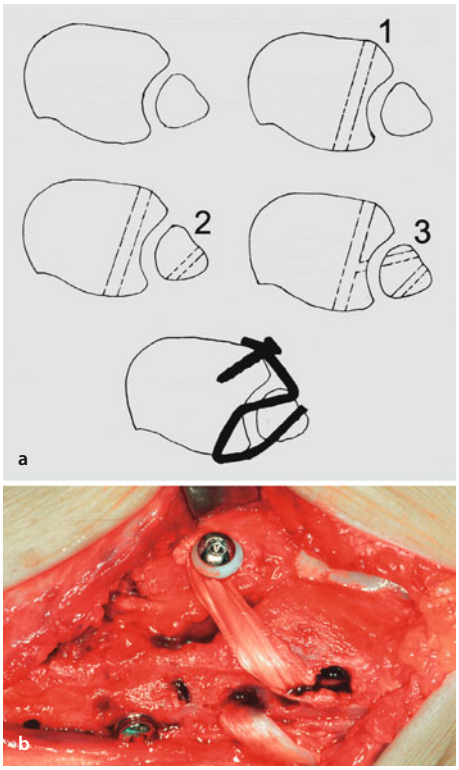


Abb. 11.40a,b Verlauf der Bohrkanäle und des Peroneus-longus-Spans bei der modifizierten Castaing-Plastik im Schema (**a**) sowie im operativen Situs (**b**)

und Zackenkranzunterlegscheibe fixiert (Abb. 11.40b, Grass et al. 2003). Eine temporäre Stellschraube sichert die Plastik.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt im Unterschenkelcast unter Teilbelastung des operierten Beins mit 20 kp für 8 Wochen. Anschließend wird die Stellschraube entfernt und zügig auf Vollbelastung übergegangen. In einer ersten Serie von 16 Patienten mit symptomatischer chronischer Syndesmoseninsuffizienz wurden mehrheitlich gute Ergebnisse bei deutlicher Beschwerdereduktion gesehen (Grass et al. 2003).

11.3.2 Laterale Instabilität im oberen Sprunggelenk

Ätiologie

Verletzungen des lateralen Kollateralbandapparats, im Folgenden fibulare Bandrupturen genannt, gehören mit einer geschätzten Inzidenz von einer Verletzung pro Tag pro 10.000 Einwohner zu den häufigsten Verletzungen überhaupt. Sie stellen zudem rund ein Fünftel aller spezifischen Sportverletzungen, beim Basketball sind es sogar 45% (Clanton 1999). Der typische Unfallmechanismus besteht in einer forcierten Adduktion, Supination und Innenrotation des Fußes, wie beim Vertreten auf einer Bordsteinkante oder dem Sprung auf ein Hindernis bzw. eine Unebenheit. In einer Analyse von 1307 behandelten Patienten machten Sportunfälle mit 50% den Hauptanteil aus, 34% entfielen auf Haushaltunfälle, <14% auf Arbeits- und Wegeunfälle (Zwipp 1986). Prädisponierende Faktoren sind unzweckmäßiges Schuhwerk (insbesondere hohe Absätze), generelle Bandlaxität, Calcaneus varus, angeborene oder erworbene Muskelschwäche und propriozeptive Defizite (Zwipp 1986). Das Ligamentum fibulotalare anterius (FTA) als schwächstes Band ist bei chirurgischer Exploration in ca. 75% aller fibularen Bandläsionen komplett rupturiert. Das Ligamentum fibuloclacaneare (FC) ist in 60% rupturiert, das kräftige Ligamentum fibulotalare posterius (FTP) ist in <5% betroffen und bei Exploration zumeist nur inkomplett rupturiert.

Die Ruptur aller 3 Bänder resultiert in einer ausgeprägten Instabilität mit einer Taluskippung von über 30° (Luxatio pedis supinatoria). Die mit einer Inzidenz von 0,2% seltene Luxatio pedis cum talo entspricht einer extremen Form der Ruptur aller 3 fibularen Kollateralbänder sowie des Ligamentum deltoideum und geht oft mit osteochondralen Taluskantenfrakturen einher (Zwipp 1994). Letztere werden in ca. 2,4% aller fibularen Bandrupturen radiologisch gesehen, führt man bei symptomatischen Patienten eine Arthroskopie durch, finden sich in zwei Dritteln der Fälle oberflächliche Knorpelläsionen und in 20% abgescherte Knorpelfragmente im Gelenk (van Dijk et al. 1996 b). Nicht selten entstehen auch Verletzungen der Peronealsehnen sowie der Retinakula (Karlsson et al. 1998). Die Ruptur des Ligamentum fibulotalare anterius oder fibulocalcaneare resultiert in einer dreidimensionalen Instabilität des oberen Sprunggelenks, welche in Analogie zum Kniegelenk als anterolaterale Rotationsinstabilität (ALRI) bezeichnet wird (Zwipp 1986):

1. eine Varuskippung in der Frontalebene,
2. eine vordere Schublade in der Sagittalebene,
3. eine Innenrotation des Talus in der Frontalebene.

Klinik

Klinisch imponiert bei **frischen fibularen Bandrupturen** ein deutlich ausgeprägtes perimalleoläres Hämatom mit einem Druckschmerz unterhalb der Außenknöchelspitze im Verlauf der Bandansätze. Die Patienten beschreiben ein typisches »Vertreten« des Fußes nach innen, zuweilen verbunden mit einem spür- und hörbaren »Klick«. Der betreffende Fuß wird entlastet, das Auftreten ist jedoch möglich. Die anteroposteriore Instabilität des oberen Sprunggelenks kann am entspannten Patienten klinisch sehr zuverlässig erfasst werden, indem die vordere Schublade überprüft wird. Das Ausüben eines Varusstresses ist bei der akuten Verletzung deutlich schmerzhafter. Van Dijk und Mitarbeiter (1996 a) fanden jedoch eine Spezifität von 84% und Sensitivität von 96% für die klinische Beurteilung von Schublade und Varusstress im Intervall von 4–7 Tagen nach dem Trauma, während die Untersuchung innerhalb von 48 h nach dem Unfall keine ausreichende Diagnosesicherheit erbrachte. **Chronische Bandinstabilitäten** resultieren in einer Gangunsicherheit mit rezidivierenden Umknickereignissen (habituelle Distorsionen, durchschnittlich 1-mal/Woche). In der Hälfte der Fälle besteht zusätzlich eine chronische synovitische Reizung des oberen Sprunggelenks, in immerhin einem Drittel liegt eine Tendovaginitis, Kontraktur oder Atrophie der Peronealmuskulatur vor (Zwipp 1994).

Bildgebende Diagnostik

Die Standardröntgenaufnahmen des oberen Sprunggelenks in 2 Ebenen dienen dem Nachweis von osteochondralen Frakturen, Malleolarfrakturen vom Typ Weber A, Kapselavulsionen oder frischen bzw. alten knöchernen Bandausrissen. Bei chronischen Bandinstabilitäten finden sich zusätzlich Zeichen einer Arthrose im oberen Sprunggelenk, v.a. mit einer vermehrten subchondralen Sklerosierung im medialen Kompartiment als Ausdruck einer chronischen Überlastung (Zwipp 1994). Die Stabilität des oberen Sprunggelenks wird mit gehaltenen Aufnahmen in Leitungsanästhesie (Peroneusblock) mit dem TELOS-Gerät (15 kp) in 2 Ebenen überprüft und das Ausmaß von Talusvorschub und Taluskippung radiologisch erfasst (Abb. 11.41).

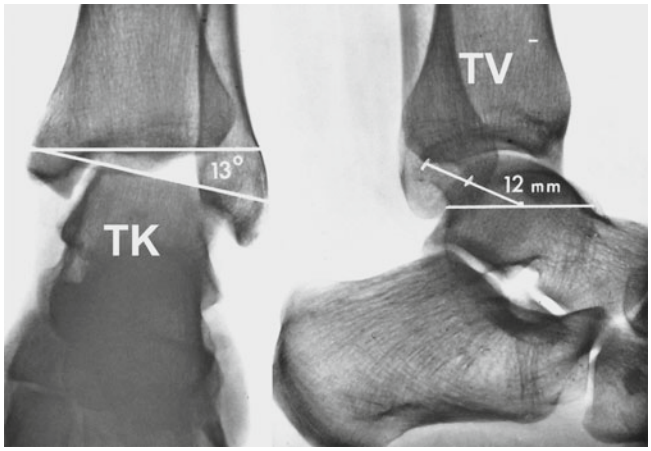


Abb. 11.41 Standardisierte radiologische Quantifizierung von Taluskippung (*TK*) und Talusvorschub (*TV*)

Tab. 11.2 Graduierung der anterolateralen Rotationsinstabilität (ALRI) des OSG bei fibularer Bandruptur (Aus: Zwipp 1994).

TK/TV klinisch	TK radiologisch (°)	TV radiologisch (mm)	STV (mm)
1+	5–9	5–7	3–4
2+	10–15	8–10	5–6
3+	16–30	>10	>6

TK Taluskippung, *TV* Talusvorschub, *STV* sonografisch ermittelter Talusvorschub. Bei einer Taluskippung >30° liegt eine Luxatio pedis supinatoria vor.

Wenngleich in der Hand des erfahrenen Untersuchers die klinische Diagnose recht zuverlässig ist, dürften Fehldiagnosen in einer interdisziplinären Notaufnahme mit wechselndem Personal in einem unterschiedlichen Ausbildungsstand schon häufiger sein, sodass in diesen Fällen eine Objektivierung der Instabilität durch gehaltene Aufnahmen durchaus sinnvoll ist. Gleiches gilt für Patienten mit dem Verdacht auf Vorliegen einer chronischen Instabilität oder generellen Bandlaxität. Bei grenzwertigen Befunden und unklarer Anamnese (rezidivierende Supinationstraumata) sollte auch die Gegenseite als Kontrolle hinzugezogen werden. Als pathologisch gilt eine Taluskippung von >7° bzw. >5° Seitendifferenz sowie ein Talusvorschub von >7 mm bzw. >5 mm Seitendifferenz (Zwipp 1986). Die sonografische Ermittlung des Talusvorschubs (Stresssonografie) ergibt eine vergleichbare Diagnosesicherheit bei Verzicht auf Strahlenexposition, hat sich jedoch im klinischen Alltag nicht durchgesetzt.

Klassifikation

Zur Festlegung des Therapieregimes muss in **akute, chronische** und **Second-stage-Verletzungen** unterschieden werden (Zwipp 1994). Als Second-stage-Verletzungen werden akute Rupturen nach stabil ausgeheilter zurückliegender Bandruptur bezeichnet. Diese imponieren klinisch wie erstmalige Bandrupturen, radiologisch finden sich meist Zeichen einer abgelaufenen Verletzung wie Ossifikationen im Bandverlauf (v.a. subfibular, aber auch im Ligamentum deltoideum). Es genügt jedoch auch die zuverlässige Anamnese. Der Grad der Instabilität wird nach Zwipp (1994) anhand klinischer, radiologischer und sonografischer Kriterien eingeteilt (Tab. 11.2).

Therapie bei akuter Instabilität

Konservative Therapie

In der Zusammenschau von 20 randomisierten und quasi-randomisierten Studien mit 2.562 eingeschlossenen Patienten konnte keine signifikante Überlegenheit der operativen Therapie gegenüber der nichtoperativen Therapie nachgewiesen werden, sodass bei den Risiken des operativen Eingriffs der nichtoperativen Therapie der Vorzug zu geben ist (Kerkhoffs et al. 2007). Zudem können in Fällen einer verbleibenden Instabilität rekonstruktive Maßnahmen mit guten Erfolgsaussichten durchgeführt werden (Zwipp et al. 2000). Wichtig für den Behandlungserfolg ist eine frühfunktionelle Behandlung mit anschließendem Eigenreflextraining (Zwipp 1994).

Mit Ausnahme der unten angeführten Restindikationen werden im eigenen Vorgehen >95% der akuten fibularen Bandrupturen sowie Second-stage-Rupturen folgendem Therapieregime zugeführt:

- Ruhigstellung im Unterschenkelspaltgips, Hochlagerung, Antiphlogistika, niedermolekulares Heparin bis zum Rückgang des Hämatoms (3–5 Tage),
- Anlage einer Knöchelorthese (z.B. MHH/Caligamed) für 5 Wochen (Tag und Nacht) unter Vollbelastung,
- Eigenreflex- und Pronatorentraining (6 Einheiten) nach Abnahme der Orthese (Abb. 11.42).

Operative Therapie

Die Restindikationen zur operativen Therapie bestehen in folgenden Verletzungsmustern (Zwipp 1994, Zwipp et al. 2000):

1. extreme Formen der Instabilität [Luxatio pedis cum talo (Abb. 11.43) in 0,2%, Luxatio pedis supinatoria in <4%, insbesondere bei zusätzlicher medialer Bandläsion,
2. osteochondrale Taluskantenfrakturen (Inzidenz 2,4%, häufig kombiniert mit 1.),
3. geschlossen irreponible knöcherne Bandausrisse (<1%, eher bei Kindern und Jugendlichen),
4. gespanntes perimalleoläres Hämatom mit Gefährdung der Hauttrophik (<0,1%)
5. offene Verletzungen.

Die operative Versorgung fibularer Bandrupturen erfolgt in Rückenlage des Patienten mit Unterpolsterung des Gesäßes auf der betroffenen Seite, um eine bessere Exposition des Außenknöchels zu gewährleisten. Ein lateraler Zugang mit epimalleolärer Schnittführung gestattet die Darstellung aller 3 Bänder. Die Versorgung beginnt mit dem Ligamentum fibulotalare posterius, da dies nur bei lateral klaffendem Gelenk zugänglich ist (Abb. 11.44). In den seltenen Fällen eines kompletten Abrisses vom Tuberculum laterale des Processus posterior tali bzw. subperiostalem Abriss von der medial gelegenen Grube der Fibulahinterkante erfolgt die transossäre Refixation. Bei kompletter intraligamentärer Ruptur wird eine Durchflechtungsnaht gelegt. Inkomplette Abrisse heilen nach Reposition problemlos aus. Das Ligamentum fibulotalare anterius wird bei intraligamentärer Ruptur mit U-Nähten, bei subperiostalem Ausriss an Fibula oder Talus nach Aufrauen der Bandansätze transossär refixiert (Abb. 11.44). Fibulanahe Rupturen und fibulare Ausrisse des Ligamentum fibulocalcaneare können problemlos transossär oder mittels Fadenanker versorgt werden (Abb. 11.44). Bei intraligamentären Rupturen müssen zur Anlage einer Durchflechtungsnaht die Peronealsehnen vorsichtig in der Sehnenscheide mobilisiert und wechselweise nach kranial bzw. kaudal weggehalten werden. Der N. cutaneus dorsalis lateralis als Endast des N. suralis, welcher

Abb. 11.42 Eigenreflextraining zur Verbesserung der Propriozeption der Peronealmuskulatur mit dem Therapiekreisel

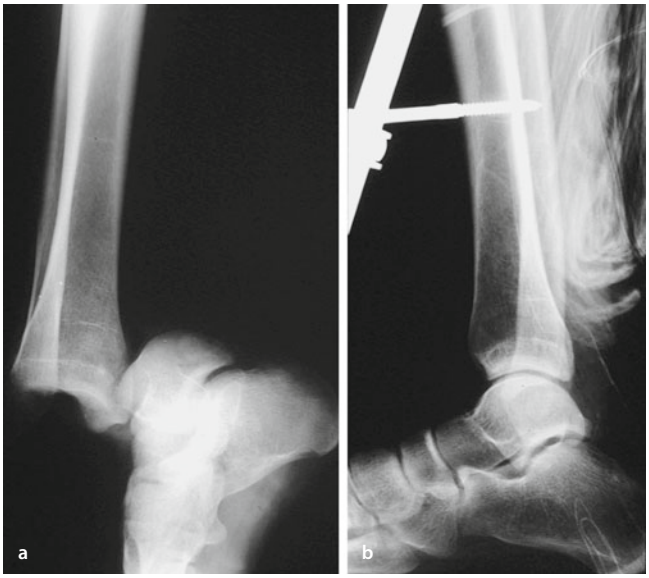
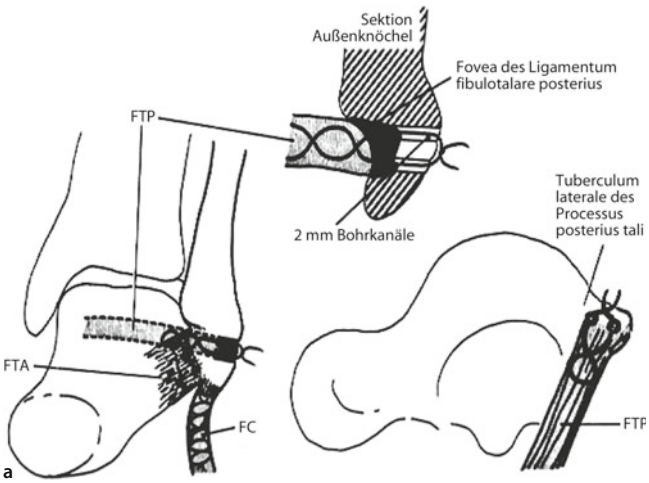
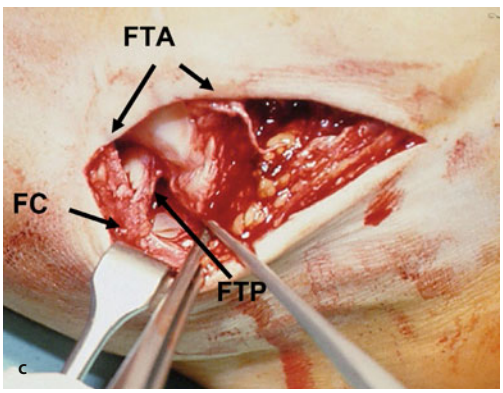


Abb. 11.43a,b **a** Die seltene Luxatio pedis cum talo stellt eine Restindikation zur notfallmäßigen Reposition und primären Rekonstruktion des komplett zerstörten fibularen Bandapparats dar. **b** Zusätzlich wird zur Protektion ein tibiometatarsaler Fixateur externe angelegt





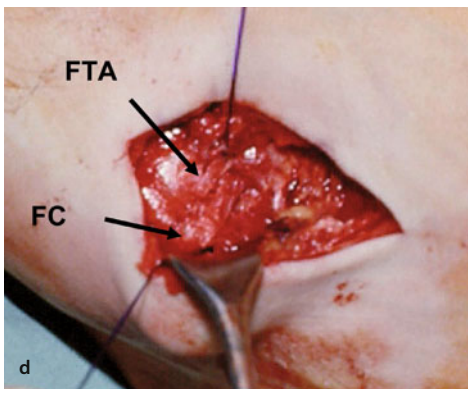


Abb. 11.44a–d **a** Schema der Rekonstruktion der Komponenten des Außenbandapparats bei akuter anterolateraler Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenks (*FTA* Ligamentum fibulotalare anterius, *FC* Ligamentum fibulocalcaneare, *FTP* Ligamentum fibultalare posterius). (Aus: Zwipp 1994). **b** Klinisches Beispiel einer Dreibandläsion mit Taluskippung von 30° und Talusvor-schub von 10 mm. **c** Beim Vorliegen einer offenen Wunde erfolgte die Exploration, welche eine Ruptur von FTA und FC sowie eine Auffaserung von FTP ohne komplette Druchtrennung ergab (*Pfeile*). **d** Direktnaht der Bandstümpfe von FTA und FC

unmittelbar dorsal der Peronealsehnenscheide verläuft, muss dargestellt und geschont werden. Dasselbe gilt für Ausrisse am kalkanearen Ansatz, welche transossär refixiert werden. Für alle Bandnähte am oberen Sprunggelenk empfiehlt sich generell atraumatisches, monofiles, resorbierbares Nahtmaterial der Größe 2/0 (Zwipp 1994). Die Nachbehandlung erfolgt funktionell mit Unterschenkelspaltgips bis zur Wundheilung, danach in einer Knöchelorthese für weitere 5 Wochen mit anschließendem Eigenreflextraining.

Therapie bei chronischer Instabilität

Konservative Therapie

Schätzungsweise 50% der Patienten mit chronischer Bandinstabilität sprechen auf konsequente Ruhigstellung in einer Knöchelorthese mit lateraler Schuhranderhöhung und anschließendem Pronatoren- und Eigenreflextraining an, insbesondere dann, wenn inkonsequente Therapieversuche bei früheren Verletzungen vorausgegangen waren (Clanton 1999). Liegt klinisch keine höhergradige Instabilität vor, so ist insbesondere bei unklarer Anamnese ein einmaliger konservativ-funktioneller Therapieversuch lohnenswert. Zudem ist die konservative Therapie bei lokalen oder systemischen Kontraindikationen zur operativen Behandlung angezeigt.

Operative Therapie

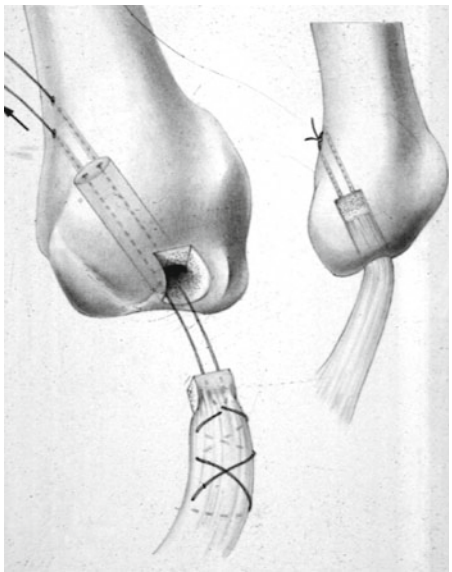
Bei über 80 Verfahren zur Rekonstruktion des lateralen Kollateralbandapparats empfiehlt sich das situationsbezogene Vorgehen nach einem therapeutischen Algorithmus (◘ Tab. 11.3), wobei prinzipiell der anatomischen Rekonstruktion im Vergleich zu extraanatomischen Tenodesen der Vorzug zu geben ist (Zwipp 1994, Zwipp et al. 2002).

Die operative Exploration beginnt über einen epimalleolären Schnitt wie bei der frischen Verletzung. Wann immer möglich, sollte vorhandenes Gewebe für die **direkte Rekonstruktion** genutzt werden. Dystop verheilte Bänder werden an ihren anatomischen Ort zurückverlagert und transossär refixiert (◘ Abb. 11.45). Elongierte Bänder werden unter Verkürzung transossär bzw. mittels Fadenanker reinseriert. Pseudarthrotische Ausrisse eines oder mehrerer Bänder am Außenknöchel (so genanntes Os subfibulare) werden nach Anfrischung des ehemaligen Betts mittels Drahtcerclage oder bei entsprechender Größe mittels kleiner Spongiosaschraube und Unterlegscheibe knöchern reinseriert (Zwipp et al. 1999b).

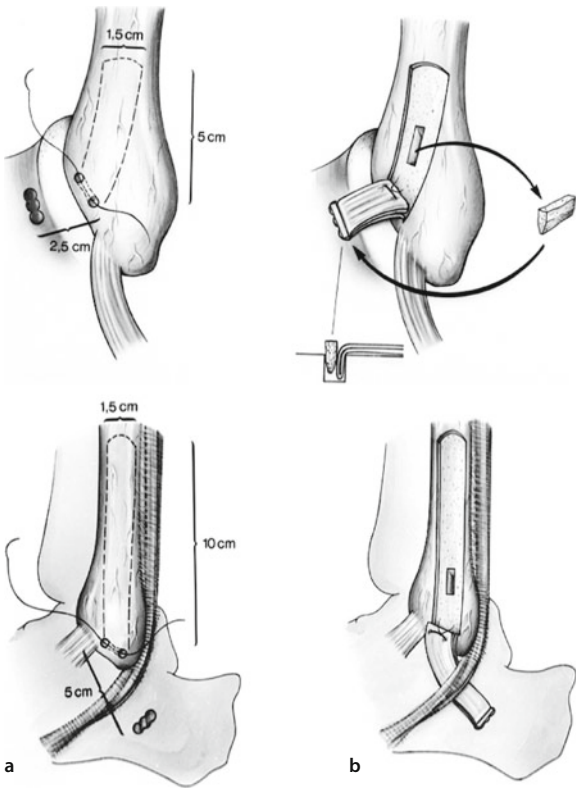
Die **Periostlappenplastik** dient zur Verstärkung oder zum Ersatz eines nicht direkt rekonstruierbaren Bandes (Ligamentum fibulotalare anterius oder fibulocalcaneare), für 2 Bänder ist bei der notwendigen Doppelung des Perioststreifens nicht ausreichend Material vorhanden. Ein ca. 1,5 cm breiter und 5 cm (für das Ligamentum fibulocalcaneare 10 cm) langer Perioststreifen wird beginnend am jeweiligen fibularen Bandansatz mit dem Skalpell abgelöst, am distalen Ansatz umgeschlagen und mit einer transossären Naht gefasst (◘ Abb. 11.46). Der Periostlappen wird so

◘ **Tab. 11.3** Behandlungsalgorithmus bei chronischer anterolateraler Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenks. (Nach: Zwipp 1994)

	Anatomische Gegebenheiten	Therapie der Wahl
1. Präferenz	Elongierte oder dystop verheilte Bänder vorhanden, Os subfibulare	Transossäre Reinsertion
2. Präferenz	FTA oder FC nicht direkt rekonstruierbar	Periostlappenplastik
3. Präferenz	FTA und FC nicht direkt rekonstruierbar	Anatomische Peroneus-brevis-Plastik
4. Präferenz	Lange bestehende oder rezidivierende Instabilität, erfolglose Voroperation	Modifizierte Evans-Tenodese



◘ **Abb. 11.45** Anatomische Rekonstruktion des dystop verheilten Ligamentum fibulocalcaneare mittels transossärer Refixation. (Aus: Zwipp 1994)



◘ **Abb. 11.46a,b** Periostlappenplastik zur Rekonstruktion des Ligamentum fibulotalare anterius (**a**) und Ligamentum fibulocalcaneare (**b**). (Aus: Zwipp 1994)

gedoppelt, dass die dem Knochen anliegenden Blätter aufeinander zu liegen kommen. Das gedoppelte distale Lappenende wird in einen queren, 10×4,5×10 mm durchmessenden Bohrkanal mittels eines kleinen, aus der distalen Fibula entnommenen Knochenspans unter kräftiger Vorspannung eingebolzt und, falls erforderlich, mit einer kleinen Spongiosaschraube und Zackenkranzunterlegscheibe zusätzlich fixiert.

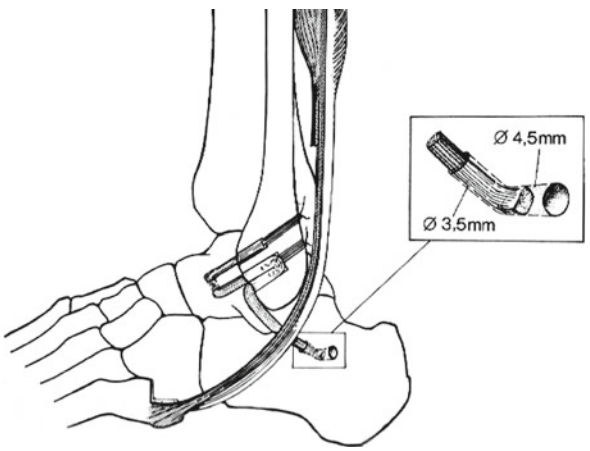
Sind die Ligamenta fibulotalare anterius und fibulocalcaneare nicht direkt oder mit zusätzlicher Periostlappenplastik rekonstruierbar, wird eine **anatomische Peroneus-brevis-Plastik** durchgeführt (Zwipp 1994). Der epimalleoläre Schnitt wird hierzu 3 Querfinger nach proximal sowie distal bis zur Basis des Os metatarsale V erweitert. Ein halber Peroneus-brevis-Sehnenspan wird mit einem Knochenblock von 4,5×6 mm gehoben und unter Schonung der Retinakula bis zum Muskelbauch abgelöst. Die Bandplastik beginnt in einem V-förmigen Bohrkanal von etwa 30° am kalkanearen Ansatz des Ligamentum fibulocalcaneare, führt über einen 4,5 mm breiten und 1 cm tiefen Kanal am fibularen Ansatz des Ligamentum fibulotalare anterius und einen V-förmigen Kanal am talaren Ansatz des Ligamentum fibulotalare anterius zurück zur Fibula. Dort wird ein Querfinger oberhalb des ersten Kanals ein zweiter 3,5 mm-Kanal parallel zu diesem gebohrt. Das Sehnentransplantat wird mit dem Knochenblock im kalkanearen Bohrkanal verklemmt, in den fibularen Kanälen mit vorgelegten Fäden durch zusätzliche 2 mm breite Bohrkanäle nach dorsal fixiert (◘ Abb. 11.47). Eventuell vorhandene Bandreste können abschließend auf die Sehnenplastik aufgesteppt werden.

Lediglich bei zahlreichen Voroperationen, erheblicher Taluskippung und lange bestehender Instabilität mit beginnender Arthrose sollte die Durchführung einer extraanatomischen Tenodese in Betracht gezogen werden.

Bei der **Evans-Tenodese** (Evans 1953) wird die Peroneus-brevis-Sehne entlang der Resultante aus Ligamentum fibulotalare anterius und Ligamentum fibulocalcaneare von distal durch den Außenknöchel geführt und unterhalb des Retinakulums mit dem eigenen in situ verbliebenen Ansatz vernäht. Die 4,5 mm-Bohrung erfolgt 2 Querfinger oberhalb der Außenknöchelspitze und ist 50–60° nach ventrokaudal geneigt.

Im eigenen Vorgehen wird die halbe Peroneus-brevis-Sehne verwendet, um eine gewisse Muskelaktivierung zu erreichen und eine gewisse Pronationskraft zu erhalten (Zwipp 1986).

Die **Watson-Jones-Tenodese** (Watson Jones 1952) benutzt die gesamte Peroneus-brevis-Sehne und schließt zusätzlich den Talus ein, wodurch das Ligamentum fibulotalare anterius anatomisch rekonstruiert wird, das Ligamentum fibulocalcaneare jedoch nicht, weil die Sehnenplastik etwa rechtwinklig zum originären Band verläuft.



◘ **Abb. 11.47** Anatomische Peroneus-brevis-Plastik. (Aus: Zwipp 1994)

Bei arthrotischen Beschwerden sollte zusätzlich zur Bandplastik eine **Arthroskopie** des oberen Sprunggelenks, ggf. mit Knorpelanbohrung, Adhäsiolyse und der Abtragung randständiger Exostosen erfolgen. Besteht präoperativ klinisch und radiologisch eine relevante Varusfehlstellung des Kalkaneus, so sollte ergänzend zur Bandrekonstruktion eine valgisierende additive (open wedge) Osteotomie des Kalkaneus (**Dwyer-Osteotomie**) über einen schräg verlaufenden Zugang über dem lateralen Tuber calcanei durchgeführt werden (Zwipp et al. 2002).

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt für die Zeit der Wundheilung (8–10 Tage) im Unterschenkelgipsverband, anschließend kann je nach Einschätzung der Stabilität der Bandrekonstruktion durch den Operateur in einer Knöchelorthese für 6 Wochen funktionell nachbehandelt werden, ein anschließendes Propriozeptorentraining ist obligat.

Komplikationen

Die mittlere Komplikationsrate nach operativer Versorgung frischer fibularer Bandrupturen liegt bei 10%. Angeführt werden: Wundheilungsstörungen, Gefühlsausfälle oder Neuropathien im Suralis-Versorgungsgebiet, tiefe Beinvenenthrombosen, eitrige Infektionen und bislang ein Fall von Morbus Sudeck (Pijnenburg et al. 2000). Nach rekonstruktiven Maßnahmen liegt die Rate schwerer Weichteilinfekte mit Sequestrierung der Peronealsehnen bei 2% (Zwipp 1994). In diesen Fällen ist eine radikale Nekrektomie, welche die Peronealsehnen einschließt, erforderlich.

Prognose

Mehrere prospektiv-randomisierte Studien haben keinen signifikanten Unterschied im funktionellen Ergebnis nach operativer bzw. konservativ-funktioneller Therapie akuter fibularer Bandrupturen nachweisen können (Zwipp et al. 2000, Kerkhoffs et al. 2007). Sowohl bei operativer als auch bei konservativer Therapie erbringt die funktionelle Nachbehandlung signifikant bessere Resultate im Vergleich zur Ruhigstellung im Gips (Pijnenburg et al. 2000). Betrachtet man die Komplikationsrate und die enormen sozioökonomischen Belastungen einer operativen Therapie bei der Häufigkeit der Verletzung, so ist insgesamt der konservativ-funktionellen Therapie eindeutig der Vorzug zu geben, zumal in Fällen einer verbleibenden Instabilität rekonstruktive Maßnahmen mit guten Erfolgsaussichten durchgeführt werden können (Zwipp et al. 2000).

Anatomisch-rekonstruktive Verfahren bei chronischer Instabilität ergeben in klinischen Studien in >80% gute bis sehr gute Ergebnisse (Karlsson et al. 1988, Rüdert et al. 1997). Extraanatomische Tenodesen am oberen Sprunggelenk, insbesondere die Original-Evans-Plastik (Evans 1953), gehen mit einer Einschränkung der Inversion des Fußes einher und können die ursprüngliche Stabilität nicht wiederherstellen (Rosenbaum et al. 1998). Dennoch werden in klinischen Studien 80–90% gute bis sehr gute Kurzzeitresultate gesehen, wenngleich auch mit der Zeit eine Tendenz zur Verschlechterung zu beobachten ist (Karlsson et al. 1988, Sugimoto et al. 1998). Die relativ hohe Arthroserate wird einerseits mit einer lange vorbestehenden Instabilität, andererseits mit der veränderten Gelenkkinematik erklärt (Rosenbaum et al. 1998, Sugimoto et al. 1998). Jüngere vergleichende Multicenter- und Langzeitstudien ergaben signifikant bessere funktionelle Ergebnisse nach anatomi-

scher Rekonstruktion im Vergleich zur Evans-Tenodese bei signifikant erhöhter residueller Instabilität und Arthroseinzidenz nach Tenodese (Krips et al. 2002).

11.3.3 Mediale Instabilität im oberen Sprunggelenk

Ätiologie

Im Kontrast zu den lateralen Bändern sind isolierte, rein ligamentäre Verletzungen des Ligamentum deltoideum eine ausgesprochene Rarität (Clanton 1999; Zwipp 1994). Rupturen des medialen Kollateralbandapparats entstehen am häufigsten in der Sequenz von Malleolarfrakturen und erfordern eine erheblich größere Gewalt als Verletzungen des Außenbandapparats. Lauge-Hansen (1949) beschrieb die isolierte Deltabandruptur (so genannte ligamentous ankle fracture) als Stadium I der Pronations-Eversions-Verletzung (◘ Abb. 11.12). Isolierte Innenbandverletzungen können jedoch auch durch forcierte Abduktion entstehen, so beim Landen von einem Sprung mit auswärtsgekehrtem Fuß. Dabei rupturiert zunächst die oberflächliche, dann die tiefe Portion des Ligamentum deltoideum (Rasmussen 1985).

Diagnostik

Klinisch imponieren mediale Bandrupturen durch ein ausgeprägtes Hämatom sowie einen isolierten Druckschmerz unterhalb des Malleolus medialis. Die Patienten berichten gelegentlich über ein hörbares Schnappen zum Unfallzeitpunkt. Die Diagnose wird in Analogie zur fibularen Bandruptur mit gehaltenen Aufnahmen bzw. durch die Arthrografie verifiziert (◘ Abb. 11.48). Da isolierte mediale Bandrupturen die extreme Ausnahme darstellen, ist gezielt nach Begleitverletzungen wie Syndesmosenrupturen, Läsionen des lateralen Bandapparates sowie Malleolarfrakturen oder hohen Fibulafrakturen zu suchen (Zwipp et al. 2002).

Therapie

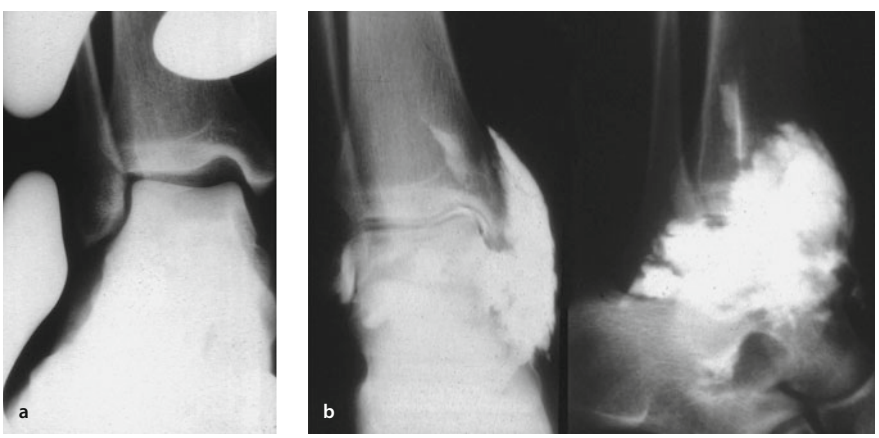
Die Behandlungsvorschläge in der Literatur stützen sich im Wesentlichen auf Kasuistiken. Wir empfehlen für frische Verletzungen nach Abschwellen der Weichteile im Unterschenkelspaltgips die konservativ-funktionelle Therapie in einer Knöchelorthese für 6 Wochen (Zwipp 1994). Zur operativen Therapie der ebenfalls seltenen chronischen medialen Instabilität werden die direkte transossäre Refixation, Ankernähte oder Bandplastiken mit der Flexor-digitorum-longus- bzw. der halben Tibialis-posterior-Sehne beschrieben (Clanton 1999). Hintermann (2003) sah in der bislang einzigen größeren Serie gute bis sehr gute Ergebnisse in 48 von 54 Fällen nach Stabilisation chronischer Innenbandläsionen mit Nahtankern und zusätzlichen Adaptationsnähten. Bei 70% der Patienten wurde zugleich der insuffiziente Außenbandapparat stabilisiert.

11.3.4 Subtalare Instabilität

Ätiologie

Subtalare Instabilitäten entstehen durch forcierte Supination bei dorsalflektiertem Fuß, so z.B. beim Springen oder Vertreten des Fußes auf einer Kante. Der Verletzungsmechanismus gleicht somit prinzipiell demjenigen für fibulare Bandrupturen, was eine klinische Abgrenzung zur anterolateralen Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenks schwierig macht. Hinzu kommt, dass sich die dislozierende Kraft häufig vom oberen Sprunggelenk ausgehend entlang der Hellpap-Supinationslinie nach distal fortsetzt, welche über das Kalkaneokuboidgelenk bis zur Basis des Os metatarsale V reicht (Hellpap 1963), sodass kombinierte Instabilitäten entstehen, wobei die subtalare Komponente aufgrund ihrer geringeren Inzidenz häufig übersehen wird (Zwipp et al. 2002). Chrisman u. Snook (1969) fanden bei der Stabilisierung von chronischen Bandinstabilitäten am oberen Sprunggelenk intraoperativ immerhin in 3 von 7 Fällen eine zusätzliche subtalare Instabilität. Wie anatomische Untersuchungen ergeben haben, resultiert die Dissektion des Ligamentum talocalcaneare interosseum in einer vorderen Translation und Innenrotation des Kalkaneus. Die zusätzliche Durchtrennung des Ligamentum fibulocalcaneare, des Ligamentum bifurcatum und der talonavikularen Bänder führt zu einer lateralen Aufklappbarkeit im Subtalargelenk. Demnach ist die subtalare Instabilität eine Kombination aus vorderer Translation, Innenrotation und Varuskippung des Kalkaneus gegen den Talus, sodass in Analogie zum oberen Sprunggelenk der Begriff der **anterolateralen Rotationsinstabilität** (ALRI) des unteren Sprunggelenks gerechtfertigt ist (Zwipp 1986).

Die schwerere **Luxatio pedis sub talo** setzt eine Verletzung der verschiedenen Anteile des Ligamentum talocalcaneare interosseum sowie der äußeren bzw. inneren talotarsalen Bänder voraus. Somit handelt es sich um eine kombinierte Instabilität im vorderen und hinteren Subtalargelenk (Leitner 1952). Je nach Dislokationsrichtung wird die häufigere (antero-)mediale von der (postero-)lateralen subtalaren Luxation unterschieden (Zwipp 1994). Die mediale Luxationsform entsteht durch forcierte Adduktion bei gleichzeitiger Plantarflektion und Supination des Fußes (◘ Abb. 11.49a). Das



◘ **Abb. 11.48a,b** Seltener Fall einer medialen Bandruptur, verifiziert mittels Stressaufnahmen (**a**) und Arthrografie (**b**). Die Behandlung erfolgte konservativ-funktionell in einer Knöchelorthese

Sustentaculum tali dient als Hebelarm für die Luxation, was das häufige konkomitante Auftreten von Frakturen des Sustentaculum tali, aber auch peripherer Talusfrakturen (insbesondere des Processus fibularis) erklärt (Zwipp 1994). Die laterale Luxationsform entsteht durch forcierte Abduktion bei gleichzeitiger Dorsalextension und Pronation des Fußes (Abb. 11.49b). Extrem selten sind reine anteriore oder posteriore Luxationen.

Die Extremform aller peritalaren Luxationen mit vollständiger Enukleation des Talus aus allen seinen Bandverbindungen ist die seltene **Luxatio tali totalis** (Abb. 11.49c). Sie geht häufig mit peripheren Talusfrakturen einher, sodass sie in diesen Fällen als Luxationsfraktur zu klassifizieren ist, tritt jedoch auch isoliert auf (Leitner 1952, Pestessy et al. 1975).

Klinik

Während bei den Extremformen der subtalaren Luxation die Dislokation evident ist, zumeist sogar mit einem höhergradig geschlossenen oder offenen Weichteilschaden einhergeht, sind subtalare Instabilitäten ohne nennenswerte Dislokation klinisch nur schwer zu differenzieren. Durch Ausübung von Varusstress auf den dorsalflektierten Fuß, welcher den breiten Anteil des Talus in der Knöchelgabel fixiert, kann die laterale Aufklappbarkeit im Subtalargelenk von einer Taluskippung im oberen Sprunggelenk abgegrenzt werden. Patienten mit chronischer subtalarer Instabilität geben ein Unsicherheitsgefühl auf unebenem Gelände sowie rezidivierende Inversionstraumata an. Flache Absätze werden gemieden, im Gegensatz zur chronischen anterolateralen Rotationsinstabilität im oberen Sprunggelenk, bei der hohe Absätze als unangenehm empfunden werden (Zwipp 1994). Die Schmerzen werden auf den Sinus tarsi projiziert. Interessanterweise wurde bei arthroskopischer Exploration bei 10 Patienten mit klinischem Verdacht auf ein Sinus-tarsi-Syndrom in 7 Fällen eine partielle Verletzung des Ligamentum talocalcaneum interosseum gesehen (Frey et al. 1999).

Bildgebende Diagnostik

Die standardisierte Überprüfung der subtalaren Instabilität erfolgt im dafür ausgerichteten TELOS-Halteapparat mit 15 kp-Inversionsstress auf den Kalkaneus mit 45°-kraniokaudal gekippter Röhre auf den 30° nach innen gedrehten Fuß (Abb. 11.50, Zwipp et al. 2002). Als normal sind eine Medialverschiebung des Kalkaneus von 5 mm, eine talokalkaneare Kippung von 5° sowie ein lateraler talokalkanearer Winkel von 10° anzusehen (Zwipp u. Krettek 1986). Bei grenzwertigen Befunden ist ein Vergleich mit der Gegenseite sinnvoll. Bei subtalaren Luxationen wird aufgrund der häufigen knöchernen Begleitverletzungen in bis zu 90% die Durchführung einer CT empfohlen (Bibbo et al. 2003).

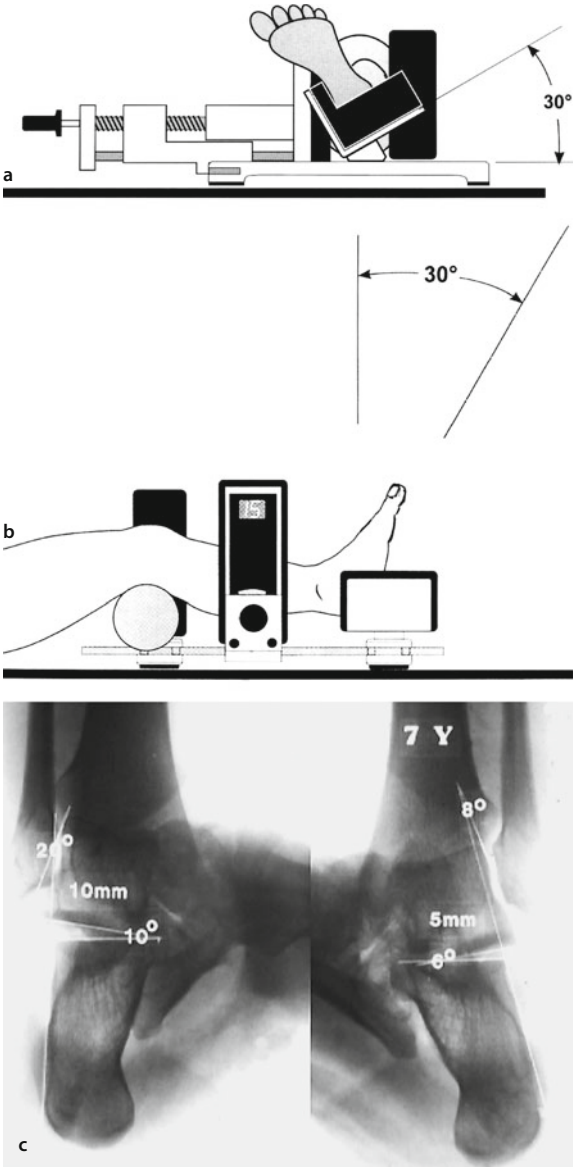


Abb. 11.50a–c **a,b** Standardisierte gehaltene Aufnahme des unteren Sprunggelenks im TELOS-Apparat. (Aus Zwipp et al. 2002) **c** Die rechte Seite zeigt einen Normalbefund, links liegt eine chronische anterolaterale Instabilität des unteren Sprunggelenks mit vermehrter Medialverschiebung des Kalkaneus (10 mm), talokalkanearer Kippung (10°) sowie lateralem talokalkanearem Winkel (20°) vor

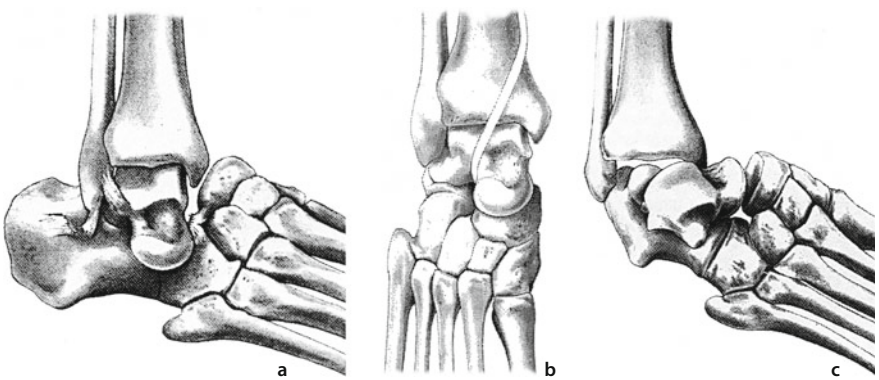


Abb. 11.49a–c Formen der subtalaren Luxationen. **a,b** Während die mediale Luxation meist problemlos reponibel ist (**a**), besteht bei der lateralen Form die Gefahr der Interposition der Tibialis-posterior-Sehne (**b**). **c** Die Luxatio tali totalis beschreibt eine vollständige Enukleation des Talus aus oberem und unterem Sprunggelenk. (Nach: Leitner 1952)

Therapie bei akuter Instabilität

Die frische subtalare Instabilität kann mit gutem funktionellem Ergebnis nach initialer Gipsruhigstellung für 3–5 Tage funktionell-konservativ in einer Knöchelorthese für 5 Wochen ausbehandelt werden.

Therapie bei chronischer Instabilität

Ein konservativer Therapieversuch mit Tapeverbänden, Pronatorentraining und propriozeptiven Übungen, Achillessehnendehnung sowie einer lateralen Fußsohlenerhöhung von 0,5 cm kann für 12–16 Wochen durchgeführt werden. Schlägt dieser fehl, so ist eine operative Therapie erforderlich. In Analogie zur chronischen Instabilität am oberen Sprunggelenk ist der Reinsertion dystop verheilter Bänder, insbesondere des Ligamentum fibulocalcaneare, welches OSG und Subtalargelenk stabilisiert, der Vorzug vor extraanatomischen Verfahren zu geben. Anatomische Bandplastiken am Subtalargelenk wurden bislang allerdings nur von wenigen Autoren beschrieben (Kato 1995, Pisani 1998).

Die **Chrisman-Snook-Tenodese** (Chrisman u. Snook 1969) in der Modifikation von Vidal (Vidal et al. 1982) benutzt die Peroneus-brevis-Sehne, welche durch einen V-förmigen Kanal an der Ansatzstelle des Ligamentum fibulocalcaneare und einen in p.a.-Richtung verlaufenden Kanal durch den Außenknöchel geführt und anschließend mit sich selbst an der Ansatzstelle an der Tuberositas des Os metatarsale V vernäht wird (Abb. 11.51a).

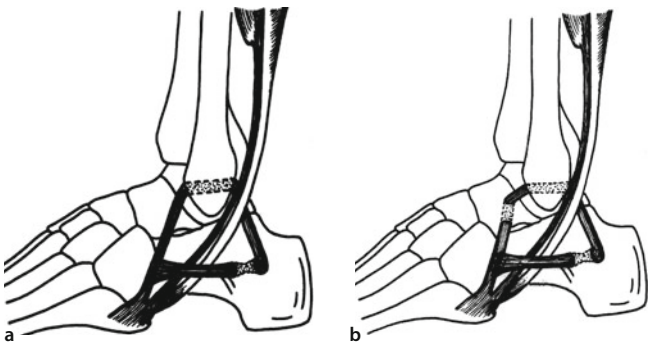


Abb. 11.51a,b Modifizierte Elmslie-Plastik für isolierte subtalare Instabilität (**a**) und kombinierte anterolaterale Rotationsinstabilität von oberem und unterem Sprunggelenk (**b**). (Aus: Zwipp 1994)

Diese Tenodese ist eine Modifikation der Elmslie-Plastik für die Instabilität im oberen Sprunggelenk, welche ursprünglich mit einem Fascia-lata-Streifen durchgeführt wurde. Der Zugang entspricht demjenigen für die oben beschriebenen Tenodesen am oberen Sprunggelenk. Wichtig für die Planung des operativen Vorgehens ist die Differenzierung zwischen isolierter subtalarer Instabilität und kombinierter anterolateraler Instabilität von oberem und unterem Sprunggelenk (Zwipp 1994). Findet sich intraoperativ ein relevanter Talusvorschub, so wird die Peroneus-longus-Sehne zusätzlich – wie bei der Watson-Jones-Tenodese – am Ansatz des Ligamentum fibulotalare anterius durch eine senkrecht verlaufende V-förmige Bohrung im Talushals geführt (Abb. 11.51b).

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung erfolgt im Unterschenkelgehgips für 6 Wochen. Bei zuverlässigen Patienten kann in einem Spezialschuh (Variostabil) ausbehandelt werden, ein propriozeptives Training schließt sich an.

Therapie subtalarer Luxationen

Die Reposition subtalarer Luxationen stellt eine Notfallindikation dar, da bei persistierender Fehlstellung die Durchblutung sowohl der Haut als auch des Talus gefährdet ist. In bis zu 41% liegt ohnehin eine offene Verletzung vor, welche per se einen fußchirurgischen Notfall darstellt (Merchan 1992).

Die Mehrzahl der medialen Luxationsformen lässt sich problemlos in Kurznarkose bei rechtwinklig gebeugtem Knie reponieren (Abb. 11.52). Der Fuß wird zunächst plantarflektiert und nach distal gezogen, anschließend dorsalextendiert und proniert. Bei der lateralen Luxatio pedis sub talo hält ein Assistent Vorfuß und Ferse, während der Operateur mit einer Hand den Unterschenkel des Patienten fasst, das Fersenbein auf sein Knie presst und mit der anderen Hand direkt den Taluskopf manipuliert (Zwipp 1994). Bei dieser Luxationsform kommt es regelmäßig zu einer Interposition der Tibialis-posterior- oder Flexor-digitorum-longus-Sehne, was die offene Reposition über einen Ollier-Zugang erforderlich macht. Im Rahmen medialer Luxationen kann es (seltener) zur Inkarzeration der kurzen Zehenstrecker kommen, die offene Reposition erfolgt über einen Ollier-Zugang oder einen anterolateralen Zugang wie zu den fibularen Bändern. Begleitende periphere Talus-

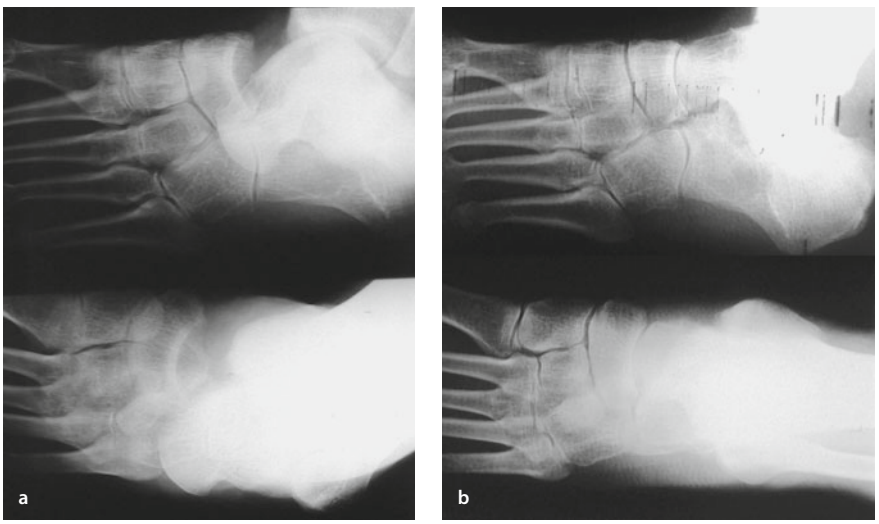


Abb. 11.52a,b **a** Mediale subtalare Luxation. **b** Nach problemloser Reposition Ruhigstellung im Gips- bzw. Castverband für insgesamt 6 Wochen

frakturen werden wie oben angegeben versorgt (▶ Abschnitt 11.2.3). Besteht nach geschlossener Reposition noch eine erhebliche Reluxationstendenz, so ist die temporäre talokalkaneare K-Draht-Fixation für 6 Wochen indiziert, in den übrigen Fällen erfolgt die Nachbehandlung für diesen Zeitraum im Cast.

Bei der Luxatio tali totalis ist neben der sofortigen offenen Reposition über einen erweiterten dorsomedianen Zugang die Indikation zur Dermatofasziotomie großzügig zu stellen. Gegebenenfalls sind mediale und laterale Zusatzschnitte erforderlich, um inkarzerierte Muskeln und Sehnen zu lösen. Primäre Bandnähte sind kontraindiziert.

Der Hautverschluss wird keinesfalls erzwungen, insbesondere nach offenen Verletzungen und Débridement oder Kompartmentspaltung ist die temporäre Kunsthautdeckung vorzuziehen. Nach erfolgter Reposition ist neben der K-Draht-Fixation eine tibiometatarsale Transfixation für mindestens 3 Wochen erforderlich. Eine 3-wöchige Ruhigstellung im Gehgips schließt sich an.

Prognose

Die klinischen Ergebnisse nach modifizierter Elmslie-Plastik für die isolierte oder kombinierte subtalare Instabilität sind in den etwa 100 weltweit publizierten Fällen mehrheitlich gut bis sehr gut (Thermann et al. 1997, Vidal et al. 1982, Zwipp u. Krettek 1986). Die Rate revisionspflichtiger Hämatome liegt bei 3%, in derselben Größenordnung wird die Ausbildung von Neuromen des N. suralis beobachtet, was die Notwendigkeit einer sorgfältigen Präparation unterstreicht (Zwipp u. Krettek 1986). Die Prognose subtalarer Luxationen ist nach sofortiger Reposition günstig, residuelle Instabilitäten sind die Ausnahme (Zwipp 1994). Ungünstige Verläufe sind bedingt durch offene Verletzungen oder begleitende Frakturen (Bibbo et al. 2003, Merchan 1992). Die Prognose der totalen Talusenukleationen hängt stark vom initialen Weichteilschaden und dem Zeitpunkt der Reposition ab. Die vorliegenden Fallberichte reichen von guten funktionellen Resultaten bis hin zur septischen Talusnekrose (Detenbeck u. Kelly 1969, Pestessy et al. 1975, Zwipp 1994). In der Zusammenschau der bislang veröffentlichten Fallberichte ist die sofortige Reinigung und Replantation in jedem Fall lohnenswert (Assal u. Stern 2004), insbesondere vor dem Hintergrund der immensen funktionellen Defizite nach vollständigem Verlust des Talus.

11.3.5 Kalkaneokuboidale Instabilität

Ätiologie

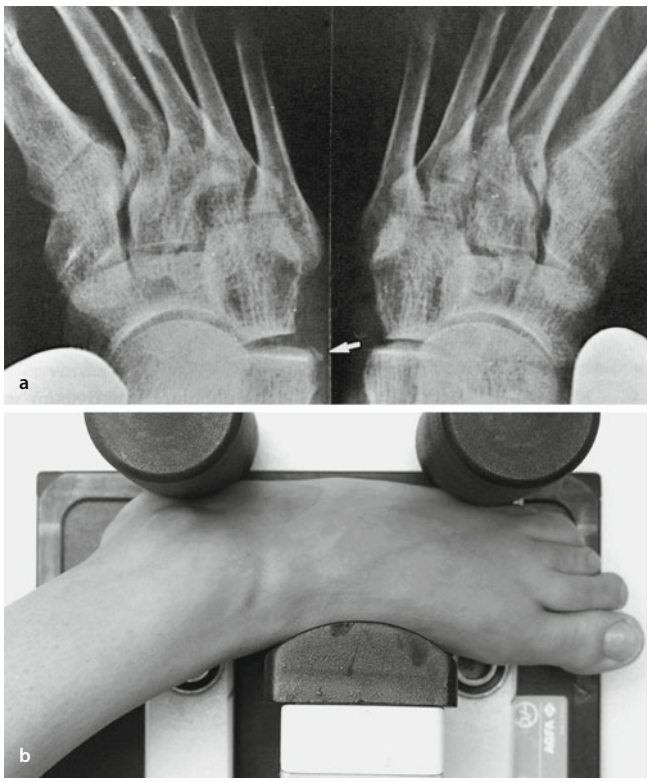
Rein ligamentäre komplette Luxationen im Chopart- und Lisfranc-Gelenk sind aufgrund der straffen Bandführung bei ersterem und der engen knöchernen Verzahnung bei letzterem viel seltener als die klassischen Luxationsfrakturen dieser Gelenke (Faciszewski et al. 1990, Kuo et al. 2000, Zwipp 1994). Sie entstehen allerdings durch denselben Mechanismus wie Chopart- und Lisfranc-Luxationsfrakturen, als welche sie auch bei geringergradigen knöchernen Verletzungen zu klassifizieren und konsequent zu behandeln sind (Suren u. Zwipp 1986). Diese »transligamentären Luxationsfrakturen« werden systematisch in den entsprechenden Unterkapiteln abgehandelt (▶ Abschnitt 11.2.5 und ▶ Abschnitt 11.2.6). Entlang der Hellpap-Supinationslinie (Hellpap 1963) kann es jedoch durch einen prinzipiell verschiedenen Mechanismus zu Bandverletzungen des Kalkaneokuboidgelenks kommen, welche als isolierte oder kombinierte laterale Instabilität auf zwei (subtalar/kalkaneokuboidal) oder drei (fibulotalar/subtalar/kalkaneokuboidal) Ebenen imponieren (Zwipp 1994). Bei fortgesetztem Trauma entstehen zusätzlich knöcherne Ausrisse des Ligamentum bifurcatum oder Frakturen der Basis des Os metatarsale V als Endpunkt der Supinationslinie.

Diagnostik

Klinisch imponieren kalkaneokuboidale Instabilitäten mit einem submalleolären Schmerz und Hämatom, welche bis auf die Fußaußenkante ziehen. Eine plantare Ekchymose weist auf die Verletzung der kräftigen plantaren Bänder und somit einen Luxationsmechanismus hin (Dewar u. Evans 1968). Ein Druckschmerz kann gezielt über dem lateralen Aspekt des Kalkaneokuboidgelenks ausgelöst werden. Nach dem Ausschluss von Frakturen auf Höhe des Chopart-Gelenks durch 30°-dorsoplantare, exakt seitliche und 45°-Schrägaufnahmen erfolgt die Verifizierung der kalkaneokuboidalen Instabilität durch gehaltene Aufnahmen im dorsoplantaren Strahlengang mit 30°-kraniokaudal gekippter Röhre (Zwipp u. Krettek 1986). Unter Leitungsanästhesie wird auf Höhe des Chopart-Gelenks im TELOS-Apparat bzw. per Hand ein Varusstress von ca. 15 kp ausgeübt (◘ Abb. 11.53, Zwipp et al. 2002). Als beweisend für eine kalkaneokuboidale Instabilität gilt eine kalkaneokuboidale Aufklappbarkeit von über 5° (Zwipp 1994). Zusätzlich ist nach knöchernen Kapsel- und Bandausrissen auf Höhe des Chopart-Gelenks zu suchen. Bei Verdacht auf das Vorliegen einer zusätzlichen medialen Instabilität, also einer kompletten Chopart-Luxation wird zusätzlich bei fixiertem Rückfuß ein Valgusstress auf den Vorfuß ausgeübt.

Klassifikation

Andermahr et al. (2000) unterscheiden 4 Schweregrade der kalkaneokuboidalen Bandrupturen, welche ein Kontinuum von



◘ **Abb. 11.53a,b** Gehaltene Aufnahmen des Kalkaneokuboidgelenks mit dem TELOS-Apparat. Radiologisch nachweisbare Instabilität auf der linken Seite. (Aus Zwipp et al. 2002)

der reinen Distorsion bis zur transkuboidalen Chopart-Luxationsfraktur darstellen:

- Distorsion/Partialruptur des Ligamentum calcaneocuboidale dorsale,
- isolierte Ruptur des Ligamentum calcaneocuboidale dorsale,
- Ruptur des Ligamentum calcaneocuboidale dorsale und bifurcatum, knöcherne Avulsion,
- Ruptur des Ligamentum calcaneocuboidale dorsale, plantare und bifurcatum, Kompressionsfraktur des Os cuboideum.

Eine therapiebedürftige Instabilität mit nachweisbarer lateraler Aufklappbarkeit liegt ab Typ II vor, die Operation wird von den Autoren für Typ III und IV empfohlen.

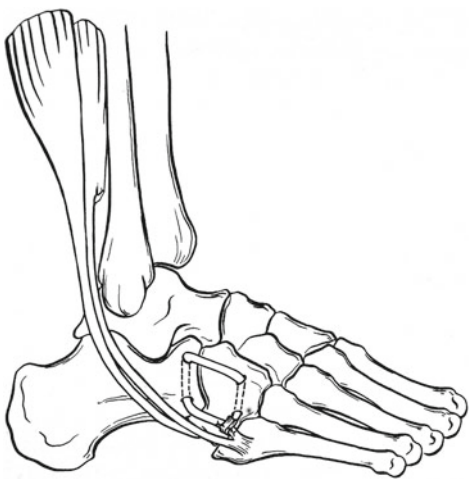
Therapie

Die isolierte frische kalkaneokuboidale Instabilität wird nach initialer Gipsruhigstellung für 3–5 Tage konservativ-funktionell in einer Knöchelorthese behandelt. Isolierte chronische kalkaneokuboidale Instabilitäten mit Arthrosezeichen erfordern eine Kalkaneokuboidarthrodese (Hansen 2000, Zwipp u. Krettek 1986). Bei fehlenden Arthrosezeichen wird in der Literatur fallweise eine Peroneus-brevis-Tenodese (◘ Abb. 11.54, Pisani 1998) bzw. eine gekreuzte Sehnenplastik zur lateralen Stabilisierung des Kalkaneokuboidgelenks empfohlen (Andermahr et al. 2000, Pisani 1998).

Nicht dislozierte knöcherne Ausrisse des Ligamentum bifurcatum am Processus anterior calcanei oder des Ligamentum calcaneonaviculare mediodorsale (Ligamentum neglectum) können bei rechtzeitiger Diagnosestellung problemlos zunächst im Unterschenkelspaltgips, später im Unterschenkelgehgips unter Teilbelastung des betroffenen Fußes für insgesamt 6 Wochen ausbehandelt werden (Main u. Jowett 1975, Zwipp et al. 2002). Liegt ein dislozierte Fragment und/oder eine Gelenkirritation vor, so erfolgt je nach Größe die Reinsertion bzw. Resektion des Ossikels. Bei kombinierter Instabilität auf 2 oder 3 Etagen ist die Durchführung einer modifizierten Elmslie-Plastik, wie oben ausgeführt, indiziert (Zwipp 1994).

Nachbehandlung

Bei allen konservativen und operativen Verfahren schließt sich an die Phase der Ruhigstellung eine obligate Physiotherapie mit Konditionierung der Pronatoren und Eigenreflextraining an.



◘ **Abb. 11.54** Stabilisierung des Kalkaneokuboidgelenks mit halbem Peroneus-brevis-Span. (Aus: Pisani 1998)

Prognose

Ligamentäre Verletzungen mit oder ohne knöcherne Avulsionen haben bei korrekter Diagnosestellung und Therapie in der Regel eine sehr gute Prognose (Dewar u. Evans 1968). Chronische Instabilitäten können zu einer schweren Arthrose des Kalkaneokuboidgelenks führen, welches eine isolierte Kalkaneokuboidarthrodese erfordert. Übersehene knöcherne Ausrisse des Ligamentum bifurcatum am Processus anterior calcanei und des Ligamentum neglectum am Sustentaculum tali können zu schmerzhaften pseudarthrotischen Fehlverheilungen bzw. zum konsekutivem Kollaps des Fußlängsgewölbes führen (Dewar u. Evans 1968, Main u. Jowett 1975). Letztlich führt bei pseudarthrotisch verheilten Fragmenten nur die Resektion zur Beschwerdeminderung. Bei persistierender ligamentärer Instabilität und Verlust der Funktion des biomechanisch bedeutsamen Ligamentum neglectum bieten Arthrodesen (talonavikular, Chopart- oder Triple-) eine letzte Rückzugsmöglichkeit (Main u. Jowett 1975).

11.3.6 Metatarsophalangeale und interphalangeale Luxationen

Ätiologie

Luxationen der Metatarsophalangeal- und Interphalangealgelenke betreffen aufgrund dessen Exposition und Belastung v.a. den **1. Strahl**. Sie entstehen bei Sport- oder Verkehrsunfällen durch axiale Gewalteinwirkung auf die maximal dorsalflektierte Großzehe. So entsteht z.B. die so genannte turf toe beim American Football (Bowers u. Martin 1976), eine Verletzung der Gelenkkapsel des 1. Metatarsophalangealgelenks ohne Dislokation, wie sie auch bei Balletttänzerinnen durch die En-pointe-Position ausgelöst werden kann. Komplette Luxationen führen aufgrund des schwachen dorsalen Kapsel-Band-Apparates fast ausschließlich zu einer Dislokation der distalen Phalanx nach dorsal. Am 1. Metatarsophalangealgelenk kommt es zu einer zusätzlichen Verlagerung des Fibrokartilago-Sesamoid-Komplexes nach dorsal über den Hals des Os metatarsale I im Sinne einer Knopflochdeformität. Bei metatarsophalangealen Luxationen der **Strahlen 2–5** kann es gelegentlich zur Dislokation des Metatarsaleköpfchens zwischen die Mm. lumbricales kommen, was ebenfalls ein Repositionshindernis darstellt. Auf Höhe der Interphalangealgelenke schlägt zuweilen das mediale Kollateralband ein. Plantare und laterale Luxationen sind lediglich fallweise beschrieben (Biyani et al. 1988, Stephenson et al. 1994).

Diagnostik

Metatarsophalangeale und interphalangeale Luxationen imponieren klinisch fast ausschließlich durch eine dorsale Fehlstellung der distalen Phalangen mit entsprechender Spannung auf den Weichteilen (◘ Abb. 11.55). Die Zehenhaut ist plantar abgeblasst und dorsal eingezogen. Beim Einschlagen eines Sesambeins in den Gelenkspalt wirkt die luxierte Großzehe verlängert und kaum dislozierte, weswegen diese Luxationsformen häufig übersehen werden (Miki et al. 1988). Die seltene plantare Fehlstellung ist subtiler Natur und klinisch schwer beurteilbar (Stephenson et al. 1994). Übersehene Luxationen des 2.–5. Strahles manifestieren sich in persistierenden Schmerzen über den Metatarsaleköpfchen sowie einer angedeuteten Krallenzehenstellung (Leung et al. 2001).

Die Diagnose wird radiologisch durch gut zentrierte a.p.- und 45°-Schrägaufnahmen gesichert. Bei Luxationen überlappen sich die Konturen der benachbarten gelenkbildenden Phalangenabschnitte im a.p.-Strahlengang. Seitliche Einstellungen lassen die Luxationsrichtung erkennen.

Klassifikation

Aufgrund der komplexeren Anatomie mit der Möglichkeit der Luxation und Interposition der Sesambeine sowie der plantaren Platte (Fibrocartilago) wurden lediglich die Luxationen des 1. Strahls weiter differenziert. Jahss (1981) unterscheidet die Luxationen im **1. Metatarsophalangealgelenk** je nach Integrität des Ligamentum intersesamoideum in:

- Typ I: Band intakt,
- Typ II a: Band rupturiert
- Typ II b: Fraktur eines Sesambeins (meist des medialen)
- Typ II c: Band rupturiert + Fraktur eines Sesambeins.

Beim Typ I kommt es zum Einschlagen der plantaren Platte in den Gelenkspalt, was eine offene Reposition erfordert.

Miki et al. (1988) beschrieben 2 Typen von irreponiblen Luxationen des **1. Interphalangealgelenks**. Bei Typ I ist ein Sesambein, bei Typ II die plantare Platte in den Gelenkspalt eingeschlagen. Ein auf dieser Höhe in etwa 50% vorkommendes Sesambein schlägt gelegentlich in den Gelenkspalt ein, was in einer Verlängerung der Zehe mit nur relativ geringer Dislokation resultiert.

Therapie

Metatarsophalangeale und interphalangeale Luxationen müssen rasch reponiert werden, um trophische Störungen zu vermeiden. Dies gelingt bei den häufigen dorsalen Luxationen in der Regel mühelos geschlossen durch forcierte Plantarflexion unter Längszug mit gleichzeitigem digitalen Druck von plantar auf das proximale Fragment (Sanders u. Papp 2007). Liegt in seltenen Fällen eine Interposition der plantaren Platte oder der langen Zehenbeuger vor, so ist die offene Reposition erforderlich. Diese erfolgt bevorzugt über einen dorsalen Zugang, da der plantare Zugang mit einer erhöhten Gefahr der Gefäß-Nerven-Verletzung und des störenden Narbenzugs im belasteten Areal verbunden ist. Das Ligamentum intersesamoideum wird versorgt, frakturierte Sesambeine sind, wenn möglich, zu reponieren und zu belassen, da bereits die Resektion eines Sesambeins biomechanisch ungünstig ist (Richardson 1999). Nur in Ausnahmefällen liegt eine komplette Instabilität mit Reluxationstendenz vor. In diesen Fällen ist eine temporäre K-Draht-Transfixation für 3–4 Wochen indiziert. In den übrigen Fällen kann eine frühfunktionelle Nachbehandlung im Pflasterzügelverband oder lediglich mit harter Sohle für 3 Wochen durchgeführt werden. Eine Entlastung des betroffenen Fußes ist nicht erforderlich.

Abb. 11.55 Offene interphalangeale Luxation der Großzehe mit typischem Versatz des Endgliedes nach dorsal

11.3.7 Achillessehnenrupturen

Ätiologie

Die Achillessehne ist die kräftigste Sehne des menschlichen Körpers. Bei einer Reißfestigkeit von über 400 kp spielen degenerative Prozesse eine entscheidende Rolle für das Entstehen geschlossener Rupturen. Besonders gefährdet sind Freizeitsportler mit überwiegend sitzender Tätigkeit im beruflichen Alltag. Wichtige prädisponierende Faktoren sind die lokale oder systemische Applikation von Kortikosteroiden sowie Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Entzündliche Veränderungen (Tendinopathie) gehen einer kompletten Ruptur in etwa 20% voraus, in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle sind die Patienten jedoch vor dem Ereignis vollkommen asymptomatisch (Maffulli 1999, Thermann 1998).

Die Inzidenz von Achillessehnenrupturen hat in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts drastisch zugenommen, sodass auch »zivilisatorische« Faktoren offenbar eine Rolle spielen. Allein in den vergangenen 2 Jahrzehnten hat sich die Inzidenz von Achillessehnenrupturen in mehreren Regionen nahezu vervierfacht (Pajala et al. 2002). Das Verhältnis Männer zu Frauen liegt bei 5:1, die Altersgipfel finden sich zwischen 30 und 35 sowie 45 und 50 Jahren (Thermann 1998). In bis zu 90% reißt die Achillessehne in ihrem mittleren Drittel, also zwischen 2 und 6 cm oberhalb des kalkanearen Ansatzes (Zwipp 1994). Der Rupturmechanismus ist in der überwiegenden Zahl der Fälle indirekter Natur und besteht in einer plötzlichen Zugwirkung auf die Achillessehne, z.B. beim kräftigen Abstoßen oder beim unerwarteten Tritt in eine Vertiefung bzw. dem Abrutschen auf einer Treppe.

Klinik

Subjektiv wird von den Verletzten typischerweise ein peitschenhiebartiger Schlag und stechender Schmerz über der Achillessehne empfunden. Bei erheblicher Vorschädigung der Sehne sind diese Symptome weniger ausgeprägt. In beiden Fällen resultiert jedoch die Unfähigkeit zur Plantarflektion des Fußes gegen Widerstand, z.B. zum Zehenstand auf der verletzten Seite. Klinisch findet sich eine sicht- und tastbare Delle in der Achillessehnenkontur, die darüber hinaus im Vergleich zur Gegenseite deutlich verbreitert ist. Beim (inkonstanten) Vorhandensein einer Plantarissehne wird oft die Fehldiagnose einer Partialruptur der Achillessehne gestellt. Pathognomonisch ist ein positiver Thompson-Drucktest. Er ist gegeben, wenn bei Kompression der Wadenmuskulatur in Bauchlage des Patienten die passive Plantarflexion des Sprunggelenks ausbleibt (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Apparative Diagnostik

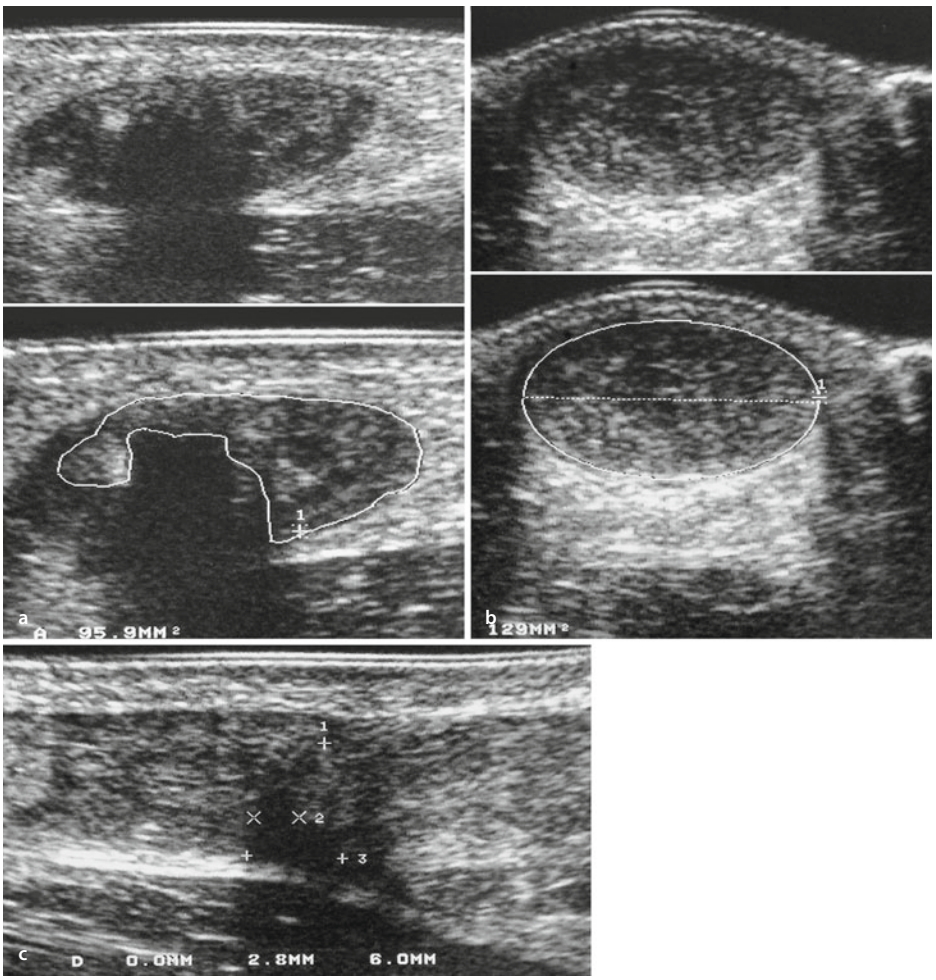
Die Sonografie stellt ein schonendes und sicheres Verfahren zur Diagnosesicherung dar und ist darüber hinaus für die Indikationsstellung zur operativen bzw. konservativen Therapie von herausragender Bedeutung (Amlang et al. 2005). Zugleich dient sie der Abgrenzung von chronischen Zuständen wie Tendinopathie, entzündlichen Veränderungen, Insertionstendionopathien und tennis leg. Bei Achillessehnenrupturen findet sich neben der Kontinuitätsunterbrechung mit abgrenzbaren, beweglichen Sehnenstümpfen eine Auftreibung der intakten Sehnenanteile mit einer Auflockerung des streifigen Binnenechos im Vergleich zur unverletzten Seite. Die Möglichkeiten der Sonografie machen das Erkennen indirekter radiologischer Zeichen in konventionellen Röntgenaufnahmen (Kager-, Toygar-Zeichen) weitgehend überflüssig. Eine seitliche Röntgenaufnahme des Kalkaneus wird beim Verdacht auf das Vorliegen eines dorsalen Fersensporns

(Haglund-Exostose) als Korrelat für eine Insertionstendinopathie angefertigt. Die MRT erlaubt eine valide Darstellung sowohl von frischen Verletzungen als auch chronisch-degenerativen Zuständen. Die Vorteile der Sonografie gegenüber der MRT liegen in der guten Verfügbarkeit, geringeren Kosten sowie der Möglichkeit der dynamischen Untersuchung.

Konservativ-funktionelle Therapie

Die konservativ-immobilisierende Therapie mit Immobilisation im Oberschenkelgips in 20- bis 30°-Spitzfußstellung für 8 Wochen und anschließenden Absatzerhöhung von 2,5 cm für weitere 4 Wochen ist mit einer inakzeptablen Rerupturrate von 5–25% behaftet und wird daher nicht mehr empfohlen (Maffulli 1999). Die konservativ-funktionelle Therapie berücksichtigt das sonografisch ermittelte Adaptationsverhalten der Sehnenstümpfe in 20°-Plantarflexion. In Abwandlung der von Thermann et al. (1995) ermittelten kompletten Adaptation im Vertikalschnitt wird im eigenen Vorgehen die prozentuale Adaptation an der Rupturstelle im Horizontalschnitt als Indikationskriterium herangezogen (◘ Abb. 11.56). Bei einer Adaptation von <30% im Vergleich zum Gesamtdurchmesser ist die Indikation zum operativen Vorgehen gegeben, zwischen 30 und 70% Adaptation wird die Entscheidung individuell anhand patientenspezifischer Parameter (Begleiterkrankungen, Funktionsanspruch) gestellt. Kontraindikationen zum operativen Vorgehen sind lokale und systemische Risikofaktoren (pAVK, entgleister Diabetes, Immundefizienz), da tiefe Infekte und Nekrosen an der spärlich mit Weichteilen bedeckten Regio achillea oft deletäre Folgen haben. Der Erfolg der konservativ-funktionellen Therapie wiederum ist von der Patientencompliance, der Möglichkeit regelmäßiger Verlaufskontrollen und einer guten Kooperation mit der Physiotherapie abhängig.

Nach kurzfristiger Gipsruhigstellung für etwa 3 Tage wird ein Spezialschuh zur funktionellen Behandlung angepasst, in dem der Patient sofort voll belasten kann. Der Schuh gewährleistet eine winkelstabile Führung im oberen Sprunggelenk sowie einen Schutz gegen Torsionen und weist eine integrierte Absatzerhöhung von 3 cm auf. Er wird für 6–8 Wochen Tag und Nacht getragen, für weitere 2 Wochen nur noch tagsüber. Wesentlicher Bestandteil des funktionell-konservativen Behandlungskonzeptes sind regelmäßige **sonografische Verlaufskontrollen**. In diesen wird anhand des erkennbaren Regenerats der Beginn der Übungsbehandlung, die Tragedauer und Absatzverminderung des Spezialschuhs individuell adaptiert, bei auftretenden Diastasen kann frühzeitig die Indikation zur Operation gestellt werden. Nach 3–4 Wochen beginnt die physiotherapeutische Beübung im Schuh mit isometrischen Kraftübungen, isokinetischem Ergometertraining, propriozeptiver neuromuskulärer Faszikulation, Elektro- und Kryotherapie. Die schrittweise Absatzverminderung beginnt ab der 6. Woche, nach Abnahme des Spezialschuhs werden die physiotherapeutischen Übungen forciert, die Sportfähigkeit ist in der Regel nach 13–16 Wochen gegeben (Thermann 1998). Eine Absatzerhöhung von 1 cm wird für ein halbes Jahr empfohlen.



◘ **Abb. 11.56a–c** **a** Sonografische Ermittlung des minimalen Querschnitts im Rupturbereich in 20°-Plantarflexion. Die markierte Kontaktfläche der Sehnenstümpfe beträgt 96 mm². **b** Distal der Ruptur liegt der Sehnenquerschnitt bei 129 mm². Der Quotient aus beiden Querschnitten beträgt somit 74%, in diesem Fall wurde die Indikation zur konservativ-funktionellen Therapie gestellt. **c** Im Vertikalschnitt der Rupturstelle desselben Patienten differiert die Dehiszenz der Sehnenstümpfe von 0 mm dorsal nach 6 mm ventral deutlich, weswegen diese Schnittführung im eigenen Vorgehen nicht für die Indikationsstellung herangezogen wird

Operative Therapie

Der Operationszeitpunkt sollte in der ersten Woche nach dem Rupturereignis liegen. In der Literatur finden sich über 60 verschiedene Verfahren, welche von einfachen End-zu-End-Nähten, über Durchflechtungsnähte und Faszienaugmentationsnähte bis hin zu primären Augmentationen mit Kunststoffen (Marlex) oder Kollagenprothesen reichen (Maffulli 1999). Am häufigsten kommen beim offenen Vorgehen die klassischen Nahttechniken nach Bunnell und Kessler aus der Handchirurgie zur Anwendung.

In jüngerer Zeit haben perkutane Nahttechniken ein verstärktes Interesse gefunden, um die Inzidenz von Wundheilungsstörungen und Infekten zu reduzieren (Buchgräber u. Pässler 1997). Einige perkutane Verfahren sind jedoch mit der Gefahr von Läsionen des N. suralis behaftet. Im eigenen Vorgehen wird daher eine perkutane, peritendineumerhaltende Naht favorisiert (Abb. 11.57). Diese schont zum einen das für die Sehnenheilung wichtige Peritendineum und minimiert zum anderen durch die Präparation zwischen Peritendineum und Unterschenkelfaszie das Risiko der Suralisläsion, welche in einer Serie von 62 Operationen in keinem Fall gesehen wurde (Amlang et al. 2005). Der Hautschnitt von 2–3 cm liegt rupturfern und proximal, wodurch im Schuhkontaktbereich keine Narbe entsteht. Bei ungenügendem Fadenhalt wird auf eine konventionelle Nahttechnik gewechselt. In Analogie zum konservativen Vorgehen wird auch für die operative Therapie ein funktionelles Nachbehandlungskonzept empfohlen. Nach operativer Therapie kann der Schuh täglich zur Fußpflege abgenommen werden, mit der Physiotherapie im Schuh kann eine Woche nach der Operation begonnen werden (Amlang et al. 2005).

Operative versus konservative Therapie

Die Frage nach der idealen Therapie von Achillessehnenrupturen ist anhand der vorliegenden Daten aus der Literatur noch nicht eindeutig geklärt. Viele vergleichende Studien fußen auf unterschiedlichen Nachbehandlungskonzepten, was die Validität der Ergebnisse mindert. Insbesondere wird als Alternative zur Operation häufig die konservativ-immobilisierende Therapie angeführt, welche mit hohen Rerupturraten und unbefriedigenden funktionellen Ergebnissen einhergeht. Drei prospektiv-randomisierte Studien mit identischer Nachbehandlung (Nistor 1981, Thermann et al. 1995, Twaddle u. Poon 2007) konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Behandlungsergebnisses aufzeigen. Befürworter der konservativen Therapie verweisen auf die z.T. erheblichen Komplikationsraten nach operativer Therapie. Das konservativ-funktionelle Behandlungskonzept hingegen bedarf einer gewissenhaften ambulanten Betreuung mit regelmäßigen sonografischen Kontrollen, wozu entsprechende materielle Voraussetzungen erforderlich sind. Wesentlich für den Erfolg der Therapie ist die differenzierte Indikationsstellung anhand des Adaptationsverhaltens der Sehnenenden zum Zeitpunkt der Ruptur. Die peritendineumerhaltende perkutane Naht stellt eine vielversprechende und risikoarme Behandlungsalternative dar.

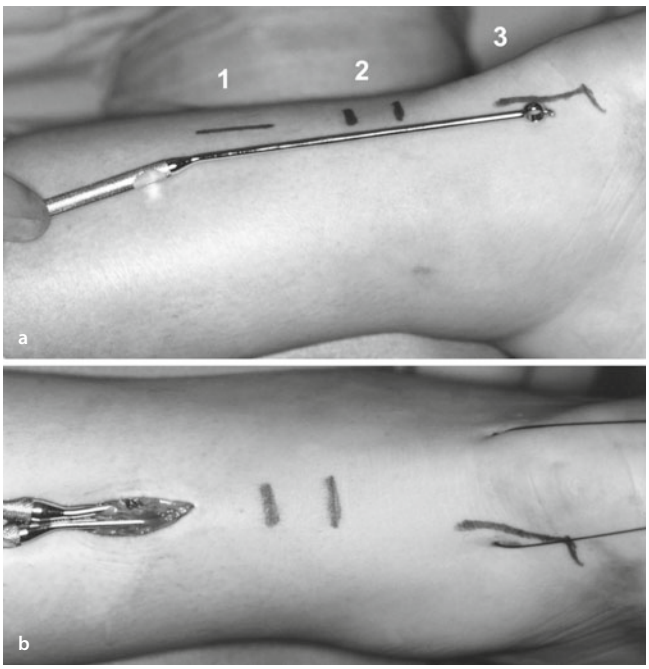


Abb. 11.57a,b Perkutane, peritendineumerhaltende Achillessehnennaht. **a** Anzeichnen von Inzision (*1*), Rupturzone (*2*) und Nahtstelle (*3*) mit anliegendem speziellem Nahtinstrument (»Dresdner Instrument«). **b** Situs mit eingeführtem Instrument und ausgeleiteten perkutanen Nähten. (Nach Amlang et al. 2005)

Komplikationen

Die Rate von Rerupturen schwankt in größeren Studien zwischen 1,4 und 8% nach operativer Therapie sowie 5–25% nach konservativ-immobilisierender Therapie (Pajala et al. 2002). Nach konservativ-funktioneller Therapie liegt die Rerupturrate mit 2–6% im Bereich der operativen Therapie (Thermann et al. 1995, Twaddle u. Poon 2007). Rerupturen können in Analogie zu frischen Verletzungen prinzipiell operativ oder konservativ behandelt werden. Die konservativ-funktionelle Therapie folgt den oben genannten Prinzipien. Bei der operativen Versorgung wird nach Anfrischung der Rupturenden in Abhängigkeit von der Sehnenqualität über das weitere Vorgehen entschieden. Bei ausreichendem Sehnenquerschnitt genügt die einfache Sekundärnaht, bei mangelhafter Substanz kommen Umkehrplastiken (Gastrocnemiusfaszie), Augmentation (mit Plantaris-longus-Sehne oder Kunststoffen) bzw. der Sehnenersatz (Flexor hallucis longus, Fascia lata) in Betracht (Pajala et al. 2002).

Lokale Wundkomplikationen nach operativer Therapie sind mit 10–20% keine Seltenheit (Maffulli 1999). Umschriebene Nekrosen können sich bei der dünnen Bedeckung der Achillessehne rasch zu Vollhautnekrosen mit Gefahr der Sehnennekrose ausweiten, was in etwa der Hälfte der Fälle eine Revision erforderlich macht. Gefürchtet ist die Entwicklung tiefer Infektionen, welche in ca. 2% der Fälle gesehen wird (Cetti et al. 1993). Zunächst muss der Infekt mit einem radikalem Débridement und Antibiotikagabe unter Kontrolle gebracht werden, was zumeist mit einer partiellen oder totalen Exzision der Achillessehne einhergeht. Verbleiben nach dem Débridement zusätzliche Hautdefekte, wird eine plastische Deckung durch lokale oder freie Lappenplastiken erforderlich. Zur Therapie langstreckiger Defekte der Achillessehne sowohl nach Infektsanierung als auch bei veralteten Rupturen stehen verschiedene **Sehnenplastiken** zur Verfügung. So werden die halbe Tibialis-posterior- und Peroneus-brevis-Sehne als gestielte Transplantate verwendet. Weitere Optionen beinhalten die Augmentaton mit Gastrocnemiusfaszie und (soweit vorhanden) Plantaris-longus-Sehne. Im eigenen Vorgehen erfolgt die Therapie langstreckiger Achillessehnendefekte mittels dynamischer Flexor-hallucis-longus-Ersatzplastik (Amlang et al. 2008). Während sich bei konsequenter Therapie nach Rerupturen noch gute funktionelle Ergebnisse erreichen lassen, verbleiben nach der Sanierung tiefer Infekte deutliche Funktionsdefizite (Pajala et al. 2002).

11.4 Rekonstruktive Fußchirurgie

11.4.1 Posttraumatische Fehlstellungen

Prinzipien der Korrektur posttraumatischer Deformitäten

Indikation und Operationszeitpunkt

Posttraumatische Fehlstellungen des Fußes sind häufige Folgen nicht erkannter oder inadäquat therapierter Frakturen, Luxationen und Bandrupturen. Besonders gefährdet sind polytraumatisierte Patienten, bei denen im Akutstadium offenkundige und vital bedrohliche Verletzungen im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen. Das bloße Vorhandensein einer Fußverletzung hat bereits einen signifikant negativen Einfluss auf das Behandlungsergebnis und die Morbidität polytraumatisierter Patienten (Stiegelmar et al. 2001, Turchin et al. 1999). Bereits geringe Fehlstellungen und Gelenkinkongruenzen haben bei dem sensiblen statisch-dynamischen System Fuß erhebliche Einschränkungen der globalen Funktion mit einer Progredienz der Achsenabweichungen und arthrotischen Veränderungen unter fortdauernder Belastung zur Folge. Zudem sind Fußverletzungen mit einer hohen durchschnittlichen Minderung der Erwerbsfähigkeit versehen, weswegen der Korrektur posttraumatischer Deformitäten eine große sozioökonomische Bedeutung zukommt.

Die Indikation zur operativen Korrektur ist bei allen symptomatischen Arthrosen und Achsenabweichungen gegeben, welche mit konservativen Maßnahmen wie Schmerzmedikation, angepasstem Schuhwerk, Orthesen, physikalischen und physiotherapeutischen Maßnahmen nicht beherrschbar sind. Korrekturoperationen sind prinzipiell bei einem entsprechenden Leidensdruck der Patienten indiziert. Der Zeitpunkt des Eingriffs sollte jedoch möglichst früh gewählt werden, bevor es zum Auftreten von Anschlussarthrosen und Weichteilkontrakturen kommt, welche zu einer Ausweitung der korrigierenden Maßnahmen mit einer entsprechend höheren Komplikationsrate und ungünstigeren Prognose zwingen (Zwipp et al. 1999b).

Klinik

Eine subtile Beschwerdeanamnese, klinische Untersuchung und gezielte radiologische Diagnostik sind unbedingte Voraussetzung für eine exakte Operationsplanung und damit für den Erfolg aller korrigierenden Maßnahmen am Fuß. Zur klinischen Diagnostik gehören die dezidierte Schmerzlokalisation, die Dokumentation neurologischer und zirkulatorischer Defizite einschließlich bestehender Engpasssyndrome, die Beurteilung von Hauttrophik, Schwellungszustand, Narbengewebe, Fußsohlenbeschwielung und Kallositäten sowie die Feststellung des aktuellen Bewegungsausmaßes. Neben dem betroffenen Fuß selbst, an dem bestehende Achsenabweichungen oder Verkürzungen im Vergleich zur Gegenseite erfasst werden, gibt das vom Patienten regelmäßig getragene Schuhwerk Auskunft über Fehlstellungen und funktionelle Defizite. Die Untersuchung beschränkt sich notwendigerweise nicht nur auf den Fuß: Beinlängendifferenzen, Achsenabweichungen, trophische und muskuläre Defizite an der unteren Extremität müssen erfasst werden. Muskel- und Sehnenkontrakturen auf Höhe des Unterschenkels und Fußes werden dokumentiert. Besonderes Augenmerk gilt dem funktionell wichtigen Gastrocnemius-Soleus-Komplex (DiGiovanni et al. 2002, Hansen 2000). Die verschiedenen Funktionstests am Fuß sind in ► Kap. 19, Klinische Untersuchungstests, ausgeführt.

Apparative Diagnostik

Die Standardröntgendiagnostik bei posttraumatischen oder idiopathischen chronischen Beschwerden umfasst Belastungsaufnahmen des Fußes im Stehen in dorsoplantarer und seitlicher Ansicht sowie beider oberer Sprunggelenke a.p. und Achsenaufnahmen der Rückfüße (Saltzman u. El-Khoury 1994). In diesen werden im Seitenvergleich fixierte Fehlstellungen, der Arthrosegrad angrenzender Gelenke und die stattgehabte bzw. ausgebliebene knöcherne Konsolidierung erfasst. Stress- und Funktionsaufnahmen decken dynamische Instabilitäten und Fehlstellungen auf. Komplexe Fehlstellungen werden in der CT, ggf. mit spezieller Planungssoftware erfasst (Dahlen u. Zwipp 2001). Insbesondere am Talus und Os naviculare ist die Beurteilung der Durchblutung mit der MRT sinnvoll, sofern bei vorangegangenen Osteosynthesen Titanimplantate verwendet wurden. Die Szintigrafie ist als unspezifische Methode hinweisend für die Lokalisation aktiver entzündlicher oder arthrotischer Prozesse. Muskuläre und tendinöse Imbalancen können elektrophysiologisch (Elektromyografie/EMG, Elektroneurografie/ENG) bzw. durch gezielte Kraftmessung (Biodex) quantifiziert werden. Chronisch-entzündliche oder degenerative Prozesse an Muskeln, Sehnen und Faszien werden in der Regel sonografisch oder mittels MRT abgeklärt. Dynamische Fehlfunktionen und Fehlbelastungen beim Aufsetzen, Abrollen und Abstoßen des Fußes werden mit der dynamischen Pedografie quantifiziert und dienen zudem der Erfolgskontrolle im Verlauf (Zwipp et al. 1999a, Rammelt et al. 2004).

Posttraumatische Fehlstellungen des oberen Sprunggelenks

Ätiologie

Posttraumatische Fehlstellungen im oberen Sprunggelenk können prinzipiell durch Fehlverheilungen auf supramalleolärer Ebene oder Fehlverheilungen von Malleolarfrakturen entstehen. **Supramalleoläre Fehlstellungen** resultieren aus fehlverheilten oder pseudarthrotisch verheilten distalen Unterschenkel- bzw. Pilon-tibiale-Frakturen sowie dem Fehlwachstum bei vorzeitiger partieller oder totaler Epiphyseodese nach kindlichen Sprunggelenkfrakturen. Achsen-, Längen- oder Rotationsfehler der distalen Tibiameta- und -epiphyse bzw. des Pilon tibiale führen zu einer Gelenkinkongruenz im oberen Sprunggelenk mit Fehlbelastungen des gesamten Fußes (Zwipp 1994). Die dauerhafte Fehlbelastung des oberen Sprunggelenks führt ihrerseits wiederum zu Anschlussarthrosen im Fußwurzelbereich. Langdauernde Varus- und Valgusfehlstellungen der Tibia sind von gegensinnigen Fehlhaltungen auf der Ebene des Rückfußes begleitet. Bei Ante- und Rekurvation der Tibia resultiert ein posttraumatischer Pes equinus bzw. Pes calcaneus. Eine vermehrte Innenrotation der Tibia führt zur Ausbildung eines Pes plano valgus, die pathologische Außenrotation provoziert einen Pes cavus (Zwipp 1994).

Malleoläre Fehlverheilungen betreffen fast ausschließlich den Außenknöchel, häufig infolge einer Verkürzung oder einer verbliebenen Außen- oder Innenrotation der distalen Fibula (Weber 1981, Yablon u. Leach 1989), seltener fehlverheilte Innenknöchelfrakturen nach Supinations-Adduktions-Frakturen oder fehlverheilte Hinterkantenfragmente der Tibia (Marti et al. 2009). Da die Führung im oberen Sprunggelenk wesentlich von der exakten Stellung der Fibula in der Tibiainzisur abhängt, verursachen selbst geringe Fehlstellungen einen ungenügenden Gabelschluss. Dieser resultiert zwangsläufig auch bei insuffizienter Bandheilung der distalen Syndesmose (Grass et al. 2000, Ramsey u. Hamilton 1976).

Die **Arthroserate** im oberen Sprunggelenk liegt nach operativer Versorgung von Pilon-tibiale-Frakturen bei bis zu 68% (Teeny u. Wiss 1993), bei 10–23% nach operativer Rekonstruktion von Malleolarfrakturen, wobei eine Korrelation zur Anzahl der verletzten knöchernen und ligamentären Strukturen gesehen wird

(Zenker u. Nerlich 1982). Eine Arthrodese des oberen Sprunggelenks ist jedoch nur jeweils in etwa der Hälfte der Fälle erforderlich. Pseudarthrosen nach Pilonfrakturen werden abhängig vom Frakturtyp in 10–30% der Fälle gesehen (Höntzsch et al. 1990). Pseudarthrosen nach Malleolarfrakturen treten nach konservativer Therapie in 0,5–10% der Fälle auf, wobei der Innenknöchel etwa 5-mal häufiger betroffen ist (Zwipp et al. 1996). Nach operativer Therapie sind Pseudarthrosen mit einer Inzidenz von <0,1% ausgesprochen selten und meist durch prädisponierende Grunderkrankungen oder komplikationsbehaftete Verläufe begünstigt (Bauer et al. 1985, Zwipp et al. 1996, 1999b).

Klassifikation

Bezüglich der Lokalisation wird in supramalleoläre und malleoläre Fehlheilungen unterschieden (Zwipp 1994). Nach Art der Fehlverheilung wird in Arthrose (Gelenkinkongruenz), Synostose (der Syndesmose), Pseudarthrose (nonunion) und Fehlstellung (malunion) unterschieden (◘ Tab. 11.4).

Spezielle Diagnostik

Die präoperative Planung erfordert exakt eingestellte Belastungsaufnahmen der oberen Sprunggelenke seitlich und in 20°-Innenrotation (Mortise view) im Seitenvergleich, wobei die so genannte Weber-Nase gut abgebildet sein muss (◘ Abb. 11.58).

Zur Einschätzung von Fehlstellungen oder Ossifikationen auf Höhe des Syndesmosenspalts und der Fibularotation ist eine transversale CT im Seitenvergleich erforderlich. Bei supramalleolären Fehlstellungen sind Achsenaufnahmen unter Belastung erforderlich. Drehfehler der Tibia werden in der Rotations-CT erfasst.

Therapie

Supramelleoläre Korrekturosteotomie

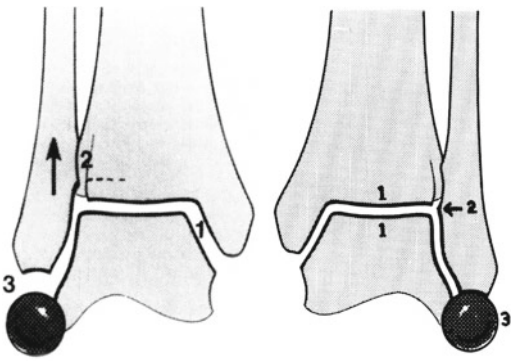
Umstellungsosteotomien auf supramalleolärer Ebene sollten prinzipiell auf Höhe der Fehlstellung erfolgen, wobei der oft nicht unerhebliche posttraumatische Weichteilschaden beim Zugang Beachtung finden muss (Takakura et al. 1995). Der Drehpunkt (center of rotation and angulation/CORA) und das Korrekturausmaß werden in einer präoperativen Skizze bzw. mit spezieller Planungssoftware festgelegt. Die Indikation zur operativen Korrektur ist individuell anhand der Beschwerden und bestehender Arthrosezeichen zu stellen. Als tolerable Obergrenzen wird im Allgemeinen ein Varus von >10°, Valgus >15° sowie Rotations- oder Ante-/Rekurvationsfehlstellungen von >20° angegeben (Stamatis et al. 2003, Weise u. Weller 1997). Abhängig von der knöchernen Substanz erfolgen die Umstellungen als auf- (open wedge) oder zuklappende (closing wedge) Osteotomie, wobei im spongiösen metaphysären Bereich prinzipiell auch bei ersterer gute Heilungsaussichten bestehen. Bei notwendiger Verkürzung aufgrund avitaler Verhältnisse (insbesondere nach Infekt oder Pseudarthrose) ist eine sekundäre Verlängerung mittels Kallusdistraktion anzustreben. In diesen Fällen wird die Osteotomie über einen dorsalen Zugang empfohlen.

Bei Korrekturen von Tibiafehlstellungen über 10° ist zusätzlich eine **Fibulaosteotomie** erforderlich (Zwipp 1994). Die Implantatwahl richtet sich nach der Weichteil- und Knochensituation, Osteotomiehöhe und Längendifferenz. Prinzipiell kommen (ggf. winkelstabile) dynamische Kompressionsplatten für die Tibia, für die Fibula alternativ auch Drittelrohr- oder Reko-Platten infrage (◘ Abb. 11.59).

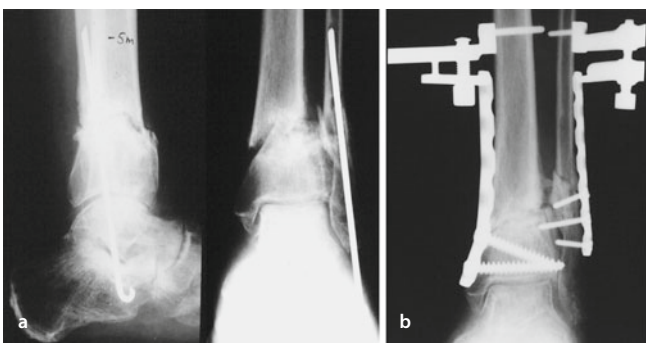
Bei kritischen Weichteilverhältnissen ist externen Fixationsverfahren der Vorzug zu geben. Für gelenknahe Frakturen, geplante Kallusdistraktionen und osteoporotischen Knochen empfiehlt sich die Verwendung des Ilizarov-Fixateurs. Die Dauer der Fixateurbehandlung variiert stark in Abhängigkeit vom Lokalbefund und muss individuell an der knöchernen Konsolidierung ausgerich-

◘ Tab. 11.4 Einteilung der Fehlverheilungen des oberen Sprunggelenks. (Nach Zwipp 2001)

1	Arthrose	
2	Synostose	
3	Pseudarthrose	Hypertroph
		Atroph
		Infiziert
4	Fehlstellung	Außen-/Innenrotation
		Varus/Valgus
		Ante-/Retrokurvation



◘ Abb. 11.58 Radiologische Charakteristika der Kongruenz des oberen Sprunggelenks zur Korrekturplanung. Die mediale Gabelweite (*1*) muss der radiologischen Gelenkspaltweite entsprechen (vgl. auch ◘ Abb. 11.11), andernfalls liegt eine Subluxation des Talus nach lateral vor. Die korrekte Länge der Fibula wird über die so genannte Weber-Nase (*2*), welche die Kortikalis des Tibiaplafonds nach lateral fortsetzt, sowie den Weber-Kreis (*3*), auf welchem Fibulaspitze und Processus lateralis tali liegen, eingestellt. (Nach: Weber 1981)



◘ Abb. 11.59a,b **a** Pseudarthrotische Fehlheilung 5 Monate nach offener supramelleolärer Unterschenkelfraktur, versorgt mit Drahtosteosynthese der Fibula unter Verkürzung und ad-latus-Versatz von Tibia und Fibula. **b** Die Korrektur auf ehemaliger Frakturebene umfasst die Pseudarthrosenausräumung, Knochenspaninterposition, Achsen- und Längenkorrektur mit anschließender Kompressionsplattenosteosynthese

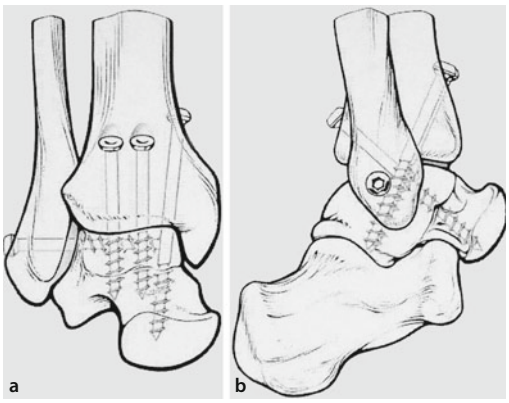
tet werden. Die rechtzeitig durchgeführte supramalleoläre Korrekturosteotomie kann die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose im oberen Sprunggelenk aufhalten und teilweise sogar zurückdrängen (Takakura et al. 1995).

Arthrodese des oberen Sprunggelenks

Für die Arthrodese des oberen Sprunggelenks stehen prinzipiell interne und externe Verfahren zur Verfügung. Im eigenen Vorgehen hat sich die Arthrodese in der **Vierschraubentechnik** bewährt (Zwipp 1994, Zwipp et al. 2010). Diese erfolgt über einen anteromedianen Zugang zum oberen Sprunggelenk, welches komplett von Knorpelresten und sklerotischem Knochen befreit wird. Unter Zuhilfenahme des Arthrodesenspreizers müssen auch die posterior gelegenen Anteile von Tibiaplafond und Talusrolle vollständig ausgeräumt werden, um eine sichere knöcherne Heilung zu garantieren. Die Syndesmosenregion wird bei erweitertem Spalt ebenfalls ausgeräumt. Das obere Sprunggelenk wird in Neutralstellung mit einem tibiokalkanearen K-Draht temporär fixiert. Fehlstellungen und Defekte werden durch kortikospongiöse Beckenkammspäne ausgeglichen. Ist eine geringere Knochenmenge erforderlich, steht die Tibiametaphyse zur Verfügung, sodass keine zusätzliche Entnahmemorbidität resultiert. Ist die Fibula nach erfolgter Gelenkflächenresektion zu lang, wird vor der Schraubenfixation eine Verkürzungsosteotomie durchgeführt. Zwei 6,5 mm-Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde (alternativ 7,3 mm-kanülierte Schrauben) werden parallel von der Tibiavorderkante in den hinteren Anteil des Taluskorpus eingebracht. Über Stichinzisionen werden 2 weitere Schrauben vom Malleolus medialis nach anterolateral in den Taluskopf sowie vom Malleolus lateralis nach medial in den Talusdom eingebracht (◘ Abb. 11.60). Eine instabil verheilte Syndesmose wird durch eine zusätzliche 5. Schraube parallel zur letztgenannten gesichert (Zwipp 1994).

Die Nachbehandlung erfolgt unter beschwerdeadaptierter Vollbelastung im flexiblen Arthrodesenstiefel, bei erfolgter Korrektur mit Knochenplastik unter Teilbelastung mit 20 kp für 6 Wochen. Rowan u. Davey (1999) berichten über gute bis sehr gute Resultate nach T-Platten-Arthrodese über einen anterioren Zugang. Im eigenen Vorgehen ist der Einsatz von Platten größeren Defekten bzw. Nekrosezonen oder der Behandlung von Pseudarthrosen vorbehalten. Arthroskopisch gestützte Arthrodesen (Morgan 1991) sind bei Arthrosen ohne relevante Fehlstellung möglich.

Nach der Literatur sind die interne Schrauben- oder Plattenkorrekturarthrodese bezüglich der Komplikationsrate bei vergleichbaren funktionellen Ergebnissen den externen Verfahren deutlich überlegen (Moeckel et al. 1991). Verbietet sich ein internes Stabilisierungsverfahren aufgrund vorbestehender Knochen- oder Weichteilinfekte oder soll aufgrund kontrakter Weichteile eine schrittweise Achsenkorrektur erfolgen, so kann alternativ ein Ilizarov-Fixateur zur Anwendung kommen. Eine gute Kompression wird mit dem Charnley- oder Calandruccio-Fixateur erreicht; bei diesen Verfahren werden jedoch nicht unerhebliche Pseudarthrosen- und Infektraten beschrieben (Hagen 1986).



◘ **Abb. 11.60a,b** Arthrodese des oberen Sprunggelenks in der Vierschraubentechnik. (Aus: Zwipp et al. 1999b)

Endoprothetischer Sprunggelenksersatz

Mit den ungekoppelten Sprunggelenksprothesen der 2. Generation steht bei geringer Fehlstellung eine Behandlungsalternative für die fortgeschrittene Arthrose des oberen Sprunggelenks zur Verfügung. Die 3-Komponenten-Modelle mit Polyethylen-Inlay erlauben einen der normalen Biomechanik vergleichbaren Bewegungsablauf bei geringer Knochenresektion. Bisherige systematische Übersichtsarbeiten haben mit der Arthrodese vergleichbare Ergebnisse erbracht (Haddad et al. 2007). Während bei letzterer die Anschlussarthrosen der unteren Sprunggelenke und seltener Pseudarthrosen zu Revisionseingriffen zwingen, ist das Hauptproblem bei Sprunggelenksendoprothesen die Lockerung (Soo Hoo et al. 2007). Die mittelfristigen Ergebnisse der OSG-Prothetik sind ermutigend, die Revisions- und Lockerungsraten nach 5 und 10 Jahren liegen jedoch deutlich über denen für den Knie- oder Hüftgelenksersatz (Fevang et al. 2007). In einigen Analysen schneiden Patienten mit posttraumatischer Arthrose bezüglich der Schmerzreduktion gegenüber Patienten mit degenerativer Arthrose oder PCP etwas schlechter ab (Thomas u. Daniels 2003). Die Indikation zur Implantation einer Sprunggelenksprothese wird nach individuellen Gesichtspunkten gestellt, die günstigsten Voraussetzungen bestehen bei Patienten im mittleren und höheren Lebensalter, geringen Achsenabweichungen, guter residueller Beweglichkeit und einem suffizienten, stabilen Knochenlager. Ungünstige Voraussetzungen sind ein abgelaufener Infekt, ausgedehnte avaskuläre Nekrosen, vaskuläre Insuffizienz, neuropathische Kontrakturen und Gelenkaffektionen, eine ungenügende Weichteildeckung sowie schwere Fehlstellungen oder Instabilitäten (Thomas u. Daniels 2003).

Korrekturen auf Malleolarebene

Wann immer möglich sollte auf Malleolarebene eine anatomische Rekonstruktion angestrebt und – falls der Gelenkstatus dies erlaubt – einer Arthrodese vorgezogen werden. Die Indikation ist bei Achsen- oder Längenfehlstellungen der Fibula von >2 mm bzw. Rotationsfehlern von über 5° gegeben. Die Korrektur der Fibulastellung erfolgt über einen lateralen Zugang, bestehende Narben von Voroperationen sollten nach Möglichkeit einbezogen werden. Manifeste Fehlstellungen erfordern eine Osteotomie mit Achsenkorrektur, Derotation und Längenausgleich der Fibula mittels Distraktor (◘ Abb. 11.61). Die Retention der Fibula erfolgt durch eine Plattenosteosynthese (3,5er LCDCP oder Reko-Platte). Zumeist ist für die Stabilität der Reosteosynthese die Interposition eines kortikospongiösen Spans erforderlich, welcher aus der distalen Tibiametaphyse gewonnen werden kann (Weber 1981, Zwipp et al. 1996). Stellt sich nach Korrektur der Fibula der Talus nicht exakt ein, so muss das mediale Kompartiment revidiert werden. In diesen Fällen findet sich hier Pannusgewebe, welches ausgeräumt werden muss, um den harmonischen Gabelschluss zu erreichen (Zwipp 1994, Marti et al. 2009).

Straffe, schmerzfreie Pseudarthrosen des Innenknöchels können konservativ behandelt werden. Bei symptomatischen kleineren knöchernen Bandausrissen des Ligamentum deltoideum kann durch Resektion des Ossikels oft Schmerzfreiheit erreicht werden,

größere Fragmente werden durch Minischrauben transossär refixiert (Zwipp et al. 1996). Ein symptomatisches »Os subfibulare« ist zumeist Folge einer nicht konsolidierten Weber-A-Fraktur oder eines knöchernen Bandausrisses und immer mit einer Instabilität verbunden (Zwipp et al. 1996, 1999b). Die Resektion der Fibulaspitze und Refixation des Ligamentum fibulotalare anterius führt regelhaft zur Schmerzfreiheit. Schmerzhafte Innenknöchelpseudarthrosen bedürfen einer Reosteosynthese nach Anfrischung des Frakturspaltes und Resektion der Pseudarthrosenmembran mittels Zugschrauben- oder Zuggurtungsosteosynthese. Bei atrophen Pseudarthrosen des Innenknöchels und allen Außenknöchelpseudarthrosen ist eine Spanbolzung mit autologem Knochen erforderlich, da mit einer einfachen Reosteosynthese in diesen Fällen kein fester knöcherner Durchbau zu erreichen ist (Zwipp et al. 1996). Die größte Herausforderung stellen Pseudarthrosen mit schwelendem Infekt und schlechtem Weichteilmantel dar. Hier ist ein zweizeitiges Vorgehen mit primärem Débridement, Segmentresektion, temporärer PMMA-Ketteneinlage, Transfixation mit Minifixateur und sekundärer Rekonstruktion mit Knochenaufbau sowie evtl. plastischer Lappendeckung erforderlich (Zwipp et al. 1999b).

Intraartikuläre Fehlverheilungen (Stufenbildungen bei unversorgtem Volkmann-Dreieck oder nach Pilonfraktur) können bei erhaltenem Gelenkknorpel über eine Osteotomie entlang der Frakturlinie anatomisch reponiert und mittels Schraubenosteosynthese versorgt werden (Marti et al. 2009). Bei manifesten Gelenkschäden wird die Arthrodese erforderlich.

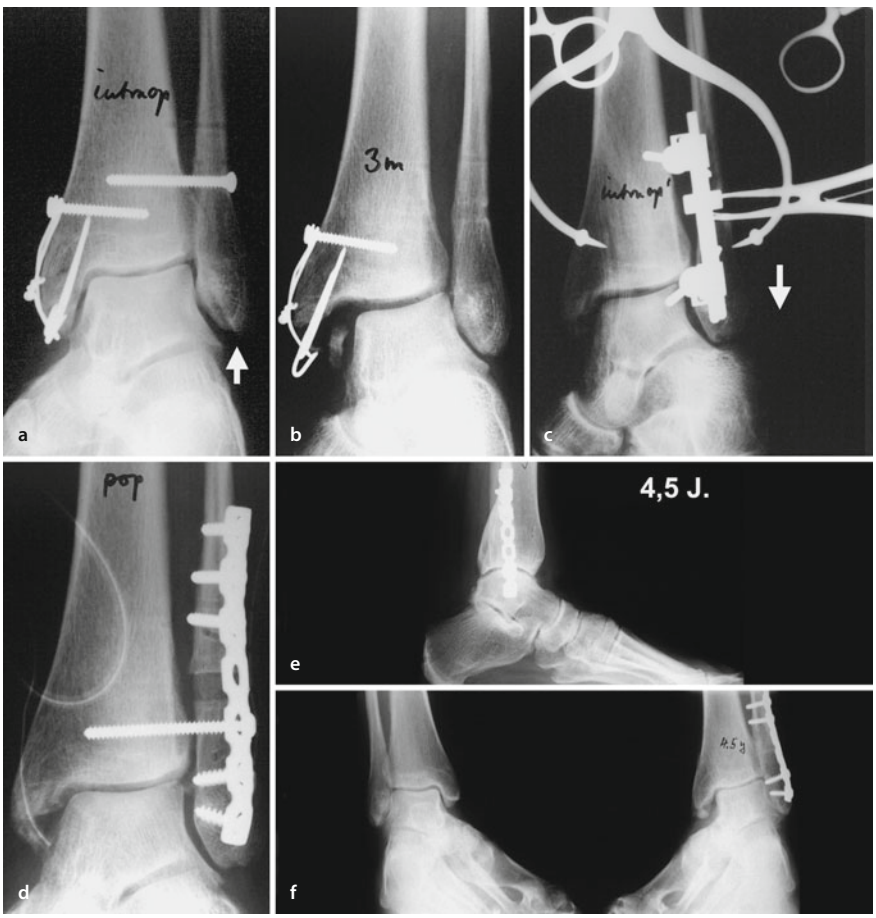
Verknöcherungen der tibiofibularen Syndesmose werden welche nur bei manifester Bewegungseinschränkung reseziert und einer frühfunktionellen Nachbehandlung zugeführt (Zwipp 1994). Fehlverheilte knöcherne Syndesmosenausrisse (übersehene Tubercule-de-Chaput- oder Wagstaffe-Fragmente) bedürfen der Frühkorrektur (Refixation). Bei mit tibiofibularer Stellschraube versorgten Pronations-Eversions-Verletzungen wird eine CT-Kontrolle empfohlen, um bei ungenügender Einstellung in die Inzisur eine frühe Stellungskorrektur vornehmen zu können (Zwipp u. Rammelt 2002). Die Indikation zur Korrektur ist bei einer Diastase von >2 mm, Malrotation von >5° bzw. Ligne claire (tibiofibular clear space) von >5 mm gegeben. Chronische rein ligamentäre Syndesmoseninsuffizienzen werden einer Bandplastik zugeführt (Grass et al. 2003, ▶ Abschnitt 11.3.1).

Posttraumatische Fehlheilungen des Talus

Ätiologie

Bei einem über 60%igen Knorpelüberzug und der Beteiligung an 3 Gelenken führen selbst geringe residuelle Fehlstellungen und Inkongruenzen nach zentralen und peripheren Talusfrakturen zu erheblichen Einschränkungen der globalen Fußfunktion. Typische Befunde nach fehlverheilten Talusfrakturen sind Achsenabweicheungen, insbesondere die Varusfehlstellung in der Horizontalebene nach konservativ behandelten instabilen Talushalsfrakturen, manifeste Arthrosen der oberen und unteren Sprunggelenke nach residuellen Gelenkverwerfungen oder initialem Knorpelschaden, schmerzhafte Pseudarthrosen nach peripheren Talusfrakturen, Impingement der Tibialis-posterior-Sehne oder Tarsaltunnelsyndrom aufgrund knöcherner Prominenzen und nicht zuletzt der Kollaps des Taluskorpus durch eine avaskuläre Nekrose (Rammelt et al. 2006).

Die häufigste posttraumatische Achsenabweichung ist die **Varusfehlstellung** des Talushalses (◘ Abb. 11.62c) mit 25–28%iger In-



◘ **Abb. 11.61a–f** Anatomische Rekonstruktion der Malleolengabel nach Redislokation einer Pronations-Abduktions-Verletzung (Typ Maisonneuve). **a** Die initiale Versorgung war mittels Zuggurtung des Innenknöchels und singulärer Stellschraube bei offenbar persistierender Fibulaverkürzung (*Pfeil*) erfolgt. **b** Der Patient stellte sich 3 Monate postoperativ mit einem Osteosyntheseversagen vor. **c,d** Es erfolgte die Korrekturosteotomie der Fibula mit Verlängerung und Derotation (**c**) sowie die Osteosynthese mittels Rekonstruktionsplatte und autologem trikortikalem Beckenkammspan (**d**). Bei verheilter Innenknöchelfraktur wurde lediglich ein instabiles anteromediales Fragment reseziert, die Syndesmosenfixation erfolgte erneut für 6 Wochen. **e** Nach 4,5 Jahren harmonische Stellung der Knöchelgabel bei fehlenden Arthrosezeichen. **f** Insbesondere findet sich bei den Belastungsaufnahmen mit Innenrotation kein Anhalt auf eine chronische Syndesmoseninstabilität

zidenz bei dislozierten Talusfrakturen, insbesondere nach versuchter geschlossener Reposition und Gipsbehandlung von Hawkins-II-Frakturen (Canale u. Kelly 1978, Lorentzen et al. 1977). Jedoch wird auch über eine sekundäre Dislokation primär undislozierter (Hawkins I) Talushalsfrakturen berichtet, was zu Überlegungen hinsichtlich einer primären Verschraubung auch dieser Frakturtypen Anlass gab, welche zudem eine frühfunktionelle Übungsbehandlung erlauben würde (Baumhauer u. Alvarez 1995). Experimentell erzeugte Fehlstellungen von nur 2 mm am Talushals resultieren bereits in einer signifikanten Lastverlagerung zwischen posteriorer, medialer und anteriorer Facette des subtalaren Gelenks mit der Gefahr der Arthroseentwicklung (Sangeorzan et al. 1992).

Mit der Verletzungsschwere und dem initialen Dislokationsgrad steigt das Risiko sowohl einer Arthrose als auch einer avaskulären Nekrose, welche jedoch nicht immer symptomatisch werden (Kundel et al. 1995, Rammelt u. Zwipp 2009). Die Inzidenz verzögerter oder ausbleibender Knochenheilung nach zentralen Talusfrakturen wird bis zu 10% angegeben (Baumhauer u. Alvarez 1995, Lorentzen et al. 1977, Peterson et al. 1977, Schuind et al. 1983).

Diagnostik

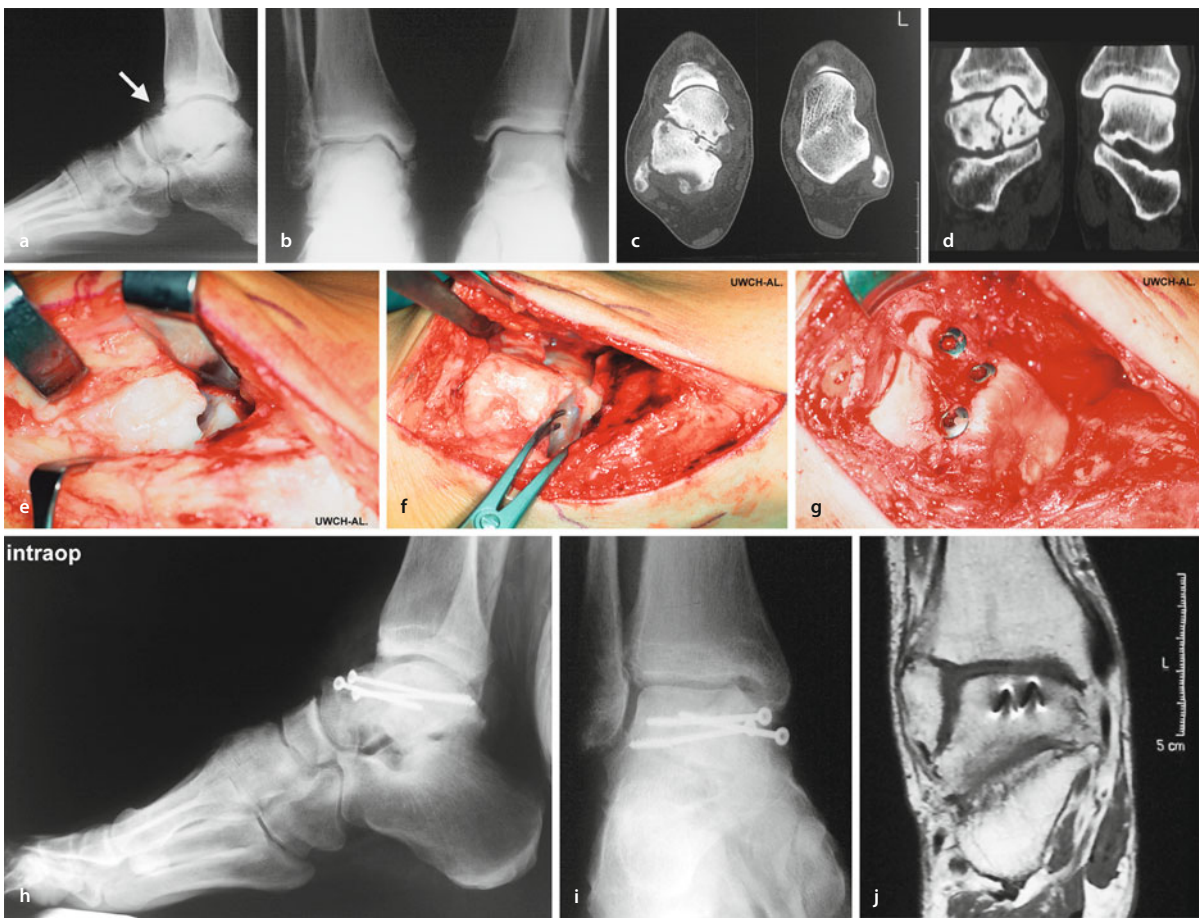
Zur präoperativen Diagnostik werden Belastungaufnahmen der oberen Sprunggelenke und Füße (dorsoplantar und seitlich) im Seitenvergleich benötigt. Auf die Wertigkeit der CT wurde bereits im ▶ Abschnitt 11.2.3, Talusfrakturen, hingewiesen, zusätzlich ist zur Beurteilung der Durchblutung des Taluskorpus die MRT indiziert.

Klassifikation

Für die Planung der notwendigen Korrekturmaßnahmen hat sich die nachfolgende Einteilung von Talusfehlverheilungen als nützlich erwiesen (Zwipp u. Rammelt 2003, ◘ Tab. 11.5).

◘ Tab. 11.5 Einteilung posttraumatischer Fehlverheilungen des Talus. (Modifiziert nach Zwipp u. Rammelt 2003)

Typ	Fehlstellung	Untergruppe
I	Gelenkfehlstellung	a indirekt
		b direkt
II	Pseudarthrose	a peripher – ohne Fehlstellung des Taluskorpus
		b zentral – mit Fehlstellung des Taluskorpus
III	I/II mit partieller Talusnekrose	
IV	I/II mit totaler Talusnekrose	
V	I/II mit septischer Talusnekrose	



◘ Abb. 11.62a–j **a–d** Pseudarthrose nach konservativ behandelter Marti-III-Fraktur des linken Talus mit persistierender Varusfehlstellung und Verkürzung des Talushalses (**a,c**) sowie sagittalem Malalignment des Korpus mit Gelenkinkongruenz (**b,d**). **e–g** Die gelenkerhaltende Therapie besteht in der Pseudarthrosenresektion und Schraubenosteosynthese (**g**) mit Spongiosaplastik. **h,i** Postoperativ anatomische Stellung des Talus. **j** In der Kontroll-MRT 8 Wochen postoperativ keine erkennbare Durchblutungsstörung

Dabei ist nach eigener Erfahrung insbesondere die Unterscheidung in partielle und totale avaskuläre Nekrosen des Taluskorpus für die Prognoseabschätzung von Bedeutung.

Spezielle Therapie

I. Fehlstellung

Liegt zum Zeitpunkt der Korrektur keine manifeste Arthrose, Totalnekrose und kein Infekt vor, so kann der Versuch einer **anatomischen Rekonstruktion** mittels Korrekturosteotomie entlang der ehemaligen Frakturebene bei insgesamt guter Knochenqualität unter Erhalt aller 3 Gelenke unternommen werden (Rammelt et al. 2006, Zwipp u. Rammelt 2002). Neben einer ausreichenden Erfahrung des Operateurs ist eine gute Compliance des Patienten Voraussetzung für ein Gelingen des Eingriffs. Zur anatomischen Gelenkrekonstruktion ist eine ausreichende Übersicht von einem bilateralen Zugang (anteromedial plus Ollier) aus erforderlich, die Verwendung eines Distraktors ist sehr hilfreich. Eine streng atraumatische Präparationstechnik ist bei den kritischen Durchblutungsverhältnissen obligat. Nach Wiederherstellung der Gelenkflächen erfolgt die Schraubenosteosynthese, in der Regel verbunden mit einer autologen Spongiosaplastik, ohne jedoch durch Zugschraubenwirkung eine Verkürzung zu provozieren. Monroe u. Manoli (1999) schildern in einem Fallbericht die extraartikuläre Korrekturosteotomie und Spaneinbolzung nach Varusfehlstellung des Talushalses, wie sie auch von Hansen (2000) empfohlen wird.

Die Indikation zur **Korrekturarthrodese** besteht bei manifesten, schmerzhaften Arthrosen mit irreparabler Zerstörung der Gelenkfläche, wobei die Arthrodese stets auf das betroffene Gelenk beschränkt bleiben sollte, um weitere Funktionseinbußen zu vermeiden (Zwipp u. Rammelt 2003). Situationsabhängig stehen somit die Arthrodese des oberen Sprunggelenks, subtalare Arthrodese, talonavikulare Arthrodese, Double- oder Triple-Arthrodese zur Disposition. Das Talonavikulargelenk als Bestandteil der Coxa pedis sollte, wann immer möglich, erhalten werden. Aus dem Gesagten ergibt sich die Forderung nach frühzeitiger Korrektur, d.h. vor dem Auftreten von Anschlussarthrosen, um einen maximalen Funktionsgewinn für den Patienten zu ermöglichen mit der Idealvariante der anatomischen, gelenkerhaltenden Rekonstruktion.

II. Pseudarthrose

Einheitliche Therapieempfehlungen zur Behandlung der Taluspseudarthrose existieren nicht (Baumhauer u. Alvarez 1995). Migues et al. (1996) beschrieben in einem Fallbericht die Versorgung einer Taluspseudarthrose mit Knochenspaninterposition über einen posterolateralen Zugang. Im eigenen Vorgehen werden Pseudarthrosen des Taluskorpus oder Talushalses über einen bilateralen Zugang ausgeräumt, evtl. vorhandene Sklerosezonen abgefräst und mittels Pridie-Bohrungen die Durchblutung der angrenzenden Knochenbezirke angeregt. Der entstandene Defekt wird mit autologer Spongiosa bzw. einem kortikospongiösen Span aufgefüllt. Die notwendige Kompression wird mit 2–3 Zugschrauben unter Beachtung der Achsen- und Längenverhältnisse erreicht (◘ Abb. 11.62). Bei den bislang versorgten Patienten konnte eine knöcherne Konsolidierung unter Erhalt aller Gelenke erzielt werden (Rammelt et al. 2006).

Schmerzhafte Pseudarthrosen entstehen jedoch auch nach übersehenen peripheren Talusfrakturen, insbesondere am Processus fibularis. Die vollständige Resektion dieser pseudarthrotisch verheilten kleinen Fragmente führt meist zur Schmerzfreiheit, wenn noch keine Arthrose eingetreten ist.

III. Fehlheilung und partielle avaskuläre Nekrose

Fehlverheilungen und Pseudarthrosen auf Höhe des Taluskorpus und Talushalses sind nicht selten mit einer avaskulären Nekrose vergesellschaftet. Ist lediglich eine partielle Talusnekrose (weniger als ein Drittel des Taluskorpus) eingetreten, so kann die anatomische Rekonstruktion unter Gelenkflächenerhalt wie oben beschrieben angestrebt werden sollte, sofern noch keine symptomatische Arthrose eingetreten ist (Zwipp u. Rammelt 2003). In den bislang auf diese Weise korrigierten Fehlheilungen ist es bislang noch in keinem Fall zu einer Progredienz der Partialnekrose gekommen (Rammelt et al. 2006).

IV. Fehlheilung und totale avaskuläre Nekrose

Liegt eine totale avaskuläre Talusnekrose mit Kollaps des Taluskorpus vor, so muss der nach Nekrektomie und Achsenkorrektur resultierende Defekt mit Spongiosa oder kortikospongiösen Spänen aufgefüllt werden, wobei zumeist eine subtalare Arthrodese erforderlich wird (Zwipp u. Rammelt 2003). Wenn möglich, sollte das funktionell wichtige obere Sprunggelenk erhalten werden.

Für die Therapie kompletter avaskulärer Taluskorpusnekrosen nach Trümmerfrakturen stellt die BlairFusion eine Behandlungsoption dar. Diese beinhaltet eine tibiokalkaneare Arthrodese mittels Verschiebespan von der vorderen Tibiakante nach Exzision des nekrotischen Taluskorpus unter Erhalt des anteromedialen Facettengelenks und des biomechanisch wichtigen Talonavikulargelenks (Blair 1943). In der Modifikation von Morris et al. (1971) wurden mehrheitlich gute bis sehr gute Ergebnisse beobachtet. Eine weitere Variante der tibiokalkanearen Fusion wird mittels eines retrograd eingebrachten Marknagels durchgeführt (Kile et al. 1994). Diese führt insbesondere bei schlechter Knochenqualität zu einer hohen biomechanischen Festigkeit, jedoch auch zu einer unphysiologischen Belastung der distalen Tibia mit dem erhöhten Risiko von Stressfrakturen (Thoradson u. Chang 1999).

V. Fehlheilung und septische Talusnekrose

Entsprechend den Prinzipien der septischen Chirurgie muss beim – glücklicherweise seltenen – Auftreten einer septischen Talusnekrose durch wiederholte, radikale Nekrektomien und Weichteildébridements zunächst der Infektherd saniert werden (Rammelt et al. 2006). Die entstehende Defekthöhle wird vorläufig mit Gentamicin-Ketten als Platzhalter und Antibiotikaträger aufgefüllt, die Haut u.U. mit einem Vacuseal-Verband verschlossen und ein tibiotarsaler Fixateur externe zur Transfixation angelegt. Die Auffüllung des knöchernen Defekts nach Infektsanierung erfolgt mit einer ausreichend dimensionierten autologen oder homologen Knochenspanbolzung. Bei Folgezuständen nach schweren Infekten können nach primärer Sanierung und tibiokalkanearer Fusion durch sekundären Längenausgleich mittels Ilizarov-Distraktion auch akzeptable Ergebnisse erzielt werden (Liener et al. 1999). Insgesamt ist der komplette Verlust des Taluskorpus insbesondere nach Infektverlauf jedoch mit einer ungünstigen Prognose behaftet, weshalb der Infektvermeidung durch aggressives initiales Weichteilmanagement v.a. bei offenen Frakturen oberste Priorität zukommt.

Posttraumatische Fehlstellungen des Kalkaneus

Ätiologie

Die Ursachen für schmerzhafte Fehlheilungen des Kalkaneus liegen zum einen in der konservativen Therapie dislozierter intraartikulärer Frakturen bzw. einer unvollständigen Reposition bei operativer Therapie. Zum anderen resultieren subtalare Arthrosen regelhaft nach Trümmerfrakturen und ungenügender Rekonstruktion der Gelenkfläche (Sanders 2000). Experimentelle Druckmes-

sungen und klinische Studien haben gezeigt, dass bereits kleinste Stufen von 1–2 mm zu signifikanten Druckverschiebungen im Subtalargelenk mit dem Risiko dauerhafter Knorpelschäden führen (Rammelt et al. 2002a, 2003). Borrelli et al. (1997) erzeugten im Kadaverversuch bereits durch die einmalige axiale Gewalteinleitung erhebliche, potenziell irreversible Knorpelschäden. Eine symptomatische Arthrose des Kalkaneokuboidgelenks ist bei der typischen Kalkaneusfraktur hingegen selten und eher bei transkalkanearen Chopart-Luxationsfrakturen zu erwarten.

Die klassische posttraumatische Deformität nach konservativ behandelter dislozierter Kalkaneusfraktur ergibt sich aus dem originären Frakturmechanismus. Sie besteht in einer Verbreiterung des Rückfußes aufgrund der Absprengung der lateralen Wand des Fersenbeins (lateral bulge). Diese ist häufig vergesellschaftet mit einem Impingement der Peronealsehnen sowie mit einer Rückfußverkürzung aufgrund der Höhenminderung des Kalkaneus, welche bis zum Anstoßen (abutment) des Außenknöchels an die laterale Wand führen kann. Weiterhin verursacht die Höhenminderung des Kalkaneus eine Kippung des Taluskorpus nach dorsal, wodurch eine mechanisch ungünstige Einstellung der breiteren Talusrolle in der Knöchelgabel sowie ein vorderes tibiotalares Impingement mit der fast zwangsläufigen Entwicklung einer Anschlussarthrose im oberen Sprunggelenk resultiert. Als zusätzliche Komponente findet sich regelhaft eine Deformität in der Frontal- und/oder Horizontalebene im Sinne eines Rückfußvarus oder -valgus (Sanders 2000, Zwipp 1994). Bei zusätzlicher seitlicher Translation des Kalkaneus kann es im Extremfall zu einer horizontalen Verkippung des Talus in der Malleolengabel kommen.

Diagnostik

Zur Planung des operativen Vorgehens werden Belastungsaufnahmen beider Füße (dorsoplantar und seitlich), Achsenaufnahmen der Rückfüße Saltzman u. El Khoury 1995) sowie Belastungsaufnahmen beider oberer Sprunggelenke a.p. zur Darstellung des fibulotalaren Abutments und einer evtl. Talussubluxation angefertigt. Analog zur Versorgung frischer Frakturen ist die prinzipielle Durchführung einer präoperativen CT aufgrund der oft mehrdimensionalen Fehlstellungen sowie zur Erfassung von Pseudarthrosen unbedingt empfohlen. Beim Anhalt auf das Vorliegen einer Knochennekrose oder Tendopathie ist eine MRT indiziert.

Klassifikation

Eine therapierelevante Einteilung der posttraumatischen Fehlheilungen des Kalkaneus ist in ◘ Tab. 11.6 dargestellt. Hierbei werden symptomatische knöcherne Fehlstellungen häufig beobachtet, während Pseudarthrosen oder Nekrosen extreme Ausnahmen darstellen und in diesen Fällen zumeist auf technische Probleme bei der Primärversorgung zurückzuführen sind (Brenner et al. 2000, Zwipp u. Rammelt 2003).

◘ **Tab. 11.6** Einteilung posttraumatischer Fehlverheilungen des Kalkaneus. (Modifiziert nach Zwipp u. Rammelt 2003)

Typ	Fehlstellung	Pathologie
I	Gelenkinkongruenz	A Solide Fehlheilung B Pseudarthrose C Nekrose
II	Zusätzliche Varus-/Valgusfehlstellung	
III	Zusätzliche Höhenminderung	
IV	Zusätzliche Translation	
V	Zusätzliche Taluskippung (Subluxation)	

Therapie: A Fehlstellungen

I. Gelenkinkongruenz

Residuelle Inkongruenzen in der posterioren Gelenkfacette sind aufgrund der häufigen Beteiligung dieses Gelenks (>80%) bei Kalkaneusfrakturen ein vorrangiges Problem von großer klinischer Relevanz. Bei schmerzhafter Arthrose des Subtalargelenks ohne begleitende Fehlstellung führt die isolierte **In-situ-Arthrodese** des Subtalargelenks zu einer deutlichen Schmerzreduktion (Kalamchi u. Evans 1977). Im eigenen Vorgehen hat sich in diesen Fällen die Schraubenarthrodese über einen posterolateralen oder Ollier-Zugang bewährt. Nach Ausräumung der posterioren Facetten von Talus und Kalkaneus von Restknorpel und subchondralen Sklerosezonen unter Zuhilfenahme eines Arthrodesenspreizers erfolgt eine Kompressionsarthrodese in der Regel mit 2 von plantar über Stichinzisionen eingebrachten 6,5-mm-Spongiosazugschrauben. Wird keine Spongiosa interponiert, so muss zur Vermeidung eines Rückfußvalgus zusätzlich die mediale Facette ausgeräumt werden (Zwipp 1994). Eine Alternative stellt die arthroskopisch gestützte, minimal-invasive In-situ-Arthrodese dar. Die Nachbehandlung erfolgt unter Wiederaufnahme der vollen Belastung nach 6 Wochen frühfunktionell im flexiblen Arthrodesenstiefel.

II./III. Axiale Fehlstellung und Höhenminderung

Beim Vorliegen einer manifesten Fehlstellung des Kalkaneus in ein oder 2 Ebenen (Varus/Valgus und/oder Höhenminderung) hat sich die aufrichtende, **reorientierende subtalare Arthrodese** mit Einbringung von 1–2 trikortikalen Knochenspänen bewährt (Carr et al. 1988). Der Eingriff erfolgt vorzugsweise über einen posterolateralen (Gallie) Zugang, bei noch liegendem Kalkaneusplättchen über einen erweiterten lateralen Zugang. Da sich der Patient bei dem schonenderen posterolateralen Zugang in Bauchlage befindet, ist in diesen Fällen eine Knochenentnahme vom hinteren Beckenkamm sinnvoll. Eine komplette Ausräumung von Restknorpel, Pannusgewebe und sklerotischen Knochenanteilen ist Voraussetzung für eine sichere Fusion. Durch die Form der trikortikalen Beckenkammspäne, welche anhand einer präoperativen Planungsskizze gefertigt werden, werden sowohl die Aufrichtung des Taluskorpus als auch die Korrektur begleitender Varus- oder Valgusfehlstellungen erzielt (Zwipp 1994; ◘ Abb. 11.63). Bei höhergradigen Varusfehlstellungen ist jedoch aufgrund der Weichteilkontraktur ein posteromediales Release sowie die zusätzliche valgisierende Korrekturosteotomie des Tuber calcanei erforderlich.

Postoperativ wird die betroffene Extremität für 10–12 Wochen (6 Wochen im Unterschenkelspaltgips, 6 Wochen im Variostabil-Schuh) mit 20 kp teilbelastet. Mit diesem Verfahren lässt sich reproduzierbar eine signifikante Schmerzreduktion sowie eine Verbesserung der Fußfunktion erreichen (Carr et al. 1988, Rammelt et al. 2004, Trnka et al. 2001).

IV. Seitliche Translation

Bei erheblicher Fehlstellung entlang der primären Frakturlinie mit lateraler Translation des Tuberfragments empfiehlt Romash (1993) vor der subtalaren Arthrodese die **Korrekturosteotomie** durch die ehemalige Frakturlinie. Im eigenen Vorgehen ist eine suffiziente Achsenkorrektur bei zumeist komplexer Fehlstellung nur über ein bilaterales Vorgehen und möglichst unter Zuhilfenahme einer präoperativen dreidimensionalen CT-Analyse (◘ Abb. 11.64) zu erreichen (Dahlen u. Zwipp 2001, Zwipp u. Rammelt 2006).

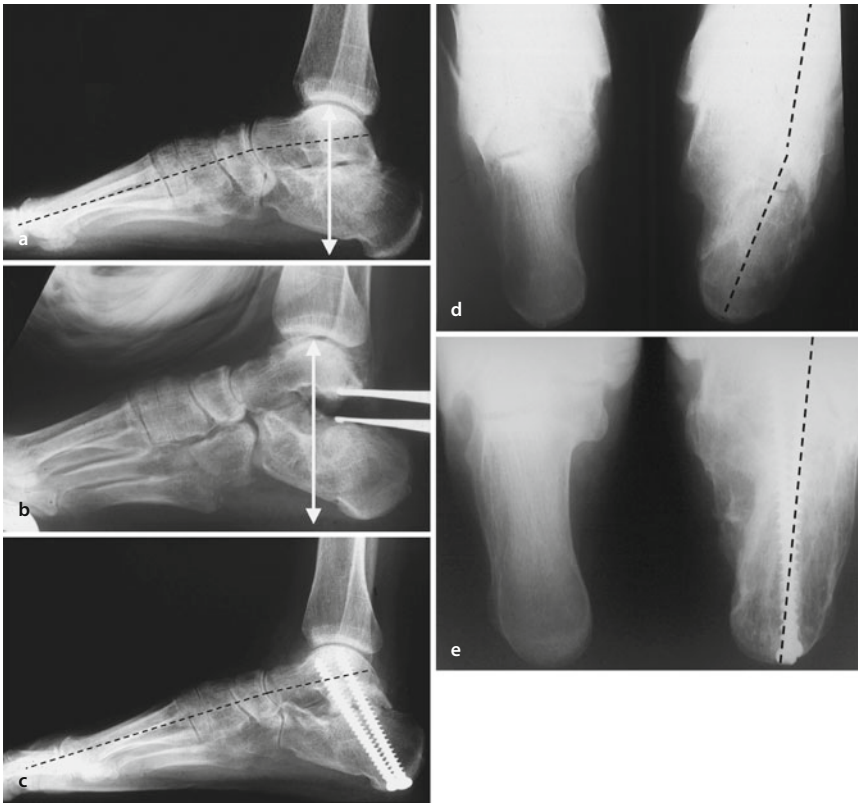


Abb. 11.63a–e **a** In Höhenminderung und Varusfehlstellung des Rückfußes ausgeheilte Kalkaneusfraktur. **b–e** Die Korrektur erfolgt mittels reorientierender Arthrodese des Subtalargelenks (**c**) mit Ausgleich des Höhenverlustes (**b,c**) sowie Korrektur der Rückfußachse (**d,e**). Beachte die Korrektur der Talusdeklination und damit Ausrichtung der talometatarsalen Achse (*gestrichelte Linie*). Der Doppelpfeil bezeichnet die talokalkaneare Höhe als wichtiges Maß für die Rückfußaufrichtung

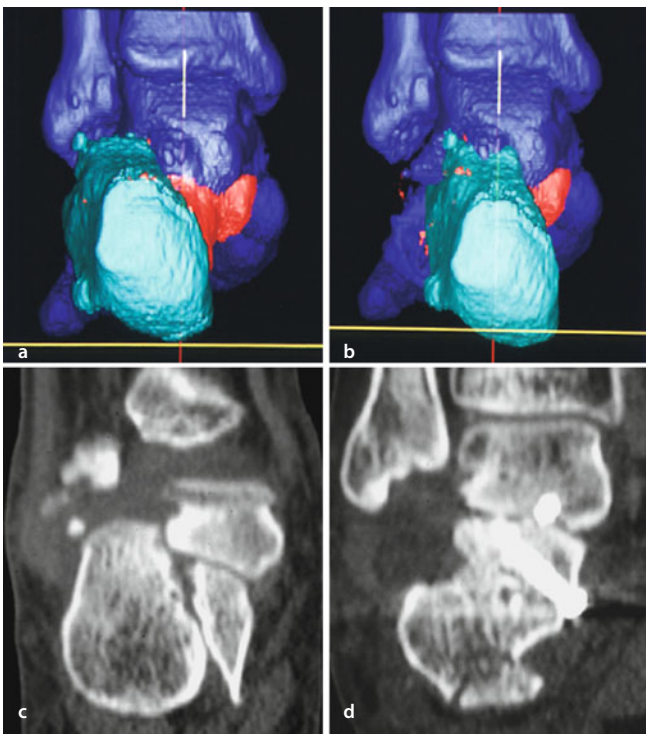


Abb. 11.64a–d **a,b** Virtuelle Planung der Korrekturosteotomie bei in lateraler Translation (**c**) und deutlicher Höhenminderung verheilter Kalkaneusfraktur. **d** Nach Osteotomie entlang der (z.T. noch nicht verheilten) ehemaligen Frakturlinie und Resektion der lateralen Fersenbeinwand imponiert eine anatomische Ausrichtung der Rückfußachse und Aufhebung des fibulokalkanearen Abutments. Die Stabilisierung von Osteotomie und subtalarer Arthrodese erfolgt mit Spongiosaschrauben

V. Taluskippung

Bei schweren Fehlstellungen nach Kalkaneusluxationsfrakturen mit manifester horizontaler Taluskippung ist zur Rekonstruktion der Rückfußgeometrie eine **Korrekturosteotomie** des Kalkaneus erforderlich. Über einen bilateralen Zugung muss der tief impaktierte Talus gehoben werden, wozu wiederum eine Mobilisation und Ausräumung des Subtalargelenks, wie oben beschrieben, erforderlich ist. Die korrekte Einstellung des Talus in die Sprunggelenkgabel wird über einen zusätzlichen anteromedianen Zugang kontrolliert (Zwipp 1994). Für diese Korrektureingriffe ist in jedem Falle eine präoperative 3-D-Planung empfehlenswert. Eine Double-Arthrodese (oberes und hinteres unteres Sprunggelenk) ist mit einer erheblichen Bewegungseinschränkung des Rückfußes verbunden und sollte für bereits eingetretene schwere Anschlussarthrosen des oberen Sprunggelenks reserviert bleiben (Zwipp u. Rammelt 2003).

Therapie: B Pseudarthrosen

Die Entwicklung einer Pseudarthrose nach Kalkaneusfrakturen ist eine ausgesprochene Rarität. Im eigenen Krankengut wurde die Entwicklung einer Pseudarthrose im Achtjahreszeitraum bei 2 von 408 operativ versorgten Kalkaneusfrakturen gesehen (Zwipp u. Rammelt 2003). In einem weiteren Fall kam es bei verzögerter Knochenbruchheilung ohne weitere operative Revisionen zur spontanen Konsolidierung nach 1 Jahr. In der Literatur werden Kalkaneuspseudarthrosen ebenfalls nur fallweise berichtet (Thomas u. Wilson 1993). Die Therapie besteht in der kompletten Ausräumung der bindegewebigen Verwachsungen mit Anfrischung der sklerotischen und schlecht durchbluteten Randbezirke und anschließender 6,5-mm-Zugschraubenosteosynthese unter Zuhilfenahme einer autologen Spongiosaplastik. Gleichzeitig vorliegende Fehlstellungen werden entsprechend den oben angegebenen

Prinzipien korrigiert. Pseudarthrotische Fehlverheilungen des Processus anterior calcanei entstehen nach übersehenen knöchernen Avulsionen des Ligamentum bifurcatum (▶ Abschnitt 11.3.5). Schmerzhafte Fragmente werden reseziert.

Therapie: C Nekrosen

Der Kalkaneus verfügt im Gegensatz zum Talus über eine periostale Blutgefäßversorgung, sodass das Risiko für das Auftreten einer posttraumatischen avaskulären Nekrose auch bei Trümmerfrakturen sehr gering ist. Wir haben in 2 Fällen eine septische Nekrose des Kalkaneus und der darüber liegenden lateralen Fersenhaut nach offener Fraktur und verzögerter Versorgung bzw. durch Protrusion des Osteosynthesematerials bei in Fehlstellung versorgter Fraktur gesehen. In solchen Fällen handelt es sich um desaströse Verläufe, die nach adäquatem Débridement in einer partiellen oder totalen Kalkanektomie enden. Auch bei Infektsanierung sind die zu erwartenden funktionellen Ergebnisse schon aufgrund der protrahierten Ruhigstellung und Entlastung mehrheitlich nurmehr befriedigend, wobei die Mehrzahl der in der Literatur geschilderten Fälle aus chronischen diabetischen Ulzerationen mit Kalkaneusosteomyelitis resultiert, nur selten aus posttraumatischen Fehlheilungen (Sangeorzan u. Hansen 1989). Eventuelle rekonstruktive Maßnahmen, z.B. mit kombiniertem freiem kostomuskulären Gewebetransfer, sind ausgesprochen aufwändig, erlauben jedoch im Einzelfall eine weitgehende Rehabilitation des Patienten (Brenner et al. 2000).

Posttraumatische Fehlstellungen des Chopart-Gelenks

Ätiologie

Verletzungen des Chopart-Gelenks werden häufig initial übersehen bzw. unterschätzt und als »Zerrungen« bzw. »isolierte« Navikulare- oder Kuboidfrakturen fehlinterpretiert. Dies liegt zum einen daran, dass die funktionelle Einheit des Chopart-Gelenks bzw. die Bedeutung seines Gelenkcharakters noch immer wenig Beachtung finden (Rammelt et al. 2002b). Die relativ geringe Inzidenz dieser Verletzungen (bei jedoch steigender Tendenz), die äußerst variable Klinik und die Unkenntnis der korrekten radiologischen Projektionen tragen ihrerseits dazu bei, dass ein reichliches Drittel der Chopart-Luxationsfrakturen zunächst übersehen oder bagatellisiert werden (Kotter et al. 1997, Main u. Jowett 1975). Bereits marginale Gelenkverwerfungen können zur Ausbildung einer Früharthrose des betroffenen Gelenks führen, welche jedoch nicht immer symptomatisch sein muss (Kotter et al. 1997).

Ein gestörtes Verhältnis von lateraler und medialer Fußsäule resultiert in einer schweren Gefügestörung des gesamten Fußes (Mittlmeier et al. 1997). Bei fehlender bzw. ungenügender Aufrichtung der häufigen Impressionszonen an Taluskopf/Os naviculare oder Processus anterior calcanei/Kuboid kommt es zu einer Verkürzung der medialen bzw. lateralen Fußsäule mit der zwangsläufigen Ausbildung eines **Pes adductus** bzw. **abductus**. Eine Verkürzung der medialen Fußsäule kann jedoch auch nach korrekter Versorgung einer transnavikularen Chopart-Luxationsfraktur aufgrund einer posttraumatischen **avaskulären Nekrose** des Os naviculare beobachtet werden. Eine traumatische Verkürzung der lateralen Fußsäule oder übersehene Bandinstabilität führt zu einem schrittweisen Kollaps des Fußlängsgewölbes mit konsekutivem, schmerzhaftem posttraumatischen **Pes plano valgus** (Zwipp u. Rammelt 2003). Die Patienten klagen über chronische Schwellungs- und Schmerzzustände sowie eine erhebliche Bewegungseinschränkung aufgrund der Fehlbelastung von Mitt- und Vorfuß (Kotter et al. 1997).

Betrachtet man den klassischen Entstehungsmechanismus von Chopart-Luxationsfrakturen, nämlich forcierte Adduktion bzw. Abduktion des Vorfußes bei fixiertem Rück- oder Vorfuß zumeist mit gleichzeitiger axialer Gewalteinwirkung, so wird deutlich, dass Kompressionskräfte auf der einen Seite mit Distraktionskräften auf der Gegenseite des Gelenks einhergehen (Main u. Jowett 1975, Rammelt et al. 2002b). Werden diese ligamentären Verletzungen nicht adäquat therapiert, können schmerzhafte sagittale **Instabilitäten** bis hin zur Entstehung eines posttraumatischen Plattfußes oder chronische kalkaneokuboidale Instabilitäten in der Horizontalebene resultieren (Rammelt et al. 2002b, Zwipp 1994).

Klassifikation

Für die Planung der Korrektureingriffe werden die posttraumatischen Fehlstellungen nach Chopart-Luxationsfrakturen wie in ◘ Tab. 11.7 dargestellt eingeteilt.

Zur präoperativen Planung sind Belastungsaufnahmen beider Füße in 2 Ebenen, Achsenaufnahmen der Rückfüße sowie 45°-Schrägaufnahmen der Fußwurzel im Seitenvergleich erforderlich. Eine CT ist insbesondere zur Darstellung des Gelenkstatus und Planung intraartikulärer Korrekturen erforderlich.

Spezielle Therapie

Korrektureingriffe unter Erhalt beider Gelenke kommen in sorgfältig ausgewählten Fällen beim Fehlen arthrotischer Veränderungen sowohl bei residueller Inkongruenz (Typ I) als auch bei Pseudarthrosen (Typ II) – insbesondere nach Stressfrakturen des Os naviculare – infrage (Rammelt et al. 2009). Das Zeitfenster für gelenkerhaltende Korrekturen scheint jedoch noch kleiner als beim Talus zu sein, da sich am Chopart-Gelenk bereits nach wenigen Monaten irreversible arthrotische Veränderungen ausbilden. Nach Ausräumung von zentralen Pseudarthrosen wird vor der Zugschraubenosteosynthese eine Spongiosaplastik erforderlich.

Beim Vorliegen einer isolierten Kalkaneokuboidarthrose erfolgt nach Ausräumung des Gelenks über einen geraden lateralen Zugang die isolierte **Kalkaneokuboidarthrodese** (Dewar u. Evans 1968). Die regelhaft vorliegende Verkürzung der lateralen Fußsäule mit entsprechender Abduktionskomponente (Typ III) wird mit Einbolzung eines trikortikalen Spans korrigiert (◘ Abb. 11.65). Die Fixation erfolgt jeweils mit gekreuzten oder parallelen Kortikalisschrauben bzw. einer lateralen Platte. Das für die Fußwurzelmotilität bedeutsamere Talonavikulargelenk kann in diesen Fällen erhalten werden.

Bei Verkürzungen der medialen Fußsäule und isolierter talonavikularer Arthrose (Typ IV) erbringt die **Talonavikulararthrodese** zwar eine ausreichende Schmerzreduktion, zieht jedoch eine substanzielle Bewegungseinschränkung im Subtalargelenk sowie eine verminderte Plantarflektion in der Abstoßphase nach sich (Fogel et al. 1982). Aufgrund der hohen biomechanischen Beanspruchung

◘ **Tab. 11.7** Einteilung posttraumatischer Fehlverheilungen am Chopart-Gelenk. (Nach Rammelt et al. 2009)

Typ	Fehlstellung / Morphologie
I	Gelenkinkongruenz medial oder lateral
II	Pseudarthrose
III	Arthrose und Verkürzung der lateralen Fußsäule
IV	Arthrose und Verkürzung der medialen Fußsäule
V	Bilaterale Arthrose mit kombinierter Fehlstellung

sollten nach kompletter Gelenkausräumung und Spongiosaplastik zum Längenausgleich 2–3 Spongiosazugschrauben oder eine entsprechend dimensionierte winkelstabile Platte Verwendung finden. Bei einer kombinierten Arthrose des Kalkaneokuboid- und Talonavikulargelenks mit komplexer Fehlstellung (Typ V) ist die komplette **Chopart-Arthrodese** über einen bilateralen Zugang indiziert (Abb. 11.66). In diesen Fällen ist zur Korrektur eine keilförmige Subtraktionsosteotomie erforderlich, welche zum Scheitelpunkt der Achsenabweichung hin offen ist. Diese im amerikanischen Sprachraum auch als **Double-Arthrodese** bezeichnete Fusion ist darüber hinaus bei osteoporotischem Knochen einer isolierten Talonavikular-Arthrodese biomechanisch überlegen (Clain u. Baxter 1994). Sowohl am Talonavikular- als auch am Kalkaneokuboid-Gelenk ist der Einsatz des Minidistraktors zur kompletten Gelenkeinsicht und korrekten Längenausgleich sehr hilfreich.

Abb. 11.65a–d **a** In Fehlstellung verheilte transkalkaneare Chopart-Luxationsfraktur mit erheblicher Gelenkinkongruenz (*Pfeil*) und Verkürzung der lateralen Fußsäule aufgrund der persistierenden Längenminderung des Processus anterior calcanei. **b** Es resultiert eine Subluxationsstellung des gesamten Chopart-Gelenks, welche sich in einer unvollständigen Bedeckung des Taluskopfs (*Pfeil*) durch das Os naviculare widerspiegelt. **c,d** Nach Längenausgleich und Achsenkorrektur durch kortikospongiöse Spaninterposition erfolgt die Schraubenarthrodese des Kalkaneokuboidgelenks. Nunmehr korrekte Achsenausrichtung (*gestrichelte Linie*) und Bedeckung des Taluskopfs (*Pfeil*)

Von einigen Autoren wird die insbesondere beim fortgeschrittenen degenerativen Pes plano valgus indizierte **Triple-Arthrodese** auch für posttraumatische Fehlstellungen im Chopart-Gelenk empfohlen (Canale u. Kelly 1978, Main u. Jowett 1975). Biomechanisch scheint diese Option insbesondere bei einer konkomitanten Ruptur der Tibialis-posterior-Sehne oder klinisch relevanter Arthrose bzw. Funktionseinschränkung im Subtalar-Gelenk sinnvoll. Die Triple-Arthrodese ist im Langzeitverlauf bei korrekter Indikationsstellung, inklusive idiopathischer Arthrosen und kongenitaler Fehlstellungen, mit einer deutlichen Schmerzreduktion und entsprechendem Funktionsgewinn verbeunden (Angus u. Cowell 1986). Die von einigen Autoren beobachteten Anschlussarthrosen im oberen Sprunggelenk und distaler Fußwurzel sind für das funktionelle Ergebnis offenbar ohne Relevanz (de Heus et al. 1997). Die wenigen vorliegenden Ergebnisse nach Chopart-Arthrodese scheinen denen nach Triple-Arthrodese vergleichbar (Clain u. Baxter 1994).

Posttraumatische Fehlstellungen des Lisfranc-Gelenks

Ätiologie

Schmerzhafte Fehlstellungen auf Höhe des tarsometatarsalen Übergangs entstehen nach übersehenen und auch unvollständig reponierten oder inadäquat retinierten Luxationen oder Luxationsfrakturen. Nach eigener Erfahrung wurden bei symptomatischen Fehlstellungen die Lisfranc-Luxationsfrakturen initial in einem reichlichen Drittel der Fälle übersehen. In einem weiteren Drittel fanden sich Fehlstellungen nach dem primären Versuch einer geschlossenen Reposition und Gips- bzw. perkutaner K-Draht-Fixation (Zwipp et al. 1999a).

Die klassische Fehlstellung nach **homolateraler** Luxationsfraktur besteht in einem Lateralversatz der Metatarsalebasen mit einer fixierten Abduktions- oder Adduktionsfehlstellung des Metatarsus gegen den Tarsus. Die Vorfußfehlstellung führt zu einer Subluxation im Talonavikular-Gelenk mit einer entsprechenden Abweichung des Talus nach medial. In der Folge kommt es durch eine resultierende Subluxation im Subtalar-Gelenk einerseits nicht selten zum Vollbild eines schmerzhaften posttraumatischen Pes plano valgus (Sangeorzan et al. 1990, Zwipp et al. 1999a). Andererseits kann bei persistierender Verrenkung der Metatarsale-Basen nach dorsal ein posttraumatischer Hohlfuß entstehen (Sangeorzan et al. 1990). Nach divergierenden Lisfranc-Luxationsfrakturen ist entsprechend der Natur der Verletzungen mit komplexen, irregulären Fehlstellungen und erheblichen Weichteilkontrakturen zu rechnen. Unbehandelte isolierte Lisfranc-Luxationsfrakturen führen zu einer Instabilität und Achsenabweichung des entsprechenden Strahls mit begleitender Zehenfehlstellung. Für die betroffenen Patienten bedeuten diese schmerzhaften Fehlstellungen eine erhebliche, häufig über Jahre bestehende Einschränkung der globalen Fußfunktion, welche konservativen Maßnahmen (Schmerzmedikation, Einlagen, physikalische Therapie) nicht zugänglich sind. Die Therapie der Wahl ist die reorientierende Arthrodese des Lisfranc-Gelenks bzw. der betroffenen Stahlen (Sangeorzan et al. 1990). Ziel der Korrek-

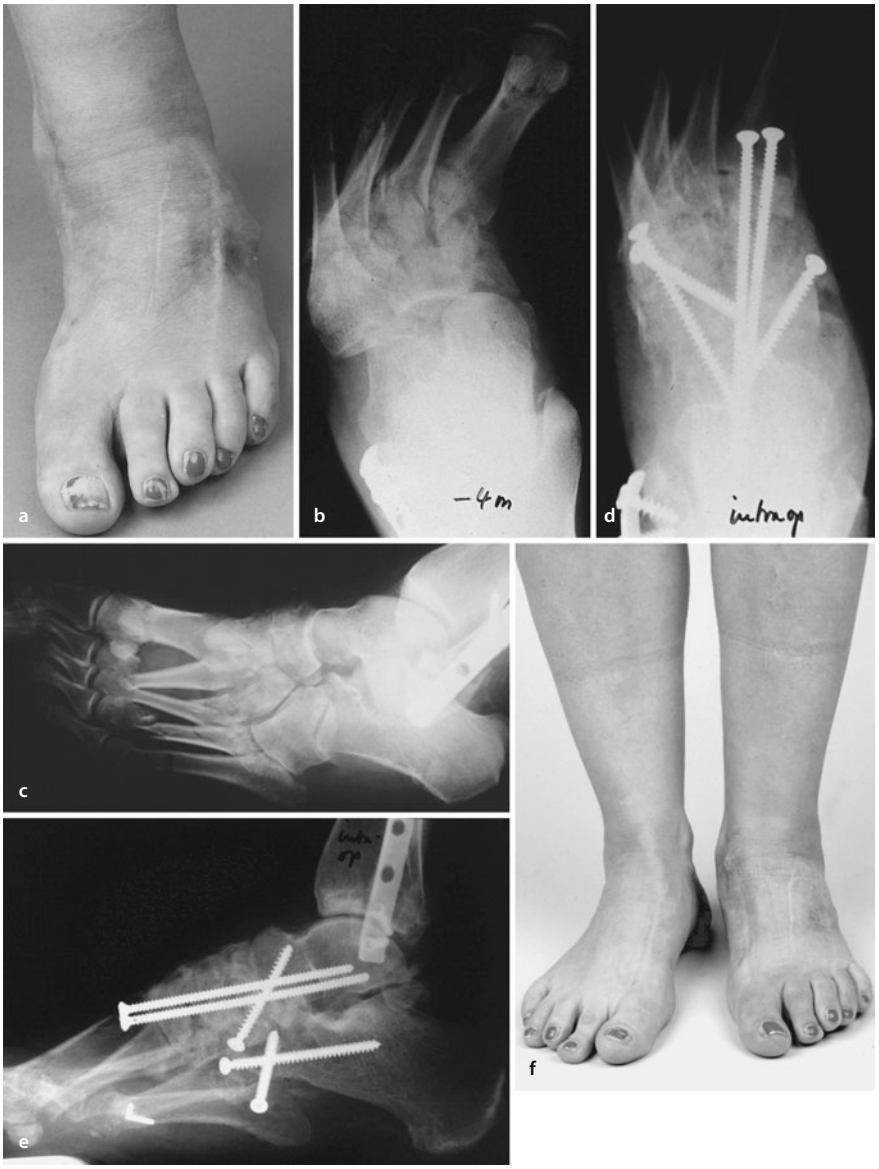


Abb. 11.66a–e **a–c** Komplexe Fehlstellung des linken Mittelfußes nach konservativ behandelter Chopart- und Lisfranc-Luxationsfraktur mit persistierender Luxation des gesamten distalen Chopart-Reihe nach lateral und homolateraler Abweichung der Metatarsalia nach lateral mit extremer Adduktionsstellung des Vorfußes. **d,e,f** Die Korrektur erfolgt mittels Ausräumung der zerstörten Gelenke, Reposition und korrigierender Chopart-Arthrodese mit gekreuzten Schrauben im Talonavikular und Kalkaneokuboidgelenk, wodurch sich eine korrekte Achsenausrichtung des Mittel und Vorfußes erreichen lässt (**f**). Das I. und V. Tarsometatarsalgelenk werden in die Arthrodese mit einbezogen, wodurch es zu einer Korrektur der Stellung im Lisfranc-Gelenk kommt, ohne dass alle Strahlen fusioniert werden müssen

turarthrodese ist die Rekonstruktion der normalen Achsen- und Längenverhältnisse des Fußes, um ein weitgehend schmerzfreies Gehen im eigenen Schuh zu ermöglichen (Rammelt et al. 2008).

Diagnostik

Die präoperative Planung beinhaltet Belastungsaufnahmen beider Füße in 2 Ebenen sowie eine 45°-Schrägaufnahme im Seitenvergleich (Zwipp et al. 1999a). Bei komplexen Fehlstellungen oder unübersichtlichen Knochengrenzen ist eine CT in 2 primären Schnittebenen erforderlich. Als wichtigstes radiologisches Maß für die Fehlstellung bzw. Korrektur dient die talometatarsale Achse in beiden Ebenen (Abb. 11.67). Die Bedeckung des Taluskopfs durch das Os naviculare in der dorsoplantaren Aufnahme zeigt das Ausmaß der subtalaren Subluxation (Mann et al. 1996) (Abb. 11.66).

Spezielle Therapie

Die Korrekturarthrodese des Lisfranc-Gelenks erfolgt über zwei dorsale, parallele, längs verlaufende Zugänge, analog zur Versorgung frischer Verletzungen. Die betroffenen tarsometatarsalen Gelenke werden vom Gelenkknorpel und subchondralen sklerosierten Knochenanteilen befreit. Bei erheblichem Substanzverlust ist die Einbringung eines kortikospongiösen Knochenspans erforderlich, insbesondere dann, wenn die Verkürzung nicht alle Strahlen betrifft. Die Achsenkorrektur beginnt analog zur Versorgung frischer Verletzungen mit der Rekonstruktion des 2. Strahls, wodurch die Einrichtung des benachbarten 1. und 3. Strahls erleichtert wird. Abhängig von Alter und Ausmaß der Fehlstellung kommt es nach Korrektur der 3 medialen Strahlen häufig zu einer spontanen Ausrichtung der lateralen Strahlen (Abb. 11.66), welche in diesen Fällen nicht mit dem Os cuboideum fusioniert werden müssen (Zwipp et al. 1999a). Die Fusion erfolgt als Kompressionsarthrodese mit 3,5-mm-Kortikalisschauben (Abb. 11.67).

Bei schlechter Knochenqualität und größeren Längenverlusten von >2 cm kann alternativ eine Plattenosteosynthese mit Knochenspaninterposition vom ipsilateraler Beckenkamm oder aus lokalen Osteophyten durchgeführt werden (Mann et al. 1996). Die Nachbehandlung erfolgt unter beschwerdeadaptierter Vollbelastung im gut anmodellierten Castschuh (Geisha-Schuh oder Lopresti-Slipper) für 8 Wochen. Eine Implantatentfernung ist generell nicht vorgesehen. Die Patienten sollten auf die Möglichkeit asymptomatischer

Abb. 11.67a–d **a,b** Klassische Fehlstellung nach inadäquat reponierter und retinierter Lisfranc-Luxationsfraktur mit Dorsalabweichung der Metatarsalia (**a**), vermehrtem Abstand der Basis des Os metatarsale I und II (*Doppelpfeil*) (**b**) sowie einer Adduktionsstellung der lateralen Strahlen. Es resultiert eine Unterbrechung der talometatarsalen Achse in der Horizontal- und Sagittalebene (*gestrichelte Linie*). **c,d** Die Korrektur erfolgt nach Ausräumung der gesamten Lisfranc-Reihe durch eine Schraubenarthrodese in anatomischer Stellung

Schraubenbrüche nach knöcherner Ausheilung aufmerksam gemacht werden (Zwipp u. Rammelt 2003).

Die Korrekturarthrodese gestattet eine weitgehende Rehabilitation der Patienten mit deutlicher Schmerzreduktion und hoher Patientenzufriedenheit. Eine Korrektur ist daher bei entsprechendem Leidensdruck auch mehrere Jahre nach der Verletzung noch sinnvoll und mit einem messbaren Funktionsgewinn verbunden (Mann et al. 1996, Sangeorzan et al. 1990, Zwipp et al. 1999a). In knapp 10% muss mit der Entwicklung einer Pseudarthrose gerechnet werden (Mann et al. 1996, Zwipp et al. 1999a). Erwartungsgemäß bleiben die funktionellen Ergebnisse nach sekundären Korrektureingriffen hinter denen bei primärer Osteosynthese zurück, woraus sich die Forderung nach initial korrekter Diagnosestellung und adäquater Therapie ableitet (Rammelt et al. 2008).

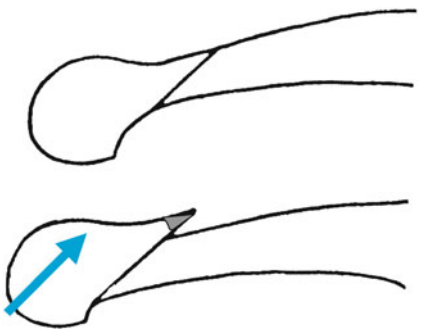


Abb. 11.68 Prinzip der Reikeras-Osteotomie bei mechanisch bedingter Metatarsalgie. (Aus: Reikeras 1983)

Posttraumatische Fehlstellungen der Metatarsalia und Zehen

Diagnostik

Geringere posttraumatische Achsenabweichungen der Metatarsalia und Phalangen sind häufig Röntgenzufallsbefunde und in vielen Fällen asymptomatisch. Insbesondere Fehlstellungen in der Horizontalebene werden im Allgemeinen gut toleriert, während sagittale Abweichungen v.a. der Metatarsaleköpfchen zu hartnäckigen, primär mechanischen Metatarsalgien führen können (Zwipp u. Rammelt 2002). In diesen Fällen sind zur Abklärung der Beschwerden neben den Standardröntgenaufnahmen (Vorfuß seitlich, dorsoplantar und schräg) Belastungaufnahmen der Mittelfußköpfchen und eine pedografische Darstellung der Lastverteilung in diesem Bereich erforderlich.

Therapie

Korrekturbedürftig sind insbesondere das Tiefertreten der Mittelstrahlen (II–IV) sowie das Höhertreten der Randstrahlen I und V, um eine physiologische Lastabwicklung über den Vorfußballen zu gewährleisten. Die Korrektur tiefer tretender Mittelfußköpfchen erfolgt durch eine für sekundäre Metatarsalgien entwickelte subkapitale Schrägosteotomie und entsprechende Verschiebung von plantar nach dorsal (Abb. 11.68, Reikeras 1983) unter funktioneller Nachbehandlung mit Vollbelastung (Reikeras 1983), beim relevanten Höhertreten einzelner Strahlen erfolgt eine flektierende, zuklappende Osteotomie.

Bei horizontalen Fehlstellungen der Metatarsalia und Zehen ist eine Korrektur symptomatischer Fehlstellungen nur dann angezeigt, wenn auch bei nichttraumatischer Genese eine Korrekturoperation durchgeführt würde, also bei biomechanisch relevanten Fehlstellungen wie Metatarsus primus varus, subkapitalen Achsenabweichungen der Metatarsalia mit Subluxation im Zehengrundgelenk, Hallux valgus oder Digitus quintus varus (Zwipp u. Rammelt 2002). Dies gilt auch für Krallen- und Hammerzehen, welche häufig als Folgezustände nach Kompartmentsyndrom gesehen werden. Die spezielle Therapie dieser Vorfußfehlstellungen wird im nun folgenden Abschnitt dargestellt.

11.4.2 Ausgewählte degenerative Vorfußprobleme

Hallux valgus

Ätiologie

Als »Zivilisationskrankheit« der modebewussten, schuhtragenden Gesellschaften ist der Hallux valgus seit über 100 Jahren Gegenstand intensiver klinischer und biomechanischer Untersuchungen. Neben einengendem Schuhwerk werden der Spreizfuß mit Metatarsus primus varus, eine Hypermobilität des ersten Strahls im Tarsometatarsalgelenk sowie eine vermehrte Pronation des Rückfußes als intrinsische Faktoren diskutiert (Coughlin 1996, Klaue 1991). Durch das Fehlen von Muskelansätzen am Köpfchen des Os metatarsale I kommt es bei zunehmender Deformität zu Muskeldysbalancen, welche diese wiederum verstärken und eine zusätzliche rotatorische Komponente hinzufügen (◘ Abb. 11.69a, Coughlin 1996). Mit zunehmender Medialisierung des Metatarsale-I-Köpfchens wird der Scheitelpunkt der Sehne des M. abductor hallucis über den Mittelpunkt des Metatarsophalangealgelenks nach lateral verlagert, wodurch der Muskel nicht nur seine abduzierende Wirkung verliert, sondern gleichzeitig die Großzehe in eine Pronationsstellung drängt. Gleiches gilt für die Kraftresultierende der kurzen und langen Zehenbeuger und -strecker. Der M. adductor hallucis übt bei zunehmender Deviation des Os metatarsale I nach medial über seinen Ansatz an der lateralen Basis der Grundphalanx auf diese eine rotatorische Wirkung aus und zwingt bei zunehmender Dislokation des Metatarsaleköpfchens die Sesambeine über die plantare Platte in eine Subluxationsstellung (◘ Abb. 11.69a). Charakteristisch für fortgeschrittene Krankheitsstadien sind die Ausbildung einer schmerzhaften Kallosität über dem medialen Aspekt des prominenten Metatarsaleköpfchens (Pseudoexostose, Frostbeule, bunion) sowie eine Hyperduktion der 2. Zehe. Die Fülle der angebotenen und teilweise unkritisch eingesetzten Therapieformen mutet unübersichtlich an, mit weit mehr als 100 beschriebenen Operationen. In den letzten Jahren hat sich jedoch zunehmend ein an den anatomischen Gegebenheiten orientiertes, abgestuftes Therapieregime durchgesetzt, welches im Folgenden kurz dargestellt werden soll. Für eine erschöpfende Darstellung des Themas wird auf die entsprechenden Lehrbücher verwiesen (Mann u. Coughlin 1999, Wülker 1997)

Diagnostik

Die Quantifizierung des Ausmaßes der Fehlstellung erfolgt in dorsoplantaren Belastungsaufnahmen. Von Bedeutung für die Wahl der Therapie ist der Hallux-valgus-Winkel zwischen Grundphalanx und Metatarsaleachse, der Intermetatarsalwinkel zwischen den Achsen des 1. und 2. Strahls, der distale Gelenkflächenwinkel zwischen Gelenkfläche des Metatarsophalangealgelenks und Schaftachse sowie der Winkel zwischen proximaler und distaler Gelenkfläche der Grundphalanx (◘ Abb. 11.69b).

Als normal wird ein Hallux-valgus-Winkel von <15°, ein intermetatarsaler Winkel von <9°, ein distaler Gelenkflächenwinkel von <10° sowie ein Winkel zwischen proximaler und distaler Gelenkfläche von <10° angesehen (Coughlin 1996, Wülker 1997). Weiterhin werden die Gelenkkongruenz und das Vorhandensein einer Arthrose im Tarsometatarsal-, Metatarsophalangeal- und Interphalangealgelenk sowie die Zentrierung der Sesambeine unter dem Metatarsale-I-Köpfchen beurteilt.

Klassifikation

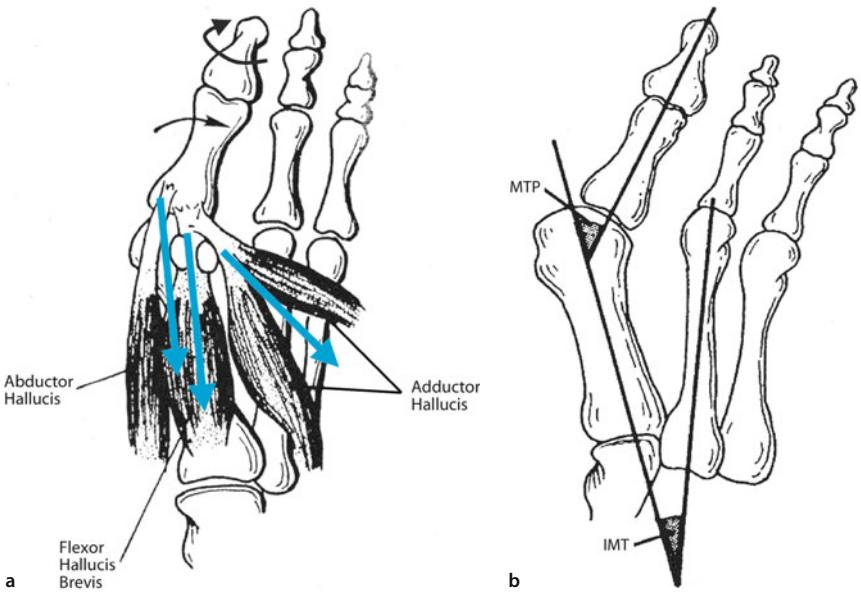
Mann u. Coughlin (1999) haben eine therapierelevante Einteilung des Hallux valgus anhand der wichtigsten Winkelmaße in leichte, mittlere und schwere Deformität vorgeschlagen (◘ Tab. 11.8).

Therapie

Konservative Maßnahmen sind vorrangig gegen die Begleitsymptome des Hallux valgus gerichtet und weniger geeignet, die Deformität zu korrigieren. Weites Schuhwerk, Polsterung der me-

◘ **Tab. 11.8** Schweregrade der Hallux-valgus-Deformität. (Nach: Mann u.Coughlin 1999)

Schweregrad	Hallux-valgus-Winkel	Intermetatarsalwinkel	Subluxation der Sesambeine
Leicht	<20°	<11°	<50%
Mittel	20–40°	11–16°	50–75%
Schwer	>40°	>16°	>75%



◘ **Abb. 11.69a,b** **a** Pathomechanik des Hallux valgus. **b** Darstellung der radiologischen Parameter zur Beurteilung des Schweregrades der Fehlstellung (IMT Intermetatarsalwinkel zwischen 1. und 2. Strahl, MTP metatarsophalangealer oder Hallux-valgus-Winkel zwischen Grundgliedbasis und Os metatarsale I). (Aus: Coughlin 1996)

dialen Fußkante, Plattfußeinlagen und Dehnungsübungen der Achillessehne können zu einer deutlichen Beschwerdereduktion im Frühstadium der Erkrankung beitragen (Coughlin 1996). Redressierende Verbände können beim juvenilen Hallux valgus die Progredienz aufhalten (Wülker 1997). Für die operative Therapie des Hallux valgus sind die bestehenden anatomischen Verhältnisse ausschlaggebend.

Grundphalanx-Osteotomie

Liegen keine arthrotischen Veränderungen im Metatarsophalangealgelenk vor, so richtet sich die Art der Korrektur nach der Lokalisation der Fehlstellung. Liegt eine Deformität der Grundphalanx mit vergrößertem Winkel zwischen proximaler und distaler Gelenkfläche (Hallux valgus interphalangeus) vor, erfolgt unabhängig von weiteren Fehlstellungen eine varisierende (closing wedge) Osteotomie der Grundphalanx nach Akin (1925). Über einen geraden, medialen Hautschnitt auf Höhe der Schaftmitte der Grundphalanx wird ein Keil entnommen, dessen nach medial offener Winkel dem Winkel zwischen proximaler und distaler Gelenkfläche entspricht. Die Fixation erfolgt mit einem K-Draht bzw. einer 2,0-mm-Minifragmentschraube oder durch kräftige transossäre Nähte.

Distale Weichteileingriffe

Bei Fehlstellungen des Os metatarsale I ist die Kongruenz der Gelenkfläche entscheidend für die Verfahrenswahl. Bei milderen Formen der Fehlstellung und fehlender Arthrose können mittels distaler Weichteileingriffe kongruente Gelenkverhältnisse wiederhergestellt werden. Für das laterale Release wird ein dorsaler Hautschnitt über dem 1. Interdigitalraum angelegt. Die Adductor-hallucis-Sehne wird scharf von der lateralen Kante des fibularen Sesambeins und der Basis der Grundphalanx abgelöst. Einige Autoren propagieren ebenfalls die Durchtrennung des Ligamentum intermetatarseum unter sorgfältiger Schonung des direkt plantar verlaufenden Gefäß-Nerven-Bündels (Coughlin 1996). Die laterale Kapsel wird in Längsrichtung inzidiert. Die Sesambeine werden vorsichtig mit einem Elevatorium mobilisiert. Durch forcierte Abduktion der Großzehe wird die Gelenkkapsel zum Einreißen gebracht, was an einem deutlichen Knacken erkennbar ist. Zur medialen Kapselraffung wird die mediale Gelenkkapsel etwas distal der Gelenkebene über einen längsverlaufenden medialen Hautschnitt vertikal inzidiert. Ein bis zu 10 mm breiter Streifen wird aus dem proximalen Anteil der Gelenkkapsel auf voller Breite exzidiert, d.h. vom Rand der langen Strecksehne bis an den medialen Rand des tibialen Sesambeins. Die freien Ränder werden mit kräftigen, durchgreifenden Nähten vereinigt.

Distale (subkapitale) Metatarsale I-Osteotomie

Distale Osteotomien werden bei leichten und mittelscheren Fehlstellungen mit einem Intermetatarsale-Winkel bis 15° bevorzugt. Beginnend mit den einfachen Reverdin-Osteotomie im ausgehenden 19. Jahrhundert und zahlreichen Modifikationen (z.B. nach Mitchell) hat sich aufgrund der inhärenten Stabilität zunehmend eine V-förmige **Chevron-Osteotomie** mit lateraler Translation des Metatarsale-I-Köpfchens etabliert. Der Hautschnitt erfolgt medial über dem prominenten Metatarsaleköpfchen. Die derb verdickte Kapsel wird L-förmig eröffnet. Die mediale Prominenz des Metatarsaleköpfchens wird abgetragen. Die Osteotomie erfolgt V-förmig mit einer oszillierenden Säge in einem Winkel von 60–90°, wobei der plantare Schenkel mehr horizontal, der dorsale Schenkel mehr vertikal angelegt wird, um die Blutversorgung des Metatarsale I-Köpfchens zu schonen (Trnka et al. 2000, Wülker 1997). Das Metatarsaleköpfchen wird nun nach lateral verschoben (Abb. 11.70a). Bei einem vergrößerten distalen Gelenkflächenwinkel ist zusätzlich die Entnahme eines Keils entlang der Osteotomie erforderlich. Der Winkel des nach medial offenen Keiles entspricht wiederum dem vorher ermittelten distalen Gelenkwinkel (Coughlin 1996, Wülker 1997). Mit einer schräg verlaufenden Osteotomie kann der 1. Strahl zusätzlich verkürzt oder verlängert werden, wobei insbesondere letzteres mit einer erheblichen Weichteilspannung einhergeht. Die Osteotomie wird fakultativ mit einer Kleinfragmentschraube (evtl. mit Doppelgewinde) oder einem K-Draht fixiert. Das Verfahren wird zumeist mit medialer Kapselraffung und lateralem release kombiniert, wodurch das Korrekturergebnis stabilisiert wird (Trnka et al. 2000). Ein wichtiges Maß für die erfolgreiche Korrektur ist die Zentrierung der Sesambeine unter dem Metatarsale-I-Köpfchen. Wird dies nicht erreicht, ist die Rezidivgefahr signifikant erhöht (Okuda et al. 2009).

Als alternatives Verfahren wird die **Scarf-Osteotomie** als Z-förmige Osteotomie des Metatarsale-I-Schaftes praktiziert (Borrelli u. Weil 1991). Diese beginnt ebenfalls subkapital, reicht aber weit nach proximal. Ein Vorteil dieser Methode ist, dass auch ein Intermetatarsale-Winkel von mehr als 16° korrigiert werden kann. Probleme können sich mit der Fixation der beiden Halbröhren des Metatarsale-Schafts ergeben.

Die Ergebnisse sind mit beiden Verfahren exzellent, wenn die Indikationsgrenzen (leichte bis mittelschwere Fehlstellung) eingehalten werden (Borrelli u. Weil 1991, Coughlin 1996, Trnka et al. 2000). Als spezifische Komplikation wird die avaskuläre Nekrose des Metatarsale-I-Köpfchens zwischen 0 und 20% angegeben, welche auf ein zu aggressives Weichteilrelease bzw. eine zu weit distale Osteotomie zurückgeführt wird (Trnka et al. 2000).

Eine einfachere Variante stellt die gerade **Osteotomie nach Kramer** und perkutane Drahtfixation modifiziert nach Bösch dar, welche biomechanisch jedoch eine geringere Stabilität als die Chevron-Osteotomie aufweist (Kramer 1990). Ein potenzielles Problem bei diesem Verfahren ist die Dislokation des Drahts, welcher das Metatarsale-Köpfchen nur seitlich tangiert, sodass hierfür alternative Implantate entwickelt wurden.

Eine schwere Hallux-valgus-Fehlstellung mit kongruentem Metatarsophalangealgelenk ist selten. In diesen Fällen wird eine extraartikuläre Double- oder Triple-Osteotomie empfohlen (Coughlin 1996).

Metatarsale-I-Basisosteotomie

Bei inkongruentem Metatarsophalangealgelenk und ausgeprägtem Metatarsus primus varus (>16°) ist eine Basisosteotomie des Os metatarsale I in Kombination mit einem distalen Weichteileingriff indiziert (Wülker 1997, Sammarco 2007). Hierzu wird von dorsal zugegangen. Mann und Coughlin (1999) empfehlen eine bogenförmige (crescentic) Osteotomie mit einer kleinen oszillierenden Säge 1 cm distal des 1. Tarsometatarsalgelenks, um welche der Metatarsale-I-Schaft nach lateral rotiert wird (Abb. 11.70b). Probleme mit diesem Verfahren sind die stabile Fixation und die Gefahr einer Elevation des ersten Strahls.

Exzellente klinische Ergebnisse wurden mit der proximalen **Osteotomie nach Ludloff** (1918) erreicht, welche 2 mm distal des 1. Tarsometatarsalgelenks an der dorsalen Kortikalis beginnt und 30° schräg zur Schaftachse nach distal verläuft, bis sie die plantare Kortikalis durchbricht. Durch den schrägen Verlauf bietet sie einen guten Knochenkontakt und die Möglichkeit der Schraubenfixation (Trnka et al. 2008).

Alternativ kann eine proximale Chevron-Osteotomie oder eine öffnende (opening wedge-) bzw. zuklappende (closing wedge-)

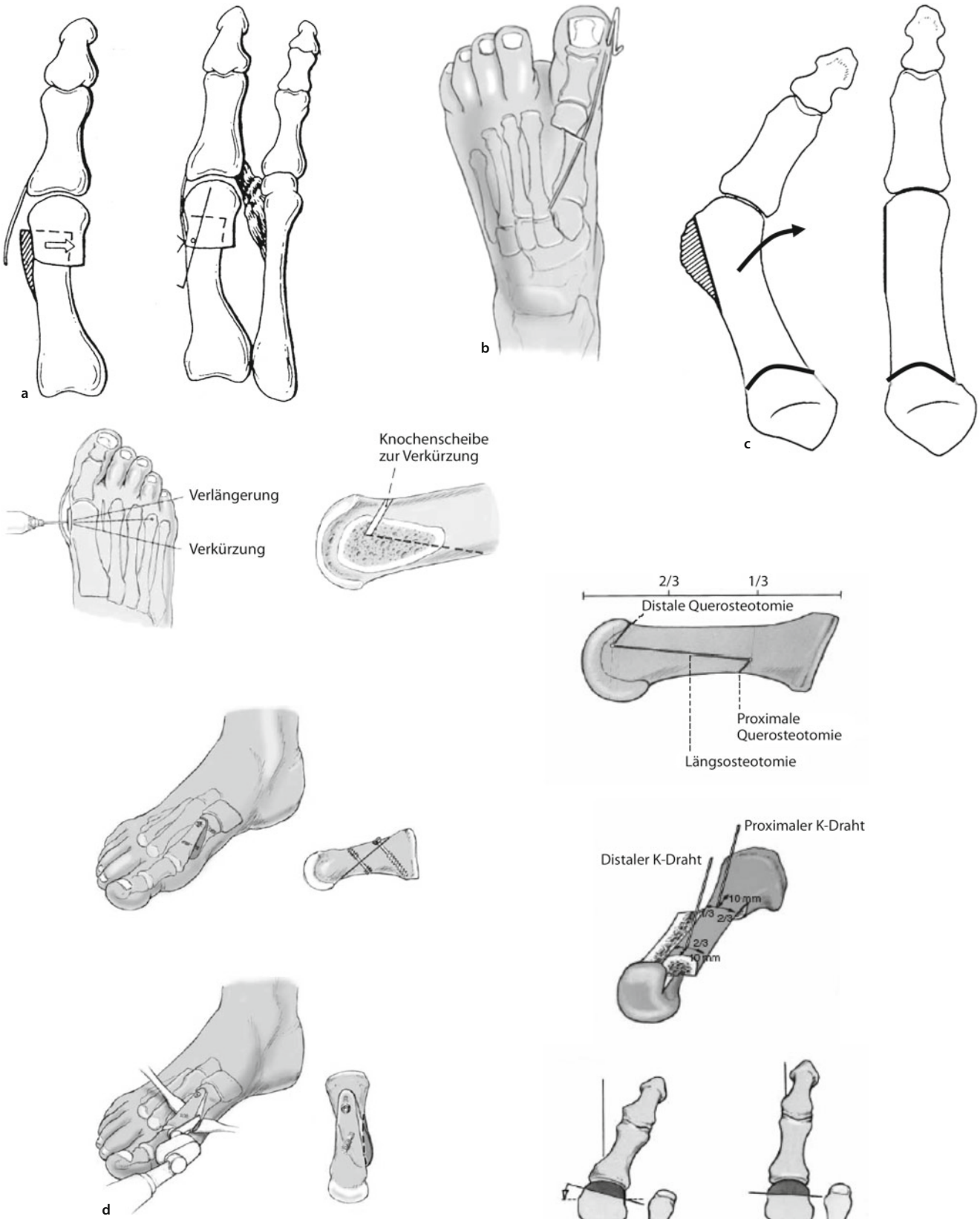


Abb. 11.70a–e Schematische Darstellung verschiedener Osteotomien des I. Strahles zur Korrektur des Hallux valgus. **a** Chevron-Osteotomie (Aus: Gabel 2008). **b** Kramer-Osteotomie (Aus: Magnan et al. 2008). **c** Semizirkuläre Basisosteotomie des Os metatarsale I (Aus: Coughlin 1996). **d** Scarf-Osteotomie (Aus: Rippstein u. Zünd 2001). **e** Ludloff-Osteotomie (Aus: Petroutsas u. Trnka 2005)

Abb. 11.71a–d Modifiziertes Lapidus-Verfahren bei mittelschwerem Hallux valgus mit zusätzlicher Instabilität des 1. Tarsometatarsalgelenks

Schrägosteotomie erfolgen. Die Differenzialindikation wird anhand der notwendigen Längeneinstellung und der Knochenqualität gestellt. Während die Chevron-Osteotomie eine hohe inhärente Stabilität aufweist, müssen insbesondere aufklappende Osteotomien häufig mit winkelstabilen Implantaten gesichert werden (Sammarco 2007). Insgesamt weisen die proximalen Osteotomien in der Hand des Erfahrenen Rezidivraten von 1,4–5% und eine Hallux-varus-Deformität bei Überkorrektur in 6–16% auf (Trnka et al. 2008).

Arthrodese des 1. Tarsometatarsalgelenks (modifiziertes Lapidus-Verfahren)

Eine fehlende anteromediale Abstützung aufgrund eines Hypermobilitätssyndromes des ersten Strahles ist häufig mit einer ausgeprägten Hallux-valgus-Deformität und erheblichen Vorfußbeschwerden, insbesondere Transfermetatarsalgien, verbunden (Klaue 1991). Klinisches Korrelat ist eine Überstreckbarkeit im 1. Tarsometatarsalgelenk (Hansen 2000). Lapidus beschrieb 1934 eine auf ein Verfahren von Albrecht aus dem Jahre 1911 zurückgehende Arthrodese des 1. und 2. Tarsometatarsalgelenks (Lapidus 1960). Die heute geübten Modifikationen beschränken sich zumeist auf den 1. Strahl. Der Hautschnitt liegt über dem dorsalen Aspekt des 1. Tarsometatarsalgelenks, direkt medial der Extensor-hallucis-longus-Sehne. Die Gelenkflächen des Os cuneiforme mediale und Os metatarsale I werden ausgeräumt. Plantar lateral wird der subchondrale Knochen etwas verjüngt, um eine korrekte Achseneinstellung des Os metatarsale I zu erzielen (Klaue 1991) mit Reduktion des Intermetatarsalwinkels und Korrektur der Dorsalflexion des 1. Strahls. Eine neutrale Rotation des Metatarsale I zum Os cuneiforme mediale wird eingestellt. Die Arthrodese wird mit 2 gegenläufigen 3,5-mm-Kortikalisschrauben gesichert (Abb. 11.71), wodurch sich nach biomechanischen Untersuchungen die höchste Stabilität erreichen lässt (Zwipp 1994).

Eine sorgfältige Präparation, korrekte Einstellung des 1. Strahls und adäquate Fixation (bei Längenverlust mit zusätzlichem autologen Knochenspan) ist unbedingte Voraussetzung für ein gutes Spätresultat dieses anspruchsvollen Verfahrens, welches allerdings mit Erfolgsraten bis 90% zu den sichersten Operationsmethoden bezogen auf die Rezidivrate beim Hallux valgus zählt (Coughlin 1996; Klaue 1991, Zwipp 1994). Der Eingriff wird mit einer medialen Kapselraffung zur Rezentrierung des Sesambeinkomplexes unter dem Metatarsale-I-Köpfchen und bei Bedarf mit einer Längenkorrektur des 1. oder Verkürzungsosteotomie eines überlangen 2. Strahls kombiniert (Klaue 1991). Das modifizierte Lapidus-Verfahren hat sich auch als Erfolg versprechende Therapieoption bei Hallux-valgus-Rezidiv nach fehlgeschlagener Korrekturosteotomie erwiesen (Coetzee et al. 2003).

Arthrodese des Metatarsophalangeal-Gelenks

Beim Vorliegen einer Arthrose im Metatarsophalangealgelenk bei zumeist schwerer Hallux-valgus-Deformität ist für den körperlich aktiven Patienten eine Arthrodese des 1. Metatarsophalangealgelenks indiziert. Die Arthrodese ist zudem Behandlungsoption für den Hallux rigidus (s. unten). Der Hautschnitt liegt über dem dorsalen Gelenkaspekt medial der Extensor-hallucis-longus-Sehne, welche u. U. gespalten werden muss. Die Gelenkflächen werden mit einer oszillierenden Säge so reseziert, dass bei Adaptation der Resektionsebenen eine leichte Valgusstellung (15–20°) sowie Dorsalflexion (20–30°) bei neutraler Rotation resultiert (Humbert et al. 1979). Die Stabilisierung erfolgt nach temporärer Drahtfixation mit einer Klein- oder Minifragmentplatte und zusätzlichen Zugschrauben schräg zur Resektionsebene, alternativ mit einer – besser 2 (Zwipp 1994) – interfragmentären Kompressionsschrauben in Schaftrichtung (Shereff u. Baumhauer 1998). Die Erfolgsraten der Großzehengrundgelenkarthrodese bezüglich Schmerzminderung und Patientenzufriedenheit erreichen beim Hallux valgus 80%, beim Hallux rigidus sogar bis zu 100% (Coughlin 1996; Shereff u. Baumhauer 1998).

Resektionsarthroplastik

Die früher populären Methoden der Resektionsarthroplastik nach Riedel (1886), Keller (1904) und Brandes (1923) sind heutzutage

für gering- bis mittelgradige Fehlstellungen mit Arthrose des Metatarsophalangealgelenks beim alten, wenig aktiven Patienten reserviert (Coughlin 1996, Wülker 1997). Über einen ausreichenden medialen Hautschnitt wird zunächst ein distal gestielter Kapsellappen gebildet. Die Basis der Grundphalanx wird subperiostal präpariert und 1 cm distal der Gelenkebene mit einer oszillierenden Säge abgesetzt, ebenso der laterale prominente Anteil des Metatarsaleköpfchens. Der gebildete Kapsellappen wird durch den Resektionsspalt gezogen und an den lateralen Aspekt der verbliebenen Kapsel adaptiert. Die Großzehe kann fakultativ zusätzlich mit einem K-Draht stabilisiert werden (Wülker 1997). Während sich mit dieser Methode eine signifikante Schmerzreduktion erreichen lässt, sind die funktionellen Ergebnisse eher unbefriedigend. Als Einschränkungen verbleiben regelhaft eine Verkürzung der Großzehe, ein deutlicher Kraftverlust der Großzehe beim Abstoßen und schließlich »Transfermetatarsalgien« aufgrund der Lastverschiebung. Wiederum sind Patienten mit Halux rigidus zufriedener als diejenigen mit Hallux valgus. Als Erklärung wird die bereits präoperativ bestehende deutliche Bewegungseinschränkung angegeben. Zudem wird mit diesem Verfahren der Metatarsus primus varus nicht korrigiert, weswegen es bei schweren Hallux-valgus-Fehlstellungen nicht eingesetzt werden sollte (Humbert et al. 1979).

Nachbehandlung

Mit Ausnahme der Arthrodesen können die meisten Korrekturoperationen im Verbandsschuh mit starrer Sohle für 6 Wochen unter Vollbelastung ausbehandelt werden. Ein spezieller Vorfußentlastungsschuh ist hierzu nicht nötig. Temporär eingebrachte K-Drähte werden nach 3–4 Wochen entfernt, bevor auf Vollbelastung übergegangen wird. Die Großzehe wird zusätzlich mit einem elastischen Redressionsverband stabilisiert, der von den Patienten erneuert werden kann. Die Arthrodesen des 1. Strahls werden im Castschuh (Lopresti-Slipper) unter Teilbelastung für 6 (Tarsometatarsalgelenk) bis 10 (Metatarsophalangealgelenk) Wochen protegiert bzw. bis eine sichere Knochenheilung erkennbar ist.

Hallux rigidus

Ätiologie

Der Begriff des Hallux rigidus (Synonym: Hallux limitus) bezeichnet eine hochgradige Bewegungseinschränkung im Großzehengrundgelenk. Aufgrund der betont dorsalen Ausprägung von Osteophyten und Exostosen (dorsal bunion) ist insbesondere die Dorsalextension eingeschränkt (Hallux flexus). Der Hallux rigidus hat in den Vereinigten Staaten bei über 50-Jährigen eine Inzidenz von mehr als 2% (Gould et al. 1980). Frauen sind etwa doppelt so häufig betroffen wie Männer, regelmäßig finden sich bilaterale Krankheitsbilder. Dem posttraumatischen Hallux rigidus gehen zumeist Anpralltraumata oder Gelenkfrakturen der Großzehe voraus, beim juvenilen Hallux rigidus eher osteochondrale Läsionen. Als nichttraumatische Ursachen werden entzündliche oder metabolische Arthritiden, generalisierte Arthrosen, ein überlanger 1. Strahl, ein pronierter Fuß, ungünstiges Schuhwerk und Adipositas angegeben (Shereff u. Baumhauer 1998). Am Endpunkt des Krankheitsbildes steht die schwere Arthrose des Großzehengrundgelenks mit Osteophyten, Gelenkspaltverschmälerung, Knorpelverlust und Einsteifung.

Diagnostik

Das augenfälligste klinische Charakteristikum des Hallux rigidus ist die ausgeprägte Einschränkung der Dorsalextension der Großzehe. Die Patienten klagen über Schmerzen im Metatarsophalangealgelenk, insbesondere beim Abstoßen des Fußes, welches daher häufig vermieden wird. Typischerweise resultiert ein Schonhinken mit Lastverlagerung nach lateral. Eine prominente dorsale Exostose ist im fortgeschrittenen Stadium über dem Metatarsophalangealgelenk tastbar und bei entsprechender Ausprägung von einer Hautreizung begleitet. In der seitlichen Belastungsaufnahme imponiert das Ausmaß der Fehlstellung, der dorsalen Exostose und der Arthrose des Metatarsophalangealgelenks. Zuweilen findet sich ein Metatarsus primus elevatus. Die dorsoplantare Belastungsaufnahme zeigt typischerweise eine hufeisenförmige Konfiguration der Exostose sowie das Ausmaß der Arthrose. In der Differenzialdiagnose des Hallux rigidus sollte immer eine Arthritis urica ausgeschlossen werden, welche eine spezielle medikamentöse Therapie erfordert. Der Harnsäurespiegel im Serum muss daher routinemäßig kontrolliert werden.

Therapie

Konservative Therapieoptionen beinhalten die Gabe nichtsteroidaler Antiphlogistika, die Modifikation des Schuhwerks (Abrollhilfen, starre Einlagen unter der medialen Fußsäule, hohes Zehenfach) oder eine Reduktion der sportlichen Aktivitäten. Beim Nichtansprechen auf diese Maßnahmen wird das weitere Vorgehen vom Schweregrad der Erkrankung sowie vom Aktivitätsgrad des Patienten abhängig gemacht.

Für frühe Stadien des Hallux rigidus, wie die auf den dorsalen Aspekt beschränkte Arthrose, ist beim jungen, aktiven Patienten die **Cheilektomie** indiziert. Der Hautschnitt erfolgt dorsal in Längsrichtung über dem Metatarsophalangealgelenk, die Strecksehne wird nach lateral weggehalten. Die Exostose, welche gelegentlich frakturiert ist, wird zusammen mit einem dorsalen Keil von einem Viertel bis ersten Drittel des betroffenen Metatarsale-I-Köpfchens reseziert, ebenso korrespondierende Osteophyten von der Grundphalanxbasis. Die Cheilektomie erfolgt schonend mit einem Osteotomiemeißel, welcher vom metaphysären Anteil des Os metatarsale I in Schaftrichtung auf den Übergang zwischen intaktem plantaren und aufgebrauchtem dorsalen Gelenkknorpel zielt (◘ Abb. 11.72a). Eine zusätzliche **Osteotomie nach Watermann** mit dorsaler Keilentnahme schwenkt den plantaren Aspekt der Gelenkfläche mit noch erhaltenem Knropel in die Hauptbelastungszone (Watermann 1927). In der anschließenden Narkosemobilisation sollte eine Dorsalflexion von mindestens 60° erreicht werden (Shereff u. Baumhauer 1998). Die Nachbehandlung erfolgt unter Teilbelastung des betroffenen Fußes von 20 kp für 2 Wochen. Bei zusätzlichem Höhertreten des 1. Metatarsaleköpfchens mit fehlendem Bodenkontakt wird außerdem eine flektierende Osteotomie des Metatarsaleschafts durchgeführt (modifiziertes Watermann-Green-Verfahren, Zwipp 1994).

Bei fortgeschrittener Arthrose des 1. Metatarsophalangealgelenks kommt – in Analogie zum Hallux valgus mit schwerer Arthrose – für den jungen, aktiven Patienten die **Arthrodese** (◘ Abb. 11.72b), für den älteren Patienten eine Resektionsarthroplastik infrage. Die Techniken für beide Operationen sind oben beschrieben, die Ergebnisse fallen für den Hallux rigidus etwas besser aus als für den Hallux valgus (Coughlin 2000, Shereff u. Baumhauer 1998). Die Verwendung von **Metatarsophalangealgelenkprothesen** (z.B. Swanson-Prothese) war in den 1980er Jahren nicht unproblematisch. Die Ausbildung einer silikonassoziierten Synovitis und Osteolyse, der Kraftverlust der Großzehe und ein dadurch vermindertes Abstoßen vom Untergrund sowie eine relative Verkürzung und Subluxationsstellung gelten als Nachteile dieses Verfahrens (Shereff u. Baumhauer 1998). Die Langzeitergebnisse mit neueren Implantatgenerationen bleiben abzuwarten, bisherige Serien zeigen keine Überlegenheit gegenüber der Arthrodese.

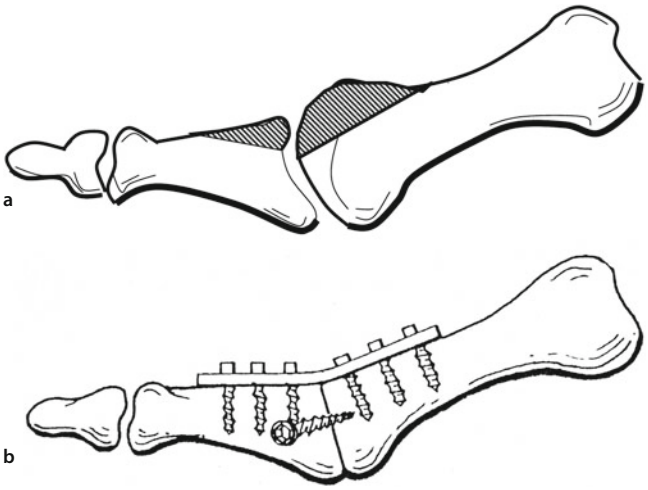


Abb. 11.72a,b Schema der Cheilekomie (**a**) und Metatarsophalangealarthrodese (**b**) beim Hallux rigidus

Digitus quintus varus

Klinik

Der Digitus quintus varus resultiert aus einer Abduktionsstellung des Os metatarsale V, z.B. beim Spreizfuß. Analog zum Hallux valgus kann er in Kombination mit einem prominenten Metatarsale-V-Köpfchen und engem Schuhwerk zu schmerzhaften Kallositäten (Schneiderballen, tailor's bunion, bunionette) über dem lateralen und/oder plantaren Aspekt des V. Metatarsaleköpfchens führen. In fortgeschrittenen Stadien entwickelt sich eine tiefe Ulzeration mit der Gefahr einer Superinfektion. Radiologisch lässt sich häufig ein vermehrter Winkel zwischen Os metatarsale IV und V oder ein großes Metatarsale-V-Köpfchen nachweisen (Coughlin 2000).

Therapie

Die Beschwerden können im milden Stadium der Erkrankung durch Modifikation des Schuhwerks, oberflächliche Abtragung des Kallus, Polsterung der lateralen Fußkante bzw. speziellen Orthesen beherrscht werden. Bei therapierefraktären Beschwerden richtet sich die Behandlung nach der zugrunde liegenden Deformität (Coughlin 2002). Bei prominenter lateraler Kallosität erfolgt eine distale Chevron-Osteotomie mit Medialisierung des Metatarsale-V-Köpfchens, die mittels K-Draht stabilisiert wird (Kitaoka et al. 1991). Bei ausgeprägtem Metatarsus abductus wird eine Schrägosteotomie des Os metatarsale V in Schaftmitte durchgeführt und mit einer Kleinfragmentschraube fixiert. Die Erfolgsraten beider Prozeduren liegen bei etwa 90% (Coughlin 2000, Kitaoka u. Holiday 1991, Kitaoka et al. 1991).

Krallenzehe, Hammerzehe, Mallet-Zehe

Ätiologie

Bei diesen charakteristischen Fehlstellungen handelt es sich um fixierte Beugekontrakturen der kleinen Zehen. In den meisten Fällen findet sich eine entzündliche, neuropathische, kongenitale oder traumatische Genese, wenngleich auch idiopathische Deformitäten beschrieben werden (Coughlin 2002). Posttraumatische Deformitäten sind in den meisten Fällen auf eine Muskelischämie zurückzuführen, seltener auf ein direktes isoliertes oder repetitives Trauma. In der Literatur finden sich zuweilen abweichende Definitionen, sodass die genaue Charakterisierung der jeweiligen Gelenkfehlstellungen sinnvoll erscheint.

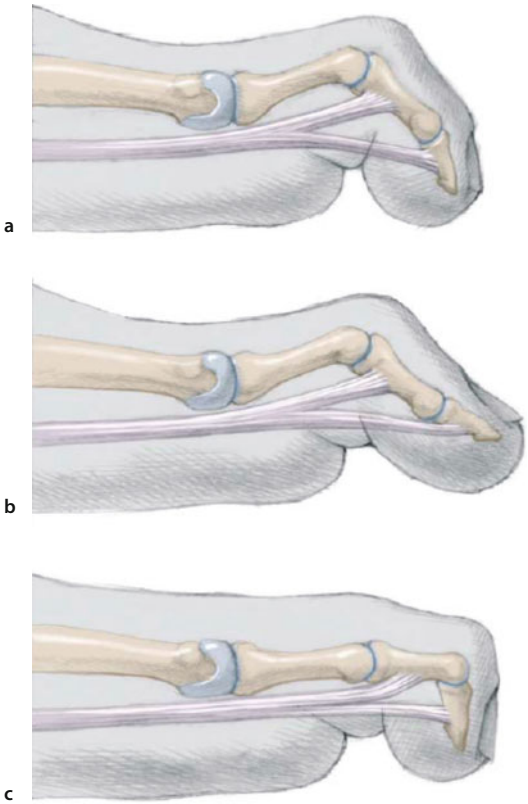


Abb. 11.73 Charakteristik der Fehlstellung bei Krallenzehe, Hammerzehe und Mallet-Zehe. (Aus: Zwipp u. Rammelt 2006)

Die häufige **Krallenzehe** (Abb. 11.73a), welche insbesondere nach Kompartment-Syndrom des Unterschenkels, aber auch nach direkter traumatischer Schädigung der empfindlichen Fußbinnenmuskulatur (kurze Beuger, Lumbricales, Interossei) beobachtet wird, entspricht einer Beugekontraktur im proximalen Interphalangealgelenk bei gleichzeitiger Hyperextension im Metatarsophalangealgelenk. Diese Fehlstellung wird durch eine Kontraktur v.a. der langen Zehenbeuger sowie dem Ausfall der intrinsischen Fußbinnenmuskulatur verursacht. Prädisponierend ist eine Hypermobilität des 2. Metatarsophalangealgelenks (Coughlin 2000).

Die **Hammerzehe** ist charakterisiert durch eine Beugekontraktur im proximalen Interphalangealgelenk bei überwiegender Kontratur der kurzen Zehenbeuger (Abb. 11.73b) und demnach typisch für eine isolierte Ischämie der Fußbinnenmuskulatur, z.B. nach Kalkaneusfraktur mit Kompartment-Syndrom (Manoli 1990, Zwipp 1994).

Die seltenere **Mallet-Zehe** (benannt nach dem Croquet- bzw. Poloschläger, Abb. 11.73c) ist gekennzeichnet durch eine isolierte Kontraktur der langen Zehenbeuger mit resultierender Beugekontraktur im distalen Interphalangealgelenk. Die Inzidenz von Hammerzehe und Mallet-Zehe hat ein Verhältnis von 9:1 (Coughlin 2002).

Diese Deformitäten sind zunächst flexibel und redressierbar, im Verlauf fixiert und von schmerzhaften Kallositäten auf der jeweiligen Konvexizität der Kontraktur begleitet. Begünstigend auf die Progredienz der Fehlstellungen wirken enges Schuhwerk, hohe Absätze, Vorfußdeformitäten wie Hallux valgus, überlanges Os metatarsale II (Index-minus-Variante) und Spreizfuß, aber auch Rückfußdeformitäten und neurologische Erkrankungen, welche mit einer Muskeldysbalance zwischen Zehenbeugern und -stre-

ckern einhergehen. Eine Abklärung dieser ätiologischen Faktoren muss vor der Therapie der Zehendeformitäten stehen.

Diagnostik

In der klinischen Untersuchung lassen sich sowohl das Ausmaß und die Art der Deformität feststellen als auch zwischen flexiblen (manuell redressierbaren) und kontrakten Fehlstellungen unterscheiden. Klassischerweise finden sich schmerzhafte Kallositäten auf der Dorsalseite des betroffenen Gelenks, also der des proximalen Interphalangealgelenks bei der Hammer- und Krallenzehe sowie des distalen Interphalangealgelenks bei der Mallet-Zehe. Die Röntgendiagnostik zeigt das Ausmaß der Gelenkdestruktion bei rheumatischen und posttraumatischen Deformitäten sowie komplexe Fehlstellungen des Vorfußes.

Therapie

Im frühen Krankheitsstadium sind geräumiges Schuhwerk, direkte Polsterung der Zehen, manuelle Mobilisation und Abtragung prominenter Kallositäten effektiv. Milde Formen der Subluxation im Metatarsophalangealgelenk können mit einem ausgedehnten Kapselrelease sowie einer Extensorentenotomie beherrscht werden (Coughlin 2002). Passiv redressierbare Krallen- und Hammerzehen können einem Beugesehenentransfer zugeführt werden (Abb. 11.74). Die Inzision liegt quer verlaufend in der plantaren Beugefalte des proximalen Interphalangealgelenks. Die Beugesehnenscheide wird in Längsrichtung eröffnet und die lange Beugesehne an der Endgliedbasis abgelöst, geteilt und direkt neben dem Knochen auf den dorsalen Aspekt der Mesophalanx transferiert, wo beide Zügel über eine dorsale Zusatzinzision miteinander vereinigt werden. Dadurch übernimmt der Flexor digitorum longus die Funktion der intrinsischen Muskulatur und ermöglicht eine aktive Streckung im Interphalangealgelenk sowie Beugung im Metatarsophalangealgelenk, während die deformierende Kraft eliminiert wird (Hansen 2000).

Eine Vielzahl der Fehlstellungen wird jedoch erst bei fixierter Kontraktur symptomatisch (Coughlin 2002). Fixierte Fehlstellungen werden einer Resektionsarthroplastik zugeführt. Hierzu werden im Einzelnen bei der Hammerzehe die Kondylen der Grundphalanx und die Gelenkfläche der Mesophalanx, bei der Mallet-Zehe die Kondylen der Mesophalanx und die Gelenkfläche der Endphalanx reseziert. Zusätzlich erfolgen eine Flexortenotomie und eine Verkürzung der Extensoren. Die Zehe wird für 3 Wochen mit einem K-Draht in Neutralstellung gehalten und verbleibt für 3 weitere Wochen im Tapeverband (Coughlin 2000, 2002).

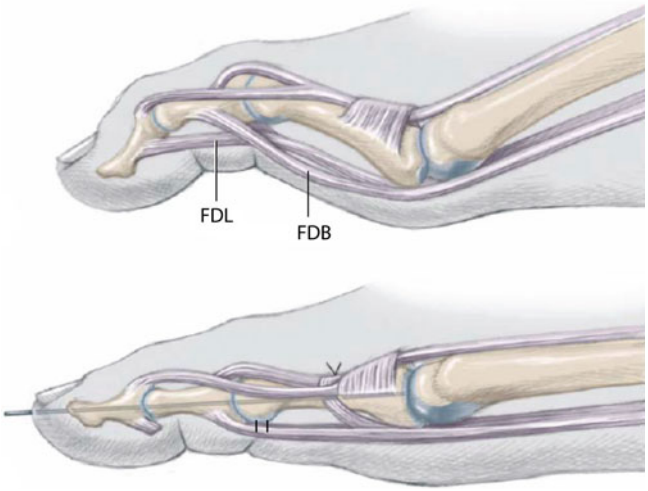


Abb. 11.74 Korrektur der flexiblen Krallenzehenbildung mit einem Flexor-pro-Extensor-Transfer nach Girdlestone u.Taylor. (Aus: Zwipp u. **Rammelt 2006)**

Literatur

Akin OF (1925) The treatment of hallux valgus: a new operative procedure and its results. Med Sentinel 33: 678–679

Amlang MH, Christiani P, Heinz P, Zwipp H (2005) Die percutane Achillessehennaht mit dem Dresdner Instrument – Technik und Ergebnisse. Unfallchirurg 108: 529–536

Amlang MH, Rosenow M, Rammelt S, Heineck J, Zwipp H (2008) Der Flexor-hallucis-longus-Transfer zum Ersatz der Achillessehne. Unfallchirurg 111: 499–506

Andermahr J, Helling HJ, Rehm KE, Koebke Z (1999) The vascularization of the os calcaneum and the clinical consequences. Clin Orthop 363: 212–218

Andermahr J, Helling HJ, Maintz D, Monig S, Koebke J, Rehm KE (2000) The injury of the calcaneocuboid ligaments. Foot Ankle Int 21: 379–384

Angus PD, Cowell HR (1986) Triple arthrodesis. A critical long-term review. J Bone Joint Surg Br 68: 260–265

Arntz CT, Veith RG, Hansen ST Jr (1988) Fractures and fracture-dislocations of the tarsometatarsal joint. J Bone Joint Surg Am 70: 173–181

Assal M, Stern R (2004) Total extrusion of the talus. A case report. J Bone Joint Surg Am 86-A: 2726–2731

Austin DW, Leventen EO (1981) A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed »V« displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus. Clin Orthop Relat Res 157: 25–30

Barbieri R, Schenk R, Koval K, Aurori K, Aurori B (1996) Hybrid external fixation in the treatment of tibial plafond fractures. Clin Orthop 332: 16–22

Bauer M, Jonsson K, Nilsson B (1985) Thirty-year follow-up of ankle fractures. Acta Orthop Scand 56:103–106

Baumhauer JF, Alvarez RG (1995) Controversies in treating talus fractures. Orthop Clin North Am 26:335–351

Benirschke SK, Sangeorzan BJ (1993) Extensive intraarticular fractures of the foot. Surgical management of calcaneal fractures. Clin Orthop 292: 128–134

Berndt AL, Harty M (1959) Transchondral fractures (osteochondrosis dissecans) of the talus. J Bone Joint Surg Am 41:988–1020

Bèzes H, Massart P, Delvaux D, Fourquet JP, Tazi F (1993) The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Indications, technique, and results in 257 cases. Clin Orthop 290: 55–59

Bibbo C, Lin SS, Beam HA, Behrens FF (2001) Complications of ankle fractures in diabetic patients. Orthop Clin North Am 32: 113–133

Bibbo C, Anderson RB, Davis WH (2003) Injury characteristics and the clinical outcome of subtalar dislocations: A clinical and radiographic analysis of 25 cases. Foot Ankle Int 24: 158–163

Biewener A, Rammelt S, Teistler FM, Grass R, Zwipp H (2002) Funktionell ausgerichtete Nachbehandlung von Osteosynthesen des oberen Sprunggelenkes mit dem flexiblen Arthrodesenstiefel (Variostabil). Z Orthop Ihre Grenzgeb 140: 334–338

Biyani A, Sharma JC, Mathur NC (1988) Plantar panmetatarsophalangeal dislocation: A hyperflexion inujry. J Trauma 28: 868

Blair HC (1943) Comminuted fractures and fracture-dislocations of the body of the astragalus. Am J Surg 59: 37–43

Borrelli AH, Weil LS (1991) Modified scarf bunionectomy: Our experience in more than 1000 cases. J Foot Surg 30:609

Borrelli JJ, Torzilli PA, Grigiene R, Helfet DL (1997) Effect of impact load on articular cartilage: Development of an intra-articular fracture model. J Orthop Trauma 11: 319–326

Bowers KD, Jr., Martin RB (1976) Turf-toe: a shoe-surface related football injury. Med Sci Sports 8: 81–3

Boyd HB (1939) Amputation of the foot with calcaneo-tibial arthrodesis. J Bone Joint Surg 21: 997–1000

Börner M, Schellmann WD, Klemm K (1975) Ursachen und Behandlungsergebnisse bei 40 Patienten mit Fersenbeinosteomyelitis. Hefte Unfallheilkd 122: 256–261
Brenner P, Zwipp H, Rammelt S (2000) Vascularized double barrel ribs combined with free serratus anterior muscle transfer for homologous restoration of the hindfoot after calcanectomy. J Trauma 49: 331–335
Brenner P, Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H (2001) Early soft tissue coverage after complex foot trauma. World J Surg 25: 603–609
Broos PLO, Bisschop APG (1991) Operative treatment of ankle fractures in adults: Correlation between types of fracture and final results. Injury 22: 403–406
Buchgräber A, Pässler HH (1997) Percutaneous repair of Achilles tendon rupture. Immobilization versus functional postoperative treatment. Clin Orthop 341: 113–122
Buckley R, Tough S, McCormack R et al. (2002) Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: A prospective, randomized, controlled multicenter trial. J Bone Joint Surg Am 84: 1733–1744
Canale ST, Kelly FB Jr (1978) Fractures of the neck of the talus. J Bone Joint Surg Am 60: 143–156
Carr JB, Hansen ST, Benirschke SK (1988) Subtalar distraction bone block fusion for late complications of os calcis fractures. Foot Ankle 9: 81–86
Castaing J, LeChevalier PL, Meunier M (1961) Entorse à répétition ou subluxation récidivante de la tibiotarsienne. Une technique simple de ligamentoplastie externe. Rev Chir Orthop 47: 598–608
Cetti R, Christensen SE, Ejsted R, Jensen NM, Jorgensen U (1993) Operative versus nonoperative treatment of Achilles tendon rupture. A prospective randomized study and review of the literature. Am J Sports Med 21: 791–799
Chrisman OD, Snook GA (1969) Reconstruction of lateral ligament tears of the ankle. An experimental study and clinical evaluation of seven patients treated by a new modification of the Elmslie procedure. J Bone Joint Surg Am 51: 904–912
Chuckpaiwong B, Queen RM, Easley ME, Nunley JA (2008) Distinguishing Jones and proximal diaphyseal fractures of the fifth metatarsal. Clin Orthop Relat Res 466: 1966–1970
Clain MR, Baxter DE (1994) Simultaneous calcaneocuboid and talonavicular fusion. Long-term follow-up study. J Bone Joint Surg Br 76: 133–136
Clanton TO (1999) Athlethic injuries to the soft tissues of the foot and ankle. In: Mann RA, Coughlin MJ (eds) Surgery of the foot and ankle. Mosby, St Louis, pp 1090–1209
Coetzee JC, Resig SG, Kuskowski M, Saleh KJ (2003) The Lapidus procedure as salvage after failed surgical treatment of hallux valgus: a prospective cohort study. J Bone Joint Surg Am 85: 60–65
Coltart WD (1952) »Aviator's Astragalus«. J Bone Jont Surg Br 34: 546–566
Coughlin MJ (1996) Hallux valgus. J Bone Joint Surg Am 78: 932–966
Coughlin MJ (2000) Common causes of pain in the forefoot in adults. J Bone Joint Surg Br 82: 781–790
Coughlin MJ (2002) Lesser-toe abnormalities. J Bone Joint Surg Am 84: 1446–1469
Dahlen C, Zwipp H (2001) Computer-assistierte OP-Planung. 3-D Software für den PC. Unfallchirurg 104: 466–479
de Heus JAC, Marti RK, Besselaar PP, Albers GHR (1997) The influence of subtalar and triple arthrodesis on the tibiotalar joint. A long-term follow-up study. J Bone Joint Surg Br 79: 644–647
Dewar FP, Evans DC (1968) Occult fracture-subluxation of the midtarsal joint. J Bone Joint Surg Br 50: 386–388
DiGiovanni CW, Kuo R, Tejwani N et al. (2002) Isolated gastrocnemius tightness. J Bone Joint Surg Am 84: 962–970
Edwards GS Jr, DeLee JC (1984) Ankle diastasis without fracture. Foot Ankle 4: 305–312
Egol KA, Amirtharajah M, Tejwani NC, Capla EL, Koval KJ (2004) Ankle stress test for predicting the need for surgical fixation of isolated fibular fractures. J Bone Joint Surg Am 86-A: 2393–2398
Endres T, Grass R, Biewener A, Illert T, Zwipp H (2003) Minimal traumatisierende Versorgung der Pilon-tibiale-Frakturen. Trauma Berufskrankh 5(Suppl 2): 258–268
English TA (1964) Dislocations of the metatarsal bone and adjacent toe. J Bone Joint Surg Br 46: 700–704
Evans DL (1953) Recurrent instability of the ankle joint: A method of surgical treatment. Proc R Soc Med 46: 343–344
Faciszewski T, Burks RT, Manaster BJ (1990) Subtle injuries of the Lisfranc joint. J Bone Joint Surg Am 72: 1519–1522
Fehnel DJ, Baumhauer JF, Huber B (1994) Fractures of the lateral process of the talus: A functional outcome study, AOFAS Summer Meeting, 1994. The American Orthopaedic Foot and Ankle Society
Fevang BT, Lie SA, Havelin LI, Brun JG, Skredderstuen A, Furnes O (2007) 257 ankle arthroplasties performed in Norway between 1994 and 2005. Acta Orthop. 78: 575–83
Fick R (1911) Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. In: Bardeleben K (Hrsg) Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, 2. Bd., 3. Teil. Fischer, Jena
Flick AB, Gould N (1985) Osteochondrosis dissecans of the talus: Review of the literature and new surgical approach for medial dome lesions. Foot Ankle 5: 165–185
Fogel GR, Katoh Y, Rand JA, Chao EY (1982) Talonavicular arthrodesis for isolated arthrosis: 9.5-year results and gait analysis. Foot Ankle 3: 105–113
Forgon M (1993) Closed reduction and percutaneus osteosynthesis: Technique and results in 265 calcaneal fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (eds) Major fractures of the pilon, the talus and the calcaneus. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 207–213
Foster SC, Foster RR (1976) Lisfranc's tarsometatarsal fracture-dislocation. Radiology 120: 79–83
Frey C, Feder KS, DiGiovanni C (1999) Arthroscopic evaluation of the subtalar joint: Does sinus tarsi syndrome exist? Foot Ankle Int 20: 185–191
Frick H (1986) Diagnostik, Therapie und Ergebnisse der akuten Instabilität der Syndesmose des oberen Sprunggelenkes. Orthopäde 15: 423–426
Gardner MJ, Demetrakopoulos D, Briggs SM, Helfet DL, Lorich DG (2006) Malreduction of the tibiofibular syndesmosis in ankle fractures. Foot Ankle Int. 27: 788–792
Geissler WB, Tsao AK, Hughes JA (1996) Fractures and injuries of the ankle. In: Rockwood CA, Green DP, Buchholz RW, Heckman JD (eds) Rockwood and Green's fractures in adults. Lippincott-Raven, Philadelphia, pp 2201–2266
Geyer M, Sander-Beuermann A, Wegner U, Wirth CJ (1993) Streßreaktionen und Streßfrakturen beim Leistungssportler. Ursachen, Diagnostik und Therapie. Unfallchirurg 96: 66–74
Giannestras N, Sammarco GJ (1975) Fractures and dislocations of the foot. In: Rockwood CA, Green D (eds) Fractures. Lippincott, Philadelphia
Giannini S, Buda R, Faldini C, Vannini F, Bevoni R, Grandi G, Grigolo B, Berti L (2005) Surgical treatment of osteochondral lesions of the talus in young active patients.J Bone Joint Surg Am 87 Suppl 2: 28–41
Glasgow MT, Naranja RJ, Jr., Glasgow SG, Torg JS (1996) Analysis of failed surgical management of fractures of the base of the fifth metatarsal distal to the tuberosity: The Jones fracture. Foot Ankle Int 17: 449–457
Godina M (1986) Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. Plast Reconstr Surg 78: 285–292
Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, De Boer P, Smith RM (2000) Fix and flap: The radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. J Bone Joint Surg Br 82: 959–966
Gould N, Schneider W, Ashikaga T (1980) Epidemiological survey of foot problems in the continental United States: 1978–1979. Foot Ankle 1: 8–10
Grass R, Herzmann K, Biewener A, Zwipp H (2000) Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmose. Unfallchirurg 103: 520–532
Grass R, Rammelt S, Biewener A, Zwipp H (2003) Peroneus longus ligamentoplasty for chronic instability of the distal tibiofibular syndesmosis. Foot Ankle Int 24: 392–397
Grob D, Simpson LA, Weber BG, Bray T (1985) Operative treatment of displaced talus fractures. Clin Orthop 199: 88–96
Haddad SL, Coetzee JC, Estok R, Fahrbach K, Banel D, Nalysnyk L (2007) Intermediate and long-term outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. A systematic review of the literature. J Bone Joint Surg Am. 89: 1899–1905
Hagen RJ (1986) Ankle arthrodesis. Problems and pitfalls. Clin Orthop 202: 152–162

Hansen ST (2000) Functional reconstruction of the foot and ankle. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
Hardcastle PH, Reschauer R, Kutscha-Lissberg E, Schoffmann W (1982) Injuries to the tarsometatarsal joint. Incidence, classification and treatment. J Bone Joint Surg Br 64: 349–356
Harper MC (2001) Delayed reduction and stabilization of the tibiofibular syndesmosis. Foot Ankle Int 22: 15–18
Hawkins LG (1965) Fracture of the lateral process of the talus. J Bone Joint Surg Am 47: 1170–1175
Hawkins LG (1970) Fractures of the neck of the talus. J Bone Joint Surg Am 52: 991–1002
Heckman JD (1996) Fractures and dislocations of the foot. In: Rockwood C, Green D, Bucholz R, Heckman JD (eds) Fractures in adults. Lippincott Raven, Philadelphia, pp 2287–2391
Heim U (1990) Die Pilon-tibial-Fraktur. Klassifikation, Operationstechnik, Ergebnisse. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Heim U, Näser M (1976) Die operative Behandlung der Pilon-tibial-Fraktur. Technik der Osteosynthese und Resultate bei 129 Patienten. Arch Orthop Unfallchir 86: 341–356
Heim U, Pfeiffer KM (1988) Periphere Osteosynthesen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Heineck J, Liebscher T, Zwipp H (2001) Abrissfraktur der Basis des Os metatarsale V. Operat Orthop Traumatol 13: 151–158
Hellpap W (1963) Das vernachlässigte untere Sprunggelenk. Die »Frakturlinie der Supination«. Arch Orthop Unfallchir 55: 289–300
Herscovici D, Scaduto JM, Infante A (2007) Conservative treatment of isolated fractures of the medial malleolus. J Bone Joint Surg (Br) 89: 89-93
Hicks JH (1954) The mechanics of the foot II. The plantar aponeurosis and the arch. J Anat 88: 25–31
Hintermann B (2003) Medial ankle instability. Foot Ankle Clin 8: 723–738
Hovis WD, Kaiser BW, Watson JT, Bucholz RW (2002) Treatment of syndesmotic disruptions of the ankle with bioabsorbable screw fixation. J Bone Joint Surg Am 84: 26–31
Höntzsch D, Karnatz N, Jansen T (1990) Ein- oder zweizeitige (mit Fixateur externe) Versorgung der schweren Pilon-Tibial-Fraktur. Aktuelle Traumatol 20: 199–204
Humbert JL, Bourbonniere C, Laurin CA (1979) Metatarsophalangeal fusion for hallux valgus: Indications and effect on the first metatarsal ray. Can Med Assoc J 120: 937–941, 956
Inman VT (1976) The joints of the ankle. Williams & Wilkins, Baltimore
Inokuchi S, Ogawa K, Usami N (1996) Classification of fractures of the talus: Clear differentiation between neck and body fractures. Foot Ankle Int 17: 748–750
Jahss MH (1981) Stubbing injuries to the hallux. Foot Ankle 1: 327–332
Kalamchi A, Evans JG (1977) Posterior subtalar fusion. A preliminary report on a modified Gallie's procedure. J Bone Joint Surg Br 59: 287–289
Karlsson J, Bergsten T, Lansinger O, Peterson L (1988) Reconstruction of the lateral ligaments of the ankle for chronic lateral instability. J Bone Joint Surg Am 70: 581–588
Karlsson J, Brandsson S, Kälebo P, Eriksson BI (1998) Surgical treatment of concomitant chronic ankle instability and longitudinal rupture of the peroneus brevis tendon. Scand J Med Sci Sports. 8: 42–9
Kato T (1995) The diagnosis and treatment of instability of the subtalar joint. J Bone Joint Surg Br 77: 400–406
Kelberine F, Frank A (1999) Arthroscopic treatment of osteochondral lesions of the talar dome: A retrospective study of 48 cases. Arthroscopy 15: 77–84
Kerkhoffs GMMJ, Handoll HHG, de Bie R, Rowe BH, Struijs PAA (2007) Surgical versus conservative treatment for acute injuries of the lateral ligament complex of the ankle in adults. Cochrane Datab Syst Rev 2
Khoury A, Liebergall M, London E, Mosheiff R (2002) Percutaneous plating of distal tibial fractures. Foot Ankle Int 23: 818–824
Kile TA, Donnelly RE, Gehrke JC (1994) Tibiotalocalcaneal arthrodesis with an intramedullary device. Foot Ankle Int 15: 669–673
Kim HS, Jahng JS, Kim SS, Chun CH, Han HJ (1997) Treatment of tibial pilon fractures using ring fixators and arthroscopy. Clin Orthop 334: 244–250
Kitaoka HB, Holiday AD Jr (1991) Metatarsal head resection for bunionette: Long-term follow-up. Foot Ankle 11: 345–349
Kitaoka HB, Holiday AD Jr, Campbell DC 2nd (1991) Distal Chevron metatarsal osteotomy for bunionette. Foot Ankle 12: 80–85
Klaue K (1991) Hallux valgus und hypermobiler erster Strahl – kausale Behandlung durch tarsometatarsale Reorientierungsarthrodese. Ther Umsch 48: 817–823
Kotter A, Wieberneit J, Braun W, Rüter A (1997) Die Chopart-Luxation. Eine häufig unterschätzte Verletzung und ihre Folgen. Eine klinische Studie. Unfallchirurg 100: 737–741
Kramer J (1990) Die Kramer-Osteotomie zur Behandlung des Hallux valgus und des Digitus quintus varus. Operat Orthop Traumatol 2: 29–38
Krips R, Brandsson S, Swensson C, van Dijk CN, Karlsson J (2002) Anatomical reconstruction and Evans tenodesis of the lateral ligaments of the ankle. Clinical and radiological findings after follow-up for 15 to 30 years. J Bone Joint Surg Br 84: 232–236
Kristensen KD, Hansen T (1985) Closed treatment of ankle fractures. Stage II supination-eversion fractures followed for 20 years. Acta Orthop Scand 56: 107–109
Kundel K, Braun W, Scherer A (1995) Spätergebnisse nach zentralen Talusfrakturen. Unfallchirurg 98: 124–129
Kuner EH, Schlosser V (1995) Traumatologie. Thieme, Stuttgart New York
Kuner EH, Lindenmaier HL, Münst P (1992) Talus fractures. In: Schatzker J, Tscherne H (eds) Major fractures of the pilon, the talus and the calcaneus. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 72–85
Kuo RS, Tejwani NC, Digiovanni CW et al. (2000) Outcome after open reduction and internal fixation of Lisfranc joint injuries. J Bone Joint Surg Am 82: 1609–1618
Lapidus PW (1960) The author's bunion operation from 1931 to 1959. Clin Orthop 16: 119–135
Lauge-Hansen N (1949) »Ligamentous« ankle fractures. Diagnosis and treatment. Acta Chir Scand 97: 544–550
Lauge Hansen N (1950) Fractures of the ankle II: Combined experimental/surgical and experimental roentgenologic investigation. Arch Surg 60: 957–985
Leitner B (1952) Behandlungen und Behandlungsergebnisse von 42 frischen Fällen von Luxatio pedis sub talo im Unfallkrankenhaus Wien. Ergebnisse Chir Orthop 37: 501–577
Lenczner EM, Waddell JP, Graham JD (1974) Tarsal-metatarsal (Lisfranc) dislocation. J Trauma 14: 1012–1020
Leung WY, Wong SH, Lam JJ, Ip FK, Ko PS (2001) Presentation of a missed injury of a metatarsophalangeal joint dislocation in the lesser toes. J Trauma 50: 1150–1152
Liener UC, Bauer G, Kinzl L, Suger G (1999) Die tibiokalkaneare Arthrodese. Eine Analyse von 21 Fällen. Unfallchirurg 102: 848–854
Lindsjö U (1981) Operative treatment of ankle fractures. Acta Orthop Scand Suppl 52: 1–131
Lindvall E, Haidukewych G, DiPasquale T, Herscovici D, Jr., Sanders R (2004) Open reduction and stable fixation of isolated, displaced talar neck and body fractures. J Bone Joint Surg Am 86-(Am): 2229-2234
Lorentzen JE, Christensen SB, Krogsoe O, Sneppen O (1977) Fractures of the neck of the talus. Acta Orthop Scand 48: 115–120
Lorez LG, Hintermann B (1999) Bedeutung von Begleitverletzungen bei Malleolarfrakturen. Unfallchirurg 102: 949–954
Ludloff K (1918) Die Beseitigung des Hallux valgus durch die schräge plantadorsale Osteotomie des Metatarsus I. Arch Klin Chir 110: 364-387
Ly TV, Coetzee JC (2006) Treatment of primarily ligamentous Lisfranc joint injuries: primary arthrodesis compared with open reduction and internal fixation. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am 88-3: 514–20
MacKenzie EJ, Bosse MJ, Kellam JF, et al. (2002) Factors influencing the decision to amputate or reconstruct after high-energy lower extremity trauma. J Trauma 52: 641–649
Maffulli N (1999) Rupture of the Achilles tendon. J Bone Joint Surg Am 81: 1019–1036
Main BJ, Jowett RL (1975) Injuries of the midtarsal joint. J Bone Joint Surg Br 57: 89–97
Makwana N, Bhowal B, Harper W, Hui A (2001) Conservative versus operative treatment for displaced ankle fractures in patients over 55 years of age: a prospective randomized study. J Bone Joint Surg (Br) 83: 525–529

Manca M, Marchetti S, Restuccia G, Faldini A, Giannini S (2002) Combined percutaneous internal and external fixation of type-C tibial plafond fractures. J Bone Joint Surg Am 84 (Suppl 2): 109–115
Magnan B, Samaila E, Viola G, Bartolozzi P (2008) Minimally invasive retrocapital osteotomy of the first metatarsal in hallux valgus deformity. Oper Orthop Traumatol 20: 89-96
Mann RA, Coughlin MJ (1999) Adult hallux valgus. In: Mann RA, Coughlin MJ (eds) Surgery of the foot and ankle. Mosby, St Louis, pp 150–269
Mann RA, Prieskorn D, Sobel M (1996) Mid-tarsal and tarsometatarsal arthrodesis for primary degenerative osteoarthrosis or osteoarthrosis after trauma. J Bone Joint Surg Am 78: 1376–1385
Manoli A 2nd (1990) Compartment syndromes of the foot: Current concepts. Foot Ankle 10: 340–344
Manter JT (1941) Movements of the subtalar and transverse tarsal joints. Anat Rec 80: 397–410
Marti RK (1974) Talus und Calcaneusfrakturen. In: Weber BG, Brunner C, Freuler F (Hrsg) Die Frakturenbehandlung bei Kindern und Jugendlichen. Springer, Berlin Heidelberg New York
Marti RK, Raaymakers ELFB, Rammelt S (2009) Rekonstruktion fehlverheilter Sprunggelenkfrakturen. Fuß Sprungg 7: 78–87
Mast JW, Spiegel PG, Pappas JN (1988) Fractures of the tibial pilon. Clin Orthop Relat Res. 230: 68–82
McDonald MG, Burgess RC, Bolano LE, Nicholls PJ (1996) Ilizarov treatment of pilon fractures. Clin Orthop 325: 232–238
McFerran MA, Smith SW, Boulas HJ, Schwartz HS (1992) Complications encountered in the treatment of pilon fractures. J Orthop Trauma 6: 195–200
Melcher G, Degonda F, Leutenegger A, Ruedi T (1995) Ten-year follow-up after operative treatment for intra-articular fractures of the calcaneus. J Trauma 38: 713–716
Merchan EC (1992) Subtalar dislocations: Long-term follow-up of 39 cases. Injury 23: 97–100
Migues A, Solari G, Carrasco NM, Gonzalez Della Valle A (1996) Repair of talar neck nonunion with indirect corticocancellous graft technique: A case report and review of the literature. Foot Ankle Int 17: 690–694
Miki T, Yamamuro T, Kitai T (1988) An irreducible dislocation of the great toe. Report of two cases and review of the literature. Clin Orthop 230: 200–206
Mittlmeier T, Krowiorsch R, Sachser K, Hoffmann R (1997) Determinanten der Funktion nach Verletzungen des Chopart- und/oder Lisfranc-Gelenkes. Hefte Unfallchirurg 268: 117–118
Mittlmeier T, Haar P (2004) Sesamoid and toe fractures. Injury 35 Suppl 2: SB87-97
Moeckel BH, Patterson BM, Inglis AE, Sculco TP (1991) Ankle arthrodesis. A comparison of internal and external fixation. Clin Orthop 268: 78–83
Monroe MT, Manoli A 2nd (1999) Osteotomy for malunion of a talar neck fracture: A case report. Foot Ankle Int 20: 192–195
Mont MA, Sedlin ED, Weiner LS, Miller AR (1992) Postoperative radiographs as predictors of clinical outcome in unstable ankle fractures. J Orthop Trauma 6: 352–357
Morgan CD (1991) Arthroscopic arthrodesis of the upper ankle joint. Orthopäde 20: 99–103
Morris HD, Hand WL, Dunn AW (1971) The modified Blair fusion for fractures of the talus. J Bone Joint Surg Am 53: 1289–1297
Mulfinger GL, Trueta J (1970) The blood supply of the talus. J Bone Joint Surg Br 52: 160–167
Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese. AO-Technik, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Myerson MS (1999) Soft tissue trauma: Acute and chronic management. In: Mann RA, Coughlin MJ (eds.) Surgery of the foot and ankle, vol II. Mosby, St Louis, pp 1330–1372
Myerson MS, Fisher RT, Burgess AR, Kenzora JE (1986) Fracture dislocations of the tarsometatarsal joints: End results correlated with pathology and treatment. Foot Ankle 6: 225–242
Nistor L (1981) Surgical and non-surgical treatment of Achilles Tendon rupture. A prospective randomized study. J Bone Joint Surg Am 63: 394–399
Noonan KJ, Saltzman CL, Dietz FR (1994) Open physeal fractures of the distal phalanx of the great toe. A case report. J Bone Joint Surg Am 76: 122–125
Nunley JA, Vertullo CJ (2002) Clasification, investigation, and management of midfoot sprains. Lisfranc injuries in the athlete. Am J Sports Med 30: 871–878
Ogilvie-Harris DJ, Reed SC (1994) Disruption of the ankle syndesmosis: Diagnosis and treatment by arthroscopic surgery. Arthroscopy 10: 561–568
Omoto H, Nakamura K (2001) Method for manual reduction of displaced intra-articular fracture of the calcaneus: Technique, indications and limitations. Foot Ankle Int 22: 874–879
Okuda R, Kinoshita M, Yasada T, Jotoku T, Kitano N, Shima H (2009) Postoperative incomplete reduction of the sesamoids as a risk factor for recurrence of hallux valgus. J Bone Joint Surg Am 91: 1637–1645
Pajala A, Kangas J, Ohtonen P, Leppilahti J (2002) Rerupture and deep infection following treatment of total Achilles tendon rupture. J Bone Joint Surg Am 84: 2016–2021
Paul M, Peter R, Hoffmeyer P (2004) Fractures of the calcaneum. A review of 70 patients. J Bone Joint Surg Br 86(8): 1142–5
Paulos LE, Johnson CE, Noyes FR (1983) Posterior compartment fractures of the ankle. Am J Sports Med 11: 439–443
Peicha G, Labovitz J, Seibert FJ et al. (2002) The anatomy of the joint as a risk factor for Lisfranc dislocation and fracture-dislocation. An anatomical and radiological case control study. J Bone Joint Surg Br 84: 981–985
Pennal GF (1963) Fractures of the talus. Clin Orthop 30: 53–63
Pestessy J, Rado S, Feczko J, Balvanyossy P, Bacs P (1975) Total luxation of the anklebone, without fracture. Magy Traum Orthop 18: 67–75
Peterson L, Romanus B, Dahlberg E (1976) Fracture of the collum tali-an experimental study. J Biomechanics 9: 277–279
Peterson L, Goldie IF, Irstam L (1977) Fracture of the neck of the talus. A clinical study. Acta Orthop Scand 48: 696–706
Pettine KA, Morrey BF (1987) Osteochondral fractures of the talus: A long-term follow-up. J Bone Joint Surg Br 69: 89–92
Pfeffinger LL, Mann RA (1986) Sesamoid and accessory bones. In: Mann RA (ed) Surgery of the foot. Mosby, St Louis, pp 209–229
Phillips WA, Schwartz HS, Keller CS et al. (1985) A prospective, randomized study of the management of severe ankle fractures. J Bone Joint Surg Am 67: 67–78
Pijnenburg AC, Van Dijk CN, Bossuyt PM, Marti RK (2000) Treatment of ruptures of the lateral ankle ligaments: A meta-analysis. J Bone Joint Surg Am 82: 761–773
Pinckney LE, Currarino G, Kennedy LA (1981) The stubbed great toe: A cause of occult compound fracture and infection. Radiology 138: 375–377
Pirogoff NJ (1854) Kostno-plasticheskoe udlineie kostei goleni pri velushtshenii stopi. Vojenno-med J St Petersburg 63: 83–100
Pisani G (1998) Fußchirurgie. Thieme, Stuttgart New York
Port AM, McVie JL, Naylor G, Kreibich DN (1996) Comparision of two conservative methods of treating an isolated fracture of the lateral malleolus. J Bone Joint Surg Br 78: 568–572
Petroutsas J, Trnka HJ (2005) The Ludloff osteotomy for correction of hallux valgus. Oper Orthop Traumatol 17:102-117
Quill GEJ (1995) Fractures of the proximal fifth metatarsal. Orthop Clin North Am 26: 353–361
Rammelt S, Zwipp H, Gavlik JM (2000) Avascular necrosis after minimally displaced talus fracture in a child. Foot Ankle Int 21: 1030–1036
Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S, Zwipp H (2002a) The value of subtalar arthroscopy in the management of intra-articular calcaneus fractures. Foot Ankle Int 23: 906–916
Rammelt S, Grass R, Schikore H, Zwipp H (2002b) Verletzungen des Chopart-Gelenks. Unfallchirurg 105: 371–385
Rammelt S, Barthel S, Biewener A, Gavlik JM, Zwipp H (2003) Calcaneusfrakturen: Offene Reposition und interne Stabilisierung. Zentralbl Chir 128: 517–528
Rammelt S, Grass R, Zawadski T, Biewener A, Zwipp H (2004) Foot function after subtalar distraction bone block arthrodesis – a prospective study. J Bone Joint Surg (Br) 86: 659–668
Rammelt S, Biewener A, Grass R, Zwipp H (2005) Verletzungen des Fußes beim polytraumatisierten Patienten. Unfallchirurg 108: 858–865

Rammelt S, Winkler J, Grass R, Zwipp H (2006) Reconstruction after talar fractures. Foot Ankle Clin 11: 61–84
Rammelt S, Grass R, Zwipp H (2007) Frakturen des oberen Sprunggelenks. Fuß Sprungg 5: 88–103
Rammelt S, Schneiders W, Schikore H, Holch M, Heineck J, Zwipp H (2008) Primary open reduction and fixation compared with delayed corrective arthrodesis in the treatment of tarsometatarsal (Lisfranc) fracture-dislocation. J Bone Joint Surg (Br) 90: 1499–1506
Rammelt S, Zwipp H (2009) Talar neck and body fractures. Injury 40: 120–135
Rammelt S, Thielemann F, Zwipp H (2009) Rekonstruktion fehlverheilter Chopart-Luxationsfrakturen. Fuß Sprungg 7: 104–116
Randt T, Dahlen C, Schikore H, Zwipp H (1998) Luxationsfrakturen im Mittelfußbereich – Verletzungen des Chopart- und Lisfranc-Gelenkes. Zentralbl Chir 123: 1257–1266
Rasmussen O (1985) Stability of the ankle joint. Analysis of the function and traumatology of the ankle ligaments. Acta Orthop Scand Suppl 211: 1–75
Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Tscherne H (1993) Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. Eine vergleichende Analyse von 3406 Fällen zwischen 1972 und 1991. Unfallchirurg 96: 350–362
Reikeras O (1983) Metatarsal osteotomy for relief of metatarsalgia. Arch Orthop Trauma Surg 101: 177–178
Reverdin J (1881) Anatomie et operation d'hallux valgus. Int Med Congr 2: 408
Richardson EG (1999) Hallucal sesamoid pain: causes and surgical treatment. J Am Acad Orthop Surg 7: 270–278
Richli WR, Rosenthal DI (1984) Avulsion fracture of the fifth metatarsal: Experimental study of pathomechanics. AJR Am J Roentgenol 143: 889–891
Richter J, Schulze W, Muhr G (1999) Stabile Knöchelbrüche. Indikation zur Operation oder konservativen Therapie? Orthopäde 28: 493–499
Richter M, Thermann H, Hüfner T, Schmidt U, Krettek C (2002) Aetiology, treatment and outcome in Lisfranc joint dislocations and fracture dislocations. Foot Ankle Surg 8: 21-32
Rippstein P, Zünd T (2001) Die »Scarf«-Osteotomie beim Hallux valgus. Oper Orthop Traumatol 13: 107-120
Romash MM (1993) Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures. Clin Orthop 290: 157–167
Root ML, Orien WP, Weed JH (1977) Normal and abnormal function of the foot. Clinical Biomechanics, Los Angeles/CA, USA
Rosenbaum D, Becker HP, Wilke HJ, Claes LE (1998) Tenodeses destroy the kinematic coupling of the ankle joint complex. A three-dimensional in vitro analysis of joint movement. J Bone Joint Surg Br 80: 162–168
Ross G, Cronin R, Hauzenblas J, Juliano P (1996) Plantar ecchymosis sign: A clinical aid to diagnosis of occult Lisfranc tarsometatarsal injuries. J Orthop Trauma 10: 119–122
Rowan R, Davey KJ (1999) Ankle arthrodesis using an anterior AO T plate. J Bone Joint Surg Br 81: 113–116
Rüdert M, Wülker N, Wirth CJ (1997) Reconstruction of the lateral ligaments of the ankle using a regional periosteal flap. J Bone Joint Surg Br 79: 446–451
Rüedi T, Allgöwer M (1969) Fractures of the lower end of the tibia into the ankle joint. Injury 1: 92–108
Rüedi T, Allgöwer M (1978) Spätresultate nach operativer Behandlung der Gelenkbrüche am distalen Tibiaende. Unfallheilkd 81: 319–323
Saltzman CL, el-Khoury GY (1995) The hindfoot alignment view. Foot Ankle Int 16: 572–576
Saltzman CL, Marsh JL, Tearse DS (1994) Treatment of displaced talus fractures: An arthroscopically assisted approach. Foot Ankle Int 15: 630–633
Sammarco GJ (1993) The Jones fracture. Instr Course Lect 42: 201–205
Sammarco GJ, Makwana NK (2002) Treatment of talar osteochondral lesions using local osteochondral graft. Foot Ankle Int 23: 693–698
Sammarco VJ (2007) Surgical correction of moderate and severe hallux valgus. J Bone Joint Surg Am 89: 2520–2531
Sanders R (2007) Fractures and fracture-dislocations of the talus. In: Coughlin MJ, Mann RA, Saltzman CL (eds) Surgery of the foot and ankle, Mosby, St Louis, pp 2075–2136
Sanders R, Papp S (2007) Fractures of the midfoot and forefoot. In: Coughlin MJ, Mann RA, Saltzman CL (eds) Surgery of the foot and ankle, Mosby, St Louis, pp. 2199–2235
Sanders R (2000) Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. J Bone Joint Surg Am 82: 225–250
Sanders R, Fortin P, DiPasquale A, Walling D, Helfet D, Ross E (1993) The results of operative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures using a CT scan classification. In: Tscherne H, Schatzker J (eds) Major fractures of the pilon, the talus and the calcaneus. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp 175–189
Sangeorzan BJ, Hansen ST (1989) Early and late posttraumatic foot reconstruction. Clin Orthop 243: 86–91
Sangeorzan BJ, Veith RG, Hansen ST, Jr. (1990) Salvage of Lisfranc's tarsometatarsal joint by arthrodesis. Foot Ankle 10: 193–200
Sangeorzan BJ, Wagner UA, Harrington RM, Tencer AF (1992) Contact characteristics of the subtalar joint: The effect of talar neck misalignment. J Orthop Res 10: 544–551
Sarrafian SK (1993) Anatomy of the foot and ankle. Lippincott, Philadelphia
Schock HJ, Pinzur M, Manion L, Stover M (2007) The use of gravity or manual stress radiographs in the assessment of supination-external rotation fractures of the ankle. J Bone Joint Surg (Br) 89: 1055–1059
Schuind F, Andrianne Y, Burny F, Donkerwolcke M, Saric O (1983) Fractures et luxations de l'astragale. Revue de 359 cas. Acta Orthop Belg 49: 652–689
Schulze W, Richter J, Klapperich T, Muhr G (1998) Funktionsergebnisse nach operativer Therapie von Talusfrakturen. Chirurg 69: 1207–1213
Shea MP, Manoli A (1993) Osteochondral lesions of the talar dome. Foot Ankle 14: 48–565
Shereff MJ, Baumhauer JF (1998) Hallux rigidus and osteoarthrosis of the first metatarsophalangeal joint. J Bone Joint Surg Am 80: 898–908
Sirkin M, Sanders R, DiPasquale T, Herscovici D, Jr. (1999) A staged protocol for soft tissue management in the treatment of complex pilon fractures. J Orthop Trauma 13: 78–84
Sneppen O, Christensen SB, Krogsoe O, Lorentzen J (1977) Fracture of the body of the talus. Acta Orthop Scand 48: 317–324
SooHoo NF, Zingmond DS, Ko CY (2007) Comparison of reoperation rates following ankle arthrodesis and total ankle arthroplasty. J Bone Joint Surg Am. 89: 2143–2149
SooHoo NF, Krenek L, Eagean MJ, Gurbani B, Ko CY, Zingmond DS (2009) Complication Rates Following Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fractures. J Bone Joint Surg Am 91: 1042–1049
Stamatis ED, Cooper PS, Myerson MS (2003) Supramalleolar osteotomy for the treatment of distal angular deformities and arthritis of the ankle joint. Foot Ankle Int 24: 754–764
Stephenson JR (1987) Treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneus using medial and lateral approaches, internal fixation, and early motion. J Bone Joint Surg Am 69: 115–130
Stephenson KA, Beck TL, Richardson EG (1994) Plantar dislocation of the metatarsophalangeal joint: Case report. Foot Ankle Int 15: 446–449
Stiegelmar R, McKee MD, Waddell JP, Schemitsch EH (2001) Outcome of foot injuries in multiply injured patients. Orthop Clin North Am 32: 193–204
Sugimoto K, Samoto N, Takaoka T, Takakura Y, Tamai S (1998) Subtalar arthrography in acute injuries of the calcaneofibular ligament. J Bone Joint Surg Br 80: 785–790
Suren EG, Zwipp H (1986) Akute ligamentäre Verletzungen der Chopart- und Lisfranc-Gelenklinie. Orthopäde 15: 479–486
Swanson TV, Bray TJ, Holmes GB, Jr. (1992) Fractures of the talar neck. A mechanical study of fixation. J Bone Joint Surg Am 74: 544–551
Takakura Y, Tanaka Y, Kumai T, Tamai S (1995) Low tibial osteotomy for osteoarthritis of the ankle. Results of a new operation in 18 patients. J Bone Joint Surg Br 77: 50–54
Teeny SM, Wiss DA (1993) Open reduction and internal fixation of tibial plafond fractures. Variables contributing to poor results and complications. Clin Orthop 292: 108–117
Thermann H (1998) Die Behandlung der Achillessehnenruptur. Chirurg 69: 115–130
Thermann H, Zwipp H, Tscherne H (1995) Funktionelles Behandlungskonzept der frischen Achillessehnenruptur. 2-Jahresergebnisse einer prospektiv-randomisierten Studie. Unfallchirurg 98: 21–32
Thermann H, Zwipp H, Tscherne H (1997) Treatment algorithm of chronic ankle and subtalar instability. Foot Ankle Int 18: 163–169

Thomas P, Wilson LF (1993) Non-union of an os calcis fracture. Injury 24: 630–632
Thomas RH, Daniels TR (2003) Ankle arthritis. J Bone Joint Surg Am 85: 923–936
Thordarson DB, Krieger LE (1996) Operative vs. nonoperative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: A prospective randomized trial. Foot Ankle Int 17: 2–9
Thordarson DB, Motamed S, Hedman T, Ebramzadeh E, Bakshian S (1997) The effect of fibular malreduction on contact pressures in an ankle fracture malunion model. J Bone Joint Surg Am 79: 1809–1815
Thordarson DB, Chang D (1999) Stress fractures and tibial cortical hypertrophy after tibiotalocalcaneal arthrodesis with an intramedullary nail. Foot Ankle Int 20: 497–500
Torg JS, Balduini FC, Zelko RR, Pavlov H, Peff TC, Das M (1984) Fractures of the base of the fifth metatarsal distal to the tuberosity. Classification and guidelines for non-surgical and surgical management. J Bone Joint Surg Am 66: 209–214
Tornetta P 3rd (1998) The Essex-Lopresti reduction for calcaneal fractures revisited. J Orthop Trauma 12: 469–473
Tornetta P 3rd, Weiner L, Bergman M et al. (1993) Pilon fractures: Treatment with combined internal and external fixation. J Orthop Trauma 7: 489–496
Trnka HJ, Zembsch A, Easley ME, Salzer M, Ritschl P, Myerson MS (2000) The chevron osteotomy for correction of hallux valgus. Comparison of findings after two and five years of follow-up. J Bone Joint Surg Am 82: 1373–1378
Trnka HJ, Easley ME, Lam PW, Anderson CD, Schon LC, Myerson MS (2001) Subtalar distraction bone block arthrodesis. J Bone Joint Surg Br 83: 849–854
Trnka HJ, Hofstaetter SG, Hofstaetter JG, Gruber F, Adams SB, Easley ME (2008) J Bone Joint Surg Am 90: 531-539 Tscherne H (1986) Management der Verletzungen am distalen Unterschenkel und Fuß. Langenbecks Arch Chir 369: 539–542
Tscherne H, Weinberg A (2006) Unfallchirurgie im Kindesalter. Springer Berlin Heidelberg New York
Turchin DC, Schemitsch EH, McKee MD, Waddell JP (1999) Do foot injuries significantly affect the functional outcome of multiply injured patients? J Orthop Trauma 13: 1–4
Twaddle BC, Poon P (2007) Early motion for Achilles tendon ruptures: Is surgery important? A. randomized, prospective study. Am J Sports Med 35: 2033–2038
Vallier HA, Nork SE, Barei DP, Benirschke SK, Sangeorzan BJ (2004) Talar neck fractures: results and outcomes. J Bone Joint Surg Am 86-A: 1616–1624
van Dijk CN, Lim LS, Bossuyt PM, Marti RK (1996 a) Physical examination is sufficient for the diagnosis of sprained ankles. J Bone Joint Surg Br 78: 958–962
van Dijk CN, Bossuyt PM, Marti RK (1996 b) Medial ankle pain after lateral ligament rupture. J Bone Joint Surg Br 78: 562–567
Vidal J, Allieu Y, Fassio B, Buscayret C, Ewscare P, Durand J (1982) Les laxites externes de la cheville (tibio-tarsienne-sous-astragalienne). Difficulté du diagnostic radiologique. Traitement chirurgical: Resultats. Cheville et medicine de reeducation. Masson, Paris
Vuori JP, Aro HT (1993) Lisfranc joint injuries: Trauma mechanisms and associated injuries. J Trauma 35: 40–45
Watermann H (1927) Die Arthritis deformans des Grosszezhengrundgelenkes. Orthop Chir 48: 346–355
Watson JT, Moed BR, Karges DE, Cramer KE (2000) Pilon fractures. Treatment protocol based on severity of soft tissue injury. Clin Orthop 375: 78–90
Watson Jones R (1952) Recurrent forward dislocation in the ankle joint. J Bone Joint Surg Br 34: 519–521
Weber BG (1966) Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. Huber, Bern Stuttgart (Aktuelle Probleme in der Chirurgie, Band 3)
Weber BG (1981) Lengthening osteotomy of the fibula to correct a widened mortice of the ankle after fracture. Int Orthop 4: 289–293
Weber M, Krause F (2005) Peroneal tendon lesions caused by antiglide plates used for fixation of lateral malleolar fractures: the effect of plate and screw position. Foot Ankle Int 26: 281–285
Weening B, Bhandari M (2005) Predictors of functional outcome following transsyndesmotic screw fixation of ankle fractures. J Orthop Trauma. 19: 102–108
Weise K, Weller S (1997) Supramalleoläre Korrekturosteotomien. In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg.) Posttraumatische Beindeformitäten. Analyse und Korrektur. Springer Berlin, Heidelberg, New York, S. 215
Wülker N (1997) Hallux valgus – Hallux rigidus. Enke, Stuttgart
Wyrsch B, McFerran MA, McAndrew M, et al. (1996) Operative treatment of fractures of the tibial plafond. A randomized, prospective study. J Bone Joint Surg Am 78: 1646–1657
Xenos JS, Hopkinson WJ, Mulligan ME, Olson EJ, Popovic NA (1995) The tibiofibular syndesmosis. Evaluation of the ligamentous structures, methods of fixation, and radiographic assessment. J Bone Joint Surg Am 77: 847–856
Yablon IG, Leach RE (1989) Reconstruction of malunited fractures of the lateral malleolus. J Bone Joint Surg Am 71: 521–527
Yoshino N, Takai S, Watanabe Y, Kamata K, Hirasawa Y (1998) Delayed aseptic swelling after fixation of talar neck fracture with a biodegradable poly-L-lactide rod: case reports. Foot Ankle Int 19: 634–637
Zenker H, Nehrlich M (1982) Prognostic aspects in operated ankle fractures. Arch Orthop Trauma Surg 100: 237–241
Zwipp H (1986) Die anterolaterale Rotationsinstabilität des oberen Sprunggelenkes. Hefte Unfallheilkd 177: 1–176
Zwipp H (1989) Biomechanik der Sprunggelenke. Unfallchirurg 92: 98–102
Zwipp H (1994) Chirurgie des Fußes. Springer, Wien New York
Zwipp H, Krettek C (1986) Diagnostik und Therapie der akuten und chronischen Bandinstabilität des unteren Sprunggelenkes. Orthopäde 15: 472–478
Zwipp H, Rammelt S (2002) Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ, Zichner L (Hrsg) Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Thieme, Stuttgart New York, S 531–618
Zwipp H, Rammelt S (2003) Korrekturoperationen am Fuß. Zentralbl Chir 128: 218–226
Zwipp H, Rammelt S (2006) Subtalar-Arthrodese mit Calcaneus-Osteotomie. Orthopäde 35: 387–404
Zwipp H, Rammelt S (2006) Korrektureingriffe nach Verletzungen des kindlichen Fußes. In: Weinberg A, Tscherne H (Hrsg), Tscherne Unfallchirurgie im Kindesalter. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York S 822–852
Zwipp H, Tscherne H, Thermann H, Weber T (1993) Osteosynthesis of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. Results in 123 cases. Clin Orthop 290: 76–86
Zwipp H, Franck WM, Tscherne H (1996) Pseudarthrosen im Bereich des oberen Sprunggelenkes. Orthopäde 25: 463–469
Zwipp H, Rammelt S, Holch M, Dahlen C (1999) Die Lisfranc-Arthrodese nach Fehlheilung. Unfallchirurg 102: 918–923
Zwipp H, Rammelt S, Dahlen C, Reichmann H (1999) Das Charcot-Gelenk. Orthopäde 28: 550–558
Zwipp H, Rammelt S, Grass R (2002) Ligamentous injuries about the ankle and subtalar joints. Clin Podiatr Med Surg 19: 195–229
Zwipp H, Baumgart F, Cronier P, Jorda E, Klaue K, Sands AK, Yung SW (2004) Integral classification of injuries (ICI) to the bones, joints, and ligaments – application to injuries of the foot. Injury 35 Suppl 2: SB3–9
Zwipp H, Rammelt S, Barthel S (2005) Kalkaneusfraktur. Unfallchirurg 108: 737–748, 749–760
Zwipp H, Rammelt S, Endres T, Heineck J (2010) High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. Clin Orthop Relat Res 468: 958–68

Teil II Unfallchirurgie spezieller Verletzungen

12 **Frakturen im Kindesalter – 773**
P. P. Schmittenbecher, C. Menzel

13 **Gefäßverletzungen – 827**
P. Vogel, P. Kasprzak

14 **Infektionen – 853**
J. Mattes, B. Weigel

15 **Polytrauma – 885**
W. Jakob, B. Weigel

16 **Intensivmedizin – 909**
T. Bein

17 **Komplikationen – 923**
F. Müller

18 **Analyse und Korrektur von Deformitäten der oberen und unteren Extremität – 957**
W. Strecker

Frakturen im Kindesalter

P. P. Schmittenbecher, C. Menzel

12.1 Basiswissen – 774
12.2 Spezieller Teil – 781
Literatur – 824

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_12,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

12.1 Basiswissen

12.1.1 Frakturformen und Klassifikation

Frakturformen

Im Kindesalter sind vollständige von unvollständigen Frakturen, stabile von instabilen Brüchen sowie Schaft- und metaphysäre Frakturen von Gelenkfrakturen zu differenzieren.

Der vollständige Bruch entspricht dem Bruch des Erwachsenen, die Kontinuität von Knochen und Periost ist durchtrennt. Daneben treten beim Kind subperiostale Stauchungsfrakturen (zirkulär erhaltenes Periost, eingestauchter spongiöser Knochen), Grünholzfrakturen (einseitig erhaltenes Periost, teilweise auch einseitig intakte und nur gebogene Kortikalis), Fissuren oder Infraktionen (z.B. toddler fracture der Tibia des Kleinkindes) und so genannte bowing fractures (plastische Verformung des Knochens ohne sichtbare Kortikalisdurchtrennung) auf, die als unvollständig bezeichnet werden (◘ Abb. 12.1). Gelenknah gelten die Frakturen als unvollständig, wenn die Fraktur die Gelenkfläche nicht erreicht (z.B. »hängende Fraktur« des Condylus radialis; ◘ Abb. 12.16b).

Zu den stabilen Brüchen zählen die subperiostalen Stauchungsfrakturen, die Fissuren/Infraktionen und die bowing fractures. Grünholzfrakturen sind bedingt stabil (Möglichkeit der axialen Dislokation). Vollständige Schaftfrakturen gelten als instabil. Eine Zwischenstellung nehmen die epiphysären Frakturen ein, deren Stabilität vom Dislokationsgrad und damit auch vom Ausmaß der Kapsel-Band-Verletzung und von der Durchbrechung der knorpeligen Gelenkfläche abhängt.

Die Diaphyse der langen Röhrenknochen geht über in die metaphysären Areale. Diese sind definiert als Quadrat über der Fuge mit einer Kantenlänge, die der größten Fugenbreite entspricht. Die Einteilung ist rein formal. Funktional sind der Metaphyse auch die Epiphyseolysen mit oder ohne metaphysärem Keil zuzurechnen, da bei diesen primär keine Beteiligung des Stratum germinativum zu erwarten ist. Distal und proximal der Metaphysen schließen sich die Epiphysen an. Die »echten« Epiphysenfrakturen (epiphysäre oder epi-metaphysäre Fraktur mit Kreuzung des Stratum germinativum) können von einer Fugenirritation gefolgt sein (Peterson 2007).

Ein Charakteristikum des Kleinkindes ist die subperiostale metaphysäre Stauchungsfraktur (zirkulär erhaltenes Periost), ein Charakteristikum des Jugendlichen die Übergangsfraktur bei partiell verknöcherter Epiphysenfuge. Hier wird die frakturierende Kraft, die in der gleichen Richtung wie bei der Epiphyseolyse verläuft, am verknöcherten Fugenknorpel in das Gelenk sowie ggf. in die Metaphyse abgeleitet (◘ Abb. 12.2).

◘ **Abb. 12.1a–c** Spezielle Frakturtypen bei Schaftfrakturen im Kindesalter. **a** Grünholzfraktur des Unterarmschafts. **b,c** Infraktion der Tibia im distalen Schaft, nur auf der seitlichen Aufnahme sichtbar

Klassifikation

Die »paediatric expert group« (PAEG) der AO International hat in Anlehnung an die AO-Klassifikation der Frakturen des Erwachsenen eine »Klassifikation der Frakturen im Kindesalter« entwickelt, die die Charakteristika der Extremitätenfrakturen im Wachstumsalter vergleichbar erfassen lässt (Slongo et al. 2007). Knochen- und Segmentkodierung sind der Erwachsenenklassifikation entnommen.

Klassifikation der Frakturen im Kindesalter

An der **Diaphyse** werden folgende Frakturen unterschieden:
- bowing fractures (D/1)
- Grünholzfrakturen (D/2)
- Querfrakturen (D/4)
- Schräg-/Spiralfrakturen (D/5)
- Monteggia-Frakturen (D/6)
- Galeazzi-Frakturen (D/7)
- Sonstige (D/9)

An der **Metaphyse** wird differenziert zwischen:
- Inkompletten Brüchen (M/2)
- Kompletten Brüchen (M/3)
- Ligamentären Avulsionen (M/7)
- Sonstigen (M/9)

Epiphysär gelten folgende Kodierungen:
- E/1 bis E/4 für die Salter-Harris-Frakturen 1–4
- E/5 (two plane) und E/6 (tri plane) für die Übergangsfrakturen
- E/7 bezeichnen ligamentäre Verletzungen
- E/8 Flakes
- E/9 Sonstige

Die Komplexität der Fraktur wird nur in 2 Stufen angegeben (einfache Fraktur oder >2 Fragmente). Suprakondyläre Humerusfrakturen, Radiushalsfrakturen und Schenkelhalsfrakturen erhalten eine besondere Differenzierung (I–III resp IV; ◘ Abb. 12.3).

Knöcherne Hand- und Fußverletzungen, Klavikula- und Schädelfrakturen werden nicht gesondert klassifiziert, sondern deskriptiv erfasst, Wirbelsäulen- und Beckenfrakturen wegen ihrer Seltenheit in Anlehnung an die Einteilung bei erwachsenen Patienten beschrieben.

12.1.2 Frakturheilung und Korrekturmechanismen

Frakturheilung

Frakturen im Kindesalter heilen grundsätzlich, Pseudarthrosen sind eher durch inadäquate Therapiemaßnahmen wie sperrende

Abb. 12.2a–e Metaphysäre Frakturen, Epiphysenfrakturen und Übergangsfrakturen im Kindesalter. **a** Stauchungsfraktur des distalen Radius. **b** Epiphyseolyse des distalen Radius. **c** Epiphysäre Fraktur der distalen Tibia. **d** Epi-metaphysäre Fraktur des Großzehengrundgliedes. **e** Übergangsfraktur der distalen Tibia

oder zu starre Implantate oder aber unzureichende Ruhigstellung bedingt und somit iatrogen ausgelöst, beruhen aber nur in seltenen Ausnahmen, wie bei Vorliegen einer lokalen oder systemischen Skelett-Pathologie, auf einer gestörten Knochenneubildung oder einer primär unzureichenden Knochenbruchheilung. Ausnahmen bezüglich der Knochenbruchheilung stellen die Grünholzfraktur und die proximale metaphysäre Tibiafraktur dar. Kann die konvexe »frakturierte Seite« der Grünholzfraktur nicht unter Kompression gebracht werden, verzögert sich die Konsolidierung mit dem Risiko der Refraktur. Klafft die proximale metaphysäre Tibiafraktur

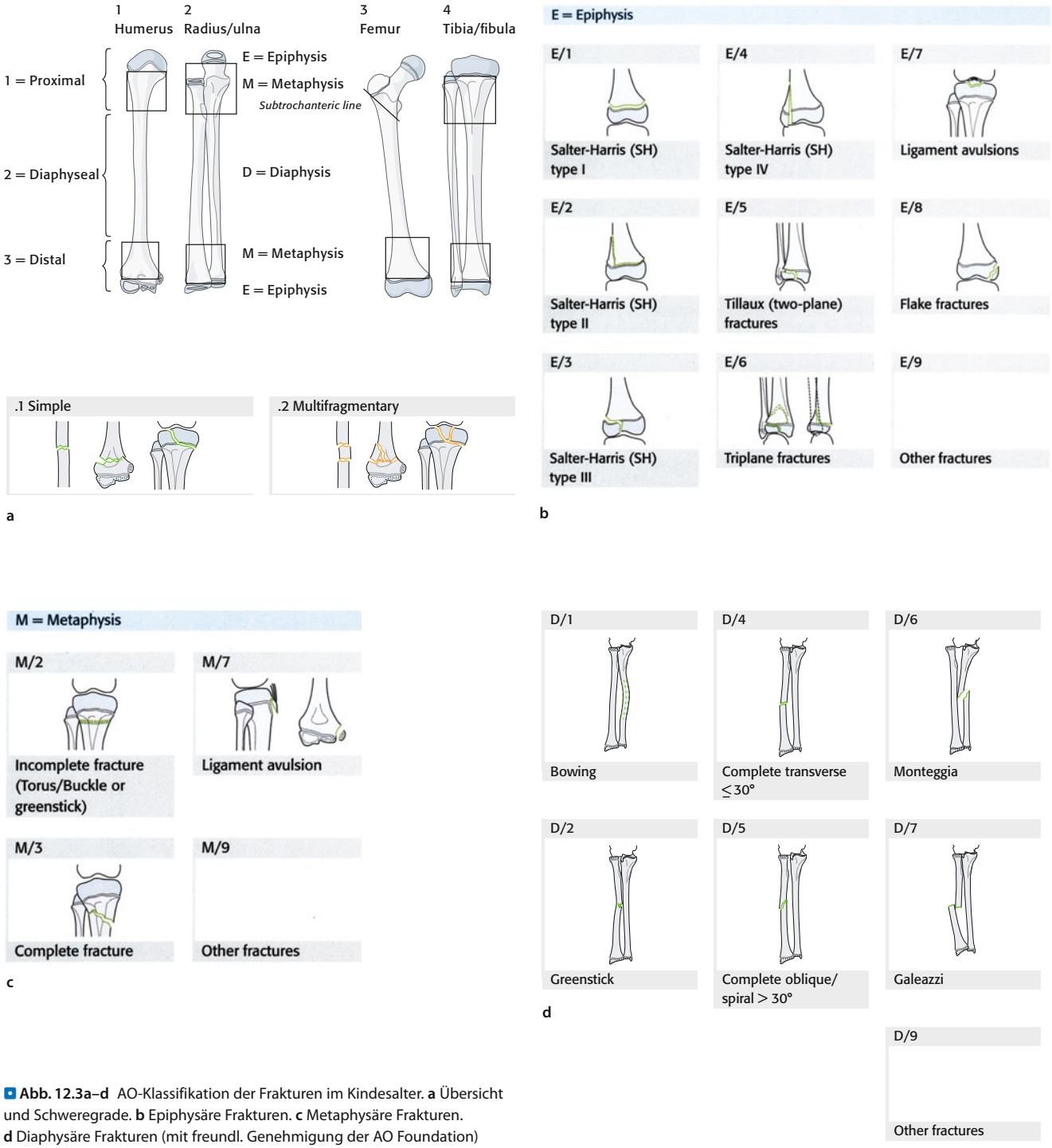


Abb. 12.3a–d AO-Klassifikation der Frakturen im Kindesalter. **a** Übersicht und Schweregrade. **b** Epiphysäre Frakturen. **c** Metaphysäre Frakturen. **d** Diaphysäre Frakturen (mit freundl. Genehmigung der AO Foundation)

medial bei erhaltener lateraler »Zuggurtung« durch Periost und Fibula, kommt es medial zur verzögerten Heilung mit verlängerter Fugenstimulation und sukzessivem Valgusfehler.

Eine Besonderheit stellt der Condylus radialis dar. Hier kann auch bei unzureichender Fixation eine Pseudarthrose entstehen (Abb. 12.17).

Die periostale Knochenneubildung ist das zentrale Prinzip der Knochenbruchheilung im Kindesalter. Im Stratum cellulare, der inneren Schicht des Periosts, kommt es wenige Tage posttraumatisch zu einer Stoffwechselsteigerung zunächst der Chondroblasten, dann der Osteoblasten. Die nachfolgende Zellproliferation führt zu einer Kallusbildung, die die Fraktur überbrückt. Erst nach weitgehender periostaler kallöser Stabilisierung erfolgt eine relevante endostale und kortikale Frakturheilung.

Die Fraktur im Kindesalter kann jedoch dann zur Bewegung freigegeben werden, wenn bei der Röntgenkontrolle

in 2 Ebenen mindestens 3 Kortikales von signifikantem und nicht mehr druckschmerzhaftem Kallus überbrückt sind. Der Frakturspalt ist zu diesem Zeitpunkt in aller Regel noch gut zu identifizieren. Die Ruhigstellung bis zur Frakturdurchbauung gehört deshalb heute der Vergangenheit an.

Der periostale Kallus übertrifft den endostalen und den kortikalen Kallus an Stabilität, an Überbrückungsfähigkeit bei Defekten und an Bewegungstoleranz und stellt somit auch mechanisch die wichtigste und sinnvollste Form der Frakturüberbrückung dar.

Schaftfrakturen

Der beschriebene Frakturheilungsverlauf ist charakteristisch für die konservative Frakturbehandlung. Mikrobewegungen sind im Gipsverband niemals auszuschließen und stimulieren die Kallusbildung (»produktive Unruhe«). Der periostale Kallus vergrößert vorübergehend den Querschnitt des Knochens und damit die Kontaktfläche sowie die Abstützung an der Fraktur. Das Frakturhämatom bewirkt ergänzend durch die Alkalisierung der Frakturumgebung optimale Bedingungen für wichtige Enzymsysteme der Kalzifikation. Für Osteosynthesen im Kindesalter muss entsprechend die Belassung des Frakturhämatoms und die Möglichkeit von Mikrobewegungen ein wichtiges Kriterium sein.

Dieser Forderung kommen z.B. für die Schaftfrakturen die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) und der Fixateur externe nach. Starre Marknagelungen sind für das Kind eher als kontraproduktiv einzustufen, ebenso die konventionelle Plattenosteosynthese, während die minimalinvasive Plattenosteosynthese (MIPO) als Fixateur interne in Einzelfällen eine Option darstellt.

Gelenknahe Frakturen

Im epiphysären Bereich steht dagegen die exakte Wiederherstellung der knorpeligen Gelenkfläche ganz im Vordergrund. Je geringer hier die Instabilität der gewählten Methode ist, umso schneller ist die Heilung abgeschlossen und umso geringer ist die Irritation der Wachstumsfuge.

Nach erzielter Gelenkflächenrekonstruktion sind Zugschraubenosteosynthesen, die zu einer Kompression der Frakturflächen führen, den adaptierenden Kirschner-Draht-Osteosynthesen vorzuziehen, sofern die Schrauben unter Schonung der Wachstumsfuge zu platzieren sind.

Korrekturmechanismen

Die Dynamik des wachsenden Skeletts erlaubt es im Gegensatz zum Skelett des Erwachsenen, spontane Korrekturen in den Behandlungsplan der Frakturen im Kindesalter einzubeziehen. Die Korrekturpotenz ist abhängig

- vom Alter des Patienten,
- der Lokalisation der Fraktur (diaphysär oder epi-/metaphysär) und von
- der Relevanz der benachbarten Fugen für das Längenwachstum des betroffenen Knochens.

Diaphysäre Achsenfehler und Seit-zu-Seit-Verschiebungen werden durch periostalen Anbau auf der Seite des größeren Drucks und endostalen Abbau auf der Zugseite korrigiert. Dies erfolgt in der Bewegungsebene, also bei sagittalem Achsenfehler (Ante-, Rekurvation) sehr viel stärker als in der Frontalebene (Varus-, Valgusfehler), und an belasteten Extremitäten mehr als an unbelasteten. Ergänzend richten sich die angrenzenden Epiphysenfugen durch asymmetrisches Wachstum senkrecht zur Belastungsebene aus und unterstützen damit gezielt die diaphysäre Korrektur.

Dagegen erfolgt die Korrektur von Rotationsfehlern ausschließlich im Rahmen physiologischer Derotationsvorgänge und damit ohne direkten Bezug zur bestehenden Fehlstellung. Hierbei handelt es sich somit im Prinzip nicht um eine Korrektur, sondern um eine Reduktion der Fehlheilung durch physiologische Vorgänge.

An den Metaphysen ist die ggf. in Anbetracht des Alters noch verbliebene Wachstumspotenz der angrenzenden Fuge von entscheidender Bedeutung. Frakturen am proximalen Humerus und am distalen Unterarm sind bezüglich der Spontankorrekturen privilegiert.

In der Nähe der Epiphysen führen Frakturen und deren Heilungsvorgänge grundsätzlich zur Hyperämie der Fuge. Dies kann ein Mehrwachstum, damit evtl. auch den Ausgleich einer Verkürzung zur Folge haben, kann aber zum Ende der Wachstumsphase auch den vorzeitigen Fugenschluss bedingen. Bei einer partiellen Stimulation wird ein Achsen-Fehlwachstum ausgelöst. Hyperämie und Stimulation der Fuge stehen dabei in Korrelation zur Summe der erforderlichen Umbauvorgänge. Dies muss besonders an der unteren Extremität wegen der resultierenden Beinlängendifferenz bedacht werden.

Jenseits des 10. Lebensjahrs nimmt die Korrekturpotenz ab und kann vernünftigerweise nicht mehr in die Therapieplanung einbezogen werden.

Diese Feststellung ist an einzelnen Lokalisationen weniger streng auszulegen, Spontankorrekturen sollten jedoch für den Behandlungsablauf keinesfalls mehr einen fest eingeplanten Faktor darstellen. Grundsätzlich muss aber auch bei jüngeren Patienten an die individuelle Varianz der Korrekturmechanismen gedacht werden. Die Korrektur wird dadurch immer zu einem unkalkulierbaren Mosaikstein im Therapiekonzept.

Spontankorrekturen sollten daher nur als physiologische Unterstützung und Perfektionierung einer möglichst optimalen Frakturbehandlung zur Kenntnis genommen, aber nur in Ausnahmen konkret eingeplant werden.

12.1.3 Grundsätzliches zur Diagnostik

Das wegen Frakturverdacht vorgestellte, traumatisierte Kind wird zunächst nur bezüglich des Unfallmechanismus und des verletzten Skelettabschnitts befragt und klinisch betrachtet. Häufig lassen sich dann bereits die notwendigen bildgebenden Maßnahmen veranlassen. Nur bei mäßiger Symptomatik versucht man, durch vorsichtige Palpation die verletzte Region einzugrenzen, um durch eine entsprechend gezielte Röntgenaufnahme den Befund zu konkretisieren.

Die Prüfung der so genannten typischen Frakturzeichen wie Krepitation oder Fehlbeweglichkeit ist überflüssig.

Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität sind sorgfältig zu prüfen und zu dokumentieren. Offene Wunden werden inspiziert, dokumentiert und dann bis zur operativen Versorgung verbunden. Die verletzte Extremität wird ggf. provisorisch auf einer Schiene gelagert.

Die radiologische Standarddiagnostik besteht aus der konventionellen Röntgenaufnahme in 2 Ebenen. Dabei sind Schaftfrakturen immer mit beiden angrenzenden Gelenken abzubilden. Ist die Fraktur im distalen oder proximalen Abschnitt lokalisiert, kann für alle weiteren Kontrollen eine Einblendung auf diese Region erfolgen. Ist im Einzelfall die Einstellung einer 2. Ebene sehr schmerzhaft, die therapeutische Konsequenz z.B. im Sinne einer Osteosynthese jedoch schon nach der ersten Ebene klar, sollte auf die Vervollständigung der Primärdiagnostik verzichtet und diese intraoperativ nachgeholt werden.

Vergleichsaufnahmen der unverletzten Gegenseite sind prinzipiell entbehrlich.

Nicht erkannte Frakturen werden durch die Vergleichsaufnahme nicht sichtbar. Stellt sich die Diagnose in einem epiphysären Abschnitt als schwierig dar, spricht zum einen die mögliche Asymmetrie gegen die Vergleichsaufnahme; zum anderen werden die Bilder bei nur gering differenter Einstellung unvergleichbar. Hier hilft ein Nachschlagewerk zur altersentsprechenden Skelettentwicklung und zu den Variationen des Normalen mehr als das Röntgenbild einer unverletzten Extremität (Keats 1990).

CT oder MRT sind nur in Ausnahmefällen indiziert. Die CT des Schädels ergänzt die Diagnostik beim Schädel-Hirn-Trauma mit der Frage der Impression und der Blutung. Der Verdacht auf Wirbelsäulenverletzung muss in der CT erhärtet und zusätzlich die Frage der Stabilität beantwortet werden. Darüber hinaus profitieren v.a. Patienten mit Beckenfrakturen, Knietraumen (hier eher MRT wegen der Band- und Meniskusbeurteilung), Sprunggelenks- und Fußwurzelverletzungen von der dreidimensionalen Bildgebung (Seifert et al. 2001). Da alle diese Frakturen im Kindesalter selten sind, sind die Schnittbildverfahren in der Kindertraumatologie von eher untergeordneter Bedeutung.

Die Szintigrafie ist der Diagnostik der multifokalen Osteomyelitis und der Evaluation des Skelettstatus bei vermuteter Kindesmisshandlung vorbehalten. Angiografien werden nur selten, z.B. bei anhaltender Perfusionsstörung nach Reposition einer stark dislozierten suprakondylären Humerusfraktur eingesetzt. Nicht vergessen werden darf auch beim Kind die Kompartmentdruckmessung bei entsprechendem Verletzungsmuster vornehmlich am Unterschenkel, seltener am Unterarm oder am Fuß.

Radiologische Verlaufskontrollen sind gezielt und unter der Maßgabe möglicher Konsequenzen durchzuführen.

Stabile Frakturen wie die subperiostalen Stauchungsfrakturen des distalen Radius oder die Tibiainfraktionen der Kleinkinder (toddler fracture) bedürfen überhaupt keiner Röntgenkontrolle, da sekundäre Dislokationen unmöglich sind und die Konsolidierung klinisch am fehlenden Kallusdruckschmerz sehr zuverlässig zu beurteilen ist. Stellungskontrollen im Gips erübrigen sich nach 10–14 Tagen, da dann durch die Kallusfixation keine weiteren Veränderungen möglich sind. Die Frage der Konsolidierung sollte immer anhand einer gipsfreien Aufnahme beantwortet werden, da der Kallus im Gips – auch bei den modernen Kunststoffgipsen – nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit beurteilt werden kann. Nach Osteosynthesen darf der Operationssaal nicht ohne zuverlässige radiologische Dokumentation verlassen werden, postoperativ kann die Bildwandleraufnahme durch eine »lange Aufnahme« ergänzt werden. Die nächsten radiologischen Kontrollen sind dann zum Zeitpunkt der geplanten Freigabe zur Belastung und zur Metallentfernung durchzuführen.

12.1.4 Grundsätzliches zur Therapie

Übergeordnetes Ziel jeder Therapieplanung muss die **primär definitive Behandlung** sein. Zwischenlösungen oder die Einbeziehung sekundärer Korrekturen sind zu vermeiden. Besonders dann, wenn für die erste Therapiemaßnahme eine Narkose erforderlich ist, muss eine zuverlässige Frakturfixation angestrebt werden. Durch dieses Vorgehen hat die konservative Knochenbruchbehandlung im Kindesalter ihre Position als grundsätzlich erste Wahl eingebüßt. Reposition und Gipsruhigstellung sind nur dann adäquat, wenn eine stabile Retention erreicht wird, die maximal eine ergänzende Gipskeilung erfordert. Ist die Retention instabil, muss in gleicher Narkose die operative Fixation erfolgen.

Die Gipsruhigstellung muss immer die beiden angrenzenden Gelenke einschließen. Bei Schulkindern etwa ab dem 10. Lebensjahr kann bei distalen Unterarm- oder Unterschenkelfrakturen primär (stabile Frakturen) oder sekundär (»abgebundener Kallus«) davon abgewichen werden. Kleinkinder rutschen zu leicht aus einem Unterarm- oder Unterschenkelgips heraus, sodass in dieser Altersgruppe keine Ausnahme gemacht werden kann. Die Gipsruhigstellung beginnt grundsätzlich mit einer Schiene oder einem aufgeschnittenen Gips, es sollte primär wegen der Gefahr eines Kompartment-Syndroms auf einen zirkulären Gipsverband verzichtet werden. Nach einer Woche erfolgt ggf. die Gipszirkulation oder die Stabilisierung mit einer Binde. Gipskeilungen zur Stellungskorrektur werden einen Tag nach der Zirkulierung bei ausgehärtetem Gips, ggf. in Sedierung, jedoch nicht in Narkose durchgeführt.

Irreponible, nicht retinierbare und instabile Schaftfrakturen, dislozierte Frakturen mit Beteiligung einer Gelenkfläche, zweit- bis drittgradig offene Frakturen, Frakturen mit Gefäß- oder Nervenverletzungen, Refrakturen, pathologische Frakturen und Frakturen im Rahmen von Polytraumen werden als primäre oder sekundäre Indikationen zur Osteosynthese diskutiert. Das gewählte operative Verfahren sollte mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Stabilität erzielen, die Integrität der Wachstumspotenziale schonen, Folgeschäden vorbeugen und entsprechend dem Bewegungsdrang der Kinder eine frühzeitige Mobilisation – v.a. bei Frakturen an der unteren Extremität – ermöglichen.

Epi-metaphysär stehen K-Draht-, Zugschrauben- und Zuggurtungsosteosynthese zur Verfügung. K-Drähte kommen routinemäßig bei der suprakondylären Humerusfraktur, beim Epicondylus-ulnaris-Abriss, beim Kondylus-radialis-Abriss mit sehr kleinem metaphysärem Fragment und der distalen Radiusfraktur zur Anwendung; weitere Indikationen sind Schenkelhalsfrakturen beim Kleinkind, suprakondyläre Femurfrakturen und Fuß- und Handverletzungen. Zugschrauben sind beim Abriss des Condylus radialis und bei allen distalen Tibiafrakturen erste Wahl und können am Schenkelhals des Schulkindes, an der Tuberositas tibiae, am Epicondylus ulnaris und bei bestimmten Olekranonfrakturen Anwendung finden. Die Zuggurtung wird bei der Olekranonfraktur, an der Patella und am Innenknöchel angewandt. Grundsätzliche Ausnahmen unter den metaphysären Verletzungen stellen die subkapitale Humerusfraktur und die Radiushalsfraktur dar, hier hat sich die intramedulläre Fixation mit einem oder 2 von distal durch den Markraum vorgeschobenen Nägeln bewährt.

Postoperativ müssen die Adaptationsosteosynthesen ruhiggestellt werden, Zugschraubenosteosynthesen und Zuggurtungen

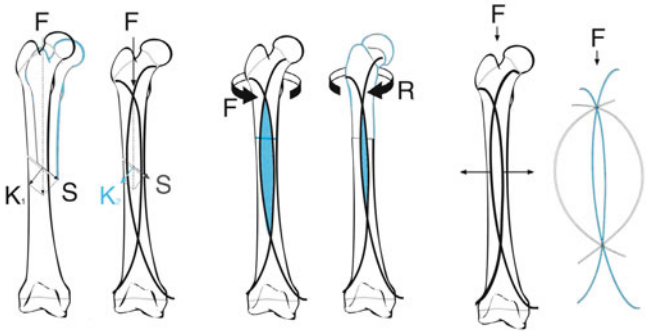


Abb. 12.4 Prinzip der intramedullären Nagelung im Kindesalter

können (je nach Patientenalter) ohne Ruhigstellung funktionell behandelt werden, intramedulläre Fixationen sind in der Regel übungsstabil.

In der Versorgung der Schaftfrakturen ist die **intramedulläre Nagelung** heute erste Wahl. Die für das Kindesalter adäquate intramedulläre Osteosynthese beruht auf 2 gegenläufig implantierten, metaphysär eingebrachten, im Frakturbereich ovalär aufgespannten, in der gegenseitigen Metaphyse verankerten und damit an 3 Punkten abgestützten Nägeln (Dietz et al. 1997, 2006, Lascombe et al. 2006) (Abb. 12.4). Unter Schonung der Epiphysenfugen kommt es zu einer übungs- und früh belastungsstabilen Osteosynthese. Bei gleichseitiger Nagelimplantation muss ein Nagel im Markraum um 180° gedreht werden, damit auch hier die Gegenläufigkeit und die Aufspannung erreicht werden.

Die Stärke jedes Nagels soll einem Drittel des Markraumdurchmessers an seiner schmalsten Stelle entsprechen, am Unterarm zwei Drittel des jeweiligen Knochens, da in jeden Knochen nur ein Nagel eingebracht wird. Eine ergänzende Ruhigstellung ist nicht erforderlich.

Die Plattenosteosynthese ist in der Routineversorgung der Frakturen im Kindesalter weitgehend verlassen worden und findet nur noch bei Sonderindikationen und bei Sekundäreingriffen Anwendung.

An der oberen Extremität bleibt der Fixateur schweren offenen Verletzungen vorbehalten. Am Oberschenkel eignen sich Querfrakturen für das intramedulläre Vorgehen. Bei den Spiralfrakturen, bei Brüchen mit Biegungs- oder Drehkeilen sowie Mehrfragmentbrüchen hat der Fixateur externe Vorteile in der Aufrechterhaltung der Extremitätenlänge. Die neu entwickelten Verriegelungskappen geben den intramedullären Nägeln jedoch eine so hohe axiale Stabilität, dass sie auch bei diesen Bruchformen indiziert sind (Dietz et al. 2006). Am Unterschenkel können die intramedullären Implantate neben Querbrüchen auch Schräg- und Torsionsfrakturen bei guter Implantationstechnik und ggf. unter Verwendung von Verriegelungsschraubkappen stabilisieren. Der Fixateur externe ist hier eine grundsätzliche Alternative und kommt bei den am Unterschenkel häufigeren offenen Frakturen zur Anwendung.

Die Reposition oder operative Versorgung von Frakturen im Kindesalter erfolgt grundsätzlich in **Anästhesie**. Das so genannte »Hindrücken« beim Eingipsen ist schmerzhaft, aber meist ineffektiv. Entweder die Stellung ist akzeptabel, dann erfolgt nur die Ruhigstellung, oder es ist eine Reposition notwendig, und diese erfordert eine Anästhesie. In der Regel ist die Vollnarkose notwendig. Plexusanästhesien sind additiv und zur postoperativen Analgesie sehr sinnvoll, aber alleine erscheinen sie nicht praktikabel. Auch die ausschließliche Bruchspaltanästhesie ist nur im Einzelfall, bei annähernd Jugendlichen und begrenzter Manipulation zu diskutieren. Fingerverletzungen können in Oberst-Leitungsanästhesie reponiert werden, bei erforderlicher Osteosynthese ist jedoch auch hier die Vollnarkose vorzuziehen.

Die Frage **ambulanter oder stationärer Behandlung** und die Dauer des stationären Aufenthalts werden so sehr von individuellen, familiären, lokalen und strukturellen Bedingungen bestimmt, dass keine allgemeingültige Aussage möglich ist. Konservative Maßnahmen sind sicher überwiegend ambulant oder – bei abendlicher Reposition – kurzstationär durchzuführen. Nach Osteosynthesen an der oberen Extremität sind Wundverhältnisse und häusliche Aufsicht zu bedenken, an der unteren Extremität die Frage der zuverlässigen Analgesie und der sicheren Mobilisation.

Postoperativ sollen die Kinder bei übungsstabiler Versorgung im vorgegebenen Rahmen selbst das Ausmaß und das Tempo der Mobilisierung bestimmen. Krankengymnastische Anleitung ist im stationären Bereich hilfreich, v.a. dann, wenn es um die Mobilisierung an Unterarmgehstützen geht. In der Nachbehandlung ist dagegen selten Krankengymnastik erforderlich. Bis auf Ausnahmen können Kinder ihre Mobilisation und den Belastungsaufbau sehr gut selbst regeln, es müssen nur Obergrenzen festgelegt werden. Erlaubt man den Kindern nach der Gipsabnahme die spontane Mobilisation, stellen sich viele 2 Wochen später mit vollständig normalisiertem Bewegungsmuster vor. Auch das veränderte Gangbild ist oft ein passageres Phänomen, das bei entsprechender Geduld spontan rückläufig ist. Nur wenn 4–6 Wochen nach der Freigabe noch hochgradige Bewegungseinschränkungen verblieben sind, ist die Verordnung von Physiotherapie indiziert. Bei schweren Gelenkverletzungen, Weichteiltraumen, Handverletzungen oder komplexeren Rekonstruktionen ist selbstverständlich eine physiotherapeutische Betreuung angebracht.

12.1.5 Mehrfachverletzungen

Polytraumen im strengen Sinne der Definition mit mehreren betroffenen Organsystemen, wobei eine Verletzung oder die Kombination lebensbedrohlich ist (▶ Kap. 15), stellen im Kindesalter die Ausnahme dar. Mehrfachverletzungen ohne Lebensgefahr oder aber schwerste Einzelverletzungen sind häufiger. Die Kombination Schädel-Hirn-Trauma und Skelettverletzung steht im Vordergrund, Abdominaltraumen und Thoraxverletzungen kommen in Abhängigkeit vom Unfallmechanismus hinzu. Präferenz in der klinischen Versorgung haben epi- oder subdurale Blutungen, der Hämatopneumothorax und massive abdominelle Blutungen.

In der Erstversorgung müssen initial nach Sicherung der Atemwege unerlässlich mehrere adäquate intravenöse Zugänge zur Kreislaufstabilisierung gelegt werden. Ist die Venenpunktion unmöglich, steht als Alternative der intraossäre Zugang mittels Stahlkanüle über die proximale Tibiametaphyse zur Verfügung. Hier werden quasi zentrale Infusionsbedingungen erzielt. Volumenersatz erfolgt vorzugsweise mit Ringer-Lösung. Häufig wird der ausreichenden Analgosedierung (z.B. Piritramid und/oder Midazolam, je 0,1 mg/kg KG) bei Kindern zu wenig Beachtung geschenkt. Die Intubation hat wegen der Gefahr des Kehlkopftraumas und des Risikos der subglottischen Post-Intubationsstenose mit adäquater Tubusgröße (Durchmesser entsprechend dem Kleinfinger des Kindes) zu erfolgen. Die Frage der Intubation sollte nicht durch das anwesende Transportmittel (Hubschrauber) beeinflusst werden!

Schädel-Hirn-Traumen sind an fast allen Mehrfachverletzungen im Kindesalter beteiligt. Überwiegend handelt es sich um eine Commotio cerebri, Hirnkontusionen sind selten. Intrazerebrale

Tab. 12.1 Glasgow-Coma-Scale mit pädiatrischer Differenzierung. (Aus: Frei 1998)

Aktivität	Reaktion des Kindes	Reaktion des Kleinkindes	Score
Öffnen der Augen	Spontan	Spontan	4
	Auf Anrufen	Auf Anrufen	3
	Auf Schmerzen	Auf Schmerzen	2
	Keine Antwort	Keine Antwort	1
Bewusstsein/Sprache	Orientiert	Plappert, folgt Gegenständen und Geräuschen adäquat	5
	Desorientiert	Schreit, inadäquate Reaktion auf Zuwendung, kann getröstet werden	4
	Einzelne Wörter	Stöhnt und schreit, kann nicht getröstet werden	3
	Unverständliche Laute	Stöhnt und schreit auf Schmerzen	2
	Keine Sprache	Keine Antwort	1
Motorik	Führt Befehle aus	Normale Spontanbewegungen	6
	Gezielte Abwehr	Gezielte Abwehr	5
	Ungezielte Abwehr	Ungezielte Abwehr	4
	Flexion auf Schmerzen	Flexion auf Schmerzen	3
	Extension auf Schmerzen	Extension auf Schmerzen	2
	Keine Antwort	Keine Antwort	1

12

Blutungen sind aber bei bewusstlosen Kindern zu bedenken. Initial ist die Glasgow Coma Scale (GCS) zu dokumentieren, für Kleinkinder muss man sich an der speziellen Vorlage für Kinder unter 24 Monaten orientieren (Tab. 12.1).

Bei GCS 8 oder weniger sind Intubation und cCT indiziert. Die Aufrechterhaltung eines suffizienten Blutdrucks ist essenziell zur Gewährleistung ausreichender Hirnperfusion (arterieller Mitteldruck – Hirndruck = mindestens 50 mmHg). Der Befund der Bildgebung, der klinische Verlauf, v.a. die regelmäßige Bewusstseinskontrolle mittels GCS und das invasive Monitoring entscheiden über die klinischen Maßnahmen wie Beatmungsregime, Analgosedierung, Hirnödemprophylaxe oder -therapie, invasive Hirndruckmessung mit intraparenchymatöser oder intraventrikulärer Drucksonde und operative Intervention bei Blutung oder Impressionsfraktur.

Beim stumpfen Bauchtrauma kommen Verletzungen von Niere, Milz, Leber, Gastrointestinaltrakt und Pankreas vor. Diagnostisch erfolgt zunächst die Sonografie, die über freie Flüssigkeit und Parenchymverletzungen orientierend Auskunft geben kann. Die CT erlaubt eine zuverlässige Klassifikation der Verletzungen. Die Abdomenübersichtsaufnahme ist bei Perforationsverdacht indiziert. Die Peritoneallavage ist im Kindesalter nicht gebräuchlich. Organspezifische Röntgenuntersuchungen wie Miktionszystourethrografie (MCU), i.v.-Pyelogramm, Magen-Darm-Passage u.a. erfolgen später.

Eine notfallmäßige Laparotomie ist heute – außer bei der Perforation oder nicht zu stabilisierendem Kreislauf – nicht mehr die Methode der Wahl.

Solange Kreislaufstabilität vorliegt, der Transfusionsbedarf nicht 40 ml/kg KG/Tag übersteigt und das Kind keine Zeichen des akuten Abdomens, der Perforation oder zunehmender Schmerzen zeigt, ist ein konservatives Vorgehen indiziert. Dies ist in 80–95% der Fälle möglich (Stylianos 2002). Die Milzerhaltung ist – wenn möglich – im Kindesalter wegen der Gefahr der Postsplenektomiesepsis (OPSI-Syndrom) besonders wichtig. Limitiert wird das konservative Procedere, wenn Verletzungen des Gastrointestinaltrakts vorliegen. Perforationen von Magen, Dünndarm oder Dickdarm, zunehmend seit Einführung der Gurtpflicht zu beobachten, erfordern die Laparotomie. Da die Morbidität dieser Verletzungen vom Zeitpunkt der Intervention abhängig ist und bei verspäteter Intervention selbst einfache Übernähungen höhere Komplikationsraten nach sich ziehen, ist initial gezielt danach zu suchen.

Thoraxtraumen sind selten (<10% alle Kinderunfälle). Sie kommen jedoch bei 25% der Polytraumen vor und bedingen dann eine deutlich höhere Letalität. Leitsymptom sind Dyspnoe und respiratorische Insuffizienz. Nach Ausschluss einer Atemwegverlegung (Fremdkörper) ist ein Pneumothorax abzuklären, ggf. muss notfallmäßig eine Thoraxdrainage gelegt werden. Die Frage der Intubation hängt von der Persistenz der respiratorischen Insuffizienz ab. Die Diagnostik umfasst Thoraxübersichtsaufnahme, ggf. thorakale Sonografie und CT.

Rippenfrakturen liegen nur in 30% vor, ihr Fehlen schließt eine intrathorakale Verletzung nicht aus! Besteht bei liegender Drainage ein »air leak« oder ein Hämatothorax von >3 ml/kg/h, sind Notfallendoskopie und Thorakoskopie oder Thorakotomie zu diskutieren. Oft verspätet erkannt und/oder unterschätzt wird die Lungenkontusion. Sie muss aus der Gesamtsituation erahnt werden, erfordert die frühzeitige Intubation und die konsequente Beatmung, um dem drohenden Adult Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Rechnung zu tragen.

Bei Ösophagusrupturen (Magensonde!) erfordert das Mediastinalemphysem die sofortige kollare Entlastung. Herzbeuteltamponaden sind durch Perikardpunktion zu entlasten. Im Rahmen von Mehrfachverletzungen sind auch im Kindesalter Wirbelsäulen- und Beckenfrakturen besonders zu bedenken. Durch die Gurtpflicht

haben Flexions-Distraktions-Verletzungen der Lendenwirbelsäule (LWS), aber auch der Halswirbelsäule (HWS) zugenommen. HWS-Verletzungen betreffen besonders die Segmente C0/C1 und C1/C2. Beckenfrakturen beim Kind sind per se Dokument der Schwere des Traumas, es müssen neurologische und urologische Begleitverletzungen ausgeschlossen werden (Schmittenbecher 1999).

Je komplexer das Verletzungsmuster, desto eher stellt sich auch beim mehrfachverletzten Kind die Indikation zum initialen Ganzkörper-Spiral-CT.

12.2 Spezieller Teil

12.2.1 Schädelfrakturen

Im Neugeborenen- und Säuglingsalter sollte man bei Schädelfrakturen immer an Kindesmisshandlungen denken. Hämatome, Rippenfrakturen oder metaphysäre Kantenabbrüche langer Röhrenknochen können weitere wichtige Indizien sein.

Im Kleinkindesalter sind meist Stürze aus größerer Höhe (Wickeltisch/Fenster) Ursache für Kopfverletzungen, im Schulkindes- oder Adoleszentenalter Unfälle im Straßenverkehr.

Die meisten Schädelbrüche entstehen durch eine rasche Gewalteinwirkung auf die Kalotte, wobei jedoch die Bruchlokalisation nicht unbedingt mit dem Areal der Krafteinwirkung übereinstimmen muss; vielmehr frakturiert die Schädelkalotte am Punkt der höchsten Energieentladung.

Die einfachste Methode zum Nachweis der Schädelfraktur ist nach wie vor die konventionelle Röntgenaufnahme des Schädels in 2 Ebenen, ggf. ergänzt durch eine überkippte frontookzipitale Einstellung nach Towne. Diese Aufnahmen sind jedoch in den allermeisten Fällen wegen der fehlenden Konsequenz nicht indiziert und werden heute nicht mehr routinemäßig, sondern nur in Einzelfällen veranlasst. Mit der CT können auch kleinste Fissuren dargestellt und Aussagen über eine Frakturdislokation (Impression) oder Hirnblutung gemacht werden, die Strahlenbelastung ist jedoch relativ hoch, sodass die Indikation mindestens in den ersten beiden Lebensjahren streng gestellt werden muss. Bei Verdacht auf einen diffusen axonalen zerebralen Schaden oder Hirnstammläsionen ist die MRT allen anderen Untersuchungsmethoden überlegen. Beim schweren Schädel-Hirn-Trauma dient darüber hinaus die MRT nach etwa 6 Wochen der Einschätzung des definitiven Parenchymschadens.

Kalottenfraktur

Mehr als zwei Drittel aller Schädelbrüche sind lineare Frakturen oder Fissuren, meistens im Os parietale lokalisiert. Vorsicht ist geboten, wenn die Frakturlinie den Verlauf der A. meningea media oder eines venösen Sinus kreuzt.

Auffallend ist eine teigige Schwellung im Kalottenbereich oder Gesicht, bei etwa 30% aller Kinder können jedoch äußere Anzeichen eines Traumas fehlen! Die Schwellung ist bedingt durch eine subgaleale oder subperiostale Einblutung. Bei Säuglingen können subgaleale Hämatome einen transfusionsbedürftigen Blutverlust verursachen. Subperiostale Blutungen, wie so genannte Kephalhämatome, sind hingegen meist lokal begrenzt und selbstlimitierend. Eine Indikation zur Inzision oder Drainage besteht nahezu nie, schon wegen des Risikos der Keimverschleppung in die Hämatomhöhle. Isolierte Fissuren heilen in den allermeisten Fällen ohne Früh- oder Spätkomplikationen. Innerhalb einiger Wochen kommt es zur fibrösen Verschmelzung und sukzessiven Rekalzifizierung. Röntgenkontrollen sind nicht notwendig, eine klinische Kontrolle nach 4–6 Wochen wird jedoch empfohlen.

Eine mögliche **Komplikation** stellt die Ausbildung einer epiduralen Blutung dar, die je nach Ausmaß und Klinik die notfallmäßige Kraniotomie mit Hämatomausräumung und Drainage erfordert. Frakturen mit einer Dehiszenz von >3 mm können mit einer Duraverletzung einhergehen. Hier kann es als seltene Komplikation (<1%) zu einer so genannten »wachsenden Fraktur« kommen, weshalb bei diesen Kindern bei entsprechender klinischer Auffälligkeit eine Röntgenaufnahme nach etwa 8 Wochen veranlasst werden sollte. Die Ränder der zerrissenen Dura werden durch kleinste Knochensplitter fixiert, sodass die Dura nicht spontan heilen kann. Die Pulsationen des Hirns arrodieren die Knochenränder, vergrößern den Kalottendefekt und Gewebe kann prolabieren (Meningocele spuria). Der Kalottendefekt imponiert als typische ellipsenförmige, irreguläre Struktur. Hier kommt es zu keiner spontanen Ausheilung mehr. Vielmehr müssen der Frakturbereich freigelegt, die retrahierten Duraränder aufgesucht und exzidiert und die Dura anschließend – z.B. mittels Periostpatch – verschlossen werden. Der Knochendefekt wird unter Zuhilfenahme von aus der Umgebung gewonnenem Knochenspan oder ab einem Alter von 8–10 Jahren mit Knochenzement verschlossen. Bei gut rekonstruierter Dura verläuft dann die weitere Knochenheilung ungestört.

Impressionsfrakturen

Etwa ein Viertel aller Schädelbrüche im Kindesalter sind Impressionsfrakturen, bedingt durch einen fokalen Aufprall z.B. auf einen hervorstehenden Gegenstand. Eine begleitende Bewusstlosigkeit ist bei diesem Unfallmechanismus nicht obligat.

Im Säuglings-oder Kleinkindesalter kommt es in ca. 80% aufgrund der dünnen Knochendecke zur so genannten Ping-pong-Fraktur, bei der lokal die konvexe Kalotte in eine konkave Figur konvertiert ist. Kleinere Ping-pong-Frakturen können sich spontan durch den intrakraniellen Druck reponieren, v.a. dann, wenn keine scharfkantige Frakturlinie palpabel ist. In diesem Fall werden die Kinder regelmäßig klinisch kontrolliert. Bei größeren Frakturen mit deutlicher raumfordernder Wirkung ist die operative Hebung indiziert. Hierfür wird nach bogenförmiger Hautinzision der betroffene Kalottenbereich freigelegt und außerhalb der imprimierten Region ein Bohrloch platziert. Ein kleiner Dissektor wird zwischen Kalotte und Dura eingebracht, zum Deformationszentrum vorgeschoben und die Fraktur nach außen gehebelt.

Bei Schulkindern und Jugendlichen handelt es sich häufig um Grünholz-ähnliche Frakturen mit Erhalt des Knochenkontakts über das Periost und Fixierung in abnormer, konkaver Kontur, deren Hebung vom Rand der Frakturregion aus gelingt.

Therapie

Frakturen mit konsekutiven raumfordernden Blutungen müssen notfallmäßig versorgt werden, offene Impressionsfrakturen mit Durazerreißung innerhalb der ersten 12–24 h. Entspricht die Impressionstiefe einer Fraktur der Dicke der Kalotte, sollten diese Frakturen unabhängig von Begleitverletzungen gehoben werden, um das befürchtete Risiko einer posttraumatischen Epilepsie zu minimieren. Allerdings ist eine signifikante Verbesserung der neurologischen Ausheilungsergebnisse durch die chirurgische Intervention nicht belegt, sodass die Indikation zunehmend aus kosmetischen Gründen gestellt wird.

Der Patient wird auf den Rücken, bei okzipitalen Verletzungen auf den Bauch gelagert. Wichtig ist eine Positionshöhe des Kopfs

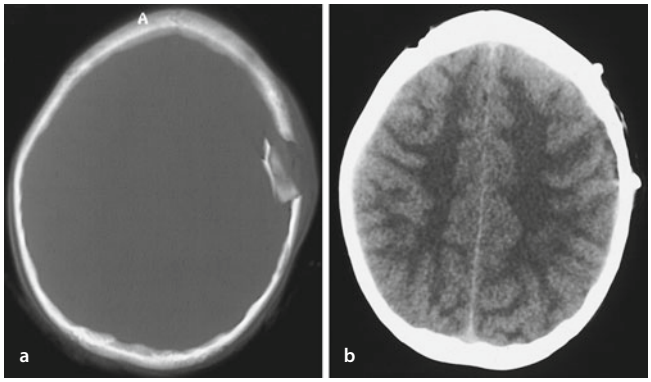


Abb. 12.5a,b Schädelimpressionsfraktur. **a** Deutliche Fragmentimpression im Knochenfenster der CT. **b** Postoperative Kontrolle

über dem Xiphoid, um den venösen Abfluss des Bluts über die Halsvenen sicherzustellen. Je nach Größe und Komplexität der Fraktur sowie dem Alter des Kindes wird entweder über ein Bohrloch am Rande des Imprimats eleviert oder bei älteren Kindern mit multiplen Fragmenten mit einer Kraniotomie um den Frakturbereich herum und mit Hebung der Fragmente und Osteosynthese versorgt (z.B. mit resorbierbaren Mikroplatten und -schrauben).

Besteht der Verdacht einer Duraverletzung, muss auf alle Fälle eine operative Freilegung der Fraktur mit Kraniotomie bis in den Bereich intakter Dura erfolgen. Zusätzliche Imprimate können jetzt entfernt, nekrotisches Gewebe und Hämatom abgesaugt und blutende Gefäße koaguliert werden. Nach wasserdichtem Duraverschluss, wenn notwendig mit einem Periostpatch, oder nach Dura-Hochnähten können die Knochenfragmente reponiert und mittels nicht resorbierbarer Fäden (2/0) refixiert werden. Nach Adaptation des Periosts kann auf das Einlegen einer subgalealen Redon-Drainage verzichtet werden. Im Falle eines schweren Schädel-Hirn-Traumas mit GCS <8 und Zeichen der erheblichen zerebralen Schwellung werden die Frakturfragmente nicht reponiert, sondern eine osteoklastische dekompressive Kraniektomie mit Duraerweiterungsplastik vorgenommen. Bei allen SHT mit postoperativer Intensivtherapie und Beatmung ist die Anlage einer ICP-Sonde notwendig. Nach Abklingen der akuten Phase wird der autologe Knochen in einer zweiten Operation reimplantiert.

Die postoperative Mobilisierung richtet sich vorwiegend nach dem Ausmaß der zerebralen Schädigung und den Begleitverletzungen, ebenso die Nachbehandlung. Als **Komplikationen** sind Hirnödem, Wundheilungsstörung mit Liquorrhoe, Meningitis, Hirnabszess und Sinusvenenthrombose zu befürchten (Abb. 12.5).

Berstungsfrakturen

Diese Frakturen sind Ausdruck höchster Gewalteinwirkung oder eines Hochgeschwindigkeitstraumas und meistens mit schweren Hirnverletzungen kombiniert. Im Vordergrund steht hier die Akutbehandlung des zerebralen Traumas. Nach der Stabilisierung können Duraverletzungen versorgt, nach Rückgang des Hirnödems eine vorsichtige Knochenrekonstruktion vorgenommen werden.

Frakturen der Stirnbeinhöhle

Frakturen der Stirnbeinhöhle treten im Kindesalter selten auf. Rhinorrhoe, Pneumozephalus oder computertomografisch nachgewiesene Hinterwandfraktur sind Hinweise auf drohende intrakranielle Komplikationen. Gibt es radiologisch keinen Hinweis für eine Duraverletzung (keine freie Luft intradural), erfordern undislozierte Frakturen der posterioren Stirnhöhlenwand keine operative Intervention. Persistierende Liquorrhoe oder zunehmender Pneumozephalus hingegen sind Indikationen für eine Rekonstruktion der Fraktur.

Schädelbasisfrakturen

Die Schädelbasis besteht aus 5 Knochen: dem Orbitadach des Stirnbeins, der Lamina cribrosa des Siebbeins, Anteilen des Keilbeins, dem Felsenbein und der Schläfenbeinschuppe des Os temporale sowie dem Os occipitale. Verletzungen in diesem Bereich können verschiedenste Strukturen betreffen, z.B. große Gefäßkanäle, Hirnnerven, Paranasalsinus sowie Seh- und Gehörstrukturen.

Der konventionelle radiologische Frakturnachweis dieser Region ist sehr schwierig, sodass die Diagnose initial meist klinisch vermutet wird. Ultraschnelle Spiral-CT Untersuchungen des Kopfs können auch feine Frakturlinien im Bereich der Schädelbasis aufdecken. Die klinischen Hinweise für eine Schädelbasisfraktur sind abhängig von der Lokalisation: Frakturen in der Fossa anterior zeigen eine periorbitale Schwellung und Ekchymose (Monokelhämatom).

Liquorrhoe aus der Nase ist zwar ein Kardinalzeichen, sie ist jedoch nur in etwa 10% der Fälle nachweisbar.

Bei Verdacht auf eine Fraktur der vorderen Schädelbasis verbieten sich in der Notfallversorgung sowohl die blinde nasale Intubation als auch das Legen von nasalen Magensonden.

Felsenbeinbrüche gehen mit aurikulärer oder retroaurikulärer Schwellung und Einblutung einher. Ist das Trommelfell intakt, findet sich ein Hämatotympanon. Bei Trommelfellzerreißung kann es zur Blutung oder Otorrhoe kommen, gelegentlich können die Kinder Hörverluste angeben. Meistens handelt es sich um Felsenbeinlängsfrakturen, nur 20% sind Querbrüche. Hier kann zusätzlich der N. facialis verletzt sein. Dabei zeigt sich neben dem Hämatotympanon eine sofortige oder verzögerte N. facialis-Schwäche, meistens bedingt durch Schwellung des Nervs oder durch ein Hämatom oder eine Weichteilschwellung im Fazialiskanal. Das Behandlungsregime ist vorrangig konservativ: Bettruhe und erhöhte Kopflagerung sowie Hochdosis-Steroidtherapie führen in der Regel zur spontanen Regeneration, eine operative Dekompression ist hier wenig zielführend.

Sehstörungen machen sich bei Kopfverletzungen im Kindesalter häufig als Sehverlust, meist sofort einsetzend und einseitig, bemerkbar. Es wird jedoch auch verzögerter und beidseitiger Sehverlust beschrieben. Eine Fraktur spielt hierbei nicht immer die ausschlaggebende Rolle, denn nur bei einem Fünftel aller Kinder steht der Frakturverlauf tatsächlich mit dem Optikuskanal in Verbindung. Glücklicherweise sind die Sehstörungen unter Kortisongabe meist passager. Eine chirurgische Freilegung und Dekompression des Nervenkanals kommt nur bei Nachweis eines entsprechenden Knochenfragments in Betracht.

Hörverlust und/oder vestibuläre Dysfunktionen sind die häufigsten verzögert einsetzenden **Komplikationen**, die durch Nervenverletzung oder eine Zerstörung der Kochlea bedingt sein können. Sie bedürfen einer HNO-ärztlichen Versorgung.

12.2.2 Wirbelfrakturen

Wirbelfrakturen sind im Kindesalter selten. Die Frakturlokalisation und der Unfallmechanismus variieren mit dem Alter des Kindes: zervikale Verletzungen treten häufiger im Säuglings- und Kleinkindalter, meist durch Stürze aus großer Höhe oder Kindesmisshandlung, thorakolumbale Frakturen eher im Schul- und

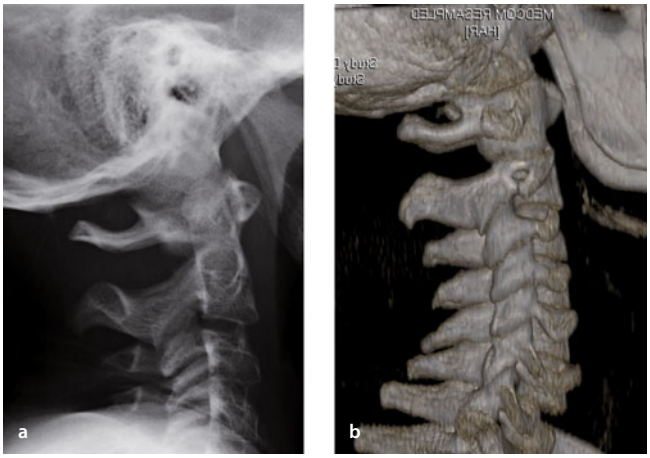


Abb. 12.6a,b Pseudoluxation C2/C3. **a** Typische vermehrte Aufklappbarkeit ventral ohne traumatische Ursache. **b** CT mit 3 D-Rekonstruktion

Adoleszentenalter durch Verkehrs- und Sportunfälle auf (Hasler u. Jeanneret 2002).

Zunächst erfolgt die konventionelle Röntgendiagnostik des betreffenden Wirbelsäulenabschnitts in 2 Ebenen. Aufgrund der anatomischen Verhältnisse des Kindes ist es oft schwierig, physiologische Phänomene von Frakturen zu unterscheiden. Laxere Ligamente erlauben zudem eine größere Translationsbewegung, welche für so genannte Pseudoluxationen insbesondere zwischen C2/C3 verantwortlich sind, die jedoch keine pathologische Relevanz haben (Abb. 12.6). Bei nachgewiesener Fraktur, unsicherem Befund oder neurologischem Defizit ist eine CT- und evtl. eine MR-Untersuchung durchzuführen.

Atlasfrakturen

Atlasfrakturen sind meist bedingt durch axiale Krafteinwirkung der okzipitalen Kondylen auf den Atlas. Hierdurch kommt es zur Zerreißung von vorderem und hinterem Atlasbogen, ggf. mit Ruptur des Ligamentum transversum (so genannte Jefferson-Fraktur). Konventionellen Röntgenaufnahmen entzieht sich diese Fraktur leicht, CT-Schichten dieser Region können jedoch die Verletzung meist eindeutig darstellen. Als Therapie bieten sich der Halofixateur (▶ Kap. 4, Wirbelsäule) oder ein Minerva-Gips an, die Ruhigstellung erfolgt oft über 2 Monate.

Axisfrakturen

Typischerweise kommt es zur Fraktur an der Dens-Basis (Epiphyseolyse). Das Ausmaß einer resultierenden spinalen Schädigung ist abhängig vom Grad der Dislokation. Konventionelle Röntgenaufnahmen sind meist aussagekräftig, meist ist eine CT-Untersuchung zusätzlich indiziert. Nach einer geschlossenen Reposition ist hier die Ruhigstellung für 6–8 Wochen mit Halofixateur oder Minerva-Gips erforderlich. Stabil reponierte Frakturen an der Basis oder Spitzenabbrüche des Dens heilen so zufriedenstellend. Instabile Epiphyseolysen älterer Patienten und Frakturen in Höhe der Gelenkflächen (Bogenwurzelfrakturen, mit C2/C3-Luxation so genannte hanged man's fracture) kommen konservativ jedoch häufig nicht zur Konsolidierung und bedürfen einer operativen Versorgung.

C3- bis C7-Frakturen oder -Dislokationen

Diese Verletzungen sind im Kindesalter äußerst selten und betreffen dann meist Jugendliche. Wichtig ist die Differenzierung von Flexions- und Hyperextensionstraumen, da daraus Unterschiede in der Behandlung resultieren. 95% dieser Verletzungen kommen unter konservativer Behandlung mit Minerva-Gips oder Halofixateur zur Ausheilung. Gelegentlich besteht die Indikation zur Operation bei Flexionstraumen, um die Gefahr der späteren Kyphosierung vorzubeugen. Da bei diesen Verletzungen das Ligamentum longitudinale posterior zerrissen ist, verbietet sich ein anteriorer Zugang, der eine zusätzliche Instabilität verursachen würde. Es empfiehlt sich eine Spondylodese mittels Drahtcerclage und Knochenspan von dorsal. Zusätzlich besteht eine Operationsindikation bei Berstungsfrakturen mit neurologischer Symptomatik, da durch die Stabilisierung Pflege und Mobilisierung des Patienten früh sicher und suffizient durchgeführt werden können.

Die isolierte diskoligamentäre Instabilität zeigt sich durch das klinische Bild des »steifen Halses« und den Verlust der physiologischen Lordose und kann außerdem durch radikuläre oder medulläre Symptomatik kompliziert sein. Sie bestätigt sich im seitlichen Röntgenbild durch einen erweiterten Zwischenwirbelraum und unregelmäßigen Verlauf der Gelenkfacetten. Übliche Therapie ist die Immobilisation. Eine Operationsindikation zur posterioren Fusion besteht bei hoher Instabilität und neurologischer Symptomatik sowie bei anhaltender Instabilität nach 3-monatiger Ruhigstellung.

Thorakolumbale Wirbelfrakturen

Neben der Schmerzangabe sind lokale Schwellung und Hämatom hinweisend für eine mögliche Wirbelfraktur. Beim bewusstlosen oder unkooperativen Kind können diese Verletzungen jedoch leicht übersehen werden. Neurologische Defizite und abdominelle Begleitverletzung müssen ausgeschlossen werden, eine Ekchymose im Beckengurtbereich sollte an eine Wirbelfraktur denken lassen.

Bereits die konventionellen Röntgenaufnahmen sind diagnostisch wegweisend, die CT verschafft Klarheit über Stabilität bzw. Instabilität der Fraktur und Beteiligung des Markraums.

Therapie

Nahezu zwei Drittel aller Frakturen im Kindesalter sind stabil und können konservativ behandelt werden.

Stabile Kompressionsfrakturen mit Fehlstellung in Sagittal- und Frontalebene mit Höhenminderung jeweils um weniger als die Hälfte der Hinter- bzw. Seitenkante heilen unter Bettruhe bis zur Schmerzfreiheit rasch (1–2 Wochen). Es besteht nur eine geringe Tendenz zu progredienter Sinterung. Krankengymnastische Übungen kräftigen die autochthone Rückenmuskulatur. Nach 6 Wochen sollte eine Röntgenkontrolle zur Dokumentation der Konsolidierung erfolgen, nach weiteren 4– 6 Wochen erfolgt die Freigabe für sportliche Aktivitäten. Eine weitere Kontrolle ist nach einem halben Jahr indiziert. Bei Beschwerdefreiheit und freier Wirbelsäulenbeweglichkeit kann die Behandlung abgeschlossen werden. Die Verordnung eines Dreipunktkorsetts ist bis zur Freigabe sinnvoll.

Frakturen mit einer Höhenminderung in Sagittal- oder Frontalebene von >50% sollten operativ versorgt werden, da bei konservativer Behandlung während der Mobilisierung ein erneutes Zusammensintern der aufgerichteten Wirbelkörper befürchtet werden muss.

Bei **Flexionsfrakturen** mit anteriorer Kompression und Zerreißung des Ligamentum interspinale, des Ligamentum flavum und Wirbelbogenfraktur (Beckengurt) ist meist die offene Reposition und Fusion indiziert, um eine stabile Ausheilung zu erzielen.

Berstungsfrakturen sollten ebenfalls reponiert, stabilisiert und fusioniert werden, da durch Verletzung der ventralen Apophyse und Wachstumsstillstand sonst eine progressive Kyphose zu erwarten ist.

Die **Indikationen für eine sofortige Dekompression** entsprechen denen bei Erwachsenen:

- Offene Verletzung und
- die Progredienz neurologischer Ausfälle bei Spinalkanalverletzung.

Bei Kleinkindern genügt meist die Drahtcerclage der Dornfortsätze mit anschließender Gipsimmobilisierung. In Bauchlage erfolgt die posteriore Inzision über der Mittellinie der betroffenen Wirbelkörper, scharfes Freipräparieren bis auf die thorakolumbale Faszie, Ablösen der Paravertebralmuskulatur vom Processus spinosus und Freilegen der Laminae und der Gelenkfazetten. Das Ligamentum interspinale der angrenzenden intakten Wirbelkörper sollte erhalten bleiben, um keine zusätzliche Instabilität zu verursachen. Ist das Ligamentum flavum zerrissen, wird es sorgfältig unter Schonung der Dura reseziert. Kleine Knochenfragmente, welche die Reposition beeinträchtigen können, werden entfernt. Mit 2 Tuchklemmen werden jetzt die Processus spinosi gefasst und die Reposition vorsichtig durch Beseitigung der Kyphose durchgeführt. Nach Anlegen von Bohrlöchern an der jeweiligen Basis des Processus spinosous wird ein Draht in 8er-Tour durchgezogen und unter Bildwandlerkontrolle so weit gespannt, bis sich der Zwischenwirbelraum wieder anatomisch ausgerichtet hat. Anschließend werden die Gelenkknorpel angefräst und autologer Knochenspan zur Fusionierung eingebracht. Bei sehr kleinen anatomischen Verhältnissen kann die Drahtcerclage auch um den Processus spinosus selbst gelegt werden. Postoperativ wird ein Gipskorsett in lumbaler Lordose angelegt.

Bei größeren Kindern erfolgt die Versorgung mit den Standardverfahren der Erwachsenenchirurgie, das Instrumentarium muss natürlich in seinen Dimensionen an die kindlichen Größenverhältnisse angepasst sein (dorsale transpedikuläre Platte, ▶ Kap. 4, Wirbelsäule; Spondylodese durch Instrumentation mittels Fixateur interne, ▶ Kap. 4, Wirbelsäule). Die postoperative Mobilisierung erfolgt mit Gips oder Korsett. Die Konsolidierung nach 6–8 Wochen muss radiologisch dokumentiert werden, weitere Röntgenkontrollen sollten jährlich ggf. bis zum Wachstumsabschluss durchgeführt werden.

Komplikationen

Eine Zunahme der Wirbelkörperdeformität bei ausschließlich sagittalen Fehlstellungen ist im Kindesalter nicht zu erwarten. Bei Kindern unter 10 Jahren erreicht der Wirbelkörper meist seine ursprüngliche Form, eine Kyphosenbildung ist selten. Ist die Endplatte, also das Wachstumszentrum betroffen, wird die Korrektur nicht so konsequent erfolgen, asymmetrisches Wachstum von Wirbelkörpern kann jedoch – v.a. im thorakolumbalen Abschnitt – von den angrenzenden, unverletzten Wirbelkörpern kompensiert werden und führt nur selten zu einer Skoliose.

Ist die Wirbelverletzung mit einer spinalen Schädigung und Paraplegie kombiniert, resultieren Probleme wie Druckulzera, genitourethrale Komplikationen, Gelenkkontrakturen, Hüftluxation und Anfälligkeit für Frakturen langer Röhrenknochen. Außerdem entwickeln die Kinder, die zum Unfallzeitpunkt weniger als 12–14 Jahre alt waren, mit größter Wahrscheinlichkeit fortschreitende, therapiebedürftige Wirbelsäulenveränderungen (Skoliose, Kyphose oder Lordose).

12.2.3 Klavikulafrakturen

Die Fraktur der Klavikula ist die weitaus häufigste geburtstraumatische Verletzung des Skelettsystems (0,3–6,3% mit zunehmender Häufigkeit bei einem Geburtsgewicht >4000 g).

Bei größeren Kindern ist die Klavikula der vierthäufigste frakturierte Knochen, Stürze stellen die Hauptursache dar.

Der Bruch liegt meistens im mittleren Schaftdrittel, mediale (ca. 3%) oder laterale (ca. 5%) Frakturen oder Luxationen sowie offene Frakturen oder eine begleitende Gefäß-Nerven-Verletzung sind selten.

Klavikulaschaftfrakturen

Kommt es zu einer kompletten Periostzerreißung, disloziert der mediale Anteil durch Zug des M. sternocleidomastoideus nach kranial, während der laterale Anteil durch Muskelzug des M. pectoralis minor und das Gewicht des Arms nach kaudal gezogen wird. Eine Verkürzung kommt durch die Kraft des M. pectoralis und M. subclavius zustande.

Beim Neugeborenen kann der asymmetrische Moro-Reflex Hinweis für die Geburtsverletzung sein. Er wird durch das Zurückfallenlassen des Kopfs ausgelöst, es kommt erst zu Extension und Abduktion der Arme mit nachfolgender Flexion und Adduktion. Bei größeren Kindern sind Schonhaltung sowie Schwellung und lokaler Druckschmerz wegweisend.

Die konventionelle a.p.-Röntgenaufnahme der Klavikula ist normalerweise beweisend. Bei nichtdislozierten Frakturen kann die Weichteilschwellung zur Diagnosestellung hilfreich sein.

Konservative Therapie

Bei Geburtsverletzungen richtet sich die Behandlung nach der Symptomatik: Fühlt sich das Baby sichtlich unwohl, sollte der Arm mittels direkter Fixierung des Ärmels am Hemdchen für 1–2 Wochen vor spontanen schmerzhaften Bewegungen geschützt werden.

Bei allen Kindern jenseits des Säuglingsalters wird für 3 Wochen ein Rucksackverband angelegt, um den Schultergürtel aufzuspannen und eine gewisse Bewegungsreduktion zu erreichen. Für größere Kinder können kommerzielle Fertigverbände verwendet werden, für Kleinkinder mit Watte gefüllte Schlauchverbände. Die Kontrolle der Konsolidierung erfolgt klinisch (keine Röntgenkontrolle!) bei Indolenz des meist kugeligen Kallus, dessen Remodelling bis zu einem halben Jahr dauern kann. Die Freigabe für sportliche Aktivitäten kann bei freier seitengleicher Schulterbeweglichkeit erfolgen. Wenn der Patient beschwerdefrei bleibt, sind Nachkontrollen nicht erforderlich. Komplikationen sind äußerst selten.

Operative Therapie

Die Indikation zum operativen Vorgehen ist lediglich bei offenen Frakturen mit Hautdefekten, bei schwerer Dislokation mit potenzieller Hautulzeration oder -perforation, bei Gefäßverletzungen oder bei Kompression der A. und V. subclavia bzw. des Plexus brachialis durch ein Klavikulafragment gegeben. Oft reicht eine offene Reposition mit Naht des Periostschlauchs sowie eine anschließende Ruhigstellung aus. Bei sportlich aktiven Jugendlichen verkürzt die Osteosynthese die Rekonvaleszenz und wird deshalb z.T. gewünscht. Für die Osteosynthese kommt heute vornehmlich die intramedulläre Nagelung zur Anwendung.

Intramedulläre Nagelung

In Rückenlagerung erfolgt der Hautschnitt über der medialen Klavikula (◘ Abb. 12.7). Mit dem Pfriem wird die Kortikalis angebohrt und anschließend ein Nagel mit einem Durchmesser von etwa zwei Drittel Markraumbreite bis zur Fraktur eingebracht. Nach Reposition kann der Nagel in den lateralen Anteil vorgeschoben werden. Es kann auch die retrograde Technik mit Einbringen des Nagels von dorsolateral nach medial angewandt werden. Oft ist eine offene Reposition über einen sagittalen Schnitt (Hautlinien!)

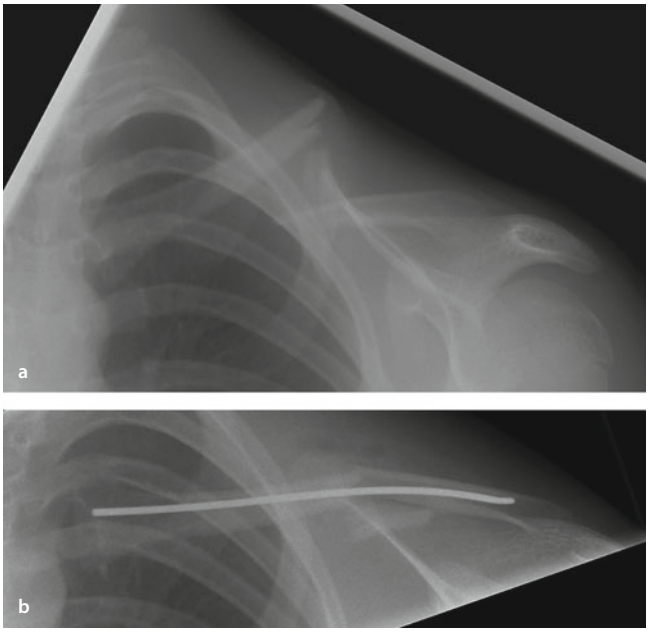


Abb. 12.7a,b Operationsbedürftige Klavikulafraktur. **a** Unfallbild mit drohender Hautperforation. **b** Versorgung mit ESIN

erforderlich. Alternativ kann primär über der Fraktur eröffnet und der Nagel zunächst in das laterale Fragment geschoben werden. Perforiert man dann dorsolateral Kortikalis und Haut punktuell und zieht ihn hier ein Stück heraus, kann der Nagel dann nach medial geschoben und verankert werden. Neben der Inzision über der Fraktur verbleibt nur die Perforationswunde dorsal; der v.a. für Mädchen kosmetisch oft unschöne mediale Zugang (Narbe!) kann vermieden werden. Über eine postoperative Ruhigstellung kann individuell entschieden werden, ggf. Ruhigstellung mit Gilchrist-Verband. Eine Röntgenkontrolle nach 3–4 Wochen sollte eine gute knöcherne Durchbauung zeigen. Anschließend ist die Freigabe für sportliche Aktivitäten möglich. Die Metallentfernung kann ambulant nach 6–8 Wochen erfolgen (Dietz et al. 2006, Jubel et al. 2002).

Mediale Klavikulafrakturen

Verletzungen des medialen Schlüsselbeins sind meist Epiphysenlösungen (Beginn der Verknöcherung erst mit 18–20 Jahren!), bedingt durch die straffe ligamentäre Fixation der Epiphyse im Sternoklavikulargelenk und an der 1. Rippe; entsprechend selten sind echte Luxationen.

Klinisch auffallend ist die schmerzbedingte Schonhaltung des betroffenen Arms bzw. Schultergelenks. Durch die lokale Schwellung ist jedoch die Beurteilung des Dislokationsausmaßes oft schwierig. Da die A. carotis sinistra bzw. der Truncus brachiocephalicus und die V. brachiocephalica, der N. vagus und N. phrenicus, die Nervenwurzeln des Plexus brachialis sowie Trachea und Ösophagus direkt hinter dem Sternoklavikulargelenk verlaufen, können posteriore Dislokationen durch Kompression dieser Strukturen lebensbedrohliche Situationen auslösen (Abschwächung des Pulses, venöse Stauung, Atemnot, Schluckbeschwerden).

Die Röntgenstandardaufnahme der Klavikula erlaubt wenig Aussage über ihren medialen Anteil, richtungsweisend sind sagittale CT-Aufnahmen zur Differenzierung zwischen Fraktur und Luxation und insbesondere zur Beurteilung der Lage der Fragmente in Bezug zum Mediastinum.

Therapie

Nicht dislozierte Frakturen bedürfen der vorübergehenden Ruhigstellung mit einer Mitella. Häufig wird das Kind jedoch erst wegen der »Geschwulst« vorgestellt, bedingt durch den Kallus der heilenden Fraktur.

Nach ventral dislozierte Epiphysenlösungen oder Luxationen benötigen aufgrund des außerordentlichen Remodellings dieser Region keine Reposition. Bei anhaltender Instabilität oder wiederholten Luxationen ist jedoch eine operative Maßnahme indiziert. Dorsale Dislokationen können eine notfallmäßige Reposition erforderlich machen, wenn es zu einer Kompression mediastinaler Strukturen kommt. In Rückenlagerung, mit unterpolsterten Schultern, wird am 90°-abduzierten, ipsilateralen Arm gezogen und unter sterilen Bedingungen mit einer Tuchklemme perkutan das nach posterior dislozierte Klavikulafragment nach ventral reponiert. Alternativ erfolgt die Reposition über eine quere Inzision über dem Sternoklavikulargelenk. Zur Immobilisierung sollte ein Rucksackverband für 3–4 Wochen angelegt werden. Anschließend kann mit Bewegungsübungen begonnen werden.

Eine operative innere Fixierung ist nicht immer nötig und birgt wegen des möglichen Wanderns des Implantats eine Gefahr. Bei bestehender Redislokationstendenz ist vorzugsweise eine transsternale/transklavikuläre resorbierbare Naht zu überlegen, nur selten ist bei höherem Stabilitätsbedarf eine von lateral vorgenommene intramedulläre Nagelung notwendig.

Laterale Klavikulafrakturen

Die laterale Klavikula ist von einem dicken Periostschlauch umgeben, der über das Akromioklavikulargelenk hinausreicht. Durch diese enge Verbindung der Ligamenta coracoclaviculare und acromioclaviculare mit dem Periost ist auch das Akromioklavikulargelenk vor echten Luxationen geschützt. Bei Verletzungen in diesem Bereich handelt es sich vielmehr um metaphysäre Frakturen oder Epiphysenlösungen mit oder ohne Pseudoluxation. Kommt es zur Dislokation, tendiert das mediale Fragment dazu, nach kranial aus dem zerissenen Periostschlauch zu luxieren. Dabei bleibt das »Periostbett« samt Epiphyse und Bandapparat orthotop erhalten. Ein zweites Verknöcherungszentrum am lateralen Klavikulaende sowie der intakte Periost-Band-Komplex ermöglichen eine stabile Heilung und ein gutes Remodelling (Abb. 12.8, Rockwood et al. 1996).

Nach Trauma ist die Schulterbeweglichkeit schmerzhaft eingeschränkt, der erkrankte Arm wird vom gesunden gestützt. Neben einer lokalen schmerzhaften Schwellung ist gelegentlich das im Seitenvergleich höherstehende Schlüsselbein mit bloßem Auge erkennbar.

Therapie

Aufgrund der hohen Heilungs- und Korrekturpotenz können auch dislozierte Frakturen konservativ behandelt werden. Hierzu erfolgt die Ruhigstellung mittels Mitella oder Gilchrist-Verband. Nach Erreichen der Schmerzfreiheit kann mit der Mobilisierung begonnen werden. Innerhalb von 4–6 Wochen kommt es zur Ausheilung.

Lediglich bei deutlichen Dislokationen sollte eine offene Reposition durchgeführt werden. Eine resorbierbare Fixierung oder Periostnaht ist transakromialen K-Drähten oder einer korakoklavikulären Schraube (Bosworth) vorzuziehen. Nach 4–6 Wochen erfolgt die Freigabe zur Mobilisierung.

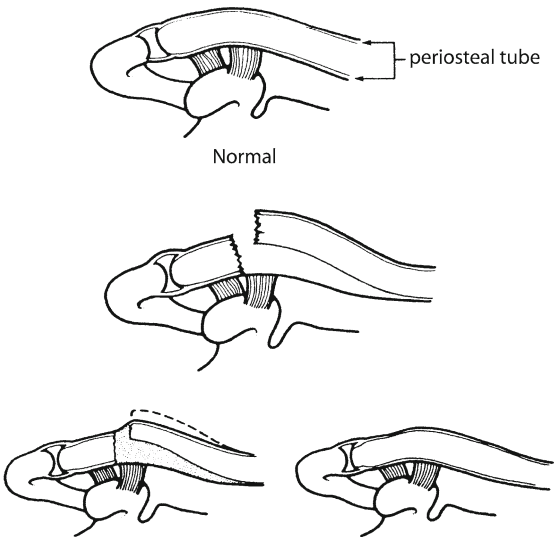


Abb. 12.8 Phasen der Frakturheilung bei distalen Klavikulafrakturen. (Aus Rockwood et al. 1996)

12.2.4 Proximale Humerus- und Humerusschaftfrakturen

Proximale Humerusfrakturen

41–47% der knöchernen Verletzungen des Oberarms betreffen den proximalen Abschnitt. Die Frakturen entstehen nach direktem Sturz auf die Schulter oder beim rückwärtigen Sturz auf die Hand bei gestrecktem Ellenbogen. Bei Neugeborenen ist an geburtstraumatische Verletzungen, bei Kleinkindern an Kindesmisshandlungen zu denken. Bei Adoleszenten kommen selten Apophysenabrisse durch Hyperextension im Schultergelenk oder starke Außenrotation und Abduktion vor.

Die Klinik besteht einheitlich in der Schonung der Schulter bei Schwellung des proximalen Oberarms. Die Standarddiagnostik umfasst die konventionelle Röntgenaufnahme der Schulter a.p. sowie axial, bei Verdacht auf epi- oder apophysäre Frakturen können Aufnahmen in Außen- oder Innenrotation, schräge Aufnahmen sowie in Ausnahmefällen eine CT erforderlich sein. Ist die axiale Aufnahme schmerzbedingt nicht möglich, ist die so genannte Y-Aufnahme die Alternative, nicht die transthorakale Aufnahme!

Der Dachfirst-ähnliche Verlauf der dorsalen Epiphysenfuge ist zu bedenken und darf nicht mit einer Frakturlinie verwechselt werden.

Geburtstraumatische Epiphysenlösungen sind mangels Ossifikation der Epiphyse nur sonografisch darzustellen.

Epiphysäre Frakturen (11-E) stellen eine absolute Rarität dar, Apophysenausrisse des Tuberculum minus (knöcherner Ausriss der Sehne des M. subscapularis: 11-M/9) werden vereinzelt berichtet. Meist sind so genannte subkapitale infratuberkuläre Frakturen zu beobachten, die als Epiphysenlösungen (11-E/1 oder 2), eingestauchte Frakturen (11-M/2) oder komplette Frakturen (11-M/3) auftreten, Biegungsfrakturen kommen seltener vor.

Konservative Therapie

Undislozierte epi- oder apophysäre Frakturen sowie die eingestauchten metaphysären Frakturen werden im Gilchrist-, Velpeau- oder Desault-Verband je nach Alter für 3–4 Wochen ruhiggestellt. Bei den Epiphyseolysen und vollständigen Frakturen ist die konservative Behandlung theoretisch bis zu einer Dislokation von 60° bzw. 30°, jedoch bei Valgusfehlstellungen nur bis 10° möglich, sofern die Kinder < bzw. >10 Jahre alt sind. Meist wird jedoch eine so deutlich Fehlstellung nicht mehr akzeptiert und die reell umgesetzten Grenzen haben sich nach unten verändert (Tab. 12.2). Die hohe Spontankorrektur der sehr wachstumsaktiven proximalen Humerusepiphysenfuge sowie die große Kompensationsmöglichkeit der Schulter verhindern Funktionseinschränkungen. Aus diesem Grund bedürfen auch die geburtstraumatischen Verletzungen lediglich der Lagerung oder eines Gilchrist-Verbandes sowie der neuropädiatrischen Konsiliaruntersuchung zum Ausschluss einer Plexusläsion.

Überschreitet die Fehlstellung das Kompensationsausmaß der Fuge, v.a. dann, wenn die Kinder älter als 10 Jahre sind, ist eine Reposition erforderlich. Die geschlossene Reposition in Narkose muss durch Zug am Oberarmschaft den Schaft, der durch den M. deltoideus nach kranial und den M. pectoralis nach medial dislozierte ist, in Kontakt mit der proximalen Frakturfläche bringen, die durch die Rotatoren abduziert und außenrotiert wird. Die in »ausreichende Stellung« (Fragmentkontakt, Dislokation <20° Varus, <10° Valgus) gebrachte Fraktur kann konservativ weiterbehandelt werden, doch ist die Zuverlässigkeit der Retention zu prüfen und ggf. die operative Fixation in gleicher Narkose zu erwägen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 4/7 (Stellungskontrolle) – Tag 21/28 (Konsolidierung, Freigabe, Mobilisation).

Nach Freigabe erfolgt die spontane Mobilisation ohne Belastung, nach 2 Wochen wird die Schulterbeweglichkeit klinisch kontrolliert. Bei belassenen Fehlstellungen sind weitere Kontrollen im Abstand von einem halben Jahr bis zum Abschluss der Korrekturvorgänge oder bis zum Wachstumsende sinnvoll. Selten kann ein medial betonter vorzeitiger Fugenschluss zu Verkürzung und Varusfehlwachstum führen. In der großen Mehrheit der Fälle wird es zu folgenloser Ausheilung und uneingeschränkter Funktion kommen.

Operative Therapie

Dislozierte Epiphysenfrakturen oder Apophysenabrisse bedürfen der offenen Reposition und Zugschraubenosteosynthese, bei der apophysären Verletzung kann alternativ eine Zuggurtung in Erwägung gezogen werden. Die Zugänge und weitere operative Einzelheiten bei diesen adoleszenten Patienten entsprechen denen des Erwachsenen (▶ Kap. 5, Schulter). Der Eingriff erfolgt elektiv. Eine »Ruhigstellung« im Gilchrist-Verband ist sinnvoll. Nach der Wundheilung sind geführte Bewegungen möglich, Abduktion und Außenrotation aber bis zur Konsolidierung zu vermeiden.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28/42 (Konsolidierung) – Tag 84 (vor Metallentfernung).

Die Notwendigkeit von Nachkontrollen ergibt sich aus anhaltenden Bewegungseinschränkungen nach der Metallentfernung, bei freier Funktion sind sie nicht erforderlich. Mögliche **Komplikationen** umfassen präarthrotische Gelenkinkongruenzen und Bewegungseinschränkungen, stellen aber bei den sowieso seltenen Frakturen die Ausnahme dar.

Bei instabilen und bei schwer reponiblen oder nicht ausreichend retinierbaren metaphysären Frakturen (Grenzwerte s. oben) stellt sich die Indikation zur primären Osteosynthese. Zur Fixation stehen die perkutane K-Draht-Osteosynthese und die intramedulläre Fixation zur Verfügung. Bei jugendlichen Patienten wird heute wegen der Bewegungsstabilität und des größeren Komforts über großzügigere, aber natürlich relative Operationsindikationen zur intramedullären Fixation diskutiert.

Perkutane K-Draht-Osteosynthese

Die Methode eignet sich für ausreichend reponible, aber nicht retinierbare Frakturen. Nach erfolgter Reposition werden 2–3 K-Drähte der Stärke 1,6–2 mm schräg aufsteigend vom Unterrand des M. deltoideus aus in den Humerusschaft eingebracht und – die Fraktur und die Fuge kreuzend – in den Humeruskopf vorgetrieben. Die Platzierung der Drähte ist wegen des erforderlichen steilen Verlaufs nicht einfach. Die Drähte werden gekürzt und unter die Haut versenkt. Die Osteosynthese ist nicht übungsstabil und bedarf einer zusätzlichen Ruhigstellung mittels Desault-Verband bis zur Kallusfixation. Die Metallentfernung kann nach 3–4 Wochen bei ausreichender Kallusüberbrückung ambulant erfolgen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (Metallentfernung) – Tag 35 (Konsolidierung/Freigabe).

Das weitere Vorgehen entspricht dem bei der konservativen Behandlung. Die Methode ist heute gegenüber der intramedullären Versorgung wegen der Instabilität und der Notwendigkeit additiver Ruhigstellung in den Hintergrund getreten.

Intramedulläre Nagelung

Die intramedulläre Fixation hat ihre Vorteile in der Übungsstabilität des Verfahrens sowie in der Möglichkeit, ein unzureichendes Repositionsergebnis durch intramedulläre Manipulation zu verbessern und ist heute die Methode der Wahl. Über der distalen radialen Humerusmetaphyse erfolgt unter Beachtung des Verlaufs des N. radialis eine 3–4 cm lange kondyläre Inzision, dann nach Faszienspaltung und Präparation bis auf den Knochen (Darstellung der lateralen Humeruskante) die Anlage von 2 getrennten, schräg aufsteigenden Kortikalisperforationen mit dem Pfriem. Die beiden Nägel (Durchmesser je ein Drittel des diaphysären Markraumdurchmessers) werden zur Fraktur vorgeschoben. Mit den abgeschrägten Spitzen kann jetzt bei Bedarf durch entsprechende Drehmanöver der Nägel die Reposition verbessert werden, die Nägel werden in das proximale Fragment eingebracht und mit divergierenden Spitzen verankert. Hierzu kann die Epiphysenfuge bei kleinem metaphysärem Anteil durchbohrt werden (Abb. 12.9). Der Humeruskopf muss unter Durchleuchtung vollständig »durchgedreht« werden, um eine Nagelperforation auszuschließen.

Eine offene Reposition ist nur bei Interposition z.B. der Bizepssehne notwendig, der Zugang entspricht dem beim Erwachsenen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Freigabe) – Tag 56/70 (Metallentfernung).

Die Mobilisation wird adaptiert an die Beschwerden des Kindes durchgeführt. Das volle Bewegungsausmaß wird meist noch vor der Konsolidierung erreicht. Die Metallentfernung erfolgt nach 2–3 Monaten ambulant, das Follow-up entspricht dem konservativ behandelter Frakturen. Die Perforation der Wachstumsfuge hat, wie bislang bekannt ist, zu keinen relevanten Wachstumsstörungen geführt (Dietz et al. 1997, Schmittenbecher et al. 2004, Sessa et al. 1990).

Humerusschaftfrakturen

Humerusschaftfrakturen entstehen in der Regel durch direkte Gewalteinwirkung. Beim Säugling ist die geburtstraumatische Fraktur, beim Kleinkind die Kindesmisshandlung zu bedenken. Am proximalen diametaphysären Übergang kommen gehäuft juvenile Knochenzysten vor, die im Rahmen von Bagatelltraumen frakturieren können und dann erstmals diagnostiziert werden. Die Klinik ist geprägt von schmerzhafter Bewegungseinschränkung und Schwellung sowie ggf. einer Verkürzung des Oberarms. Zur Diagnostik erfolgt die konventionelle Röntgenaufnahme in 2 Ebenen (a.p. und axial oder Y-Aufnahme) unter Einschluss beider angrenzender Gelenke. Die Klassifikation differenziert Quer- (12-D/4), Schräg- (inklusive Torsions-; 12-D/5) und Biegungs- (12-D/1) sowie Grünholzfrakturen (12-D/2).

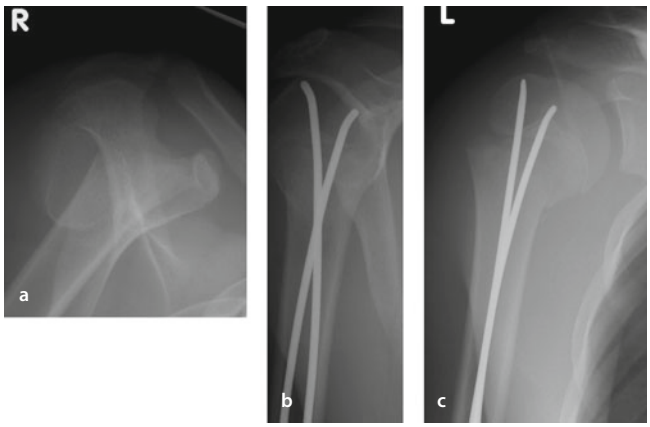


Abb. 12.9a–c Intramedulläre Nagelung einer proximalen Humerusfraktur. **a** Unfallbild mit deutlicher Abkippung des Humeruskopfs. **b,c** Anatomisch exakte Fixation durch retrograd eingebrachte intramedulläre Nägel

Konservative Therapie

Undislozierte Frakturen sowie solche in achsengerechter Stellung, ggf. durchaus mit Verschiebung um Schaftbreite und Verkürzung bis zu 2 cm, können konservativ behandelt werden, sofern es sich nicht nur um eine günstige radiologische Momentaufnahme handelt und die klinische Instabilität deutlich größer ist. Dies gilt im Prinzip auch für die pathologischen Frakturen, die nur selten dislozieren. Achsenfehler bis zu 20° können sich vor dem 10. Lebensjahr korrigieren, führen jedoch für lange Zeit zu einem kosmetisch unschönen »krummen« Arm (Machan u. Vinz 1993). Dieses Risiko trifft vornehmlich Querfrakturen wegen der geringen knöchernen Kontaktfläche. Desault-Verband, Oberarm-Brace oder Oberarmgips mit Schulterkappe kommen zur Ruhigstellung infrage. Ist ein aktives Repositionsmanöver in Narkose erforderlich, sollte eine definitive Frakturfixation erfolgen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ/Stellung im Verband) – Tag 7 (Stellungskontrolle) – Tag 35/42 (Konsolidierung, Freigabe) – 6 Monate oder später (bei Zysten).

Querfrakturen bedürfen wegen der geringen knöchernen Kontaktfläche etwas länger bis zur Heilung. Nach der Konsolidierung erfolgt die spontane Mobilisierung, krankengymnastische Übungsbehandlungen sind nur erforderlich, wenn sich nach mehr als 4–6 Wochen bedeutsame Bewegungseinschränkungen in den angrenzenden Gelenken zeigen. Dies ist jedoch nach konservativer Therapie eine Rarität. Gegebenenfalls verbliebene Fehlstellungen führen aufgrund der hervorragenden Kompensation durch die Schulter fast nie zu funktionellen Einschränkungen. Somit ist die Prognose der Humerusschaftfraktur quoad functionem grundsätzlich sehr gut. Ein weiteres Follow-up ist nur bei sichtbaren Achsenfehlern bis zu deren vollständiger Korrektur in 6-monatigen Abständen notwendig.

Operative Therapie

Indikationen zur operativen Versorgung von Humerusschaftfrakturen umfassen v.a. instabile Frakturen und solche, die sich nicht reponieren oder retinieren lassen und dabei Fehlstellungen von >20° zeigen. Die funktionell nie störenden, aber kosmetisch dennoch unschönen Deviationen unterhalb dieser Grenze stellen nur

eine relative Indikation dar, die mit Eltern und Patienten besprochen und gegen die Heilung ohne invasive Maßnahme abgewogen werden muss. Jenseits des 10. Lebensjahrs sollten Achsenfehler >10° nicht mehr belassen werden. Eine relative Indikation stellt auch die primäre Radialisparese dar, die grundsätzlich wegen ihrer hohen Spontanregenerationsrate keiner initialen Nervenrevision bedarf. Hier kann die operative Stabilisierung die frühe physiotherapeutische Behandlung ermöglichen. Bei gleichseitigen Unterarmfrakturen oder mehrfachverletzten Kindern erleichtert die Osteosynthese die Pflege und Mobilisation.

Bei den pathologischen Frakturen auf dem Boden juveniler Knochenzysten führt das erweiterte Therapieziel der Zystenkonsolidierung und Refrakturprophylaxe zur operativen Stabilisierung, die oft wegen der Fraktur alleine nicht erforderlich wäre (Knorr et al. 1996, ◘ Abb. 12.10).

Intramedulläre Nagelung

Die intramedulläre Nagelung stellt am Humerusschaft das Verfahren der Wahl dar. Die Operation kann v.a. bei allen relativen Indikationen elektiv erfolgen (◘ Abb. 12.11). Die beiden Nägel (Stärke ▶ Abschnitt 12.1.4, interm. Nagelung) werden am distalen Humerus über eine radiale und ulnare Inzision von 2–3 cm und eine schräge Kortikalisperforation eingebracht, in einer gegenläufigen C-Formation über die Fraktur geführt und in der proximalen Metaphyse verankert, anschließend distal gekürzt und unter der Haut versenkt. Dabei muss der N. ulnaris nicht dargestellt werden, aber es empfiehlt sich, bis auf den Knochen zu präparieren und den Pfriem unter Sicht zu platzieren. Bei Frakturen im proximalen Drittel der Diaphyse sollen beide Nägel wie bei den proximalen Oberarmfrakturen von radial, aber über 2 getrennte Kortikalisperforationen eingebracht werden. Der distale Nagel wird im Markraum dann um 180° gedreht, sodass die Spitzen wieder divergierend verlaufen. Werden die Nagelspitzen bei Spiralfrakturen auf Höhe des N. radialis aktiv zur Reposition genutzt, ist darauf zu achten, den Nerv nicht in die Fraktur hineinzuziehen. Eine sekundäre Radialisstörung erfordert hier die Revision.

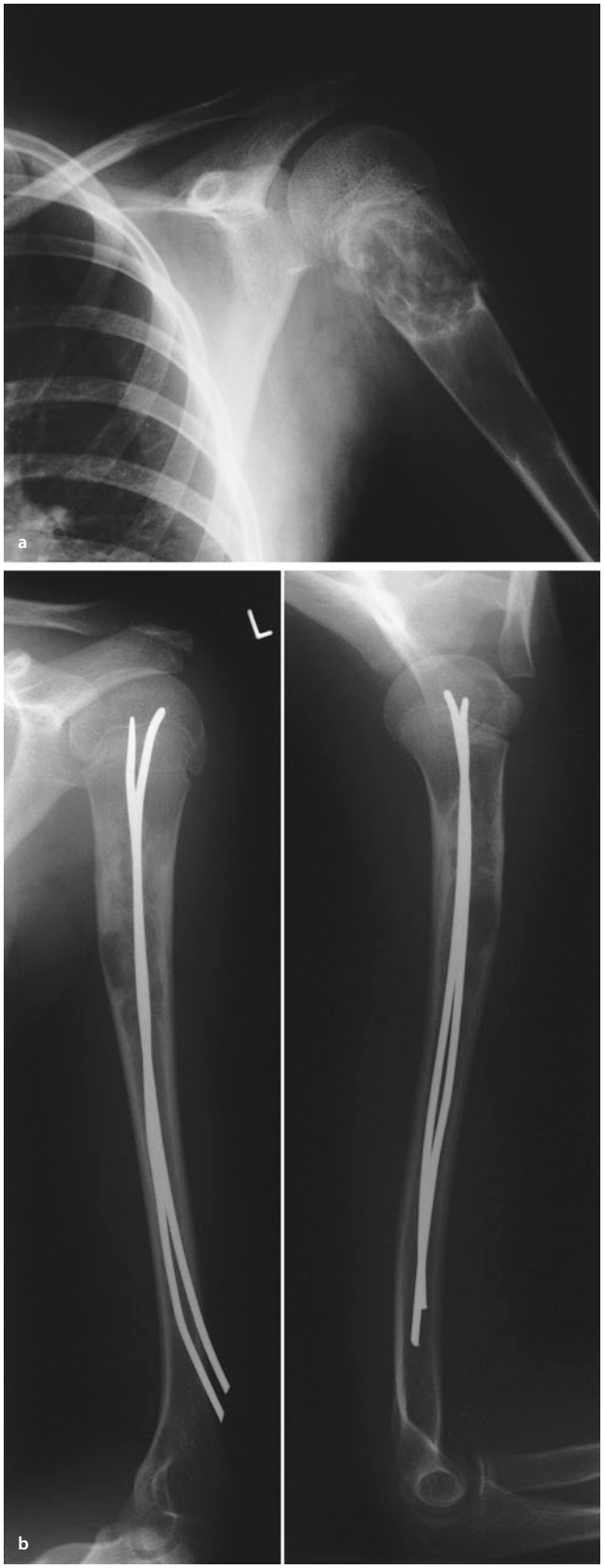
Liegt im proximalen Humerusschaft eine pathologische Fraktur bei juveniler Knochenzyste vor, müssen die Nägel weit genug kranial, ggf. epiphysär enden, damit ausreichende Stabilität erreicht wird.

Die anhaltende Perforation der Zyste an 4 Stellen führt zu einer sehr guten Ossifikation, sodass eine lokale Revision und Auffüllung mit Knochenersatzmaterial oder eine Spongiosaplastik nicht grundsätzlich und primär erforderlich sind (Knorr et al. 1996).

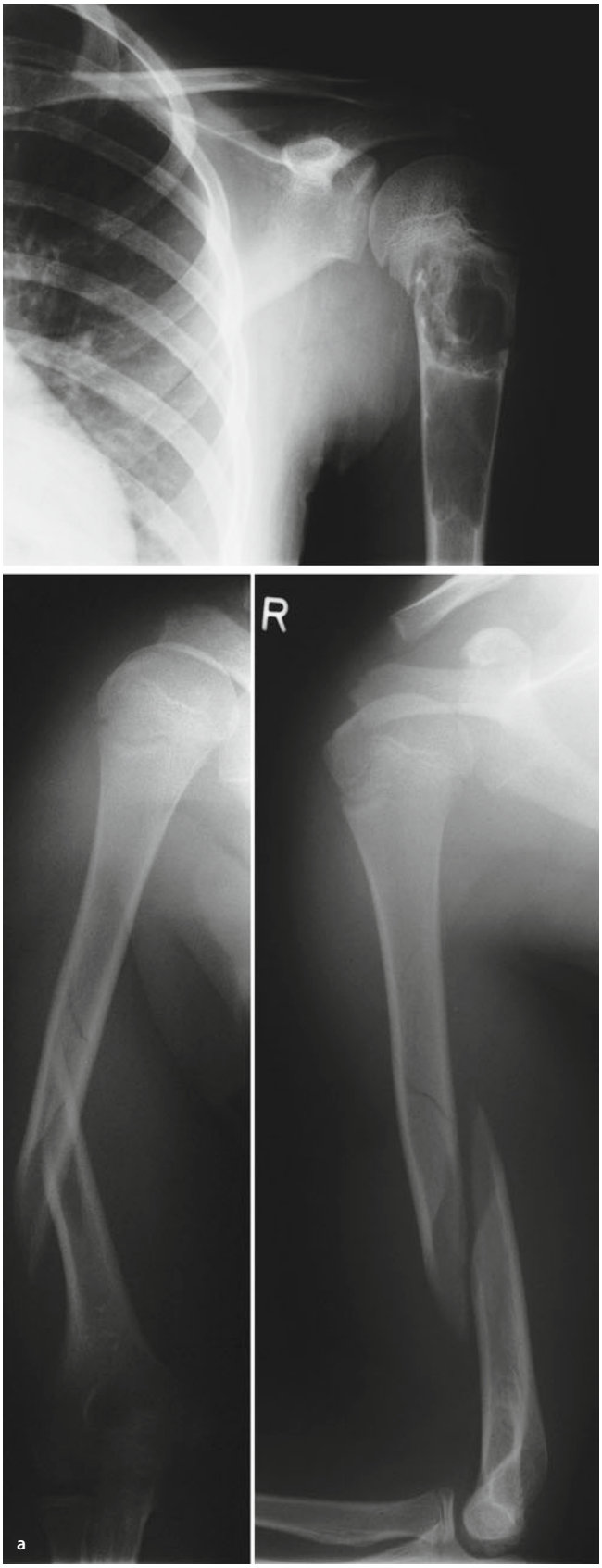
Bei Frakturen im distalen Schaftdrittel bietet sich die antegrade Nagelung von einer proximalen lateralen Inzision ebenfalls über 2 versetzt liegende Bohrlöcher an. Bei größeren Kindern kann man hierzu subdeltoidal eingehen, bei kleineren Patienten muss der Zugang manchmal transmuskulär erfolgen, da sonst der Abstand zur Fraktur zu kurz wird. Eine ergänzende Ruhigstellung ist nicht erforderlich. In Einzelfällen sind passager Tragetuch oder Gilchrist-Verband sinnvoll.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Freigabe) – 2–3 Monate (Metallentfernung) – 6 Monate und später (Metallentfernung bei Zyste).

Die Mobilisation erfolgt spontan bei Schmerzfreiheit, die Versorgung ist übungsstabil. Krankengymnastik ist nur bei besonderen Umständen (Radialisläsion, Kettenfraktur oder Ähnliches) notwendig. Nach 4 Wochen ist in der Regel die Schulterbeweglichkeit



◘ **Abb. 12.10a,b** Intramedulläre Nagelung am proximalen Oberarm. **a** Pathologische Humerusfraktur bei juveniler Knochenzyste. **b** Nach retrograder intramedullärer Nagelung gute Frakturheilung und weitgehende Zystenkonsolidierung nach 2 Jahren



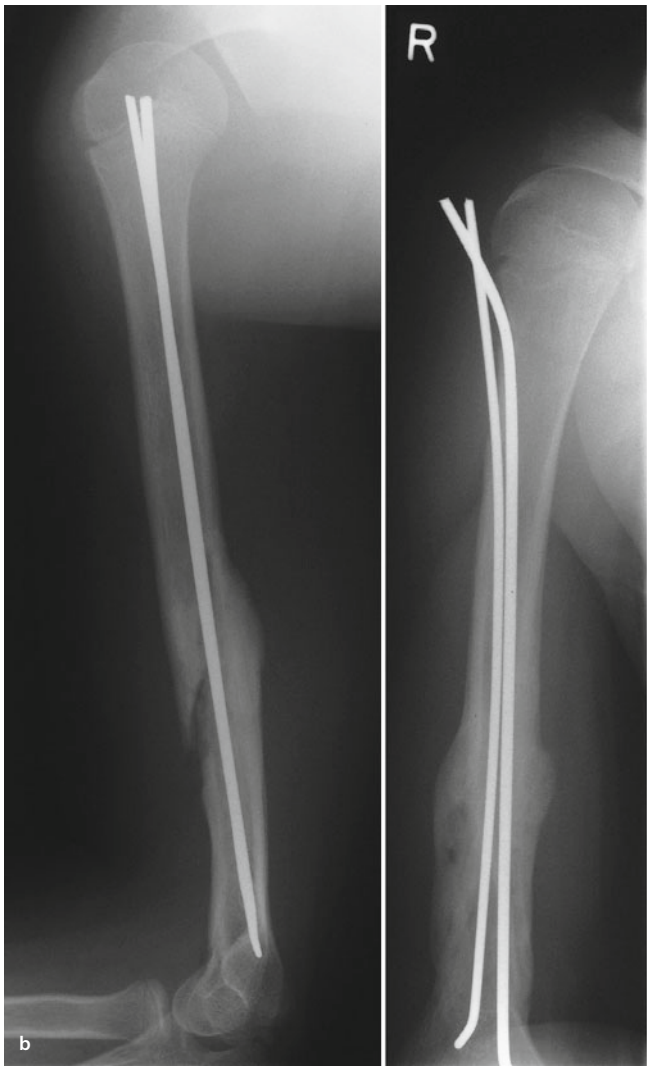


Abb. 12.11a,b Dislozierte Humerusschaftfraktur mit langer spiralförmiger Frakturlinie im proximalen Fragment. **a** Unfallbild. **b** Achsengerechte antegrade intramedulläre Nagelung und gute Heilung nach 4 Monaten

frei und die sportliche Aktivität wieder möglich. Die Metallentfernung wird nach vollständiger Konsolidierung und Remodellierung (2–3 Monate) ambulant durchgeführt, bei Zysten aber erst nach der Konsolidierung und möglichst weitgehenden Durchbauung der Zyste, ggf. auch erst nach 2–3 Jahren. Die Entfernung der Nägel kann nach der langen Zeit so schwierig sein, dass ein Belassen der Implantate zu überlegen ist. Die intramedulläre Osteosynthese ist am Humerus sehr komplikationsarm, wenn medial der N. ulnaris und lateral der N. radialis geschont werden. Prognose und Follow-up entsprechen den Angaben bei der konservativen Therapie (Dietz et al. 1997).

12.2.5 Ellenbogengelenkverletzungen

Suprakondyläre Humerusfrakturen

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist die häufigste Fraktur des Ellenbogens und umfasst 50–60% der knöchernen Verletzungen dieser Region. Prädilektionsalter ist das 3.–10. Lebensjahr mit einem Maximum bei den 5- bis 7-Jährigen. Unfallursache ist in der Regel der Sturz auf die Hand bei gestrecktem Ellenbogengelenk oder direkt auf das Gelenk. Klinisch steht – außer bei den undislozierten Frakturen – neben der schmerzhaft eingeschränkten

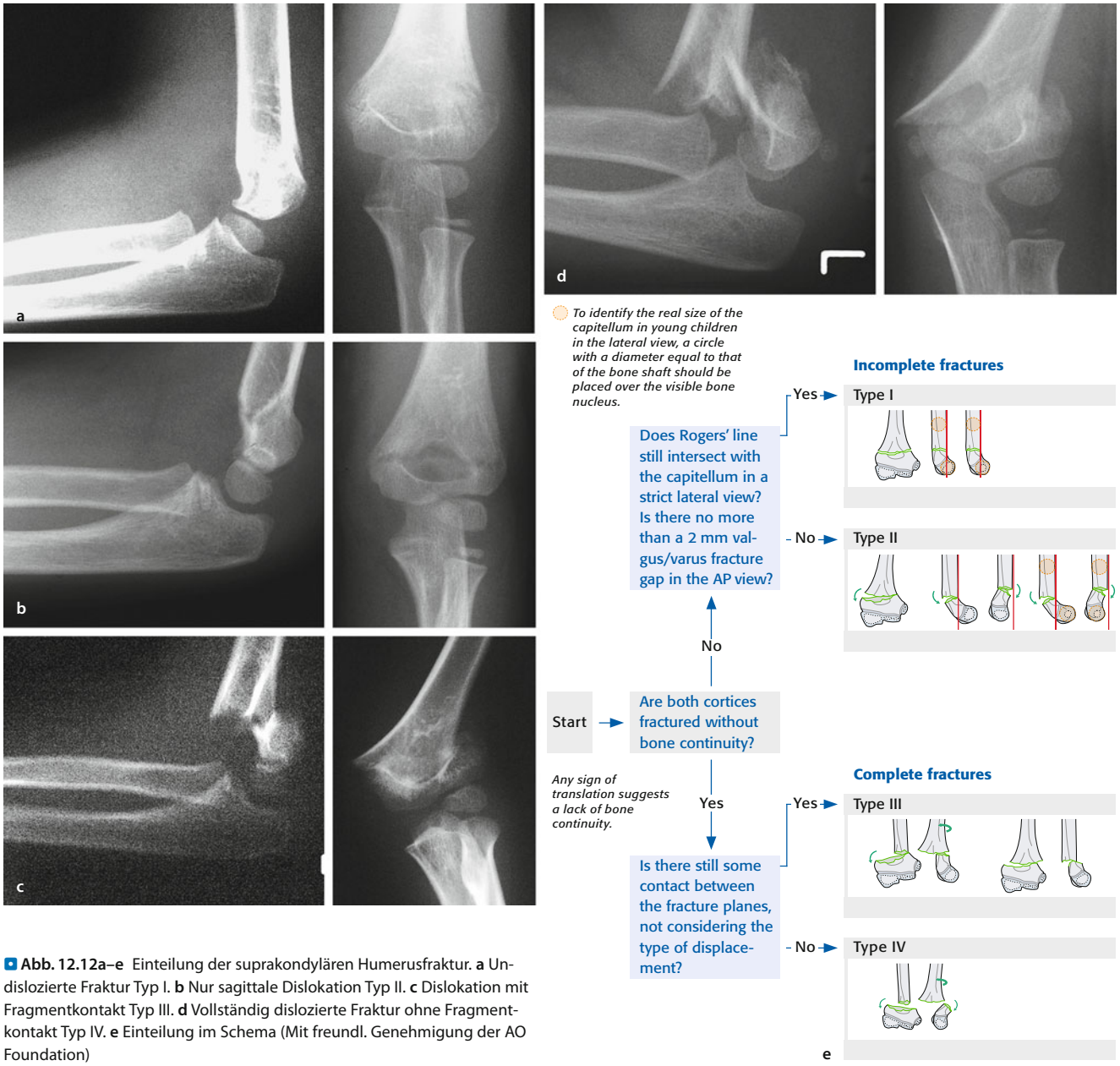


Abb. 12.12a–e Einteilung der suprakondylären Humerusfraktur. **a** Undislozierte Fraktur Typ I. **b** Nur sagittale Dislokation Typ II. **c** Dislokation mit Fragmentkontakt Typ III. **d** Vollständig dislozierte Fraktur ohne Fragmentkontakt Typ IV. **e** Einteilung im Schema (Mit freundl. Genehmigung der AO Foundation)

Beweglichkeit die massive Schwellung des Ellenbogens im Vordergrund, der Oberarm erscheint verkürzt. Zur Diagnostik erfolgt die konventionelle Röntgenaufnahme des Ellenbogens in 2 Ebenen. Nichtdislozierte Frakturen können leicht übersehen werden und sind ggf. an einer Abhebung des ventralen Gelenkfetts (fat pad) zu erahnen.

Wegen der häufigen neurovaskulären Begleitverletzungen sind immer periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität zu dokumentieren. Dabei gilt die Hauptsorge der A. brachialis und dem N. medianus, v.a. dann, wenn das distale Ende des proximalen Fragments diese ventral verlaufenden Strukturen gefährdet.

Suprakondyläre Humerusfrakturen sind Frakturen mit der Klassifikation 13-M/2-3. Sie werden in die Typen I (undisloziert), II (Dislokation nur in Ante- oder Rekurvation), III (Dislokation in 2–3 Ebenen mit Fragmentkontakt) und IV (Dislokation ohne Fragmentkontakt) eingeteilt (Abb. 12.12).

Zu differenzieren sind weiterhin die häufigen Extensionsfrakturen (95%) von den seltenen Flexionsfrakturen (5%).

Konservative Therapie

Die konservative Behandlung ist bei undislozierten (Typ I) und gering dislozierten Frakturen ohne Drehfehler (Typ II) sinnvoll. Frakturen mit Drehfehler und vollständig dislozierte Brüche sind so instabil, dass bei ausschließlicher Reposition und Retention das Risiko der Redislokation zu groß ist. Die Reposition einer Fraktur vom Typ II erfolgt durch Flexion des Ellenbogengelenks. Im Einzelfall kann dies in Analgosedierung gelingen. Zur Ruhigstellung wird eine dorsale Oberarmgipsschiene angelegt, beim Typ II in Flexionsstellung des Gelenks. Der Gips wird – bei guter Frakturstellung – nach 1 Woche zirkuliert und nach 4 Wochen abgenommen.

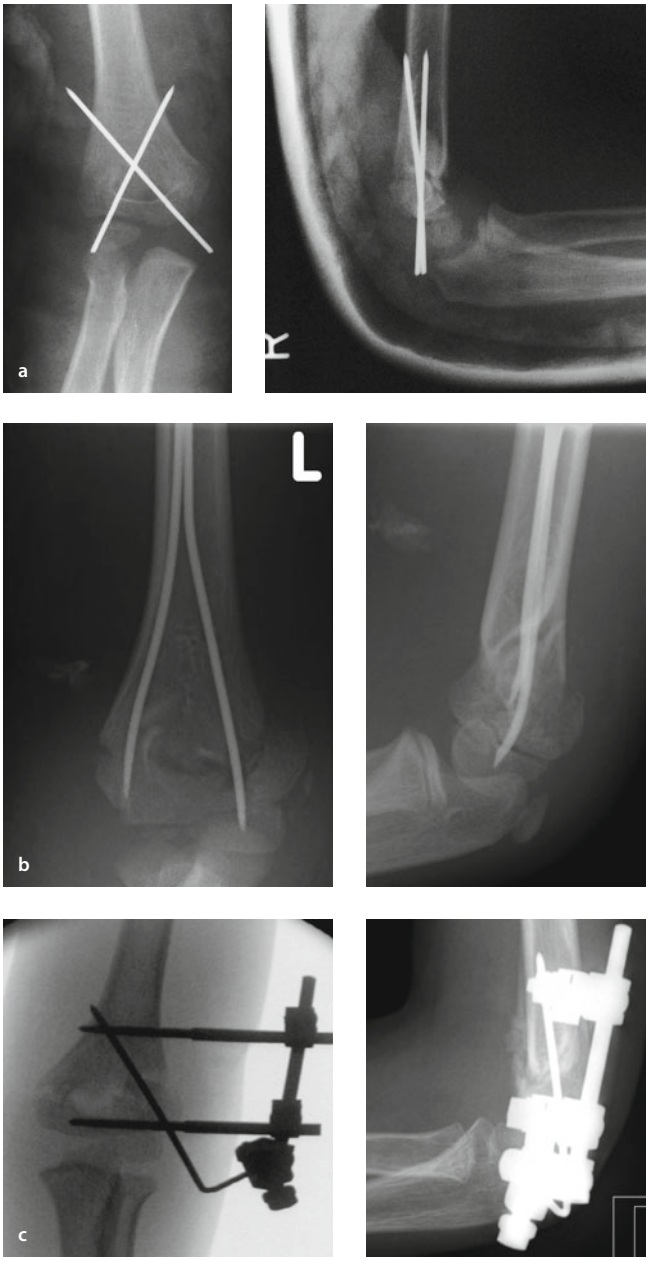


Abb. 12.13a–c Operative Versorgungsmöglichkeiten der suprakondylären Humerusfraktur. **a** Perkutane K-Draht-Osteosynthese. **b** Deszendierende intramedulläre Nagelung nach Metaizeau. **c** Radialer Fixateur externe

Eine Alternative stellt die Blount-Schlinge dar (cuff and collar, Fixation des Handgelenks am Hals). Die hierbei immer notwendige endgradige Flexion – ggf. in 2–3 Schritten – stabilisiert die Fraktur über das erhaltene dorsale Periost. Die Flexionshaltung erfordert in jedem Fall die sorgfältige Überwachung der peripheren Durchblutung wegen der Gefahr der Durchblutungsstörung mit nachfolgender Volkmann-Kontraktur.

Erscheint die Stabilität nach Reposition und Gips- oder Blount-Fixation fraglich, ist auch bei Typ-II-Frakturen eine Osteosynthese in Betracht zu ziehen. Bei jeder in Narkose reponierten Fraktur soll die Stabilität prinzipiell die Redislokation ausschließen lassen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 7 (Stellungskontrolle) – Tag 28 (Konsolidierung, Gipsabnahme, Freigabe).

Nach der Gipsabnahme darf sich das Kind »spontan« mobilisieren. Liegen nach 4–6 Wochen noch signifikante Bewegungseinschränkungen vor (Flexions- oder Extensionsdefizit >25°), wird krankengymnastische Übungsbehandlung verordnet. Dagegen kann zu frühe Krankengymnastik heterotope Ossifikationen hervorrufen.

An **Komplikationen** droht außer der Durchblutungsstörung vornehmlich die Redislokation mit Therapiewechsel zur Osteosynthese. Die Prognose der Frakturen Typ I und II ist jedoch grundsätzlich sehr gut. Kontrollen sind bis zum Wiedererlangen der vollen Ellenbogenbeweglichkeit sinnvoll, darüber hinaus aber nicht erforderlich.

Operative Therapie

Indikation zur Osteosynthese sind Frakturen vom Typ III und IV sowie nicht ausreichend stabile Typ-II-Frakturen. Die Verfahrenswahl ist in den letzten Jahren vielseitiger geworden. Neben die als Standard zu bezeichnende K-Draht-Osteosynthese sind die antegrade intramedulläre Nagelung sowie der radiale Fixateur externe getreten (Prevot et al. 1990, Schäffer et al. 2007, Slongo et al. 2008, Abb. 12.13).

Intramedulläre Nagelung und Fixateur externe haben den Vorteil, keine ergänzende Ruhigstellung zu benötigen, während die K-Draht-Osteosynthese als adaptierende Osteosynthese immer von einem Oberarmgips ergänzt wird. Die offene Reposition bleibt irreponiblen Frakturen vorbehalten. Die Versorgung der Typ-III- und -IV-Frakturen ist bei neurovaskulären Irritationen dringlich.

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist bei bestehender Gefäß- und/oder Nervenläsion als Notfall zu behandeln. Bei allen anderen Frakturen ist bei schmerzfreier Lagerung die Versorgung als »first case in the morning« eine Alternative zur Sofortbehandlung.

Die Reposition erfolgt meist in Rückenlage und mit ausgelagertem Arm, es ist jedoch auch die Versorgung in Bauchlage etabliert. Unter Zug am gebeugten Unterarm in Supination wird der Längenausgleich erzielt, die Fossa olecrani zeigt sich in der Durchleuchtung frei. Seit-zu-Seit-Verschiebungen können jetzt durch direkten Druck auf die Epikondylen, eine Abkippung nach dorsal durch Druck auf das Olekranon korrigiert werden. Als problematisch können sich Rotationsfehler herausstellen. Der Innenrotation des distalen Fragments kann durch die Supination, der häufigeren Außenrotation durch die Pronation entgegengewirkt werden. Da meist das dorsale Periost erhalten ist, lässt sich das Repositionsergebnis gut in Hyperflexion halten. In der a.p.-Durchleuchtung müssen sich die kortikalen Randkonturen bündig zeigen, im seitlichen Bild ist auf die Wiederherstellung der »Sanduhrfigur« sowie auf die physiologische Anteflexion des Kapitulum um 30–40° zu achten (Abb. 12.14).

Dabei ist die seitliche Durchleuchtung im radioulnaren Strahlengang wichtig, da nur so Drehfehler exakt zu verifizieren sind. Frakturen vom Typ III sind oft schwerer zu reponieren als die vollständig dislozierten vom Typ IV, bei denen gelegentlich das distale Fragment frei »manövriert« werden kann. Bei diesen Patienten ist dann jedoch das Periost vollständig zerrissen und das Repositionsergebnis lässt sich zur anschließenden Fixation schwer halten.

Die offene Reposition ist bei entsprechender Erfahrung selten erforderlich und erleichtert durch den Verlust der Weichteilführung die Retention nicht immer. Die Frage des Zugangs wird kontrovers diskutiert und individuell entschieden. Der dorsale Zugang schont alle neurovaskulären Strukturen, traumatisiert dafür aber die meistens unverletzten dorsalen Weichteile. Beim ventralen Zugang ist auf Nerven und Gefäße zu achten, man trifft direkt auf die

Abb. 12.14a,b Anatomisch exakte Reposition einer suprakondylären Humerusfraktur mit korrekter Anteflexion des Kapitulum. **a** Unfallbild mit vollständig dislozierter Fraktur. **b** Postoperative Aufnahme mit korrekter Rekonstruktion der medialen und lateralen Kontur, im seitlichen Bild kein Hinweis auf persistierenden Rotationsfehler

zu 95% nach ventral dislozierte Fraktur und bewegt sich im bereits traumatisierten Weichteil. Alternativ steht noch der laterale und/oder ulnare Zugang zur Verfügung (Schmittenbecher 2002).

K-Draht-Osteosynthese

Die K-Draht-Osteosynthese wird meist gekreuzt aszendierend vom Condylus radialis und Epicondylus ulnaris aus durchgeführt (Zionts et al. 1994). Nach erfolgter Reposition wird die Hyperflexion mit einem breiten Pflasterstreifen um Unter- und Oberarm fixiert und der Arm vom Assistenten gehalten. Der erste Draht (1,4–1,8 mm) wird über den Condylus radialis eingebracht, muss die Fraktur kreuzen und die Gegenkortikalis fassen. Jetzt tastet man den Epicondylus ulnaris, der auch bei starker Schwellung meist zu identifizieren ist, platziert den zweiten K-Draht auf die Epikondylusspitze und bohrt ihn vor, bis die Gegenkortikalis gefasst ist. Die Kreuzung der Drähte soll proximal der Fraktur liegen. Es ist streng darauf zu achten, dass der Draht nicht in den dorsal des Epikondylus gelegenen Sulcus n. ulnaris abrutscht und den Nerven schädigt. Gegebenenfalls kann der Arm nach Platzierung des radialen Drahts etwas gestreckt werden, damit der N. ulnaris nach hinten fällt, oder die Eintrittsstelle des Pins wird bei schlecht tastbarem Epikondylus über einen kleinen Schnitt freigelegt und der Nerv zur Seite gehalten. Zeigt die Durchleuchtung jetzt in beiden Ebenen eine anatomisch exakte Fixation, wird der Pflasterzügel durchtrennt und der Ellenbogen probeweise vollständig gestreckt. Anschließend werden die Drähte gekürzt und unter die Haut versenkt, oder man lässt sie einige Zentimeter herausstehen und muss bei der folgenden Anlage der dorsalen Oberarmgipsschiene entsprechende Gipsfenster freihalten.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (vor Metallentfernung).

Abb. 12.15 Unvollständige Reposition und Fixation einer suprakondylären Humerusfraktur mit deutlichem Drehfehler

Die Entfernung der Drähte erfolgt bei ausreichender Kallusüberbrückung nach 3–4 Wochen. Danach beginnt auch bei den operierten Patienten die spontane Mobilisation für 4–6 Wochen, bevor anhand des erreichten Bewegungsausmaßes und des Temperaments der Kinder über die Notwendigkeit einer krankengymnastischen Anleitung entschieden wird.

Komplikationen resultieren vornehmlich aus verbliebenen Rotationsfehlern. Der Rotationssporn als untrügliches Zeichen einer erheblichen Rotationsfehlstellung und die daraus resultierende Bewegungseinschränkung (Beugedefizit) können sich zwar weitgehend zurückbilden, die Fehlrotation führt jedoch zu einer Instabilität, die einen Kollaps in der a.p.-Ebene mit Varisierung, selten Valgisierung der Ellenbogenachse begünstigt (Abb. 12.15).

Der die Flexion behindernde Achsenknick einer verbliebenen Antekurvation verschiebt sich bis zum 7. Lebensjahr durch das Wachstum zum Schaft und verliert dadurch seine funktionelle Bedeutung. Gefäß-Nerven-Läsionen sind bei Typ-IV-Frakturen meist unfallbedingt, die Ulnarisläsion ist meistens iatrogen (Verletzung durch den perkutanen K-Draht). Während die pulslose und weiße Hand die schnellstmögliche Reposition und bei ausbleibender Erholung die umgehende Gefäßrevision ohne Angiografie erfordert, ist bei pulsloser, aber rosiger Hand das Abwarten nach der Fixation sinnvoll. Primäre (meist N. medianus) wie sekundäre (meist ulnare) Nervenläsionen sind in den meisten Fällen spontan rückläufig und bedürfen nur bei ausbleibenden klinischen Regenerationszeichen nach 6–12 Wochen der neurologischen und elektromyografischen Diagnostik und bei fehlenden Reinnervationszeichen nach 3–6 Monaten der operativen Revision.

Die Prognose der Typ-III- und -IV-Frakturen ist mit Vorsicht zu stellen. Die Verletzung bezieht oft Kollateralligamente und Gelenkkapsel mit ein und kann auch »weichteilbedingt« zu einer bleibenden Bewegungseinschränkung führen.

Kontrollen erfolgen zunächst bis zur vollständigen Beweglichkeit. Bei achsengerechter Ausheilung kann sie dann abgeschlossen werden. Verbliebene Achsenfehler oder funktionell relevante Bewegungsdefizite bedürfen weiterer Kontrolle, dabei sind größere Abstände von 3–6 Monaten sinnvoll, um den Eltern nicht durch zu kurze Intervalle eine rasche Ausheilung zu suggerieren. Korrekturen müssen sich bei konsolidierten Achsen- oder Bewegungsfehlern immer am Ausmaß der funktionellen und/oder kosmetischen Beeinträchtigung des Patienten orientieren (Laer et al. 1991).

Operative Alternativen

Operative Alternativen werden vornehmlich für die Platzierung der K-Drähte diskutiert. Zwei radiale, divergierende Pins können zwar das Risiko der Ulnarisläsion ausschließen, führen aber zu einer signifikant geringeren Versorgungsstabilität (Zionts et al. 1994). Die Überlegung, den »ulnaren« Pin deszendierend von der radialen Humerusmetaphyse aus zu platzieren, erhält die gekreuzte Fixation und reduziert ebenfalls das Risiko der Ulnarisverletzung, führt aber zu einem gewissen Risiko der N. radialis-Irritation. Wer grundsätzlich die Ruhigstellung vermeiden will, muss die antegrade intramedulläre Nagelung in Betracht ziehen. Die Nägel werden – vom proximalen lateralen Humerus subdeltoidal aus eingebracht – in divergierender Position vor der Fraktur platziert und nach der Reposition im distalen Fragment bis unter den Gelenkknorpel vorgeschlagen (Prevot et al. 1990, Schäffer et al. 2007). Die Versorgung erzielt eine sehr hohe Stabilität und gute frühfunktionelle Ergebnisse.

Der radiale Fixateur besteht aus je einer Schanz-Schraube pro Fragment, parallel zur Fraktur eingebracht, die wie »Joysticks« die Reposition ermöglichen. Nach Anlage der Längsstange wird die Rotation durch einen radialen schrägen K-Draht verhindert. Die Methode ist sehr stabil und kann die offene Reposition verhindern (Slongo et al. 2008). Beide Verfahren haben sich noch nicht als Standardprozeduren etabliert (Schmittenbecher 2002).

Kondyläre und epikondyläre Humerusfrakturen

Kondyläre Frakturen umfassen etwa 15% der Frakturen am Ellenbogen und kommen weit überwiegend am radialen Kondylus, selten ulnar oder als Y-Fraktur vor. Unfallursache ist der Sturz auf die gestreckte Hand oder das direkte Trauma. Abhängig vom Dislokationsausmaß ist der Ellenbogen einseitig deutlich geschwollen, die Kontur ist verstrichen. Die Röntgenaufnahme des Ellenbogens in 2 Ebenen erfordert eine subtile Analyse.

Abriss des Condylus radialis

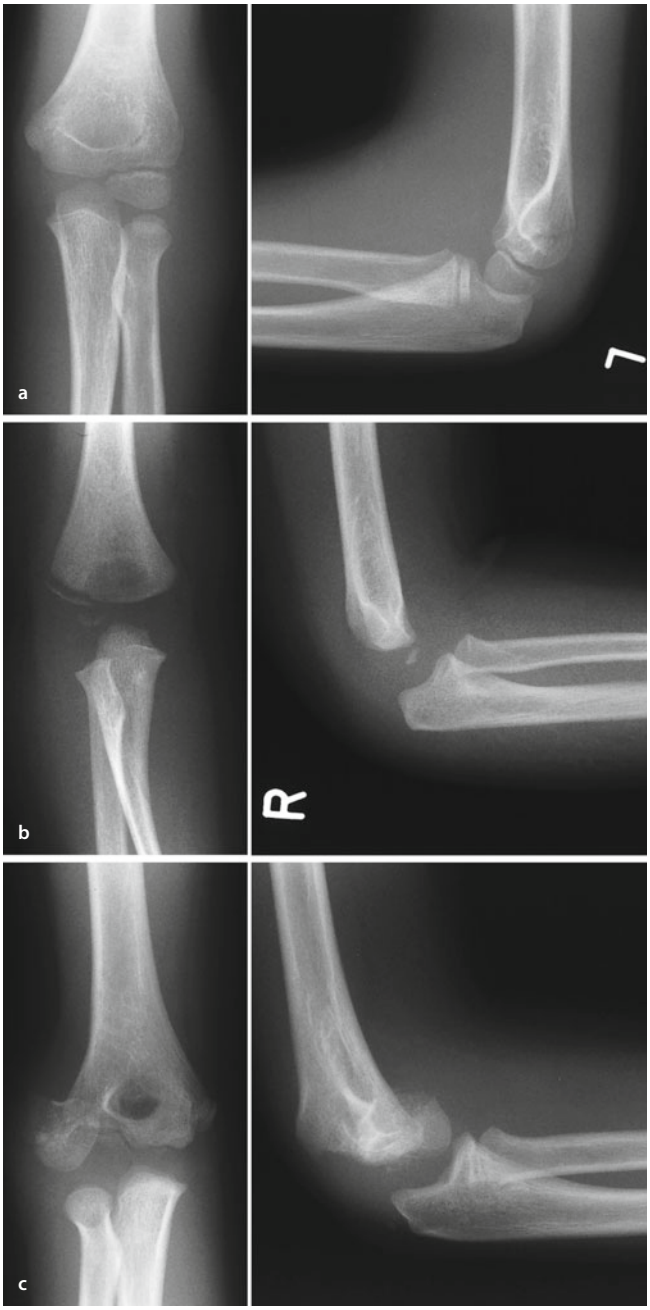
Die Frakturlinie verläuft im a.p.-Bild Bruchteile von Millimetern kranial der Epiphyse parallel zur Fuge, kann medial des Kapitulum die Gelenkfläche erreichen und dorsolateral ein unterschiedlich großes metaphysäres Fragment einbeziehen. Im seitlichen Bild scheint das Kapitulum nach ventral versetzt, das metaphysäre Fragment ist besser zu identifizieren. Die Fraktur wird dokumentiert als 13-E/4. Zu unterscheiden sind nichtdislozierte Frakturen, so genannte hängende Frakturen, bei denen die knorpelige Gelenkfläche nicht durchbrochen erscheint und die damit keine Gelenkstufe haben, sowie dislozierte Frakturen mit klaffendem Gelenkspalt (◘ Abb. 12.16).

Konservative Therapie

Inkomplette und damit stabile, nichtdislozierte und hängende, nur metaphysär »aufgeklappte« Frakturen können konservativ behandelt werden. Die Ruhigstellung erfolgt in der dorsalen Oberarmgipsschiene. Da bei den kondylären Ellenbogenfrakturen sekundäre Dislokationen immer möglich sind und eine Beteiligung der Gelenkfläche im konventionellen Röntgenbild nicht sichtbar und damit nicht sicher auszuschließen ist, erfolgt nach 4–7 Tagen die **gipsfreie** Röntgenkontrolle. Bei unveränderter Frakturstellung wird die Gipsruhigstellung für weitere 3 Wochen belassen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 – Tag 4/7 (Dislokation) – Tag 28 (Konsolidierung, Freigabe).

Nach Gipsabnahme wird die spontane Mobilisation über 2 Wochen abgewartet, dann ist meist die vollständige Beweglichkeit gegeben; nur selten erfordern größere Bewegungseinschränkungen bei den konservativ behandelten Frakturen eine physiotherapeutische Betreuung.



◘ **Abb. 12.16a–c** Frakturen des Condylus radialis. **a** Undislozierte Fraktur des Condylus radialis. **b** Lateral »hängende«, aber zentral nicht sicher dislozierte Fraktur. **c** Vollständig dislozierte Kondylus-radialis-Fraktur

Hauptkomplikationen sind das Übersehen einer sekundären Dislokation mit der Gefahr der Pseudarthrose und die durch Instabilität gegebene langdauernde Fugenstimulation mit resultierendem Cubitus varus (◘ Abb. 12.17). Werden diese Gefahren beachtet, ist die Prognose gut. Der vorzeitige partielle Fugenschluss ist bei undislozierten Frakturen selten.

Operative Therapie

Primäre oder sekundäre **zentrale** Dislokationen im Bereich des Gelenks erfordern die Osteosynthese. Diese erfolgt grundsätzlich offen und nicht perkutan, um eine sichere und kontrollierte epiphysäre Reposition zu erzielen, die radiologisch aufgrund des knorpeligen

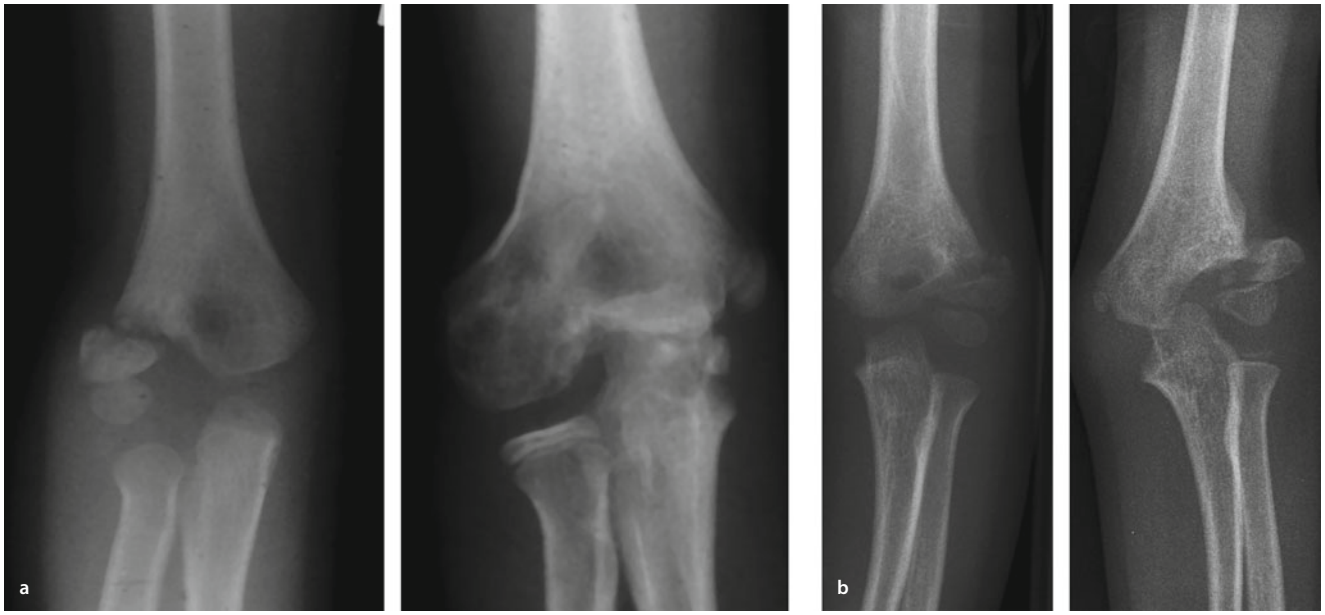


Abb. 12.17a,b Folgezustände nach konservativ behandelter instabiler Kondylusfraktur. **a** Hypertropher Kondylus mit Pseudovarus. **b** Pseudarthrose und Versetzung des Kondylus nach kranial

Status nicht verifiziert werden kann. Methode der Wahl ist – bei ausreichend großem metaphysärem Fragment – die Zugschraubenosteosynthese, die dann von dorsolateral nach ventral durch den metaphysären Teil platziert wird, da die Kapitulumfuge nicht von der Schraube gekreuzt werden darf. Bei kleinen Kindern kann dieses metaphysäre Fragment auf der Röntgenaufnahme aufgrund seiner unzureichenden Kalzifizierung unterschätzt werden und ist oft erst intraoperativ einzuschätzen. Alternative ist die K-Draht-Fixation transepiphysär. Der Eingriff sollte bei großer Dislokation dringlich, bei mäßiger Fragmentdistanz elektiv erfolgen.

Zugschraubenosteosynthese

Die Lagerung erfolgt auf dem Rücken, der Arm ist auf dem Handtisch ausgelagert. Nach Hautschnitt über dem dorsoradialen Ellenbogen dorsal des Kondylus wird das Fragment aufgesucht, die Gelenkkapsel sparsam eröffnet, sofern sie nicht rupturiert ist, die Frakturfläche gereinigt und die Fraktur reponiert (Mohan et al. 2000). Wegen der Ursprünge der Mm. supinator und extensor carpi radialis gelingt die Reposition meist besser in Supination und Flexion. Die Repositionszange fixiert das Fragment, nach Durchleuchtungskontrolle kann jetzt ein K-Draht von dorsolateral nach medioventral eingebracht und die Kleinfragment-Zugschraube mit kurzem Gewinde als durchbohrte Schraube implantiert werden. Sie soll oberhalb der Fossa olecrani verlaufen und muss immer die ventrale Kortikalis fassen, um die Frakturfläche im rechten Winkel zu komprimieren. Meist ist keine Unterlegscheibe notwendig. Nach Entfernen der Repositionszange kann bei großen Fragmenten ein zusätzlicher epiphysärer K-Draht als Rotationsschutz eingebracht werden, ist jedoch meist nicht notwendig (Abb. 12.18).

Bei einem sehr kleinen Kind oder fehlendem metaphysärem Anteil werden 2 K-Drähte gekreuzt oder divergierend (nicht parallel) ebenfalls bis in die Gegenkortikalis eingebracht. Sie werden gekürzt, umgebogen und subkutan platziert (Abb. 12.18b).

Die Ruhigstellung erfolgt in der dorsalen Oberarmgipsschiene für 3–4 Wochen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Metallentfernung K-Drähte, Freigabe Schraube) – Tag 42/56 (Metallentfernung Schraube).

Die Mobilisation erfolgt nach K-Draht-Fixation in Analogie zur konservativen Behandlung. Bei den Zugschrauben wird nach 4 Wochen spontan mobilisiert, die Metallentfernung ist nach 6–8 Wochen zu planen. Operierte Frakturen sollten nach 6 und 12 Monaten funktionell nachkontrolliert werden. Selten tritt nach Kondylus-radialis-Abriss ein partieller Fugenverschluss mit Cubitus valgus auf. Häufiger und abhängig von der Instabilität der Fixation und damit von der Konsolidierungsdauer ist die radiale Stimulation mit Cubitus varus. Für die Prognose ist folglich die Erzielung einer Fragmentkompression von großer Bedeutung (Laer 1996). Kommt es im Rahmen der Heilung lediglich zu einer Vergröberung des radialen Kondylus, fällt der Pseudo-Cubitus varus klinisch auf, hat aber kein radiologisches Korrelat.

Abriss Epicondylus ulnaris

Es handelt sich um eine Apophyse ohne Relevanz für das Längenwachstum. Die Frakturen machen 10% der Ellenbogentraumen aus und kommen überwiegend im Rahmen von – oft spontan reponierten – Ellenbogenluxationen, sonst selten nach direktem Trauma vor. Der Ellenbogen zeigt eine ulnar betonte Schwellung. Die Röntgenaufnahme in 2 Ebenen stellt den Apophysenabriss dar, das Fragment kann erheblich distrahiert sein und intraartikulär zu liegen kommen. Auf mögliche Begleitverletzungen wie Radiushalsfrakturen oder knöcherne Kollateralbandausrisse ist zu achten. Die Fraktur wird als 13-M/9 klassifiziert.

Konservative Therapie

Undislozierte Frakturen können bei fehlender ulnarer Seitenbandinstabilität konservativ behandelt werden. Nach Anlage einer dorsalen Oberarmgipsschiene wird nach 3–4 Wochen freigegeben und danach spontan mobilisiert.

Röntgenkontrollen: Tag 0 – Tag 7 (Dislokation) – Tag 28 (Freigabe).

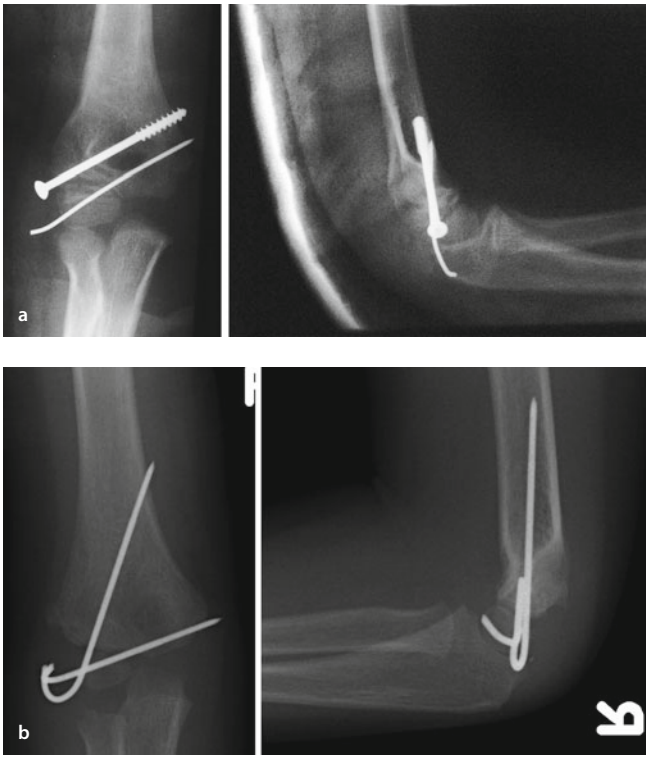


Abb. 12.18a,b **a** Kondylus-radialis-Abriss (Unfallbild Abb. 12.16c). Versorgung mit metaphysärer Zugschraube und epiphysärem K-Draht. **b** Kleinkind mit kleinem Fragment und K-Draht-Fixation

Eine krankengymnastische Übungsbehandlung ist nur bei anhaltender Bewegungseinschränkung nach mehr als 4–6 Wochen notwendig. Die sehr seltenen **Komplikationen** (Pseudarthrosen, Konsolidierung am falschen Platz) führen meist zu keinen oder nur geringen funktionellen Einschränkungen, die Prognose ist entsprechend gut. Nachkontrollen sind bei gegebener Funktion entbehrlich.

Operative Therapie

Dislozierte Epikondylen werden elektiv operativ refixiert. Die oft erhebliche Dislokation ist durch die ulnare Flexorengruppe bedingt und kann die Reposition erschweren. Der Zugang erfolgt ulnar, der N. ulnaris wird immer dargestellt, der Epikondylus reponiert und mit K-Drähten (1,4 mm) oder einer durchbohrten Kleinfragment-Spongiosazugschraube fixiert. Eine Fragmentsprengung ist zu vermeiden, ggf. muss der Führungs-K-Draht »inside-out« exakt zentral im knöchernen Fragment platziert werden oder der Schraubenweg wird vorgebohrt. Wegen des kleinen Fragments ist meist keine Übungsstabilität zu erzielen, sodass eine Gipsruhigstellung für 3–4 Wochen erfolgt.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Konsolidierung, Metallentfernung K-Drähte) – Tag 42/56 (Metallentfernung Schraube).

Mobilisation und Nachbehandlung entsprechen der konservativen Behandlung.

Olekranonfrakturen

Olekranonfrakturen entstehen zur Hälfte isoliert in der Folge direkter Traumen, zur anderen Hälfte im Rahmen komplexer Ellenbogengelenkverletzungen mit Radiushals- und epikondylären Humerusfrakturen und/oder nach Ellenbogengelenkluxationen. Die dorsal betonte, deutliche Schwellung sowie das Hämarthros des Ellenbogengelenks deuten auf die Verletzung hin, die in der konventionellen Röntgenaufnahme in 2 Ebenen diagnostiziert wird.

Bei Kleinkindern muss bedacht werden, dass die spät ossifizierenden, oft multizentrischen Knochenkerne der Olekranonapophyse das Erkennen der Fraktur erschweren. Teilweise ist nur eine schmale dislozierte Knochenlamelle sichtbar.

Die Klassifikation beschreibt die Frakturen als 21-M/2 oder 3, wobei intra- und extraartikuläre, quere oder schräge Frakturverläufe zu differenzieren sind. Die Klassifikation als metaphysäre Fraktur zeigt, dass Wachstum und Wachstumsstörung hier keine Rolle spielen.

Konservative Therapie

Undislozierte Frakturen werden im Oberarmgipsverband ruhiggestellt. Sekundäre Dislokationen durch den Zug der Trizepssehne sind vornehmlich bei den intraartikulären Querfrakturen möglich und machen die Röntgenkontrolle nach einer Woche notwendig. Die Konsolidierung ist altersabhängig nach 3–4 Wochen zu erwarten.

Röntgenkontrollen: Tag 0 – Tag 7 (Stellungskontrolle) – Tag 21/28 (Konsolidierung, Freigabe).

Die Mobilisation erfolgt spontan. Bei voller Funktion wird die Betreuung beendet.

Operative Therapie

Dislozierte intraartikuläre Frakturen erfordern die Wiederherstellung der Gelenkfläche, bei extraartikulären Frakturen macht die Varustendenz mit daraus resultierenden Pro- und Supinationseinschränkungen immer eine exakte Reposition und Fixation notwendig. Die Versorgung erfolgt elektiv.

Zuggurtungsosteosynthese

Verfahren der Wahl für die intraartikulären Querfrakturen ist die klassische offene Zuggurtung in der auch beim Erwachsenen angewandten Technik. Die Versorgung erfolgt vorteilhaft in Bauchlage, alternativ in Rückenlage mit über den Körper gelegtem Arm. K-Drähte der Stärke 1,4–1,8 mm und eine Drahtcerclage von 0,8–1 mm Durchmesser sind adäquat. Je jünger das Kind, umso mehr ist man überrascht, wie weit die umgebogenen Drahtenden in der abschließenden Durchleuchtung vom knöchernen Olekranon entfernt scheinen, da das Olekranon noch überwiegend knorpelig ist (in diesen Fällen reicht ggf. die K-Draht-Fixation ohne die Cerclage). Wird eine undislozierte intraartikuläre Fraktur im Rahmen einer komplexen Ellenbogenverletzung mit stabilisiert, ist ggf. auch eine Zugschraube durch das Olekranon alternativ ausreichend. Eine Gipsschiene bis zur Wundheilung kann – je nach Temperament – sinnvoll sein, dann ist die freie Bewegung indiziert. Röntgenkontrollen erfolgen intraoperativ, zur Konsolidierung und vor der Metallentfernung (Tag 0 – Tag 28 – Tag 56). Die Beweglichkeit sollte bei Konsolidierung annähernd vollständig gegeben sein. **Komplikationen** entstehen nur bei verbliebenen Gelenkstufen. Bei freier Funktion endet die Behandlung mit der Metallentfernung.

Zugschraubenosteosynthese

Extraartikuläre Schrägfrakturen können mit durchbohrten Kleinfragmentzugschrauben mit kurzem Gewinde fixiert werden. Eine ergänzende Gipsruhigstellung ist für 4 Wochen erforderlich, dann beginnt bei radiologisch gesicherter Konsolidation die spontane Mobilisation. Auch hier ist die Metallentfernung nach etwa 8 Wo-

chen zu planen. Verbleibende Varusfehler können in der Folge zu Einschränkungen der Umwendbewegungen führen. Eine krankengymnastische Übungsbehandlung kann hier keine Verbesserung erzielen.

Da es kaum eine Spontankorrektur gibt, ist die entscheidende Vorsorge eine exakte Achsenkorrektur bei der Osteosynthese.

Kann in der a.p.-Ansicht die proximale Ulnaachse zur Verschraubung nicht korrekt rekonstruiert werden, ist als Alternative sehr selten eine intramedulläre Nagelung von distal mit nach medial gerichtetem Spannungsbogen zu erwägen. Beachtet werden muss in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass extraartikuläre Olekranonfrakturen mit Varusfehler einen Monteggia-Mechanismus darstellen können. Es muss deshalb ergänzend auf die exakte Position des Radiuskopfs geachtet werden.

Radiushalsfrakturen

Frakturen am proximalen Radius entstehen ausschließlich durch indirekte Mechanismen. Das proximale Fragment wird entweder beim Sturz auf die Hand bei gestrecktem Ellenbogengelenk oder durch hypervalgisierende Traumen am radialen Kondylus des Humerus abgeschert. Klinisch liegen Schwellungen am proximalen Radius und wegen der intraartikulären Lage der proximalen Radiusmetaphyse oft Gelenkergüsse vor, Pro- und Supination sind eingeschränkt. Die Diagnostik erfolgt durch die Röntgenaufnahme des Ellenbogens in 2 Ebenen mit Einzeichnung des Epiphysenachsenwinkels (Abb. 12.19).

Je kleiner das Kind ist, umso mehr ist nach diskreten Hinweisen auf eine metaphysäre Konturunregelmäßigkeit oder eine Dezentralisierung des Epiphysenkerns zu fahnden. Entgegen des Sprachgebrauchs handelt es sich beim Kind fast nie um Radiuskopf-, also epiphysäre Verletzungen, sondern zu einem Drittel um Epiphysenlösungen mit oder ohne metaphysären Keil (21-E/1 oder 2) sowie zu zwei Dritteln um metaphysäre Frakturen (21-M/2 oder 3). Frakureinteilungen nach Judet oder anderen Autoren sind, da sie nicht auf die altersbedingt unterschiedlichen Regenerationspotenziale eingehen, weniger hilfreich. Die AO subklassifiziert Typ I (keine Dislokation), II (Dislokation um <0,5 der Frakturfläche) und III (Dislokation >0,5 der Frakturfläche).

Der proximale Radius ist durch eine besondere Gefäßversorgung charakterisiert. Die Blutversorgung der Epiphyse erfolgt ausschließlich über metaphysäre periostale Gefäße, die in die Gelenkkapsel eintreten und dort einen vaskulären Ring bilden.

Die Durchblutung ist durch die metaphysären Frakturen hochgradig gefährdet. Es muss Ziel jeder Behandlung sein, die verbliebenen periostalen Verbindungen zu schonen und damit das Überleben der Epiphyse zu sichern.

Da dies bei der offenen Reposition und Fixation kaum möglich ist, sind die schlechten Ergebnisse dieses Behandlungsverfahrens einleuchtend. Unabhängig vom Behandlungsverfahren können Verplumpungen des Radiuskopfs durch lokale und passagere Ischämien auftreten und zu Funktionsstörungen führen. Außerdem ist in die Therapieplanung einzubeziehen, dass sich vor dem 10. Lebensjahr Abkippungen des Radiuskopfs durch eine rein epiphysäre Aufrichtung bis zu 30° spontan korrigieren können.

Konservative Therapie

Frakturen bis zur Verschiebung um eine halbe Schaftbreite, bis zur Abkippung um 30° und bis zum 10. Lebensjahr können im Oberarmgips für 3–4 Wochen ruhiggestellt und dann mobilisiert

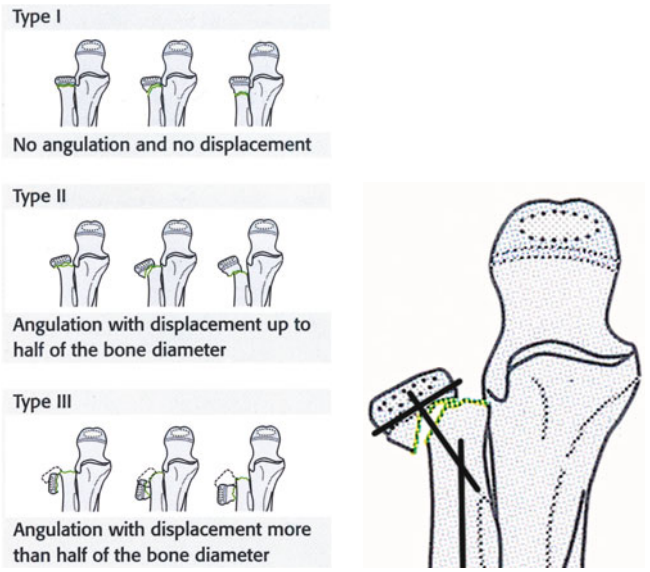


Abb. 12.19 Radiushalsfrakturen mit AO-Subklassifikation, eingezeichnet Epiphysen-Achsen-Winkel. (Mit freundl. Genehmigung der AO-Foundation)

werden. Jenseits des 10. Geburtstags wird empfohlen, Fehlstellungen über 10-20° nicht zu belassen. Der Vorteil der freien Bewegung ist bei diesen Frakturen groß, sodass die Reposition in Narkose mit anschließender Gipsruhigstellung zugunsten der Fixation vermieden werden sollte.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 7 (Stellung) – Tag 21/28 (Konsolidierung).

Nach Gipsabnahme erfolgt die spontane Mobilisation. Krankengymnastik ist nur bei hartnäckiger weichteilbedingter Bewegungshemmung indiziert.

Verbleibende Fehlstellungen über 20° nach Abschluss der spontanen Aufrichtung des Radiuskopfs führen zu definitiven Einschränkungen der Umwendbewegungen von individuell unterschiedlichem funktionellem Ausmaß. Alle schwerwiegenderen **Komplikationen** treten vornehmlich nach stark dislozierten Frakturen auf und sollen im Zusammenhang mit der operativen Therapie diskutiert werden. Die Prognose quoad functionem ist nach richtig indizierter konservativer Behandlung in >80% sehr gut bis gut. Die Notwendigkeit operativer Korrekturen – wie unten diskutiert – sollte die absolute Ausnahme darstellen. Die Nachbehandlung kann mit Erreichen der vollen Funktion beendet werden.

Operative Therapie

Eine Osteosynthese ist bei jeder proximalen Radiusfraktur mit einer Abkippung >30° indiziert, darüber hinaus bei Kindern über 10 Jahren auch zwischen 15 und 30°. Methode der Wahl ist die intramedulläre Osteosynthese mit einem vom distalen Radius aus eingebrachten Nagel nach Metaizeau als geschlossenes Verfahren, das jegliche weitere Traumatisierung und Durchblutungsbeeinträchtigung im Frakturbereich vermeidet und die Eröffnung der Gelenkkapsel umgeht (Metaizeau et al. 1993). Die Versorgung erfolgt dringlich, um möglichst schnell die Durchblutungsverhältnisse des proximalen Radius zu verbessern.

Intramedulläre Osteosynthese

Die Lagerung erfolgt auf dem Rücken, den Arm auf dem Handtisch ausgelagert. Nach 2–3 cm langer Hautinzision über dem distalen Radius, Darstellung des R. superficialis n. radialis und An-

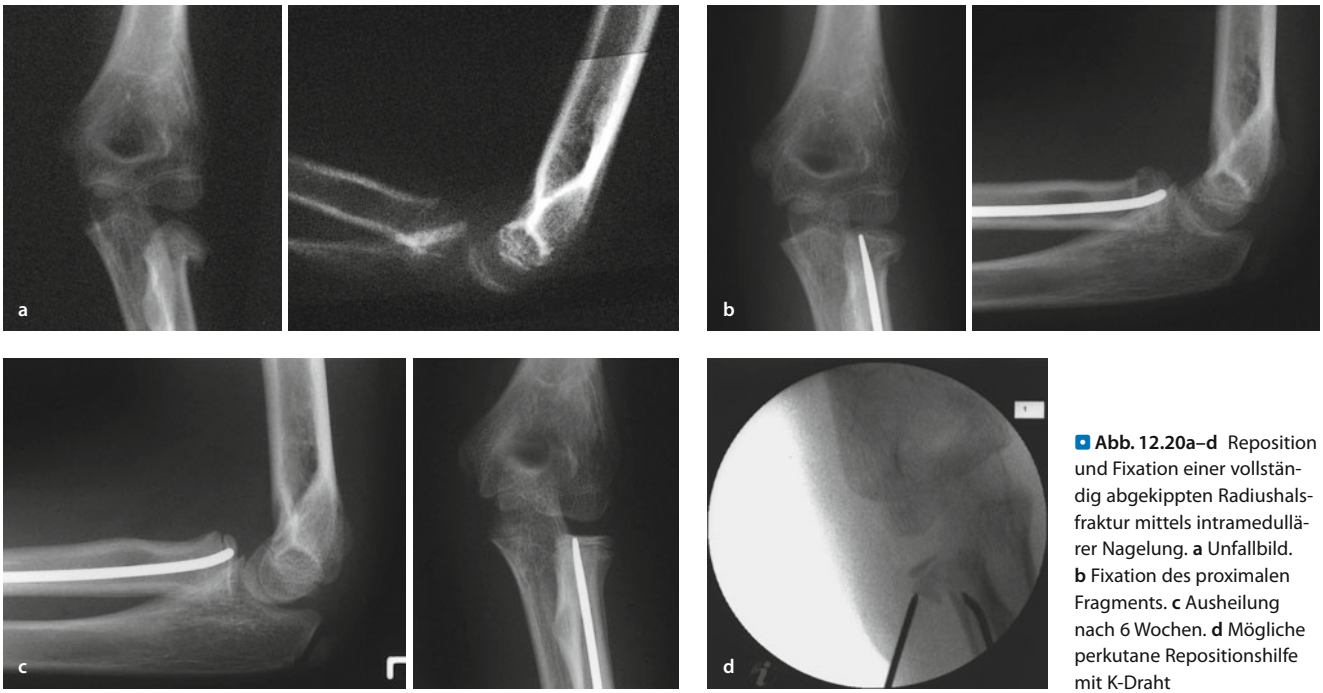


Abb. 12.20a–d Reposition und Fixation einer vollständig abgekippten Radiushalsfraktur mittels intramedullärer Nagelung. **a** Unfallbild. **b** Fixation des proximalen Fragments. **c** Ausheilung nach 6 Wochen. **d** Mögliche perkutane Repositionshilfe mit K-Draht

legen eines schrägen Kortikalisbohrlochs mit dem kleinen Pfriem, wird ein angespitzter Nagel der Stärke 2–2,5 mm im Radius bis zur Fraktur vorgeschoben. Die abgeschrägte Nagelspitze wird in der Ebene der größten Fehlstellung ausgerichtet. Jetzt wird unter Varusstress der Radiuskopf mittels Daumendruck aufgerichtet, damit er mit der Nagelspitze aufgefädelt werden kann. Der Nagel muss die Fuge überschreiten, das Fragment durch vorsichtigen Vorschub desimpaktieren und dann in der Epiphyse platziert werden, da proximal oft nur ein sehr kleines metaphysäres Fragment vorliegt. Die Nagelspitze wird nun zur Ulna hin gedreht, dabei wird den Radiuskopf in seine anatomische Position zurückgeführt. Zeigt sich unter Durchleuchtung die Reposition stabil, kann der Nagel gekürzt und subkutan versenkt werden.

Selbst vollständig dislozierte Frakturen lassen sich auf diese Weise fixieren. Gelingt die Aufrichtung des Radiuskopfs durch den externen Daumendruck nicht ausreichend, um das Fragment mit dem Nagel fassen zu können, so nimmt man einen perkutanen K-Draht zur Hilfe, der den abgekippten Radiuskopf aufzurichten hilft (Abb. 12.20).

Der Pin greift direkt an der Epiphyse an und soll nicht in der Frakturebene manipulieren. Er wird dabei durch das laterale Periost eingestochen, das die wenigen intakten Blutgefäße erhält. Das Manöver sollte deshalb nicht wiederholt erfolgen. Ist die Reposition geschlossen unmöglich, besteht die Möglichkeit, über einen dorsoradialen Zugang die Gelenkkapsel aufzusuchen und dann transkapsulär die Reposition zu versuchen.

Eine Ruhigstellung kann bis zur Schmerzfreiheit sinnvoll sein, ist aber von Seiten der Osteosynthese nicht erforderlich.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (Konsolidierung) – Tag 42/60 (Metallentfernung).

Die frühzeitige freie Mobilisation verhindert langanhaltende Bewegungseinschränkungen, sodass in der Regel keine physiotherapeutische Nachbehandlung notwendig wird.

Je ausgeprägter die primäre Fehlstellung ist, desto größer ist die frakturbedingte Ischämie. Abhängig davon kann es zu Verplumpungen des Radiuskopfs mit resultierenden Einschränkungen der Pro- und Supination, Pseudarthrosen, epiphysären Nekrosen, intraartikulären Ossifikationen, Synostosen und Wachstumsstörungen kommen. Die Zahl dieser **Komplikationen** hat seit Einführung der intramedullären Fixation deutlich abgenommen. Waren bei Dislokationen über 60° nach offener Reposition in 40–50% der Fälle schlechte Ergebnisse zu konstatieren, hat sich dieser Anteil auf 11% reduziert (Metaizeau et al. 1993). Die Prognose dieser Fraktur ist somit durch die intramedulläre Nagelung deutlich besser geworden. In den verbleibenden Fällen muss man sich nach funktionellen Gesichtspunkten richten, ggf. ist die Resektion einer Prothesenimplantation vorzuziehen, ein Korrektureingriff wenn immer möglich aufzuschieben. Grundsätzlich sollten die Patienten bis 2 Jahre nach dem Unfall kontrolliert werden, um funktionelle Spätresultate zu erheben.

Offene, so genannte blutige Repositionen sind zu vermeiden. Die perkutane K-Draht-Fixation oder die transartikuläre Witt-Fixation sind aufgrund ihrer Instabilität bzw. der Bruchgefahr abzulehnen, für Miniplatten und Minischrauben gibt es im Kindesalter keine Indikation.

12.2.6 Unterarmschaftfrakturen

Über ein Drittel aller Frakturen im Kindesalter betreffen den Unterarm, davon jedoch nur jede vierte den diaphysären Abschnitt. An der Diaphyse nimmt die Häufigkeit von proximal nach distal deutlich zu. Es überwiegen indirekte Unfallmechanismen mit Stürzen auf den gestreckten Arm, seltener sind direkte Traumen im Sinne von Parierfrakturen. Die Klinik wird von der sichtbaren Fehlstellung und der schmerzhaften Funktionseinschränkung bestimmt. Die Röntgenaufnahme in 2 Ebenen lässt den Frakturtyp und das Ausmaß der Dislokation einschätzen. Die Frakturen sind dem Abschnitt 22 zuzuordnen. Sie treten als isolierte Radiusfrakturen, isolierte Ulnafrakturen mit (Monteggia-Fraktur) und ohne proximale Radiusluxation oder als Unterarmfrakturen auf. Es müssen die vollständigen Frakturen (quer oder schräg; D/4 oder 5) von

den Grünholzbrüchen (Biegungsfraktur, Periost und evtl. Kortikalis stehen einseitig, Dislokation ad axim, D/2) differenziert werden. Die Monteggia-Fraktur wird als 22-D/6 kodiert.

Konservative Therapie

Alle undislozierten Frakturen werden im Oberarmgips ruhiggestellt. Achsenfehler bis zu 10° in einer Ebene können bei entsprechender Absprache mit den Eltern primär in der Gipsschiene fixiert, nach einer Woche zirkuliert und dann evtl. gekeilt werden. Die Keilung eines Knochens gegen den unverletzten anderen Knochen ist im Einzelfall nur eingeschränkt möglich (v.a. dann, wenn sich der Achsenfehler in der a.p.-Aufnahme dokumentiert) und darf in ihrer Effektivität nicht überschätzt werden.

Jede andere dislozierte Fraktur bedarf der Reposition. Am Unterarm ist immer ein Repositionsversuch indiziert. Vollständig dislozierte Frakturen lassen sich manchmal überraschend gut reponieren, vermeintlich leicht reponible Frakturen stellen sich als irreponibel dar.

Grundsätzlich muss bei einer Reposition in Narkose die Möglichkeit der Osteosynthese in gleicher Anästhesie gegeben sein, um eine primär definitive Behandlung zu erzielen.

Reposition

Grünholzfrakturen befinden sich grundsätzlich in einer dislocatio ad axim, können jedoch nicht verkürzen. Es wird häufig empfohlen, die Frakturen vollständig durchzubrechen, damit es nicht auf der Zuggurtungsseite (Seite des erhaltenen Periosts) zur vorzeitigen, auf der konvexen Seite jedoch zur verzögerten Konsolidierung mit dem Risiko einer Refraktur kommt. Diese Überlegung ist einleuchtend, bei diesem Vorgehen ist jedoch zu vermeiden, durch Periostzerreißung aus einer relativ stabilen eine instabile Fraktur mit der Gefahr der dislocatio ad longitudinem zu machen. Ziel ist es, die konvexe Seite unter Kompression zu setzen. Dies gelingt bei distalen, nach dorsal abgeknickten Schaftfrakturen durch die Handgelenkflexion besser, da die gespannten Strecksehnen stabilisierend wirken. Unbedingt muss die Gipsschiene gut anmodelliert werden, im Einzelfall kann eine ergänzende Keilung nach einer Woche eingeplant werden.

Bei vollständigen Frakturen des Radius, der Ulna oder des Unterarms entscheiden der Frakturverlauf und die Art der Dislokation über die Effektivität der konservativen Therapie. Querfrakturen werden bei guter Relaxierung unter Zug und Gegenzug aufeinander gestellt, oft ist die Wiederholung oder sogar »Überbetonung« des Frakturmechanismus notwendig, um die Bruchflächen in Kontakt zu bekommen. Verbleibende Seitverschiebungen bis zu einer halben Schaftbreite haben keine Bedeutung. Die Ruhigstellung erfolgt in 90°-Beugung des Ellenbogens und in Neutralstellung des Unterarms, die Gipsschiene wird gut anmodelliert. Vor allem im Bereich der Membrana interossea sollte durch Druck beider Daumen eine gute Aufspannung versucht werden.

Schrägfrakturen des Radius tendieren zur Valgusfehlstellung, entsprechende Ulnafrakturen zum Varusfehler. Bei Unterarmfrakturen sind Kalibersprünge eines Knochens auf Frakturhöhe, unterschiedliche Fehlstellungsrichtungen oder die Achsenabweichung eines Knochens bei achsengerechter Stellung des anderen Hinweise auf einen Rotationsfehler. Die Reposition erfolgt wie bei der Querfraktur, oft ist jedoch keine gute Reposition zu erzielen, da die Frakturflächen aneinander abgleiten, oder aber die Retention des Repositionsergebnisses ist auch mit gut anmodelliertem Gips unmöglich.

Verbleibt ein Rotationsfehler, überschreitet die residuale Achsknickung 10° oder ist die Retention unmöglich, ist der konservative Therapieversuch gescheitert und die Osteosynthese muss angeschlossen werden. Die Unterarmfraktur ist jetzt wie eine Gelenkfraktur zu betrachten, da relevante Einschränkungen der Rotationsbewegungen im Radioulnargelenk drohen (Schlickewei und Oberle 2005, Weinberg et al. 2001).

Nachrepositionen dürfen nicht einkalkuliert werden: Verhindert die Frakturdynamik die Retention, ist dies auch einige Tage später nicht anders!

Ulnaschaftfrakturen müssen immer auf eine begleitende proximale Radiusluxation hin kontrolliert werden. Vor allem dann, wenn die Ulna in Varusstellung dislociert ist, kann der Radius aus dem Ligamentum anulare herausgedrängt werden. Die Röntgenaufnahme muss den Ellenbogen in exakter seitlicher Projektion mit abbilden. Kann die Ulna anatomisch reponiert werden und kommt es dabei auch zur Korrektur der Luxation, verläuft die konservative Behandlung wie bei der isolierten Ulnafraktur. Handelt es sich jedoch um eine Grünholzfraktur der Ulna, dann federt sie oft in die primäre Fehlstellung zurück und die Luxation persistiert. In diesen Fällen ist ein operatives Vorgehen erforderlich.

Gipskeilung

Gipsverbände können bei größeren Kindern ohne Analgosedierung gekeilt werden, bei Kleinkindern ist oft zumindest eine Sedierung oder Prämedikation hilfreich. Bei zirkuliertem und 24 h ausgehärtetem konventionellem Gipsverband wird unter Durchleuchtung die Ebene der größten Achsenabweichung eingestellt. Dem konvexen Gipfelpunkt gegenüber liegend erfolgt eine Markierung. Mit dieser Markierung als Zentrum wird der Gipsverband semizirkulär aufgesägt und dann aufgespreizt. Die zuvor am Gips aufgezeichneten Achsen der Fragmente stellen sich im Idealfall orthograd ein. Dies wird mittels Durchleuchtung überprüft und dokumentiert und durch das Verklemmen eines kleinen Holz- oder Korkstücks in den Gipsspalt aufrecht erhalten. Eine Gipsbinde stabilisiert den Verband erneut.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (Repositionsergebnis) – Tag 7/8 (Stellungskontrolle und/oder Dokumentation des Keilungsergebnisses) – Tag 28/35 (Konsolidierung).

Ist primär oder nach einer Reposition die Keilung fest eingeplant, muss zuvor keine zusätzliche Röntgenaufnahme erfolgen. Es wird erst das Ergebnis der Keilung dokumentiert. In allen anderen Fällen dient die Stellungskontrolle nach einer Woche der Erfassung aller Frakturen, die trotz exakter Analyse der Röntgenbilder und intraoperativer Stabilitätsprüfung sekundär dislozieren. Dies ist grundsätzlich nicht absolut auszuschließen. Bei einem Vorgehen, das weitere Stabilitätskontrollen jenseits des 7. Tages notwendig machen würde, sollte bereits initial eine operative Stabilisierung der Fraktur erwogen werden.

Nach Konsolidierung (immer gipsfreie Aufnahme!) beginnt die spontane Mobilisation, die in der Regel innerhalb von 4 Wochen zur vollständigen Restitution der Bewegungen führt.

Hauptkomplikation der konservativen Behandlung ist der verbliebene Achsenfehler. Ab 10° Achsenabweichung und je weiter proximal die Lage ist, desto ausgeprägter resultieren Einschränkungen der Pro- und/oder Supination. Aufeinander zulaufende Achsendeviationen der beiden Knochen sind besonders störend. Auch Drehfehler eines Knochens blockieren die Umwendbewegung. Daneben sind Vernarbungen der Membrana interossea nicht zu unterschätzen.

Die Spontankorrektur ist unkalkulierbar und zweifelhaft, zwar teilweise durchaus hilfreich zum Ausgleich geringer Fehler, aber nicht als verlässlicher Faktor des Therapieregimes einzuplanen.

Operative Therapie

Instabile, irreponible, nicht retinierbare oder sekundär dislozierte Frakturen mit Achsenfehlern über 10°, pathologische Frakturen, Refrakturen und Frakturen im Rahmen von Polytraumen oder multiplen Verletzungen, offene Frakturen mit und ohne Gefäß-Nerven-Verletzungen, Mehrfragmentbrüche sowie Pseudarthrosen stellen Indikationen zur Osteosynthese dar. Verfahren der ersten Wahl ist die intramedulläre Nagelung. Zweit- und drittgradig offene Frakturen und Mehrfragmentbrüche werden mit dem Fixateur externe behandelt. Pseudarthrosen oder sekundäre Korrekturen sind Gründe für eine Plattenosteosynthese geblieben. Eine notfallmäßige Versorgung der Brüche ist meist nicht notwendig. Da Kinder nach einem Trauma aber auch nach 6 h nicht nüchtern sind und die Verschiebung auf den nächsten Tag zumindest bei deutlichen Fehlstellungen oft nicht sinnvoll erscheint, empfiehlt sich individuell eine dringliche Versorgung.

Intramedulläre Nagelung

Die Lagerung erfolgt auf dem Rücken und am Armtisch, die Nagelstärke (jeweils zwei Drittel des jeweiligen Markraumdurchmessers) wird am Röntgenbild bestimmt (2,0–2,5 mm, selten 3 mm). Bei Unterarmfrakturen beginnt man mit dem schwerer zu reponierenden Knochen, in der Regel mit dem Radius (Abb. 12.21). Die Eintrittsstelle des Nagels soll 2 cm proximal der distalen Radiusfuge liegen. Die Hautinzision wird am lateralen Radius von diesem Punkt aus 2–3 cm nach distal geführt, damit bei der schrägen Implantation die Weichteile nicht gequetscht werden. Der R. superficialis n. radialis wird (meist dorsal der Vene) dargestellt und der Pfriem unter Schonung des Nerven am proximalen Ende der Inzision auf den Knochen aufgesetzt. Die Kortikalis wird im rechten Winkel angebohrt, dann wird der Pfriem unter weiterer Drehung in einen spitzen Winkel geführt. Der Nagel wird in den Knochen eingeführt, die Spitze zum Markraum gewendet und dann kann das Implantat unter Drehbewegungen zur Fraktur vorgeschoben werden. Alternativ hat sich die Implantation von dorsal über das Tuberculum radii (Tuberculum Listeri) bewährt. Hierzu erfolgt eine quere Inzision über dem Tuberkulum, das dargestellt wird, damit Sehnenverletzungen durch den Pfriem vermieden werden. Wegen der Epiphysenfuge liegt der Eintritt in den Knochen am proximalen »Abhang« des Tuberculum. Der dorsale Zugang führt zu einer besseren C-förmigen Verspannung des radialen Nagels.

Hammerschläge auf das Nagelende gefährden die Gegenkortikalis (Perforation, Fragmentausbruch) und sollten am Unterarm vermieden werden.

Durch externe Manipulation erfolgt nun die Reposition. Die Frakturflächen werden partiell zur Deckung gebracht, damit die Nagelspitze nach entsprechender Ausrichtung (Drehung) in das proximale Fragment vorgeschoben werden kann. Die Spitze wird auf Höhe der Tuberositas radii zur Ulna hin gewendet.

Die Nagelung der Ulna erfolgt meist, aber v.a. bei Frakturen im distalen Schaftdrittel antegrad. Die Inzision liegt dorsoradial unter Schonung der Apophyse des Olekranons. Auch die retrograde Nagelung von der distalen Metaphyse aus ist praktikabel und erleichtert die Reposition bei Dislokation beider Knochen, da mit beiden Nägeln in die gleiche Richtung gearbeitet wird. Bei sehr proximalen Monteggia-Frakturen muss die Ulna von distal genagelt werden. Der Ablauf der Nagelung erfolgt wie beim Radius, die Spitze wird zum Radius hin gewendet. Die Frakturstellung wird nun unter Durchleuchtung kontrolliert und kann durch Drehen der Nägel und dadurch geänderte Spannungsbögen korrigiert werden.

Grundsätzlich sollen die Nagelspitzen einander zugewandt sein, da dadurch eine Aufspannung der Membrana interossea erreicht werden kann.

Dieses Ziel ist jedoch der optimalen Frakturstellung unterzuordnen. Ist die endgültige Nagelposition erreicht, werden diese durch kräftigen Druck oder wenige Hammerschläge in der Spongiosa der Metaphyse verkeilt, gekürzt und subkutan versenkt (Abb. 12.21).

Die Osteosynthese ist übungsstabil, eine zusätzliche Ruhigstellung nicht erforderlich. Dies gilt auch für isolierte Radius- und Ulnafrakturen, bei denen Membrana interossea und unverletzter Partnerknochen die elastische Verspannung komplettieren. Bei der genagelten Monteggia-Fraktur kommt es zum Zeitpunkt der Ach-

Abb. 12.21a–d Unterarmschaftfraktur mit intramedullärer Nagelung. **a** Unfallbild. **b** Intramedulläre Nagelung. **c** Radiale Zugänge von lateral und dorsal. **d** Ulnare Zugänge von distal und proximal

senstabilisierung der Ulna meist automatisch zur Reposition des proximalen Radius, selten ist hier eine manuelle Reposition notwendig. Auch hier ist eine Ruhigstellung vollständig entbehrlich.

Stellt sich die geschlossene Reposition eines Knochens als unmöglich heraus, erfolgt über der Fraktur eine Inzision, um mittels eines Häkchens ein Weichteilinterponat zu entfernen und ggf. die Reposition zu unterstützen. Über dem proximalen Radius ist dabei der Verlauf des tiefen Radialisasts zu bedenken.

Antegrade Osteosynthesen des Radius sind wegen der Nähe des Implantationsorts zum N. radialis profundus nicht zu empfehlen.

Postoperativ darf der Arm sofort frei bewegt werden. Nach 4 Wochen sind meist die freie Bewegung und die radiologische Kallusüberbrückung gegeben, sodass die Belastung (inklusive Sport) möglich ist. Nach 2–3 Monaten erfolgt – bei vollständiger Durchbauung – die Metallentfernung.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Konsolidierung) – Tag 60/90 (Metallentfernung).

Krankengymnastik ist nur in Ausnahmefällen erforderlich.

Bei korrekter Indikationsstellung (keine Mehrfragmentfrakturen) und guter metaphysärer Nagelverankerung sind sekundäre Dislokationen auszuschließen. Die ausreichende Kürzung der Nagelenden mit einem adäquaten Schneidegerät (glatter Schnitt, keine scharfkantige Quetschung der Nagelenden) verhindert Perforationen oder Reizungen über den Eintrittsstellen. Schädigungen der Radialisäste sind intraoperativ sorgfältig zu vermeiden. Bei dorsalem Zugang zum Radius darf der Nagel nicht zu radikal gekürzt werden, damit das Ende nicht unter die Sehne des M. extensor pollicis longus (EPL) rutscht und über die Zeit einer sekundären Sehnenruptur Vorschub leistet (Lieber et al. 2005). Refrakturen sind bei verfrühter Metallentfernung möglich und werden in 2–5% beobachtet. Die funktionellen Ergebnisse sind zu über 95% sehr gut bis gut. Nur in Ausnahmefällen werden bedeutsame Bewegungseinschränkungen beobachtet. Die Nachkontrolle kann bei freier Funktion beendet werden (Dietz et al. 1997, Dietz et al. 2006, Lascombes et al. 1990).

Fixateur externe

Der Fixateur ist bei höhergradig offenen Frakturen sowie bei Mehrfragmentbrüchen indiziert, bei denen der intramedulläre Nagel die Länge des Knochens nicht halten kann. Dabei ist ein einfaches kleines Rohrsystem ausreichend, modulare Fixateure sind eher überdimensioniert. Mit Ausnahme der Dimensionierung des Spanners entspricht die Operationstechnik dem Vorgehen beim Erwachsenen (▶ Kap. 6, Arm). Die Metallentfernung wird früher als bei der intramedullären Nagelung erfolgen (etwa 6 Wochen), doch ist die Ausheilung der Fraktur im Fixateur durchaus anzustreben, der Wechsel auf einen Gips jedoch gelegentlich notwendig. Da der externen Fixation oft eine ausgedehntere Weichteil- und/oder Knochendestruktion zugrunde liegt, ist die vorsichtige Physiotherapie bei diesen Patienten zur Vermeidung zusätzlicher Versteifungen und Weichteilvernarbungen indiziert.

Plattenosteosynthese

Pseudarthrosen (ggf. mit Spongiosaplastik) und sekundäre Korrekturen sind auch beim Kind im Einzelfall Gründe für die relativ aufwändige Plattenosteosynthese. Man muss je nach Alter 3,5/2,7/2,0 mm Kleinfragment- oder Mini-Implantate verwenden. Die Operationstechnik unterscheidet sich nicht vom Vorgehen beim erwachsenen Patienten (▶ Kap. 6, Arm). Die Metallentfernung erfolgt nach 6–9 Monaten.

12.2.7 Distale Unterarmfrakturen

Frakturen der distalen Unterarmmetaphyse entstehen durch Stürze auf die extendierte, selten flektierte Hand. Schwellung, Druckschmerz und ggf. deutlich sichtbare Fehlstellung sind die klinischen Zeichen der Verletzung. Die Diagnostik umfasst die konventionelle Röntgenaufnahme in 2 Ebenen. Ist die Lokalisation v.a. bei kleinen Kindern klinisch nicht exakt einzugrenzen, ist primär durchaus die Aufnahme des gesamten Unterarms indiziert. Bei allen Kontrollen genügt dann die Einblendung auf den distalen Unteram bzw. das Handgelenk. Die Frakturen gehören zum Abschnitt 23, betreffen Radius oder beide Knochen, fast nie allein die Ulna, und werden als Epiphysenlösung mit/ohne metaphysären Keil (E/1 oder 2), subperiostale Stauchungsfraktur oder Biegungs-(Grünholz-)Fraktur (M/2) oder vollständig dislozierte Fraktur (M/3) klassifiziert. Epiphysäre Frakturen kommen beim Kind in diesem Abschnitt (fast) nicht vor.

Konservative Therapie

Subperiostale Stauchungsfrakturen

Die Frakturen sind stabil und werden beim Kleinkind in der Oberarmgipsschiene, etwa ab dem 10. Lebensjahr in der Unterarmgipsschiene ruhiggestellt und nach 3–3,5 Wochen nach klinischer Kontrolle (Kallus druckschmerzfrei?) freigegeben. Nachbehandlung und Kontrollen erübrigen sich.

Biegungs- (Grünholz-)frakturen sind regelhaft nach dorsal dislozierit und klaffen ventral.

Da die distale Radiusepiphysenfuge 80% des Längenwachstums des Radius ausmacht und damit die größte Korrekturpotenz des ganzen Skeletts hat, können Abkippungen bis zu 20–30° und bis zum 10. Lebensjahr belassen und im Gipsverband behandelt werden.

Eine Alternative, die auch bei größeren Achsenfehlern und älteren Patienten angewandt werden kann, ist – bei entsprechendem Konsens mit den Eltern – die primäre Gipskeilung. Sie ist aber am distalen Unterarm nicht so effektiv wie am Unterarmschaft, da der achsenkorrigierende Druck des Gipses wahrscheinlich am Handgelenk kompensiert wird. Die zweite Alternative entspricht der Therapie der stärker dislozierten Brüche. Diese werden in Narkose oder im Einzelfall einmal in suffizienter Analgosedierung und Bruchspaltanästhesie reponiert, indem das Handgelenk flektiert wird. Die Fraktur kann dann in dieser Flexionsstellung (so genannte Schede-Stellung) oder in Neutralstellung unter adäquater Ligamentotaxis eingegipst werden. Die Stellung der Fraktur wird nach 1 Woche radiologisch kontrolliert, nach 4 Wochen beantwortet die gipsfreie Aufnahme die Frage der ausreichenden Konsolidierung. Nur in Einzelfällen und bei älteren Kindern erfordert die unzureichende Kallusüberbrückung eine längere Ruhigstellung, die dann immer in Neutralstellung erfolgt und nach weiteren 2 Wochen mit einer klinischen Kontrolle abgeschlossen wird.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Reposition) – Tag 7 (Stellung) – Tag 28 (Konsolidierung).

Nach der Konsolidierung schließt sich die spontane Mobilisation an. Verbliebene Abkippungen nach dorsal sind meist ohne funktionelle Bedeutung, korrigieren sich im Verlauf der folgenden 3–4 Monate und sollten bis zu diesem Zeitraum kontrolliert werden (1–2 klinische Kontrollen reichen aus).

Epiphyseolysen

Epiphyseolysen kippen nach dorsal und radial ab, haben bis zum 10. Lebensjahr vergleichbare Kompensationsmöglichkeiten wie

die Biegungsbrüche und können entsprechend behandelt werden. Die Bereitschaft der Eltern und der Hausärzte, eine »Lösung der Wachstumsfuge« – auch nach entsprechender Information – der Spontankorrektur zu überlassen, wird jedoch deutlich geringer sein. Die Reposition und Fixation erfolgt – wie oben beschrieben – in die Handgelenkflexion oder Neutralstellung. Vor allem bei zusätzlicher radialer Abkippung in der a.p.-Ebene ist eine befriedigende Retention oft unmöglich. In diesen Fällen wird die K-Draht-Fixation notwendig wie sie jenseits des 10. Lebensjahrs meist primär erforderlich ist. Der weitere Verlauf der konservativen Therapie entspricht dem bei den Biegungsfrakturen.

Vollständige Frakturen

Vollständige Frakturen, verschoben, teilweise verkürzt und meist beide Knochen betreffend, müssen reponiert werden. In Narkose und Relaxation kann die Extension im so genannten »Mädchenfänger« helfen, die Verkürzung aufzuheben. Liegen Querfrakturen vor, gelingt es dann oft, die Fragmente aufeinander zu stellen. Verhaken sie sich dabei und sind unter Durchleuchtung in Maßen bewegungsstabil, wird eine gut anmodellierte Gipsschiene zur Retention führen können. Instabile Frakturen müssen fixiert werden. Vollständig dislozierte und verkürzte Frakturen können sekundär instabiler werden, wenn sich im Frakturbereich aufgrund der Periostzerreißung eine schmale Resorptionszone ausbildet, und sollten primär stabilisiert werden (Miller et al. 2005). Nach einer Woche wird die Stellung kontrolliert, ggf. durch Keilung korrigiert oder bei sekundärer Dislokation (Fehleinschätzung der Stabilität) fixiert. Ruhigstellungszeiten, Mobilisation, Nachbehandlung und Kontrollen entsprechen der Handhabung bei den anderen metaphysären Frakturgruppen.

Operative Therapie

Instabile und irretinierbare distale Radius- oder Unterarmfrakturen bzw. Epiphyseolysen werden perkutan mit K-Drähten fixiert. 1–2 Drähte werden transepiphysär oder metaphysär in den Radius eingebracht, nur in Ausnahmefällen ist eine zusätzliche Fixation der Ulna notwendig. Meist ist die Retention, nicht die Reposition das Problem, weshalb das perkutane Vorgehen nur äußerst selten verlassen werden muss. Eine offene Reposition birgt zudem das Risiko einer Fugenirritation oder -schädigung in sich.

K-Draht-Osteosynthese

Das Repositionsergebnis wird in Handgelenkflexion und ggf. Ulnaadduktion gehalten. Der erste Draht (Stärke 1,4–1,8 mm) wird auf den Processus styloideus radii oder bei mehr proximalen Frakturen auf die Metaphyse aufgesetzt, in radioulnarer Richtung über die Fraktur geführt und in der metaphysären Gegenkortikalis verankert. Der eventuell erforderliche zweite Draht kann in einem Winkel von etwa 30° zum ersten Draht ebenfalls in radioulnarer Richtung platziert werden. Es verspricht jedoch eine bessere Stabilität, diesen Draht dorsoventral einzubringen (Abb. 12.22).

Die Drähte werden gekürzt und subkutan versenkt oder herausstehen lassen. Die Ruhigstellung erfolgt in der Unterarmgipsschiene, die nach 1 Woche meist nur mit einer elastischen Binde

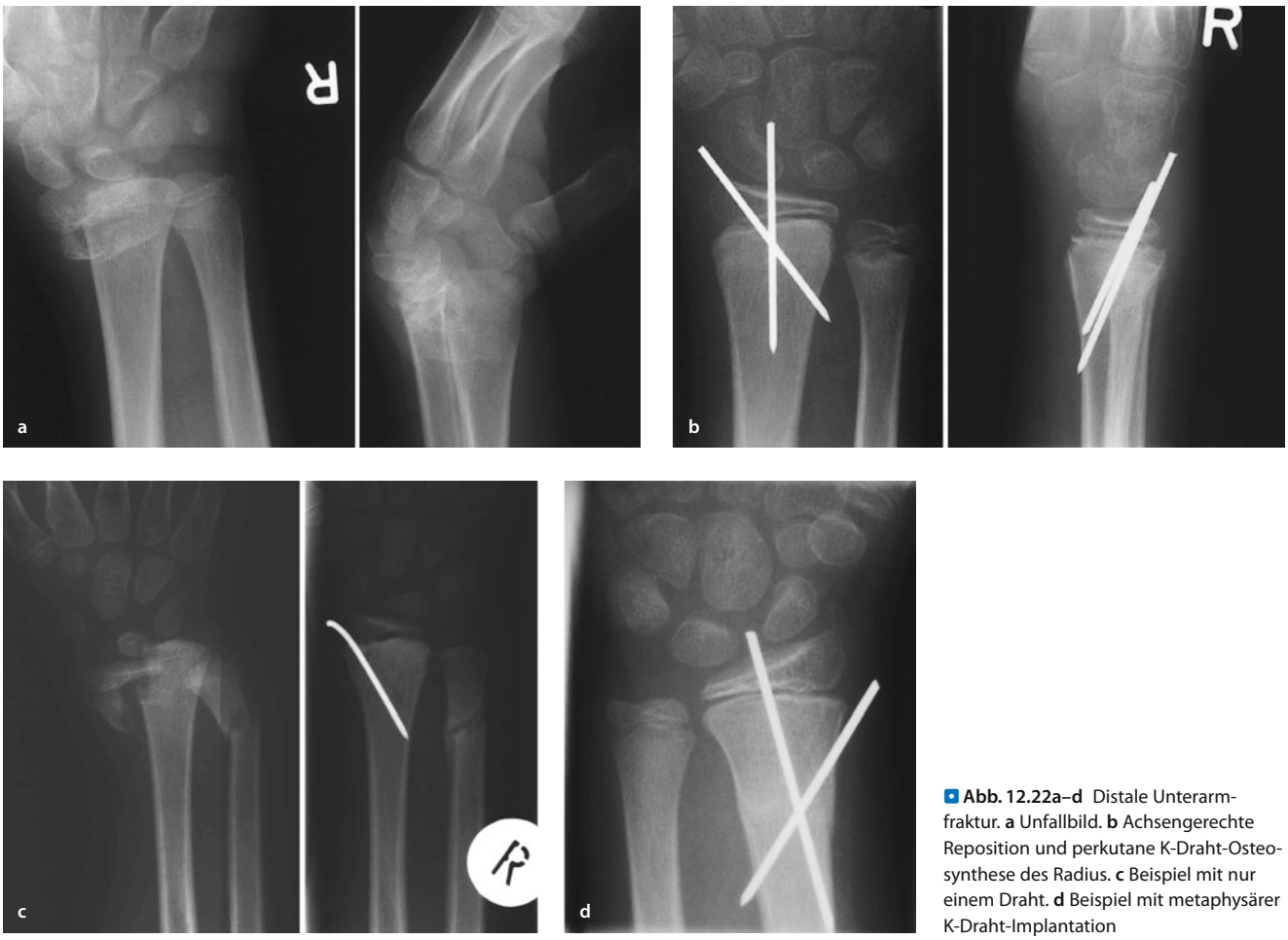


Abb. 12.22a–d Distale Unterarmfraktur. **a** Unfallbild. **b** Achsengerechte Reposition und perkutane K-Draht-Osteosynthese des Radius. **c** Beispiel mit nur einem Draht. **d** Beispiel mit metaphysärer K-Draht-Implantation

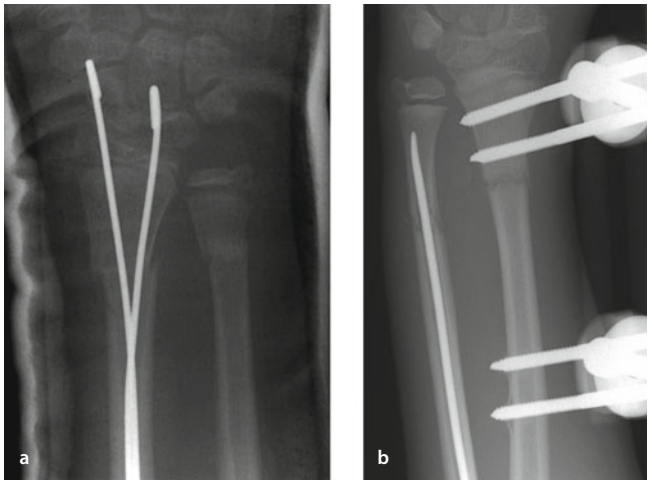


Abb. 12.23a,b Alternative Fixationsverfahren bei Frakturen am diametaphysären Übergang. **a** Perkutan eingebracht, intramedullär verlaufende K-Drähte. **b** Fixateur externe

zirkuliert wird. Die ambulante Metallentfernung wird altersabhängig nach 3–4 Wochen geplant oder bei perkutan herausstehenden Drähten während der Konsultation vorgenommen, zuvor zeigt die gipsfreie Röntgenkontrolle die ausreichende Konsolidierung. Mobilisation und Kontrollen erfolgen analog der konservativen Therapie, die Freigabe zur Belastung (Sport) setzt eine wiedererreichte freie Funktion voraus.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Metallentfernung).

Liegt die Fraktur am diametaphysären Übergang, ist sie ggf. für den K-Draht zu weit von der Fuge entfernt, für den intramedullären Nagel zu nah an der Fuge. Dann stellt der dorsolaterale Minifixateur eine gute Alternative v.a. bei älteren Kindern und Adoleszenten dar, auch die volare Plattenosteosynthese ist hier ein adäquates Verfahren; eine weitere Alternative sind 2 perkutan und transepiphysär eingebrachte K-Drähte, die intramedullär nach proximal laufen (Abb. 12.23).

Stimulationen der distalen Radiusepiphysenfuge können einen Radiusvorschub bedingen. Dieser wird weniger durch die Fraktur selbst als durch wiederholte Repositionsmanöver oder nichtindizierte offene Repositionen ausgelöst. Gegebenenfalls korrigiert sich dieses Längenplus zum Wachstumsabschluss durch vorzeitigen Fugenschluss, Differenzen zur Gegenseite sind funktionell bedeutungslos. Partielle oder vollständige Fugenverschlüsse führen dagegen zu Ulnavorschub, Verkippung des Handgelenks und zunehmender Funktionsstörung. Ihre Ursache ist im Einzelfall unklar, möglicherweise auf brüske Interventionen oder wiederholte K-Draht-Bohrungen zurückzuführen. Der Ausfall der sehr potenten Radiusfuge wird kaum ohne sekundäre Korrektur zu kompensieren sein, eine Radiusosteotomie und Verlängerung mittels Fixateur sollte jedoch – falls funktionell vertretbar – bis zum Wachstumsabschluss verschoben werden, um nicht mehrfach korrigieren zu müssen.

12.2.8 Handverletzungen

Frakturen der Hand (Goddard 2005, Innis 1995) entstehen anlässlich von Stürzen, durch Quetschtraumen (Autotür, Kegelkugeln) oder durch Schläge gegen harte Gegenstände. Die Skaphoidfraktur als einzige häufiger vorkommende Handwurzelfraktur im Kindesalter zeigt typischen Druckschmerz in der Tabatiére. Metakarpalverletzungen sind vornehmlich im Bereich des Handrückens durch Schwellung und Hämatom auffällig. Verletzungen der Phalangen imponieren durch deutliche, oft periartikuläre Schwellungen und Funktionseinschränkungen. Zur Röntgenaufnahme in 2 Ebenen sollte eine möglichst exakte Eingrenzung des verletzten Abschnitts erfolgen, sofern dies klinisch möglich ist. Die »Hand in 2 Ebenen« lässt kaum subtile Verletzungen erkennen.

Handwurzel- und Mittelhandfrakturen

Im Bereich der **Handwurzel** kommen im Kindesalter vereinzelt Skaphoidfrakturen vor. Da die bei Erwachsenen zu befürchtende Pseudarthrose die absolute Ausnahme ist, kann pragmatisch vorgegangen werden. Ist die initiale Röntgenaufnahme der Handwurzel in 2 Ebenen nicht eindeutig, die Klinik aber verdächtig, wird ein Unterarmgips mit Daumeneinschluss für 7–10 Tage angelegt. Kontusionen oder Zerrungen sind dann geheilt, bei Beschwerdefreiheit wird die Therapie beendet. Halten die Beschwerden an und sind weiterhin der Handwurzel zuzuordnen, werden ergänzende Funktionsaufnahmen oder gleich ein CT gemacht. Bei bestätigter Diagnose wird die Ruhigstellung für insgesamt 6 Wochen fortgeführt. Operationsindikationen sind selten, die Technik der Versorgung entspricht der beim Erwachsenen.

Röntgenkontrollen: Tag 14 – Tag 42 (Konsolidierung).

Mit der Konsolidierung ist die Behandlung abgeschlossen.

Bei den Metakarpalfrakturen ist die Verletzung des ersten Strahls (basale Epiphyse) von den Traumen des 2.–5. Strahls (distale Fuge) zu differenzieren.

Am **Metakarpale I** kommen vornehmlich basale metaphysäre Stauchungsfrakturen oder Epiphyseolysen mit/ohne metaphysären Keil vor. Die stabilen Stauchungsfrakturen werden 2–3 Wochen im Unterarmgipsverband mit Daumeneinschluss fixiert und dann bei klinischer Beschwerdefreiheit freigegeben. Vollständige, aber ebenfalls undislozierte Frakturen erfahren eine identische Behandlung, allerdings sollte hier nach einer Woche die sekundäre Dislokation radiologisch ausgeschlossen werden.

Über die Freigabe wird klinisch entscheiden, da Kallus erst lange nach der Konsolidierung sichtbar wird.

Epiphyseolysen können in der Sagittal- oder Frontalebene abkippen. Sagittal korrigieren sich Fehlstellungen bis 20° und können somit belassen werden. Die Ruhigstellung erfolgt wie bei den metaphysären Stauchungsfrakturen. Die Röntgenkontrolle nach 1 Woche schließt eine weitere Abkippung aus. Nach 3 Wochen sieht man noch kaum Kallus, die Entscheidung über die Freigabe erfolgt vornehmlich klinisch.

Achsenfehler in der Frontalebene und sagittale Abkippungen über 20° müssen reponiert werden. Da die Retention im Gipsverband oft unmöglich ist, ist hier immer die K-Draht-Fixation zu erwägen. Zwei gekreuzte Pins (0,8–1,2 mm) werden in dorsoventraler Richtung und von distal nach proximal eingebracht und durch die Fuge in der Epiphyse platziert. Die Ruhigstellung erfolgt im Unterarmgips mit Daumeneinschluss. Die Metallentfernung wird nach 3 Wochen geplant, dann erfolgt die Freigabe und abschließende Kontrolle nach 5 Wochen. Eine Nachbehandlung ist meist entbehrlich, Langzeitkontrollen ebenfalls. Alternativ kann zur frühfunktionellen Nachbehandlung auch eine retrograde intramedulläre Nagelung von der distalen Metaphyse aus erfolgen, ein oder zwei Nägel der Stärke 1,5 mm werden ebenfalls epiphysär verankert.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21 (Konsolidierung).

Abb. 12.24a–c Osteosynthese am Metakarpale mit ESIN. **a** Unfallbild mit dislozierter subkapitaler Fraktur. **b** Zugang. **c** Intramedulläre Stabilisierung

An den **Metakarpalia II–V** sind überwiegend distale subkapitale metaphysäre Frakturen oder Epiphysenlösungen zu beobachten. Es gelten vergleichbare Therapieprinzipien wie bei der Metakarpale-I-Basis. Auch hier erübrigen sich Röntgenkontrollen bei den stabilen Stauchungsfrakturen, zumal die geringen Veränderungen der Knochenkonturen oft im Gips überhaupt nicht erkannt werden können und sich die Strahlen zumindest im seitlichen Bild überlagern. Undislozierte Frakturen oder sagittale Achsenfehler bis 20° werden ausschließlich für 3 Wochen ruhiggestellt, frontale Abkippungen oder sagittale Achsenabweichungen über 20° bedürfen der Reposition. Die häufigste Verletzung ist hier die subkapitale Fraktur am Metakarpale V (so genannte Boxerfraktur) der Jugendlichen. Bei fraglicher Retention ist die intramedulläre Nagelung mit einem Nagel von 1,5–2 mm Durchmesser von proximal möglich. Die Technik gleicht der bei der Versorgung der Radiushalsfrakturen. Bei der Implantation muss darauf geachtet werden, neurovaskuläre Strukturen und Sehnen klar darzustellen und streng zu schonen. Die Osteosynthese kann also nicht über eine Stichinzision erfolgen Eine Ruhigstellung ist entbehrlich, die Metallentfernung erfolgt nach 6 Wochen (Abb. 12.24). Die K-Draht-Fixation mit einem axialen oder 2 gekreuzten Drähten von distal transepiphysär und perkutan ist ebenfalls möglich. Ruhigstellungszeiten und Röntgenkontrollen entsprechen dem Vorgehen bei der Metakarpale-I-Fraktur. Langzeitkontrollen sind erforderlich, sofern belassene Abkippungen der Metakarpaleköpfchen zu einer Irregularität der Knöchelreihe geführt haben. Diese Kontrollen erfolgen klinisch bis zur Restitution des Befundes.

Vereinzelt treten Schaftfrakturen der Metakarpalia auf. Ohne Dislokation erfolgt konservative Therapie. Die Gipsschiene wird volar angelegt und muss bis zu den Fingerspitzen reichen. Es wird eine Stellungskontrolle nach 1 Woche und die klinische Konsolidierungskontrolle nach 3 Wochen empfohlen.

Dislozierte Frakturen werden auf der Iselin-Schiene reponiert. Eine Aluminiumschiene wird für den frakturierten Finger vorbereitet, d.h. sie wird so vorgebogen, dass die Spitze des zu reponierenden Fingers nach Fixation auf der Schiene zum Os scaphoideum zeigt (Abb. 12.25, Laer 1996).

Dann wird diese Aluminiumschiene in eine volare Gipsschiene eingearbeitet, die nur bis zur Hohlhandfurche reicht. Der frakturierte Finger wird mit Pflasterstreifen auf der Aluminiumschiene fixiert, die Schiene dann flektiert und die Fraktur dabei extendiert.

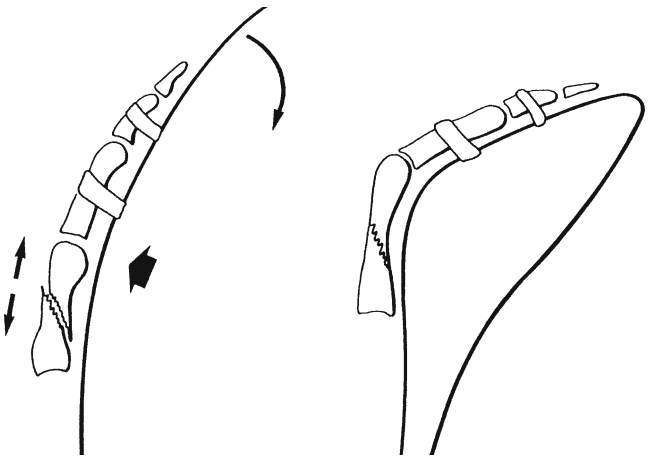


Abb. 12.25 Iselin-Schiene zur Reposition und Fixation einer dislozierten Mittelhandfraktur im Kindesalter

Röntgenkontrollen erfolgen nach einer Woche und nach 3–4 Wochen, klinische Kontrollen, bis der Faustschluss wieder möglich ist.

Lassen sich relevant dislozierte Metakarpalschaftfrakturen unzureichend reponieren oder fixieren, sind geeignete Osteosyntheseverfahren zu suchen. Bei Schrägfrakturen können Minischrauben zur interfragmentären Kompression führen, alternativ stehen bei Jugendlichen Miniplatten zur Verfügung. Unter zusätzlicher Gipsbehandlung kommt es zur anatomisch exakten Ausheilung, die Freigabe ist nach 3–4 Wochen, die Metallentfernung nach 6–8 Wochen möglich, der Aufwand ist insgesamt relativ groß. Querfrakturen lassen sich besser durch gekreuzte K-Drähte (1,2 mm) fixieren, die von distal beidseitig, möglichst unter Schonung der Epiphyse eingebracht werden können. Die exakte Platzierung der Drähte ist nicht immer einfach, die zusätzliche Gipsbehandlung ebenfalls notwendig, die Metallentfernung wird nach 3 Wochen vorgenommen. Alternativ steht die intramedulläre Nagelung von Schaftfrakturen der Metakarpalia zur Verfügung. Einen oder 2 dünne Nägel oder entsprechende K-Drähte (1,5 mm) über ein kleines metaphysäres Bohrloch einzubringen und der Fehlstellung gegenläufig zu verspannen kann eine Alternative sein, die möglicherweise die wenigsten Manipulationen an der dünnen und empfindlichen

Weichteildecke erfordert. Eine gipsfreie Nachbehandlung ist meist möglich. Die Metallentfernung ist nach vollständiger Restitution der knöchernen Struktur nach 6–8 Wochen sinnvoll.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (Metallentfernung K-Drähte/Konsolidierung) – Tag 42/56 (Metallentfernung Schraube/intramedullärer Nagel).

Die Nachbehandlung operierter Mittelhandfrakturen ist vom klinischen Befund und der funktionellen Einschränkung abhängig zu machen. Die große Bedeutung einer uneingeschränkten Handfunktion wird hier zu einer großzügigeren physiotherapeutischen Verordnung führen. Bei freier Funktion und fehlender Deformierung kann die Nachbetreuung beendet werden.

Frakturen der Fingerphalangen

Alle Epiphysenfugen befinden sich basal. Hier treten metaphysär auch die meisten Frakturen als stabile Stauchungsfrakturen oder als Epiphysenlösungen mit/ohne metaphysären Keil auf. Schaftfrakturen und subkapitale Verletzungen sind deutlich seltener. Zu bedenken sind bei größeren Kindern knöcherne Seitenband-, Strecksehnen- oder volare Kapselausrisse, die als Übergangsfrakturen imponieren können.

Für die metaphysären Frakturen besteht therapeutische Analogie zur Behandlung der Metakarpalfrakturen (s. dort). Dies betrifft auch die Einschätzung der frontalen und sagittalen Fehlstellungen. Rotationsfehler sind möglich und können an der Superduktion eines Fingers über den anderen erkannt werden, sie bedürfen der Reposition. Auch die Schaftfrakturen werden entsprechend den Mittelhandfrakturen behandelt. Instabile Quer- oder Schrägfrakturen werden perkutan mit K-Drähten fixiert, je distaler die Fraktur und je kleiner das Kind, umso eher ist eine transartikuläre Spickung mit passagerer Arthrodese notwendig, um die Drähte gut platzieren zu können. Gleiches gilt für die subkapitalen Frakturen der Grund- und Mittelphalangen, die häufig zum volaren Abkippen neigen.

Besonderheiten stellen die kleinen knöchernen Kapsel-, Band- und Sehnenausrisse dar. Verletzungen der palmaren Platte am proximalen Interphalangealgelenk mit winzigen knöchernen Fragmenten beim typischen Ballanpralltrauma werden lediglich 10–14 Tage ruhiggestellt und dann wieder zur Bewegung freigegeben. Kollateralbandausrisse entsprechen oft Übergangsfrakturen, damit droht keine Wachstumsstörung, aber die Gelenkinkongruenz erfordert die exakte (ggf. offene) Reposition und die Fixation mit dünnem K-Draht (0,8–1,2 mm), Kanüle oder Ausziehnaht für 2–3 Wochen. Die Behandlung der Strecksehnenausrisse erfolgt konservativ (Stack-Schiene) oder mittels transartikulärer Fixation und passagerer Arthrodese des Endgelenks, oder bei entsprechender Dislokation operativ offen mit Refixation durch eine Lengemann-Ausziehnaht. Die Zugänge werden entsprechend den Empfehlungen der Handchirurgie gewählt.

Die so genannten Nagelkranzfrakturen, also die semizirkulären Absprengungen der Endphalanx, sind quasi nur Begleitverletzung der Endgliedquetschungen oder Nagelluxationen. Sie bedürfen keiner besonderen Behandlung und sind bis zur Abheilung der Weichteilverletzung meist auch wieder konsolidiert. Dies wird klinisch geprüft.

Fingerverletzungen älterer Kinder können in Oberst-Leitungsanästhesie reponiert werden. Auch für die Metallentfernungen ist das eine probate Alternative.

Die Ruhigstellung verletzter Finger in einer Gipsschiene muss immer unter Einschluss mehrerer benachbarter Finger erfolgen, da sonst keine suffiziente Stabilisierung möglich ist. Je kleiner das Kind, umso eher sind alle Langfinger in den Gips einzubeziehen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ nach Reposition oder Fixation) – Tag 7 (nur nicht fixierte instabile Frakturen, Stellungskontrolle) – Tag 21/28 (Konsolidierungskontrolle operierter Frakturen).

Die Mobilisation erfolgt immer nach klinischer Prüfung ausreichender Konsolidation. Für die Finger gilt wie für die Mittelhand eine etwas großzügigere Verordnung von krankengymnastischer Übungsbehandlung, um Funktionsdefiziten vorzubeugen.

Epiphysenverletzungen können mit partieller oder vollständiger Wachstumsstörung einzelner Phalangen einhergehen und Achsenabweichungen oder Verkürzungen bedingen. Daneben gilt es, verbliebene, frakturbedingte Achsenfehler bei Behandlungsabschluss zu registrieren. Entscheidend sind die dadurch ausgelösten Funktionsstörungen, die langfristig kontrolliert und – sofern erforderlich – so spät wie möglich korrigiert werden sollen.

12.2.9 Beckenfrakturen

Beckenfrakturen gehören zu den seltenen Skelettverletzungen im Kindesalter, sind aber, sofern sie im Rahmen von Polytraumen oder Mehrfachverletzungen vorkommen, ein Indiz für die Schwere des Gesamttraumas.

Apophysenabrisse sind meist auf plötzliche Anspannungen bestimmter Muskelgruppen (z.B. knöcherner Adduktorenausriss) oder auf Extrembewegungen (Spagat) zurückzuführen. Verletzungen der drei großen Beckenknochen entstehen durch erhebliche Direkttraumen im Rahmen von Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe und gehen oft mit Begleitverletzungen der Weichteile und/oder der Beckenorgane einher. Die Behandlung dieser Begleitverletzungen steht sogar meist im Vordergrund und leitet das weitere Vorgehen.

Zur Diagnostik erfolgt die Beckenübersichtsaufnahme, bei gut abgrenzbaren Beschwerden als so genannter »Hemipelvis«, bei schweren Verletzungen wird ergänzend immer eine CT notwendig sein. Zu differenzieren sind im Kindesalter Frakturen ohne Folgeprobleme, wie Apophysenabrisse, isolierte Ileosakralfugenlockerungen und isolierte Frakturen des Os ileum, Os ischium oder Os pubis außerhalb der Belastungsachse, von solchen mit möglichen Spätfolgen wie Symphysensprengungen, Malgaigne-Frakturen und Acetabulumfrakturen.

Konservative Therapie

Apophysenabrisse, Ileosakralfugenlockerungen und undislozierte Frakturen der Ossa ileum, ischium und pubis sowie undislozierte Symphysensprengungen (knöcherner Ausriss) bedürfen der Bettruhe bis zur Schmerzfreiheit; dies ist meist nach 2–3 Wochen erreicht. Dann schließt sich die spontane Mobilisation an. Eine Röntgenkontrolle ist nicht grundsätzlich erforderlich; wird sie jedoch zur Dokumentation der Kallusbildung angefertigt, darf die oft extreme Kallusreaktion der Apophysenverletzungen nicht erschrecken. Eine Nachbehandlung ist nicht erforderlich, die Prognose gut, Komplikationen nicht zu erwarten.

Dislozierte Frakturen der Schambeinäste können der sehr guten spontanen Formkorrektur überlassen werden, sofern keine operationsbedürftigen Begleitverletzungen vorliegen. Bettruhe wird für 3–4 Wochen notwendig sein. Bei der Dislokation einer Fraktur der Beckenschaufel ist vornehmlich die kosmetische Auswirkung entscheidend. Sofern es nicht zu einer sichtbaren Konturveränderung des Beckens kommt, ist konservatives Vorgehen ausreichend. Auch die Symphysensprengungen – lediglich gelagert – heilen ohne Osteosynthese in vergleichbarem Zeitraum. Hier empfehlen sich

jedoch die radiologische Konsolidationskontrolle nach 6 Wochen sowie die Dokumentation möglicher Spontankorrekturen zusammen mit klinischen Kontrollen bis zu 1 Jahr nach dem Trauma.

Operative Therapie

Grundsätzlich kann eine Osteosynthese von Frakturen, die einer konservativen Behandlung zugänglich sind, immer dann überlegt werden, wenn die Region wegen Verletzungen der lokalen Weichteile oder der inneren Organe operativ freigelegt werden muss. Dagegen stellen instabile Beckenringfrakturen sowie die Acetabulumfrakturen primäre Indikationen zur Osteosynthese dar. Ziele dieser Maßnahmen sind die Rekonstruktion bzw. Erhaltung der Beckeneingangsebene vornehmlich bei Mädchen, um späteren Geburtsproblemen vorzubeugen, die Vermeidung von Beinlängendifferenzen als Folge der Verschiebung einer Beckenhälfte nach kranial sowie die Wiederherstellung der Hüftgelenkpfanne. Der funktionelle Erhalt der Epiphysen-Y-Fuge durch Osteosynthesen kann dabei nicht grundsätzlich gewährleistet werden.

Die Operationsverfahren unterscheiden sich nicht von denen des Erwachsenen, bezüglich der Technik wird auf ▶ Kap. 8, Becken, verwiesen. Zur Anwendung kommen Rekonstruktionsplatten- oder -schrauben zur direkten Osteosynthese und ggf. der Fixateur externe als supraacetabuläres externes Kompressionsverfahren. Die Nachbehandlung erfolgt mit Bettruhe für 4–6 Wochen, ggf. auch im Beckengips. Zeigt sich dann gipsfrei radiologisch eine ausreichende Konsolidierung, kann mit der Mobilisation und Teilbelastung begonnen werden. Kontrollen sind wegen der Wachstumsstörung des Acetabulum und der daraus folgenden unzureichenden Hüftkopfüberdachung für mindestens 2 Jahre, ggf. auch bis zum Wachstumsabschluss erforderlich.

Die Seltenheit von relevanten Beckenfrakturen im Kindesalter erklärt das Fehlen klarer Therapieschemata. Die Behandlung muss immer individuell erfolgen.

12.2.10 Schenkelhalsfrakturen

Epidemiologisch kommt die Schenkelhalsfraktur des Kindes einmal auf 130–300 entsprechende Frakturen des Erwachsenen vor. Die sehr feste Spongiosa dieser metaphysären Region erfordert massive Traumen, im Einzelfall können geburtstraumatische Verletzungen oder Misshandlungsfolgen vorliegen. Klinisch imponiert die schmerzhafte Bewegungseinschränkung der Hüfte mit Verkürzung und Außenrotation. Die Röntgendiagnostik umfasst die a.p.-Aufnahme der Hüfte sowie die axiale Darstellung des Schenkelhalses (Lauenstein-Aufnahme). Nach der AO-Klassifikation handelt es sich um Frakturen des Segments 31, die Kinderklassifikation unterscheidet E/1 oder 2 (Epiphyseolyse-) und M/3-Frakturen (vollständige Frakturen). Nach Colonna entspricht die E/1- oder E/2-Fraktur der transepiphysären Verletzung (etwa 8%), unter die M/3-Frakturen sind transzervikale (40%), zervikobasale (40%) und die von der Prognose deutlich besseren intertrochantären Frakturen (8%) zu subsummieren (Azouz et al. 1993, Colonna 1929). Bei einer Epiphysenlösung ist an die akute Epiphyseolysis capitis femoris zu denken. Die Anamnese kann manchmal eine Epiphyseolyse »acute on chronic« anhand vorausgegangener Hüftbeschwerden vermuten lassen.

Konservative Therapie

Die konservative Therapie ist grundsätzlich nur bei undislozierten Frakturen und auch bei diesen nur mit großer Zurückhaltung zu indizieren. Dies wird nur selten bei zervikobasalen oder intertrochantären Frakturen der Fall sein. Das Risiko der sekundären Dislokation im Beckengips und der dann erforderliche Repositionsaufwand sind gegen das Operationsrisiko einer prophylaktischen Osteosynthese abzuwägen, die Osteosynthese wird heute überwiegend empfohlen. Jede Dislokation bedarf dagegen – unabhängig von der Frakturlokalisation – wegen der Gefahr der bleibenden Fehlstellung oder der Pseudarthrose einer Reposition und Fixation.

Die konservative Therapie erfordert die Ruhigstellung im Beckengips. Die hierzu notwendigen Manipulationen am frakturierten Bein sollten in Narkose erfolgen.

Initial wird die Punktion des Hüftgelenks unter sonografischer Kontrolle empfohlen, um das Hämarthros zu entlasten und dadurch evtl. die intrakapsuläre Durchblutungssituation zu verbessern.

Der Beckengips muss auf der betroffenen Seite bis über das Knie gehen und auf der gesunden Seite die Hüfte einschließen.

Die Röntgenkontrolle nach 1 Woche schließt die sekundäre Dislokation aus, nach 4 (Kleinkinder) bis 6 Wochen (Schulkinder) kann gipsfrei die Konsolidierung überprüft werden. Ist eine ausreichende Kallusüberbrückung gegeben, beginnt die Mobilisation in Teilbelastung unter krankengymnastischer Anleitung für weitere 2 Wochen, sofern altersbedingt möglich; dann soll erst mit der Vollbelastung begonnen werden.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Gipsanlage) – Tag 7 (Stellungskontrolle) – Tag 28/42 (Konsolidierung, Mobilisation) – Tag 70/84 (Durchbauung, Vollbelastung).

Operative Therapie

Jede dislozierte Schenkelhalsfraktur bedarf der dringlichen Versorgung.

Eine etwas großzügigere Handhabung ist nur bei pertrochantären Verletzungen möglich. Operative Alternativen sind die K-Draht- und die Zugschraubenosteosynthese, bei pertrochantären Frakturen auch die intramedulläre Nagelung oder die Plattenosteosynthese.

K-Draht-Osteosynthese

Dieses Verfahren ist bei den transepiphysären und transzervikalen Frakturen indiziert, bei denen das Implantat in der Epiphyse verankert werden muss. Scheint eine geschlossene Reposition möglich, erfolgt die Lagerung am Extensionstisch. Stellt sich die Fraktur unter Zug spontan anatomisch ein und lässt sich dies radiologisch frontal und axial dokumentieren, kann perkutan fixiert werden. 3 (bis 4) K-Drähte der Stärke 1,6 (Kleinkinder) bis 2,0 (ältere Schulkinder) werden vom proximalen Femur aus (subtrochantär) in den Schenkelhals eingebracht und mit der Spitze im Femurkopf platziert. Die Verwendung von K-Drähten mit Gewinde ist bezüglich der Stabilität vorteilhaft. Die Position der Drähte ist in der a.p.-Aufnahme sowie v.a. im axialen Strahlengang zu kontrollieren. Die Hüfte wird durchbewegt, um Transfixationen des Gelenks auszuschließen. Ist die Bewegung frei und kommt es zu keiner Redislokation, werden die Drähte gekürzt und subkutan versenkt (Abb. 12.26).

Bis zum 8.–10. Lebensjahr ist die Ruhigstellung im Beckengips notwendig, dieser wird in Narkose angelegt. Bei älteren Schulkindern kann bei guter Implantatverankerung darauf verzichtet werden. Die Kinder werden auf einem Kissen oder einer Schiene gelagert.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ, noch ohne Gips) – Tag 28/42 (Konsolidierung, gipsfrei) – Tag 56–90 (Metallentfernung).

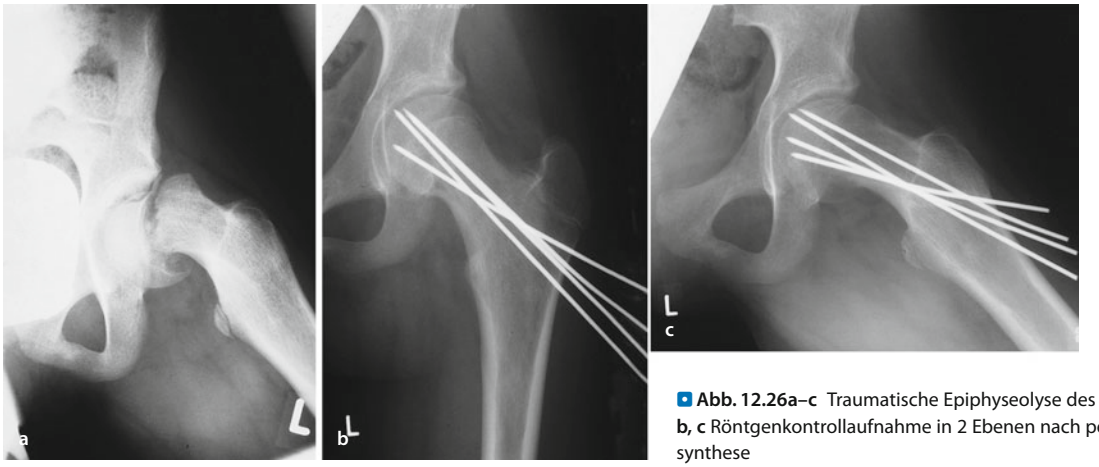


Abb. 12.26a–c Traumatische Epiphyseolyse des Femurkopfs. **a** Unfallbild. **b, c** Röntgenkontrollaufnahme in 2 Ebenen nach perkutaner K-Draht-Osteosynthese

Gipsfrei behandelte Kinder können nach 2–3 Wochen an Unterarmgehstützen in Entlastung mobilisiert werden. Nach 4–6 Wochen wird bei allen Kindern gipsfrei die Konsolidierung überprüft, dann beginnt die vorsichtige schrittweise Belastungssteigerung über 2 Wochen. Nach 2 Monaten kann die Durchbauung radiologisch überprüft und anschließend die Metallentfernung geplant werden.

Gelingt die geschlossene Reposition der Fraktur nicht, muss der K-Draht-Osteosynthese eine offene Reposition vorausgehen. Bevorzugt wird der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones. Hierzu wird der Patient auf den Rücken gelagert, die betroffene Seite des Beckens ist leicht angehoben. Nach lateraler Hautinzision mit dem Trochanter major als Zentrum wird die Fascia lata gespalten, anschließend werden M. tensor fasciae latae und M. rectus nach vorne, die Glutealmuskulatur nach hinten abgedrängt und mit einem Hohmann-Hebel weggehalten. Dabei ist am kranialen Wundrand auf den N. glutaeus superior zu achten. Jetzt kann die Gelenkkapsel eröffnet, das Hämatom ausgespült und die Fraktur reponiert werden. Die K-Draht-Fixation erfolgt dann wie oben beschrieben. Für die Nachbehandlung gelten die gleichen Richtlinien wie für die geschlossene Reposition.

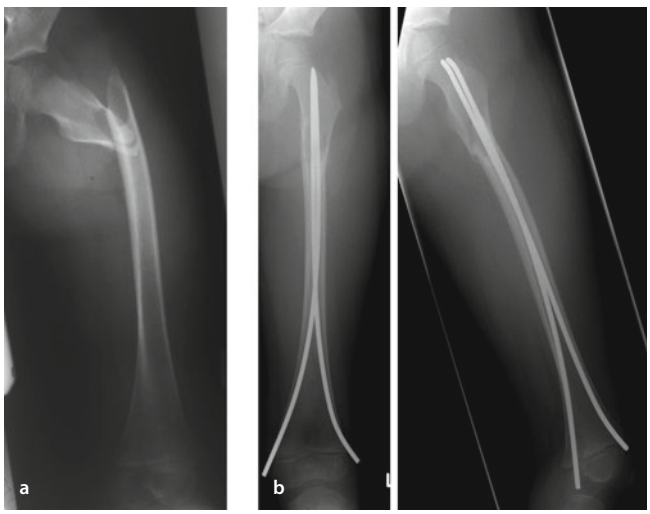


Abb. 12.27a,b Proximale Femurfraktur und Versorgung mit ESIN. **a** Dislozierte proximale Femurfraktur. **b** Stabilisierung mit ESIN

Zugschraubenosteosynthese

Nicht zu nahe an der Epiphysenfuge gelegene transzervikale Frakturen, zervikobasale und intertrochantäre Frakturen können mit Zugschrauben stabilisiert werden. Die Implantate dürfen die Fuge nicht tangieren, sodass die Möglichkeit der ausreichenden metaphysären Verankerung der Schrauben das entscheidende Kriterium für die Wahl dieser Osteosynthese ist. Abhängig von der Größe des Patienten werden durchbohrte Kleinfragment- oder Großfragment-Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde verwandt. Gelingt die geschlossene Reposition am Extensionstisch, werden meist 2–3 durchbohrte Schrauben über einen lateralen Zugang zum proximalen Femurschaft und nach exakter und kontrollierter Platzierung von K-Drähten über die Drähte eingebracht. Zur ggf. notwendigen offenen Reposition ist der laterale Zugang zu bevorzugen, da dann die Inzision kaum größer ist als die, die zur Schraubenplatzierung notwendig wird. Die Operationstechnik entspricht dem Vorgehen bei der K-Draht-Osteosynthese.

Auch nach der Zugschraubenosteosynthese ist bis zum 8.–10. Lebensjahr die Ruhigstellung im Beckengips für 4–6 Wochen empfehlenswert. Ältere Kinder können gelagert und nach 2–3 Wochen in Entlastung mobilisiert werden. Röntgenkontrollen und Mobilisierung erfolgen wie bei der K-Draht-Osteosynthese, die Metallentfernung ist nach 4–6 Monaten möglich.

Es ist möglich, pertrochantäre Frakturen mit intramedullären Nägeln zu versorgen, sofern sich beide Nägel gut im Schenkelhals bzw. der laterale Nagel im Trochanter platzieren und dort verankern lassen. Das prinzipielle Vorgehen entspricht dem bei der Femurschaftfraktur (s. unten) (Abb. 12.27). Auch eine am proximalen Femurschaft abgestützte Plattenosteosynthese oder eine Winkelplatte kann bei diesen sehr individuell zu versorgenden Frakturen in Betracht kommen.

Die Nachbehandlung wird von den **Komplikationsmöglichkeiten** bestimmt. Hauptprobleme der Schenkelhalsfrakturen sind Varusfehler mit Beinverkürzung, Pseudarthrosen, Wachstumsstörungen und – bedingt durch die besondere Gefäßversorgung – Femurkopfnekrosen. Da sich die konservative Behandlung auf undislozierte Frakturen beschränkt, sind hier diese Gefahren gering. Dennoch sollte die Durchblutung des Femurkopfs auch bei diesen Verletzungen nach 3 und 6 Monaten magnetresonanztomografisch kontrolliert werden. Die klinische Beinlängenkontrolle wird über 2 Jahre post Trauma fortgeführt. Langzeitfolgen sind bei den undislozierten Frakturen die Ausnahme.

Die am meisten gefürchtete Komplikation der dislozierten Frakturen ist die Femurkopfnekrose, deren Häufigkeit mit der Epipyhsennähe der Fraktur, dem Dislokationsgrad und dem Zeit-

intervall bis zur Versorgung bis auf 100% zunimmt. Zurückzuführen ist dieses Risiko auf die besondere Blutversorgung des Schenkelhalses aus einem extra- und einem intrakapsulären Gefäßring, der Gefahr der traumabedingten Ischämie oder der Kompression der Endgefäße bei signifikantem Hämarthros sowie einer individuell unterschiedlich sensiblen Gefäßanatomie. Zur frühzeitigen Erkennung einer Nekrose sind MRTs nach 4 und 8 Wochen indiziert. Bei unauffälligem Befund wird nach einem halben Jahr die letzte radiologische und magnetresonanztomografische Kontrolle erfolgen.

Sind Zeichen einer Minderdurchblutung zu erkennen, empfiehlt sich die umgehende vollständige Entlastung unter Mobilisation, z.B. im Sinne der Continuous Passive Motion (CPM) auf der Motorschiene. Die weitere Betreuung dieser Patienten gehört in die Hand eines erfahrenen Kinderorthopäden, ggf. ist im weiteren Verlauf eine Umstellungsosteotomie am Schenkelhals und/oder eine Beinverlängerung bei entsprechender Längendifferenz erforderlich.

Die konsequente Osteosynthese dislozierter Frakturen ist die beste Prophylaxe gegen eine Schenkelhalspseudarthrose. Dagegen kann die Wachstumsstörung oft nicht verhindert werden, da – außer den pertrochantären – alle Frakturen die bis zum 10. Lebensjahr gemeinsame Wachstumszone von Trochanter major und Femurkopf tangieren. Das daraus möglicherweise resultierende Fehlwachstum zur Coxa vara oder valga ist von Achsenfehlern aufgrund ungenügend reponierter oder sekundär dislozierter Frakturen zu unterscheiden. Die Verkürzung des Schenkelhalses aufgrund eines kompletten Fugenverschlusses dagegen muss von den Folgen der Kopfnekrose differenziert werden. Beinverkürzung und/oder eine Änderung des Schenkelhalswinkels sind – bei entsprechender Frakturkonstellation – durch klinische und radiologische Kontrolluntersuchungen nach 6, 12 und 24 Monaten zu erfassen und einem Beinlängenausgleich durch Sohlenerhöhung, bei größerem Ausmaß aber auch einer Verlängerungsosteotomie zu unterziehen.

12.2.11 Oberschenkelschaftfrakturen

Die Frakturen des Oberschenkelschaftes erfordern aufgrund des sehr stabilen Knochens erhebliche Traumen meist direkter Art bei Verkehrsunfällen, Skiunfällen, Stürzen aus großer Höhe, Geburtstraumen oder Misshandlungen. Die Femurschaftfraktur ist an vielen Polytraumen beteiligt. Die absolute Häufigkeit ist nicht so groß, umso mehr stehen sozialpädiatrische Aspekte der Behandlung im Vordergrund, da langfristige Immobilisationen nicht nur zu entsprechendem Schulausfall und ggf. auch Verlust eines Schuljahrs führen können, sondern auch die Betreuungsmöglichkeit berufstätiger Eltern überfordern. Lange Hospitalisationszeiten mit erheblichen Kosten sind heute nicht mehr realisierbar. Diese Aspekte schlagen sich in der weitgehend etablierten Indikationsstellung zur primären und grundsätzlichen Osteosynthese bestimmter Altersgruppen nieder. Dabei sind 2 Altersgipfel der Oberschenkelschaftfraktur zu bedenken: Kleinkinder um das 2./3. Lebensjahr und ältere Schulkinder jenseits des 10. Lebensjahrs.

Die Klinik wird von erheblicher Schwellung des Oberschenkels, einer gewissen Verkürzung und einer Antekurvations- und Varustendenz bestimmt, die schmerzhafte Bewegungseinschränkung versteht sich von selbst. Zur Diagnostik wird die konventionelle Röntgenaufnahme in 2 Ebenen angestrebt. Ist die Einstellung der seitlichen Ebene sehr schmerzhaft, Diagnose und Therapieentscheidung sind jedoch nach der a.p.-Aufnahme bereits klar, kann

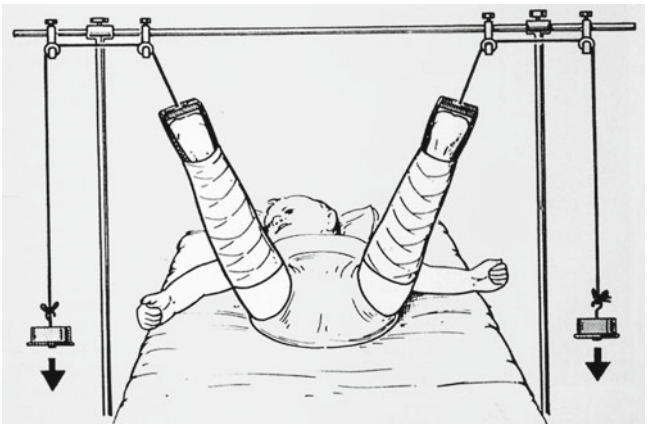


Abb. 12.28 Behandlung einer Oberschenkelschaftfraktur beim Kleinkind in der Overhead-Extension

zunächst auf die zweite Ebene verzichtet werden. Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität sind zu prüfen. Die Kreislaufverhältnisse müssen überwacht werden, da über die Femurschaftfraktur erhebliche Volumenverluste in die Weichteile auftreten können. Weitere diagnostische Maßnahmen richten sich nach den ggf. festgestellten Begleitverletzungen. Erfordern diese umfangreichere Manipulationen oder Transporte (CT bei Schädel-Hirn-Trauma, Angiografie bei Gefäßverletzungen, Kreislaufstabilisierung bei Abdominal- und/oder Thoraxtraumen), so ist das Bein unter adäquater Analgesie in einer (Luftkammer-)Schiene zu lagern.

Klassifiziert werden die Brüche als 32-D/4 (quer) und D/5 (schräg oder spiral). Wichtig ist die Feststellung von Biegungs- oder Drehkeilen oder von Trümmerzonen mit fehlendem Kontakt beider Hauptfragmente.

Konservative Therapie

Die Indikation zur nichtoperativen Behandlung besteht bei Kleinkindern unterhalb des 3. Lebensjahrs mit isolierten Femurschaftfrakturen. Sie können aufgrund ihrer Größe und des Körpergewichts gut in der so genannten Overhead-Extension nach Bryant behandelt werden (Nicholson u. Foster 1955, Abb. 12.28). Alternativ sind die Anwendung einer Pavlik-Bandage in den ersten 6 Lebensmonaten oder der Becken-Bein-Gips möglich.

Bei großen oder schweren Kindern dieses Alters ist die Extension oft nicht realisierbar (Klebeextension hält nicht ausreichend) und es muss die relative Operationsindikation diskutiert werden. Die stellt sich auch bei Kleinkindern zudem, wenn mehrere andere Frakturen, Kettenfrakturen, Schädel-Hirn-Traumen oder Polytraumen vorliegen, die Fraktur sich in der Extension nicht einstellt oder Begleitverletzungen einen operativen Eingriff erfordern.

Overhead-Extension

In Sedierung und ausreichender Analgesie werden beide Beine mit einem fertigen Pflaster-Klebe-Extensionsverband fixiert und dann über ein am Bett befestigtes Stangensystem mit Umlenkrollen parallel in Deckenrichtung extendiert. Initial wird ein Extensionsgewicht von einem Siebtel bis einem Sechstel des Körpergewichts pro Bein angehängt. Schwebt das Becken dann nicht frei, muss das Gewicht etwas erhöht werden. Zu beachten sind die Spitzfußprophylaxe und die (seltene) Gefahr einer Peroneusparese oder eines Kompartment-Syndroms bei zu straff angelegtem Verband. Wenn der Patient sich nach 24–48 h an seine neue Lage gewöhnt hat und es zu einer muskulären Entspannung gekommen ist, muss die

Röntgenaufnahme die ausreichende Achsen- und Längenkorrektur demonstrieren. Achsenfehler bis zu 10° sind ebenso akzeptabel wie Seitverschiebungen bis zur Schaftbreite, eine Verkürzung ist jedoch zu vermeiden. Korrekturen sind jetzt noch durch Gewichtserhöhung oder eine Abspreizung der Beine (Korrektur einer Varustendenz) möglich, die radiologisch überprüft werden sollten. Selten muss zu diesem Zeitpunkt über eine sekundäre Operationsindikation nachgedacht werden. Bei guter Frakturreinstellung kann nach 3 Wochen die Konsolidierung dokumentiert, die Extension abgenommen und der Patient mobilisiert werden. Alternativ kann zur Verkürzung der Extensionszeit nach der ersten Kallusüberbrückung nach 7–10 Tagen auf einen Becken-Bein-Gips gewechselt werden.

Röntgenkontrollen: Tag 1/2 (Stellung) – evtl. Tag 4 (Stellungskorrektur) – Tag 21 (Konsolidierung).

Die weitere Mobilisation und Belastungssteigerung kann den beroffenen Kindern selbst überlassen werden. In der Regel laufen sie nach 2–3 Wochen wieder frei, wobei eine gewisse Beeinträchtigung des Gangbildes bis zu 6 Wochen möglich ist, die allerdings nie einer krankengymnastischen Behandlung bedarf.

Schwere **Komplikationen** stellen das oben erwähnte Kompartment-Syndrom oder eine Peroneusparese dar. Beide erfordern das Umsteigen auf eine operative Frakturfixation, beim Kompartment-Syndrom des Unterschenkels ist die Spaltung der 4 Faszienlogen erforderlich. Eine spontane Korrektur begrenzten, aber unklaren Ausmaßes ist bezüglich verbliebener Achsenfehler über 10° oder Rotationsfehler über 20° möglich. Drehfehler können sich allerdings nur im Rahmen der physiologischen Derotationsvorgänge des Schenkelhalses ausgleichen. Die Frage der operativen Korrektur beantwortet sich immer erst anhand klinisch-funktioneller Beschwerden im Verlauf des weiteren Wachstums. Zu bedenken ist, dass der Längenzuwachs nach Femurfrakturen als Summationseffekt der durch die Reparationsvorgänge ausgelösten epiphysären Durchblutungssteigerung und der daraus resultierenden Fugenstimulation anzusehen ist. Somit ist die posttraumatische Beinlängenalteration teils Folge des Traumas, aber teils auch Folge der belassenen Achsenfehler. Diese Tatsache ist bei der Therapieplanung zu bedenken.

Hautläsionen unter den Pflasterzügeln sind ein fast regelmäßiges Problem, heilen aber nach Abnahme der Extension unter guter Hautpflege schnell ab.

Prognostisch ist das Risiko funktionell relevanter Beinlängendifferenzen ernst zu nehmen. Entsprechend erfolgt die Nachkontrolle für mindestens 2 Jahre, bei dann noch bestehender Längenungleichheit oder Bewegungsstörung weiter bis zum Wachstumsabschluss.

Beckengips

Konservative Alternative ist der Beckengips. Undislozierte oder gering dislozierte Frakturen können – ohne oder mit Reposition – im Becken-Bein-Gips unter Einschluss des gegenseitigen Oberschenkels ruhiggestellt werden. Die Anlage des Gipses erfordert suffiziente Analgosedierung oder bei gleichzeitiger Reposition Narkose. Die Behandlung kann zu einem früheren Zeitpunkt ambulant erfolgen, es darf aber nicht vergessen werden, dass die Pflege des inkontinenten Kleinkindes im Beckengips nicht unproblematisch ist und die Bewegungsfreiheit im Gips sicher stärker eingeschränkt ist als in der Extension.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Anlage/Reposition) – Tag 7 (Stellung) – Tag 21/28 (Konsolidierung).

Die Nachbehandlung erfolgt wie bei der Extension.

Die Extension älterer Kinder auf dem so genannten Weber-Bock sollte wegen der langen Hospitalisierung, der begrenzten Zumutbarkeit des Verfahrens und der Schwierigkeit exakter Achsenkorrektur der Vergangenheit angehören.

Operative Therapie

Jede Oberschenkelschaftfraktur ab dem 3. Lebensjahr, zudem Kleinkinder mit Schädel-Hirn-Trauma, Polytrauma, Kettenfraktur, mehreren anderen Frakturen, außergewöhnlicher Größe/Gewicht oder primärer Operationsindikation wie Gefäß-Nerven-Verletzung oder offener Fraktur 2.–3. Grades bedürfen der Osteosynthese. Intramedulläre Nagelung und Fixateur externe stellen die operativen Alternativen dar (Dietz et al. 1997, Dietz et al. 2001, Dietz et al. 2006, Ligier et al. 1988, Parsch 1997, Weinberg et al. 1994, Wright et al. 2005). Lange Drehbrüche und Brüche mit Dreh- oder Biegungskeilen, bei denen die intramedulläre Nagelung eigentlich die Länge des Femurs nicht sichern kann, profitieren von den neuen Verriegelungskappen für die intramedullären Nägel oder von der externen Fixation, Querbrüche konsolidieren dagegen bei intramedullärer Nagelung viel schneller als bei externer Fixation. Bei vielen Brüchen ist die Verfahrenswahl eine Alternativentscheidung. Die Plattenosteosynthese sollte dagegen – selbst in der aktuellen Technik der minimal-invasiven durchgeschobenen Platte – wegen des großen operativen Aufwandes, der ebenfalls aufwändigen Metallentfernung, der kosmetisch unschönen Narbenbildung und der relevanten Wachstumsstimulation nicht mehr zu den Akutverfahren gehören. Die Marknagelung verbietet sich wegen der lange bestehenden Einheit der Trochanter- mit der Femurkopffuge und des Risikos der sekundären Kopfnekrose. Eine Ausnahme stellen die Adoleszenzen dar, für die aktuell ein spezieller Marknagel mit Implantation über den Trochanter major auf den Markt gekommen ist.

Die Femurschaftfraktur ist dringlich zu versorgen. »Zwischenlagerungen« sind instabil, schmerzhaft und patientenunfreundlich. Im Ausnahmefall kann die Fixation in einer Luftkammerschiene notwendig sein.

Intramedulläre Nagelung

Die Lagerung erfolgt selten v.a. bei verkürzten Querfrakturen auf dem Extensionstisch, meist konventionell in Rückenlage. Es wird eine orientierende Reposition angestrebt, um die Manipulationen am steril abgedeckten Bein zu reduzieren. Der Durchleuchtungs-C-Bogen wird probeweise durchgeschwenkt. Es werden beide Beine steril abgedeckt, um eine klinische Rotationsprüfung zu ermöglichen. Brüche im mittleren und proximalen Schaftdrittel werden retrograd genagelt. Etwa 1 Querfinger oberhalb des Patellaoberrandes beginnend erfolgen lateral und medial symmetrische, nach distal gehende Hautinzisionen von ca. 3–4 cm Länge. Die Faszie ist subkutan ausreichend zu spalten. Schräg aufsteigende Kortikalisperforationen können mit dem Pfriem oder (selten) der Bohrmaschine angelegt werden. Die Nägel (Durchmesser je ein Drittel der Markraumbreite, 2,5–4 mm) werden eingeführt und unter leichten Drehbewegungen mit dem immer wieder kurz eingespannten Universalhandgriff bis zur Fraktur vorgeschoben, selten mit dem Hammer vorgeschlagen. Jetzt erfolgt die exakte manuelle (externe) Reposition. Sie kann durch die abgeschrägten Nagelspitzen unterstützt werden, indem eine Spitze in das Gegenfragment eingeführt und durch Drehung des Nagels das Fragment manipuliert wird. Hilfreich ist dies vornehmlich bei Schräg- und Torsionsfrakturen. Jetzt kann der zweite Nagel folgen. Die Spitzen werden neu ausgerichtet, sie müssen jeweils zur Einschlagseite zeigen (C-förmiger Verlauf), dabei ist darauf zu achten, dass sich die Nägel nicht umeinander winden. Die Nägel werden im proximalen

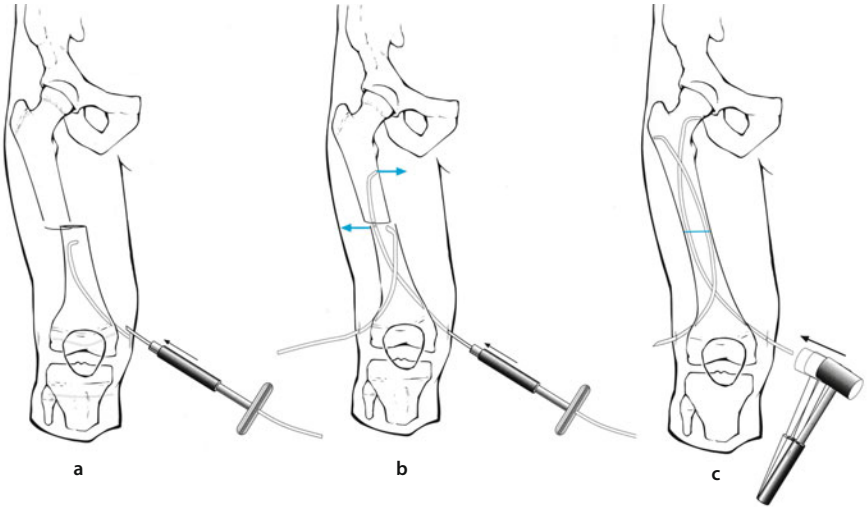


Abb. 12.29a–c Intramedulläre Nagelung bei der Oberschenkelschaftfraktur. **a** Einführen des ersten Nagels. **b** Reposition und Vorschieben des Nagels in das proximale Fragment. Platzierung des zweiten Nagels. **c** Verankerung der Nagelspitze im proximalen Hauptfragment

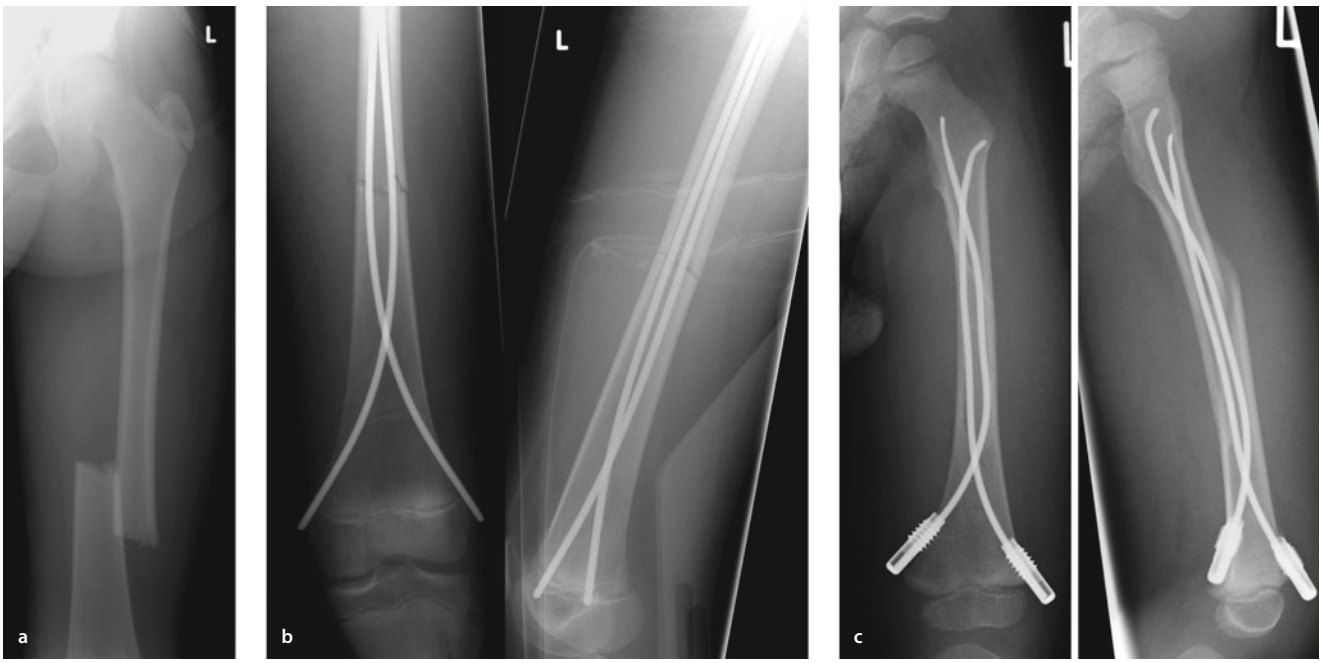


Abb. 12.30a–c Intramedulläre Nagelung von Femurschaftfrakturen. **a** Femurschaftquerfraktur. **b** Retrograde Nagelung und achsengerechte Fixation. **c** Verriegelung mit Schraubkappen bei Spiralfraktur

Fragment vorgeschoben, der mediale Nagel soll zum Schenkelhals, der laterale zum Trochanter major zeigen. Die Extension muss jetzt reduziert werden, damit keine Fixation in Distraktion erfolgt. Die Durchleuchtung muss eine gute Aufspannung der Nägel in Frakturhöhe und eine achsengerechte Fixation zeigen, ggf. ist eine Feinkorrektur durch Drehung eines Nagels (Verschiebung des Spannungsbogens im Raum) notwendig. Die Nägel werden mit einigen Hammerschlägen in der proximalen Metaphyse verkeilt, an der Einschlagstelle unter die Faszie gekürzt und bei Bedarf die Verriegelungskappen aufgeschraubt (Abb. 12.29, Abb. 12.30, Dietz et al. 1997).

Frakturen im distalen Femurdrittel werden antegrad genagelt. Über eine subtrochantäre Hautinzision werden 2 Bohrlöcher im Abstand von etwa 2 cm angelegt, beide Nägel in den Markraum eingebracht und das kraniale Implantat um 180° gedreht, sodass die Nagelspitzen wieder divergieren. Das weitere Vorgehen entspricht dem aszendierenden Procedere, die Verkeilung erfolgt suprakondylär unter Schonung der Fuge, ein Vorbiegen der Nägel ist bei dieser Indikation sinnvoll, um an der Fraktur eine Aufspannung zu erreichen (Abb. 12.31). Sofern die Stabilität dies erfordert, können die Nägel auch in der Epiphyse verankert werden, sofern die Fuge nur einmal und nicht wiederholt tangiert wird.

Eine ergänzende Ruhigstellung ist nicht erforderlich. Postoperativ ist die sofortige Lagerung auf einer Motorschiene vorteilhaft. Ist Schmerzfreiheit gegeben, beginnt die Mobilisation. Dabei können Querfrakturen sofort voll, alle anderen primär teilbelastet werden. Schräg-, Torsionsfrakturen oder Brüche mit Dreh- oder Biegungskeil werden an Unterarmgehstützen mobilisiert, bis eine Kallusüberbrückung vorhanden ist. In 1–2 Wochen kann über Sohlenkontakt und Teilbelastung die Vollbelastung erreicht werden. Die

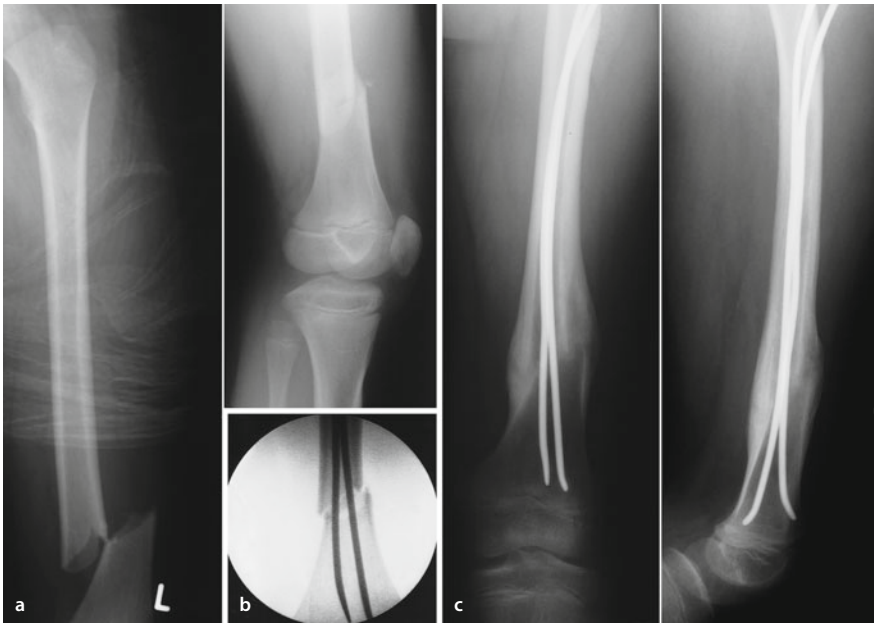


Abb. 12.31a–c Distale Schaftfraktur. **a** Distale Femurfraktur. **b** Intraoperative Dokumentation des Repositionsergebnisses nach antegrader Nagelung. **c** Ausheilung, ausgeprägtes Remodelling nach 6 Monaten

stationäre Entlassung ist möglich, wenn ein sicherer Gang (ggf. an Unterarmgehstützen) inklusive Treppensteigen gegeben ist.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (Kallusüberbrückung, Konsolidierung) – evtl. Tag 42 (Konsolidierung) – nach 6 Monaten (Metallentfernung).

Eine krankengymnastische Übungsbehandlung und/oder Gehschulung nach der Entlassung aus stationärer Betreuung ist individuell nach Temperament und Gangsicherheit zu verordnen, sollte aber nicht routinemäßig erfolgen. Nach Konsolidierung und erreichter Vollbelastung ist auch die Wiederaufnahme von Sporttätigkeiten möglich. Die Metallentfernung wird nach 6 Monaten vorgesehen, aber nur, wenn die vollständige Restitution des Knochens erfolgt ist.

Intraoperative **Komplikationen** umfassen zu flach angelegte Bohrlöcher (Nagel lässt sich nicht im Markraum vorschieben, blockiert an Gegenkortikalis), zu dicke (intramedulläre Blockade der Nägel) oder zu dünne Nägel (instabile Osteosynthese), asymmetrische Bohrlöcher (asymmetrische Verspannung, Achsenfehler) oder ein Verwinden der Nägel umeinander (unelastisch, keine Aufspannung). Bei Unmöglichkeit geschlossener Reposition ist eine Inzision über der Fraktur und nachfolgend die Reposition, ggf. die manuelle Einführung der Nägel in das proximale Fragment indiziert. Postoperativ sind unzureichend gekürzte Nagelenden (Serom, Rötung, Perforation) und Flexionseinschränkungen des Knies (Nagel unzureichend gekürzt, Faszie unzureichend gespalten) möglich. Verbliebene Achsenfehler <10° sind akzeptabel. Beinlängendifferenzen können wie bei allen Verfahren der Femurfrakturversorgung grundsätzlich auftreten, überschreiten aber nur in Ausnahmen 1 cm und liegen somit im Bereich der physiologischen Beinlängendifferenz. Kontrollen sind bis 2 Jahre nach dem Trauma, bei Beinlängendifferenzen bis zum Wachstumsabschluss notwendig (Joeris et al. 2005, Jubel et al. 2004).

Fixateur externe

Für die Fixateurmontage wird in der Regel kein Extensionstisch erforderlich sein. Bei Verwendung eines modularen Fixateurs ist im Kindesalter auf die adäquate Größe des Fixateurs zu achten. Beim Kleinkind sind Schanz-Schrauben von 4 mm Durchmesser ausreichend, bei älteren Kindern sind 5 mm-Schrauben zu verwenden. Die Implantationstechnik entspricht dem Vorgehen beim Erwachsenen (▶ Kap. 9, Hüfte und Oberschenkel). Da beim Kind grundsätzlich die Ausbehandlung im Fixateur anzustreben ist, sollte auf eine exakte axiale Platzierung der Schanz-Schrauben geachtet werden, damit später eine Dynamisierung möglich ist.

Der gut platzierte Fixateur ist primär belastbar, über die effektive Gewichtsübernahme entscheidet jedoch das Kind. Nach 4 Wochen sollte ausreichend Kallus vorhanden sein, sodass dynamisiert wird, sofern dies nicht bei Querfrakturen primär erfolgt ist. Nach 6–7 Wochen kann der Fixateur nach knöcherner Durchbauung abgenommen werden.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Kallus, Dynamisierung) – Tag 42/49 (Metallentfernung).

Komplikationen umfassen Pininfektionen und Weichteilprobleme bei unzureichenden Hautinzisionen. Die Konsolidierungszeit ist im Mittel v.a. bei Querfrakturen länger als nach intramedullärer Nagelung. Nach der Metallentfernung besteht v.a. nach Querfrakturen ein relevantes Risiko der Refraktur. Die weitere Mobilisation und Nachkontrolle entspricht dem Vorgehen bei der intramedullären Nagelung.

12.2.12 Distale Oberschenkelfrakturen

Frakturen im Bereich der distalen Femurmetaphyse sind sehr selten und entstehen bei älteren Kindern im Rahmen von Verkehrsunfällen oder beim Sport, in jüngerem Alter beim Sturz vom Wickeltisch oder durch Misshandlung, bei behinderten Kindern im Rahmen der krankengymnastischen Übungsbehandlung. Kleinkinder erleiden meist Stauchungsfrakturen mit dorsaler Einstauchung, die Symptomatik beschränkt sich auf die schmerzhaft eingeschränkte Beweglichkeit und Schonhaltung. Mit zunehmendem Alter nehmen metaphysäre Biegungsbrüche und Epiphyseolysen mit/ohne metaphysärem Keil zu, jetzt können deutliche Hämatome, ein Hämarthros und auch sichtbare Fehlstellungen frontal oder sagittal resultieren. Epiphysäre Frakturen sind am distalen Femur eine absolute Rarität. Zur Diagnostik erfolgt die konventi-

onelle Röntgenaufnahme des distalen Femur in 2 Ebenen. Übergangsfrakturen entziehen sich bzgl. ihrer Komplexität gelegentlich der konventionellen Röntgendiagnostik – bei adäquatem Trauma und entsprechender Klinik empfiehlt sich die Durchführung einer zusätzlichen CT.

Die Frakturen sind der Region 33 nach der AO-Klassifikation zuzuordnen, die weitere Differenzierung beschreibt E/1 oder 2 (Epiphysenlösung), M/2 (inkomplette) und M/3 (komplette Fraktur), selten kommen die epiphysären Differenzierungen zum Tragen.

Konservative Therapie

Stauchungsfrakturen, undislozierte Epiphysenlösungen mit oder ohne metaphysären Keil sowie gering dislozierte Biegungsbrüche können konservativ behandelt werden. Dabei sollte der Achsenfehler 10° nicht überschreiten und der Patient nicht älter als 10 Jahre sein. Die Ruhigstellung erfolgt im gespaltenen Oberschenkelgipsverband, der nach einer Woche zirkuliert wird. Nach 4 Wochen ist mit einer ausreichenden Kallusbildung zu rechnen, sodass ein Gehgips angelegt werden kann. Bei Vorschulkindern ist die Fraktur möglicherweise bereits konsolidiert und eine weitere Ruhigstellung entbehrlich. Bei älteren Kindern wird die Freigabe nach 6–7 Wochen erreicht.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Gipsanlage) – Tag 7 (Stellung) – Tag 28 (Konsolidierung/Gehgips) – Tag 42/49 (Konsolidierung).

Eine Mobilisation an Unterarmgehstützen ist bei den meist kleinen Patienten oft unmöglich, erst der Gehgips führt wieder zur Beweglichkeit. Nach Gipsabnahme erfolgen die spontane Mobilisation und die klinische Kontrolle nach 2–3 Wochen. Oft ist das Gangbild jetzt noch nicht vollständig normalisiert. Besteht auch noch eine deutliche Bewegungseinschränkung in den Gelenken, sind krankengymnastische Übungsbehandlung und Gehschulung bei fehlender Geduld und Einsicht der Eltern zu überlegen, aber nicht zwingend erforderlich.

Wachstumsstörungen sind nach diesen Verletzungen grundsätzlich möglich, treten jedoch viel häufiger nach den stärker dislozierten und operativ versorgten Frakturen auf und sollen dort besprochen werden.

Operative Therapie

Dislozierte Biegungsfrakturen, Epiphysenlösungen und Epiphysenfrakturen müssen reponiert und fixiert werden, um das Risiko von Wachstumsstörungen zu begrenzen. In der Regel kann die geschlossene Reposition von einer perkutanen K-Draht-Osteosynthese ergänzt werden. Metaphysär kann der Fixateur externe, selten auch die Platte als Alternative dienen. Bei großen metaphysären Fragmenten im Rahmen von Epiphysenlösungen und bei epiphysären Verletzungen kommen Zugschrauben zur Anwendung Deutlich dislozierte Frakturen werden dringlich versorgt, im Übrigen ist die elektive Versorgung möglich.

K-Draht-Osteosynthese

Liegt keine vollständige Dislokation vor, ist die geschlossene Reposition in aller Regel möglich. Diese ist in Bauchlage zu empfehlen. Die Reposition und perkutane K-Draht-Fixation erfolgen dann in Analogie zur Versorgung suprakondylärer Humerusfrakturen, die Drähte von den Kondylen aus schräg aufsteigend, die Gegenkortikalis fassend und sich proximal der Fraktur kreuzend (Abb. 12.32). Die Drähte haben die Stärke 1,6–2 mm. Im Einzelfall ist die absteigende Spickung von der Metaphyse aus in die Epiphyse hinein hilfreich, die Drähte enden dann knapp vor der Gelenkfläche. Vorteil ist die distale Schonung der Gelenkkapsel.

Nach erzielter suffizienter Fixation werden die Drähte gekürzt und unter die Haut versenkt oder herausstehen lassen. Eine zusätzliche Ruhigstellung mittels Oberschenkelgipsschiene ist notwendig. Der weitere Verlauf gleicht der konservativen Therapie, ergänzt durch die Metallentfernung nach erfolgter Konsolidierung.

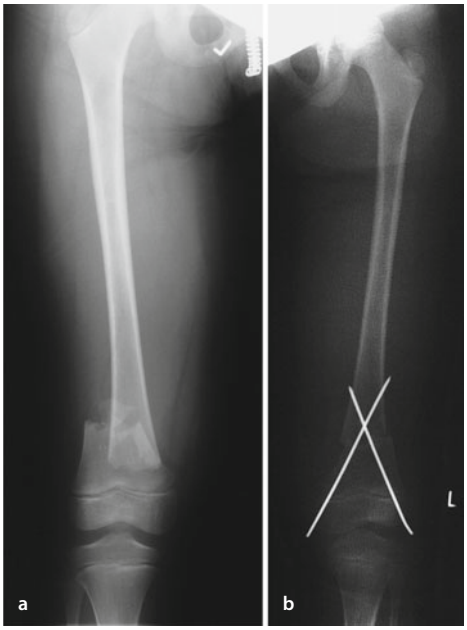


Abb. 12.32a,b K-Draht-Osteosynthese bei distaler Femurfraktur. **a** Unfallbild. **b** Osteosynthese

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Konsolidierung, Metallentfernung, Gehgips) – Tag 42/49 (Konsolidierung).

Zugschraubenosteosynthese

Epiphysäre sowie Übergangsfrakturen werden offen reponiert und mit Zugschrauben fixiert. Diese Verletzungen sind selten. Epiphyseolysen mit großem metaphysärem Keil sind zur Verschraubung geeignet. Über einen lateralen oder medialen Zugang zum distalen Femur (je nach der Position des metaphysären Fragments) wird das Fragment exakt reponiert. Meist können eine oder 2 durchbohrte Zugschrauben 3,5–4 mm parallel eingebracht werden. Die Versorgung ist nicht übungs-, aber bewegungsstabil, die Gipsruhigstellung fakultativ. Die größeren Kinder werden an Unterarmgehstützen unter Entlastung mobilisiert. Die Belastung ist nach ausreichender Kallusüberbrückung möglich. Die Metallentfernung wird nach 3 Monaten geplant.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Kallusüberbrückung, Gehgips) – Tag 42/49 (Konsolidierung, Planung der Metallentfernung).

Fixateur externe

Selten sind metaphysäre Querfrakturen zwar reponibel, können aber durch die K-Drähte nicht ausreichend retiniert werden. Hier stellt der von lateral angelegte (epi-)diaphysär platzierte Fixateur eine Alternative dar. Natürlich darf bei epiphysärer Komponente weder Kompression noch Dynamisierung erfolgen, und der Spanner wird möglichst früh bei Zeichen ausreichender Kallusüberbrückung abgenommen, ggf. dann noch einmal durch einen Gehgips ersetzt.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28/35 (Kallusbildung, Metallentfernung) – Tag 42/49 (Konsolidierung, Freigabe).

Besonders bei Adoleszenten nach begonnenem Fugenschluss stellt die winkelstabile Plattenosteosynthese eine weitere Alternative dar.

Bei allen operierten Frakturen verläuft die Mobilisation nach Gipsabnahme wie bei der konservativen Behandlung. Mit dem in der Regel größeren Ausmaß der Dislokation sind jedoch die Komplikationen bezüglich des weiteren Wachstums in bis zu einem Drittel der Fälle evidenter. Partielle Verknöcherungen der Fuge resultieren in X- oder O-Bein oder in einer sichtbaren Rekurvation bei anteriorem Fugenschaden. Ein vollständiger Wachstumsstopp ist ebenfalls möglich und bewirkt eine erhebliche Beinverkürzung, da die Fuge sehr lange wächst. Aus diesen Gründen sind operierte Frakturen des distalen Femur bis 2 Jahre nach dem Trauma oder bis zum physiologischen Fugenschluss zu kontrollieren. Die beschriebenen Wachstumsstörungen sind durch die eine oder andere Osteosynthese nicht oder nicht besser zu verhindern. Sie sollten jedoch durch unsachgemäße Versorgungen (zu große Implantate) nicht verstärkt werden (Arkader et al. 2007, Beck et al. 2001, Täger et al. 2009).

12.2.13 Knieverletzungen

Der Sturz auf das Knie gehört sicher zu den alltäglichen Verletzungen im Kindesalter, die relevante intraartikuläre knöcherne Verletzung ist selten. Die Kniegelenke sind überwiegend periartikulär geschwollen. Nach radiologischem Frakturausschluss ist im Einzelfall die Ruhigstellung für einige Tage sinnvoll, meist ist eine funktionelle Behandlung möglich. Liegt ein Kniegelenkerguss vor, erfolgt die Punktion. Seröse Reizergüsse bedürfen – sofern posttraumatisch – keiner weiteren Diagnostik. Ist nach einwöchiger Ruhigstellung der Erguss nicht nachgelaufen, kann mobilisiert werden. Blutige Ergüsse können durch Weichteilverletzungen (Bänder, Kapsel, Meniskus) oder (osteo-)chondrale flakes bedingt sein. Handelt es sich um reines Blut und ist eine Fraktur radiologisch ausgeschlossen, ist die Verlaufskontrolle nach 1 Woche bis zu 10 Tagen empfehlenswert. Ist der klinische Befund jetzt unauffällig, kann mobilisiert werden. Hat der Erguss Fettaugen, ist nachgelaufen oder kehrt nach Belastungsbeginn zurück, soll eine MRT die Kniebinnenverletzung evaluieren. Die Wahrscheinlichkeit einer relevanten Verletzung steigt ab dem 10. Lebensjahr deutlich an. Die Arthroskopie ist diagnostisch nur selten, dagegen eher therapeutisch indiziert, um das Hämarthros konsequent auszuspülen und flakes zu fixieren oder zu entfernen oder Meniskusverletzungen zu nähen (Beaty u. Kumar 1994).

Die prinzipielle Arthroskopie jedes Hämarthros ist wegen der hohen Spontanheilungsrate nicht notwendig.

Patellafrakturen

Patellafrakturen werden durch direkte Traumen ausgelöst. Es kommt zur deutlichen präpatellaren Schwellung, einem erheblichen Hämatom und schmerzhafter Beugehemmung. Distale Polabrisse sind durch Streckunfähigkeit und tastbare Einsenkung charakterisiert. Die Diagnostik erfordert die konventionelle Röntgenaufnahme des Kniegelenks in 2 Ebenen sowie die tangentiale Patellaaufnahme. Unterschieden werden Quer-, Längsfrakturen und Kantenabbrüche, die jedoch von der Patella bipartita mit separaten Knochenkernen unterschieden werden müssen.

Konservative Therapie

Undislozierte Längs- und Querfrakturen sowie nicht aus dem Verbund herausgelöste Kantenabbrüche werden konservativ behandelt. Die Ruhigstellung erfolgt in 15°-Flexion im Gipstutor, die Belastung ist abhängig von der Schmerzhaftigkeit möglich. Nach Konsolidierung beginnt die Mobilisation des Kniegelenks, die krankengymnastische Unterstützung ist nur notwendig, wenn mehr als 3 Wochen nach Freigabe Einschränkungen der Knieflexion verblieben sind.

Röntgenkontrollen: Tag 7 (sekundäre Dislokation) – Tag 28/35 (Konsolidierung).

Kleine Unregelmäßigkeiten auf der Patellarückfläche können präarthrotisch bedeutsam werden, sind jedoch auch im Rahmen von Osteosynthesen nicht zu verhindern.

Operative Therapie

Aus dem Verbund der Patella ausgelöste Fragmente werden über begrenzte lokale Zugänge mit Kleinfragmentschrauben oder resorbierbaren Pins refixiert, distale Polabrisse über eine Längsinzision ggf. transossär refixiert und z.B. mit einer patellotibialen Cerclage (Tuberositas schonen!) neutralisiert (Abb. 12.33).

Dislozierte Querfrakturen werden mittels Zuggurtung versorgt. Die Operation erfolgt elektiv.

Zuggurtung

Mediane Längsinzision über der Patella, Darstellen der Bruchflächen, Reposition der Fraktur, Fixation mit der Repositionszange und Einbringen von 2 parallelen K-Drähten der Stärke 1,6–2 mm von kranial nach kaudal oder umgekehrt unter Schonung der retropatellaren Gelenkfläche. Die Drähte werden gekürzt und umgebogen, anschließend kann ein Cerclagedraht von 0,8–1 mm Stärke in einer Achtertour um die Drahtenden gelegt und gespannt werden. Jetzt kommt es zur Fragmentkompression. Alternativ kann der Cerclagedraht durch die längs verlaufenden K-Draht-Bohrlöcher geführt und die Fragmente direkt durch die Cerclage komprimiert werden. Eine zweite, um den Ansatz des M. quadriceps und um den Patellarsehnenursprung herumgeführte Cerclage stabilisiert das System ggf. zusätzlich. Alternativ kann man über die längs verlaufenden K-Drähte durchbohrte Schrauben einbringen (▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel).

Es erfolgt die Lagerung und Bewegung auf der Motorschiene. Bei Schmerzfreiheit ist die Mobilisation an Unterarmgehstützen und die sukzessive Belastung erlaubt. Es sollte bei liegender Zuggurtung die volle Beweglichkeit des Knies erreicht werden, ggf. mit physiotherapeutischer Unterstützung. Die Metallentfernung kann nach 3 Monaten erfolgen.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Konsolidierung) – Tag 90 (Metallentfernung).

Auch nach der Osteosynthese können Unebenheiten auf der retropatellaren Gleitfläche einer Arthrose Vorschub leisten. Grundsätzlich ist aber im Kindesalter eine gute Prognose dieser Verletzung anzunehmen.

Ausrissfrakturen der Eminentia intercondylica

Der Eminentiaausriss als knöcherner vorderer Kreuzbandausriss wird häufiger und betrifft nicht mehr nur Jugendliche oder aktive Sportler, sondern auch die älteren Schulkinder. Die Klinik wird bestimmt vom Hämarthros und der deutlichen Funktionseinschränkung. Zur Diagnostik sind a.p.- und seitliches Röntgenbild der proximalen Tibia erforderlich. Die Frakturen sind als 41-E/7 zu klassifizieren (Bandausriss proximale Tibia) und in un- oder partiell dislozierte sowie vollständig dislozierte Frakturen zu unterscheiden.

Konservative Therapie

Un- oder gering dislozierte Frakturen, die im seitlichen Röntgenbild noch einen Kontakt der Eminentia mit der Tibiaepiphyse zeigen, werden in Hyperextension reponiert und in 10–15° Flexion

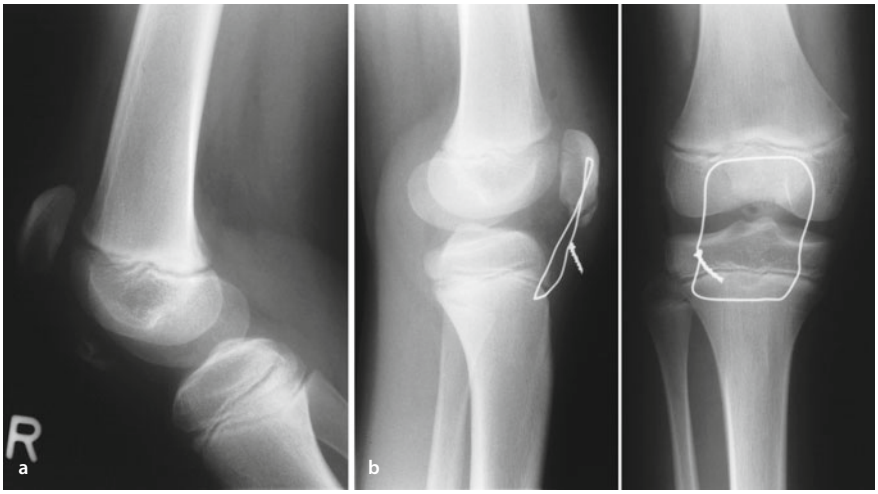


Abb. 12.33a,b Knöcherner Ausriss der Patellarsehne mit transossärer Refixation und patellotibialer Cerclage zur Neutralisation. **a** Unfallbild. **b** Nach osteosynthetischer Versorgung

des Kniegelenks (in dieser Position ist das Band entspannt) in einem Tutor ruhiggestellt. Unter Durchleuchtung ist die ausreichende Reposition und Retention des angehobenen Fragments in sein Bett zu kontrollieren. Zuvor sollte immer das Hämarthros punktiert werden, sofern dies nicht bereits diagnostisch erfolgte.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Gipsanlage) – Tag 7 (Kontrolle der Fragmentfixation) – Tag 28/35 (Konsolidierung).

Es ist primär die Vollbelastung im Tutor erlaubt, nach Gipsabnahme erfolgt die spontane Mobilisation. Innerhalb von 4 Wochen sollte die Flexionsfähigkeit des Knies weitgehend wiederhergestellt sein, sonst ist Physiotherapie indiziert. Alternativ kann ab der 3. Woche auf eine Orthese mit ansteigender Flexionsfreiheit gewechselt werden.

Als **Komplikation** ist die unzureichende Fixation des Fragments in seinem Lager in der Tibiaepiphyse anzusprechen, die zu einer verminderten Bandspannung des vorderen Kreuzbandes führen kann. Es resultiert eine – meist gering ausgeprägte – Instabilität.

Nach dem Erreichen der vollen Kniegelenkbeweglichkeit bei stabilen Bandverhältnissen kann die Nachkontrolle beendet werden.

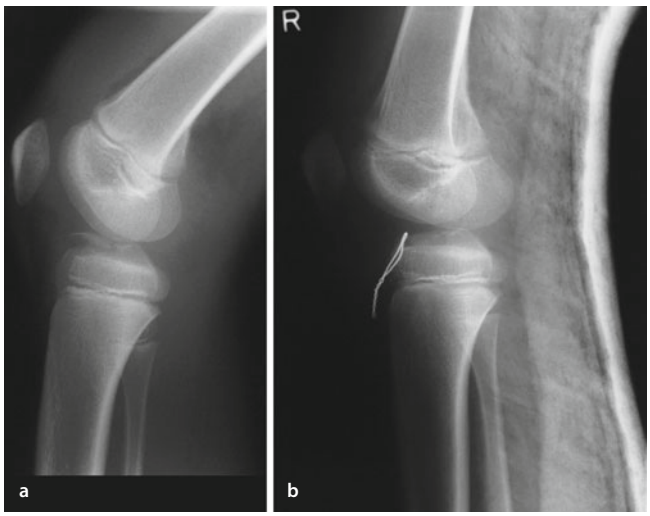


Abb. 12.34a,b Dislozierte Ausrissfraktur der Eminentia intercondylica. **a** Seitliches Unfallbild mit Abhebung der Eminentia. **b** Zustand nach offener Reposition und Fixation mit Cerclage, die heute resorbierbar wäre

Operative Therapie

Vollständig dislozierte Frakturen müssen reponiert und fixiert werden. Hierzu stehen die arthroskopische Reposition (gleichzeitige Prüfung von Menisken, Knorpel und Bändern) oder die Versorgung mittels Arthrotomie zur Verfügung. Die Fragmentfixation erfolgt durch eine intraepiphysäre Zugschraube ante- oder retrograd oder eine Cerclage (Draht oder resorbierbar). Die Versorgung kann elektiv erfolgen, sofern das Hämarthros entlastet wird (Fernandez et al. 2007, Mahar et al. 2008).

Cerclage

Nach anteromedialer Arthrotomie oder unter arthroskopischer Kontrolle wird zunächst der Innenmeniskus inspiziert, anschließend kann das abgehobene Eminentiafragment reponiert und mit einem feinen Instrument in seinem Lager gehalten werden. Über die Tuberositas werden intraepiphysär 2 parallele Bohrlöcher 1,5 mm (z.B. mit K-Drähten) schräg aufsteigend zur Eminentia angelegt, die Cerclage in das Gelenk hineingeführt, ggf. hinter dem Ansatz des vorderen Kreuzbandes herum- und durch den 2. Bohrkanal zur Tuberositas zurückgeführt. Jetzt kann die Cerclage geschlossen und das Fragment fixiert werden (Abb. 12.34). Heute kommen bevorzugt resorbierbare Cerclagen zur Anwendung. Alternativ ist die intraepiphysäre Zugschraubenosteosynthese etabliert.

Bei resorbierbarem Material entfällt die spätere Metallentfernung, die sonst nach 8 Wochen erfolgen kann. Die Ruhigstellung wird im Oberschenkeltutor durchgeführt, der natürlich erst nach Abschwellung geschlossen werden kann. Belastung ist möglich.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Konsolidierung) – Tag 56 (Metallentfernung).

Nach der Konsolidierung kann die schrittweise Mobilisation der Flexion in der Knieorthese erfolgen. Zur Metallentfernung sollte weitgehend die freie Kniebeweglichkeit erreicht sein, sonst ist anschließend mit krankengymnastischer Übungsbehandlung zu unterstützen.

Neben der schon erwähnten Instabilität aufgrund einer unzureichenden Bandspannung sind bei den vollständig dislozierten Frakturen aufgrund der höheren Zahl relevanter Begleitverletzungen auch vermehrt **Komplikationen** im Sinne von Meniskusschäden oder präarthrotischen Knorpeldefekten möglich. Die klinische Kontrolle muss deshalb – v.a. bei sportlich aktiven Jugendlichen – über 2 Jahre bzw. bis zum Wachstumsabschluss fortgeführt wer-

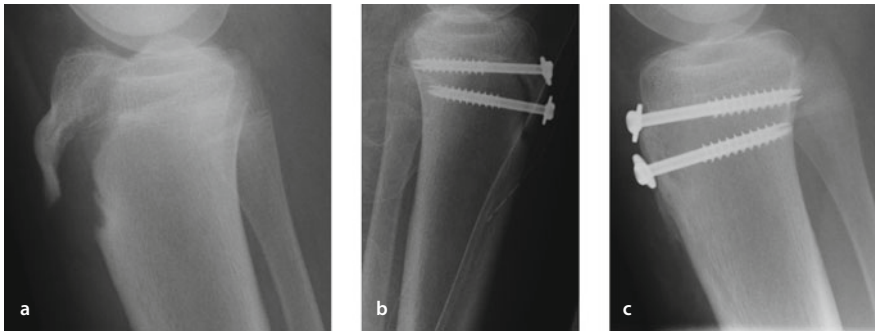


Abb. 12.35a–c Ausrissfraktur der Tuberositas tibiae. **a** Unfallbild. **b** Zugschraubenversorgung. **c** Ausheilung bei geschlossener Fuge

den. Wachstumsstörungen sind bei diesen intraepiphysären Verletzungen durch die Fraktur nicht zu erwarten, können jedoch iatrogen bei transepiphysärem Vorgehen ausgelöst werden.

Verletzungen der Tuberositas tibiae

Diese Apophysenabrisse sind Verletzungen des Jugendlichen bei forcierten Streckmanövern des Kniegelenks. Klinisch sind die Unmöglichkeit der Kniestreckung und die Schwellung über der proximalen Tibia zu beobachten. Röntgenaufnahmen der proximalen Tibia a.p. und seitlich sind ausreichend. Die Frakturen sind altersabhängig als 41-E/9 oder M/9 zu kodieren und in intra- und extraartikuläre zu differenzieren.

Therapie

Einer konservativen Behandlung sind nur undislozierte Frakturen zugänglich. Da dies jedoch die absolute Ausnahme ist, ist der Tuberositasabriss fast eine primäre Operationsindikation.

Zur Anwendung kommt die Zugschraubenosteosynthese, die Versorgung kann elektiv vorgenommen werden. Über eine längs verlaufende Hautinzision wird das ausgerissene Fragment dargestellt, reponiert und mit ein bis 2 leicht schräg aufsteigenden kanülierten Schrauben refixiert. Die Schraube muss dabei nicht die dorsale Kortikalis erreichen (Abb. 12.35). Eine zusätzliche Ruhigstellung im Gipstutor ist sinnvoll, da oft zusätzliche Traumafolgen am Patellarsehnenansatz vorliegen können. Im Einzelfall sind eine frühfunktionelle Behandlung ohne Gips auf der Motorschiene und Mobilisation in Entlastung oder die Ruhigstellung in einer Orthese möglich.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 35 (Konsolidierung) – Tag 84 (Metallentfernung).

Nach 5 Wochen kann die Gipshülse abgenommen und mit der Mobilisation unter physiotherapeutischer Anleitung bzw. mit der Belastung begonnen werden. Die Metallentfernung wird nach etwa 3 Monaten geplant. Bei jüngeren Patienten mit noch offener proximaler Tibiaepiphysenfuge können Wachstumsstörungen mit Rekurvationsfehlwachstum resultieren. Entsprechend müssen diese Patienten längerfristig (2 Jahre) bzw. bis zum Wachstumsabschluss kontrolliert werden. Adoleszente mit geschlossenen Fugen müssen keine Wachstumsstörungen befürchten.

12.2.14 Frakturen am Unterschenkel

6–8% aller Frakturen im Kindesalter betreffen den Unterschenkel, 15% aller Schaftfrakturen den Unterschenkelschaft, Jungen sind bis zu einem Verhältnis von 2:1 betroffen, das mittlere Alter beträgt 6,5 Jahre. Die Frakturen entstehen nach direkten Traumen bei Verkehrsunfällen, durch Rotationstraumen beim Skifahren, durch Radspeichenverletzungen kleiner Kinder oder durch Stürze auf dem Spielplatz und beim Sport. Nicht zu vergessen ist die Kindesmisshandlung, 26% der misshandelten Kinder weisen knöcherne Verletzungen am Unterschenkel auf.

Die Klinik wird geprägt von schmerzhafter Bewegungseinschränkung, Schwellung und Hämatom und oft sichtbarer Achsenfehlstellung.

Proximale Tibiafrakturen tendieren zur Valgusfehlstellung, isolierte Tibiaschaftfrakturen zur Varusfehlstellung und Unterschenkelfrakturen – bei fehlender Sperrwirkung der Fibula, aber auch fehlender Längenfixation – zur Verkürzung.

Die Diagnostik bedarf nur der konventionellen Röntgenaufnahme der gesamten Tibia in 2 Ebenen, bei proximalen und distalen Frakturen können die späteren Kontrollen eingeblendet werden.

Frakturen der proximalen Tibiametaphyse werden als 41-M/2 (subperiostale Stauchungsfraktur, Biegungsbruch) oder M/3 (komplette Fraktur) klassifiziert, Schaftfrakturen als 42-D/4 (quer), D/5 (schräg oder spiral) oder D/2 (Grünholz-Fraktur) bezeichnet.

Frakturen der proximalen Metaphyse

Konservative Therapie

Subperiostale Stauchungsfrakturen und undislozierte komplette Querfrakturen werden nur im Gips ruhiggestellt. Die oft nur gering dislozierten Biegungsfrakturen der Kleinkinder müssen dagegen zwingend exakt reponiert werden. Die medial wenig klaffenden, lateral jedoch durch das unverletzte Periost gezügelten und unter Kompression stehenden Frakturen führen bei unzureichender Reposition durch die verzögerte mediale Konsolidierung zur gleichseitigen Fugenstimulation und zur progressiven Valgusdeformität (Abb. 12.36).

Die Frakturen müssen in Allgemeinnarkose medial unter Kompression (Varusstress) gebracht und in dieser Position eingegipst werden (Oberschenkelgips). Gegebenenfalls kann eine intraoperative oder spätere laterale Gipskeilung die mediale Kompression unterstützen. Es muss unbedingt eine achsengerechte Situation erzielt werden. Ist dies trotz Keilung nicht zu erzielen, muss sekundär operativ vorgegangen werden.

Dislozierte komplette Frakturen werden in Narkose reponiert und können aufgrund des queren Frakturverlaufs in der Regel mühelos in eine achsengerechte Stellung gebracht werden. Hier sollten auch keine Seit-zu-Seit-Verschiebungen akzeptiert werden, da das Ausmaß der Remodellierung auch den Umfang der Fugenstimulation bestimmt und die sensible mediale Tibiafuge nicht zusätzlich irritiert werden sollte.

Röntgenkontrollen: Tag 1 (Kontrolle nach Gipsanlage) – Tag 7/8 (Stellungskontrolle, ggf. auch nach Keilen) – Tag 28/35 (Konsolidierung).

Abb. 12.36 Proximale metaphysäre Tibiafraktur. Der medial oft nur gering klaffende Frakturspalt darf nicht belassen werden. Eine verbleibende Valgusfehlstellung führt im weiteren Verlauf zum ausgeprägten X-Bein

Nach erfolgter und radiologisch sowie klinisch bewiesener Konsolidierung ist die spontane Mobilisation bei den kleinen Kindern in aller Regel ausreichend, sofern es gelingt, den Eltern das noch 3–4 Wochen lang auffällige Gangbild mit Außenrotation des Beins als passagere Gipsruhigstellungsfolge zu erklären. Im weiteren Verlauf kann auch bei sehr gut reponierten Frakturen eine Valgusdeformität entstehen. Sie wird selbst durch die oft empfohlene offene Revision mit Naht des Pes anserinus und/oder des Periosts nicht sicher verhindert. Offensichtlich kommt es bei diesen Frakturen zu einer unklaren primären Stimulation der medialen Fuge. Korrekturen sind – sofern nötig – auf jeden Fall so spät wie möglich vorzunehmen, da die Fehlstellung dann nach diaphysär gewachsen ist und bessere Korrekturmöglichkeiten bietet; bei zu früher Korrektur droht zudem das Rezidiv. Aufgrund dieser Dynamik ist eine langfristige Nachkontrolle empfehlenswert.

Operative Therapie

Die Indikation zur Operation besteht bei anatomisch nicht exakt reponiblen Biegungsfrakturen des Kleinkindes und bei unvollständig reponiblen kompletten Frakturen des älteren Kindes. Da auch bei den kleinen Kindern die Kompression des Frakturspalts elementar wichtig ist, kommt eine Adaptationsosteosynthese mit K-Drähten nicht infrage. Hier ist primär der Fixateur externe angebracht, der – medioventral platziert – zu einer guten medialen Kompression führt. Auch bei älteren Kindern kann über die äußere Fixation reponiert und retiniert werden. Die Versorgung erfolgt elektiv. Die beiden proximalen Schanz-Schrauben werden dabei parallel in der Metaphyse platziert und als T- oder L-Form mit den in die Diaphyse eingebrachten Schanz-Schrauben verbunden. Bei Implantation des modularen Fixateurs wird die Bohrschablone zur exakten Platzierung der Schrauben verwandt. Beim Rohrsystem empfiehlt sich zunächst die metaphysäre Fixation, dann die Einbringung der frakturfernen diaphysären Schraube, die Reposition über die Schrauben als Angriffspunkte, die Fixation der Länge mit dem Rohr und eine abschließende Korrektur bei der Platzierung der frakturnahen diaphysären Schanz-Schraube.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28/35 (Konsolidierung).

Die Mobilisation erfolgt nach Maßgabe der Schmerzfreiheit und wird weitgehend vom Kind bestimmt. Grundsätzlich ist primäre Vollbelastung möglich, sofern die Schrauben sicher und fest implantiert wurden. Eine Dynamisierung kann den weiteren Heilungsverlauf beschleunigen, nach Konsolidierung (4–5 Wochen) wird der Fixateur ambulant abgenommen. Eine Nachbehandlung mit krankengymnastischer Anleitung wird nur in Ausnahmen notwendig sein. Wegen der schon oben ausgeführten Gefahr des Valgusfehlwachstums selbst bei exakt reponierten Frakturen ist die weitere Kontrolle in Jahresabständen unerlässlich und sollte über 3–4 Jahre fortgeführt werden, bei festgestellter Valgustendenz ggf. bis zum Wachstumsabschluss.

Unterschenkelschaftfraktur

Die Frakturen des Unterschenkels finden sich vornehmlich im mittleren (40%) und distalen Drittel (50%). Zu etwa zwei Dritteln liegen isolierte Tibiafrakturen vor (jüngere Kinder), zu einem Drittel Unterschenkelfrakturen (ältere Kinder). Schräg- und Spiralfrakturen verteilen sich etwa im Verhältnis 5:2 zu Querfrakturen, nur in 6% finden sich Mehrfragmentbrüche. 20% der Frakturen sind dislozierd. Bei den älteren Kindern führt die zunehmende Zahl an Verkehrsunfällen zu größerer Zahl von Unterschenkelfrakturen mit Weichgewebeverletzungen (unter 10%) oder Begleitverletzungen (etwa 10%).

Konservative Therapie

Bei den isolierten Tibiafrakturen ist – mit Ausnahme weniger absoluter Operationsindikationen – die konservative Behandlung die Methode der ersten Wahl. Wenige Tibiafrakturen tendieren in eine so ausgeprägte Varusstellung, dass dem durch Reposition und sekundäre Gipskeilung nicht suffizient entgegengewirkt werden kann. Eher ist bei den glatten Querfrakturen der Tibia nach direktem Trauma (z.B. Tritt beim Fußball spielen) wegen der langen Konsolidierungszeit älterer Kinder oder Adoleszenter an eine relative Indikation zur Osteosynthese zu denken. Bei den Unterschenkelfrakturen entscheidet die erzielbare Stabilität der Retention über die Chance konservativer Therapie. Die Einschätzung der Frakturdynamik am Röntgenbild muss zu dem Schluss führen, dass über die in Narkose durchgeführte Reposition hinaus nur eine Gipskeilung zur ausreichenden Achsenkorrektur notwendig sein wird.

Wer an Nachreposition denkt, muss sich zur Osteosynthese entscheiden.

Das Repositionsmanöver am Unterschenkel ist einfach, da die Knochen gut unter der Haut manipuliert werden können. Es empfiehlt sich, erst auf die Wiederherstellung der physiologischen Antekurvation zu achten und dann der Varustendenz der Tibiafraktur durch Valgusstress zu begegnen. Es wird ein aufgeschnittener Oberschenkelgips angelegt. Das nach 1 Woche oft zu beobachtende »Nachrutschen« der isolierten Tibiafraktur in den Varus kann dann durch Keilen korrigiert werden. Hierzu muss nach Gipsschluss (ggf. in Sedierung bzw. Prämedikation) unter Durchleuchtung der tiefste Punkt des Varus gesucht und von dieser Stelle aus der Gips semizirkulär aufgesägt werden. Mit einem Gipsspreizer wird nun unter Durchleuchtung so lange in den Valgus gespreizt, bis über den Hebelarm »Gips« die Fehlstellung korrigiert ist. Jetzt wird ein Platzhalter (Holzkeil, Kork) in den Gipsspalt geklemmt und die Stelle mit einer Gipsbinde umwickelt. Bei den Unterschenkelfrakturen sind die Fehlstellungsvarianten größer, die Keilung wird entsprechend variabel an die unter Durchleuchtung identifizierte Stelle der größten Fehlstellung platziert.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Reposition) – Tag 7 (Stellung, Keilen?) – [Tag 8 (nach dem Keilen)] – Tag 21/28 (Kallusüberbrückung, Gehgips, Sarmiento) – Tag 42/56 (Konsolidierung, Freigabe).

Nach Gipsabnahme dürfen sich die Kinder zunächst für 2 Wochen nach eigener Maßgabe mobilisieren, meist ist dann nur noch das Gangbild auffällig, was noch auf den veränderten Bewegungsablauf im Gips zurückzuführen ist und immer von selbst verschwindet.

Eine **Komplikation** ist das »unbemerkte« Abgleiten in den Varus. Bis zum Alter von 10 Jahren ist von einer guten Spontankorrektur auszugehen, dies betrifft auch die selteneren Rekurvationen. Es soll dennoch Ziel der Therapieplanung sein, Achsenfehler über 10° v.a. jenseits des 10. Lebensjahrs zu vermeiden, um die Korrekturkräfte nicht zu überfordern und um einem verspäteten Umstieg auf eine Osteosynthese, ggf. mit Refraktur oder einer Umstellungsosteotomie vorzubeugen. Rotationsfehler können bei Drehbrüchen der Tibia auftreten. Sie korrigieren sich im Rahmen der physiologischen Torsionsänderungen in begrenztem Maß, sollten aber ebenfalls über 10° nicht belassen werden (Kontrolle seitengleicher Fußstellung bei parallelen Kniescheiben). Längendifferenzen entstehen in Abhängigkeit von der Summe der Reparationsvorgänge. Auch aus diesem Grund ist die Vermeidung übermäßiger Achsenfehler sinnvoll.

Bei achsengerechter Ausheilung wird die Beinlängenentwicklung für 2 Jahre (einmal im Jahr) kontrolliert, bei auftretender Längendifferenz über 1 cm erfolgt Längenausgleich durch Sohlenerhöhung und weitere Kontrolle bis zum Wachstumsabschluss. Dies trifft auch für relevante verbliebene Achsenfehler zu, da Korrekturen erst bei Fugenschluss geplant werden sollten.

Operative Therapie

Instabile Frakturen, irreponible Frakturen und solche, bei denen die Gipsruhigstellung das Repositionsergebnis nicht halten kann, sind in gleicher Narkose osteosynthetisch zu versorgen. Hierbei handelt es sich vornehmlich um Unterschenkelbrüche mit Tibia- und Fibulafraktur auf gleicher Höhe und Dislokation, Schräg- und Spiralfrakturen, Mehrfragmentfrakturen und offene Frakturen 2. bis 3. Grades sowie einzelne Tibiafrakturen mit ausgeprägtem Varus. Zusätzliche Operationsindikationen bestehen beim Kompartmentsyndrom, Femurfrakturen der gleichen oder der Gegenseite, spastischen Kindern, bei Refrakturen, Polytraumen und schweren Schädel-Hirn-Traumen.

Bei geschlossenen und erstgradig offenen Frakturen ist die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung indiziert, sofern die beiden Hauptfragmente in ausreichendem Kontakt sind und die Unterschenkellänge gehalten werden kann. Bei zweit- bis drittgradig offenen Frakturen und Mehrfragmentfrakturen ist der Fixateur externe als ventrale monolaterale Montage die Methode der Wahl.

Die Versorgung instabiler Unterschenkelfrakturen erfolgt dringlich, da die Lagerung sonst schmerzhaft ist und die passagere Kalkaneusextension nur im äußersten Falle (z.B. vordringliche Versorgung vital bedrohender Kopf-, Abdominal- oder Thoraxverletzungen) eingesetzt werden sollte.

Intramedulläre Nagelung

Die Lagerung des Patienten erfolgt auf dem Rücken, das frakturierte Bein ist beweglich abgedeckt und in leichter Knieflexion positioniert. Der Nageldurchmesser entspricht einem Drittel des Markraumdurchmessers an der schmalsten Stelle. Die Implantation ist antegrad. Beidseits der Tuberositas tibiae werden parallele, schräg nach kranial verlaufende Hautinzisionen angelegt, die Kortikalisperforationen mit dem Pfriem sollten in einem Winkel von etwa 45° in der frontalen und sagittalen Ebene erfolgen, also nicht zu steil, damit die Nägel nicht passiv durch den relativ weiten Tibiakopf laufen und ohne Kontakt zur Gegenkortikalis die Fraktur passieren. Dies würde die Verspannung beeinträchtigen. Gegebenenfalls ist an der Tibia ein Vorbiegen der Nägel sinnvoll. Beide Nägel werden bis zur Fraktur vorgeschoben, jetzt erfolgt die externe Reposition. Anschließend wird der Nagel, der leichter in das Gegenfragment gleitet, über die Fraktur vorgeschoben. Eine Drehung der Nagelspitze kann hilfreich sein. Die Spitze kann dann im Gegenfragment als Repositionshilfe eingesetzt werden, der zweite Nagel folgt nach, beide Nägel werden bis in die distale Metaphyse geschlagen, mit den Spitzen nach dorsal gedreht (Rekonstruktion der physiologischen Antekurvation) und mit einigen Hammerschlägen in der metaphysären Spongiosa verankert (Dietz et al. 1997, Dietz et al. 2006, Kubiak et al. 2007, ◘ Abb. 12.37).

War die Fraktur zuvor irreponibel, kann die Reposition durch die »innere« Hilfe der Nägel jetzt gelingen. Selten ist die offene Reposition über eine kleine Inzision über der Fraktur notwendig.

Die Nägel werden gekürzt und unter die Haut versenkt. Bei instabilen Spiralfrakturen können wie am Oberschenkel Schraubkappen zur Verriegelung eingesetzt werden. Das abschließende Durchleuchtungsbild soll die gute Dreipunktabstützung und die ovaläre Aufspreizung der Nägel in Frakturhöhe bestätigen. Asymmetrische Spannungsbögen (Achsenfehler), umeinander gewundene Nägel (unelastische Fixation), zu dicke (unelastische, starre Fixation) oder zu dünne Implantate (keine Übungsstabilität) müssen korrigiert werden. Die Fibula bleibt unversorgt.

Die Versorgung ist übungsstabil, eine ergänzende Ruhigstellung ist nicht notwendig, größere Patienten können sofort auf die Motorschiene gelagert und bewegt werden. Bei Querfrakturen ist nach der Wundheilung Vollbelastung möglich. Schräg- oder Drehbrüche beginnen je nach Frakturtyp mit Ent- oder Teilbelastung und gehen nach entsprechender Kallusüberbrückung in 2 Wochen zur Vollbelastung über. Nach vollständiger Konsolidierung erfolgt die Freigabe zum Sport. Die Metallentfernung wird nach abgeschlossener Restitution des Knochens, etwa nach 3–4 Monaten, ambulant durchgeführt. Die einzelnen Schritte der Belastung bedürfen je nach Temperament und Geschick des Patienten der physiotherapeutischen Anleitung.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21/28 (Konsolidierung, Freigabe) – Tag 84 (Metallentfernung).

Bei der Festlegung der proximalen Einschlagstellen ist auf die Schonung der Tuberositas und des N. peroneus zu achten. Der **Komplikation** einer kutanen Perforation der Nagelspitzen ist durch ausreichende Kürzung vorzubeugen. Verbliebene Achsenfehler um 5° sind nicht relevant. Bei der Nagelung isolierter Tibiafrakturen kann es zu Heilungsverzögerungen oder Pseudarthrosen kommen, wenn die unverletzte Fibula sperrt. Dies macht ggf. Systemwechsel oder eine Fibulaosteotomie erforderlich. Beinlängendifferenzen nach intramedullärer Nagelung liegen bis auf seltene Ausnahmen unter 1 cm und überschreiten somit die physiologischen Differenzen nicht. Kontrollen erfolgen im Abstand von 6 Monaten bis zum 2. Jahr nach Trauma oder bis zum stattgehabten Fugenschluss.

Fixateur externe

Lagerung auf dem Rücken; das Bein ist beweglich abgedeckt, das Knie in leichter Flexion gelagert. Zunächst werden die beiden frakturfernen Schanz-Schrauben (4–5 mm) von ventral über Stichinzisionen platziert, das Längsrohr montiert, die Länge der Tibia eingestellt und dann bei der Platzierung der beiden frakturnahen Schrauben die Feinreposition durchgeführt. Bei Mehrfragment-

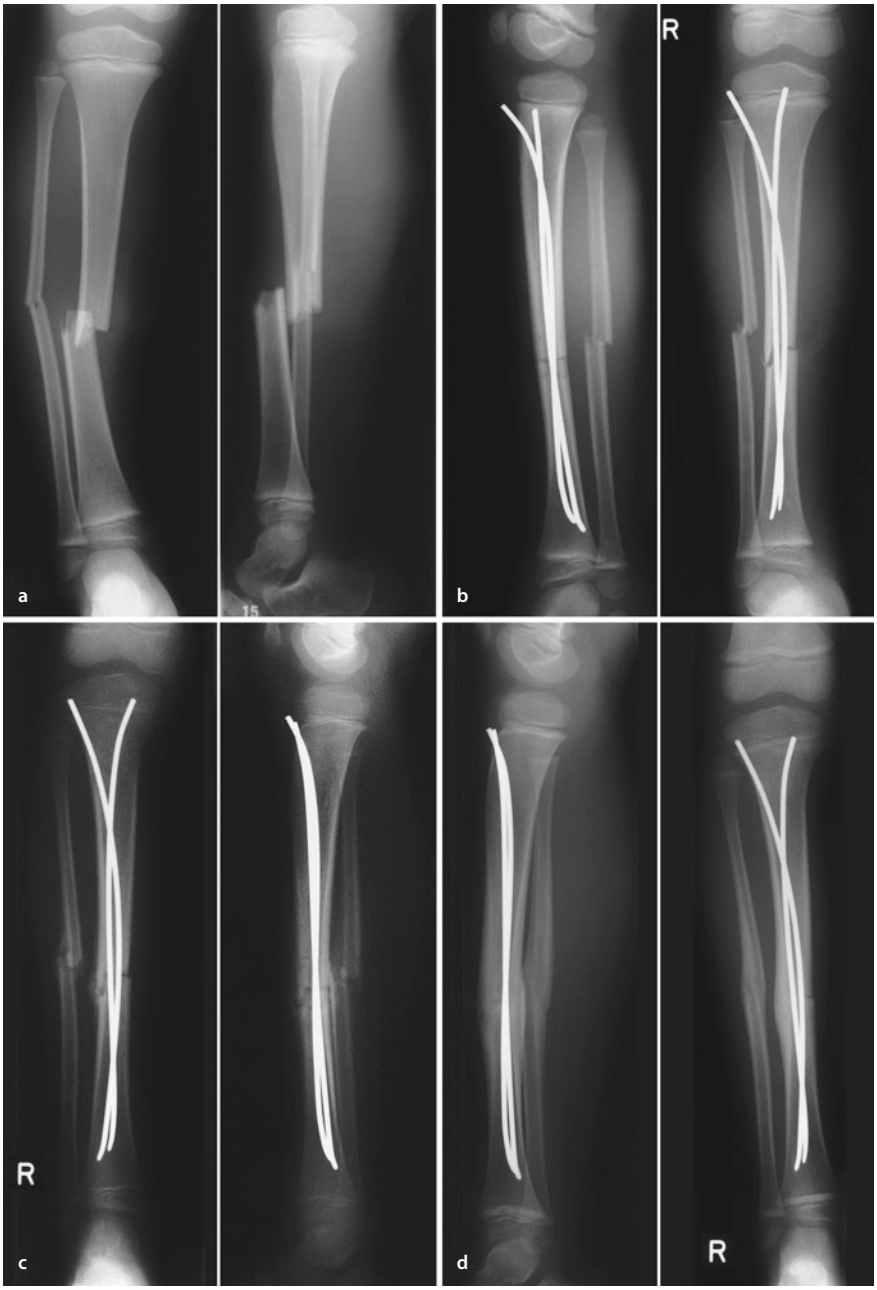


Abb. 12.37a–d Intramedulläre Nagelung einer Unterschenkelschaftfraktur. **a** Unfallbild. **b** Versorgung mit intramedullären Nägeln. **c** Gute Kallusüberbrückung. **d** Ausheilungsergebnis nach 6 Monaten

oder Trümmerbrüchen ist die Fixation der Länge der entscheidende Aspekt. Bei offenen Frakturen muss variiert werden, wenn die idealen Schraubenpositionen wegen der Weichteilverletzung nicht genutzt werden können. Dann gilt »free pin placement«, d.h. in beiden Hauptfragmenten werden die Schrauben an beliebige Stellen reizloser Weichteile platziert, jeweils mit kurzem Rohr verbunden und die beiden Fragmente mit einem dritten Rohr zur Gesamtmontage konnektiert. In diesen Fällen erfordert die Weichteilsituation oft einen aufwändigeren Verschluss mit Rotationslappen oder Ähnlichem.

Bei Verwendung eines modularen Fixateurs werden die Bohrschablonen zur Platzierung der Schanz-Schrauben benutzt.

Postoperativ ist die Lagerung auf der Motorschiene zu empfehlen. Nach Abschluss der Wundheilung wird mobilisiert, wobei das Kind gemäß subjektiver Schmerzfreiheit die Belastung steigert. Der Fixateur kann primär oder sekundär dynamisiert werden.

Die Fixateurpflege ist elementarer Bestandteil der Behandlung und muss den Eltern bzw. den älteren Kindern nachdrücklich aufgetragen werden. Die Akzeptanz des Fixateurs durch die Kinder wird unterschiedlich eingeschätzt. Es muss jedoch festgehalten werden, dass Kinder sich oft nicht mit dem äußeren Spanner per se und seiner Pflege anfreunden können. Erfordert die primäre Frakturtsituation die externe Fixation (Weichteile, Länge), kann nach Abheilung der Weichteile und Kallusbildung in seltenen Fällen auf die intramedulläre Nagelung umgestiegen werden (Abb. 12.38).

Nachteil ist die erneute Operation in Narkose, Vorteil die schnellere freie, auch sportliche Betätigung unter dem Schutz der Nägel. Grundsätzlich kann aber auch die Konsolidierung im Fixateur abgewartet und das System dann entfernt werden, hiermit ist altersabhängig nach 6–8 Wochen zu rechnen, anschließend ist noch einmal eine vorsichtige Belastungssteigerung über 2 Wochen anzuraten, um Refrakturen zu vermeiden.

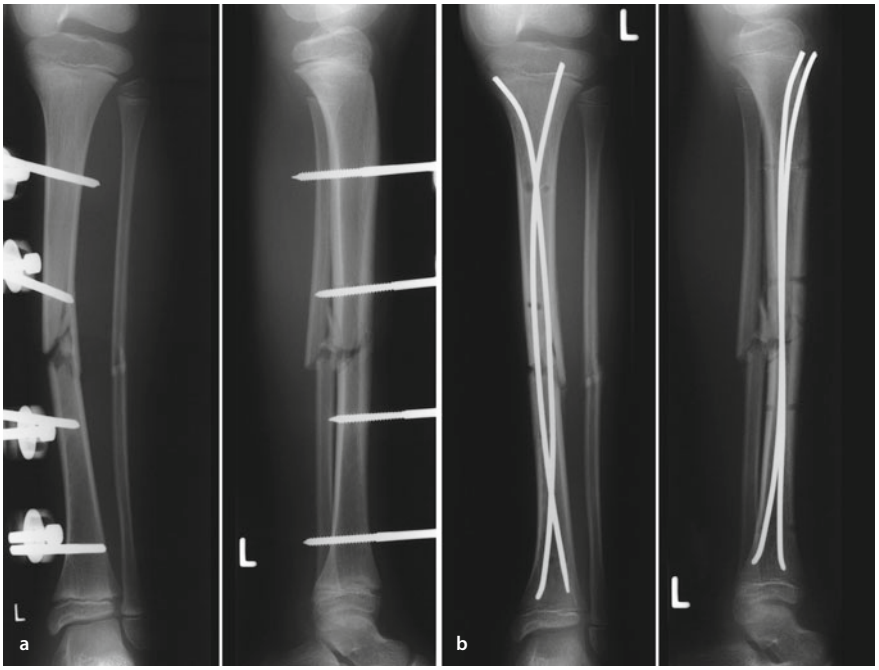


Abb. 12.38a,b Offene Unterschenkelfraktur 2. Grades. **a** Primärversorgung mit Fixateur externe mit residualer Valgusfehlstellung, Schwenklappenplastik. **b** Sekundär nach Heilung der Weichteilwunde Umsteigen auf intramedulläre Nagelung

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 21 (Kallusbildung/Systemwechsel) – Tag 42/56 (Konsolidierung).

Der Fixateur externe hat seine hauptsächliche Indikation bei den schweren Verletzungen mit Weichteiltrauma oder Mehrfragmentfrakturen. Daraus ergibt sich eine höhere **Komplikationsrate** v.a. bezüglich Infektion, verzögerter Heilung oder der Notwendigkeit sekundärer Weichteileingriffe. Der hohen Regenerationskraft des kindlichen Skeletts ist es jedoch zu verdanken, dass die Prognose bezüglich der funktionellen Ausheilung gut ist. Relevante Beinlängendifferenzen können auftreten, wenn die Fraktursituation über lange knöcherne Regenerationszeiten zu einer anhaltenden Stimulation der distalen Wachstumsfuge führt. Während Kleinkinder in der Regel mit einem Längenplus reagieren, kann bei älteren Kindern die Fugenstimulation zum verfrühten Fugenschluss mit Verkürzung führen. Nachkontrollen sind mindestens 2 Jahre, im Einzelfall aufgrund der Wachstumsstörung auch länger durchzuführen.

12.2.15 Distale Unterschenkelfrakturen, Malleolarfrakturen und Übergangsfrakturen

Etwa 10% aller Unterschenkelfrakturen betreffen die distale Meta-Epiphyse. Es handelt sich hier um ein sehr differenziertes Kollektiv von extra-, trans- und intraepiphysären Tibiafrakturen, Frakturen bei partiell verschlossenen Epiphysenfugen (Übergangsfrakturen), Innenknöchel- und distalen Fibulafrakturen. Etwa zwei Drittel der Verletzungen sind extraartikulär, ein Drittel bezieht die Gelenkfläche der distalen Tibia ein. Die Quote der dislozierten Frakturen ist mit 71% hoch. Nach dem Ellenbogen- ist das Sprunggelenk das am häufigsten von knöchernen Verletzungen betroffene Gelenk (Laer u. Lampert 1992).

Schertraumen und Supinations- oder Pronationsverletzungen sind die Ursachen der Frakturen. Radspeichenverletzungen der Kleinkinder sowie Ski- oder Fußballunfälle und Stürze beim Inline-Skaten sind ursächlich relevant. Die Diagnostik umfasst die konventionelle Röntgenaufnahme des distalen Unterschenkels bzw. Sprunggelenks in 2 Ebenen. Bei den Übergangsfrakturen ist eine CT oder MRT indiziert, falls sich die dreidimensionale Frakturdynamik im zweidimensionalen Bild nicht ausreichend einschätzen lässt (Seifert et al. 2001). An akzessorische Knochenkerne im Bereich der Fibulaspitze, des Innenknöchels und des dorsalen Talus ist zu denken.

Metaphysär werden Epiphysenlösungen, z.T. mit großem metaphysärem Anteil (Volkmann-Dreieck, 43-E/2), stabile Stauchungs- oder Biegungsbrüche (43-M/2) und seltener komplette Frakturen (43-M/3) beschrieben. Epiphysär sind die Übergangsfrakturen relevant (43-E/5 oder 6), Innenknöchelfrakturen sind als 43-E/3 zu kodieren. An der Fibula kommen metaphysär – meist in Kombination mit der entsprechenden Tibiaverletzung – die gleichen Frakturtypen vor, zusätzlich sind knöcherne Bandausrisse (43-E/7) zu erwähnen.

Konservative Therapie

Alle undislozierten Frakturen der Region 43 können konservativ behandelt werden, sofern eine ausreichende Retention im Gips möglich ist. Dies schließt ausdrücklich die metaphysären subperiostalen Stauchungsfrakturen mit geringer Rekurvation mit ein. Bei allen anderen dislozierten Frakturen der Metaphyse ist grundsätzlich ein Repositionsversuch indiziert, der aber auch die Stabilität des Repositionsergebnisses überprüfen muss. Die Korrekturpotenz der distalen Tibiafuge ist nicht sehr hoch, Rekurvations- wie auch Varus-/Valgusfehler werden vor dem 10. Lebensjahr bis zu 20° korrigiert. Bei Wachstumsabschluss sollen achsengerechte Verhältnisse vorliegen, um eine präarthrotische Fehlbelastung des Gelenks zu verhindern.

Somit muss man bei der Akzeptanz bestimmter Fehlstellungen immer die individuell nicht exakt kalkulierbare Spontankorrektur bedenken, darf den Einfluss der Korrekturvorgänge auf die Länge nicht vergessen und sollte grundsätzlich die achsengerechte Reposition anstreben.

Vollständig dislozierte metaphysäre Tibiaschrägbrüche mit deutlicher Varus-, Valgus- oder Rekurvationstendenz nach Reposition, instabile Epiphysenlösungen mit Volkmann-Dreieck, bi- oder trimalleoläre Sprunggelenkfrakturen der Adoleszenten und alle Dislokationen im epiphysären Bereich über 2 mm bedürfen der Osteosynthese.

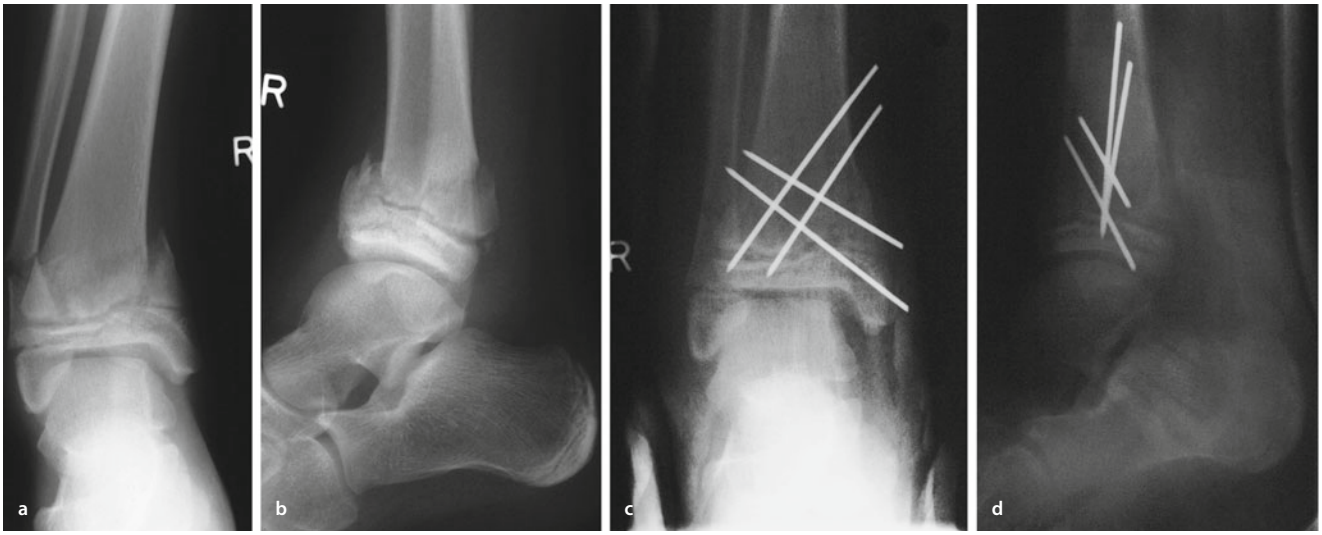


Abb. 12.39a–d Distale metaphysäre Unterschenkelfraktur. **a, b** Unfallbilder. **c, d** Perkutane K-Draht-Osteosynthese

Bei der Reposition ist oft die Rekurvation schwerer zu korrigieren als die Fehlstellungen in der Frontalebene. Es empfiehlt sich, zunächst das distale Tibiafragment nach vorne zu bringen und ggf. durch Spitzfußstellung bis 20° zu retinieren und dann die frontale Dislokation durch Pro-/Supination des Sprunggelenks zu korrigieren. Jetzt wird ein Unterschenkelgips (bei Kleinkindern Oberschenkelgips, da sie sonst aus dem Gips herausrutschen) angelegt und anschließend gespalten. Die Spitzfußstellung darf im Kindesalter im genannten Umfang durchaus als passagere »Retentionshilfe« eingesetzt werden. Eine sekundäre Gipskeilung kann in das Behandlungsregime einbezogen werden. Die Fibula wird passiv mit reponiert und benötigt keine separate Manipulation.

Die Mobilisation in Entlastung an Unterarmgehstützen bedarf meist des physiotherapeutischen Trainings, bei Kleinkindern sollte jedoch ganz darauf verzichtet werden (Liegegips!). Nach ausreichender Kallusüberbrückung (gipsfreie Röntgenkontrolle nach 4 Wochen) kann ein Unterschenkelgehgips angelegt werden, sofern die Konsolidierung bei Kleinkindern nicht schon die Freigabe erlaubt. Nach 6 Wochen ist in der Regel auch bei älteren Patienten die Konsolidierung erfolgt.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (nach Reposition) – Tag 7 (Stellung im Gips) – [Tag 8 (nach Keilung)] – Tag 28 (Kallus, Gehgips, Freigabe) – Tag 42 (Konsolidierung, Freigabe).

Die weitere Mobilisation bedarf keiner Anleitung, Physiotherapie, Lymphdrainage und Ähnliches sind in der Regel entbehrlich. Wachstumsstimulationen sind grundsätzlich möglich, erreichen aber fast nie ein funktionell bedeutsames Ausmaß. Partielle Stimulationen haben nicht die problematische Bedeutung wie an der proximalen Tibia und können im unteren Sprunggelenk kompensiert werden. Partielle Fugenverschlüsse sind selten. Die Prognose der konservativ behandelten Frakturen ist insgesamt gut, die Nachkontrolle kann bei achsengerechter Heilung nach 2 Jahren abgeschlossen werden, Längendifferenzen müssen jedoch länger überwacht werden.

Operative Therapie

Vollständige, instabile distale metaphysäre Querfrakturen können – bei ausreichendem metaphysärem Fragment – mit einer intramedullären Nagelung stabilisiert werden, die Nägel müssen sich noch gut im distalen Fragment verankern lassen. Die Technik entspricht dem Vorgehen bei der Unterschenkelschaftfraktur (s. oben), die Fixation erfolgt jedoch nicht durch die Aufspannung, sondern die Verspreizung der Nägel. Alternativ kann ein Fixateur externe in T-Form implantiert werden, hier gleicht die Technik der Fixateuranlage an der proximalen Tibia (s. oben). Bei fugennaher Fraktur muss ggf. auf die perkutane gekreuzte K-Draht-Osteosynthese zurückgegriffen werden. Epiphyseolysen mit Volkmann-Dreieck, Übergangsfrakturen und Innenknöchelfrakturen mit operationsbedürftigen Dislokationen werden mit Zugschrauben versorgt. Am Innenknöchel seien fugenkreuzende K-Drähte oder die Zuggurtung als Alternative erwähnt. Die Fibulaepiphysenlösung bedarf nur selten der Fixation mittels perkutanem K-Draht. Für die bi- oder trimalleolaren Sprunggelenkfrakturen der älteren Schulkinder und Adoleszenten gelten die Behandlungsprinzipien der Erwachsenen (▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel). Bei den kurz vor dem Fugenschluss stehenden Patienten muss ausnahmsweise noch auf die tibiale oder fibulare Wachstumsfuge geachtet und die Platzierung von Platte bzw. Schraube entsprechend variiert werden.

Die Dringlichkeit ist abhängig vom Fehlstellungsausmaß. Deutlich dislozierte metaphysäre Frakturen werden natürlich dringlich versorgt, bei Malleolar- oder Übergangsfrakturen mit 3–4 mm Dislokation kann elektiv versorgt werden. Die Entscheidung ist individuell zu treffen.

K-Draht-Osteosynthese

Die Reposition erfolgt wie bei der konservativen Therapie beschrieben. Dann wird ein K-Draht der Stärke 1,4–2 mm schräg aufsteigend vom Innenknöchel aus transepiphysär über die metaphysäre Fraktur bis in die laterale Kortikalis gebohrt. Ein zweiter Draht wird parallel oder besser divergierend dazu platziert oder, um eine bessere Stabilisierung durch Drahtkreuzung zu erzielen, wird nun von der medialen Metaphyse aus ein Draht absteigend durch die Fraktur und die Fuge bis in die laterale Epiphyse eingebracht. Alle Drähte werden gekürzt und unter die Haut versenkt. Die Unterschenkelgipsschiene ist unentbehrlich (Abb. 12.39).

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Kallus, Metallentfernung, Gehgips) – Tag 42 (Konsolidierung, Freigabe).

Die Mobilisation erfolgt wie bei der konservativen Therapie. Nach 4–5 Wochen muss nach der gipsfreien Aufnahme die Metallentfernung (ambulant) terminiert werden. Eine Wachstumsstörung durch verbliebene Fehlstellung sollte durch die operative Fi-

xation vermieden sein, dagegen ist das Ausmaß der Fugenirritation durch die transepiphysären K-Drähte nicht kalkulierbar und muss bedacht werden.

Zugschraubenosteosynthese

Epiphyseolysen mit dorsalem Volkmann-Dreieck werden durch eine ventrodorsale durchbohrte Spongiosazugschraube fixiert. Die nach dorsal verschobene Epiphyse wird durch Zug am Fuß und Gegendruck auf die distale Tibia nach vorne geholt. Über eine ventrale Stichinzision wird stumpf auf die vordere Tibia eingegangen, die genaue Schraubenposition ist von der (mehr medialen oder lateralen) Basis des Volkmann-Dreiecks abhängig. Der Führungsdraht wird in sagittaler Ebene parallel zur Fuge und somit leicht nach dorsal abfallend eingebracht und die Zugschraube 3,0–4,0 mm mit Unterlegscheibe (bricht sonst leicht in den weichen Knochen ein) und kurzem Gewinde eingebracht, sodass das Volkmann-Dreieck an die Tibiametaphyse herangezogen wird, in Ausnahmen bei langem Dreieck 2 Schrauben. Ist das kurze Gewinde für das nur flache Volkmann-Fragment zu lang und führt zu keiner Kompression, kann es abgeschnitten werden, die Schraube ist dann mit entsprechend längerem Schraubenkern zu wählen.

Innenknöchelfrakturen verlaufen meist vertikal in der Verlängerung der Taluskante. Sie werden über einen bogenförmigen Schnitt vor dem Innenknöchel dargestellt, reponiert und mit einer epiphysären, in der Frontalebene fugenparallelen durchbohrten Kleinfragment-Spongiosazugschraube mit Unterlegscheibe und kurzem Gewinde fixiert. Liegt die Frakturfläche eher schräg oder horizontal, also mehr im distalen Innenknöchelanteil, sodass die Verschraubung im rechten Winkel zur Fraktur die Fuge kreuzen würde, werden 2 K-Drähte transepiphysär bis in die laterale metaphysäre Kortikalis eingebracht. Um Übungsstabilität zu erreichen, ist diese Adaptationsosteosynthese zur Zuggurtung zu erweitern. Hierzu wird ein sagittales 2 mm-Bohrloch in der medialen Tibiametaphyse angelegt und eine Drahtcerclage (0,8–1,0 mm) in Achtertour durch das Bohrloch und um die umgebogenen K-Draht-Spitzen eingebracht.

Übergangsfrakturen vom Typ two plane (Tillaux-Fraktur, knöcherner Ausriss der Syndesmose) entsprechen einer Aitken-II-/Salter-Harris-III-Fraktur mit horizontaler Frakturfläche wie bei der Epiphyseolyse, die dann vom schon verknöcherten Fugenknorpel in das Gelenk abgeleitet wird und sich somit als vertikale Frakturfläche fortsetzt. Hat die von dorsomedial nach ventrolateral fortschreitende Verknöcherung der Fuge gerade erst begonnen, liegt die vertikale Frakturkomponente weit medial, ist die Verknöcherung kurz vor dem Abschluss, bricht nur noch ein ventrolaterales Fragment aus, die vertikale Frakturlinie liegt weit lateral und kann hinter der Fibula versteckt sein. Die durchbohrte Spongiosazugschraube wird von ventrolateral über eine Längsinzision vor der distalen Fibula platziert und darf die Fuge kreuzen.

Bei den Tri-plane-Frakturen kommt eine dritte, metaphysäre Frakturfläche hinzu. Am ventrolateralen, ausgebrochenen Fugenteil findet sich ein zusätzliches metaphysäres Fragment, dessen Konfiguration oft einem Volkmann-Dreieck entspricht und dessen Frakturfläche in der frontalen Ebene liegt. Endet diese Frakturfläche auf Fugenebene und bricht nicht in das Gelenk durch (tri plane Typ I), wird eine epiphysäre Schraube wie bei der Two-plane-Fraktur eingebracht, damit ist auch das metaphysäre Fragment adaptiert. Setzt sich die Frakturfläche des metaphysären Fragments separat bis in das Gelenk durch, muss zusätzlich eine metaphysäre und/oder epiphysäre ventrodorsale Zugschraube wie bei der distalen Tibiafraktur platziert werden, um dieses Fragment zu adaptieren (Abb. 12.40).

Zugschraubenosteosynthesen sind übungsstabil und bedürfen nicht grundsätzlich der Gipsruhigstellung. Je nach der individuel-

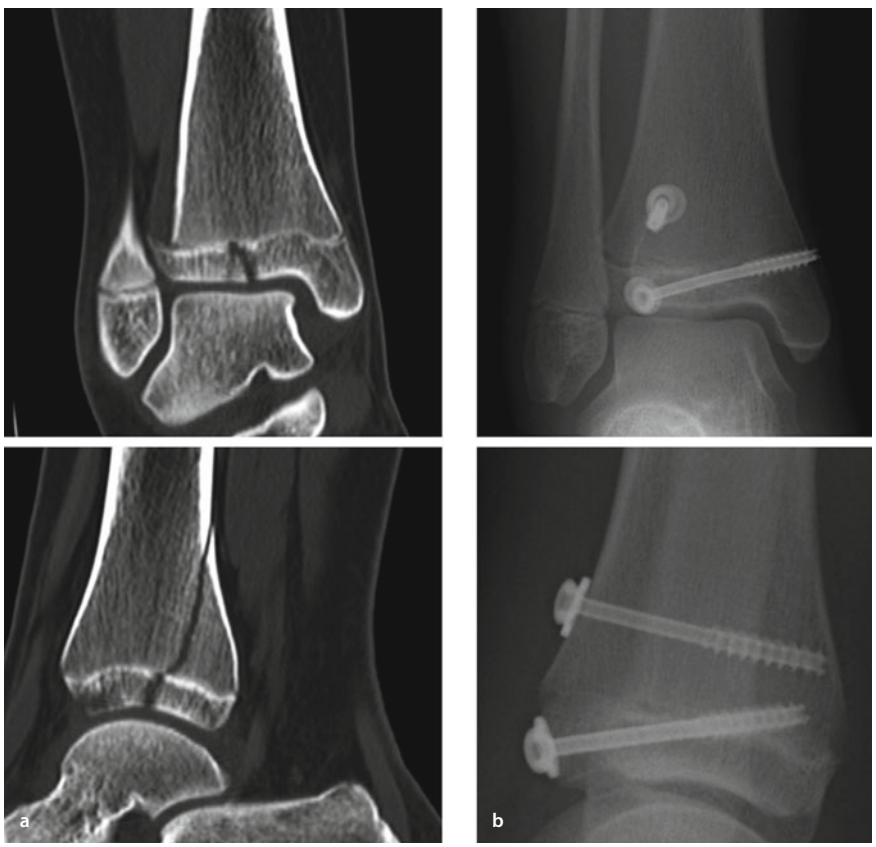


Abb. 12.40a,b Übergangsfraktur tri plane. **a** CT. **b** Zugschraubenosteosynthese

len Einschätzung der Versorgungsqualität und der Zuverlässigkeit des Patienten ist ein Unterschenkelgips bis zur Kallusbildung zu überlegen. Grundsätzlich erforderlich ist er, wenn am Innenknöchel nur K-Drähte verwandt wurden ohne Zuggurtung. Verzichtet man auf den Gips, muss die Entlastung des Fußes und die Vermeidung von Pro- und Supination für 4 Wochen gewährleistet sein.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 28 (Metallentfernung K-Drähte/Kallusbildung, Belastung) – Tag 56 (Metallentfernung Schraube).

Nach ausreichender Kallusbildung und ggf. nach Entfernung von K-Drähten beginnt die spontane Mobilisation und die steigende Belastung mit einer Woche Sohlenkontakt, einer Woche Teilbelastung und dann Vollbelastung. Hierzu ist gelegentlich physiotherapeutische Anleitung nützlich. Im Weiteren ist auf die Wiederherstellung der Sprunggelenkbeweglichkeit zu achten. **Komplikationen** können vornehmlich als Wachstumsstörungen oder vorzeitiger Fugenschluss auftreten (Rohmüller et al. 2006, Täger et al. 2009) und betreffen bei Epiphysenlösungen ein Viertel bis ein Drittel der Patienten. Diese Gruppe ist engmaschig zu kontrollieren, bis sich ein posttraumatisches Fehlwachstum sicher ausschließen lässt. Bei den Übergangsfrakturen resultiert keine Wachstumsstörung mehr, hier muss v.a. die Gelenkflächenunebenheit vermieden und damit der Arthrose vorgebeugt werden. Kontrollen erfolgen bis zur Wiederherstellung der Funktion und/oder bis zum Fugenschluss.

12.2.16 Fußverletzungen

Verletzungen des Fußskeletts sind Folge von Stürzen, z.T. aus großer Höhe, von Quetschverletzungen, Sporttraumen oder Tritten gegen harte Widerlager. Die Klinik wird geprägt von lokaler Schwellung, Hämatom und Belastungsschmerz. Zur Diagnostik wird zunächst eine Röntgenaufnahme in 2 Ebenen angefertigt, die so weit wie möglich auf die verletzte Region eingegrenzt wird. Bei den Fußwurzelverletzungen ist eine ergänzende CT in Betracht zu ziehen, wenn die selten dislozierten Frakturen präoperativ dreidimensional eingeschätzt werden müssen oder wenn der geringe Befund im konventionellen Röntgenbild nicht mit der ausgeprägten Klinik in Einklang zu bringen ist. Bei der Planung von Röntgenkontrollen ist die außerordentlich späte Kallusbildung am Fußskelett zu bedenken. Oft sieht man lange keine knöcherne Regeneration, sondern kann lediglich die Achse beurteilen. Dies besagt aber nicht, dass noch eine Instabilität vorliegt. Gegebenenfalls muss klinisch die druckschmerzfreie Heilung bewiesen werden.

Fußwurzelfrakturen

Erwähnung bedürfen Kalkaneus-, Talus- und Navikularefrakturen.

Kalkaneusfrakturen treten extraartikulär oder intraartikulär auf. Nicht mit einer Fraktur verwechselt werden darf die oft aus mehreren Knochenkernen entstehende Apophyse. Alle undislozierten einschließlich der meisten extraartikulären Frakturen werden konservativ im Gips behandelt. Dislozierte artikuläre Frakturen bedürfen der operativen Intervention, wenn der Tuber-Gelenk-Winkel deutlich abgeflacht ist. In diesem Fall muss die spongiöse Depression aufgerichtet, ggf. mit Spongiosa unterfüttert und mit Schrauben oder einer seitlich angelegten Platte stabilisiert werden (Schneidmüller et al. 2007). Da diese Verletzungen im Kindesalter sehr selten sind, orientiert sich das operative Vorgehen technisch am Procedere der Erwachsenentraumatologie (▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß).

Talusfrakturen sind meist undisloziert und werden dann konservativ therapiert. Nur ausnahmsweise tritt eine dislozierte Fraktur von Talushals oder -körper auf, die aufgrund der lokalen Gefäßversorgung auch die Gefahr einer partiellen Nekrose in sich birgt. Zudem droht nach diesen Gelenkfrakturen unbehandelt eine Arthrose im unteren Sprunggelenk. Somit ergibt sich bei dislozierten zentralen Talusfrakturen die Indikation zur Reposition und Fixation mit Schrauben oder K-Drähten, wenn möglich geschlossen und perkutan, um die vulnerablen Weichteile nicht zusätzlich zu kompromittieren.

Das Os naviculare hat eine wichtige Funktion im medialen Fußgewölbe, seine dislozierende Verletzung erfordert die Reposition, um die Verkürzung des medialen Fußes und die Vorfußadduktion zu verhindern. Diese Repositionen müssen ggf. offen erfolgen und mit Minischrauben stabilisiert werden.

Andere Fußwurzelverletzungen stellen eine Rarität dar und werden konservativ behandelt.

Konservativ wie operativ therapierte Frakturen werden zusätzlich im Unterschenkelgipsverband ruhiggestellt. Vor Ablauf von 6 Wochen ist mit einer Konsolidierung nicht zu rechnen. Bei älteren Kindern und Jugendlichen werden weitere 2–4 Wochen benötigt, bevor mit der Mobilisation und Belastung begonnen werden kann.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – Tag 42 (Konsolidierung) – vor Metallentfernung.

K-Drähte werden nach 4–6 Wochen, Schrauben nach 3 Monaten, Platten nach 6 Monaten immer nach geprüfter Konsolidierung entfernt. Die Mobilisation und Wiederherstellung der Beweglichkeit im oberen bzw. unteren Sprunggelenk sollte nicht forciert werden. Die Kinder können das Ausmaß der Bewegung abhängig von ihrem Schmerzempfinden selbst bestimmen. Bei funktioneller Beschwerdefreiheit ist die Nachbetreuung abgeschlossen. Das Risiko von Gelenkinkongruenzen und präarthrotischen Veränderungen ist vornehmlich nach dislozierten Frakturen nicht zu unterschätzen. Der Verdacht einer Nekrose von Talus oder Navikulare ist szintigrafisch und/oder magnetresonanztomografisch zu evaluieren und ggf. über 1 Jahr zu überprüfen. Solange sollte der Patient dann im Entlastungsapparat gehen.

Metatarsalfrakturen

Subkapitale Frakturen sind häufiger als Schaft- oder Basisfrakturen. Undislozierte Frakturen werden im Unterschenkelgipsverband für 3–4 Wochen ruhiggestellt und nach klinisch geprüfter Konsolidierung freigegeben. Bei Dislokationen darf man sich nicht auf Spontankorrekturen verlassen. Diese finden in der Frontalebene kaum und sagittal oft unzureichend statt. Fehlstellungen über 10° sollen reponiert werden, bei Mehrstrahlfrakturen ist die Indikation noch großzügiger zu stellen. Nur bei suffizienter Retention im Gips kann auf die Fixation verzichtet werden. Meist bedürfen reponierte Frakturen der K-Draht-Fixation, axial oder gekreuzt, perkutan vom Köpfchen aus. Die Metallentfernung erfolgt nach 4 Wochen, anschließend beginnt bei klinischer und radiologischer Konsolidierung die Mobilisation. Alternativ können diese Frakturen im Einzelfall auch intramedullär stabilisiert werden.

Eine Ausnahme stellt die Fraktur der Metatarsale-V-Basis dar. Sie verläuft immer quer und darf nicht mit der längs verlaufenden Apophysenfuge verwechselt werden. Gering dislozierte Frakturen werden konservativ behandelt. Bei Dislokation wird mittels K-Drähten fixiert, eine Zuggurtung erscheint oft zu aufwändig. Die Metallentfernung nach 4 Wochen wird von der Mobilisation gefolgt, die schmerzabhängig erfolgt.

Röntgenkontrollen: Tag 0 (intraoperativ) – [bei konservativer Therapie: Tag 7 (sekundäre Dislokation)] – Tag 28 (Konsolidierung).

Am Metatarsale I können bei unzureichend reponierten subkapitalen Frakturen Großzehenfehlstellungen (Hallux valgus oder

Ähnliches) resultieren. Bei der Metatarsale-V-Fraktur kann selten eine Pseudarthrose auftreten, wenn die basale Fraktur nicht suffizient versorgt wurde. Alle anderen Verletzungen werden nach Ausheilung und Funktionsfreiheit aus der Kontrolle entlassen.

Frakturen der Zehenphalangen

In der Mehrzahl können Zehenfrakturen mit Pflasterzügeln stabilisiert werden. Sie werden dabei gelegentlich zur besseren Fixation an die benachbarte Zehe fixiert. Nach einer Woche sollte der Verband gewechselt und nach 2–3 Wochen bei klinisch geprüfter Konsolidierung abgenommen werden.

Dislozierte Frakturen der Phalangen z.B. nach Quetschtraumen müssen ggf. zur Vermeidung von Gehbehinderungen reponiert und transartikulär axial von der Zehenspitze aus mit K-Drähten fixiert werden. Dies kann bei älteren Patienten in Oberst-Leitungsanästhesie erfolgen. Oft reicht aber auch der axiale Zug an der Zehe, um abgekippte Epiphyseolysen mit metaphysärem Keil aufzurichten. Bei all diesen Verletzungen wird eine Unterschenkelgipsschiene unter Einschluss aller Zehen angelegt. Nach 3 Wochen erfolgen Metallentfernung und Freigabe.

Einen Überblick über die Therapieverfahren je nach Frakturlokalisation und Alter der Patienten gibt ◘ Tab. 12.2.

◘ Tab. 12.2 Therapieverfahren und Nachkontrolle je nach Frakturlokalisation und Alter

Frakturlokalisation	Altersgruppe	Frakturtyp	Bevorzugtes Therapieverfahren	Sonstiges: Röntgenkontrollen Metallentfernung
Klavikula	Neugeborene		Fixation Ärmel	
	Alle anderen		Rucksackverband 2–3 Wo.	Keine Röntgenkontrolle
		Offene Fraktur, drohende Hautläsion	ESIN*	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–42 (ME)
		mediale Fraktur, Dislokation nach dorsal	Repos., ggf. resorbierbare Periostnähte	Rucksackverband
		laterale Fraktur mit erheblicher Dislokation	Repos., ggf. resorbierbare Cerclage	Rucksackverband
Humerus, proximal	<10 Jahre	<30° Dislokation, Valgus <10°	Gilchrist, Desault 3–4 Wo.	Rö: 7–21/28
	<10 Jahre	>30° Dislokation, Valgus >10°	Repos., retrograde ESIN	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–56 (ME)
	>10 Jahre	>20° Dislokation, Valgus >10°	Repos., retrograde ESIN	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–56 (ME)
Humerusschaft	<10 Jahre	<20° Dislokation, Fragmentkontakt	Desault, Brace 4–6 Wo.	Rö: 7–28/42
	<10 Jahre	>20° Dislokation, kein Kontakt	ESIN ante- oder retrograd	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–90 (ME)
	>10 Jahre	>10°	ESIN ante- oder retrograd	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–90 (ME)
Humerus, distal				
– suprakondylär		Typ I: keine Dislokation	Gipsschiene, (Blount) 3 Wo.	Keine Röntgenkontrolle
		Typ II: Ante-, Rekurvation	Gipsschiene (Flexion), Blount 4 Wo.	Rö: 7–28
			Ggf. Repos./K-Draht oder ESIN	K-Draht: Rö 7–28 (ME) ESIN: keine Ruhigstellung, Rö: 28–42 (ME)
		Typ III/IV: Fehlstellung mit/ohne Fragmentkontakt	Repos./K-Draht, ESIN, (radialer Fixateur)	
– Kondylus-Abriss		Undislozierte Fraktur	Oberarmgips 4 Wo.	Rö: 4–28
		Hängende Fraktur	Oberarmgips 4 Wo.	Rö: 4–28
		Dislozierte Fraktur	Offene Repos., durchbohrte Zugschraube, (diverg. K-Drähte)	Ruhigstellung 4 Wochen, dann Freigabe, Rö: 28–56 (ME)
– Epikondylus-Abriss		Undisloziert	Oberarmgips 4 Wo.	Ligamentäre Stabilität prüfen; Rö: 7–28
		Disloziert	Offene Repos., durchbohrte Zugschraube, (diverg. K-Drähte)	Ruhigstellung für 4 Wochen, dann Freigabe Begleitverletzungen! Rö: 28–56 (ME)

▼

Tab. 12.2 *Fortsetzung*

Frakturlokalisation	Altersgruppe	Frakturtyp	Bevorzugtes Therapieverfahren	Sonstiges: Röntgenkontrollen Metallentfernung
Olekranon		Undisloziert	Oberarmgips 3–4 Wo.	Rö: 7–21/28
		Dislozierter intraartikulär (>2 mm)	Zuggurtung, (Zugschraube)	Zuggurtung nach Wundheilung freigeben Schraube: Gips; ESIN: keine Ruhigstellung, Rö: 28–56 (ME)
		Dislozierter extraartikulär >10°	Zugschraube, ggf. ESIN retrograd	
Radiushals	<10 Jahre	<30°, <½ Schaft	Oberarmgips 3–4 Wo.	Rö: 7–21/28
	>10 Jahre	<20°		
	<10 Jahre	>30°	ESIN retrograd	Off. Repos. vermeiden, keine Ruhigstellung, Rö: 21/28–42/56 (ME)
	>10 Jahre	>20°		
Unterarmschaft		<10° Achsenfehler	Oberarmgips 4–5 Wo., ggf. Keilung	Rö: 7–28/35
		>10° Achsenfehler	Geschl. Reposition, bei Instabilität ESIN	ESIN ohne Ruhigstellung, Rö: 28–90 (ME)
Unterarm, distal		Subperiostale Stauchungsfrakturen	Ober-, ab 10. Lj. Unterarmgips 3 Wo.	Keine Rö-Kontrolle
	</> 10 Jahre	<20°/<10° Achsenfehler	Ober-, Unterarmgips, ggf. Keilung	
		>20°/>10°/vollständig dislozierte	Reposition, ggf. K-Draht	Ruhigstellung 4 Wo., Rö: 7–28
Metakarpale, Finger		Undisloziert	Unterarmgips mit Fingereinschluss in intrinsic-plus-Stellung 3 Wo.	Rö: 7–21
		Frontaler Achsenfehler oder >20° sagittale Abkippung oder Rotation	Reposition, Iselin-Gips, ggf. K-Draht, ESIN	K-Draht: Gipsruhigstellung, Rö: 21 (ME) ESIN: keine Ruhigstellung, Rö: 21–42 (ME)
Femur, proximal		Undisloziert	Beckengips 4–6 Wo., Entlastung weitere 2 Wo. Ggf. prophylakt. Fixation (K-Draht, Schraube)	Rö: 28/42 (ME K-Draht) 42/56 (ME Schraube)
		Dislozierter	Reposition und Fixation (K-Drähte, durchbohrte Zugschrauben)	<10 Jahre: Beckengips, Rö: 28/42–56/90 (ME), >10 Jahre: ggf. ohne Gips, Entlastung
– subtrochantär		Dislozierter	ESIN	Keine Ruhigstellung, Rö: 28–90–180 (ME)
Femurschaft	<3 Jahre		Overhead-Extension, Beckengips 3–4 Wo.	Operation nur bei großen, schweren Kindern
				Rö: 4–21 (Overh.), 7–21/28 (Beckengips)
	>3 Jahre	Querfraktur, kurze Schrägfraktur, Spiralfraktur	ESIN, ggf. Verriegelungskappen	Rö: 28–(90)–180 (ME)
		Spiralfraktur, Stückfraktur	Fixateur externe	Rö: 28–56 (ME)
Femur, distal	<10 Jahre	Eingestaucht, <10°	Oberschenkelgips 4–6 Wo.	Rö: 7–28(Gehgips?) – 42
	>10 Jahre	Dislozierter, Epiphysenlösung	Reposition, K-Drähte	Rö: 28 (ME) – 42
			Ggf. Zugschrauben metaphysär	Rö: 28–42 (ME)
Tibia, proximal				
– Eminentiaausriss		Undisloziert	Oberschenkelgips in 10–15° Flexion 4–5 Wo.	Begleitverletzungen intraartik., Rö: 7–28/35
▼		Dislozierter	Offene oder arthroskopische Reposition, Cerclage (resorbierbar) oder Zugschraube	Tutor 4 Wochen, Rö: 28–56 (ME)

Tab. 12.2 *Fortsetzung*

Frakturlokalisation	Altersgruppe	Frakturtyp	Bevorzugtes Therapieverfahren	Sonstiges: Röntgenkontrollen Metallentfernung
– metaphysäre Frakturen		Subperiostale Stauchungsfraktur	Oberschenkelgips 4 Wo.	Hohe Gefahr des posttraumatischen Valgusfehlers, Rö: 7–28
		Biegungsfrakturen mit geringer medialer Aufklappung	Exakte Reposition, ggf. Keilung, ggf. Fixateur externe	Rö: 7–28
Unterschenkelschaft		Isolierte Tibiafraktur, stabile Unterschenkelfraktur	Oberschenkelgips 3–6 Wo., ggf. Keilung oder Reposition	Cave: Varus Rö: 7–21/28 (Gehgips) – 42
		Instabile Unterschenkelfraktur	ESIN, Fixateur externe	ESIN: keine Ruhigstellung, Rö: 28–90 (ME)
Unterschenkel, distal	</>10 Jahre	<20°/undisloziert	Oberschenkelgips, ab 10. Lj. Unterschenkelgips 4–6 Wo.	Rö: 7–28 (Gehgips) – 42
		Disloziert	Reposition, K-Draht	Rö: 28 (ME, Gehgips) – 42
– Aitken 1-Fraktur, Volkmann			Reposition, Zugschraube, K-Draht	Rö: 28 (ME K-Draht, Gehgips) – 56 (ME Schraube)
– Innenknöchel			Reposition, Zuggurtung, Zugschraube	Gips fakultativ entspr. Compliance, Rö: 28–56 (ME)
– Übergangsfraktur			Zugschraube	
Metatarsale, Zehen		Undisloziert, <10°	Unterschenkelgips 3 Wo., Pflasterzügel	Rö: 7–21
		Disloziert	Reposition, K-Draht, evtl. ESIN	Gipsruhigstellung, Rö: 28 (ME)
		MC V-Basisfraktur, disloziert	K-Draht, Cerclage	Gipsruhigstellung, Rö: 28 (ME)

*ESIN: elastisch-stabile intramedulläre Nagelung

Literatur

Arkader A, Warner WC, Horn D, Shaw RN, Wells L (2007) Predicting the outcome of epihyseal fractures of the distal femur. J Pediatr Orthop 27: 703–708

Azouz EM, Karamitsos C, Reed MH, Baker L, Kozlowski K, Hoeffel J-C (1993) Types and complications of femoral neck fractures in children. Pediatr Radiol 23: 415–420

Beaty JH, Kumar A (1994) Fractures of the knee in children. J Bone Joint Surg Am 76: 1870–1880

Beaty JH, Kasser JR (2006) Rockwood and Wilkins' Fractures in Children, 6th ed. Lippincott, Philadelphia

Beck A, Kinzl L, Rüter A, Strecker W (2001) Frakturen mit Beteiligung der distalen Femurepiphyse. Unfallchirurg 104: 611–616

Colonna PC (1929) Fractures of the neck of the femur in childhood. Am J Surg 6: 793–797

Dietz H-G, Schmittenbecher PP, Illing P (1997) Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter. Urban & Schwarzenberg, München

Dietz H-G, Schmittenbecher PP, Slongo T, Wilkins KE (2006) AO Manual of Fracture Management. Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in Children. Thieme, Stuttgart, New York

Dietz H-G, Joppich I, Marzi I, Parsch K, Schlickewei W, Schmittenbecher PP (2001) Die Behandlung der Femurfrakturen im Kindesalter. Konsensusbericht. Unfallchirurg 104: 788–790

Fernandez F, Eberhardt O, Wirth T (2007) Arthroskopie im Kindesalter unter besonderer Berücksichtigung des Kniegelenks. OP-Journal 23:44-53

Frei FJ (1998) Kinderanästhesie, 2. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Goddard N (2005) Carpal fractures in children. Clin Orthop Rel Res 432: 73–76

Hasler C, Jeanneret B (2002) Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter. Orthopäde 31: 65–73

Innis PC (1995) Office evaluation and treatment of finger and hand injuries in children. Curr Opin Pediatr 7: 83–87

Joeris A, Bansi G, Knorr P, Lieber J, Schalamon J, Slongo T (2005) ESIN in femur fractures. Exact technique is important! Eur J Trauma 31: 24–32

Jubel A, Andermahr J, Schiffer G, Rehm KE (2002) Die Technik der intramedullären Osteosynthese der Klavikula mit elastischen Titannägeln. Unfallchirurg 105: 511–516

Jubel A, Andermahr J, Prokop A, Bergmann H, Isenberg J, Rehm KE (2004) Pitfalls und Komplikationen der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) von Femurfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 107: 744–749

Keats TE (1990) Röntgenatlas der Normvarianten. Fischer, Stuttgart

Knorr P, Schmittenbecher PP, Dietz H-G (1996) Die Behandlung pathologischer Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter mittels elastisch stabiler Markraumschienung. Unfallchirurg 99: 410–414

Kubiak EN, Egol KA, Scher D, Wasserman B, Feldman D, Koval KJ (2007) Operative treatment of tibial fractures in children: are elastic stable intramedullary nails an improvement over external fixation? J Bone Joint Surg 89A: 1761

Laer L v (1996) Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 3. Aufl.. Thieme, Stuttgart

Laer L v, Lampert C (1992) Epiphysenfrakturen der distalen Tibia. Operat Orthop Traumatol 4: 100–111

Laer L v, Brunner R, Lampert C (1991) Fehlverheilte suprakondyläre und kondyläre Humerusfrakturen. Orthopäde 20: 331–340

Lascombes P, Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP, Poncelet T (1990) Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. J Pediatr Orthop 10: 167–171
Lascombes P, Haumont T, Journeau P (2006) Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. J Pediatr Orthop 26: 827–834
Lieber J, Joeris A, Knorr P, Schalamon J, Schmittenbecher PP (2005) ESIN in forearm fractures – Clear indications, often used, but some avoidable complications. Eur J Trauma 31:3-11
Ligier JN, Metaizeau JP, Prevot J, Lascombes P (1988) Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children. J Bone Joint Surg Br 70: 74–77
Machan F-G, Vinz H (1993) Die Oberarmschaftfraktur im Kindesalter. Unfallchirurgie 19: 166–174
Mahar AT, Duncan D, Oka R, Lowry A, Gillingham B, Chambers H (2008) Biomechanical comparison of four different fixation techniques for pediatric tibial eminence avulsion fractures. J Pediatr Orthop 28: 159–162
Metaizeau J-P, Lascombes P, Lemelle J-L, Finlayson D, Prevot J (1993) Reduction and fixation of displaced radial neck fractures by closed intramedullary pinning. J Pediatr Orthop 13: 355–360
Miller BS, Taylor B, Widmann RF, Bae DS, Snyder BD, Waters PM (2005) Cast immobilization versus percutaneous pin fixation of displaced distal radius fractures in children. J Pediatr Orthop 25: 490–494
Mohan N, Hunter JB, Colton CL (2000) The posterolateral approach to the distal humerus for open reduction and internal fixation of fractures of the lateral condyle in children. J Bone Joint Surg 82B: 643–645
Nicholson JT, Foster RM (1955) Bryant's traction. JAMA 157: 415–418
Ogden JA (2000) Skeletal injury in the child, 3rd ed. Springer, New York
Parsch KD (1997) Modern trends in internal fixation of femoral shaft fractures in children. A critical review. J Pediatr Orthop 6B: 117–125
Peterson HA (2007) Epiphyseal growth plate fractures. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
Prevot J, Lascombes P, Metaizeau JP, Blanquart D (1990) Supracondylar fractures of the humerus in children: Treatment by downward nailing. Rev Chir Orthop 76: 191–197
Rockwood CA, Wilkins KE, King RE (1996) Fractures in children, 4th ed. Lippincott, Philadelphia
Rohmiller MT, Gaynor TP, Pawelek J, Mubarak SJ (2006) Salter Harris I and II fractures of the distal tibia: does mechanism of injury relate to premature physeal closure? J Pediatr Orthop 26: 322–328
Schäffer K, Böhm R, Dietz H-G (2007) Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter. Unfallchirurg 110: 852–858
Schlickewei W, Oberle M (2005) Die Unterarmschaftfraktur im Kindesalter. Unfallchirurg 108: 223–234
Schmittenbecher PP (1999) Trauma und Unfälle im Kindesalter. In: Madler C, Jauch K-W, Werdan K (Hrsg) Das NAW Buch, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München
Schmittenbecher PP (2002) Die suprakondyläre Humerusfraktur. Zentralbl Kinderchir 11: W217–W243
Schmittenbecher PP, Blum J, David S, et al. (2004) Die Behandlung von Humerusschaftfrakturen und subkapitalen Humerusfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 107: 1–6
Schneidmüller D, Dietz H-G, Kraus R, Marzi I (2007) Frakturen des Calcaneus im Kindesalter. Unfallchirurg 110: 939–945
Seifert J, Laun R, Paris S, Mutze S, Ekkernkamp A, Ostermann PAW (2001) Die Wertigkeit der Magnetresonanztomografie (MRT) bei der Diagnostik von Übergangsfrakturen im Bereich der distalen Tibia. Unfallchirurg 104:524-529
Sessa S, Lascombes P, Prevot J, Gagneux E, Blanquart D (1990) Embrochage centro-médullaire dans le fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus chez l'enfant et l'adolescent. Chir Pédiatr 31: 43–46
Slongo T, Audigé L, Clavert J-M, Lutz N, Frick S, Hunter J (2007) The AO comprehensive classification of pediatric long bone fractures. J Pediatr Orthop 27: 171–180
Slongo T, Schmid T, Wilkins K, Joeris A (2008) Lateral external fixation – A new surgical technique for displaced unreducible supracondylar humeral fractures in children. J Bone Joint Surg 90A: 1690–1697
Stylianos S (2002) Compliance with evidence-based guidelines in children with isolated spleen or liver injury: A prospective study. J Pediatr Surg 37: 453–456
Täger G, Hussmann B, Lendemans S, Nast-Kolb D (2009) Epiphysäre und epiphysennahe Frakturen bei Kindern. Teil II: Untere Extremität. Unfallchirurg 112: 185–201
Weinberg A-M, Reilmann H, Lampert C, Laer L v (1994) Erfahrungen mit dem Fixateur externe bei der Behandlung von Schaftfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 97: 107–113
Weinberg A-M, Kasten P, Castellani C, Jablonski M, Hofmann U, Reilmann H (2001) Which axial deviation resuklts in limitations of Pro- and Supination following diaphyseal lower arm fractures in childhood? Eur J Trauma 27: 309–316
Wright JG, Wang EEL, Owen JI, et al. (2005) Treatments for paediatric femoral fractures: a randomised trial. Lancet 365: 1153–1158
Zionts LE, McKellop HA, Hathaway H (1994) Torsional strength of pin configuration used to fix supracondylar fractures of the humerus in children. J Bone Joint Surg Am 76: 253–256

Gefäßverletzungen

P. Vogel, P. Kasprzak

13.1 Basiswissen – 828
13.2 Hals – 831
13.3 Obere Extremität – 836
13.4 Bauch – 840
13.5 Becken – 846
13.6 Untere Extremität – 847
13.7 Folgezustände – 850
Literatur – 851

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_13,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

13.1 Basiswissen

13.1.1 Allgemeines

Die meisten Daten zur Therapie der Gefäßverletzungen stammen aus den USA. Hier stehen als Ursache Schussverletzungen ganz im Vordergrund. Oft handelt es sich auch um Berichte aus Kriegen. Die stumpfe Verletzung im Rahmen des Polytraumas ist eher selten. Für die Indikation und Technik sowie Taktik der Therapie ist dies aber nur in Ausnahmefällen von Bedeutung.

Es muss beachtet werden, dass es sich bei der Gefäßverletzung meist um eine Notfallsituation mit Organe bzw. Extremitäten bedrohender Ischämie oder lebensbedrohlichem Blutverlust handelt. Eine erfolgreiche Behandlung setzt ein multidisziplinäres Vorgehen voraus, bei dem Unfallchirurg, Gefäßchirurg, Viszeralchirurg, Anästhesist und ggf. Herzchirurg zusammenarbeiten. Auch mikrochirurgische Eingriffe können bei den im Rahmen von peripheren Gefäßverletzungen vorkommenden Nervenläsionen notwendig werden. Von großer und zunehmender Bedeutung ist die interventionelle Radiologie. Dies gilt zum einen für die Versorgung von Blutungen aus parenchymatösen Organen (meist Coiling), aber auch für die Behandlung von Gefäßverletzungen (Coiling oder Stentversorgung).

Eine wichtige allgemeine Maßnahme ist selbstverständlich die »aggressive« Volumentherapie auch unter Verwendung von Erythrozytenkonzentraten und Fresh Frozen Plasma (FFP). Hierzu gehört auch die Stabilisierung der Körpertemperatur des Patienten, was durch Wärmematten, Verwendung gewärmter Infusionen und eine ausreichend hohe Temperatur im Operationssaal gewährleistet sein muss. Es darf zu keinem Zeitverlust durch unnötige diagnostische Maßnahmen kommen.

Die allgemeine Untersuchung umfasst die klinische Beurteilung des Lokalbefundes und der Durchblutungssituation sowie den Pulsstatus und eine grob-neurologische Untersuchung.

Bei operativer Versorgung von Gefäßverletzungen an den Extremitäten kann bei instabilen Patienten die passagere Wiederherstellung der Perfusion durch Einbringen von Shunts sinnvoll sein. Vor definitiver Versorgung der Gefäßverletzung kann die Stabilisierung des Patienten durch intensivmedizinische Maßnahmen erfolgen (Rozycki et al. 2003).

13.1.2 Osteosynthesezeitpunkt

Oft wird es sich um mehrfachverletzte oder polytraumatisierte Patienten handeln. Hier stellt sich die Frage nach der zeitlichen Abfolge der Versorgung.

Selbstverständlich müssen lebensbedrohliche Blutungen unverzüglich und vor jeder anderen Maßnahme angegangen werden. Hinsichtlich der Ischämie sind die kritischen Zeitgrenzwerte zu beachten. Hier gilt im Bereich der Extremitäten die 6-h-Regel. Im Falle der Verletzung der hirnversorgenden Gefäße besteht kein ausreichendes Zeitfenster, welches eine primäre Osteosynthese erlaubt. Andererseits können bei Verletzung der Extremitätengefäße durch die Anwendung technisch wenig zeitaufwändiger Osteosynthesemaßnahmen (z.B. Fixateur externe) die gefäßchirurgischen Rekonstruktionsmaßnahmen auch nach der Osteosynthese erfolgen. Das Zeitfenster kann außerdem durch Verwendung von Shunts ausgedehnt werden (Rozycki et al. 2003). Im Allgemeinen sollte daher angestrebt werden, zunächst die knöcherne Verletzung zu versorgen, und zwar zum einen deshalb, weil sich die Durchblutung nach Reposition der Fraktur und Beseitigung einer dadurch bedingten Kompression nicht selten spontan erholt und gar keine relevante Gefäßverletzung vorliegt. Zum anderen sollte vor einer notwendigen Gefäßrekonstruktion die Länge der Extremität wieder hergestellt sein, um durch zur Osteosynthese notwendige Manipulationen die Rekonstruktion nicht zu gefährden und um die exakte Länge des Gefäßes besser festlegen zu können.

13.1.3 Infektion

Insbesondere bei Polytraumatisierten handelt es sich nicht selten um kontaminierte Wunden. Hier ist bei Verwendung von heterologem Material im Rahmen der Gefäßrekonstruktion die Infektion gefürchtet. Allerdings zeigen auch Untersuchungen mit größeren Patientenzahlen, dass es nur sehr selten zu solchen Infektionen kommt. Trotzdem halten wir eine systemische perioperative Antibiotikaapplikation für indiziert. Die Auswahl richtet sich nach der Art der Verschmutzung und sollte in jedem Fall die Hautkeime erfassen. Bei Eröffnung von Darm sollten außerdem Anaerobier abgedeckt sein. Der Zeitraum der Antibiotikagabe sollte sich nach den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie richten und orientiert sich am Grad der Verschmutzung (Steinbrecher et al. 2002). Dieser kann auch eine Indikation zur Applikation von lokalen Antibiotikumträgern darstellen. Kontrollierte Studien zur Wirksamkeit liegen nicht vor.

Eine wichtige Voraussetzung zur Infektionsprophylaxe stellt in jedem Fall das Débridement nekrotischen oder devitalisierten Gewebes bzw. die Entfernung ausgetretenen Darminhalts dar. Auch sollte immer ein intraoperativer Abstrich erfolgen.

Im Rahmen der septischen Gefäßchirurgie hat sich die Verwendung autologer Venen, in der Regel der V. saphena magna, statt eines Kunststoffbypasses bei der Infektionsbehandlung bewährt. Im Rahmen der Versorgung von Gefäßverletzungen muss jedoch beachtet werden, dass es sich um lebensbedrohliche Notfallsituationen handelt, oftmals bei kreislaufinstabilen Patienten, was eine bei Verwendung autologer Venen notwendige längere Operationszeit nicht erlaubt.

In jedem Fall ist die Deckung des Prothesenmaterials anzustreben. Bei ausgedehnten Weichteilverletzungen, die zur endgültigen Deckung eine zeitaufwändige plastische Operation erfordern, kann dies auch im Rahmen eines geplanten Zweiteingriffs erfolgen. Primär wird das Prothesenmaterial in diesen Fällen mit umliegendem Weichgewebe gedeckt.

Grundsätze der Gefäßrekonstruktion in kontaminiertem Gebiet

- Abstrich
- Débridement
- Autologe Vene als Gefäßersatz (alternativ: silberbeschichtetes Dacron)
- Deckung der Gefäßrekonstruktion mit Weichgewebe (Muskel)
- Langzeitantibiose (≥4 Wochen)

13.1.4 Fasziotomie

Eine Fasziotomie gehört zu den Grundlagen der Therapie einer Gefäßverletzung, die immer bedacht werden muss. Zur Indikationsstellung tragen das Ausmaß der Gefäßverletzung (arteriell, venös oder beides), das Ausmaß der Weichteilverletzung und die Dauer einer Ischämie bei. Nach Gefäßrekonstruktion sollte die Extremität hinsichtlich eines drohenden Kompartment-Syndroms

schon im Operationssaal beurteilt werden. Im Zweifel ist eine Dermatofasziotomie vorzunehmen.

Die Druckerhöhung im Kompartment gefährdet nicht nur das dort gelegene Gewebe, sondern vermindert auch den Abfluss über die Gefäßrekonstruktion, wodurch eine Thrombosierung droht.

13.1.5 Antikoagulation

Von allgemeiner Bedeutung für die Vermeidung einer Thrombosierung ist eine ausreichende Kreislauffunktion (Volumensubstitution, cardiac output). Sie ist die Voraussetzung für einen adäquaten Fluss über die Gefäßrekonstruktion. Dies bedarf einer adäquaten Zusammenarbeit zwischen Operateur und Anästhesist bzw. Operateur und Intensivmediziner.

Bei der Frage der Heparinisierung ist zunächst zu bedenken, ob Kontraindikationen bestehen. Dies gilt insbesondere bei gleichzeitigem Vorliegen intrakranieller Verletzungen und ausgedehnter Parenchymverletzungen. Da meist ein mehr oder weniger ausgeprägter Blutverlust vorliegt, muss auch eine dadurch bedingte Störung der Blutgerinnung mitbeachtet werden.

Präoperativ kann bei Verletzungen der Extremitätenarterien und eingeschränktem bzw. aufgehobenem peripherem Fluss zur Prävention einer sekundären Thrombosierung die Heparinisierung eingeleitet werden (z.B. 5000 IE Heparin im Bolus und Gabe von 1000 IE über Perfusor bzw. gewichtsadaptiert).

Intraoperativ wird in der Regel eine Heparinisierung über eine Bolusgabe durchgeführt, soweit nicht schon präoperativ damit begonnen wurde. Liegt eine Kontraindikation für eine systemische Heparinisierung vor, kann intraoperativ über die Instillation von Heparin-Kochsalz-Lösung (Konzentration 100 IE/ml) in das abhängige Gefäß zur Thrombosevermeidung beigetragen werden.

Nach arterieller Rekonstruktion ist im Allgemeinen keine postoperative Antikoagulation notwendig. Eine Ausnahme stellt der Bypass auf eine Unterschenkelarterie dar, zumal bei eingeschränktem Abfluss. Bei Venenrekonstruktionen sollte bei Verwendung von heterologem Material zur Vermeidung eines Verschlusses direkt postoperativ heparinisiert (Ziel-PTT: 60–80 s; Kontraindikationen s. oben) und langfristig mit Marcumar antikoaguliert werden. Erhöhte Lungenembolieraten werden nach Venenrekonstruktion im Vergleich zur Ligatur nicht beobachtet (Rich 1988).

Sowohl bei Venenrekonstruktionen als auch bei gelenkübergreifender arterieller Rekonstruktion sollten ringverstärkte Kunststoffprothesen verwendet werden, um Abknickung und Thrombosierung zu verhindern.

Eine langfristige Antikoagulation mit Marcumar ist nur nach Rekonstruktion ausgedehnter Venenverletzungen notwendig, solange deren Durchgängigkeit nachgewiesen ist. Nach arterieller Rekonstruktion empfiehlt sich unter Beachtung der Kontraindikationen die Gabe von Acetylsalicylsäure in einer Dosierung von 100 mg/Tag.

13.1.6 Nahttechniken

Grundsätzlich muss betont werden, dass die Nahttechnik über Erfolg und Misserfolg einer Gefäßrekonstruktion oft unmittelbar mitentscheidet. Daher sind einige Grundsätze zu beachten.

Das Gefäß muss sorgsam behandelt werden. Möglichst sollte nur die Adventitia mit Instrumenten gefasst werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass nicht die Intima abgehoben wird.

Um ein Abheben der Intima, was nach Freigabe des Blutflusses zu einem Aufstellen derselben und damit zum Gefäßverschluss führen kann, zu vermeiden, soll das verletzte Gefäß beim Nähen immer von innen nach außen durchstochen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass evtl. abstehende Intima mitgefasst wird oder zuvor mit Einzelnähten fixiert wurde.

Insbesondere die an der Spitze einer Seit-zu-End-Anastomose gelegten Nähte können zur Stenosierung führen, wenn zu viel Wandstrecke durch die Naht gerafft wird.

Fortlaufende Naht

Die fortlaufende Naht ist die am häufigsten ausgeführte Nahttechnik (Abb. 13.1, Abb. 13.2, Abb. 13.3). Diese kann mit einem oder 2 Fäden vorgenommen werden. Bei Verwendung nur eines Fadens muss dieser doppelt armiert sein.

Einzelknopfnaht

Eine Einzelknopfnaht (Abb. 13.3) sollte gewählt werden, wenn kleinkalibrige Gefäße genäht werden oder bei unübersichtlicher Situation, dann ggf. auch in Kombination mit einer fortlaufenden

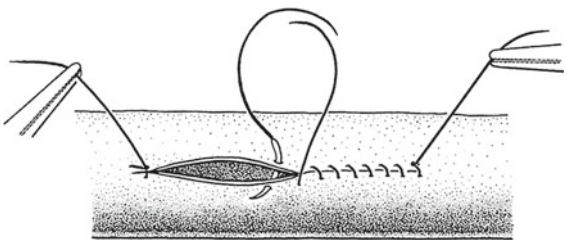


Abb. 13.1 Fortlaufende Gefäßnaht nach Längsinzision. (Aus: Heberer u. Dongen 1987)

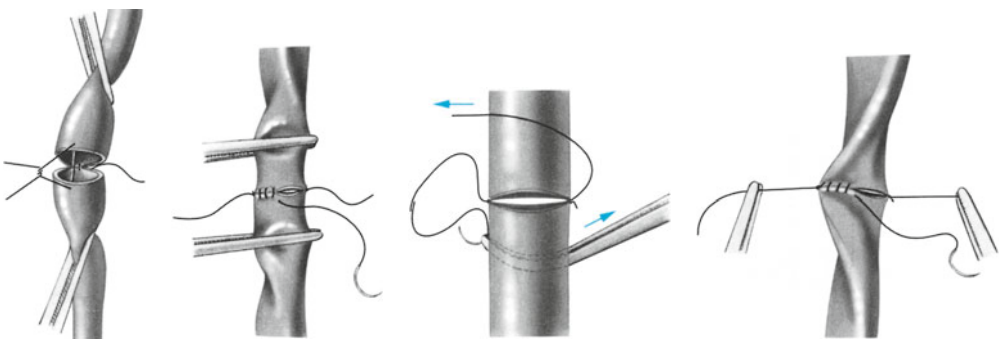


Abb. 13.2 Ausführung einer End-zu-End-Gefäßanastomose mit temporärer Haltenaht zum Anspannen und Wenden der Anastomosennaht. (Aus: Walterbusch 2003)

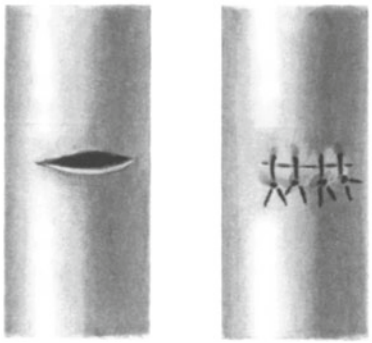


Abb. 13.3 Übernähung einer horizontalen Gefäßlazeration mit Einzelknopfnähten. (Aus: Walterbusch 2003)

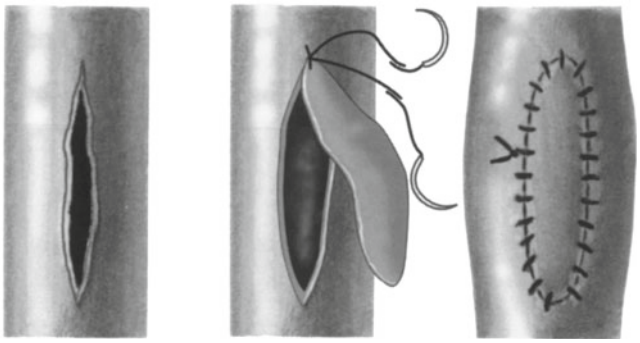


Abb. 13.5 Streifen-Flicken-Plastik nach Längseröffnung eines Gefäßes. (Aus: Walterbusch 2003)

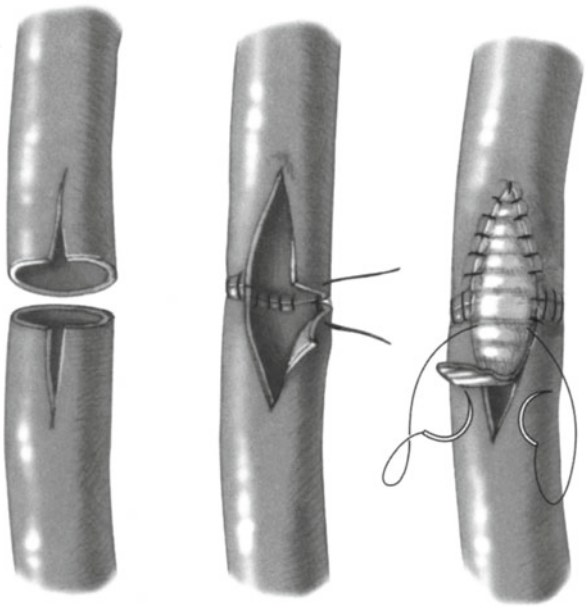


Abb. 13.4 End-zu-End-Anastomose nach Querdurchtrennung und zusätzlicher Längsinzision. (Aus: Walterbusch 2003)

Naht. Durch die Einzelknopfnahttechnik bleibt die Elastizität der Gefäßwand erhalten, was einem Frühverschluss vorbeugen kann.

Spezielle Techniken

Kombinierte Technik

Eine Kombination von Einzelknopfnaht und fortlaufender Naht kann z.B. bei Anlage eines kruralen Bypasses indiziert sein. Dabei wird die Spitze der Anastomose mit Einzelknopf versorgt, nachdem die Seiten in fortlaufender Technik genäht wurden.

Patch

Ein Patch aus autologer Vene oder Kunststoff wird bei größeren Wanddefekten, die nicht mit Direktnaht verschlossen werden können, aufgebracht. Hierdurch wird eine Stenosierung verhindert. Bei Längsdefekten kleinerer Gefäße ist dabei regelhaft ein Patch zu verwenden. Die Einnaht erfolgt fortlaufend (Abb. 13.4, Abb. 13.5).

Spezielle Patcharten sind der Linton-Patch, der Taylor-Patch und der Miller-Cuff. Sie sollen bei Anlage eines kruralen Kunststoffbypasses die Offenheitsrate durch Erhöhung der Elastizität verbessern. Dabei muss der erhöhte Zeitaufwand berücksichtigt werden, der insbesondere beim Polytraumatisierten nicht gerechtfertigt ist, wenn dadurch der Zustand des Patienten gefährdet wird. Beim Linton-Patch wird auf das Unterschenkelgefäß zunächst ein Venenpatch genäht (fortlaufende Naht oder Einzelknopfnaht), dieser Patch wird dann längs inzidiert und in die Inzision der Bypass aufgenäht (fortlaufende Naht oder Einzelknopfnaht). Beim Miller-Cuff wird an die Inzision des Unterschenkelgefäßes ein Kragen aus autologer Vene aufgenäht und an diesen der Bypass angeschlossen.

13.1.7 Rekonstruktionstechniken

Direktnaht

Die Direktnaht wird bei kurzstreckigen Defekten, z.B. Stichverletzungen, nach Débridement vorgenommen. Dabei sind nach Mobilisation des proximalen und distalen Gefäßstumpfs auch zunächst nicht überbrückbare Defekte zu versorgen. Der Vorteil liegt in dem geringen Zeitaufwand und der Ersparnis von Fremdmaterial (Abb. 13.6).

Interponat/Bypass

Es besteht kein grundsätzlicher Unterschied zwischen Interponat und Bypass. Während das Interponat kürzer ist und in anatomischer Lage eingebracht wird, überbrückt der Bypass größere Distanzen und liegt parallel zur Arterie oder extraanatomisch. Für beide können eine autologe Vene oder Kunststoff verwendet werden.

Vene

Veneninterponat und Venenbypass zeigen längere Offenheitsraten und sind weniger infektanfällig als Kunststoffgefäße.

Die Indikation für die Verwendung einer autologen Vene besteht daher bei kontaminiertem Areal oder bei Anschluss auf schmalkalibrige Gefäße. Hierzu zählen die Gefäße der oberen Extremität und des Unterschenkels.

Spendervene ist in der Regel die V. saphena magna. Bei Verletzungen wird häufiger die Vene der Gegenseite entnommen, da auch bei arterieller Verletzung ein Defekt der begleitenden Vene nicht auszuschließen ist. Bei Verletzungen im Bereich der oberen Extremität kann bei ausreichendem Kaliber auch die V. basilica oder die V. cephalica verwendet werden.

Bei gleichmäßigem Kaliber der Vene über die gesamte Strecke kann das Gefäß umgedreht implantiert werden. Wenn sich eine Vene nach distal verjüngt, wird sie orthograd eingesetzt. Dann sind jedoch die Venenklappen mit einem Valvulotom zu zerstören. Dies

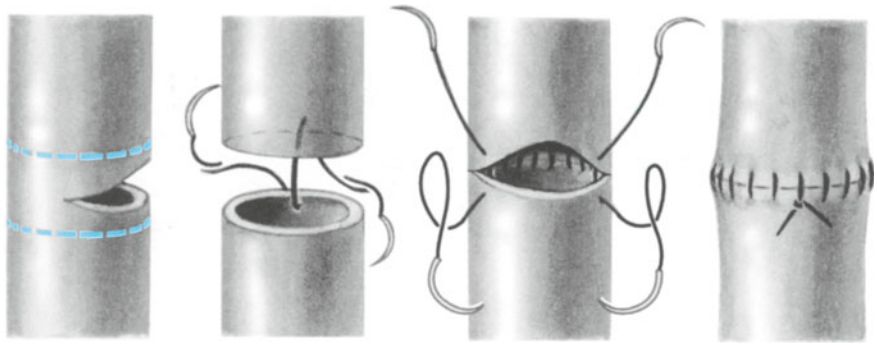


Abb. 13.6 Direktnaht in Form einer End-zu-End-Gefäßanastomose nach Gefäßtranssektion. (Aus: Walterbusch 2003)

geschieht am besten bei geblähten Venenklappen, also nachdem die proximale Anastomose angelegt und der Blutstrom freigegeben wurde.

Kunststoff

Besteht aufgrund des Zustandes der Extremität die Chance auf deren Erhalt, kann man, wenn keine Vene verfügbar ist, auch auf ein Kunststoffgefäß zurückgreifen.

Kunststoffgefäße bieten den Vorteil der Zeitersparnis, da Entnahme und Präparation entfallen.

Die Infektgefahr bei kontaminiertem Operationsareal wird möglicherweise überschätzt (Martin et al. 1994). Grundsätzlich stehen Gefäße aus Dacron und PTFE zur Verfügung.

Das Dacron-Material kann beschichtet und unbeschichtet sein. Unbeschichtet ist es nicht blutdicht und muss mit nicht heparinisiertem Blut des Patienten abgedichtet werden, indem nach Fertigstellung der proximalen Anastomose der Blutstrom freigegeben und unmittelbar wieder unterbrochen wird. Nach einigen Minuten wird durch die Gerinnung an der Kunststoffwand diese abgedichtet.

PTFE-Gefäße sind primär dicht. Allerdings können mehr oder weniger hartnäckige Stichkanalblutungen bestehen. Diese sistieren spontan durch Kompression mit einer Kompresse. Der Vorgang kann durch Verwendung feucht-heißer Kompressen beschleunigt werden.

Steht bei kontaminiertem Operationsgebiet keine autologe Vene zur Verfügung, können silberbeschichtete Dacronprothesen verwendet werden (▶ Abschnitt 13.1.3).

13.2 Hals

13.2.1 A. carotis

Verletzungsmuster

Die Unterscheidung von spitzen und stumpfen Verletzungen ist sowohl in diagnostischer als auch therapeutischer Hinsicht von Bedeutung. Spitze Verletzungen durch Stich oder Schuss treten nicht selten auch isoliert auf. Im Vordergrund der klinischen Symptomatik steht v.a. die Blutung. Stumpfe Verletzungen sind meist Kombinationsverletzungen im Rahmen von Verkehrsunfällen. Nur selten sieht man Verletzungen nach Strangulation (Erhängen).

Dies ist insofern von Bedeutung, als man bei bestimmten Verletzungsmustern auch dann an eine mögliche Verletzung der A. carotis denken sollte, wenn keine Klinik vorliegt.

So besteht ein erhöhtes Risiko für Verletzungen der A. carotis bei kombinierten Schädel- und Gesichtsverletzungen. In größeren Untersuchungen lag die Inzidenz für eine Verletzung der A. carotis bei Schädelverletzungen bei 1,2%, bei anderen Verletzungen bei 0,31% (Punjabi et al. 1997). Auch bei Kombination von Schädel- und Thoraxverletzung ist das Risiko, eine Gefäßverletzung zu erleiden, erhöht und liegt etwa 14-fach über dem anderer Verletzungsmuster (Mulloy et al. 1998). Die Bedeutung der Kombinationsverletzungen spiegelt sich auch in folgenden Zahlen wider: In einer Multicenterstudie zeigten 49% der Patienten mit Karotisverletzung gleichzeitig ein Schädel-Hirn-Trauma, 35% Gesichtsfrakturen und 18% Verletzungen der Halswirbelsäule (Cogbill et al. 1994).

Klassifikation

Man unterscheidet 4 Verletzungstypen (Mulloy et al. 1998):

- **Typ I** entsteht durch Einklemmung der A. carotis interna zwischen Mandibula und Halswirbelsäule.
- **Typ II** ist Folge einer gleichzeitigen Hyperextension und Kopfdrehung zur kontralateralen Seite. Dabei wird die Arterie über den 1. und 2. Wirbel (Hypomochlion) gezogen. Dieser Typ ist mit ca. 90% am häufigsten anzutreffen.
- **Typ III** resultiert aus intraoralen Verletzungen.
- **Typ IV** betrifft den im Knochenkanal verlaufenden Anteil der A. carotis interna bei Schädelbasisverletzungen.

Von therapeutischer und prognostischer Bedeutung ist die Unterscheidung zwischen folgenden Verletzungsarten:

- Abriss
- Perforation
- Intimadissektion
- Pseudoaneurysma
- Arteriovenöse Fistel

Erwähnt werden muss, dass die Verletzungen mit komplettem Abriss eines Halsgefäßes wegen der besonders schlechten Prognose eine Sonderstellung einnehmen. In der oben genannten Multicenterstudie verstarben alle diese Patienten entweder im Verblutungsschock oder infolge massiver Hirninfarzierung (Cogbill et al. 1994).

Diagnostik

Eine frühe Diagnose ist essenziell, will man die erheblichen neurologischen Folgen vermeiden. Auf die Bedeutung des »daran Denkens« bei speziellen Verletzungsmustern wurde oben schon hingewiesen.

Wie viele Patienten mit Verletzungen der A. carotis überhaupt eine Symptomatik entwickeln, ist letztlich nicht bekannt, da sicher

nicht alle Verletzungen erfasst werden. Erschwert wird die klinische Diagnose auch dadurch, dass die meisten Patienten wegen schwerer anderer Verletzungen analgosediert und damit neurologisch nur bedingt untersuchbar sind. Besonders zu erwähnen ist auch die differenzialdiagnostische Abgrenzung zum Schädel-Hirn-Trauma. In der schon oben erwähnten Multicenterstudie zeigten 49% der Patienten bei der initialen Untersuchung neurologische Auffälligkeiten (Cogbill et al. 1994). Von denen, die eine neurologische Symptomatik entwickeln, werden <10% in der ersten Stunde nach Trauma auffällig, ca. 60% innerhalb von 24 h, die übrigen erst später (Mulloy et al. 1998). Pseudoaneurysmen und arteriovenöse Fisteln werden oft erst nach Jahren diagnostiziert.

Neben den oben genannten Verletzungsmustern, die in Kombination mit Verletzungen der Halsgefäße auftreten, können folgende Hinweise vorliegen:

- Schürfungen oder Hämatome am Hals, selbst wenn bei mindestens 50% der Patienten solche direkten Zeichen fehlen.
- Horner-Syndrom
- Zeichen der Hirnischämie, wie transitorische ischämische Attacke (TIA), Aphasie, Eintrübungen, Hemiplegie und Hemiparese.
- Auch Ohrgeräusche werden berichtet (Mulloy et al. 1998).

Die **Duplex-Doppler-Untersuchung** ist prinzipiell gut geeignet, Verletzungen der A. carotis zu diagnostizieren (Cogbill et al. 1994). Vergleichende Untersuchungen zur Sensitivität zeigen gute Übereinstimmung mit der Angiografie (Mulloy et al. 1998). Allerdings muss bemerkt werden, dass auch bei dieser Methode Erfahrung wichtig ist. Da es sich nicht selten um Notfallsituationen handelt, werden die diesbezüglichen Voraussetzungen nicht immer gegeben sein. Zu beachten ist auch, dass weit peripher sitzende Läsionen mit diesem Verfahren nicht zu diagnostizieren sind (Cogbill et al. 1994).

Die **Angiografie** ist als der Goldstandard der apparativen Diagnostik anzusehen. Allerdings muss bedacht werden, dass hierzu ein zusätzlicher apparativer und zeitlicher Aufwand nötig ist.

Eine **Spiral-CT** des Halses mit Kontrastmittel erlaubt nicht nur die Aufdeckung dieser peripheren Verletzungen, sondern ist auch in der Lage, geringer ausgeprägte Läsionen zu diagnostizieren. Die Übereinstimmung mit der Angiografie ist noch höher als bei der Duplex-Doppler-Untersuchung (Link et al. 1997). Da die infrage kommenden Patienten außerdem meist Verletzungen im Gesichtsschädelbereich, der Halswirbelsäule oder des Thorax aufweisen, die eine CT-Untersuchung indizieren, ist auch der zusätzliche untersuchungstechnische und zeitliche Aufwand nicht erheblich.

Eine **kranielle CT** (CCT) sollte bei Verdacht auf eine Verletzung der Halsgefäße immer erfolgen und zwar um eine Infarzierung zu diagnostizieren (Inzidenz ca. 40%; Cogbill et al. 1994) und um eine Einblutung auszuschließen. Letzteres ist als Kontraindikation für eine Antikoagulation anzusehen, eine frische Infarzierung weist auch bei sonst unauffälliger Diagnostik auf eine Verletzung der Halsgefäße hin und ist von prognostischer Bedeutung (s. unten).

Indikation und Planung der Therapie

Für die Therapie von Verletzungen der A. carotis und ihrer Äste ist die Unterteilung in 3 Zonen von praktischer Bedeutung (Degiannis et al. 2005, Starnes et al. 2006). Zone 1 reicht von der Klavikula bis zum Krikoid, Zone 2 vom Krikoid bis zum Angulus mandibulae, Zone 3 liegt darüber (Abb. 13.7).

Der Zugang zu Zone 2 ist in der Regel unproblematisch. Liegen Verletzungen der Zone 1 vor, so kann die Blutungskontrolle durch ein gleichzeitiges Hämatom in diesem Bereich und erschwertem

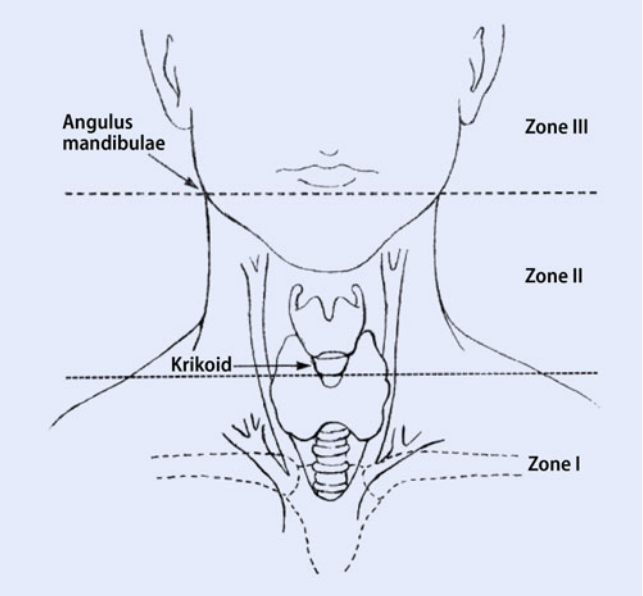


Abb. 13.7 Anatomische Zoneneinteilung des Halses, wie sie der chirurgischen Behandlung von penetrierenden Verletzungen in diesem Bereich zugrunde liegt. (Aus: Degiannis et al. 2005)

zentralem Ausklemmen des Gefäßes problematisch sein. Hier ist ein kombiniert endovaskulär-operatives Vorgehen sinnvoll. In Zone 3 ist der operative Zugang zur A. carotis interna oberhalb des Angulus mandibulae – insbesondere, wenn erschwerend ein großes Hämatom vorliegt – oft nicht möglich. Daher sind primär endovaskuläre Maßnahmen (z.B. Stent) zu erwägen.

Die Letalität von Verletzungen der A. carotis liegt mit 20–40% sehr hoch (Mulloy et al. 1998). In älteren Studien wird zudem bei 80–90% der Überlebenden von einem schweren neurologischen Defizit berichtet. Dies macht die Notwendigkeit einer möglichst zügigen Diagnose und adäquaten Therapie besonders deutlich. Ziel ist es, einen thrombotischen Verschluss der A. carotis communis bzw. interna zu vermeiden sowie einer Embolisation zuvorzukommen.

Die Indikation zum operativen Vorgehen ist prinzipiell gegeben bei lokalisierter Verletzung, d.h. wenn diese operativ erreichbar ist. Dies ist z.B. nicht der Fall bei langstreckiger bis zum Knochenkanal reichender Dissektion der A. carotis interna. Zweite Voraussetzung ist ein umschriebener neurologischer Defekt. Eine Kontraindikation besteht bei schwerem, komplettem neurologischen Defizit (neurologische Notfall-Konsiliaruntersuchung) oder bei in der CCT diagnostizierter großflächiger Hirninfarzierung.

Kriterien für Art und Ausmaß der therapeutischen Maßnahme

- Art der Verletzung
- Ort der Verletzung (Gefäßabschnitt)
- Ausdehnungslokalisation der Verletzung
- Begleitverletzungen
  - Allgemein (z.B. Polytrauma)
  - Speziell (Hirninfarzierung, Hirnblutung, Neurologie)

Außerdem ist der betroffene Gefäßabschnitt insofern zu beachten, als Verletzungen der A. carotis externa mittels Okklusion oder

Ligatur versorgt werden können, eine Rekonstruktion also nicht notwendig ist, während A. carotis communis und A. carotis interna wegen der drohenden Letalität und Morbidität in jedem Fall unverzüglich rekonstruiert oder interventionell oder durch Antikoagulation behandelt werden müssen. Für die Indikationsstellung ist v.a. die Verletzungsart von Bedeutung.

Abriss

Verletzungen mit komplettem Abriss eines Halsgefäßes nehmen wegen der besonders schlechten Prognose eine Sonderrolle ein. In der oben genannten Multicenterstudie verstarben alle diese Patienten entweder im Verblutungsschock oder infolge massiver Hirninfarzierung (Cogbill et al. 1994). Viele Patienten verbluten transoral. Gezielte diagnostische Maßnahmen sind notwendig, bedeuten aber einen zusätzlichen Zeitverlust. Kausale operative Maßnahmen werden daher nur im Einzelfall möglich sein und bestehen in der Blutungskontrolle und Rekonstruktion mittels Gefäßnaht oder Interponat.

Perforation

Auch bei der Perforation nach Stich- oder Schussverletzung steht klinisch die Blutung im Vordergrund. Weitergehende apparativdiagnostische Maßnahmen sind hier jedoch meist nicht indiziert. Die Therapie besteht in der operativen Freilegung des Gefäßes und einer Gefäßnaht oder, bei ausgedehnterer Gefäßlazeration, dem Einsatz eines Veneninterponats (s. unten).

Dissektion

Die Dissektion ist eine relativ häufige Verletzungsart. Hierbei wird die Intima als innerste Schicht des Gefäßrohrs von den übrigen Schichten abgelöst und verlegt das Gefäßlumen. Ist die Dissektionsmembran operativ sicher erreichbar, ist die Resektion der abgelösten Intimaanteile indiziert. Ist die übrige Gefäßwand nicht mehr ausreichend intakt, wird dieser Anteil reseziert und ein Interponat eingebracht. Bei geschlossenen Verletzungen der A. carotis communis verwendet man PTFE 8 mm, an der A. carotis interna ein Veneninterponat (V. saphena magna) oder PTFE 6 mm und bei offenen Verletzungen ein Veneninterponat.

Alternativ kann auch gestentet oder konservativ mittels Antikoagulation behandelt werden. Bei rezidivierenden Embolien (Neurologie) unter Antikoagulation wird die Operationsindikation gestellt. Zu beachten ist hier die Länge der Dissektion in der Angiografie. Reicht die Dissektionsmembran so weit nach distal, dass sie operativ nicht erreichbar ist, sollte eine interventionelle Behandlung mittels Stent erfolgen. Dies kann schon im Rahmen der Angiografie erfolgen.

Eine Antikoagulation ist in jedem Fall indiziert, wenn die Dissektionsmembran nicht in vollem Umfang operativ erreichbar ist.

Die Blutungsgefahr bei Antikoagulation mit Heparin (PTT-wirksam) wird wohl überschätzt. Andererseits ist die Prognose bei konservativer Therapie ohne Antikoagulation infaust oder mit schwerem neurologischen Funktionsverlust verbunden (Cogbill et al. 1994).

Pseudoaneurysma

Ein Pseudoaneurysma entsteht durch Dezelerationstrauma der Gefäßwand. Oftmals besteht gleichzeitig eine Intimadissektion. Der überwiegende Anteil der Patienten ist initial neurologisch unauffällig. Über 40% entwickeln jedoch in den ersten 24 h entsprechende Symptome. Die Gefahr des neurologischen Defizits liegt damit noch höher als bei der alleinigen Dissektion (Cogbill et al. 1994). Die Therapie besteht bei kleinen Pseudoaneurysmen in der Resektion und direkten Gefäßnaht, bei ausgedehnteren Verletzungen wird das Aneurysma durch Interponat ausgeschaltet. Auch hier stellt das Stenting eine Alternative dar.

Thrombotischer Gefäßverschluss

Die höchste neurologische Morbidität und Mortalität entsteht bei thrombotischem Gefäßverschluss. Dies gilt insbesondere für die konservative Therapie, die ja im übrigen nicht als Behandlung des Gefäßverschlusses, sondern als Prävention des Fortschreitens der Thrombosierung (Appositionsthrombose) anzusehen ist. Es soll hierbei insbesondere eine Ausdehnung in den Bereich der A. cerebri media vermieden werden. Nur die Operation kann die Strombahn wieder eröffnen. Eine Lyse scheidet beim Traumapatienten aus. Die Operationsindikation richtet sich nach den Regeln beim thrombotischen Verschluss, der auf dem Boden einer Arteriosklerose entstanden ist. Sie ist dann gegeben, wenn keine Bewusstlosigkeit vorliegt. Beim analgosedierten Patienten orientiert man sich an der CCT, die keine ausgedehnte Infarzierung nachweisen darf oder, wenn neurologische Auffälligkeiten bestehen, die nicht länger als 6 h zurückliegen dürfen, an deren Beginn. Ist die Operationsindikation gegeben, wird in jedem Fall eine Thrombektomie durchgeführt; die Art der weitergehenden operativen Versorgung richtet sich nach den Gefäßbegleitverletzungen wie Intimadissektion, Pseudoaneurysma etc. (s. oben).

Arteriovenöse Fistel

Eine isolierte arteriovenöse Fistel kann auch interventionell mittels Okklusion mit so genannten coils oder durch einen Ballon bzw. die Implantation eines gecoverten Stents behandelt werden. Liegen Gefäßbegleitverletzungen vor, ist die operative Versorgung indiziert.

Operative Technik und Taktik

Nach Diagnosestellung und Ausschluss eines intrakraniellen Hämatoms und anderer Kontraindikationen, wie Verletzungen des Zentralnervensystems, Thorax oder Abdomens, ist die sofortige PTT-wirksame Heparinisierung die erste Maßnahme. Mit dieser Maßnahme kann ein Auftreten oder Fortschreiten neurologischer Symptome vermieden werden.

Die operative Technik und Taktik richtet sich dann auch nach Ort und Art der Verletzung. Die Notwendigkeit eines Gefäßersatzes sollte immer einkalkuliert werden. Als Gefäßersatz kommt bei potenziell kontaminiertem Operationsgebiet, z.B. bei Stich- oder Schussverletzungen, in erster Linie ein Veneninterponat infrage. Der Einsatz von Kunststoff sollte vermieden werden. Im Übrigen gelten die Grundsätze bei Gefäßoperationen in kontaminiertem Gebiet. Als Veneninterponat wird die V. saphena magna verwendet. Bei der Operationsvorbereitung muss dies eingeplant und für die Rasur, Lagerung und Abdeckung berücksichtigt werden. Bei stattgehabter Varizenoperation können auch andere Venen verwendet werden. Auch die Verwendung eines Shunts muss bedacht werden.

Vor dem Abklemmen sollte ein arterieller Mitteldruck von etwa 100 mmHg vorliegen, um über den Kollateralfluss von der unverletzten gegenseitigen A. carotis die Perfusion während der Abklemmphase zu gewährleisten. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit mit dem Anästhesisten. Beim Einbringen des Shunts muss dieser zunächst nach zentral in der A. carotis communis platziert werden, dann wird der Shunt geflusht, um mögliche Koagel zu entfernen. Daran anschließend wird er distal eingebracht, also in die A. carotis interna. Dabei muss man darauf achten, dass die Intima nicht verletzt wird.

Der Patient wird in »Beach-chair-Position« mit zur Gegenseite gedrehtem Kopf gelagert (▶ Kap. 21). Der Kopf wird mit Pflasterzügeln fixiert, und die Beine werden leicht gespreizt, um ein Interponat aus der V. saphena magna entnehmen zu können.

Die Abdeckung lässt die anatomischen Landmarken Kinn, Ohrläppchen und Klavikula, am Oberschenkel Leistenband und Oberschenkel zur Orientierung frei.

Ist ein Veneninterponat indiziert, wird dieses zunächst aus der **distalen V. saphena magna** gewonnen. Die Länge wählt man in Abhängigkeit vom Verletzungsausmaß. Der Zugang liegt direkt über der Vene, kranial des Innenknöchels. Das Interponat wird unter präventiver Antikoagulation mit 110 IE Heparin/kg KG intravenös eingesetzt. Bereits präoperativ wird der Patient über Perfusor PTT-wirksam heparinisiert und die PTT zwischen 70 und 80 s eingestellt. Der Zugang zur Arterie erfolgt direkt ventral des M. sternocleidomastoideus mit Durchtrennung des Platysmas und Präparation direkt medial der V. jugularis interna nach dorsal. Dabei muss darauf geachtet werden, dass man nicht in Richtung Schilddrüse präpariert.

Zunächst wird die A. carotis communis zentral der Verletzung dargestellt, dann der distal der Verletzung gelegene Gefäßabschnitt präpariert. Bei umschriebener Perforation – z. B. bei einer Stichverletzung, die schnell, etwa innerhalb von 5 min versorgt werden kann – darf auf einen Shunt verzichtet werden. Gleiches gilt für den Gefäßabriss. Hier wird direkt auf das Gefäß zugegangen, zentral und distal ausgeklemmt und die oben genannte Versorgung vorgenommen.

In allen anderen Fällen muss ein Shunt angelegt werden, z. B. ein BARD-Shunt der Größe Charr 12 oder Charr 14. Dann wird die A. carotis communis zentral und distal der Verletzung angeschlungen. Wenn distale Gefäßabschnitte verletzt sind, wird die A. carotis externa angeschlungen und die A. carotis interna distal der Verletzung ausgeklemmt. Das weitere Vorgehen richtet sich nach der Art der Verletzung (s. oben). Beim Gefäßabriss ist die zusätzliche Thrombosierung zu beachten und zu behandeln (s. unten).

Bei der Intimadissektion wird der betroffene Gefäßabschnitt reseziert und die Strombahn mittels Veneninterponat wieder hergestellt. Dabei sollte die Stichrichtung von intra- nach extraluminär gerichtet sein, um ein erneutes Abheben der Intima zu vermeiden. Ist eine Shunteinlage notwendig, muss ebenfalls darauf geachtet werden. Der Shunt wird dann zunächst in das zuführende Gefäß eingebracht, dann durch das Interponat geführt und nach Flush-Manöver zur Entfernung etwaiger Thromben in die distale A. carotis interna platziert. Die Naht erfolgt fortlaufend oder, bei unübersichtlichen Verhältnissen insbesondere an der distalen Naht, die zuerst angelegt wird, in Einzelknopftechnik mit einem resorbierbaren, monofilen, doppelt armierten Faden der Stärke 6/0 (z.B. PDS). Wird ein Kunststoffinterponat verwendet, erfolgt die Einnaht mit nichtresorbierbarem, monofilem, doppelt armiertem Faden der Stärke 6/0 (z.B. Prolene). Der Shunt wird dabei kurz vor Fertigstellung der Naht über das verbliebene Lumen entfernt, es wird ein Flush-Manöver vorgenommen, die Gefäße werden erneut abgeklemmt, die Naht komplettiert; abschließend wird die Strombahn freigegeben.

Liegt zusätzlich oder allein ein Pseudoaneurysma vor, wird es nach Ausklemmung des betroffenen Gefäßabschnitts reseziert. Hierbei sollte die Schnittführung leicht schräg verlaufen, wodurch die Nahtfläche vergrößert und damit die Stenosierungsgefahr durch die Naht vermindert wird. Ist das Aneurysma klein und eine Direktnaht möglich, erfolgt diese fortlaufend mit resorbierbarem, monofilem, doppelt armiertem Faden der Stärke 6/0. Anderenfalls wird der Defekt durch Interponat überbrückt. Wird ein Shunt eingebracht, muss dieser zunächst durch das Interponat geschoben werden, dann zentral und abschließend distal platziert werden. Es erfolgt dann zunächst die distale Naht, dann die zentrale Naht, jeweils fortlaufend mit resorbierbarem, monofilem, doppelt armiertem Faden der Stärke 6/0. Der Shunt wird kurz vor Fertigstellung der distalen Naht über das verbliebene Lumen entfernt, es wird ein Flush-Manöver vorgenommen, die Gefäße werden erneut abgeklemmt, die Naht komplettiert und abschließend die Strombahn freigegeben.

Beim thrombotischen Gefäßverschluss wird nach Präparation und Ausklemmen des betroffenen Gefäßabschnitts eine Arteriotomie vorgenommen. Dann kann es durch den Reflux zu einer spontanen Thrombektomie kommen. Nur wenn dies nicht gelingt, wird mit dem Fogarty-Katheter vorsichtig thrombektomiert. Dann erfolgt die Versorgung begleitender, meist ursächlicher, Gefäßverletzungen wie einer Intimadissektion oder eines Pseudoaneurysmas in oben dargestellter Weise.

Bei Diagnose einer arteriovenösen Fistel kann die Versorgung auch interventionell erfolgen, soweit keine andere, begleitende Gefäßverletzung vorliegt. Dabei wird die Fistel über den schon bei der diagnostischen Angiografie eingebrachten Katheter entweder mit Coils bzw. mit Ballon okkludiert, oder es wird ein gecoverter Stent platziert. Liegen zusätzliche Gefäßverletzungen vor, werden diese wie oben beschrieben versorgt, die arteriovenöse Fistel wird ligiert.

Bei allen rekonstruktiven Maßnahmen an der A. carotis wird das Operationsergebnis durch eine intraoperative digitale Subtraktionsangiografie überprüft.

Interventionelle Maßnahmen

Die Indikation zur interventionellen Therapie besteht prinzipiell bei arteriovenösen Fisteln, Pseudoaneurysmen und der Dissektion, insbesondere in Fällen, die operativ nicht in ausreichendem Maße erreichbar sind. Fisteln werden embolisiert oder mittels Stent verschlossen, Pseudoaneurysmen und Dissektionen werden mittels Stentapplikation beseitigt (Joo et al. 2005, Starnes et al. 2006). Kontrollierte, vergleichende Untersuchungen zwischen operativer und interventioneller Behandlung liegen bislang nicht vor.

Ob eine interventionelle Maßnahme infrage kommt, hängt daher auch davon ab, ob eine entsprechende apparative Ausstattung und die entsprechende Erfahrung vorhanden sind.

Interventionelle Verfahren können nicht nur zur Primärtherapie bei o.g. Indikationen Anwendung finden, sondern auch zur Unterstützung beim offenen Vorgehen sinnvoll sein. Bei Verletzungen der A. carotis communis in der Zone 1 (zwischen Klavikula und Krikoid) mit großem Hämatom und dadurch erschwertem Zugang kann z.B. die Platzierung eines Okklusionsballons über eine Punktion der A. femoralis communis zur Blutungskontrolle vorgenommen werden (zum Vorgehen s. unten).

Vorgehen

Der Zugang erfolgt über eine Leistenpunktion. Nach orientierender angiografischer Darstellung der supraaortalen Äste wird das betroffene Gefäß selektiv sondiert und unter Antikoagulation mit Heparin (110 IE/kg KG intravenös) und Gabe eines Thrombozytenaggregationshemmers (z.B. 1 g Aspisol i.v.) in der Regel ein selbstexpandierender Stent (z.B. Wall-Stent) über der Läsion platziert. Der Stent kann zusätzlich mit einem Ballonkatheter anmodelliert werden.

Bei Verwendung nicht selbstexpandierender Stents besteht die Gefahr der Kompression (Cogbill et al. 1994).

Nach dem Eingriff ist die Heparinisierung über 3–5 Tage fortzusetzen. Ist die Dissektion vollständig beseitigt und liegt ein gleichmäßiges Gefäßkaliber vor, kann danach die Heparinisierung beendet werden. Allerdings sollte lebenslang ein Thrombozytenaggregationshemmer, z.B. 300 mg Acetylsalicylsäure pro Tag, eingenommen werden.

Die Inzidenz der Restenose wird für Nierenarterienstents mit bis zu 25% angegeben, im Tierversuch liegt diese für die A. carotis bei bis zu 40% (Cogbill et al. 1994).

Wird eine Intervention zur Blutungskontrolle durch Einführung eines Okklusionsballons über die A. femoralis erfolgen, empfiehlt es sich, dieses im Operationssaal – ggf. sogar parallel zur Abdeckung des Operationsfeldes am Hals – vorzunehmen, da mit einem solchen Vorgehen die Okklusionszeit verkürzt wird.

Prognose

Die Gesamtletalität beträgt 26,5%. Dabei besteht eine Abhängigkeit der Letalität mit dem Vorliegen eines Infarkts: Bei gleichzeitigem ipsilateralem Infarkt steigt sie auf 47%, während sie ohne 0% beträgt (Cogbill et al. 1994).

Ein funktionell gutes neurologisches Ergebnis wird bei durchschnittlich 45% der Patienten erreicht – bei initial normalem CCT in 67% der Fälle, bei initialem Infarkt in 29%, bei deutlichem neurologischem Defizit (z.B. Hemiplegie) in 14%, bei Pflegebedürftigkeit in 8%. Ein deutliches neurologisches Defizit, z.B. eine Hemiplegie, ergibt sich in 14%, eine Pflegebedürftigkeit in 8% der Fälle (Cogbill et al. 1994).

Bei diesen Zahlen handelt es sich um Ergebnisse einer Multicenterstudie, die retrospektiv erhoben wurden. Die Therapiemaßnahmen waren nicht standardisiert. Eine Verbesserung der Prognose ist nur zu erwarten, wenn die Diagnose eher gestellt wird, d.h. vor Auftreten einer neurologischen Symptomatik. Dies ist nur möglich durch das »daran Denken« und das Wissen um Inzidenz und prävalente Verletzungsmuster.

13.2.2 A. vertebralis

Die genaue Inzidenz ist unbekannt, da eine Verletzung der A. vertebralis symptomlos bleibt, solange nur eine Seite betroffen ist und die Gegenseite ein ausreichendes Kaliber ohne z.B. arteriosklerotische Veränderungen aufweist. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Verletzung der A. vertebralis um ein seltenes Ereignis handelt, da dieses Gefäß durch seinen langstreckigen Verlauf im Knochenkanal geschützt ist.

Ätiologie

Verletzungen der A. vertebralis sind sowohl nach stumpfen als auch spitzen Traumata beschrieben. Bei letzteren handelt es sich insbesondere um Schussverletzungen (Golueke et al. 1987). In diesen Fällen sind Plexusschäden die häufigsten Begleitverletzungen, seltener die Beteiligung von V. jugularis interna oder A. carotis communis (Meier et al. 1981). Ursache stumpfer Verletzungen sind Halswirbelsäulenfrakturen oder -luxationen. Dabei liegt die Gefäßläsion so gut wie immer in Höhe der knöchernen Verletzung. Betroffen sind meist die Ebenen C2/C3 sowie C4–C6 (Miyachi et al. 1994).

Verletzungen der Arterie können aber auch ohne Frakturen auftreten. Ursächlich ist eine Rotation und Hyperextension des Kopfes. So wurden auch nach chiropraktischen Manipulationen Verletzungen der Arterie beschrieben. Auch Verletzungen von Pharynx oder Larynx werden häufig im Zusammenhang mit einer Vertebralisläsion gesehen.

Klinik

Die Symptomatik ergibt sich aus dem Versorgungsgebiet der A. vertebralis, dem Kleinhirn und Hirnstamm. Wie schon erwähnt werden Verletzungen der A. vertebralis jedoch nur symptomatisch, wenn die Durchblutung über die gegenseitige Arterie insuffizient ist – bei Hypoplasie und Arteriosklerose – oder wenn diese ebenfalls verletzt ist. In allen anderen Fällen ist eine suffiziente Durchblutung über die A. basilaris gegeben. Eine Ausnahme stellt lediglich die Verletzung der weit distalen A. vertebralis dar, da sich hier der Abgang der A. cerebelli inferior posterior befindet, der dann in Mitleidenschaft gezogen wird; er sichert die Durchblutung von Kleinhirn und Medulla. Folge ist ein Wallenberg-Syndrom mit Horner-Syndrom, Ataxie sowie Verlust der kontralateralen Schmerz- und Temperaturempfindung.

Zu bemerken ist auch, dass Pseudoaneurysmen und arteriovenöse Fisteln durch rezidivierende Embolisationen bzw. einen Steal-Effekt häufiger zu Beschwerden führen als Verschlüsse der A. vertebralis (Golueke et al. 1987).

Diagnostik

Zunächst ist auf die neurologische Symptomatik zu achten. Dabei kann eine durch Verletzung einer oder beider Aa. vertebrales verursachte Neurologie auch eine Hirnverletzung vortäuschen (Miyachi et al. 1994).

Hinsichtlich des Nachweises der Gefäßverletzung stellt die Angiografie das Diagnostikum der Wahl dar.

Therapieindikation

Die meisten Verletzungen der A. vertebralis sind asymptomatisch und müssen daher nicht therapiert werden. Besteht eine Indikation, kommen grundsätzlich konservative, operative oder interventionelle Verfahren zur Anwendung. Die Differenzialindikation ergibt sich aus der Art der Verletzung und der Symptomatik.

Asymptomatische Verschlüsse

Symptomlose Verschlüsse werden nicht therapiert, solange die Durchblutung über die Gegenseite – angiografisch und ggf. mittels transkraniellem Doppler gesichert – ausreichend ist und keine Veränderungen der Gegenseite vorliegen, die Symptome erwarten lassen. Bei symptomatischen Verschlüssen ist eine Besserung der Symptomatik nur zu erwarten, wenn eine kurze Anamnese im Bereich von wenigen Stunden vorliegt. In diesen Fällen ist eine Revaskularisation indiziert. Die Art richtet sich insbesondere nach der Lokalisation des Verschlusses.

Im **Segment I**, das vom Ursprung bis zum Eintritt in den Knochenkanal reicht, erfolgt eine Transposition auf die A. carotis communis. Im **Segment II**, dem Verlauf im knöchernen Kanal, und im **Segment III**, dem Austritt aus dem knöchernen Kanal bis zur Schädelbasis, kann ein Venenbypass aus der V. saphena magna von der A. carotis communis auf die A. vertebralis im Segment III erfolgen.

Dissektion

Dissektionen, die regelhaft in Höhe C1/C2 auftreten (Kim et al. 1997), werden mittels Antikoagulation behandelt, sofern keine Kontraindikationen wie intrazerebrale Blutungen bestehen (Kim et al. 1997).

Ruptur

Bei einer Ruptur mit spontan nicht sistierender Blutung kann bei suffizienter Durchblutung über die Gegenseite das betroffene

Gefäß entweder interventionell okkludiert werden oder es erfolgt eine Ligatur, wobei auch hier eine interventionell vorgenommene Okklusion des distalen Abschnitts notwendig sein kann (Golueke et al. 1987). Die Rate von neurologischen Schäden durch die Ligatur liegt bei ca. 5% (Ehrichs 1983). Bei gleichem Risiko ist eine Rekonstruktion der Ligatur vorzuziehen.

Arteriovenöse Fisteln

Arteriovenöse Fisteln führen häufiger zu Ischämiesymptomen als Verschlüsse und bedürfen daher grundsätzlich einer Therapie. Diese besteht in einer interventionell-radiologischen Okklusion der Fistel.

Pseudoaneurysmen

Auch Pseudoaneurysmen werden häufiger symptomatisch, wenn auch oft erst mit einiger Verzögerung zum Traumaereignis. Sie können bei effizienter Durchblutung von der Gegenseite ebenfalls durch distale und proximale Okklusion der A. vertebralis therapiert werden.

Operative Technik und Taktik

Der Zugang zu **Segment I** der A. vertebralis (s. oben) erfolgt über einen supraklavikulären Schnitt oder über eine Inzision vor dem M. sternocleidomastoideus entsprechend dem Zugang zur A. carotis. Nach Durchtrennung von Subkutangewebe und Platysma werden V. jugularis interna und A. carotis communis dargestellt, und zwischen diesen beiden Gefäßen wird unter Schonung von N. vagus und den begleitenden Lymphgefäßen die A. vertebralis präpariert. Dabei kann die V. vertebralis als Leitstruktur dienen. Nach Ligatur der V. vertebralis wird die Arterie dargestellt und das Ausmaß der Verletzung beurteilt. Bei Bedarf kann die Arterie am Abgang ligiert werden. Wenn die Indikation zur Revaskularisation besteht, kann die A. vertebralis direkt auf die A. carotis communis End-zu-Seit transponiert werden oder an die A. carotis communis mittels Venenbypass angeschlossen werden.

Verletzungen im **Segment II** können durch Ligatur im Segment I versorgt werden. Sollte eine Revaskularisation notwendig sein, kann diese durch Bypass auf das Segment III der A. vertebralis erfolgen. Der Zugang entspricht dem der Karotischirurgie. Allerdings erfolgt die Präparation dann zunächst dorsal der V. jugularis. Dabei kann der Processus transversus von C1 gut palpiert werden und dient als Orientierungspunkt. Eine weitere Landmarke ist der M. bigastricus am oberen Wundrand. Hier muss insbesondere auch auf den N. accessorius geachtet werden. Am Unterrand des Processus transversus wird der M. levator scapulae vorsichtig abgelöst. Darunter liegend verläuft der R. vertebralis des N. cervicalis II über das Segment III der A. vertebralis. Dieser Nerv kann durchtrennt werden, um den Zugang zum Gefäß zu ermöglichen. Die Arterie kann dann zentralwärts geclippt durchtrennt werden. Nach peripher wird ein Okklusionskatheter eingebracht. Die A. vertebralis wird dann ventralseitig mit der Pott-Schere kurzstreckig (ca. 3 mm) eingekerbt. Zunächst sollte dann die technisch schwierigere Bypassanastomose zur A. vertebralis mittels fortlaufender Naht angelegt werden (resorbierbarer, monofiler Faden, Stärke 6/0). Der Venenbypass mit 180°-gedrehter Vene wird zwischen V. jugularis interna und A. carotis nach zentral geführt und nach Längenanpassung die Anastomose End-zu-Seit mit der A. carotis communis hergestellt (resorbierbarer, monofiler Faden, Stärke 6/0). Bei der Längsanpassung muss man darauf achten, dass es zu keiner Knickbildung durch Kompression zwischen A. carotis communis und V. jugularis interna kommt. Vor Fertigstellung der Naht wird ein Flush-Manöver vorgenommen.

Das Operationsergebnis wird durch die intraoperative digitale Subtraktionsangiografie überprüft.

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen erfordern den Einsatz entsprechend erfahrener Ärzte. Sie sind prinzipiell immer dann indiziert, wenn eine Symptomatik vorliegt oder zu befürchten ist und keine Revaskularisation notwendig erscheint. Dies gilt insbesondere für Blutungen aus einer A. vertebralis bei ausreichender Hirnversorgung über die Gegenseite, für arteriovenöse Fisteln und für Pseudoaneurysmen.

Prognose

Die Letalitätsrate ist in Bezug auf die Verletzung der A. vertebralis gleich Null. Sie ergibt sich allein aus den Begleitverletzungen und schwankt entsprechend (Golueke et al. 1987, Meier et al. 1981). Die Morbidität ist geringer als 5% (Golueke et al. 1987). Exakte Angaben sind nicht möglich, da die Inzidenz unbekannt ist. Die Berichte in der Literatur beschränken sich in der Regel auf Patienten mit neurologischer Symptomatik; solche ohne Neurologie werden keiner Diagnostik zugeführt, sodass die Verletzung unerkannt bleibt. Allerdings ist erwiesen, dass die Inzidenz mit häufiger durchgeführter Angiografie steigt (Miyachi et al. 1994), weshalb die oben genannten Zahlen zur Prognose, die aus Arbeiten mit den größten Patientenzahlen stammen, wohl eher noch zu hoch liegen. Routinemäßige apparative Diagnostik oder operative Exploration kann andererseits die Morbidität und Letalität nicht senken (Golueke et al. 1984).

13.3 Obere Extremität

13.3.1 Allgemeines

Für die Versorgung von Gefäßverletzungen an oberer und unterer Extremität gelten grundsätzlich die gleichen allgemeinen Prinzipien. Unter Berücksichtigung des Ausmaßes einer kompletten oder inkompletten Ischämie über oder unter 6 h kann die Versorgung der Gefäßverletzung in der Regel nach der Osteosynthese erfolgen (Pillai et al. 1997). Je nach Art und Ausmaß der Verletzung wird diese mit Direktnaht, Patchplastik oder durch Interponat behandelt. Dissektionen können evtl. auch konservativ behandelt werden (Pillai et al. 1997). Als Interponat eignet sich auch Kunststoff, z.B. PTFE oder Dacron, einfach oder ringverstärkt. Ein Veneninterponat ist jedoch vorzuziehen und immer bei Verschmutzung des Operationsgebiets indiziert, soweit eine Vene ausreichenden Kalibers verfügbar ist. Im Rahmen von Verletzungen der Extremitäten wird in der Regel die V. saphena magna verwendet, bei dünneren Gefäßen können auch Venen des Arms verwendet werden.

Venen aus dem Verletzungsareal selbst dürfen nicht benutzt werden, da auch bei makroskopischer Unbedenklichkeit mit eingeschränkter Funktion gerechnet werden muss.

Ist die Entnahme der V. saphena magna indiziert, muss dies bei der Abdeckung bedacht werden. Die Abdeckung des Operationsgebiets selbst erfolgt so, dass das der Verletzung vor- und nachgeschaltete Segment ebenfalls angegangen werden kann. Außerdem sollte eine Beurteilung der Kapillardurchblutung möglich sein.

In fast der Hälfte der Fälle können gleichzeitig Nervenverletzungen diagnostiziert werden (Pillai et al. 1997). Dies muss bei der präoperativen Untersuchung sowie der intraoperativen Exploration und Versorgung ebenso berücksichtigt werden wie die Notwendigkeit einer Fasziotomie.

Bei Einbringen von Fremdmaterial wird eine perioperative Antibiotikagabe vorgenommen. Bei offenen Verletzungen wird diese über einen Zeitraum von mindestens 5 Tagen fortgeführt. Wenn kein Fremdmaterial verwendet wurde, genügt eine kürzere Spanne. Reicht die offene Verletzung bis an das Gefäß selbst, kann die Applikation eines lokalen Antibiotikumträgers erwogen werden. Gesicherte Daten zu diesem Vorgehen liegen nicht vor. Man sollte sich deshalb an die allgemeinen Richtlinien der Antibiotikatherapie halten und den Grad der Verschmutzung, das Ausmaß der Wunde und der Gesamtverletzung sowie die Operationsdauer berücksichtigen.

Venenverletzungen, die nicht über äußere Kompression zu behandeln sind, können in der Regel ligiert werden.

13.3.2 Truncus brachiocephalicus

Es handelt sich um eine sehr seltene Verletzungslokalisation. Die Häufigkeit liegt im Promillebereich. Die A. brachiocephalica ist der wohl am häufigsten verletzte intrathorakal verlaufende Aortenbogenast. Häufigste Begleitverletzungen sind Thoraxverletzungen, Herzkontusion oder Skapulafrakturen (Weimann et al. 1998).

Klinik

Die Patienten, die das Krankenhaus erreichen, erscheinen klinisch oftmals nicht schwer verletzt. Auch ein Blutungsschock ist nicht regelhaft zu diagnostizieren (Weimann et al. 1998). Können Beschwerden geäußert werden, stehen die Begleitverletzungen im Vordergrund. Neurologische Symptome, z.B. durch Embolien in das Stromgebiet der A. carotis, sind sehr selten (Banks et al. 1995).

Diagnostik

In der Röntgenübersichtsaufnahme des Thorax fällt ein erweitertes Mediastinum auf. Auch Verlagerungen von Trachea und rechtem Hauptbronchus, ein abweichender Verlauf einer Magensonde oder Auffälligkeiten am Aortenknopf können Hinweis auf eine Verletzung der A. brachiocephalica sein.

In der Spiral-CT des Thorax kann die Verletzung sicher diagnostiziert werden. CT-Untersuchungen ohne Spiraltechnik sind nicht geeignet. Eine Angiografie kann nicht in jedem Fall die Diagnose sichern. Es gibt falsch-negative Befunde, weshalb die Spiral-CT das Diagnostikum der Wahl ist. Mittels Echokardiografie kann man Begleitverletzungen des Herzens oder Aortenbogens erkennen und prinzipiell auch ein Trauma der A. brachiocephalica. Allerdings sind auch hier falsch-negative Befunde beschrieben (Weimann et al. 1998).

Therapie

Die Therapie besteht in der Operation und Direktnaht oder häufiger der Strombahnwiederherstellung mittels Bypass. Immer sollte auch eine interventionelle Behandlung erwogen werden (s.unten).

Operative Technik und Taktik

Der Zugang erfolgt über eine mediane Sternotomie. Der Einsatz einer Herz-Lungen-Maschine ist nicht notwendig. Die Abdeckung sollte auch die rechte Halsseite freilassen, um den Schnitt ggf. nach supraklavikulär verlängern zu können. Dadurch wird der Zugang zum distalen Abschnitt erleichtert und der Anschluss der A. carotis communis ermöglicht.

Eine Heparinisierung ist nicht unbedingt notwendig. Nach Ausklemmen der Arterie – bei Verletzungen am Abgang erfolgt die tangentiale Ausklemmung im Aortenbogen – kann bei umschriebenen Verletzungen ggf. die Direktnaht nach Mobilisierung des Gefäßes erfolgen. Meist ist jedoch ein Bypass indiziert (z.B. Dacron 8 oder 10 mm). Ist der Abgang der A. carotis von der Verletzung mitbetroffen, kann eine Y-Prothese indiziert sein. Die Nähte erfolgen mit monofilem, nichtresorbierbarem Material (z.B. Prolene) in fortlaufender Technik. Vor Freigabe des Blutflusses erfolgt ein Flush-Manöver, um Thromben auszuspülen.

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen sind nur möglich, wenn die Verletzung ausreichenden Abstand (mindestens 1 cm) zum Abgang aus dem Aortenbogen und zum Abgang der A. carotis communis aufweist (Verankerung einer Stentprothese). Die Indikation ist im Übrigen dann gegeben, wenn durch den operativen Eingriff das Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko deutlich erhöht ist.

Prognose

Nach vorliegenden systematischen Untersuchungen werden Morbidität und Mortalität von den Begleitverletzungen bestimmt.

13.3.3 A. subclavia

Schon wegen des teils durch die Klavikula geschützten Verlaufs sind Verletzungen der A. subclavia selten, und wenn vorhanden, können sie mit Frakturen der Klavikula verbunden sein. Bei Verletzung der Gefäße der oberen Extremität ist die A. subclavia in 10–15% betroffen (Pillai et al. 1997).

Klinik

Die Blutung imponiert durch Hämatombildung und Hb- bzw. Hämatokritabfall. Sensibilitätsstörungen durch direkte Verletzung des Plexus brachialis oder durch Hämatomkompression können gleichzeitig bestehen. Außerdem kann eine Verletzung durch Mikro- oder Makroembolisation oder durch eine ausgedehntere Ischämie bei Gefäßverschluss auffällig werden.

Diagnostik

Am Beginn steht die klinische Untersuchung mit Feststellung von Frakturen. Ein Pulsstatus wird erhoben und nach Ischämiezeichen gefahndet. Man befragt den Patienten nach Schmerzen und beurteilt Hauttemperatur, -kolorit, Puls und Funktion der Extremitäten. Dabei kann durch die Palpation der Gefäßabschnitte schon eine Aussage zur Höhe eines etwaigen Gefäßverschlusses gemacht werden. Allerdings kann durch eingeschränkte Blutdruckverhältnisse die klinische Diagnostik erschwert sein. Dem Seitenvergleich kommt große Bedeutung zu.

Letzteres gilt auch für die Messung der Doppler-Verschlussdrücke. Gegebenenfalls kann auch ein Vergleich mit der Messung an der unteren Extremität hilfreich sein. Insbesondere bei entsprechender Anamnese oder Fremdanamnese müssen Unterschiede von mehr als 10% weitere diagnostische Schritte zur Folge haben (Pillai et al. 1997).

Hier kann die Angiografie über Ort, Art und Ausmaß der Gefäßverletzung Aufschluss geben. In gleicher Sitzung kann dann auch interventionell therapiert werden (s. unten). Besteht eine aktive Blutung, kann über die Angiografie außerdem eine Blockade des Gefäßes und damit eine Blutungskontrolle erfolgen.

Therapie

Die Therapie der Wahl besteht in der Regel in der operativen Versorgung der Gefäßverletzung mittels Venen- oder Kunststoffin-

terponat je nach Verschmutzungsgrad des Operationsgebiets. Bei umschriebenen Verletzungen kann auch eine Direktnaht infrage kommen.

Inzwischen ist auch die interventionelle Versorgung von Verletzungen der A. subclavia durch Stentimplantation beschrieben (Patel et al. 1996). Hier sind jedoch spezielle Aspekte zu beachten (s. unten).

Operative Technik und Taktik

Der operative Zugang erfolgt in der Regel über eine obere Sternotomie. Hierdurch wird die beste Übersicht erreicht. Ein supraklavikulärer Zugang erlaubt nur eine relativ kurzstreckige Freilegung des zentralen Abschnitts. Beim infraklavikulären Schnitt ist der M. pectoralis minor zu durchtrennen. Der transaxilläre Zugang, bei dem die Schnittführung an der unteren Grenze der Axillarbehaarung zwischen den Mm. pectoralis major et latissimus dorsi erfolgt, erlaubt die längerstreckige Freilegung der A. subclavia. Er birgt allerdings den Nachteil der schlechten zentralen Übersicht mit hoher technischer Schwierigkeit einer Anastomosierung in diesem Bereich, weshalb er sich nur für ein elektives Vorgehen eignet. Im Rahmen der Operation sollte immer auch eine Inspektion der freigelegten Nervenstrukturen erfolgen; im Falle der A. subclavia kann der Plexus brachialis beurteilt werden.

In der Regel wird ein Kunststoffinterponat verwendet (z. B. PTFE 6–8 mm). Wird das Interponat unter der Klavikula entlanggeführt, muss eine ringverstärkte Prothese verwendet werden. Ein Venenbypass aus der V. saphena magna ist bei Verschmutzung des Operationsgebiets indiziert. Nach Ausklemmen der Verletzung wird zunächst die zentrale Anastomose gelegt. Diese kann End-zu-End oder End-zu-Seit erfolgen, z.B. mit monofilem, nichtresorbierbarem Faden der Stärke 5/0. Der Venenbypass wird mit monofilem, resorbierbarem Faden der Stärke 5/0 genäht. Dann wird der Bypass zum peripheren Anschluss geführt. Ist dieser aufgrund der Verletzungsausdehnung peripher im Bereich der A. axillaris oder A. brachialis gelegen, kann ein zweiter Zugang notwendig sein. Die A. axillaris wird über einen Schnitt im proximalen Sulcus bicipitalis medialis und ggf. verlängert am Unterrand des M. pectoralis major dargestellt, die A. brachialis über einen Schnitt im Sulcus bicipitalis medialis. Die distale Anastomose kann ebenfalls End-zu-End oder End-zu-Seit erfolgen, bei Verwendung von Kunststoff mit nichtresorbierbarem, bei Verwendung von körpereigenem Gewebe mit resorbierbarem Nahtmaterial der Stärke 5/0 oder 6/0.

Vor Fertigstellung der Naht und Freigabe des Blutflusses erfolgt ein Flush-Manöver. Abschließend werden die peripheren Pulse geprüft. Bestehen hier Auffälligkeiten, muss eine intraoperative Angiografie erfolgen.

Interventionelle Maßnahmen

Grundsätzlich kann eine Verletzung der A. subclavia auch interventionell versorgt werden (Patel et al. 1996).

Der Verlauf des Gefäßes unter der Klavikula bedeutet eine ungewöhnlich starke Beanspruchung eines Stent bei Bewegung des Arms und der Schulter. Eigene Erfahrungen bei Positionierung von Stents in der V. subclavia zeigen, dass dies nicht selten zum Bruch des Stents führt.

Außerdem muss bedacht werden, dass Stents eine Intimahyperplasie induzieren können, was längerfristig Stenosen entstehen lässt. Dies macht diese Therapieform für jüngere Patienten problematisch.

Wie bei jeder Stentapplikation muss berücksichtigt werden, dass für eine sichere Verankerung ausreichend langstreckige nichtverletzte Areale ohne Abgang wichtiger anderer Gefäße Voraussetzung sind. In dieser Region ist der Abgang der A. vertebralis limitierend.

Insgesamt scheint die interventionelle Versorgung von Verletzungen der A. subclavia Ausnahmesituationen vorbehalten. So können z.B. ältere polytraumatisierte Patienten profitieren, denen auf diesem Weg eine Versorgung ohne Zeitverlust und zusätzliches Gewebetrauma ermöglicht werden kann.

Prognose

Als Folge einer nicht erkannten Verletzung der A. subclavia kann sich ein Pseudoaneurysma entwickeln. Dieses kann Monate oder Jahre asymptomatisch bleiben. Ein bis zwei Drittel der Patienten klagen über Beschwerden, die durch Kompression benachbarter Strukturen hervorgerufen werden. Dazu gehören Dysphagie, Dysphonie, Dyspnoe, Armschwellung oder Gesichtsschwellung. Außerdem kann es zur Ausbildung eines Horner-Syndroms kommen. Eine weitere Komplikation ist die periphere Embolisation. Dehnt sich ein Pseudoaneurysma bis in den Abgang der A. vertebralis oder, auf der rechten Seite, in den Abgang der A. carotis hinein aus, kann es auch zur zerebralen Embolisation kommen (Bechini et al. 1998). Die Therapie besteht in der Resektion des Aneurysmas mit Gefäßinterponat oder – in Abhängigkeit von Lage und Ausdehnung – in der endovaskulären Ausschaltung.

13.3.4 A. axillaris

Ätiologie

Die A. axillaris ist in ca. 25% aller Verletzungen der Gefäße im Bereich der oberen Extremität betroffen (Pillai et al. 1997). Insbesondere bei Humeruskopffrakturen mit Dislokation muss an eine Verletzung der A. axillaris gedacht werden (◘ Abb. 13.8). Diese liegt dann meist im Übergang zur A. brachialis.

Klinik

Bei offenen Verletzungen steht die Blutung im Vordergrund. Bei geschlossenen Verletzungen sind die klassischen Ischämiezeichen Blässe, Kälte, Pulslosigkeit, Schmerz und Functio laesa oder auch distale Embolien wegweisend.

Diagnostik

Nach der klinischen Untersuchung, die auch die Neurologie (Parästhesien) berücksichtigt, führen die Duplex-/Doppler-Untersuchung und die Angiografie zur Diagnose. Die Wertigkeit der ersteren kann, insbesondere bei Vorliegen eines Appositionsthrombus, durch die nur schlecht einsehbaren zentralen Abschnitte der Arterie am Übergang zur A. subclavia eingeschränkt sein. Eine genauere Lokalisation des Verschlusses ist allein deshalb notwendig, um den optimalen operativen Zugang festlegen zu können.

Therapie

Operative Technik und Taktik

Der Zugang zur A. axillaris richtet sich nach der Höhe der Verletzung. Zentrale Abschnitte können über einen infraklavikulären Schnitt mit Durchtrennung des M. pectoralis major im Faserverlauf und ggf. Durchtrennung des M. pectoralis minor dargestellt werden. Der mittlere Abschnitt wird über einen Schnitt entlang der Mohrenheim-Grube, der distale Anteil über einen solchen entlang des Randes des M. pectoralis major auf den Sulcus brachii medialis zu freigelegt. In jedem Fall sollte ein evtl. notwendiger Zugang zur Frakturversorgung berücksichtigt werden. Bei der Freilegung der

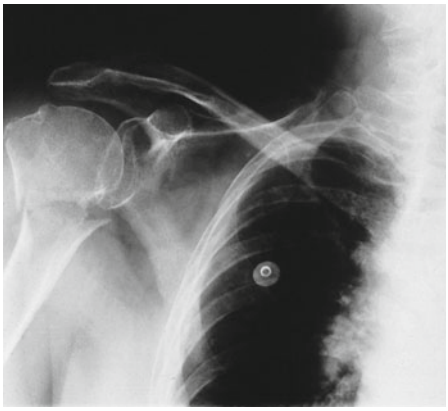


Abb. 13.8 Verletzung der A. axillaris nach Humeruskopffraktur

Arterie ist in jedem Fall ihre enge Beziehung zu den Ästen des Plexus brachialis zu beachten.

Muss differenzialtherapeutisch ein Venenpatch oder ein -interponat bedacht werden, sollte dies bei der Abdeckung des Operationsgebiets eingeplant werden. Kurzstreckige Defekte der Arterie lassen sich mittels Resektion, Mobilisierung der Gefäßstümpfe und Direktnaht versorgen. Liegt ein Verschluss des Gefäßes vor mit äußerlich eher unauffälliger Gefäßwand, ist an eine Dissektion zu denken. Zu deren Beseitigung wird das Gefäß auf der gesamten Dissektionsstrecke längs eröffnet, die Dissektionsmembran entfernt und eine Thrombektomie vorgenommen. Der Verschluss erfolgt in der Regel mittels Venenpatch. Bei nicht suffizienter Gefäßwand wird die Strombahn durch ein Interponat wiederhergestellt. Auch hier kommt – insbesondere bei jüngeren Patienten – in erster Linie ein Veneninterponat aus der V. saphena magna infrage. Bei Verwendung eines Kunststoffinterponats sollte im Bereich der Axilla aufgrund des zu erwartenden Bewegungsstresses und infraklavikulär wegen der drohenden Kompressionsgefahr eine ringverstärkte Prothese verwendet werden.

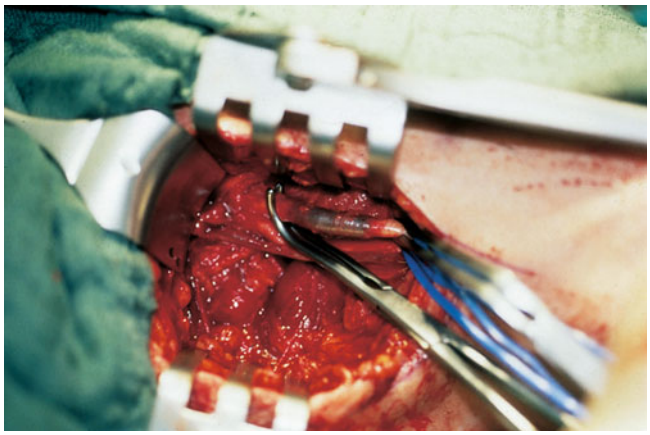
Bei längerstreckigen Defekten der A. axillaris wird ebenfalls ein Veneninterponat eingebracht. Auch hier muss bei Verwendung einer Kunststoffprothese an eine Ringverstärkung gedacht werden (s. oben).

Interventionelle Maßnahmen

Über interventionelle Maßnahmen liegen keine Literaturberichte und keine eigenen Erfahrungen vor. Grundsätzlich sind interventionelle Maßnahmen möglich, wie sie z.B. für die A. subclavia beschrieben wurden.

Prognose

Die Prognose ist bei rechtzeitiger Diagnose und adäquater Versorgung gut.



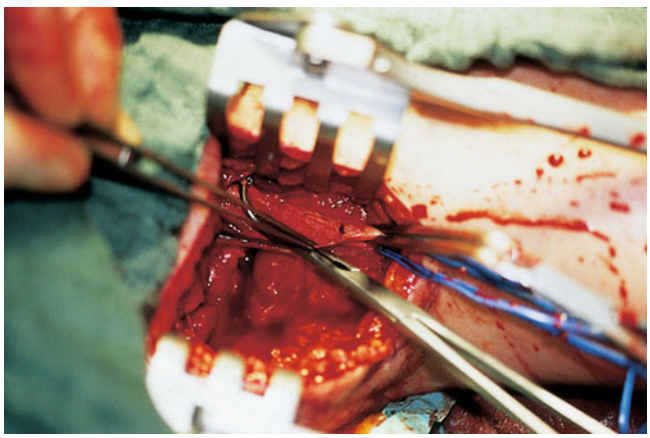


Abb. 13.9 Thrombotischer Verschluss der A. brachialis auf dem Boden einer Dissektion

13.3.5 A. brachialis

Im Vergleich zu den anderen Arterien der oberen Extremität ist die A. brachialis mit ca. 45% am häufigsten betroffen (Pillai et al. 1997, Abb. 13.9). Die Verletzung wird meist von einer dislozierten Oberarmfraktur begleitet.

Klinik

Die Verletzung fällt durch die Ischämiezeichen auf. Neben der klinischen Untersuchung führt die Doppler-/Duplexuntersuchung zur Diagnose. Eine Angiografie ist nur bei fraglichen Befunden notwendig.

Therapie

Der Zugang erfolgt über einen Schnitt entlang des Sulcus brachii medialis. Zu beachten ist die enge Beziehung zu den Ästen des Plexus brachialis. Hinsichtlich der speziellen Versorgung gilt das Gleiche wie bei der A. subclavia. Allerdings ist die Verwendung von ringverstärkten Kunststoffprothesen bei der A. brachialis nicht notwendig. Es sollte immer die Verwendung einer **autologen Vene** angestrebt werden, da Kunststoffprothesen eine erhöhte Verschlussrate aufweisen (Feliciano et al. 1985). Außerdem soll das Rekonstruktionsergebnis durch eine intraoperative digitale Subtraktionsangiografie überprüft werden. Dabei lassen sich die

Venenklappen, die Anastomosen und eine etwaige distale Thromboembolisierung beurteilen. Auch interventionelle Maßnahmen können indiziert sein. Venöse Verletzungen werden ligiert.

Prognose

Diesbezüglich gilt das für die A. subclavia Gesagte. Auf die hohe Verschlussrate von Kunststoffprothesen wurde bereits hingewiesen. Dies gilt insbesondere auch für junge Patienten mit schmalkalibriger A. brachialis und gutem Kollateralfluss im Axillarisbereich, was den Fluss im Prothesenbereich vermindert und so zur Thrombosierung beiträgt (Feliciano et al. 1985). Deshalb empfiehlt es sich auch hier, wann immer möglich, ein autologes Veneninterponat zu verwenden.

13.3.6 Aa. radialis et ulnaris

Etwa 15% der Arterienverletzungen der oberen Extremität betreffen die A. radialis. Allerdings wurden in einer größeren retrospektiven Untersuchung nur bei 3 von 643 Patienten mit Traumata der oberen Extremität Verletzungen der A. radialis diagnostiziert (Pillai et al. 1997).

Im Vordergrund steht die Blutung, bei isolierter Verletzung der A. radialis seltener die Ischämie, da die Durchblutung meist durch die A. ulnaris und im Unterarmbereich auch durch eine A. intermedia gesichert wird (Abb. 13.10). Die klinische Untersuchung ist deshalb meist ausreichend, um die Diagnose zu stellen. Die Angiografie bleibt Ausnahmefällen vorbehalten.

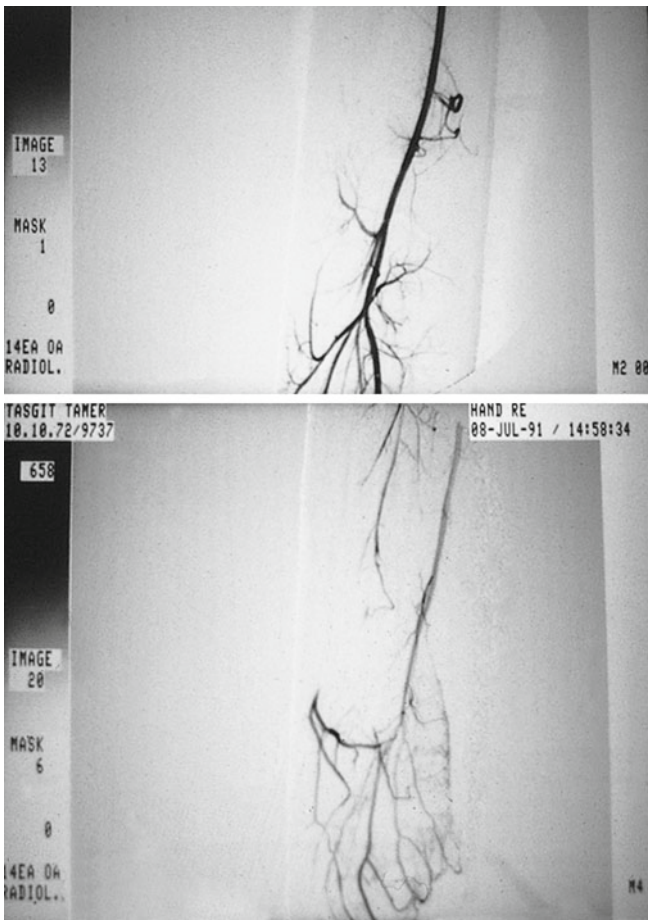


Abb. 13.10 Verschluss der A. radialis bei Armfraktur mit guter Durchblutung der Hand- und Interdigitalarterien über eine kräftige A. ulnaris

Therapie

Die einfache Rekonstruktion wird angestrebt. Aufwändigere Maßnahmen mit autologem Gefäßersatz sind nur bei Ischämiezeichen indiziert. Bei der Abdeckung muss ein evtl. notwendiger autologer Gefäßersatz oder die Entnahme eines Venenpatches berücksichtigt werden. Dazu sollte ggf. der gegenseitige Arm mit abgedeckt werden. Da die A. radialis relativ kaliberschwach ist, verbietet sich einerseits die Verwendung von Kunststoffprothesen, andererseits ist die V. saphena magna zu kaliberstark. Die Verwendung der V. cephalica brachii oder antebrachii, der V. basilica oder auch eines kräftigen Nebenasts ist ausreichend.

Der Zugang erfolgt in Höhe der Weichteil- bzw. Knochenverletzung. Ist eine Osteosynthese indiziert, wird diese unter Wahrung der kritischen Ischämiezeit zuerst durchgeführt.

Das weitere Vorgehen richtet sich nach der Art der Verletzung und insbesondere danach, ob eine Ischämie vorliegt. Bei Blutungen ohne Ischämie kann das Gefäß ligiert werden. Alternativ kann bei kurzstreckigen Verletzungen der zerstörte Gefäßanteil reseziert und eine End-zu-End-Naht vorgenommen werden. Liegen Ischämiezeichen vor, muss eine Rekonstruktion erfolgen. Bei kurzstreckigen Verletzungen wird wiederum eine End-zu-End-Naht vorgenommen. Bei Dissektionen erfolgen die Längsarteriotomie des Gefäßes, die Resektion der Dissektionsmembran und der Gefäßverschluss mittels Venenpatchplastik. Bei längerstreckigen Verletzungen wird die Strombahn durch ein Veneninterponat wieder hergestellt (s. oben). Dabei erfolgt die Naht End-zu-End leicht angeschrägt in fortlaufender Technik mit monofilem Faden der Stärke 6/0 oder 7/0. Eine systemische Heparinisierung ist nicht notwendig. Nach distal erfolgt die Spülung mit Heparin-Kochsalz-Lösung.

Venöse Verletzungen werden wiederum nur mittels Ligatur versorgt. Interventionelle Maßnahmen sind nicht indiziert.

13.4 Bauch

13.4.1 Aorta

Epidemiologie

Die Verletzung der abdominellen Aorta ist ein seltenes Ereignis. Die Häufigkeit liegt auch in größeren Traumazentren bei unter 0,1% (Roth et al. 1997). In der gesamten Literatur wird über weniger als 100 Fälle berichtet. Dies hängt mit der relativ geschützten Lage im Retroperitoneum vor der Wirbelsäule zusammen.

Ätiologie

Die meisten Verletzungen treten im Rahmen von Autounfällen durch ein Anpresstrauma über den Sitzgurt oder das Lenkrad auf. Seltener sind Verletzungen nach Sturz oder Einklemmungen. In der Regel handelt es sich nicht um isolierte Verletzungen der Bauchschlagader, meist sind Intestinum, parenchymatöse Organe oder die Wirbelsäule mit betroffen. Als weitere Begleitverletzungen sind auch die Zerreißung der Bauchdecke sowie die Pankreaskontusion- oder -ruptur zu nennen (Roth et al. 1997). Andererseits muss beachtet werden, dass so gut wie immer die infrarenale Aorta beteiligt ist. Die häufigste Verletzung ist die Intimadissektion meist mit Thrombose, gefolgt von Aneurysmabildung und Wandhämatom.

Klinik

Durchblutungsstörungen auf dem Boden von Thrombosen oder Embolien sind wegweisend. Die Patienten klagen über Ischämiebeschwerden wie kühles Bein, Beinschmerz, Parästhesien, oder es besteht eine Functio laesa. Hier muss gegenüber einer neurologischen Symptomatik im Rahmen von möglicherweise auch gleichzeitig bestehenden Wirbelsäulenverletzungen abgegrenzt werden. Die Ischämie kann auch das Versorgungsgebiet der Viszeralarterien betreffen und äußert sich dann als Bauchschmerz, wobei dieser als akutes Abdomen imponieren oder auch nur gering ausgeprägt sein kann. Manche Patienten klagen über Rückenschmerzen. Da es sich meist nicht um isolierte Verletzungen der abdominellen Aorta handelt, werden diese Beschwerden oftmals auch nicht einer solchen Verletzung zugeordnet, sodass es zu nicht unerheblichen Diagnoseverzögerungen kommen kann. Dabei sollte auch beachtet werden, dass eine im Rahmen der Mobilisation nach einem Unfall geäußerte Claudicatio auf einer unerkannten Aortenverletzung mit konsekutiver Minderperfusion der Extremität beruhen kann. Als seltenes Spätsymptom ist die Impotenz zu nennen (Roth et al. 1997).

Diagnostik

Man achtet auf Gurtprellmarken oder ähnliche Zeichen äußerer Gewalteinwirkung. Das Abdomen wird auf Druckschmerzhaftigkeit untersucht. Ein abgeschwächter oder fehlender Puls kann einen ersten Hinweis geben, der mittels Doppler-Druckmessung objektiviert werden kann.

Bei einer orientierenden Sonografie des Abdomens ist neben freier Flüssigkeit ein retroperitoneales Hämatom auffällig. Die freie Flüssigkeit deutet jedoch eher auf die Verletzung eines parenchymatösen Organs, des Intestinums oder auch der V. cava inferior hin. Eine freie Ruptur der Aorta kann in aller Regel nicht überlebt werden.

Bei positiven Befunden in der Abdomensonografie ist eine weitergehende Untersuchung nur bei kreislauf- und Hb-stabilem Patienten indiziert.

Die sensitivste Untersuchung zum Nachweis einer Verletzung der abdominellen Aorta und insbesondere einer Intimaläsion ist die Angiografie, die nach wie vor als der Goldstandard der Diagnostik anzusehen ist.

In der CT des Abdomens kann eine Verletzung der abdominellen Aorta durch Wandunregelmäßigkeiten als Ausdruck einer Intimaläsion oder ein retroperitoneales Hämatom durch Kontrastmittelaustritt auffallen. Die Verletzung kann sich auch als Pseudoaneurysma darstellen.

Allgemeines zur Therapie

Bei Verletzungen der Aorta besteht eine Operationsindikation. Ist eine Thrombose oder Embolie aufgetreten, sollte unter Berücksichtigung der übrigen Verletzungen eine Antikoagulation mit Heparin erfolgen. Dies wäre allerdings bei einer intrakraniellen Blutung oder einer schweren Beckenverletzung kontraindiziert. Die Art der operativen Versorgung sowie der zeitliche Ablauf werden von der Art der Verletzung vorgegeben.

Operative Technik und Taktik

Besteht keine unmittelbare Rupturgefahr wie Intimaeinriss ohne Dissektion und keine Aneurysmabildung, kann zunächst die Versorgung schwerwiegenderer Verletzungen vorgenommen werden. Der Steuerung des Blutdrucks sollte jedoch besondere Beachtung geschenkt werden. Bei Rupturgefahr oder gedeckter oder gar freier Ruptur muss zunächst die Aortenverletzung versorgt werden.

Hinsichtlich der Operationstaktik ist zu bedenken, dass gleichzeitig Verletzungen des Intestinums oder parenchymatöser Organe vorliegen können. Um dies abzuklären bzw. eine Versorgung vorzunehmen, ist ein transperitonealer Zugang indiziert. Sind Hohlorgane eröffnet, bedeutet dies jedoch eine Kontamination von ggf. einzubringendem Prothesenmaterial.

Prinzipiell stehen 4 Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Die Rekonstruktion kann in situ unter Verwendung einer Kunststoffprothese erfolgen, die abschließend mit einer Omentumplastik geschützt wird.
2. Die Aortenverletzung kann über einen retroperitonealen Zugang versorgt werden, während die Darmverletzung anschließend transperitoneal operiert wird.
3. Die Rekonstruktion der Aorta kann unter Verwendung autologen Materials vorgenommen werden. Hierzu kann die distal der Verletzung gelegene Aorta mit der A. iliaca communis unter Anlage eines femorofemoralen Crossover-Bypasses oder die V. femoralis verwendet werden (zur Technik s. unten).
4. Die Aorta kann proximal und distal der Verletzung ligiert und ein extraanatomischer Bypass in der Regel in Form eines axillobifemoralen Bypasses angelegt werden; in einer zweiten Operation können dann später die Aorta rekonstruiert und der extraanatomische Bypass aufgehoben werden.

Der Intimaeinriss ohne Dissektion wird durch Refixation der Intima versorgt. Dazu wird das verletzte Areal über einen retroperitonealen oder transabdominellen Zugang freigelegt, die Aorta ausgeklemmt, längs eröffnet und die Intima mit Einzelknopfnähten refixiert, z.B. mit doppelt armiertem Nahtmaterial der Stärke 5/0 (Prolene). Die Stichrichtung sollte am distalen Schenkel wie immer von innen nach außen erfolgen, um ein Abheben der Intima zu vermeiden.

Bei der Intimadissektion, die gewöhnlich mit einer Thrombose verbunden ist, erfolgt eine Thromboendarteriektomie, die Intima wird refixiert oder ggf. abgetragen und die distale Intimastufe mit Einzelknopfnähten wie oben beschrieben angeheftet.

Bei Wandhämatom, Ruptur der Bauchaorta, Pseudoaneurysma oder echtem Aneurysma wird das verletzte Segment reseziert. Ohne perforierende Verletzung des Intestinums, d.h. ohne eine bakterielle Kontamination des Operationsfeldes, kann die Strombahn mittels **Interposition einer Rohrprothese oder ggf. Bifurkationsprothese** wiederhergestellt werden. Nach transabdomineller Freilegung der Aorta wird diese ausgeklemmt. Muss eine suprarenale Abklemmung erfolgen, werden zuvor 40 mg Furosemid und 100 ml Mannitol (20%) intravenös zur Ischämieprotektion der Nieren verabreicht.

Dann wird die Aorta längs eröffnet und die Prothese im Aortenlager eingebracht. Es erfolgt zunächst die Naht der proximalen Anastomose in fortlaufender Technik mit doppelt armiertem Faden der Stärke 4/0. Nach Fertigstellung der Naht wird der Blutstrom unter Abklemmen der Prothese distal der proximalen Naht freigegeben und so die Dichtigkeit der Naht überprüft. Leckagen werden mit Einzelknopfnaht der Stärke 5/0 abgedichtet. Nach Straffen und Längenanpassung der Prothese erfolgt dann die distale Naht ebenfalls in fortlaufender Technik mit doppelt armiertem Faden der Stärke 4/0. Wird eine Y-Prothese verwendet, nähen wir die distalen Anastomosen mit 5/0er Fäden. Vor Fertigstellung der Naht erfolgt ein Flush-Manöver, dann wird der Blutstrom freigegeben und die Leistenpulse werden kontrolliert. Abschließend wird das Retroperitoneum vor der Prothese mit fortlaufender Naht verschlossen.

Liegt gleichzeitig eine perforierende Verletzung des Intestinums vor, wird eine In-situ-Rekonstruktion mit Implantation einer

Kunststoffprothese (s. oben) und abschließender Omentumplastik vorgenommen, ein extraanatomischer, in der Regel axillobifemoraler Bypass angelegt oder eine In-situ-Rekonstruktion der Aorta mittels V. femoralis (so genannter Deep-vein-Bypass) oder der distal der Verletzung gelegenen Aorta und A. iliaca communis vorgenommen. Die Entnahme der V. femoralis erfolgt möglichst bei suprarenalem Abklemmen in jedem Fall vor dem Ausklemmen der Aorta.

Über einen Schnitt am medialen Oberschenkel wird direkt dorsal des M. vastus medialis bzw. des M. sartorius eingegangen und die lateral der A. femoralis gelegene Vene aufgesucht und unter Ligatur und Durchtrennung kleinerer Seitenäste auf benötigter Länge präpariert und entnommen. Die unbedingt zu respektierenden Grenzen sind dabei der Einstrom der V. profunda femoris sowie der Beginn der V. poplitea in Höhe des Adduktorenkanals, da sich zwischen diesen Gefäßen ein suffizienter Kollateralkreislauf ausbildet. Die Einnaht der Vene erfolgt wie oben beschrieben.

Die **zweite Möglichkeit des autologen Gefäßersatzes** besteht in der Entnahme der distalen (nicht verletzten) Aorta mit der A. iliaca interna. Dieser gesunde Gefäßabschnitt wird dann in der Längsachse um 180° gedreht. Dadurch kann z.B. die rechte A. iliaca communis an die linke A. iliaca communis angeschlossen werden. Durch die damit gewonnene Strecke wird der proximal der entnommenen Aorta gelegene verletzte und daher resezierte Anteil überbrückt. Die Nähte erfolgen wie oben beschrieben an der Aorta mit 4/0er an der A. iliaca communis mit 5/0er Fadenstärke.

Um die Perfusion des dann nicht angeschlossenen Beins wiederherzustellen, wird ein femorofemoraler Kunststoffbypass angelegt. Bei Anlage eines axillobifemoralen Bypasses wird nach Versorgung der abdominellen Begleitverletzungen die Aorta proximal und distal der Verletzung ligiert. Dabei muss die Ischämiedauer möglichst kurz gehalten werden. Anschließend wird die A. axillaris einer Seite über einen Schnitt im Bereich des Sulcus muscularis freigelegt und eine End-zu-Seit-Anastomose mit der Kunststoffprothese in fortlaufender Nahttechnik angelegt mit doppelt armiertem 5/0er Nahtmaterial. Nach subkutanem Durchzug der Prothese z.B. mit einer Kornzange, meist unter Anlegen von mindestens einem Hilfsschnitt an der lateralen Thoraxwand, erfolgt die Freilegung der A. femoralis beidseits und der Anschluss End-zu-Seit bei angeschrägter Prothese mittels fortlaufender Naht. Zu einem späteren Zeitpunkt, nach Abschluss der Rekonvaleszenz, wird dann die Aortenstrombahn mittels Einbringen einer Rohrprothese oder Y-Prothese wiederhergestellt und der extraanatomische Bypass entfernt.

Bei letzterem Verfahren, das auch bei Protheseninfekten angewendet wird, ist zu bedenken, dass es häufiger zu Verschlüssen des extraanatomischen Bypasses kommt. Auf jeden Fall bedarf es für die oben genannten Techniken eines sehr erfahrenen Operateurs.

Interventionelle Maßnahmen

Prinzipiell lassen sich Verletzungen der abdominellen Aorta auch über die Platzierung endoluminaler Stentprothesen behandeln. Die Indikationen entsprechen denen der konventionellen Operation. Allerdings ist ein ausreichender Abstand zu den Nierenarterienabgängen (mindestens 2 cm) Voraussetzung. Es gibt jedoch mittlerweile endovaskuläre Prothesen, die ein Überstenten der Nierenarterien erlauben. Die notwendige Vorhaltung dieser Prothesen für den Notfalleinsatz ist allerdings wohl nur in Zentren gegeben. Auch ein starkes Kinking der Zugangsgefäße (A. iliaca communis und externa) sowie der Aorta selbst können eine endovaskuläre Versorgung unmöglich machen. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass die Aortenverletzung auch bei Kontamination des Bauchraums ohne aufwändige extraanatomische Revaskularisation versorgt werden kann. Das operative Trauma ist eher gering. Eine Infektion der endovaskulären Prothese ist nicht zu befürchten (Krämer et al. 2001).

Da die Aortenverletzungen an sich relativ selten sind, bestehen nur sporadische Erfahrungen mit einem endovaskulären Vorgehen.

Bedacht werden sollte, dass bei primärem Einsatz dieses Verfahrens, welches entsprechende Ausrüstung und Erfahrung erfordert, eine intraabdominelle Begleitverletzung übersehen werden kann, da ja eine Laparotomie nicht notwendig ist. In jedem Fall muss es möglich sein, auf das konventionelle offene Verfahren umzuschwenken, für den Fall, dass es nicht gelingt, den Stent zu platzieren. Die Komplikationsmöglichkeiten sind:

- Fehlerhafte Entfaltung
- Inkorrekter Sitz
- Ruptur
- Unmöglichkeit der Konnektion bei Y-Prothese.

Bedacht werden muss, dass in Abweichung zur Versorgung des Aortenaneurysmas, bei der das Aneurysma in der Regel mittels endovaskulärer Y-Prothese ausgeschaltet wird, die Aortenverletzung auch durch – weniger zeitaufwändigen – Einsatz einer endovaskulären Rohrprothese beherrscht werden kann. Dabei können Prothesen verwendet werden, die nur in der Aorta platziert werden oder solche, die einerseits oberhalb der Verletzung in der Aorta und andererseits in einer Iliakalarterie verankert werden. Dann sind allerdings der endovaskuläre Verschluss der gegenseitigen Iliakalarterie und die Anlage eines femorofemoralen Crossover-Bypasses notwendig, was wiederum die Operationszeit verlängert.

Vorgehen

Nach Freilegung der A. femoralis communis, bei geplanter Rohrprothese ein-, bei Y-Prothese doppelseitig, über einen Schnitt unterhalb des Leistenbandes und querer Eröffnung des Gefäßes nach distaler Abklemmung, wird der Stent in seinem speziellen Applikationsset retrograd eingebracht. Dies geschieht unter Bildwandlerkontrolle. Die Höhe der Verletzung sowie die Abgänge der Aa. renales werden ebenfalls unter Durchleuchtung markiert und der Stent, der ebenfalls markiert ist, wird unter Durchleuchtung entfaltet. Da die Stents gecovert sind, ist auf eine korrekte Platzierung in Bezug auf die Nierenarterien zu achten, um deren Verschluss zu vermeiden.

Die Letalität liegt zwischen 15 und 25% (Roth et al. 1997).

Bei Einbringen eines aortomonoiliakalen Stent wird der endovaskuläre Verschluss der gegenseitigen A. iliaca communis über die freigelegte A. femoralis communis vorgenommen. Die Zugänge werden dann für die notwendige Anlage des femorofemoralen Crossover-Bypasses genutzt.

13.4.2 V. cava und Lebervenen

Verletzungen der großen Venen des Bauchraums fallen durch eine **ausgeprägte Schocksymptomatik** im Rahmen der Hypovolämie auf. Neben den klinischen, messtechnischen und laborchemischen Zeichen des Schocks ist die sonografische Untersuchung des Abdomens, bei der die freie Flüssigkeit sichtbar wird, wegweisend. Dann bleibt in der Regel keine Zeit, die Indikation zur notfallmäßigen Laparotomie ist gegeben.

Therapie

Über eine mediane Laparotomie wird der Bauchraum eröffnet. Die Freilegung der V. cava erfolgt über ein Kocher-Manöver (▶ Kap. 3, Abdomen), eine Mobilisation des rechten Leberlappens mittels Durchtrennung des Ligamentum triangulare dextrum und ggf. der Ablösung des Colon ascendens vor der Fascia Gerota.

Die Blutungskontrolle erfolgt durch digitale Kompression, durch kranial und kaudal der Verletzung platzierte Stieltupfer oder durch großkalibrige Ballonkatheter (Charr 8–24). Müssen Gefäßklemmen verwendet werden, sind diese äußerst vorsichtig zu platzieren, um zusätzliche Verletzungen zu vermeiden. Besteht Blutungskontrolle, sollte eine PEEP-Beatmung mit 10 mmHg einsetzen, damit während der Eröffnung des Bauchraums keine Luftembolien auftreten können. Die Blutungskontrolle kann auch durch transfemoral oder über die Verletzung selbst eingebrachte Okklusionskatheter erreicht werden (Feliciano 1988).

Fällt im Rahmen der Versorgung wegen des fehlenden oder stark eingeschränkten Blutrückflusses der Blutdruck ab, kann dies durch Abklemmen der infrarenalen Aorta und der daraus resultierenden Einschränkung der Ausstrombahn kompensiert werden. Je nach Ausmaß der Verletzung erfolgen nach Débridement eine direkte Gefäßnaht, eine Patchplastik oder es wird ein Gefäßinterponat eingesetzt. Dazu wird eine ringverstärkte Prothese (z. B. PTFE) entsprechenden Kalibers verwendet. Die Naht erfolgt mit monofilem, nichtresorbierbarem Faden der Stärke 5/0 (z.B. Prolene), bei direktem Gefäßverschluss wird monofiler, resorbierbarer Faden verwendet (z.B. PDS). Vor Fertigstellung der Naht wird das Gefäß geflusht, wodurch Luft und Thromben entfernt werden. Bei kreislaufinstabilen Patienten mit ausgedehnter Verletzung der infrarenalen V. cava kann alternativ als schnelle Versorgung auch die Umstechungsligatur erfolgen (Feliciano et al. 1985).

Bei Verletzung der Lebervenen wird die Leber über eine Durchtrennung der Ligamentae falciforme et teres hepatis sowie Dissektion des rechten und linken Ligamentum triangulare vollständig mobilisiert. Hierzu ist auch die Ablösung der Leberkuppel vom Zwerchfell notwendig. Die verletzte Lebervene kann dann umstochen werden. Ein suffizienter Abfluss ist über die intrahepatische Kollateralisation gewährleistet. Bei komplexeren Verletzungen kann die Verwendung eines atriokavalen Shunts oder einer Herz-Lungen-Maschine mit oder ohne Hypothermie sinnvoll sein, da hierdurch die Blutung im Operationsfeld vermindert bzw. ganz beseitigt wird (Marelli et al. 1995). Dies ist nur in einem entsprechend ausgerüsteten Zentrum möglich. Wird das Ausmaß der Verletzung erst intraoperativ erkannt, wird der Situs mit Bauchtüchern tamponiert und der Patient verlegt.

Prognose

Die Prognose von Patienten mit komplexen Lebervenenverletzungen mit extensivem Blutverlust ist schlecht. Dies gilt auch bei Verwendung eines atriokavalen Shunts (Marelli et al. 1995), wobei es sich bei diesem Patientenkollektiv sicher um eine negative Auswahl handelt.

Bei Einsatz eines Kunststoffinterponats muss postoperativ eine Antikoagulation zunächst mit Heparin erfolgen. Hierbei müssen etwaige Gerinnungsstörungen und Begleitverletzungen (insbesondere intrazerebrale Verletzungen) berücksichtigt werden. Langfristig ist eine Marcumarisierung vorzunehmen.

Nach Ligatur der V. cava erfolgt eine Wickelung beider Beine, die zumindest in den ersten postoperativen Tagen auch hoch gelagert werden. Bis zur Ausbildung suffizienter Kollateralen wird eine Heparinisierung (PTT 2- bis 3-fach erhöht) durchgeführt, solange keine Kontraindikationen bestehen. In diesen Fällen kann alternativ auch eine Antikoagulation mit einem für die Therapie der tiefen Beinvenenthrombose zugelassenen niedermolekularen Heparin in entsprechender Dosierung erfolgen.

13.4.3 A. renalis

Die Inzidenz der Verletzung der A. renalis im Rahmen von stumpfen Bauchtraumata liegt bei 1–4% (Dinchman u. Spirnak 1995). Etwa 70% dieser Patienten haben zusätzlich andere intraabdominelle Traumata, die übrigen Verletzungen der Wirbelsäule, des Beckens oder der Extremitäten. Die isolierte Verletzung der Nierengefäße ist eine Seltenheit (Haas u. Spirnak 1998).

Klinik

Ganz im Vordergrund steht die Hämaturie. Allerdings tritt diese nur bei 70–80% der Patienten direkt nach dem Trauma auf, ansonsten erst verzögert. Bei über der Hälfte der Fälle handelt es sich um eine Mikrohämaturie. 5–35% der Patienten weisen keine Hämaturie auf (Haas u. Spirnak 1998).

Diagnostik

Bei der Inspektion sollte auf Prellmarken geachtet werden. Nach Legen eines transurethralen Blasenkatheters wird der Urin auf Makro- und Mikrohämaturie untersucht. Schon in der Notaufnahme kann eine Ultraschalluntersuchung Hinweise auf eine Nierenparenchymverletzung oder ein retroperitoneales Hämatom geben. Mit der Duplexsonografie kann der Fluss in der A. renalis beurteilt werden. Einschränkend können jedoch Darmgasüberlagerungen wirken. Die CT kann das retroperitoneale Hämatom zeigen und auch die Devaskularisation aufdecken. Allerdings wird auch über falsch-negative Ergebnisse berichtet (Haas u. Spirnak 1998). Die Angiografie deckt Art und Ausmaß der Nierenarterienverletzung selektiv auf.

Therapie

Bei der Therapie müssen folgende Fragen berücksichtigt werden:

- Liegt eine Blutung oder Devaskularisation vor?
- Handelt es sich um eine einseitige Devaskularisation oder um eine doppelseitige bzw. einseitige bei Einzelniere?
- Handelt es sich um eine komplette oder partielle Devaskularisation?
- Welche Begleitverletzungen liegen vor?
- Wie ist der Allgemeinzustand des Verletzten?

Bei allen lebensbedrohlichen Blutungen ist, wenn diese nicht beherrscht werden, eine Nephrektomie indiziert.

Bei einseitiger Verletzung ist die Organerhaltung weniger dringlich als bei doppelseitigen, und auch die Begleitverletzungen und der Allgemeinzustand des Patienten müssen in die taktischen Überlegungen einbezogen werden.

Operative Technik und Taktik

Bei einer Blutung aus der A. renalis kann im Rahmen der angiografischen Diagnostik die notfallmäßige Blutungskontrolle über eine Ballonblockade der Arterie erfolgen. Danach sollte zunächst eine interventionelle Versorgung versucht werden. Dazu ist die Überbrückung der Verletzung mit einem Katheter erforderlich. Dies kann bei totalem oder subtotalem Abriss sowie bei Vorliegen einer größeren Dissektion unmöglich sein. Außerdem müssen die Voraussetzungen zur Verankerung eines gecoverten Stents gegeben sein, d. h. die Verletzung darf nicht abgangsnah oder weit peripher gelegen sein.

Nur wenn keine Stentversorgung möglich ist, wird der Patient mit geblocktem Katheter in den Operationssaal verbracht. Der Zugang zur Blutung aus der A. renalis erfolgt über eine Längslaparotomie. Dies erlaubt neben der Versorgung der arteriellen Verletzung die gründliche Inspektion des Abdomens und ggf. die Versorgung anderer Verletzungen. Je nachdem, ob die Verletzung zentral oder peripher liegt, erfolgt die Freilegung über eine mediane, paraaortale Präparation oder über die retroperitoneale Freilegung unter Mobilisation des rechten oder linken Hemikolons. Kann keine Blutungskontrolle erreicht werden, erfolgt die Nephrektomie. Anderenfalls können kurzstreckige Verletzungen mittels Resektion des verletzten Areals und End-zu-End-Anastomosierung nach Mobilisation der Gefäßstümpfe erfolgen. Ist dies nicht möglich, wird die Revaskularisation über ein Interponat wiederhergestellt (z.B. PTFE 6 mm).

Die Anastomosen erfolgen End-zu-End in fortlaufender Nahttechnik, bei Veneninterponat mit monofilem resorbierbarem (z.B. PDS) oder bei Kunststoffinterponat mit nichtresorbierbarem (z.B. Prolene) Faden der Stärke 6/0. Intimalefzen müssen sorgfältig entfernt oder sicher mitgefasst werden. Vor Anlage des Interponats ist das Gefäß sorgfältig nach distal zu spülen, um Thromben zu entfernen. Der zentrale Gefäßanteil wird durch Flush-Manöver aus der Aorta frei gemacht. Bezüglich der Auswahl des Interponats gilt wiederum, dass ein Veneninterponat immer dann zum Einsatz kommen muss, wenn eine Kontamination des Operationsgebiets vorliegt.

Ursache einer partiellen oder totalen Devaskularisation kann eine Intimadissektion oder ein thrombotischer Verschluss sein. Die Intimadissektion kann interventionell, durch Implantation eines Stents, beseitigt werden. Dieses Verfahren ist wenig belastend und im Rahmen der diagnostischen Angiografie durchführbar. Ist dies nicht möglich, kann konservativ mittels Antikoagulation behandelt werden, da Erfahrungen mit Intimadissektionen nach Ballonangioplastien zeigen, dass es auch langfristig nicht zu einem Gefäßverschluss kommen muss und auch spontane Anlagerungen des Dissekats beobachtet werden. Zeigt der weitere Verlauf jedoch, dass es zur embolischen Infarzierung von Nierenanteilen kommt oder ein thrombotischer Gefäßverschluss auftritt, kann in Abhängigkeit vom Zustand des Verletzten und unter Berücksichtigung der allgemeinen Indikationsüberlegungen (s. unten im Abschnitt Prognose) die Operationsindikation gegeben sein.

Nach Ausklemmen der Arterie wird diese längs inzidiert und die Dissektionsmembran entfernt. Der Gefäßverschluss erfolgt mittels Venenpatchplastik z.B. aus der V. mesenterica inferior. Ist die Gefäßwand stärker verletzt und nicht tragfähig, erfolgt die Resektion und Implantation eines Kunststoff- oder Veneninterponats (s. oben).

Ist bei gesunder Gegenseite nur eine Niere von einer thrombotischen Devaskularisation betroffen, muss bei der Indikationsstellung bedacht werden, dass selbst initial erfolgreiche Revaskularisationen hinsichtlich der längerfristigen Ergebnisse eingeschränkt sind. Dies gilt insbesondere bei längerer warmer Ischämie über 5 h, gleichzeitig vorliegenden anderen intraabdominellen Verletzungen und kompletter Devaskularisation. Insbesondere bei längerer Ischämiezeit kann daher auf eine Revaskularisation verzichtet werden, solange nur eine Niere betroffen ist (Haas u. Spirnak 1998). Wird die Indikation gestellt, entspricht der Zugang dem oben genannten. Bei Zerreißung und Thrombosierung wird ein Kunststoff- oder Veneninterponat eingebracht (s. oben).

Zeigt sich intraoperativ, dass eine Revaskularisation nicht möglich ist, sollte – soweit keine Gefährdung durch die Ausweitung des Eingriffs gegeben ist – eine Nephrektomie vorgenommen werden, da bis zu 60% dieser Patienten im weiteren Verlauf eine Hypertonie entwickeln (Haas u. Spirnak 1998).

Die V. renalis der linken Seite kann, wenn eine Gefäßrekonstruktion nicht möglich ist, oft ohne Funktionsverlust der Niere ligiert werden, wenn der Abfluss über die Vv. suprarenales et spermatica bzw. ovarica gewährleistet ist. Dies ist auf der rechten Seite in der Regel nicht möglich, da hier die Vene wesentlich kürzer ist und daher die Kollateralgefäße nicht geschont werden können. Hier ist eine gleichzeitige Nephrektomie indiziert (Feliciano et al. 1985).

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen sind insbesondere zur unmittelbaren Blutungskontrolle im Rahmen der Angiografie indiziert. Hier stellt die Ballonblockade eine schnelle, schonende und effektive Maßnahme dar. Ist die Versorgung mit einem gecoverten Stent möglich, sollte diese insbesondere beim Polytraumatisierten vorgenommen werden, da damit die Blutung schnell, sicher und ohne größere zusätzliche Belastung für den Patienten gestillt werden kann. Außer der Blutung sind interventionelle Stenteinlagen auch bei Intimadissektionen indiziert (Goodman et al. 1998).

Blutungen aus Ästen der A. renalis oder Parenchymblutungen werden durch superselektives Coiling beseitigt.

Prognose

Die Prognose der Verletzung der A. renalis ist in besonderem Maße für die Indikationsstellung zur Revaskularisation von Bedeutung, da diese Verletzung nicht selten erst verzögert festgestellt wird, d.h. das Organ schon mehr oder weniger lange einer warmen Ischämie ausgesetzt war und sich die Frage nach dem grundsätzlichen Wert einer Revaskularisation unter diesen Umständen stellt.

Etwa 30% der Revaskularisationen bei Verletzungen mit einseitigem Verschluss des Gefäßes sind nach funktionellen Gesichtspunkten erfolgreich. Diese Rate liegt für komplette Verschlüsse bei 20%, für inkomplette bei 50%. Die Rate der erfolgreichen Revaskularisationen sinkt von 40–80% bei einer warmen Ischämiezeit von <5 h, über 30–50% bei einer warmen Ischämiezeit von 10–20 h auf 10–20% bei Ischämiezeiten >20 h (Haas u. Spirnak 1998). Auch unter Berücksichtigung der Ischämiezeit ist die funktionelle Langzeitprognose, die anhand der radiologisch nachgewiesenen Funktion und der Entwicklung eines Bluthochdrucks erfasst wurde, eher schlecht. Nur ca. 25% der Patienten haben eine nur teilweise eingeschränkte Funktion und entwickeln keinen Hochdruck (Haas u. Spirnak 1998).

Die Prognose nach interventionellem Vorgehen ist gut. Auch nach Embolisation von Ästen der A. renalis erreicht die Nierenfunktion in der Regel Werte wie vor dem Trauma (Poulakis et al. 2006).

Bei doppelseitigem Verschluss ist in jedem Fall eine Revaskularisation vorzunehmen, denn damit kann in über 50% der Fälle eine Dialysepflichtigkeit abgewendet werden. Auch hier sollte die warme Ischämiezeit nicht über 20 h liegen.

Eine seltene Spätfolge einer Nierenarterienverletzung ist das **Pseudoaneurysma**. Es tritt häufiger nach spitzen als nach stumpfen Verletzungen auf. Meist ist es asymptomatisch und wird zufällig diagnostiziert, es kann aber aufgrund von Harnstau auch zu Urogenitalinfekten führen oder einen Bluthochdruck provozieren (Jebara et al. 1998). Die Pseudoaneurysmen können verdrängend wachsen, es können sich arteriovenöse Fisteln ausbilden und nicht zuletzt besteht Rupturgefahr. Daher sollten diese Aneurysmen ausgeschaltet werden, und zwar durch interventionelle Embolisation

oder Stentimplantation – ist dies nicht möglich, durch Resektion und End-zu-End-Naht der Arterie.

Die Inzidenz der posttraumatischen arteriellen Hypertonie wird mit 1–40% angegeben (Montgomery et al. 1998). Diese ist in einem hohen Prozentsatz medikamentenrefraktär, sodass ca. 50% dieser Patienten nephrektomiert werden müssen (Haas u. Spirnak 1998, Montgomery et al. 1998).

13.4.4 Viszeralarterien

Bei stumpfen Verletzungen des Abdomens sind Gefäßtraumata selten. Bei scharfen Verletzungen kann die Inzidenz jedoch bis 80% betragen, allerdings sind hierbei auch die A. renalis, die Aorta und die Iliakalgefäße einbezogen (Feliciano 1988). Truncus coeliacus und A. mesenterica superior oder inferior sind äußerst selten von Verletzungen betroffen. Dabei handelt es sich meist um spitze Verletzungen. Einrisse von Ästen der A. mesenterica superior imponieren als Hämatom im Dünndarmmesenterium.

Klinik

Hinweisend ist die hämodynamische Instabilität, insbesondere dann, wenn sonstige Verletzungen fehlen, die diese erklären würden. Bei Darmischämie können Zeichen des Peritonismus vorliegen, die jedoch auch durch begleitende Darmverletzungen selbst hervorgerufen werden können. Liegt z.B. nur eine Intimaläsion vor mit erhaltener Perfusion über Kollateralen, wird die Diagnose nur über eine Arteriografie möglich sein, für die bei Beschwerde- und Symptomfreiheit des Patienten keine Indikation besteht.

Diagnostik

Neben der Anamnese oder ggf. Fremdanamnese und der körperlichen Untersuchung kann die Laborchemie Hinweise geben (Hb, Laktat, Transaminasen).

Bei Schussverletzungen sollte bei kreislaufstabilem Patienten eine Abdomenübersichtsaufnahme angefertigt werden, um Aufschluss über die Lokalisation des Geschosses zu geben. Bei Schussverletzungen des Abdomens wird bei kreislaufstabilen Patienten von manchen Autoren zu einer routinemäßigen i.v.-Urografie geraten (Feliciano 1988), um präoperativ auch kleinere Läsionen des Ureters oder der Harnblase zu diagnostizieren, was dann bei der operativen Taktik berücksichtigt werden muss.

Im Ultraschall des Abdomens werden freie Flüssigkeit oder ein retroperitoneales Hämatom diagnostiziert. Mit der Duplexsonografie kann der Fluss über dem Hauptstamm des Truncus coeliacus und der A. mesenterica superior gemessen werden, solange keine Darmgasüberlagerungen vorliegen.

Mit der CT des Abdomens können indirekt Hinweise auf eine Minderperfusion des Darms gesehen werden, z.B. ein Wandödem. Außerdem können Parenchymläsionen und kleinere Mengen freier Flüssigkeit verifiziert werden.

Die Gefäßläsion selbst wird mit der Angiografie diagnostiziert.

Therapie

Die Therapie besteht in der operativen Freilegung und Rekonstruktion des verletzten Gefäßareals. Interventionelle Maßnahmen sind nicht oder allenfalls bei angiografischer Zufallsdiagnose von Intimaläsionen indiziert.

Operative Technik und Taktik

Der Zugang erfolgt über eine mediane Laparotomie. Freies Blut in der Bauchhöhle wird mit dem Cellsaver gesammelt, soweit keine Kontamination z.B. durch Darminhalt bei gleichzeitiger Verletzung des Intestinums vorliegt. Ist die Blutungsquelle danach auszumachen, erfolgt die digitale Kontrolle. Besteht der Verdacht auf eine Mitverletzung der Aorta, wird diese nach Durchtrennung des kleinen Netzes im Hiatus abgeklemmt. Hierbei ist auf die Schonung des Ösophagus zu achten. Anderenfalls wird nach Tamponade eine systematische Exploration aller 4 Quadranten des Abdomens vorgenommen. Ist die Blutungsquelle durch die präoperative Diagnostik bekannt, kann diese gezielt angegangen werden.

Der Zugang zum Truncus coeliacus erfolgt über eine Inzision des Omentum minus oder über eine Mobilisation der linken Niere, des Pankreasschwanzes und der Milz von retroperitoneal. Der Vorteil liegt darin, dass dann die gesamte abdominelle Aorta mit dem Abgang des Truncus coeliacus, der A. mesenterica superior und der linken Nierenarterie eingesehen werden kann. Bei isolierten Verletzungen des Truncus coeliacus kann dieser ligiert werden, da meist eine ausreichende Kollateralisierung über die Drummond-Arkade vorliegt. Gleiches gilt für dessen Hauptäste. Bei Ligatur der A. lienalis erfolgt zusätzlich die Splenektomie. Die verletzte A. hepatica communis kann bei Zeichen der Leberischämie mit End-zu-End-Naht versorgt, ggf. ein Veneninterponat angelegt werden (V. mesenterica inferior).

Bei Verletzungen der A. mesenterica superior am Abgang wird diese ligiert und die Perfusion mit einem Venenbypass (V. mesenterica inferior oder V. saphena magna) zwischen A. mesenterica superior und Aorta oder Truncus coeliacus oder A. iliaca communis wiederhergestellt. Als Bypass kann bei Überbrückung kurzstreckiger Verletzungen alternativ die A. iliaca interna dienen. Zu bedenken ist, dass bei abgangsnahen Verletzungen das Pankreas mitbetroffen sein kann, mit konsekutiven Pankreasfisteln, die eine Gefäßanastomose in diesem Bereich verursachen können. Daher ist in diesen Fällen die proximale Anastomose eher pankreasfern anzulegen, z.B. an der infrarenalen Aorta oder der A. iliaca communis. Blutungen aus einzelnen Ästen der A. mesenterica superior können ligiert werden. Liegt zusätzlich eine Darmischämie vor, werden diese Anteile reseziert. In diesen Fällen muss abgewogen werden, ob eine primäre Anastomosierung des Darms erfolgt oder, zumindest wenn Kolonanteile betroffen sind, die passagere Ausleitung über einen Anus praeter.

Bei Verletzungen der V. mesenterica superior ist zwischen retro- und infrapankreatischer Lage zu unterscheiden. Bei Verletzung des retropankreatischen Anteils muss, soweit es nicht zum spontanen Sistieren der Blutung kommt, ggf. das Pankreas durchtrennt werden mit folgendem Anschluss des Pankreasschwanzes an eine Roux-Y-Schlinge oder Pankreaslinksresektion. In Abhängigkeit vom Ausmaß der Verletzung und vom Zustand des Patienten erfolgt die Ligatur der Vene mit End-zu-End-Naht, oder es wird ein Veneninterponat angelegt aus der V. mesenterica inferior oder V. saphena magna.

Die V. portae wird in Abhängigkeit von der Lokalisation der Verletzung über eine Durchtrennung des Omentum minus, ein Kocher-Manöver oder Mobilisation des Ductus hepatocholedochus im Ligamentum hepatoduodenale freigelegt. Bei retropankreatischer Verletzung kann eine Durchtrennung des Organs notwendig sein (s. oben). Die Blutungskontrolle erfolgt durch digitale Kompression. Ist nur die ventrale Wand des Gefäßes verletzt, kann die Blutung durch Kompression mit Stiltupfern kontrolliert werden. Dadurch entsteht genügend Raum für die Gefäßnaht, und eine notwendige weitere Präparation zum Setzen von Gefäßklemmen, die überdies das Gewebe zusätzlich traumatisieren, wird vermieden.

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen sind in der Regel nicht indiziert. Im Einzelfall kann bei angiografischer Zufallsdiagnose einer Intimadissektion die Implantation einer Stentprothese erwogen werden, z.B. beim älteren Patienten mit gleichzeitiger arteriosklerotischer Einengung des Abgangs der Viszeralarterien. Alternativ ist die Antikoagulation zur Prävention des Gefäßverschlusses bzw. der Embolisation zu diskutieren.

Prognose

Die Letalität wird bestimmt vom Ausmaß der Hämorrhagie und der Begleitverletzungen. Selten entwickelt sich zu einem späteren Zeitpunkt (im Mittel 12 Wochen nach Trauma) eine gastrointestinale Blutung ausgehend von einem durch das Trauma bedingten Aneurysma (Hassantash et al. 1995). Die Therapie besteht in diesen Fällen in der Ligatur des betroffenen Gefäßes und ggf. der Resektion der abhängigen Organe.

13.5 Becken

13.5.1 Iliakalgefäße

Bei komplexen Beckenverletzungen wird die Inzidenz begleitender arterieller Verletzungen mit 5–25% angegeben (Mucha u. Welch 1988). Wegen der anatomischen Nähe sind Beckenfrakturen mit stumpfen Verletzungen der A. iliaca interna, aber auch externa vergesellschaftet. Dabei führen Open-book-Frakturen insbesondere zu Verletzungen der A. iliaca interna (◘ Abb. 13.11), Butterfly-Frakturen zu Verletzungen der A. pudenda und Frakturen des Os sacrum zu Blutungen aus dem Sakralplexus, während die A. iliaca externa insbesondere bei anterolateraler Krafteinwirkung betroffen ist (Mucha u. Welch 1988). Bei spitzen Traumata handelt es sich um Schuss-, Stich- oder Pfählungsverletzungen. Hierbei können zusätzlich Intestinum oder Blase betroffen sein.

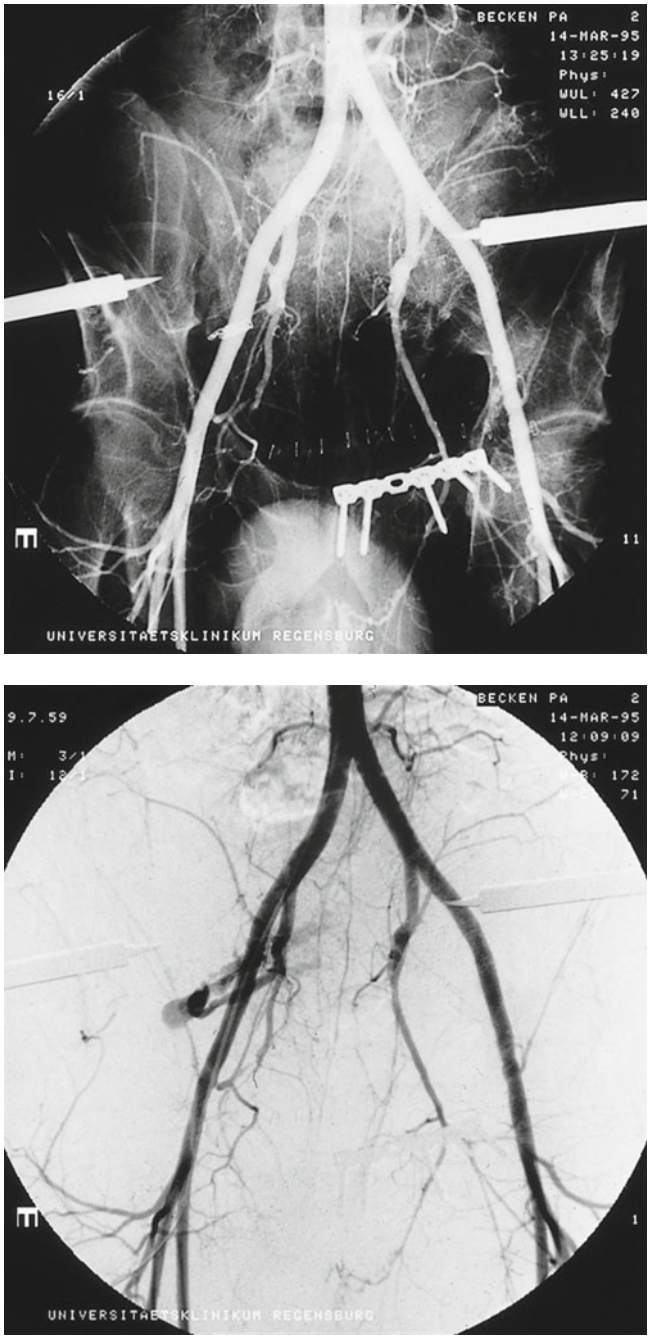
Klinik

Im Vordergrund der Symptomatik steht die hämodynamische Instabilität. Diese erschwert auch die Erhebung des Pulsstatus (A. femoralis) und die morphologische Beurteilung der Durchblutungsverhältnisse an den unteren Extremitäten. Hier ist besonders auf Seitendifferenzen zu achten. Bei spitzen Verletzungen mit Blasenbeteiligung kann eine Hämaturie hinweisend sein, bei gleichzeitigen Verletzungen des Darms kann ein Peritonismus vorliegen.

Diagnostik

Insbesondere beim stumpfen Trauma ist die Diagnostik von der Komplexität der Verletzung geprägt. Ein mögliches Gefäßtrauma darf nicht isoliert betrachtet werden. Multislice-CT sind in der Lage, sowohl Verletzungen des Bewegungsapparats als auch des Gefäßsystems und – indirekt – der viszeralen Organe aufzudecken. Sie stellen daher heute das Diagnostikum der ersten Wahl dar. Während der Diagnostik müssen gleichzeitig erste allgemein-therapeutische Maßnahmen vorgenommen werden. Bei hämodynamischer Instabilität muss eine »aggressive« Flüssigkeitssubstitution mit Gabe von Erythrozytenkonzentraten erfolgen. Bei komplexen Beckenverletzungen erfolgt die Anlage einer Beckenzwinge (▶ Kap. 8, Becken).

Gleichzeitig kann eine sonografische Untersuchung des Abdomens zum Ausschluss von freier Flüssigkeit erfolgen. Bestehen trotz dieser Maßnahmen die Zeichen der Verblutung weiter, d.h. Hb-Wert und Blutdruck können trotz laufender Flüssigkeitssubstitution mit Gabe von Erythrozytenkonzentraten nicht stabilisiert werden, ist eine notfallmäßige Exploration indiziert (Mucha u. Welch 1988). Gleiches gilt für den Nachweis einer intra-abdominellen Blutung. Anderenfalls kann jetzt die Angiografie erfolgen, die insbesondere im Fall der Verletzung der A. iliaca interna oder ihrer Äste auch therapeutisch interventionelle Maßnahmen erlaubt.



◘ **Abb. 13.11** Blutung ausgehend von einem Ast der A. iliaca interna rechts nach Beckenfraktur; in der Angiografie mit Austritt von Kontrastmittel in das Retroperitoneum. Dies ist nach Embolisation nicht mehr nachweisbar

Therapie

Die Art der Therapie hängt ab von Art und Ort der Verletzung sowie vom Zustand des Patienten. Bei stumpfen Traumen eignet

sich die interventionelle Therapie hervorragend. Die Indikation zur operativen Behandlung ist bei Nachweis von freier Flüssigkeit im Abdomen oder offenen Bauchwunden gegeben. Ein retroperitoneales Hämatom ist per se keine Operationsindikation, da diese Blutungen in aller Regel durch Selbsttamponade und nicht durch eine gezielte Blutstillung beherrschbar sind, und gerade die Selbsttamponade würde man durch ein offenes Vorgehen aufheben.

Bleibt der Patient Hb-instabil, ist die frühzeitige Angiografie indiziert. In diesem Rahmen wird nicht nur die Blutungsquelle ausgemacht, sondern es erfolgt die gleichzeitige Blutungskontrolle, meist durch Embolisation.

Auf die frühzeitige Angiografie muss ausdrücklich verwiesen werden, da bei prolongiertem Vorgehen trotz erfolgreicher Blutungskontrolle das Schicksal des Patienten durch das eintretende Multiorganversagen bestimmt sein kann.

Bei spitzen Traumen ist dagegen die operative Freilegung indiziert, da in diesen Fällen das Retroperitoneum eröffnet ist und oft versorgungsbedürftige begleitende Verletzungen des Intestinums vorliegen (Carillo et al. 1998).

Operative Technik und Taktik

Der Zugang erfolgt über eine mediane Laparotomie. Die Blutungskontrolle wird zunächst durch manuelle Kompression vorgenommen. Nach Ausklemmen des verletzten Gefäßabschnitts wird das gesamte Abdomen exploriert. Liegt eine begleitende Verletzung des Intestinums vor, wird diese zuerst versorgt. Bei Dünndarmverletzungen oder Blasenverletzungen reicht in der Regel eine Übernähung. Bei Verletzungen des Dickdarms muss die postoperative Durchblutung des verletzten Areals unter Berücksichtigung der geplanten Versorgung der Gefäßverletzung und der Kreislaufsituation des Patienten in die Taktik einbezogen werden. Ist die Anastomosenheilung mutmaßlich kompromittiert oder liegt eine starke abdominelle Verschmutzung vor, so ist eine Diskonnektion mit Anlage eines Anus praeter der direkten Passagewiederherstellung vorzuziehen. Die Gefäßrekonstruktion erfolgt in Abhängigkeit von der Länge der Verletzung als Direktnaht unter Verwendung monofilen resorbierbaren Nahtmaterials (z.B. PDS) der Stärke 5/0, als Patchplastik mit fortlaufender Naht gleichen Materials und gleicher Stärke, wenn ein Venenpatch verwendet wird, oder mit nichtresorbierbarem Faden (z.B. Prolene der Stärke 5/0) bei Kunststoffpatch. Ist ein größeres Gefäßareal verletzt, wird ein Interponat angelegt. Dabei scheinen auch bei Verletzungen des Intestinums Kunststoffprothesen verwendbar zu sein, erhöhte Infektraten werden nicht berichtet (Carillo et al. 1998). Allerdings muss eine extensive intraoperative Spülung des Abdomens erfolgen und die Antibiose je nach Ausmaß der Verschmutzung 5 Tage oder länger fortgeführt werden. Zusätzlich kann eine lokale Antibiose vorgenommen, und es sollte eine Omentumplastik angelegt werden.

Wird zusätzlich zur Arterienverletzung eine Venenverletzung diagnostiziert, was mit einer Letalität von 30–60% verbunden ist (Posner et al. 1991), kann eine Umstechungsligatur erfolgen. Dies ist insbesondere als akut lebensrettende Maßnahme sinnvoll. Venöse Rekonstruktionen sind außerdem durch eine hohe Verschlussrate gekennzeichnet (Carillo et al. 1998). Kommt es postoperativ zu einer deutlichen Anschwellung der Extremität mit der Gefahr der Phlegmasie, ist eine **Palma-Operation** in Form eines femorofemoralen oder femoro-iliakalen venösen Crossover-Bypass indiziert. Hierzu wird ein ringverstärkter 8 mm PTFE-Bypass verwendet. Die Anastomosen werden in fortlaufender Nahttechnik mit nichtresorbierbarem monofilem Faden der Stärke 5/0 oder 6/0 angelegt. Distal der Anastomose auf der betroffenen Seite sollte zur Erhöhung des Flusses und damit der Offenheitsrate eine arteriovenöse Fistel angelegt werden. Dazu wird entweder ein Seitenast der V. saphena magna, bei schwachem Kaliber die V. saphena magna selbst oder ein Kunststoffinterponat (PTFE 4 mm) verwendet. Die Anastomosen werden wiederum in fortlaufender Nahttechnik mit nichtresorbierbarem monofilem Faden der Stärke 6/0 angelegt.

Während der venösen Rekonstruktion sollte PEEP-Beatmung erfolgen, um eine Luftembolie zu vermeiden (PEEP 10 mmHg). Der Oberkörper sollte leicht erhöht gelagert werden (Trendelenburg-Lagerung). Postoperativ wird die Heparinisierung fortgesetzt (PTT 2- bis 3-fach erhöht) und längerfristig eine »Low-dose-Marcumarisierung« vorgenommen. Der Verschluss der arteriovenösen Fistel erfolgt nach ca. 6 Monaten.

Immer muss an die Notwendigkeit einer Fasziotomie gedacht werden. Dies gilt insbesondere bei kombinierten arteriovenösen Verletzungen.

Interventionelle Maßnahmen

Bei stumpfen Verletzungen, in der Regel mit gleichzeitig vorliegender Beckenfraktur, wird die Blutung im Retroperitonealraum tamponiert. Nach angiografischer Lokalisation erfolgt bei Verletzungen der A. iliaca interna oder ihrer Äste die Embolisation. Ist die A. iliaca communis oder externa betroffen, wird ein gecoverter Stent platziert. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass – wie bereits erwähnt – die Tamponade durch das geschlossene Peritoneum erhalten bleibt und die Verletzung unter angiografischer Kontrolle gezielt angegangen werden kann, was beim operativen Vorgehen insbesondere bei Verletzungen von Ästen der A. iliaca interna nicht möglich ist.

Bei der Angiografie und interventionellen Maßnahmen muss beachtet werden, dass die Nierenfunktion im Rahmen eines Polytraumas eingeschränkt sein und sich auch verzögert ein traumabedingtes akutes Nierenversagen entwickeln kann.

Daher sollte die Kontrastmittelbelastung so gering wie möglich gehalten werden. Dies tritt bei akut lebensrettenden Maßnahmen natürlich in den Hintergrund.

Prognose

Die Letalität von Verletzungen der A. iliaca liegt zwischen 25 und 50% (Carillo et al. 1998). Die Morbidität ist auch von den Begleitverletzungen mit bestimmt. Im Vordergrund stehen Lungenversagen, Nierenversagen und Sepsis. In ca. 10% kann eine Lungenembolie entstehen. Ob bei Venenverletzung eine Ligatur der Vene seltener eine Lungenembolie zur Folge hat als eine venöse Rekonstruktion ist nicht geklärt (Carillo et al. 1998).

13.6 Untere Extremität

13.6.1 A. femoralis communis und A. femoralis

Gut 65% der Gefäßverletzungen der unteren Extremität betreffen die A. femoralis (Martin et al. 1994). Dabei ist die A. femoralis deutlich häufiger verletzt als die A. femoralis communis (Cargile et al. 1992). Perforierende Verletzungen stehen im Vordergrund. Bei stumpfen Verletzungen handelt es sich um Quetschtraumata. Begleitverletzungen bestehen häufig bei stumpfen Traumata, spitze

Verletzungen des Gefäßes treten meist isoliert auf. Nur ca. 1,5% der Femoralisverletzungen sind mit Femurfrakturen vergesellschaftet (Cargile et al. 1992).

Klinik

Neben lokalen Zeichen der Blutung und zunehmender Schwellung können auch Ischämiezeichen diagnostiziert werden, wie Pulslosigkeit oder Seitendifferenz des Pulsstatus, Kälte, Hautverfärbung, veränderter Kapillarpuls. In manchen Fällen sind bei der klinischen Untersuchung nur die Zeichen einer Nervenschädigung in Form einer Parästhesie auffällig (Cargile et al. 1992). Als systemisches Zeichen steht die Hypotension im Vordergrund.

Diagnostik

Besteht eine nicht kontrollierbare Blutung oder ein trotz Kompression zunehmendes Hämatom, erübrigt sich eine weitergehende Diagnostik. Ansonsten ist neben der klinischen Untersuchung eine Doppler-/Farbduplexuntersuchung angezeigt. Nur wenn unter Berücksichtigung der klinischen Untersuchung danach keine Diagnose gestellt werden kann, wird eine Angiografie durchgeführt. Diese kann nicht nur die Verletzungshöhe, sondern auch die Art der Verletzung bzw. Gefäßunterbrechung aufzeigen durch Intimaflap, Pseudoaneurysma, Extravasation, Thrombose, Spasmus oder eine arteriovenöse Fistel, was für die Operationsplanung bedeutsam ist.

Therapie

Grundsätzlich kann eine Ligatur oder Rekonstruktion erfolgen. Interventionelle Maßnahmen sind speziellen Einzelfällen vorbehalten.

Operative Technik und Taktik

Die Ligatur wird heute nur noch selten durchgeführt, ist aber unter Umständen lebensrettend. Dabei ist zu berücksichtigen, dass je weiter zentral die Ligatur erfolgt, desto eher Kollateralkreisläufe nach distal genutzt werden können, sodass z.B. bei Ligatur der A. iliaca externa oder A. femoralis die Gefahr einer kompletten Ischämie des Beins geringer ist als bei Ligatur der A. femoralis superficialis. Eventuell kann dann nach Stabilisierung des Patienten in einem zweiten Schritt die Rekonstruktion erfolgen (Martin et al. 1994).

In der Regel wird aber eine Rekonstruktion durchgeführt. Dabei sollte die Abdeckung die nächst höhere und tiefere Gefäßregion mit umfassen. Außerdem sollte die Notwendigkeit einer Venenentnahme – wegen der Verletzung ggf. auch von der Gegenseite – berücksichtigt werden. Bei kurzstreckigen Verletzungen erfolgt die Resektion mit End-zu-End-Anastomose in fortlaufender Nahttechnik (z.B. 5/0 PDS). Bei ausgedehnten Verletzungen wird ein Interponat angelegt. Wiederum wird in Abhängigkeit vom Kontaminationsgrad entweder eine autologe Vene oder ein Kunststoffbypass verwendet (z.B. PTFE 6 oder 8 mm). Dabei scheint der Kunststoffbypass keine höhere Frühinfektionsrate aufzuweisen (Martin et al. 1994), sodass eine autologe Vene nur bei grober Verschmutzung oder bei Unmöglichkeit einer ausreichenden Deckung mit Weichgewebe indiziert ist.

Liegt zusätzlich zur arteriellen Verletzung eine Verletzung der V. femoralis vor, was in ca. 20–35% der Fall ist (Cargile et al. 1992, Martin et al. 1994), so wird diese möglichst mittels Naht versorgt. Ist dies nicht möglich, erfolgt die Umstechungsligatur. Eine sekundäre Versorgung kann dann nach Stabilisierung des Patienten vorgenommen werden, wenn eine Phlegmasie droht oder die Wundheilung gefährdet ist. Bei Verwendung von Kunststoffinterponaten sollte in jedem Fall eine ringverstärkte Prothese verwendet werden (Gefahr des Prothesenkollaps im Niederdrucksystem).

Eine Dermatofasziotomie ist immer bei klinischen Zeichen des Kompartment-Syndroms oder erhöhter Druckmessung indiziert. Ein Kompartment-Syndrom entwickelt sich insbesondere nach längerer Ischämiezeit, ausgedehntem Weichteilschaden und zusätzlicher Venenverletzung. In diesen Fällen ist die Indikation zur Kompartmentspaltung großzügig zu stellen.

Eine Heparinisierung ist intra- und postoperativ nicht notwendig. Intraoperativ sollte jedoch nach distal lokal Heparin appliziert werden. Insbesondere bei schlechtem Anstrom von peripher muss an eine distale Thromboembolisierung gedacht werden. In diesen Fällen ist eine vorsichtige Fogarty-Embolektomie indiziert (Fogarty-Katheter Charr 4 oder 5).

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen sind nur in Ausnahmefällen indiziert. So kann bei angiografischer Diagnose einer Femoralisverletzung in gleicher Sitzung ein Stent eingebracht werden, wenn dadurch eine größere Belastung des Patienten mit Erhöhung der Letalität vermieden werden kann.

Bei jungen Patienten ist darüber hinaus der Langzeitverlauf nach Stent zu bedenken.

Prognose

Die Prognose wird von den Begleitverletzungen bestimmt (Martin et al. 1994). Gefäßprothesen im venösen Bereich sind auch bei kurzfristigen Nachuntersuchungen in mindestens einem Drittel der Fälle verschlossen (Feliciano et al. 1985).

13.6.2 A. poplitea

Mit einer Häufigkeit von ca. 25% steht die A. poplitea nach der A. femoralis an zweiter Stelle der Arterienverletzungen der unteren Extremität. Im Gegensatz zur A. femoralis ist die A. poplitea häufiger durch stumpfe Traumata verletzt (Martin et al. 1994). Bei über 30% der Kniegelenkluxationen werden Verletzungen der A. poplitea beobachtet (Snyder 1988). Klinisch imponieren Ischämiezeichen.

Diagnostik

Die Anamnese und die klinische Untersuchung, ggf. ergänzt durch eine dopplersonografische Untersuchung, können für die Diagnosestellung ausreichen. Bestehen Zweifel, ist eine Angiografie indiziert; diese kann ggf. auch intraoperativ erfolgen. Eine Kniegelenkluxation sollte zunächst reponiert werden, da die Arterie auch lediglich komprimiert sein kann und sich nach Dekompression regelrechte Durchblutungsverhältnisse einstellen.

Therapie

Normalisiert sich die Durchblutung nach Reposition nicht oder liegen andere Verletzungsmuster mit aufgehobener Durchblutung vor, besteht die Therapie der Wahl in der operativen Freilegung und Rekonstruktion des Gefäßes.

Operative Technik und Taktik

Bei isolierten Verletzungen der A. poplitea kann die Rekonstruktion in situ oder mittels extraanatomisch geführtem Bypass indiziert sein. Welches Verfahren gewählt wird, hängt von den Begleitverletzungen und dem Ausmaß der Verletzung ab.

Bei kurzstreckigen Verletzungen ohne oder mit lediglich unerheblicher Begleitverletzung, die keine gesonderte Versorgung erfordert, erfolgt die Rekonstruktion in situ. Dabei wird der Patient in Bauchlage gelagert. Der Zugang erfolgt über die Kniekehle, wobei die Schnittführung S-förmig der Kniegelenkfalte folgend vorgenommen wird (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Nach Durchtrennung der Fascia cruris und Darstellung der Nn. ischiadicus bzw. fibularis werden V. und A. poplitea präpariert. Bei Vorliegen einer Dissektion wird die Arterie längs arteriotomiert und der Intimaflap reseziert. Bei tragfähiger Gefäßwand wird die Arteriotomie mittels Venenpatchplastik aus der V. saphena magna oder parva in fortlaufender Nahttechnik mit 6/0er PDS verschlossen. Bei nichttragfähiger Gefäßwand oder längerstreckiger Gefäßlazeration wird die Arterie reseziert und die Strombahn mittels Veneninterponat wiederhergestellt. Die Verwendung eines Kunststoffinterponats hat im Bereich der A. poplitea eine schlechtere Offenheitsrate (Martin et al. 1994) und sollte deshalb vermieden werden. Eine Indikation hierfür ergibt sich allenfalls bei nicht verfügbarer Vene oder aus Gründen der Zeitersparnis bei instabilem Patienten.

Interventionelle Maßnahmen sind wegen der hohen Bewegungsbelastung in der Regel nicht indiziert. Sollte bei instabilem Patient die Stentapplikation dennoch erwogen werden, sollte ein Viabahn-Stent verwendet werden.

Prognose

Die Prognose wird von den Begleitverletzungen bestimmt. Die Letalität liegt bei ca. 2% (Cargile et al. 1992). Die Amputationsrate liegt höher als bei weiter zentral gelegenen Verletzungen (Snyder 1988); bei stumpfen Traumata wird eine Häufigkeit von 0 bis über 30% angegeben, bei scharfen von ca. 10% (Snyder 1988).

13.6.3 Aa. crurales

Etwa 2% der Unterschenkelfrakturen führen zu Verletzungen der kruralen Arterien (Snyder 1988). Arterielle Blutung und Ischämiezeichen sowie ein pulsierendes Hämatom sind eindeutige Zeichen der Arterienverletzung.

Diagnostik

Neben diesen Zeichen ist bei der klinischen Untersuchung auf Nervenverletzungen im Gebiet des betroffenen Gefäßes und auf ausgedehnte Weichteilverletzungen bzw. perforierende Verletzungen in der Nähe der Unterschenkelgefäße zu achten. Die Erhebung des Pulsstatus gehört zu den Basisuntersuchungen, kann aber erschwert sein und insbesondere beim Patienten im hämorrhagischen Schock falsch-positive oder -negative Ergebnisse bringen (Snyder 1988). Die Dopplersonografische Untersuchung stellt eine Ergänzung zum Pulsstatus dar. Auch hier ist der Seitenvergleich zu beachten, da ein positives Signal auch durch Kollateralfluss bedingt sein kann. Die Angiografie gibt eindeutig Aufschluss über die Lokalisation.

Therapie

Ist mindestens eine nicht arteriosklerotisch veränderte, normalkalibrige Unterschenkelarterie frei durchgängig und ohne Verletzungszeichen, ist keine Rekonstruktion indiziert. Anderenfalls besteht die Therapie in der operativen Freilegung des verletzten Gefäßes und dessen Rekonstruktion. Da Unterschenkel und Fuß beim Gefäßgesunden von 3 Arterien versorgt werden, ist die Durchblutung bei Verletzung nur eines Gefäßes meist gesichert. Besteht eine anders nicht stillbare Blutung, kann dann auch eine einfache Ligatur erfolgen.

Die Verletzung von 2 Gefäßen oder des Tractus tibiofibularis bedeutet eine Gefährdung der Extremität und erfordert die Rekonstruktion.

Besteht durch das Verletzungsmuster keine Kontraindikation, sollte schon präoperativ eine Heparinisierung erfolgen (PTT 2- bis 3-fach erhöht), um eine Thrombosierung der distalen Gefäßabschnitte zu verhindern. Eine primäre Amputation wird allein wegen eines Gefäßtraumas nur äußerst selten notwendig sein. Allerdings kann das Ausmaß der Weichteilverletzung zusammen mit der Gefäßverletzung eine Indikation darstellen (▶ Kap 14, Weichteilverletzungen und Infektionen).

Operative Technik und Taktik

Es erfolgt eine zirkuläre Desinfektion beider unteren Extremitäten. Die Gegenseite wird ggf. zur Gewinnung eines Veneninterponats gebraucht. Die Zehen werden nicht oder allenfalls mit einem farblosen Mittel desinfiziert und mit einem sterilen, durchsichtigen Beutel abgedeckt, um auch intraoperativ den Kapillarpuls beurteilen zu können.

Der Zugang zum Tractus tibiofibularis erfolgt über einen Schnitt beginnend direkt kaudal des Condylus medialis ca. einen Querfinger dorsal der medialen Tibiakante. Dies ermöglicht eine Freilegung des Segments III der A. poplitea und des Tractus tibiofibularis. Dabei ist zu beachten, dass man bei der Präparation nach lateral zunächst auf das hintere tibiale Gefäß-Nerven-Bündel stößt und dann auf das fibulare. Beim Zugang zur A. tibialis anterior geht man von lateral ca. 2 Querfinger dorsolateral der Tibia ein.

Das verletzte Gefäß wird zunächst proximal und distal freigelegt, um eine Blutungskontrolle durch Setzen von Gefäßklemmen in diesem Bereich zu ermöglichen. Dabei sind im Bereich der Unterschenkelarterien nur feinste Gefäßklemmen zu verwenden. Dann wird das verletzte Areal selbst exploriert, und zwar sowohl Arterie als auch Vene und Nerv. Die Arterie wird mit Heparin-Kochsalz-Lösung gespült und ggf. eine vorsichtige Thrombektomie vorgenommen. Danach kann statt einer Gefäßklemme auch eine Okklusionsolive in die Arterie eingebracht werden, um ein zusätzliches operatives Trauma durch die Klemme zu vermeiden. Dann muss ggf. über die Abfolge der Versorgung der knöchernen und vaskulären Verletzung entschieden werden. Besteht eine prolongierte Ischämie oder ergibt sich diese durch eine primäre Frakturversorgung, so ist zunächst die Gefäßrekonstruktion durchzuführen oder die Perfusion durch Einbringen eines Shunts zu sichern (z. B. Bard-Shunt). Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass durch die folgende Reposition und Osteosynthese die Gefäßrekonstruktion gefährdet werden kann. Daher ist in den Fällen, bei denen die kritische Ischämiezeit von 6 h nicht überschritten wird, zunächst die Frakturversorgung vorzunehmen.

In Abhängigkeit vom Verletzungsausmaß wird die Rekonstruktionsart festgelegt. Bei kurzstreckigen Verletzungen kann nach Débridement und Gefäßmobilisation die Direktnaht erfolgen. Hierbei sollte ein monofiler resorbierbarer Faden der Stärke 6/0 oder 7/0 verwendet werden (z.B. PDS). Die Naht wird in Einzelknopftechnik angelegt. Bei längerstreckigen Verletzungen und ausgedehnter Weichteilverletzung ist ein Patch oder Bypass indiziert. Da es sich bei den Unterschenkelarterien um schmalkalibrige Gefäße handelt, empfiehlt sich ein Venenbypass, denn Kunststoffbypässe weisen eine hohe Verschlussrate auf. Ist die V. saphena magna auf der Verletzungsseite wegen des Weichteilschadens nicht verwendbar, wird die der Gegenseite über kurze Einzelschnitte entnommen. Ist die

Vene im Verlauf kaliberkonstant, wird sie extraanatomisch, umgedreht als Bypass verwendet. Verjüngt sich die Vene nach distal, wird sie orthograd eingenäht. Dann müssen jedoch die Venenklappen mit einem Valvulotom beseitigt werden.

Die proximale Anastomose wird in fortlaufender Nahttechnik mit monofilem, resorbierbarem Faden der Stärke 5/0 (z.B. PDS) angelegt. Danach führt man unter Anstrom über die Vene das Valvulotom von distal über die gesamte Strecke ein. Beim Zurückziehen unter Blutanstrom werden die Klappen zerstört. Der Erfolg der Klappenbeseitigung wird über das Ausmaß des Anstroms beurteilt. Eine Objektivierung kann durch eine Blutdruckmessung über den Venenbypass und Vergleich mit der arteriellen Messung erfolgen. Nach Längenanpassung wird die distale Anastomose in gleicher Weise angelegt. Gegebenenfalls kann die Naht in der distalen Spitze in Einzelknopftechnik gestochen werden. Hierdurch soll die Elastizität der Anastomose erhöht werden. Vor Fertigstellung der Naht wird der Bypass entlüftet, wobei auch Thromben ausgespült werden.

Abschließend erfolgen die digitale Pulskontrolle distal der unteren Anastomose und eine intraoperative Angiografie mit Dokumentation. Im Rahmen der Angiografie können Mängel der Rekonstruktion, z.B. verbliebene Klappen, fehlerhafte Anastomosen oder Thromben diagnostiziert, und in gleicher Sitzung beseitigt werden. Ist bei Rekonstruktionsindikation keine Vene verfügbar, muss ein Kunststoffbypass verwendet werden. Wird hierbei das Kniegelenk überbrückt, ist ein ringverstärkter Bypass zu wählen (z.B. PTFE 6 mm). Das operative Vorgehen entspricht ansonsten dem oben beschriebenen, die Anastomosen werden jedoch mit nicht resorbierbarem Material genäht (z.B. Prolene). Um die Offenheitsrate zu erhöhen, kann die distale Anastomose außerdem über einen Miller-Cuff eingenäht werden oder mit einem Linton- oder Taylor-Patch versehen werden (▶ Abschnitt 13.1.6, Nahttechniken). Diese Techniken sind jedoch manuell anspruchsvoller und v.a. zeitaufwändiger, was bei der Gesamtsituation des Patienten berücksichtigt werden muss.

Eine Rekonstruktion venöser Verletzungen sollte bei ausgedehnten Weichteilverletzungen vorgenommen werden, um den Abstrom zu verbessern, die Gewebeschwellung zu vermindern und einem Kompartment-Syndrom vorzubeugen.

Neben der Direktnaht bei umschriebenen Verletzungen kann eine Rekonstruktion unter Verwendung der V. saphena magna indiziert sein. Dies muss bei der Längenwahl berücksichtigt werden. Die Nahttechnik entspricht der bei der arteriellen Rekonstruktion. Allerdings muss man sich darüber im Klaren sein, dass technische Fehler eher zum Verschluss führen als bei der arteriellen Rekonstruktion. Zusätzliche Verletzungen durch operatives Trauma sind zu vermeiden. Daher sollten im venösen Bereich keine Klemmen, sondern Okklusionskatheter verwendet und bei der Naht selbst die Adventitia nur mit feinen Pinzetten gefasst werden.

Eine Kompartmentspaltung ist großzügig zu indizieren, da ein erhöhter Druck auch die Offenheitsrate der arteriellen Rekonstruktion vermindert. Dabei kann die Spaltung im Rahmen des Gefäßzugangs vorgenommen werden. Eine Fasziennaht darf beim Wundverschluss nicht erfolgen. Der Bypass sollte mit Weichgewebe gedeckt werden, der Wundverschluss kann dann z.B. mit Epigard erfolgen.

Postoperativ müssen die Durchblutungsverhältnisse engmaschig anhand von Kapillarpuls, Hautkolorit, Pulsstatus, Schmerz und Muskelfunktion klinisch kontrolliert werden. Gegebenenfalls können unmittelbar postoperativ auch die Doppler-Verschlussdrücke festgehalten werden, die dann im Verlauf vergleichend gemessen werden. Ergeben sich Zeichen der Ischämie, ist die Revision und ggf. Thrombektomie, Zerstörung verbliebener Klappen oder Neuanlage der Anastomosen indiziert. Bei ausgedehntem Weichteilschaden wird ein geplanter Secondlook mit Débridement festgelegt.

Interventionelle Maßnahmen

Interventionelle Maßnahmen sind in der Akutphase nicht angezeigt. Eine später diagnostizierte arteriovenöse Fistel kann embolisiert werden. Eine Embolisation nach distal kann unter Berücksichtigung der Gesamtsituation und der Kontraindikationen durch Lyse beseitigt werden.

Prognose

Bei unerkannten Verletzungen der Unterschenkelgefäße sind arteriovenöse Fisteln und falsche Aneurysmen relativ häufig (Snyder 1988). Allerdings führt dies nicht zu einer erhöhten Morbidität, sodass eine routinemäßige Arteriografie bei Verletzungen im Unterschenkelbereich mit möglicher Einbeziehung der Gefäße nicht gerechtfertigt ist. Eine Versorgung dieser Unfallfolgen ist auch zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich.

13.7 Folgezustände

Gefäßverschluss

Eine arterielle Thrombose tritt bei akkurater Technik postoperativ nur in ca. 2–3% der Fälle auf (Cargile et al. 1992). Dabei scheinen kombiniert arteriell-venöse Verletzungen gefährdeter zu sein. Dies gilt auch für Verschlüsse venöser Rekonstruktionen. Hier kommt es insgesamt in etwa 15% der Fälle zu Thrombosierungen, davon sind ca. 70% kombinierte Verletzungen (Cargile et al. 1992). Bei venösem Verschluss erleiden ca. 20% der Patienten eine Lungenembolie (Cargile et al. 1992). Die Gesamtinzidenz der durch bildgebende Diagnostik gesicherten Lungenembolien liegt beim arteriellen Trauma der unteren Extremität bei ca. 1%, beim venösen Trauma der unteren Extremität bei ca. 3% (Cargile et al. 1992).

Besonders gefährdet hinsichtlich eines Früh- und Spätverschlusses sind Kunststoffprothesen im Armbereich (Feliciano et al. 1985), weshalb sie hier möglichst nicht eingebracht werden sollten.

Aneurysma spurium

Ein Aneurysma spurium, ein falsches Aneurysma, kann Tage bis Monate nach der eigentlichen Gefäßverletzung entstehen. Klinisch imponiert es als pulsierendes Hämatom. Besteht noch umgebende Gefäßwand, so handelt es sich um ein echtes posttraumatisches Aneurysma. Die Operationsindikation ergibt sich aus der Rupturgefahr. Bei Stichverletzungen wird das Hämatom ausgeräumt und die Leckstelle übernäht. Bei längerstreckigen Verletzungen wird der das Aneurysma tragende Gefäßabschnitt reseziert und die Strombahn durch ein homo- oder heterologes Interponat wiederhergestellt.

Arteriovenöse Fistel

Arteriovenöse Fisteln entstehen vornehmlich nach perforierenden Gefäßverletzungen durch Stich oder Schuss. Sie können symptomlos bleiben oder lokale Beschwerden in Form venöser Ektasien oder Ulzera an der betroffenen Extremität verursachen oder zur Herzinsuffizienz führen. Hat sich aufgrund der arteriovenösen

Fistel ein Aneurysma gebildet, besteht die Gefahr der Thrombosierung und Embolisation. Bei der klinischen Untersuchung kann ggf. ein Schwirren getastet oder ein Maschinengeräusch auskultiert werden, was bei Kompression des zuführenden Gefäßes verschwindet. Weitere Zeichen sind die einseitige Varikosis oder Ulzera nach Gefäßverletzung an der betroffenen Extremität.

Die Diagnose erfolgt durch Palpation, Auskultation, Duplexsonografie und ggf. mittels Angiografie. Kleine arteriovenöse Fisteln können interventionell embolisiert oder durch Implantation eines gecoverten Stents verschlossen werden. Die operativen Möglichkeiten reichen von der Ligatur über die transvenöse Naht bis zur Resektion des betroffenen Gefäßabschnitts.

Kompartment-Syndrom

Ein Kompartment-Syndrom kann über einen behinderten Abstrom zum Frühverschluss der arteriellen Rekonstruktion beitragen. Außerdem gehört das Kompartment-Syndrom mit ca. 45% zu den häufigsten Ursachen für Amputationen nach Gefäßverletzungen (Cargile et al. 1992) (▶ Kap 17, Komplikationen).

Infektion

Der Gefäßprotheseninfekt stellt wegen der drohenden Sepsis und der möglichen Arrosionsblutung eine bedeutende Komplikation dar. Während Wundinfekte in ca. 20% der Fälle auftreten, sind Infektionen an der Gefäßprothese mit nur 1% selten. Auch nach Langzeitbeobachtung von immerhin 5 Jahren zeigen PTFE-Prothesen nur äußerst selten Infekte (Feliciano et al. 1985). Diese Beobachtungsstudien haben jedoch eingeschränkten Wert, weil keine vergleichenden Untersuchungen vorliegen und keine Definitionen des Verschmutzungsgrades vorgenommen werden, was die Zuordnung einzelner Risikogruppen ermöglichen und Vergleichbarkeit herstellen würde. Das Infektionsrisiko ist jedenfalls dann erhöht, wenn die Prothese nicht gedeckt werden kann oder wenn sich eine Osteomyelitis entwickelt (Feliciano et al. 1985).

Literatur

Banks E, Chun J, Weaver FA (1995) Chronic innominate dissection after blunt thoracic trauma. J Trauma 38: 975–978

Bechini J, Cuadras P, Tenesa M, Lisbona C, Casas D, Olazabal A (1998) Chronic traumatic pseudoaneurysm of right subclavian artery. Eur Radiol 8: 63–65

Cargile JS, Hunt JL, Purdue GF (1992) Acute trauma of the femoral artery and vein. J Trauma 32: 364–371

Carillo EH, Spain DA, Wilson MA, Miller FB, Richardson JD (1998) Alternatives in the management of penetrating injuries to the iliac vessels. J Trauma 44: 1024–1030

Cogbill Th, Moore EE, Meissner M et al. (1994) The spectrum of blunt injury to the carotid artery: A multicenter perspective. J Trauma 37: 473–479

Degiannis E, Bonanno F, Titius W, Smith M, Doll D (2005) Behandlung von penetrierenden Verletzungen an Hals, Thorax und Extremitäten. Chirurg 76:945-958.

Dinchman KH, Spirnak JP (1995) Traumatic renal artery thrombosis: Evaluation and treatment. Semin Urol 8: 90–93

Ehrichs E (1983) Die Unterbindung großer Gefäße. In: Eisenmann B (Hrsg) Prognose chirurgischer Erkrankungen. Enke, Stuttgart, S 121

Fabian TC, Richardson JD, Croce MA et al. (1997) Prospective study of blunt aortic injury: Multicenter trial of the American Association for the Surgery of Trauma. J Trauma 42: 374–383

Feliciano DV (1988) Abdominal vascular injuries. Surg Clin North Am 68: 741–755

Feliciano DV, Mattox KL, Graham JM, Bitondo CG (1985) Five year experience with PTFE grafts in vascular wounds. J Trauma 25: 71–82

Golueke P, Sclafani S, Phillips T, Goldstein A, Scalea T, Duncan A (1987) Vertebral artery injury – Diagnosis and management. J Trauma 27: 856–865

Golueke PJ, Goldstein AS, Sclafani SJA, Mitchell WG, Shaftan GW (1984) Routine versus selective exploration of penetrating neck injuries: A randomized prospective study. J Trauma 24: 1010–1014

Goodman DNF, Saibil EA, Kodama RT (1998) Traumatic intimal tear of the renal artery treated by insertion of a palmaz stent. Cardiovasc Intervent Radiol 21: 69–72

Haas CA, Spirnak JP (1998) Traumatic renal artery occlusion: A review of the literature. Techniques in Urology 4: 1–11

Hassantash SA, Mock C, Maier RV (1995) Traumatic visceral artery aneurysm: Presentation as massive hemorrhage from perforation into an adjacent hollow viscus. J Trauma 38: 357–360

Heberer G, Dongen RJAM (Hrsg) (1987) Gefäßchirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Kirschnersche Operationslehre, Bd 11)

Jebara VA, Rassi IE, Achouh PE, Chelala D, Tabet G, Karam B (1998) Renal artery pseudoaneurysm after blunt abdominal trauma. J Vasc Surg 27: 362–365

Joo JY, Ahn JY, Chung YS, Chung SS, Kim SH, Yoon PH, Kim OJ (2005) Therapeutic endovascular treatments for traumatic carotid artery injuries. J.Trauma 58: 1159–1166.

Kim SH, Kosnik E, Madden Ch, Rusin J, Wack D, Bartkowski H (1997) Cerebellar infarction from a traumatic vertebral artery dissection in a child. Pediatr Neurosurg 27: 71–77

Krämer S, Pamler R, Seifarth H, Brambs HJ, Sunder-Plassmann L, Görich J (2001) Endovascular grafting of traumatic aortic aneurysms in contaminated fields. J. Endovsc. Ther 8: 262–267

Link J, Brossman J, Penselin V, Gluer CC, Heller M (1997) Common carotid artery bifurcation: Preliminary results of CT angiography and color-coded duplex sonography compared with digital subtraction angiography. AJR Am J Roentgenol 168: 361–365

Marelli D, Tchervenkov C, Metrakos P, Barayan S, Hasel R, Brown RA (1995) Deep hypothermic circulatory arrest for blunt retrohepatic venous injury: A case report. J Trauma 38: 609–611

Martin LC, McKenney MG, Sosa JL, Ginzburg E, Puente I, Sleeman D, Zeppa R (1994) Management of lower extremity arterial trauma. J Trauma 37: 591–599

Meier DE, Brink BE, Fry WJ (1981) Vertebral artery trauma. Arch Surg 116: 236–239

Miyachi S, Okamura K, Watanabe M, Inoue N, Nagatani T, Takagi T (1994) Cerebellar stroke due to vertebral artery occlusion after cervical spine trauma. Spine 19: 83–88

Montgomery RC, Richardson JD, Harty JI (1998) Posttraumatic renovascular hypertension after occult renal injury. J Trauma 45: 106–110

Mucha P, Welch TJ (1988) Hemorrhage in major pelvic fractures. Surg Clin North Am 68: 757–773

Mulloy JP, Flick PA, Gold RE (1998) Blunt carotid injury. Radiology 207: 571–585

Patel AV, Marin ML, Veith FJ, Kerr A, Sanchez LA (1996) Endovascular graft repair of penetrating subclavian artery injuries. J Endovasc Surg 3: 382–388

Pillai L, Luchette FA, Romano KS, Ricotta JJ (1997) Upper-extremity arterial injury. Am Surg 63: 224–227

Posner MP, Alty CG, Lee HM (1991) Cross femoral bypass graft for combined iliac arterial venous injury. Ann Vasc Surg 5: 286–290

Poulakis V, Ferakis N, Becht E, Deliveliotis C, Duex M (2006) Treatment of renal-vascular injury by transcatheter embolization: immediate and long-term effects on renal function. J.Endourol. 20: 405-409

Prall JA, Brega KE, Coldwell DM, Breeze RE (1998) Incidence of unsuspected blunt carotid artery injury. Neurosurgery 42: 495–499

Punjabi AB, Plaisier BR, Haug RH, Malangoni MA (1997) Diagnosis and management of blunt carotid artery injury in oral and maxillofacial surgery. J Oral Maxillofac Surg 55: 1388–1395

Rich NM (1988) Management of venous trauma. Surg Clin North Am 68: 809–821

Roth SM, Wheeler JR, Gregory RT et al. (1997) Blunt injury of the abdominal aorta: A review. J Trauma 42: 748–755

Rozycki GS, Tremblay LN, Feliciano DV, McClelland WB (2003) Blunt vascular trauma in the extremity: diagnosis, management, and outcome. J.Trauma 55: 814-824

Snyder WH (1988) Popliteal and shank arterial injury. Surg Clin North Am 68: 787–807
Walterbusch G (2003) Gefäßnaht. In: Nerlich M, Berger A (Hrsg.). Weichteilverletzungen und -infektionen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 64–69 (Tscherne Unfallchirurgie)
Starnes BW, Arthurs ZM (2006) Endovascular management of vascular trauma. Persp. Vasc. Surg. Endovasc. Ther. 18: 114–129
Steinbrecher E, Sohr D, Hansen S, et al. (2002) Surveillance postoperativer Wundinfektionen – Referenzdaten des Krankenhaus-Infektions-Surveillance-Systems (KISS). Chirurg 2002; 73: 76-82
Weimann DS, McCoy DW, Haan CK, Pate JW, Fabian TC (1998) Blunt injuries of the brachiocephalic artery. Am Surg 64: 383–387

Infektionen

J. Mattes, B. Weigel

14.1 Basiswissen – 854
14.2 Weichteilinfektion – 868
14.3 Infektion von Knochen und Gelenken – 875
Literatur – 882

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_14,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

14.1 Basiswissen

14.1.1 Physiologie der Wundheilung

Funktion der Haut und Phasen der Wundheilung

Die wichtigste Funktion der Haut ist der Schutz gegen äußere Einflüsse. Verlust der dermalen Integrität durch eine Verbrennung, ein anderes Trauma oder eine Krankheit wie Diabetes (Singer u. Clark 1999) kann zu einer Behinderung, Hypermetabolie und sogar zum Tode führen. In den USA erleiden jährlich 1,3 Mio. Menschen eine Verbrennung, und 6,5 Mio. Menschen haben chronische Hautulzerationen durch chronisch venöse Leiden oder Diabetes mellitus (Brigham u. McLoughlin 1996). In Deutschland sind es 2,2 Mio. akute oberflächliche Verletzungen wie beispielsweise Verbrennungen und 2,3 Mio. Patienten mit den drei häufigsten chronischen Wunden: Ulcus cruris, arterielle Gangrän und Dekubitus. Die Haut schützt vor Flüssigkeit- und Energieverlust sowie vor bakterieller Translokation und Infektion (Scharfetter-Kochanek et al. 1999, Singer u. Clark 1999).

Eine Wunde entsteht, wenn Gewebe wie Haut, Schleimhaut oder Organoberflächen durchtrennt werden. Wunden können durch eine direkte Verletzung entstehen, aber auch durch eine Verbrennung oder Verätzung, durch lang anhaltenden Druck oder Erkrankungen der Blutgefäße. Die unverletzte Haut stellt für die meisten Bakterienarten eine undurchdringliche Barriere dar, ausgenommen davon sind die Leptospiren. Jede Wunde ist hingegen eine potenzielle Eintrittspforte.

Der komplexe Vorgang der Wundheilung läuft in mehreren Phasen ab, die sich teilweise überlappen:

- Die **entzündliche Phase** ist gekennzeichnet durch Exsudation und Resorption,
- die **Phase der Gewebsneubildung** beinhaltet Proliferation, Bildung von Granulationsgewebe, Neovaskularisation und Epithelialisierung,
- in der **Regenerationsphase** remodelliert sich das Gewebe und die Wunde kontrahiert sich.

In der exsudativen Phase als 1. Phase der Reaktion auf eine Verletzung kommt es zu einem Sinken des pH-Werts im Gewebe und einer erhöhten Gefäßpermeabilität mit Freisetzung von Blutplättchen und Bildung eines Fibringerinnsels. Dieser Clot dient als Gerüst für einwandernde Zellen. Die Thrombozyten setzen eine Reihe von Zytokinen frei. Chemotaxis bewirkt anschließend die Anlagerung von Granulozyten und Makrophagen. Nach dem Einwandern dieser Zellen werden weitere Zytokine und Wachstumsfaktoren freigesetzt. Mittlerweile sind über 400 Wachstumsfaktoren identifiziert worden (Jeschke et al. 2001).

Anschließend erfolgt die Aktivierung migrierender Zellen, Fibroblasten und Makrophagen, da nur aktivierte Zellen im Wundgebiet funktionell wirksam und zu einer Modulation der Wundheilungskaskade führen können. Ab dem 3. Tag wandern im Rahmen der proliferativen Phase Fibroblasten aus dem umgebenden Gewebe ein, und Endothelien werden von intakten venösen Kapillaren zur Neoangiogenese angeregt und sprießen gleichfalls in das Wundgebiet ein. Granulationsgewebe entsteht. Dann breiten sich epitheliale Zellen vom Wundrand her auf der Wundoberfläche aus und verschließen sie.

Zur Geweberemodellierung wird Kollagen in der Wunde deponiert. Dabei bestimmen die Rate, die Qualität und die Gesamtmenge der Matrixdeposition die Stärke und Reißfestigkeit der Narbe. In der frühen Phase der Wundheilung, während der ersten 4 Tage, dominieren Fibronektin und Kollagen Typ III. Das Typ-III-Kollagen wird später in der regenerativen Phase zunehmend zum stabileren Typ-I-Kollagen umgebaut. Dadurch nimmt zwischen dem 8. und 10. Tag die Reißfestigkeit der verheilten Wunde immer mehr zu.

Dieser Umstand erklärt, warum man Nahtmaterial am Körperstamm und den Extremitäten nicht vor dem 10. postoperativen Tag entfernen sollte und als Grundregel viele Unfallchirurgen den 12. Tag verwenden.

Einteilung und Definitionen

Wunden lassen sich einteilen in einfache, nur die Haut betreffende Verletzungen und komplizierte Wunden mit Beteiligung von Gefäßen, Nerven, Muskeln. Frische Wunden müssen von chronischen und aseptische Wunden von kontaminierten oder infizierten unterschieden werden. Wunden können primär, verzögert oder sekundär heilen.

Primäre Wundheilung

Unter einer primären Wundheilung versteht man eine komplikationslose Heilung ohne Infektion. Die Wundränder sind gut durchblutet und liegen direkt aneinander. Lückenlos adaptierte Wundränder können sich unter minimaler Gewebeneubildung verschließen.

Die Fibrinvernetzung setzt rasch ein. Schon 48 h nach einer Wundnaht gilt die Wunde als verschlossen. Dennoch sollten die Wunden mit einem Pflaster abgedeckt bleiben, weil frei unter der Kleidung liegendes Nahtmaterial ständigen Bewegungen ausgesetzt ist und auf diese Weise die Wundkanäle gereizt werden können und dies eine Wundsekretion bedingen kann, auf die sich eine Infektion aufpfropfen kann. Patienten mit primärer Wundheilung dürfen nach 2 Tagen duschen. Voraussetzung ist, dass zum Duschen sauberes Trinkwasser verwendet wird. Anschließend wird das Pflaster erneuert.

Sekundäre Wundheilung

Wenn der Heilungsvorgang hingegen durch eine Infektion, Nachblutung mit Hämatom, Dehiszenz oder Mangeldurchblutung gestört ist, kommt es zu einer sekundären Wundheilung. Bei einer sekundären Wundheilung füllt sich der Gewebedefekt erst allmählich auf. Die Ränder klaffen auseinander, die Heilung erfolgt durch Granulation aus der Tiefe, häufig sind die Wunden bakteriell kontaminiert oder infiziert. Die meisten offenen Wunden sind kontaminiert. Solange sich kein Verhalt bildet, entstehen keine lokalen oder systemischen Entzündungszeichen.

Chronische Wunden

Von einer chronischen Wunde spricht man, wenn sie über einen Zeitraum von mehr als 1 Monat besteht und keine Heilungstendenz zeigt, weil Granulationsgewebe fehlt und somit keine Reepithelialisierung eintreten kann. Eine chronische Wunde kann z.B. ein Dekubitus sein oder ein Ulkus am Unterschenkel bei chronisch venöser Insuffizienz. Verschiedene Arbeitsgruppen fanden heraus, dass der Vascular Endothelial Growth Factor, ein Signalmolekül, das das Wachstum von vaskulärem Endothel stimuliert, in chronischen Wunden vermindert ist (Scharffetter-Kochenaek et al. 1999).

Die **Behandlung** sekundärer Wunden ist schwierig. Eine wichtige Grundlage der Behandlung ist, ein feuchtes Milieu zu schaffen, da insbesondere in bradytrophem Gewebe das Austrocknen der Wunde zu schweren Gewebeschäden führen kann. Die Herausforderung dabei ist, dass man beim Schaffen eines feuchten Milieus gleichzeitig die Vermehrung von Bakterien unterbindet. Dies wird

durch sorgfältige aseptische Wundpflege und geeignete Wundauflagen angestrebt. Die früher häufig verwendeten adstringierenden oder eiweißfällenden Substanzen wie Farblösungen, H_2O_2 u.a. sind überholt und sollten nach derzeitigem Stand des Wissens bei chronischen Wunden nicht mehr angewendet werden.

Als Antiseptika, die die Wundheilung nicht behindern, gelten PVP-Jod-Präparate, Octenidinhydrochlorid 0,1% mit oder ohne Phenoxyethanol 2% und Polyhexabid 0,04%. Letzteres empfiehlt sich insbesondere für chronische Wunden. Essenziell ist es, durch sorgfältige Hautpflege eine einwandfreie Wundumgebung zu erhalten.

Offene Wunden sind immer bakteriell kontaminiert, deshalb ist bei Beginn der Behandlung einer chronischen Wunde ein mikrobiologischer Abstrich zu entnehmen. Dabei ist ein Bakteriennachweis per se noch kein Grund für eine systemische antibiotische Behandlung. Diese ist erst bei allgemeinen Infektionszeichen mit Fieber >38,5°C, einer Leukozytose mit Linksverschiebung und einer CRP-Erhöhung und/oder bei deutlicher Inflammation des umgebenden Gewebes nach Gewinnung eines Abstrichs angezeigt.

Bis zum Erhalt des mikrobiologischen Befundes eignen sich als empirische Substanzen z.B. Amoxicillin + Clavulansäure (bzw. Ampicillin+Sulbactam) oder Cefuroxim oder Moxifloxacin. Bei MRSA-Patienten sollte Moxifloxacin bei bekannten MRSA-Patienten bis zum Eintreffen des Antibiogramms mit Vancomycin kombiniert werden (Kramer et al. 2004, Kujath 2008).

14.1.2 Klassifikationen

Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei geschlossenen und offenen Frakturen ist in ◘ Tab. 14.1 dargestellt. Die gebräuchlichste und am weitesten verbreitete Klassifikation der offenen Frakturen ist die modifizierte Einteilung von Gustilo und Anderson (Gustilo 1993; ◘ Tab. 14.2).

◘ Tab. 14.1 Klassifizierung des Weichteilschadens bei geschlossenen und offenen Frakturen nach Tscherne u. Oestern 1982

Geschlossene Frakturen	
G 0	Fehlende oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekter Verletzungsmechanismus, einfache Frakturform
G I	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturform
G II	Tiefe kontaminierte Schürfung sowie Haut- oder Muskelkontusion durch direkte Krafteinwirkung, drohendes Kompartment-Syndrom mit mittelschweren bis schweren Frakturformen
G III	Ausgedehnte Hautkontusion oder -quetschung, Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement, manifestes Kompartment-Syndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturformen
Offene Frakturen	
O I	Durchspießung der Haut, unbedeutende Kontamination, einfache Frakturformen
O II	Durchtrennung der Haut, umschriebene Haut- und Weichteilkontusion, mittelschwere Kontamination, alle Frakturformen
O III	Ausgedehnte Weichteildestruktion, häufig Gefäß- und Nervenverletzungen, starke Wundkontamination, ausgedehnte Knochenzertrümmerung
O IV	Totale und subtotale Amputation, Durchtrennung der wichtigsten anatomischen Strukturen, vollständige Ischämie

◘ Tab. 14.2 Zusammenfassung der Klassifikation der offenen Frakturen nach Gustilo und Anderson 1993

Grad I	Durchspießung von innen: Hautläsion <1 cm, nicht verschmutzt, geringe Muskelkontusion, einfache Quer- oder kurze Schrägfraktur
Grad II	Direkte Gewalteinwirkung: Hautläsion >1 cm, ausgedehnter Weichteilschaden mit Lappenbildung oder Décollement, geringe bis mäßige Muskelquetschung, einfache Quer- oder kurze Schrägfraktur mit kleiner Trümmerzone
Grad III	A Ausgedehnter Weichteilschaden mit noch adäquater Knochendeckung, Stückfrakturen, Schussverletzungen
	B Ausgedehnter Weichteilschaden mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen, massive Kontamination
	C Ausgedehnter Weichteilschaden mit rekonstruktionspflichtiger Gefäßverletzung

14.1.3 Schutzimpfungen

Tetanus

Ätiologie/Pathogenese

Der Erreger von Tetanus, Clostridium tetani, ist ein strikt anaerob wachsendes, sporenbildendes, grampositives Stäbchenbakterium. Clostridium tetani kommt ubiquitär in der Umwelt vor. Das Erregerreservoir sind Faeces von Mensch und Tier sowie Erdreich. Die Sporen sind äußerst umweltresistent, auch gegen Alkohole, aber empfindlich für Jod.

Eintrittspforten entstehen häufig durch penetrierende Verletzungen mit Fremdkörpern oft im Rahmen von Bagatelltraumen, z.B. bei der Gartenarbeit.

In anaerobes Milieu eingebracht, entstehen aus den Sporen vegetative Formen, die Toxine produzieren. Entscheidender Pathogenitätsfaktor ist Tetanospasmin, das üblicherweise als »Tetanustoxin« bezeichnet wird. Außerdem produzieren die Sporen auch noch das hämolytisch wirkende Tetanolysin und ein weiteres, nicht spasmogenes Neurotoxin. Das Toxin wandert mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 mm/h entlang der Nervenfasern zum Rückenmark. Dort blockiert es, ähnlich wie Strychnin, die hemmenden Interneurone im Vorderhorn. Die Folge sind ein erhöhter Tonus und Krämpfe der Skelettmuskulatur sowie ungebremste vegetative cholinerge Reaktionen.

Die Inkubationszeit beträgt 3 Tage bis 3 Wochen, kurze Inkubationszeiten sind mit einer höheren Sterblichkeit assoziiert.

Epidemiologie

Weltweit ist Tetanus von erheblicher Bedeutung, v.a. in der neonatalen Form. Von 290.000 Todesfällen im Jahr 2006 waren 250.000 neonatale Fälle. Diese entstehen durch infizierte Nabelstümpfen bei Kindern nicht immuner Mütter.

In den USA kommen pro Jahr 35–70, in Deutschland ca. 15 Tetanusfälle vor. Dabei handelt es sich überwiegend um ältere Frauen. Die genaue Zahl ist nicht bekannt, da keine Meldepflicht nach dem IfSG besteht.

Klinik

Die Erkrankung verläuft ohne Fieber oder subfebril mit Muskelsteifigkeit, Anspannung und Krämpfen der Gesichtsmuskulatur, die zu einem fixierten Lächeln, dem Risus sardonicus führen und zu einer Kieferklemme, dem Trismus, Schluckbeschwerden, Ophistotonus, Laryngospasmus und schließlich zur Atemlähmung. Die Letalität liegt bei guter intensivmedizinischer Versorgung bei 10–20%.

Diagnostik

Tetanus ist eine klinische Diagnose, Labortests auf Antikörper und mikrobiologische Abstriche sind hier weitgehend wertlos. Zur Abgrenzung der Differenzialdiagnose einer Strychninvergiftung muss eine toxikologische Untersuchung von Serum und Urin veranlasst werden. Eine weitere Differenzialdiagnose sind dystone Nebenwirkungen von Neuroleptika, eine rasche Reaktion auf die Gabe von Anticholinergika hilft, diese Differenzialdiagnose zu stellen.

Therapie

Die Atmung muss sichergestellt werden. Tetanus-Immunglobulin (HTIG) wird in einer Dosis von 10.000 IE i.m. appliziert. Verschmutzte Wunden werden exzidiert, Verhalte eröffnet und drainiert und eine Antibiotikatherapie mit Metronidazol 3-mal 500 mg/Tag i.v. begonnen.

Wesentlich ist eine umfassende und sorgfältige intensivmedizinische Versorgung, um einen möglichst komplikationsfreien Verlauf der zu erwartenden mehrwöchigen Beatmung zu bewirken. Ausführliche Empfehlungen zur Behandlung von Tetanuspatienten finden sich in Mandell, Principles and Practice of Infectious Diseases 6th, pp 2817–2821.

Prophylaxe

Die aktive Immunisierung ist seit 1890 bewährt. Es ist entscheidend, dass jeder einen sicheren Tetanusimpfschutz erhält, was in der BRD durch die Säuglingsimpfungen ab dem 2. Lebensmonat weitgehend sichergestellt ist. Für einen vollständigen Impfschutz sind 3 Impfstoffgaben erforderlich. Der Impfschutz hält in der Regel mindestens 5 Jahre. Ein Booster wird nach jeweils 10 Jahren empfohlen.

Für die Entscheidung, ob verletzte Patienten zu impfen sind, gilt die ◘ Tab. 14.3: Empfehlungen der ständigen Impfkommission (STIKO).

Die aktive Immunisierung erfolgt mit Tetanustoxoid (Tetanol), die passive Immunisierung mit humanem Tetanusimmunglobulin (Tetagam). Bei Patienten, die blutverdünnende Medikamente einnehmen, wird subkutan gespritzt.

Aktuelle Impfempfehlungen zu Tetanus und anderen Infektionskrankheiten finden sich z.B. beim Robert-Koch-Institut unter www.rki.de/Infektionskrankheiten A–Z/Tetanus oder bei Bär 2004 oder Bleck 2005.

Rabies

Ätiologie/Pathogenese

Rabies ist eine Zoonose, ausgelöst durch ein behülltes RNA-Virus (Rhabdovirus, Genus Lyssavirus). Das Virus vermehrt sich zunächst an der Bissstelle und gelangt dann über axoplasmatischen Transport von der Peripherie zum ZNS.

Epidemiologie:

Das Haupterregerreservoir in Deutschland war der Fuchs, der die Infektion auf Wild und Haustiere überträgt. Dem Rabiesvirus eng verwandt sind weitere Lyssaviren. Auch sie können Tollwut auslösen und sind v.a. bei Fledermäusen verbreitet.

Pro Jahr sterben 50.000–100.000 Menschen weltweit durch Rabies. Dabei handelt es sich aber in den industrialisierten Ländern im Wesentlichen um Infektionen, die außerhalb des Landes auf Reisen entstanden sind. Deutschland gilt nach der bis 2008 durchgeführten Impfaktion mit Köderimpfstoffen für Wildtiere, insbesondere den Fuchs, als frei von Tollwut.

Fledermäuse können befallen sein. Deshalb sollte man sie nie ohne Handschuhe anfassen!

Klinik

Die Inkubationszeit beträgt nur in 25% der Fälle weniger als 30 Tage, in 50% 30–90 Tage, in 20% mehr als 90 Tage und in 5% mehr als 1 Jahr. Bei Bissverletzungen im Gesicht kann die Inkubationszeit relativ kurz sein. Durch die lange Inkubationszeit ist praktisch in allen Fällen die Möglichkeit einer wirksamen, postexpositionellen aktiven Impfung gegeben.

Die Erkrankung verläuft unbehandelt immer tödlich, wobei zwischen den ersten Symptomen und dem Tod durch Atemlähmung nur wenige Tage liegen. Sie beginnt mit uncharakteristischen brennenden Schmerzen an der Bisswunde. Später kommen neurologische Ausfälle dazu mit Enzephalitis, Schluckkrämpfen, Hydrophobie, Krämpfe der gesamten Muskulatur, Lähmung der Hirnnerven und Bewusstlosigkeit.

◘ Tab. 14.3 Tetanus-Immunprophylaxe im Verletzungsfall. Maßnahmen in Abhängigkeit vom Immunstatus des Spenders bzw. Empfängers. (Aus: Empfehlungen der ständigen Impfkomission STIKO 2010)

	Saubere, geringfügige Wunden		Alle anderen Wunden	
Anzahl erhaltener Impfdosen	Aktive Impfung T(dap)	Passive Immunisierung TIG	Aktive Impfung T(dap)	Passive Immunisierung TIG
Unbekannt	Ja	Nein	Ja	Ja
0-1	Ja	Nein	Ja	Ja
2	Ja	Nein	Ja	Nein*
3 oder mehr	Nein**	Nein	Nein***	Nein

* ja, wenn die Verletzung älter als 24 h ist
**ja, wenn die letzte Impfung länger als 10 Jahre zurückliegt
***ja, wenn die letzte Impfung länger als 5 Jahre zurückliegt

Diagnose

Der direkte Antigennachweis ist in ca. 50% der Fälle positiv, die definitive Diagnose kann post mortem gestellt werden.

Referenzinstitut: Friedrich Löffler Institut, Dr. Thomas Müller, Seestraße 55, D-16868 Wusterhausen, T. 033979 – 80 – 186, E-Mail: thomas.mueller@wus.bfav.de.

Konsiliarlabor für Tollwut: Universitätsklinikum Essen, Institut für Virologie, Hufeland 55, D-4512 Essen, Prof. Dr. M. Roggendorf / PD Dr. R.S. Roß, T. 0201 – 723 – 3561, E-Mail: Roggendorf@uni-essen.de oder stefan.ross@uni-essen.de.

Prophylaxe

Die Tollwutimpfung war die erste erfolgreiche Impfung der Medizingeschichte (Louis Pasteur, 1885). Der heutige aktive Rabies Impfstoff (Rabipur, Rabivac) ist ein gut verträglicher, inaktivierter Virusimpfstoff aus Zellkulturen und in 2 Situationen zu empfehlen:

1. Berufsgruppen mit möglicher Exposition, z.B. Tierärzte, Jäger, Personen mit Kontakt zu Fledermäusen, Laborpersonal mit Rabiesexposition oder Individuen mit möglicher Reiseexposition (Trekkingreisen in Asien) sollten routinemäßig geimpft werden. Die präexpositionelle Rabiesimpfung wird in der Regel mit 3 Impfdosen durchgeführt. Eine Auffrischimpfung sollte bei weiterbestehender möglicher Exposition und bei einem Titer von <0,5 IE/ml alle 2–5 Jahre durchgeführt werden.
2. Bei der postexpositionellen Impfung sind 5 Impfdosen am Tag 0, 3, 7, 14 und 28 nötig. Zusätzlich wird eine passive Immunisierung mit humanem Rabiesimmunglobulin in einer Gesamtdosis von 20 IE/kg vorgenommen. Möglichst viel des passiven Impfstoffs sollte in die Umgebung der Wunde infiltriert und der Rest i.m. injiziert werden und zwar auf der entgegengesetzten Körperseite, in die der Aktivimpfstoff appliziert wurde.

Vorgehen nach Bissverletzung

Möglicherweise kontaminierte Körperstellen oder Wunden sollten unverzüglich und gründlich mit Seife oder Detergenzien gereinigt und mit 70%igem Alkohol oder einem Jodpräparat desinfiziert werden. Dies gilt auch für den Fall, dass sich jemand mit der Flüssigkeit eines Impfköders kontaminiert hat. Die aktive Immunisierung soll nach Herstellerangaben, wie bereits oben erwähnt am Tag 0, 3, 7, 14 und 28 mit jeweils einer Einzeldosis möglichst schnell nach Exposition erfolgen (◘ Tab. 14.4).

Bei Hunde und Katzen, die zu einem Haushalt gehören und 10 Tage beobachtet werden können, werden nach diesem Zeitraum bei entsprechenden Auffälligkeiten geimpft. Füchse, Hunde und Katzen scheiden 3–7 Tage vor Symptombeginn das Virus im Speichel aus. Wenn ein Tier nach 10 Tagen noch symptomfrei ist, kann man davon ausgehen, dass es keine Tollwut hat. Ob ein Gebiet tollwutfrei ist, kann beim Veterinäramt erfragt werden.

Tollwutverdacht muss generell bei Bissverletzungen im außereuropäischen Ausland angenommen werden. Als tollwutverdächtig gilt auch eine Fledermaus, die sich anfassen lässt oder sonstiges auffälliges Verhalten zeigt.

Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)

Die Frühsommer-Meningoenzephalitis ist eine Viruserkrankung und wird – wie die Lyme-Borreliose – durch Zeckenstiche übertragen. Risikogebiete in Deutschland sind insbesondere Baden-Württemberg und Bayern. Die Prävention besteht in einer aktiven Immunisierung von zeckenexponierten Personen in Risikogebieten.

Ob nicht Geimpfte nach einem Zeckenstich zur postexpositionellen Prophylaxe noch eine aktive Immunisierung erhalten sollen, ist unklar. Der (unbewiesenen) Möglichkeit, evtl. noch in der Inkubationszeit eine Immunisierung zu erhalten, steht das Risiko gegenüber, bei nach der Impfung evtl. auftretenden Beschwerden weder klinisch noch im Labor eine FSME abgrenzen zu können. Die postexpositionelle aktive Impfung kann v.a. bei Patienten mit einer bereits begonnenen, aber noch unvollständigen Grundimmunisierung diskutiert werden.

Die früher häufig angewendete passive Immunisierung mit FSME-Immunglobulin wird heute nicht mehr durchgeführt (www.rki.de/Infektionskrankheiten A–Z/FSME).

Diphtherie

Bei der Diphtherie handelt es sich um das *Corynebacterium diphtheriae*, das eine schwere Rachenentzündung mit ausgeprägter systemischer Toxizität und hoher Sterblichkeit verursachen kann.

Die aktive Immunisierung gegen Diphtherie ist seit Jahrzehnten ab dem 2. Lebensmonat Standard und hat in Westeuropa zu einem fast vollständigen Verschwinden dieser Erkrankung geführt. In den Tropen dagegen, insbesondere in Haiti und Indien, aber auch in Lettland, Russland, der Ukraine und Aserbaidschan kommt Diphtherie vor und kann von dort importiert werden.

In zunehmendem Umfang wird Diphtherie von toxinbildenden Stämmen dem *Corynebacterium ulcerans* verursacht, das Erregerreservoir sind Tiere, auch Nutz- und Haustiere.

In der chirurgischen Ambulanz könnte man mit der Wunddiphtherie konfrontiert sein. Verdächtig sind hier mit grau-braunen Belägen bedeckte Hautläsionen nach einem Aufenthalt in den Tropen oder anderen Ländern, in denen Diphtherie vorkommt.

◘ **Tab. 14.4** Indikationen für eine postexpositionelle Tollwut-Impfung (Aus: STIKO, Epidemiologisches Bulletin 30/2010

	Art der Exposition Tollwutverdächtiges Wild- oder Haustier oder eine Fledermaus	Art der Exposition Impfköder	Maßnahme
I	Berühren/Füttern von Tieren, Belecken der intakten Haut	Berühren von Impfködern bei intakter Haut	Keine Impfung
II	Knabbern an der unbedeckten Haut, oberflächliche, nicht blutende Kratzer, Belecken der nicht intakten Haut	Kontakt mit der Impfflüssigkeit eines beschädigten Impfköders mit nicht intakter Haut	Impfung
III	Jegliche Bissverletzung oder Kratzwunde, Kontamination von Schleimhäuten mit Speichel, Kontakt der Schleimhäute mit einer Fledermaus	Kontamination von Schleimhäuten oder frischen Hautverletzungen mit der Impfflüssigkeit eines beschädigten Impfköders	Impfung und simultan bei der ersten Impfung: Immunglobulin 20 IE/kg KG

Wenn eine mikrobiologische Untersuchung auf Diphtherie gebraucht wird, sollte vorab Kontakt mit dem mikrobiologischen Labor aufgenommen werden, da hier andere als die routinemäßigen Untersuchungsverfahren zum Einsatz kommen.

Der Verdacht auf Diphtherie ist, wie Erkrankung und Tod, meldepflichtig.

Geimpft wird mit dem Diphtherie-Toxoid. Eine Auffrischimpfung sollte alle 10 Jahre erfolgen, deshalb ist bei der Tetanusauffrischung routinemäßig die Kombination mit Diphtherietoxoid vorgesehen (abgekürzt »Td«; am besten noch kombiniert mit dem azellulären Pertussisimpfstoff: »Tdap«)

Blutgetragene Infektionen

Hepatitis B

Erreger

Das Hepatitis-B-Virus (HBV) ist ein behülltes DNA-Virus mit mäßiger Persistenz an der Umwelt. Die üblichen Hände- und Flächendesinfektionsmittel sind wirksam gegen HBV (Wirkspektrum »begrenzt viruzid«).

Epidemiologie

Wegen der oft hohen Viruslast im Blut von HBV-Trägern ist eine Übertragung durch kleinste Mengen kontaminierte Körperflüssigkeiten (im Wesentlichen durch Blut) möglich. Weltweit von großer Bedeutung ist die Übertragung von der Mutter auf das Kind im Rahmen der Geburt. In Westeuropa wird die Häufigkeit von HBV durch breit angelegte Impfprogramme und die Untersuchung von Blutkonserven immer geringer, im Jahr 2009 gab es in Deutschland 748 gemeldete neue Fälle bei weltweit etwa 350 Mio. HbS-Ag-Trägern. In Deutschland sind 0,4–0,8% der Einwohner HBs-AG positiv und somit potenziell infektiös; bei Drogenabhängigen, die sich Rauschmittel intravenös applizieren, sind es 3–5% (Robert-Koch-Institut 2010).

Hepatitis B im Gesundheitswesen

Im Wesentlichen wird das Virus über Nadelstichverletzungen übertragen, dabei kann etwa jeder 100. Patient als infektiös gelten. Insbesondere bei Risikogruppen ist Vorsicht geboten. Das Risiko einer HBV-Übertragung bei einer Nadelstichverletzung mit HBV-kontaminiertem Blut liegt bei 1:30 und ist höher als das für HCV und HIV. Die genaue Zahl von Infektionen im Gesundheitswesen ist nicht bekannt. Bei der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienste und Wohlfahrtspflege werden ca. 100 Verdachtsfälle pro Jahr bearbeitet (Infektionsepidemiologisches Bulletin 49/2007).

Die Inkubationszeit beträgt bei der akuten Virushepatitis des Erwachsenen 2–7 Monate.

Die Virushepatitis beginnt meist mit Ikterus. Der Krankheitsverlauf kann gelegentlich inapparent sein. In ca. 10% der Fälle chronifiziert der Verlauf, v.a. bei infizierten Neugeborenen. Selten treten foudroyante Krankheitsbilder mit Leberversagen auf. Die Häufigkeit liegt <1%.

Diagnose

Die Diagnostik erfolgt über den Nachweis der Antikörper (anti-HBc-IgM) und Antigene (HBs-Ag) sowie über den direkten Nachweis von HBV-DNA im Serum über PCR.

Prävention

Man sollte durch Einhalten der Vorschriften für Arbeitssicherheit dafür sorgen, dass sich Nadelstichverletzungen erst gar nicht ereignen.

Außerdem sollte sich jeder Mitarbeiter im Gesundheitswesen gegen Hepatitis B impfen lassen. Eine Verpflichtung hierzu kann der Arbeitgeber jedoch nicht aussprechen. Die HBV-Schutzimpfung muss bei der Einstellungsuntersuchung und bei arbeitsmedizinischen Kontrollen jedem Mitarbeiter mit Infektionsgefährdung kostenlos angeboten werden. Nach HBV-Impfungen muss der Impftiter geprüft werden. Wenn einmalig ein Titer von 100 IU/ml erreicht wurde, kann von einem jahrzehntelang anhaltenden Impfschutz ausgegangen werden.

Detaillierte Impfempfehlungen für Beschäftigte im Gesundheitswesen finden sich u.a. auf der Internetseite des BAG http://www.bag.admin.ch/themen/medizin/>Infektionskrankheiten>A–Z>Richtlinien und Empfehlungen>Impfempfehlungen für Beschäftigte im Gesundheitswesen

Postexpositionelle Prophylaxe

Empfehlungen zur postexpositionellen Prophylaxe bei HBV sind im Epidemiologischen Bulletin 1/2000 hinterlegt (http://www.rki.de/):

- Wenn der Exponierte einen sicheren HBV-Impfschutz hat (anti-HBs >100 IU/l in den letzten 12 Monaten oder erfolgreiche Impfung in den letzten 5 Jahren) oder wenn der »Spender« nachgewiesenermaßen HBs-AG negativ ist: keine HBV-spezifischen Maßnahmen (cave: wohl aber Maßnahmen bei HCV und HIV beachten!).
- Wenn der Exponierte erfolgreich geimpft war, die Impfung aber 5–10 Jahre zurückliegt oder der Titer zwischen 10 und 100 IU/l liegt: Booster-Impfung, aber kein Immunglobulin.
- Wenn der Patient HBs-AG positiv ist oder der Status des Spenders nicht ermittelt werden kann und der Beschäftigte nicht immun ist: simultane Impfung mit Hepatitis-B-Immunglobulin intragluteal und HBV-Impfstoff intradeltoidal. HBV-Impfung anschließend komplettieren.
- Wenn weder Beschäftigtendaten noch Spenderdaten verfügbar sind: innerhalb von 48 h nach Verletzung beim Beschäftigten anti-HBS und beim Spender HBs-AG bestimmen!

Hepatitis C

Epidemiologie

HCV ist ein behülltes Flavivirus mit einem RNA-Einzelstrang und einer hohen genomischen Variabilität, das sich in Körperflüssigkeiten akut und chronisch Infizierter findet. Die Übertragung erfolgt im Wesentlichen bei intravenösem Drogenmissbrauch, Tätowierungen, Sexualverkehr und über kontaminierte Medizinprodukte, z.B. Blutkonserven.

Im Jahr 2009 gab es in Deutschland 5412 neu diagnostizierte Fälle. Die geschätzte Prävalenz in Deutschland beträgt etwa 0,5%, wobei es sich meistens um chronische Virusträger handelt. Das Risiko einer Infektion nach berufsbedingten Stichverletzungen mit HCV-haltigem Blut beträgt bis zu 10%. Im Jahr 2009 gingen bei der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienste und Wohlfahrtspflege in Hamburg für die BRD 101 Meldungen einer berufsbedingten HCV-Infektion ein, 51 davon wurden anerkannt (Robert-Koch-Institut 2010).

Krankheitsbild

Die Inkubationszeit beträgt 5–12 Wochen. Es finden sich meist subklinische bis milde Verläufe einer Virushepatitis. Ein Ikterus tritt nur in etwa 25% der Fälle auf. Ohne adäquate Therapie kommt es in 70% der Fälle zu einer chronischen Infektion.

Therapie

Üblich ist eine frühzeitige Interferon-α-Therapie mit Fortführung für etwa 6 Monate.

Prävention

Eine aktive Immunisierung ist derzeit nicht möglich. Deshalb ist eine geeignete Expositionsprophylaxe essenziell. Der hausinterne Standard zum Vorgehen nach Nadelstichverletzungen muss allen Mitarbeitern bekannt sein. Seine Eckpunkte sind: die Blutung zu fördern, die Wunde zu desinfizieren und den Hergang zusammen mit den Patientendaten zu dokumentieren.

Nach Nadelstichverletzungen ist eine engmaschige Überwachung auf HCV-PCR im Blut nötig, um ggf. eine frühzeitige Therapie mit Interferon-α einleiten zu können. Dadurch kann in ca. 90% eine chronische Hepatitis C verhindert werden (Wicker et al. 2009).

HIV

Erreger und Epidemiologie

Das humane Immundefizienz Virus (HIV) stammt aus der Familie der Retroviridae. Es verursacht das erworbene Immundefizienzsyndrom (AIDS). Zentrale Bedeutung für die Erkrankung hat die virusbedingte Zerstörung der CD4-Helfer-T-Lymphozyten, obwohl auch viele andere Zelltypen befallen werden.

Die Übertragung erfolgt im Wesentlichen über sexuelle Kontakte, parenteral über kontaminierte Blutprodukte oder vertikal von der Mutter auf das Kind.

Normale soziale Kontakte, wie die gemeinsame Benutzung von Geschirr oder sanitären Einrichtungen, bergen kein Infektionsrisiko. Das Virus ist, der Umwelt ausgesetzt, wenig stabil. Daher sind Übertragungen durch kontaminierte Oberflächen kaum möglich.

Seit der Entdeckung im Jahr 1981 kam es zu einer raschen, globalen, progredienten Verbreitung; weltweit leben mittlerweile mehr als 40 Mio. infizierte Menschen und pro Jahr kommen nach Schätzungen der WHO (2005) 4 Mio. neue dazu. In Deutschland sind es ca. 49.000 (Schätzung des RKI).

In der BRD bleibt die Neuinfektionsrate trotz Aufklärungskampagnen konstant. Im Jahr 2009 wurden in der BRD 2856 HIV-Neuinfektionen gemeldet. Dies entspricht etwa dem Stand von 2008. Der Hauptinfektionsweg führt über homosexuelle Kontakte unter Männern. Die Bundesländer mit der höchsten Prävalenz sind Berlin, Hamburg und Bremen.

Berufsbedingt erworbene HIV-Infektionen sind selten. Das Infektionsrisiko nach einem Nadelstich mit HIV-belastetem Blut liegt im Schnitt <1%. Bis zum Juli 2007 wurden in der BRD insgesamt 59 HIV-Fälle als berufsbedingt anerkannt.

Die Diagnostik erfolgt serologisch durch Antikörpernachweis. Die Neudiagnose von HIV ist nach §7 Abs3 IFSG ohne Nennung der Personalien des Patienten meldepflichtig.

Verlauf

Ein bis 6 Wochen nach der Ansteckung kommt es zum uncharakteristischen, ca. 1 Woche dauernden Krankheitsbild der Primärinfektion mit Fieber, Lymphknotenschwellung und einem geringen Exanthem. Eine Serokonversion tritt nach 4–8 Wochen auf. Ein negativer Antikörpernachweis 12 Wochen nach einer vermeintlichen Ansteckung schließt eine Infektion mit hoher Sicherheit aus (Robert-Koch-Institut 2010).

Die asymptomatische klinische Latenz kann wenige Monate betragen oder viele Jahre. Im Durchschnitt sind es 10–12 Jahre. Mit antiretroviralen Medikamenten kann der Ausbruch von AIDS jahrelang hinaus gezögert werden.

Die symptomatische klinische Erkrankung ist charakterisiert durch opportunistische Infektionen, Kaposi-Sarkom, Lymphome und neurologische Manifestationen. Die Erkrankung ist tödlich.

Therapie

Die Therapieempfehlungen sind einem raschem Wandel unterworfen, sodass hier auf die Fachempfehlungen der einschlägigen Fachgesellschaften, z.B. der Deutschen AIDS-Gesellschaft verwiesen wird unter http://www.daignet.de/.

Referenzzentrum: Nationales Referenzzentrum für Retroviren, Institut für Klinische und Molekulare Virologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Schlossgarten 4, 91054 Erlangen, Prof. Dr. Fleckenstein, T. 09131 – 852-2762 oder -4010; Fax: 09131 – 852-6485, E-Mail: nrzretro@viro.med.uni-erlangen.de.

Postexpositionsprophylaxe

Nach HIV-Exposition vermindert die Einnahme von antiretroviralen Substanzen signifikant das Infektionsrisiko, z.B.:

- Zidovudin+Lamivudin = Combivir → plus Evavirenz = Sustiva oder
- Tenofovir+Emtricitabin = Truvada → plus Evavirenz = Sustiva.

Sie muss innerhalb der ersten 24 h, am besten innerhalb von 2 h begonnen und für 4 Wochen eingenommen werden (Tab. 14.5). Nach aktuellem Kenntnisstand ist sie nicht mehr wirksam, wenn die Exposition länger als 72 h zurückliegt. Das Risiko einer Infektion muss sorgfältig gegen die möglichen Nebenwirkungen, insbesondere bei Schwangerschaft, abgewogen werden; daher ist die Entscheidung nicht immer einfach.

Eine HIV-Postexpositionsprophylaxe (PEP) sollte auf jeden Fall bei Kontakten mit erhöhtem Infektionsrisiko empfohlen werden, wie perkutanen Stichverletzungen mit Hohlnadeln (Injek-

Tab. 14.5 Indikation zur HIV-PEP bei beruflicher HIV-Exposition (nach der Empfehlung der DAIG und ÖAG zur Postexpositionellen Prophylaxe der HIV-Infektion 2008)

Perkutane Verletzung mit Injektionsnadel oder anderer Hohlraumnadel (Körperflüssigkeit mit hoher Viruskonzentration: Blut, Liquor, Punktatmaterial, Organmaterial, Viruskulturmaterial)	Empfehlen
– Tiefe Verletzung (meist Schnittverletzung), sichtbares Blut	Dringend empfehlen
– Nadel nach intravenöser Injektion	Dringend empfehlen
Oberflächliche Verletzung (z.B. mit chirurgischer Nadel)	Anbieten
– ggf. Ausnahme, falls Indexpatient AIDS oder eine hohe HI-Viruskonzentration	Nicht empfehlen
Kontakt von Schleimhaut oder verletzter/geschädigter Haut mit Flüssigkeiten hoher Viruskonzentration	Empfehlen
Perkutaner Kontakt mit anderen Körperflüssigkeiten als Blut (wie Urin oder Speichel)	Nicht empfehlen
Kontakt von intakter Haut mit Blut (auch bei hoher Viruskonzentration)	Nicht empfehlen
Haut- oder Schleimhautkontakt mit Körperflüssigkeiten wie Urin und Speichel	Nicht empfehlen

tionsnadeln) oder offenen Schnittverletzungen, die Kontakt mit HIV-belasteten Flüssigkeiten wie Blut gehabt haben.

Eine HIV-Postexpositionsprophylaxe kann angeboten werden bei oberflächlichen Verletzungen oder bei Kontakt von Schleimhaut oder entzündlich veränderter Haut mit HIV verdächtiger Flüssigkeit.

Eine HIV-PEP sollte nicht empfohlen werden bei Kontakt mit intakter Haut.

Detaillierte Empfehlungen zur Entscheidung über die Durchführung einer medikamentösen Postexpositionsprophylaxe gegen HIV und Anweisungen zur Durchführung finden sich in den Internetseiten des Robert Koch Instituts unter http://www.rki.de/ > Infektionskrankheiten A–Z > HIV/AIDS > Empfehlungen > »Deutsch-österreichische Empfehlungen zur postexpositionellen Prophylaxe nach HIV Exposition« und in den AWMF-Leitlinien unter http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/. Eine Übersicht aus den genannten Quellen zeigt die Tab. 14.5.

Das Regeluntersuchungsprogramm nach berufsbedingter HIV-Exposition findet sich bei der BGW http://www.bgw-online.de/.

Universelle Vorsichtsmaßnahmen müssen beim Umgang mit Blut, blutigen Körperflüssigkeiten, Sperma, Vaginalsekret, Gewebe, Liquor, Gelenk-, Pleura-, Peritoneal-, Perikard- und Amnionflüssigkeit eingehalten werden.

Maßnahmen zur Verhinderung von blutgetragenen Infektionen im Gesundheitswesen

Standardhygiene

Nicht nur bei der Behandlung von HIV-Infizierten und AIDS-Patienten ist die Beachtung anerkannter Regeln der Hygiene unerlässlich. Prinzipiell gilt in Klinik und Labor jedes Patientenblut als verdächtig. Zur Prävention blutübertragener Infektionen haben sich Standardhygienemaßnahmen bewährt:

- Personen mit nicht abgedeckten Wunden oder nässenden Hautläsionen sollte nicht in direktem Patientenkontakt eingesetzt werden.
- Bei allen Manipulationen, bei denen ein Kontakt mit virushaltigen Körperflüssigkeiten (Blut, Sekreten, Exkrementen) möglich ist, müssen Schutzhandschuhe getragen werden. Nach dem Ausziehen der Schutzhandschuhe sollten die Hände desinfiziert werden.
- Wenn virushaltige Tröpfchen von Blut oder Körperflüssigkeiten entstehen und in Kontakt mit Schleimhäuten (Auge, Mund, Nase) kommen könnten, sollte ein Mund-Nasen- und Augenschutz getragen werden. Dafür stehen mehrlagige Mund-Nasen-Schutzbinden und Visiere oder Schutzbrillen zur Verfügung.
- Wenn die Art der Tätigkeit ein Durchnässen der Kleidung erwarten lässt, sollten flüssigkeitsdichte Schutzkittel getragen werden.
- Seit 2008 ist in Deutschland die Verwendung von stichsicheren Kanülen vorgeschrieben (TRBA und ABAS). Die meisten Stichverletzungen entstehen beim Zurückstecken von Kanülen in die Schutzhülle oder wenn Kanülen zusammen mit anderem zu entsorgendem Material liegen bleiben und anschließend entsorgt werden. Alle scharfen oder spitzen Gegenstände, die mit Blut oder Körperflüssigkeiten verunreinigt sein können, müssen ohne Gefährdung Dritter sicher entsorgt werden. Entsprechende Hinweise sind z.B. in der »Richtlinie über ordnungsgemäße Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes« und »Hygienische Maßnahmen zur Verhütung der Übertragung von HIV im Krankenhaus« enthalten (Anlage zur Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, www.rki.de > Infektionsschutz > Krankenhaushygiene > Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention, weitere Empfehlungen vor 1997) sowie auch in den einschlägigen Technischen Regeln für biologische Arbeitsstoffe – z.B. TRBA 250 – aufgeführt (www.baua.de). Hinterlegt in der TRBA 250 (http:///www.baua.de)
- Jeder Mitarbeiter muss die hauseigenen Dokumente zum Vorgehen nach einer Nadelstichverletzung (oder sonstigen mit Patientenblut kontaminierten Verletzung) kennen. Nur so kann er schnell und richtig handeln. Standardinhalt dieser Dokumente sind: Fördern der Blutung, Desinfektion, Verband, Dokumentation, Entscheidung über HIV-Prophylaxe oder passive Hepatiti- B-Immunisierung, Asservierung von Blutproben des verletzten Mitarbeiters und (wenn bekannt) des Patienten.
- Ein D-Arzt-Bericht muss erstellt werden, die Steuerung des weiteren Vorgehens (weitere Blutproben im Rahmen der Beobachtung) übernimmt der Betriebsarzt. Eine Arbeitsunfähigkeit nach Nadelstichverletzung besteht erst einmal nicht.
- Die Berufsgenossenschaft für Gesundheitspflege und Wohlfahrt hat ein Regeluntersuchungsprogramm nach Stichverletzungen festgelegt, einsehbar unter http://www.bgw-online.de/.
- Von medizinischem Personal mit HBV, HCV oder HIV Infektion können, je nach Art der Tätigkeit, Viren auf Patienten übertragen werden. Hier sind vom Arbeitgeber Einzelfallentscheidungen über eine adäquaten Arbeitseinsatz zu treffen (s. »Empfehlungen zur Verhütung der Übertragung von Hepatitis-B-Virus durch infiziertes Personal im Gesundheitsdienst«, Epid Bull 1999; 30: 221–223).

Weiterführende Literatur: Geberding 1995, Sarrazin et al. 2005, Wicker et al. 2009.

14.1.4 Prävention von Wundinfekten

Postoperative Wundinfektionen sind die dritthäufigste nosokomiale Infektionsart (nach nosokomialen Pneumonien und Harnwegsinfektionen) NIDEP-1 1995. Abhängig von der Art des Eingriffs und den Begleitumständen treten sie nach 0,1–15% der Operationen auf; z.B. bei Hüft-Totalendoprothesen nach Fraktur im Mittel 2,71% (2009, Referenzdaten des NRZ).

Häufigster Erreger im Bereich der Traumatologie ist Staph. aureus. Aktuelle Zahlen zu postoperativen Wundinfektionen und zum Erregerspektrum finden sich in den KISS-Referenzdaten (http://www.nrz-hygiene.de).

Infektionsweg

Die folgenden Ausführungen entsprechen im Wesentlichen den weit ausführlicheren Empfehlungen des Robert-Koch-Instituts, die zu finden sind unter www.rki.de/Infektionsschutz/Krankenhaushygiene/Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention/Prävention postoperativer Infektionen im Operationsgebiet.

Die Erreger können (meistens) endogen von der Haut oder Schleimhaut des Patienten stammen oder von außen in das Wundgebiet gelangen (exogen). Jedes Operationstrauma hinterlässt mit avitalem Gewebe oder minderdurchbluteten Arealen (Hämatom, Stauung, Metall, Nahtmaterial) einen Locus minoris resistentiae, der das Infektionsrisiko erhöht.

Ohne Drainagen gilt 24 h nach Wundverschluss eine primär heilende Wunde als nicht mehr durch Erreger von außen gefährdet.

Ein Risiko für Wundheilungsstörungen ist die verminderte Perfusion im Wundgebiet. Eine verminderte Perfusion im Wundgebiet kann durch zu hohen Gewebedruck bei ausgeprägter Schwellung mit Hämatom, Ödem oder Serom entstehen. Aber auch strangulierende Nähte, zu enge Verbände, Fragmentdruck bei fehlstehenden Frakturen, Fremdkörper in Form von Fadenknoten und vieles mehr wirken sich negativ aus.

Die meisten postoperativen Wundinfektionen manifestieren sich zwischen dem 3. und 8 postoperativem Tag, bei der Implantatchirurgie treten sie häufig später auf (s. »Infizierte Endoprothese«).

Die Erreger stammen im Wesentlichen von der körpereigenen Haut- oder Schleimhautflora (z.B. Koagulase negative Staphylokokken [KNS] bei Protheseninfektionen) oder von einer zum Zeitpunkt der Infektion bestehende Infektion an einer anderen Körperstelle und gelangen im Rahmen der Operation an die spätere Infektionsstelle. Als exogene intraoperative Infektionsquellen kommen zunächst einmal die vom Operationsteam stammenden Keime der Haut- und Respirationsflora in Betracht, die unbelebten Flächen und die Luft des Operationssaals spielen eine untergeordnete Rolle. Unter Umständen können unsachgemäß aufbereitete oder rekontaminierte Medizinprodukte hier eine Rolle spielen.

Postoperativ exogene Infektionswege können über Drainagen, Spülungen oder Wunddehiszenzen laufen.

Patienteneigene Risikofaktoren und Präventionsmaßnahmen

Es konnten ein Reihe von Risikofaktoren definiert werden, viele davon sind patienteneigen und nur begrenzt beeinflussbar: Neben Grunderkrankungen wie Diabetes mellitus oder einer malignen Grunderkrankung sind es Mangelernährung oder Adipositas, Anämie und immunsuppressive Therapie. Bei elektiven Eingriffen sollte versucht werden, auf diese Patientenumstände einzuwirken:

- Optimale Einstellung eines Diabetes mellitus
- Gewichtsreduktion bei Adipositas
- Behebung einer katabolen Stoffwechsellage
- Einstellen des Rauchens mindestens 30 Tage vor Operation

Eine besondere Rolle spielen bestehende Infektionen an anderer Körperstelle, von diesen können postoperative Wundinfektionen ausgehen. Nach Möglichkeit sollten etwaige vorbestehende Infektionen identifiziert und saniert sein.

Daher gilt: Sanierung von bestehenden Infektionen.

Die meisten postoperativen Wundinfektionen mit Staphylococcus aureus stammen von Stämmen, die sich auch in der Nase des betroffenen Patienten finden. Wenn sich Staphylococcus-aureus-Träger einer Dekontamination der Nasenschleimhaut unterziehen, haben sie signifikant weniger Staphylococcus-aureus-Wundinfektionen. Eine generelle Empfehlung, für alle Patienten präoperativ antiseptische Nasensalben oder Mupirocin anzuwenden, gibt es aber nicht. Es könnte sich lohnen, bei elektiven Eingriffen präoperativ nach Staphylococcus aureus in der Nase zu suchen und diesen zu eradizieren, speziell sinnvoll ist dies bei Patienten, die zum **MRSA-Risikokollektiv** gehören:

- Sanierung von nasalen Staphylococcus-aureus-Besiedelungen
- MRSA-Screening und MRSA-Eradikation

Perioperative Risikofaktoren und Präventivmaßnahmen am Patienten

Eine längere präoperative stationäre Verweildauer ist mit einer höheren Infektionsrate verbunden: Die präoperative Verweildauer sollte daher kurz sein.

Signifikant mit dem Risiko von postoperativen Wundinfektionen verbunden ist die präoperative Rasur. Sie soll eindeutig unterlassen werden. Die beim Rasieren entstehenden Mikroläsionen sind bakteriell besiedelt und durch die Hautantiseptik nicht ausreichend erreichbar. Daher gilt: Keine Rasur präoperativ! Wenn eine Haarentfernung nötig ist, nur Haarkürzung (Clipper) unmittelbar vorher.

Antiseptisches Duschen am Vorabend und Morgen der Operation reduziert die Keimzahl auf der Patientenhaut signifikant; ob dieses Vorgehen Auswirkungen auf die Infektionsrate hat, ist nicht einheitlich bewertet.

Die Bettwäsche des Patienten, der in den Operationssaal gefahren wird, sollte frisch sein.

Da viele Infektionen von **Keimen von der Haut des Patienten** ausgehen, ist eine sorgfältige Haut-Antisepsis enorm wichtig. Zur optimalen Einwirkzeit gibt es keine durch Studien belegte Aussagen, sie ist daher produktspezifisch definiert, z.B. 1–5 min bei talgdrüsenarmer, 10 min bei talgdrüsenreicher Haut. Ein gefärbtes Hautdesinfektionsmittel ist von der Anwendung her sicherer als ein farbloses. Das desinfizierte Hautareal sollte groß genug sein, um für etwaige Erweiterungen des Hautschnitts präpariert zu sein.

Hautantiseptika können Verschmutzungen nicht ausreichend sicher desinfizieren, deshalb ist präoperativ eine Entfernung von Verschmutzungen im Operationsbereich nötig.

Der infektionsbegünstigende Einfluss von Baumwollpartikeln ist nachgewiesen, Abdeckmaterialien und Operationsmäntel sollen deshalb nicht aus Baumwolle und sie sollen flüssigkeitsdicht sein. Für selbstklebende Inzisionsfolien ist kein infektionsverhindernder Effekt belegt, sie sind eher nachteilig.

Die Wirksamkeit der perioperativen Antibiotikaprophylaxe ist in zahlreichen Untersuchungen belegt. Die Antibiotikaprophylaxe ist in ▶ Abschnitt 14.1.5 beschrieben.

Mitarbeiter, die den Operationsbereich betreten, dürfen keine offenen Wunden oder infizierten Hauterkrankungen oder sonstige floride Infektionen haben, wie z.B. ein Panaritium.

Die Fingernägel müssen kurz geschnitten und sauber sein. An den Händen und Unterarmen dürfen keine Schmuckstücke, Armbanduhren oder Ringe getragen werden. Künstliche Fingernägel und farbiger Nagellack sind im Operationssaal nicht gestattet, weil sie die Gefahr bergen, dass man Verschmutzungen nicht erkennt. Alle Mitarbeiter im Operationssaal tragen eine farbige Bereichskleidung, die in der Schleuse angelegt wird. Hierbei sollen zumindest die Mitglieder des Operationsteams das Hemd in der Hose tragen. Beim Betreten des reinen Bereichs der Schleuse, auf jeden Fall aber noch bevor man in die Stapel mit der Bereichskleidung greift, muss eine hygienische Händedesinfektion durchgeführt worden sein. Beim Anziehen der Bereichskleidung muss auch eine Kopfhaube aufgesetzt werden, die das gesamte Haupthaar bedeckt. Bei Vollbartträgern müssen die Hauben auch die seitlichen Bartanteile bedecken.

Der Mund-Nasen-Schutz muss eigentlich nur im Operationssaal und im Sterilflur getragen werden. Es ist aber oft praktischer, ihn gleich in der Schleuse anzulegen. In der Personalschleuse wird, nach hygienischer Händedesinfektion, Bereichskleidung angelegt. Vor dem Verlassen der Schleuse in den Operationsflur ist eine erneute hygienische Händedesinfektion angezeigt.

Die **chirurgische Händedesinfektion** wird anders durchgeführt als noch vor Jahren: Während früher auf das Waschen vor dem

Operationssaal, u.U. mit Bürsten der Hände, großer Wert gelegt wurde, soll die Waschphase jetzt bei Dienstbeginn und in der Schleuse durchgeführt werden. Das Bürsten ist im Prinzip ganz zu unterlassen (außer zum Entfernen hartnäckiger Verschmutzungen an den Fingerkuppen). Die Begründung dafür ist, dass nur komplett trockene Hände eine sichere und anhaltende Wirkung der chirurgischen Händedesinfektion gewährleisten. Die Einwirkzeit der Händedesinfektionsmittel ist produktspezifisch 1,5 min oder 3 min. Nach der Händedesinfektion legt das Operationsteam im Operationssaal sterile Operationskittel (am besten Einwegkittel, deren Erregerdichtheit geprüft ist) und sterile Handschuhe an. Die Verwendung von 2 Paar Operationshandschuhen übereinander senkt signifikant die Perforationsgefahr und damit das Risiko der Kontamination sowohl für den Patienten als auch für den Chirurgen. Bei Operationen von Patienten mit HBV, HVC oder HIV sollen Indikatorhandschuhe verwendet werden, die Perforationen der äußeren Schicht farbig kenntlich machen. Bei Eingriffen, die einen »septischen« und einen »sauberen« Teil haben, sollen vor Beginn des sauberen Teils die Handschuhe gewechselt werden.

Das Händewaschen sollte nach Möglichkeit bereits in der Schleuse erfolgen. Eine chirurgische Händedesinfektion soll nur auf absolut trockener Haut erfolgen.
Es sollen 2 Paar Handschuhe getragen werden und bei einer etwaigen Perforation der äußeren Schicht soll diese gegen neue Handschuhe getauscht werden.

Die Türen des Operationssaals sollten während des Eingriffs geschlossen gehalten und die Zahl der im Operationssaal anwesenden Personen auf das notwendige Minimum beschränkt werden.

Beim Sprechen können trotz Mund-Nasenschutz Tröpfchen mit Keimen aus der Mundflora in die Umgebung freigesetzt werden. Das Sprechen im Operationssaal sollte deshalb auf die notwendige Kommunikation beschränkt bleiben. Wenn der Mund-Nasen-Schutz durchfeuchtet ist, muss er gewechselt werden. Auf keinen Fall darf der Mund-Nasen-Schutz »heruntergeklappt« und mit der Innenseite nach außen getragen werden.

Mund-Nasen-Schutz nicht heruntergeklappt tragen, sondern gegen einen neuen tauschen.

Zwischen 2 Operationen muss auf jeden Fall der Operationskittel gewechselt werden. Die chirurgische Händedesinfektion zwischen den Operationen erfolgt ausschließlich als Händedesinfektion, es sei denn, die Hände sind kontaminiert worden.

Einfluss der Operationstechnik

Selbstverständlich muss nach den einschlägigen Regeln aseptisch gearbeitet werden, dies betrifft insbesondere den Umgang mit den Instrumenten und sonstigen Medizinprodukten. Die sichere Aufbereitung muss gewährleistet sein und ist im Medizinproduktegesetz gefordert. Die Operationsräume müssen so beschaffen sein, dass ein sicheres, aseptisches Arbeiten gewährleistet ist.

Bei der Operation soll möglichst atraumatisch vorgegangen werden. Jedes Operationstrauma hinterlässt minderperfundiertes Gewebe, das ebenso wie Hämatome oder eingebrachte Fremdkörper einen Locus minoris resistentiae darstellt und damit das Anwachsen von Keimen begünstigt. Avitales Gewebe und gequetschtes Subkutangewebe werden am Ende des Eingriffs exzidiert.

Mit der Dauer der Operation steigt das Risiko der postoperativen Infektion. Drainagen sollten nicht ohne Notwendigkeit angelegt werden, da sie eine potenzielle Eintrittspforte für Erreger sind.

Eine perioperative Hypothermie, die ohne entsprechende Vorsichtsmaßnahmen sich unter dem Laminar-Air-Flow rasch entwickeln kann, ist ein weiterer Risikofaktor, ebenso wie eine perioperative Entgleisung des Blutzuckerwerts, Hypoxämien oder Anämien.

Wichtig sind: zügiges, atraumatisches Arbeiten, effektive Blutstillung, Drainagen nur wenn nötig; gute Narkoseführung, keine Blutzuckerentgleisung; keine Unterkühlung.

Postoperative Maßnahmen

Wundverbände müssen steril sein. Der erste Verbandswechsel sollte erst nach 24–48 h erfolgen, wenn die Wundsekretion sistiert. Kontaminierte oder durchgeblutete Verbände müssen allerdings sofort ersetzt werden, weil sie einen Nährboden für Mikroorganismen bilden.

Drainagen stellen eine Keimbahn bis in die Tiefe der Operationswunde dar und sollten so früh wie möglich entfernt werden. Bei Manipulationen an den Auffangbehältern ist das Risiko des Keimeintrags gegeben. Sekretauffangbeutel dürfen nicht über das Niveau der Drainage angehoben werden, es könnte sonst kontaminiertes Sekret in die Wunde zurückfließen.

Beim Verbandswechsel, beim Umgang mit Drainagen und bei der Entfernung von Nahtmaterial muss aseptisch vorgegangen werden.

Wenn Patienten mit noch nicht ganz verheilter Operationswunde entlassen werden, müssen sie über den korrekten Umgang mit der Wunde und Frühzeichen möglicher postoperativer Wundinfektionen aufgeklärt werden (Bundesgesundheitsblatt 2007, AWMF-online, Roy 2003, NHS clinical guideline, Mangram et al. 1999, Nichols 2001, Lonneke et al. 2010).

Surveillance postoperativer Wundinfektionen

Eine Dokumentation von auftretenden postoperativen Wundinfektionen mit Rückmeldung an die durchführende Abteilung und statistischer Auswertung ist geeignet, die Rate an postoperativen Wundinfektionen zu senken. Eine derartige Surveillance ist auch im § 23 des Infektionsschutzgesetzes verankert und ein wertvolles Instrument der Qualitätssicherung.

Die Überwachung postoperativer Wundinfektionen sollte nicht nur dem formalen Zwecken der Rechtssicherheit und des Bestehens von Zertifizierungen Sorge tragen, sondern auch inhaltliche Ziele erfüllen:

- Die unmittelbare Rückkoppelung von Auffälligkeiten an die betroffene chirurgische Abteilung kann frühzeitig Interventionen bei Versagen von ansonsten funktionierenden Präventionsmaßnahmen ermöglichen.
- Die statistische Auswertung und der Vergleich mit Referenzwerten erlaubt es, Standards und Gepflogenheiten zu überdenken.

Die praktische Durchführung einer Surveillance postoperativer Wundinfektionen ist jedoch eine gewisse Herausforderung, weil sie, korrekt durchgeführt, zeitaufwändig ist. Wenn es die personellen Ressourcen gestatten, ist eine Beteiligung an einem oder mehreren Modulen des KISS-Programms anzustreben. Ansonsten empfiehlt es sich, wenigstens analog der Kriterien des NRZ vorzugehen, um sich mit den Referenzwerten vergleichen zu können. Die Referenzzahlen, die im Internet frei einsehbar sind, eignen sich hervorragend als Vergleichsparameter (www.urz-hygiene.de/surveillance).

Bei hauseigenen Methoden muss zunächst die Gesamtzahl der jeweiligen Eingriffe bekannt sein, diese Zahlen sind normalerweise problemlos vom Medizincontrolling zu haben. Schwieriger ist es,

von allen zu überwachenden Operationen die Meldeformulare tatsächlich zu bekommen. Es reicht nicht, nur im Falle einer Infektion auf eine Meldung zu warten. Um die Vollständigkeit der Erhebung zu garantieren, müssen auch alle anderen Fälle aktiv mit »nein« gekennzeichnet sein. Hierbei kann eine EDV-gestützte Lösung von Nutzen sein, die bei der Entlassung des Patienten nach einer etwaigen stattgehabten postoperativen Wundinfektion fragt. Problematisch ist bei kurzen Verweildauern, dass viele Infektionen gar nicht erfasst werden.

Eine Möglichkeit, wenigstens post festum die wahren Infektionsraten realistischer einschätzen zu können, besteht über die Suche nach DRG-Parametern, die auf postoperative Komplikationen, insbesondere Infektionen hinweisen. Wenn am Ende eines Beobachtungsabschnitts alle Patientenaufenthalte mit der Aufnahme- bzw. Hauptdiagnose z.B. T81.4 durchgesehen werden, lassen sich auch die Infektionen identifizieren, die sich erst nach der Entlassung des Patienten manifestiert haben. Darüber hinaus gibt es weitere Codes für infektbedingte Komplikationen (Brand et al. 2006).

14.1.5 Umgang mit Antibiotika

Grundlagen und Indikation

Die perioperative Antibiotikaprophylaxe ist ein effektives und bewährtes Mittel zum Vermeiden postoperativer Wundinfektionen. Sie wird in aller Regel als Einmalgabe (single shot) appliziert, und nur bei einer Operationsdauer von >2 h oder bei massivem Blutverlust wiederholt.

Der ideale Zeitpunkt für die Verabreichung eines single shot liegt 30 min vor Operationsbeginn. In der Praxis fällt dieser Zeitpunkt meist mit der Einleitung der Narkose zusammen. Auf jeden Fall muss das Antibiotikum vor dem Anlegen einer Blutsperre vollständig infundiert sein. Bei Eingriffen mit Blutsperre kann eine Folgedosis nach Wiederöffnen der Blutsperre indiziert sein. Bei größeren Eingriffen mit Implantation von Fremdkörpern, z.B. beim Einbau einer Hüft-TEP, kann eine Fortführung der Prophylaxe bis zu 24 h nach der Operation sinnvoll sein (Engesaeter et al. 2003). Es gibt aber keine generelle Empfehlung hierzu.

Von einer Fortführung der perioperativen Antibiotikaprophylaxe über 24 h nach Operationsende wird abgeraten, ein Nutzen ist nicht belegt und das Risiko von Resistenzentwicklung und Clostridium difficile-Erkrankung steigt (Paul Ehrlich Gesellschaft 2010). Aktuelle, ausführliche Unterlagen zur perioperativen Antibiotikaprophylaxe finden sich unter www.p-e-g.org/Leitlinien/Empfehlungen.

Für Eingriffe aus dem Bereich der Unfallchirurgie empfehlen sich z.B. die in ◘ Tab. 14.6 genannten Substanzen.

In manchen Situationen muss davon ausgegangen werden, dass durch hohen Keimeintrag bereits eine Infektion im Entstehen ist. Es sind dies insbesondere Bisswunden und Verletzungen in der Landwirtschaft, aber auch generell stark kontaminierte Wunden oder ältere offene Frakturen, die länger als 12 h bestehen. In solchen Fällen wird gleich eine Antibiotikatherapie eingeleitet, wie in ◘ Tab. 14.7 aufgeführt.

Mupirocin in Form einer Salbe (Turuxin), intranasal oder als Schleimhautantiseptikum angewendet kann Staphylococcus aureus aus der Nase eradizieren. Bei bekannten Staphylococcus-aureus- und MRSA-Trägern sollte vor elektiven Eingriffen ein Dekontaminationsversuch erfolgen. Ob generell präoperativ eine Staphylococcus-aureus-Prophylaxe in der Nase durchgeführt werden soll, wird momentan noch diskutiert (Wacha et al. 2010, Bratzler et al. 2004, Cochrane database 2009, Engesaeter et al. 2003, Kasteren et al. 2007, Scottish 2008, ASHP Therapeutic Guidelines 1999).

◘ **Tab. 14.6** Antibiotika zur perioperativen Prophylaxe in der Unfallchirurgie

Art des Eingriffs/Diagnose	Antibiotikum/Alternativen
Totalendoprothetik	Cefuroxim 1,5 g oder Cefazolin 2 g
	Bei Allergie: Vancomycin 1 g oder Clindamycin 600 mg (je nach lokaler Resistenzlage)
	Bei MRSA-Trägern: Vancomycin 1 g (Vancomycin soll aber nicht routinemäßig gegeben werden)
Große Röhrenknochen	Cefazolin 2 g oder Cefuroxim 1,5 g
	Bei Allergie oder MRSA: Vancomycin 1 g
Infektion in der Vorgeschichte Infektion an anderer Stelle Revision mit Einbau von Fremdmaterial	Cefazolin 2 g oder Cefuroxim 1,5 g
Primär offene Fraktur	Cefazolin 2 g
	Bei Allergie: Levofloxacin 500 mg

◘ **Tab. 14.7** Antibiotikatherapie bei Verdacht auf bereits bestehende Infektion

Bisswunde Hand/Gesicht oder kontaminierte offene Fraktur	Amoxicillin + Clavulansäure 3-mal 2,2 g für 3–5 Tage
	Bei Allergie: Moxifloxacin 400 mg
Offenes Schädel-Hirn-Trauma	Ceftriaxon 1-mal 2 g oder Cotrimoxazol 2-mal 2 Amp. i.v. für die Dauer der Liquor-Leckage

Mikrobiologische Diagnostik

Allgemeine Parameter aus dem klinisch-chemischen Labor zur Infektionsdiagnostik sind das Blutbild mit Differenzialblutbild, CRP und Procalcitonin. Bei Infektionen soll die klassische kulturelle mikrobiologische Diagnostik Kenntnis über den Erreger und die richtige Wahl der Antibiotika bringen, um eine optimale Therapie zu ermöglichen.

Probenmaterialien aus dem Bereich der Unfallchirurgie sind im Wesentlichen Abstriche, Punktate und bei Fieber >38,5°C auch Blutkulturen, ggf. auch Gewebeproben. Die Infektionsserologie spielt in der Unfallchirurgie eine geringere Rolle. Damit die mikrobiologische Diagnostik möglichst aussagekräftigt ist, müssen die im Folgenden genannten Voraussetzungen gegeben sein.

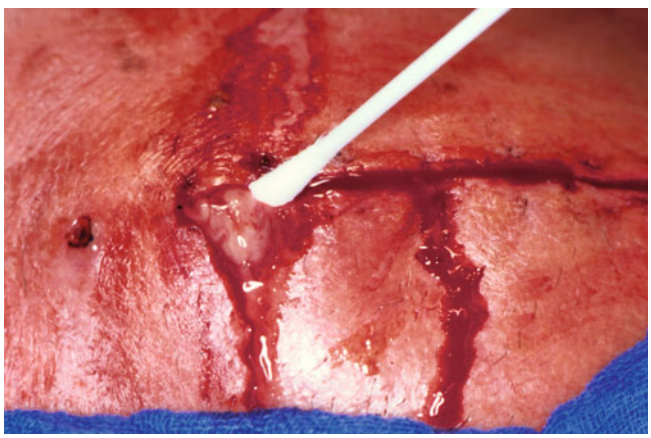
Präanalytik

Für die richtige Probennahme und korrekte Wahl der Untersuchungsparameter gilt: Die Proben müssen vom Ort der Infektion stammen. Bei chronischen Wunden z.B. sollte sie nicht vom eingetrockneten oberflächlichen Sekret genommen werden. Das gilt auch für Abstriche aus Fistelgängen.

Aus granulozytenreichem Eiter lassen sich häufig keine lebenden Keime mehr isolieren. Die Probennahme sollte möglichst vor Beginn der Antibiose erfolgen, ansonsten kommen häufig falsch negative Ergebnisse zustande. Damit die Keime überleben, braucht es kurze Transportzeiten in geeigneten Transportmedien. Für die Routinebakteriologie sollten deshalb nur Röhrchen mit Transportmedium verwendet werden. Dafür braucht man einen Abholdienst, der die Klinik täglich anfährt, auch an Sonn- und Feiertagen. Eine Lagerung der Probe über mehrere Tage führt häufig zu einem falsch-negativen oder, bei Überwucherung, zu einem falsch-positiven Ergebnis. Das mikrobiologische Labor sollte eine klinisch-infektiologisch orientierte Diagnostik betreiben. Dazu gehören regelmäßige vor Ort Termine im Krankenhaus zur Besprechung infektiologischer Probleme, regelmäßige Fortbildungsveranstaltungen für die Klinikmitarbeiter und auch die Bereitschaft zur notfallmäßigen Untersuchung von Proben beispielsweise bei Verdacht auf nekrotisierende Fasziitis und insbesondere auch bei Verdacht auf Gasbrand (▶ Abschnitt 14.2, ◘ Abb. 14.1).

Analytik

Die Analytik muss nach den einschlägigen Regeln der Fachgesellschaften erfolgen, was bei akkreditierten Labors gewährleistet ist. Bei hochresistenten Keimen wie MRSA, E. faecium, ESBL, Pseudomonas, Acinetobacter müssen auch die Reserveantibiotika mitgetestet werden. Befunde sollen vom Labor hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet sein.



◘ **Abb. 14.1** Bei der Entnahme eines Abstrichs soll Hautkontakt vermieden werden

Postanalytik

Die Befunde müssen den Adressaten rasch und sicher erreichen, was z.B. auf dem Weg einer elektronischen Datenübermittlung erreicht werden kann. Dringliche Befunde wie positive Blutkulturen oder der Nachweis hämolysierender Streptokokken im Wundabstrich oder von MRSA müssen telefonisch übermittelt werden. Die Mikrobiologen im Labor müssen die Kliniker vor Ort telefonisch beraten in Hinblick auf die Auswahl und Dosierung geeigneter Antibiotika und in Hinblick auf etwaige erforderliche Hygienemaßnahmen. Duplikatbefunde hygienisch relevanter Ergebnisse müssen den Hygienefachkräften zugestellt werden.

Statistische Auswertungen

Aus dem Labor müssen regelmäßig Daten zur Bewertung der aktuellen epidemiologischen Situation mit Erreger- und besonderen Resistenzspektren zur Verfügung gestellt werden. Mindestens einmal im Jahr soll eine statistische Auswertung zur Keim- und Resistenzsituation erfolgen und in der Klinik präsentiert und kommentiert werden. Auf diesen Auswertungen basiert die Mitarbeit in der Arzneimittelkommission zur strategischen Auswahl von Antibiotika.

Antibiotika werden im klinischen Alltag mitunter kritiklos eingesetzt. Da die Bakterien zunehmend Resistenzen entwickeln, wird ein kompetenter Umgang mit diesen Substanzen immer wichtiger. Antibiotika werden nur gegeben, wenn eine bakterielle Infektion vermutet wird. Dabei müssen die Substanzen folgende Kriterien erfüllen:

- Sie müssen den ursächlichen Erreger sicher erfassen,
- den Ort der Infektion in ausreichenden Wirkspiegeln erreichen,
- rechtzeitig wieder abgesetzt werden,
- möglichst nebenwirkungsarm sein,
- die physiologische Flora des Patienten schonen und
- wirtschaftlich sein.

Diese Ziele können zwar nur dann optimal erreicht werden, wenn man den Erreger und dessen Resistenz kennt. Aber in den meisten Fällen ist man gezwungen, erst einmal mit einer empirischen oder verbesserten kalkulierten Therapie zu starten. Nach Erhalt des Befundes kann man dann gezielt gegen den Erreger weiterbehandeln.

Empirische Therapie

Bei akuten bakteriellen Infektionen ist eine rasche, effektive Antibiotikatherapie wichtig. Insbesondere bei der Sepsis korreliert eine Verzögerung der Therapie mit erhöhter Sterblichkeit. Auch bei der Fasziitis oder einem Gelenkempyem ist neben dem sofortigen chirurgischen Eingreifen eine schnelle effektive antibiotische Therapie angezeigt. Zu diesem Zeitpunkt ist der Erreger noch nicht bekannt, deshalb kann die antibiotische Therapie nur empirisch sein. Sie muss das zu erwartende Keimspektrum und den Ort der Infektion erreichen und ausreichend hoch dosiert sein. Regeln zur empirischen Therapie finden sich in den folgenden ▶ Abschnitten 14.2 und 14.3.

Vor der ersten Antibiotika-Applikation muss aber, wenn möglich, und solange es sich nicht nur um banale Infektionen handelt, Untersuchungsmaterial zur mikrobiologischen Diagnostik gewonnen werden. Die Diagnostik soll zwar einerseits die Antibiotikagabe nicht verzögern, andererseits ist zu bedenken, dass Untersu-

chungsmaterial, das nach der Antibiotika-Applikation gewonnen wurde, oft nicht mehr aussagekräftig ist.

Kalkulierte Therapie aufgrund hauseigener Empfehlungen

Die Kenntnis der lokalen Keim- und Resistenzsituation erlaubt es, die Empfehlungen aus der Literatur an die Kleinraumepidemiologie anzupassen. Regeln zur verbesserten empirischen Therapie bei den häufigsten Indikationen sollten in hauseigenen Leitlinien hinterlegt sein. Diese müssen periodisch adaptiert werden, und zwar in Zusammenarbeit zwischen Klinikern, Mikrobiologen, der Apotheke und der Krankenhaushygiene. In dieser »Antibiotikafibel« sollen sich auch Informationen zu den Tagestherapiekosten der einzelnen Substanzen befinden, ebenso wie Informationen zur Dosisanpassung bei Niereninsuffizienz.

Gezielte Therapie

Nach der Identifizierung des Erregers und seines Resistenzmusters muss sich die Antibiotikatherapie auf diesen fokussieren. Im Zweifelsfall ist das mikrobiologische Labor in die Auswahl der optimalen Substanz mit einzubeziehen. Für eine gezielte Therapie gelten folgende Grundregeln:

Orale versus parenterale Applikationsform

Parenteral ist bei β-Lactam-Antibiotika eine deutlich höhere Dosierung möglich als bei oraler Gabe (z.B. Penicillin G i.v. 3-mal 10 Mega versus Penicillin V p.o. 3-mal 1,5 Mega). Bei schweren Infektionen sollten aus Dosierungsgründen Penicilline und Cephalosporine daher parenteral eingesetzt werden.

Chinolone (Levofloxacin, Ciprofloxacin, Moxifloxacin) dagegen erreichen bei oraler Anwendung sehr gute Spiegel und sind in der oralen Form etwa um den Faktor 10–20 billiger als parenteral. Sie sollten nur in Ausnahmefällen parenteral eingesetzt werden. Ähnliches gilt für Clindamycin, Doxycyclin, Clarithromycin sowie Fluconazol.

Sequenztherapie

Sobald es die klinische Situation erlaubt, soll auf orale Darreichungsformen umgestiegen werden. Man spricht dann von Sequenztherapie. Dies spart erheblich Kosten und Arbeitszeit. Außerdem ist jeder intravenöse Zugang eine potenzielle Eintrittspforte für Erreger. Die Sequenztherapie kann mit jeder wirksamen und ausreichend resorbierbaren Substanz erfolgen, Wirkstoffgleichheit ist nicht erforderlich.

Therapieversagen

Es wird vorkommen, dass trotz antibiotischer Therapie das Infektgeschehen weiterläuft. Ein Therapieversagen kann angenommen werden bei Verschlechterung innerhalb von 48 h oder ausbleibender Besserung innerhalb von 3 Tagen.

Gründe für ein »Nicht-Ansprechen« können sein:

- Der isolierte und behandelte Erreger ist nicht Ursache der Symptomatik oder der Erreger ist primär resistent gegen das eingesetzte Mittel oder hat Resistenzen entwickelt.
- Am Ort der Infektion werden keine ausreichenden Antibiotikaspiegel erreicht. Gründe dafür können sein: Mangelnde Durchblutung, anatomische Barriere, Sekretverhalt, Abszess, zu geringe Dosierung oder mangelnde Resorption.
- Chirurgische Maßnahmen sind erforderlich, z.B. die Entfernung von Fremdmaterialien oder nekrotischem Gewebe und natürlich die Entlastung von Abszessen.
- Die Symptomatik ist auf andere Ursachen als auf Bakterien zurückzuführen.

Maßnahmen zur Verhinderung der Resistenzentwicklung

Beim Einsatz von Antibiotika ist immer zu berücksichtigen, dass dieser nicht nur einen Effekt für den Patienten hat, sondern auch für dessen Keimbesiedlung. Auf den Schleimhäuten und im Darm werden resistente Stämme selektiert. Daher fördert jede einzelne Anwendung von Antibiotika die Verbreitung von Resistenzen und steigert das Risiko für eine Clostridium-difficile-Enteritis. Daher gilt:

- Wenn eine Antibiotika-Therapie als unnötig erkannt wurde, muss sie sofort abgesetzt werden.
- Die empirische Therapie soll an die lokale Resistenzsituation angepasst sein.
- Substanzgruppen, die eine Dynamik in der Resistenzentwicklung zeigen, sollten vermieden werden.
- Die Therapie sollte nie unterdosiert, andererseits aber immer so kurz wie möglich sein. In der Regel reichen wenige Tage aus. Dabei muss einkalkuliert werden, dass die Entzündung des Gewebes immer wesentlich länger anhält als Keime nachweisbar sind.
- Reservesubstanzen sollten nur dann eingesetzt werden, wenn es auch tatsächlich angezeigt ist.

Umgang mit Clostridium-difficile-Infektionen

Durchfall ist eine bekannte Nebenwirkung von Antibiotika; besonders unangenehm und gelegentlich bedrohlich sind dabei die Clostridium-difficile-Infektionen (CDAD), die in den letzten Jahren an Zahl und Intensität zugenommen haben. Es sind neue Stämme mit deutlich intensiverer Toxinproduktion aufgetreten.

Bei jedem Durchfall nach Antibiotika, der mit Zeichen einer Kolitis einhergeht, sollte eine Untersuchung des Stuhls auf Clostridium-difficile-Toxin A und B erfolgen. Dabei muss man wissen, dass bei den meisten Labors diese Untersuchung nicht im Routineprogramm »Stuhl auf Enteritiserreger« enthalten ist, sondern durch Ankreuzen eines speziellen Feldes auf dem Antragsschein gesondert angefordert werden muss.

Die Untersuchungsmethode ist ein Toxinnachweis mittels ELISA, der primär keinen Kulturschritt erfordert und daher relativ schnell zur Verfügung stehen kann.

Der erste Therapieschritt ist, wann immer möglich, die Antibiose abzusetzen, die zur Enteritis geführt hat.

Als spezifische Medikamente stehen Metronidazol p.o. 3-mal 400 oder 500 mg und Vancomycin p.o. 4-mal 125–250 mg zur Verfügung. Dabei muss man wissen, dass Vancomycin i.v. in diesem Fall nicht wirksam ist und diese Indikation die einzige für dessen orale Gabe ist!

Beim Umgang mit Patienten mit akuter Clostridium-difficile-Enteritis gelten besondere Hygieneregeln, da die im Durchfallstuhl massiv ausgeschiedenen Erreger als Sporenbildner resistent gegen die üblichen Flächendesinfektionsmittel und gegen alkoholbasierte Händedesinfektionsmittel sind. Der Patient muss deshalb in ein **Einzelzimmer** verlegt werden. Man darf ihn nur mit Schutzhandschuhen und Schutzkittel betreuen. Die Flächen müssen mit speziellen Mitteln desinfiziert und die Hände zusätzlich zur Desinfektion gewaschen werden. Details müssen in hauseigenen Standards festgelegt sein.

Schwere Clostridien-Enteritiden, die zu einem toxischen Megakolon führen, zur Aufnahme auf die Intensivstation und/oder einem Darmeingriff sowie zum Tod, sind in Deutschland namentlich meldepflichtig.

14.1.6 Multiresistente Erreger (MRE)

Multiresistente Keime stellen alle Beteiligten im Gesundheitswesen vor zunehmende Herausforderungen. Im grampositiven Bereich sind dies MRSA und VRE, im gramnegativen ESBL-bildende Enterobacteriaceaen. Alle gegen Ceftriaxon resistenten E. coli und Klebsiellen sind diesbezüglich verdächtig sowie multiresistente Acinetobacter baumannii und Pseudomonas aeruginosa. Für die Zukunft werden große Probleme mit Metallo-Carbapenemase-Bildnern erwartet. Diese Bakterien bilden Resistenzplasmide, die Carbapeneme wie Imipenem, Meropenem oder Doripenem unwirksam werden lassen.

Ursache ist der **Selektionsdruck**, der von der breiten und häufig missbräuchlichen Verwendung der Antibiotika in Klinik, Praxis und Tierzucht ausgeht. Die kausale Gegenstrategie muss daher in einem möglichst restriktiven und gezielten Umgang mit Antibiotika liegen. Das bedeutet, dass die Indikation eng gestellt werden muss, dass initiale Therapien mit hohen Dosen durchgeführt werden, dass Erreger identifiziert und dann gezielt therapiert werden und dass die Antibiotika rechtzeitig wieder abgesetzt werden. Krankenhäuser sollen die allgemeinen Leitlinien zur Antibiotikatherapie für sich lokal adaptieren.

Standardhygiene

Speziell in der Situation der Patientenversorgung ist es wichtig, die Transmission von Keimen auf andere Patienten und Mitarbeiter zu verhindern. Da a priori nicht bekannt ist, wer welchen Keim trägt, müssen die Standardhygienemaßnahmen beim Umgang mit allen Patienten eingehalten werden. Dazu gehört in erster Linie die **Händedesinfektion**:

- Vor und nach Hautkontakt mit dem Patienten müssen die Hände desinfiziert werden, ebenso
- vor aseptischen Tätigkeiten,
- nach mutmaßlicher Kontamination,
- nach dem Ausziehen von Schutzhandschuhen und sterilen Handschuhen,
- nach Kontakt mit unmittelbarem Patientenumfeld.

Essenziell ist die sorgfältige Aufbereitung von Medizinprodukten. Auch mit »unkritischen« Gerätschaften wie Blutdruckmanschetten, Stethoskopen, Thermometern o.ä. muss so umgegangen werden, dass keine Keimverbreitung stattfindet. Gegenstände wie Krankenakten und Diensttelefone sollten nicht ins Krankenbett gelegt werden, da sie so mit Patientenkeimen kontaminiert werden. Die Dienstkleidung wird belastet, wenn sich der Arzt in das Krankenbett setzt. Krankenbetten müssen so aufbereitet werden, dass eine Keimübertragung auf den Folgepatienten ausgeschlossen ist.

Details hierzu regeln die hausspezifischen Hygienestandards, die auch den Ärzten bekannt sein müssen.

Isolierungsmaßnahmen

Bei Nachweis von hochresistenten Keimen kommen zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen zum Tragen, z.B. sind dies:

- Isolation im Einzelzimmer,
- Verwendung von Schutzkitteln beim direkten Umgang mit dem Patienten oder Patientenumfeld,
- Verwendung von Schutzhandschuhen, die vor dem Verlassen des Zimmers ausgezogen werden.

Art und Umfang dieser Isolierungsmaßnahmen sowie Detaillösungen, z.B. in Situationen, in denen nicht genügend Einzelzimmer verfügbar sind, regelt die Krankenhaushygiene vor Ort.

Kenntnis der Kleinraumepidemiologie

Es ist wichtig mit dem Hygieneteam die Aufzeichnungen über hochresistente Keime im eigenen Haus monatlich zu bewerten. So können Trends und vielleicht im Alltag nicht als solche erkannte Ausbrüche aufgedeckt und Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Screenen und Dekontaminieren

Bei MRSA hat sich in den Niederlanden eine Strategie effektive Eindämmungsstrategie (search and destroy) bewährt, die sich auch in anderen Ländern weiter durchsetzt.

Screenen

Bei bestimmten Patientengruppen, die ein Risikoprofil für MRSA haben, wird unmittelbar bei Krankenhausaufnahme ein Abstrich zum Ausschluss oder Nachweis von MRSA entnommen. Molekularbiologische Methoden erlauben eine Aussage innerhalb weniger Stunden, konventionelle Kulturmethoden lassen eine Verdachtsdiagnose erst nach Übernachtbebrütung zu, ein endgültiger Befund kann u.U. 3 Tage dauern. Details regeln krankenhausspezifische Standards.

Ein erhöhtes Risiko für MRSA haben u.a.:

- Patienten mit MRSA-Anamnese
- Patienten aus Regionen oder Einrichtungen mit bekannt hoher MRSA-Prävalenz
- Patienten mit chronischen Wunden
- Pflegepatienten aus Heimen
- Patienten nach wiederholten Krankenhausaufenthalten
- Patienten mit Tracheostoma oder PEG
- Dialysepatienten
- Patienten mit beruflichem Umgang mit Schweinen

Von besonderer Bedeutung ist das MRSA-Screening für Patienten aus diesen Gruppen, wenn ein elektiver Eingriff ansteht, weil dann ein ggf. aufgefundener MRSA dringlich saniert wird oder, wenn dies nicht möglich ist, zur perioperativen Prophylaxe Vancomycin verwendet wird.

Dekontaminieren

Für MRSA wurden spezielle Schemata entwickelt, um in einer 5- bis 7-tägigen Behandlungsserie MRSA vom Patienten wieder zu eradizieren. Die Prozedur gelingt nicht immer, sollte aber prinzipiell einmal versucht werden, zumindest solange keine Sanierungshindernisse vorliegen, z.B. eine floride Infektion mit MRSA.

Spezielle Maßnahmen bei Eingriffen an MRE-Patienten

Eingriffe an MRSA-Patienten gelten wie septische Operationen als Eingriffe der Kategorie IV und sollten, wenn klinisch vertretbar, an das Ende des Operationsprogramms gesetzt werden, weil das Management dieser Patienten dann viel einfacher ist.

MRSA-Patienten sollten nicht in den Aufwachraum gebracht werden. Neben der Reinigung des Operationssaals müssen auch alle Kontaktflächen der Patientenschleuse desinfiziert werden. Die perioperative Prophylaxe von Patienten mit MRE sollte den jeweiligen Erreger mit einschließen, bei MRSA-Patienten z.B. Vancomycin (AWMF-Leitlinie zur Hygiene in Klink und Praxis, Muto et al. 2003, Bundesgesundheitsblatt 1999).

14.1.7 Chirurgische Techniken zur Infektbekämpfung

Atraumatische Operationstechnik

Risiken für eine postoperative Infektion bei Osteosynthesen sind zerrissene Muskulatur, gequetschtes Gewebe und eine herabgesetzte Abwehrkraft des Patienten. Gequetschtes Subkutangewebe wird am Ende eines Eingriffs exzidiert. Die Wunden müssen intraoperativ vor Austrocknung geschützt und feucht gehalten werden.

Geeignete Implantate

Bei Wundinfektionen müssen Stahlimplantate meistens entfernt werden. Das Problem der Stahlimplantate ist, dass sie aufgrund ihres hohen Eisenanteils zur Korrosion neigen. An Kaninchentibiae, die nach dem Einsetzen verschiedener Implantate mit Staph. aureus kontaminiert wurden, wurde ermittelt, dass Titan eine Infektion weniger fördert als Stahl, unaufgebohrte Marknägel weniger als aufgebohrte, solide weniger als hohle und Platten mit limitierter Kontaktfläche weniger als solche mit voller Kontaktfläche (Arens 2002).

Ein solider Nagel ist im Gegensatz zu einem Hohlnagel in der Infektsituation geeignet. Am Oberschenkel ist der Fixateur externe zur Stabilisierung einer Infektsituation ungeeignet, weil der sehr dicke Weichteilmantel »Pin-tract-Infektionen« begünstigt. An der Tibia ist er dagegen Mittel der Wahl. Zur Beherrschung von tibialen Defekten eignet sich z.B. der Ilisarov-Fixateur vorzüglich.

Radikales Débridement

Bei manifester Infektion ist das radikale chirurgische Débridement das Mittel der Wahl. Es gibt Situationen, in denen sich fast abgestorbener Muskel wieder erholt. Der Muskel hat dann eine braunrote Färbung. Wenn er bereits grau geworden ist, erholt er sich nicht mehr und muss komplett reseziert werden. Bei Knochengewebe ist es ähnlich; wenn der Knochen eine weißliche Verfärbung hat, erholt er sich unter Umständen. Voraussetzung dafür ist ein intakter, gut durchbluteter Weichteilmantel. Ist das Knochengewebe aber bräunlich verfärbt, gibt es keine Chance mehr, und das gesamte befallene Areal muss entfernt werden. Wenn man ohne Blutsperre vorgeht, kann man die Durchblutung besser beurteilen. Am Weichteilgewebe arbeitet man mit Skalpell oder Präparierschere, nicht mit dem scharfen Löffel, am Knochen mit dem Meißel. Beim Second look brauchen die Hautränder nicht jedes Mal exzidiert zu werden, sonst kann man irgendwann, z.B. nach der 3. Revision, die Haut nicht mehr spannungsfrei zusammennähen. Falls sich die Haut nicht schließen lässt, kann sie anfangs mit Kunsthaut und später plastisch gedeckt werden. Ein Wundverschluss ist auch bei Infektrevisionen indiziert, weil die Adaptation der einzelnen Schichten Totraum reduziert.

Bei instabilen Weichteilen im Bereich der Tibia kann eine Verkürzung nach Ilisarov indiziert sein mit der Option der späteren Verlängerung. Laut Kinzl (2002) ist eine Verkürzung des Unterschenkels in einer Sitzung um maximal 5 cm möglich. Bei größeren Strecke gibt es Probleme mit den Weichgeweben; in diesem Fall muss mit Durchblutungsstörungen durch Knickbildungen der Gefäße gerechnet werden.

Bei ausgedehnten Quetschtraumen, bei denen in unterschiedlichen Etagen multiple Nekrosen und Einblutungen mit dazwischen liegenden intakten Gewebeabschnitten bestehen, sind Maden dem Skalpell überlegen, weil das Enzym alles vitale Gewebe schont und absolut selektiv nur das abgestorbene erfasst. Kinzl arbeitet mit Fliegenmaden, die im Teebeutel gefangen, in schmierig belegte Wunden gegeben werden, denn es kommt beim Reinigungsprozess nicht auf den mechanischen Effekt, sondern auf das Enzym an, das die Maden freisetzen und die Verflüssigung der Beläge bewirkt.

Stabilität

Eine günstige biomechanische Voraussetzung für den Heilungsprozess ist die Stabilität und eine günstige biologische Bedingung ist die Vitalität des Gewebes. Immer wenn eine instabile Situation vorliegt, muss eine Reosteosynthese durchgeführt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass auch bei manifestem Infekt zur Osteosynthese eine Platte verwendet werden kann. Allerdings müssen die Implantate aus Titan sein, denn Titan überzieht sich rasch mit Osteoblasten und gewinnt auf diese Weise das Rennen zwischen bakterieller Besiedlung und dem Anwachsen von Gewebe auf der Metalloberfläche.

Plastische Deckung

Im Notfall kann bei frei liegender Platte die Defektdeckung mit einer Vakuumversiegelung erfolgen. Man gewinnt dadurch Zeit und kann den »urgent flap« vermeiden, der unter suboptimalen Bedingungen durchgeführt werden müsste. Postoperativ kann die plastische Deckung geplant oder der Patient dafür verlegt werden. Die frei liegende Platte am Außenknöchel ist laut Muhr (2002) unproblematisch. Wenn der Weichteildefekt zugranuliert, kann man ihn mit Spalthaut decken. Reicht die Granulation nicht aus, lässt sich die Situation mit einer vorzeitigen Implantatentfernung beherrschen (◘ Abb. 14.2).

Serombehandlung

Ein Risikofaktor für die Ausbildung einer Infektion ist auch ein Serom. Dabei handelt es sich um einen mit Blut und Lymphe gefüllten, primär sterilen Hohlraum im Wundbereich. Serome sollten, wenn sie groß sind, sonografisch gesteuert steril punktiert und anschließend mit einem Kompressionsverband am Nachlaufen gehindert werden. Die Entleerung des Seroms sollte möglichst vollständig sein, damit sich durch den Druckverband die Wände des Hohlraums aufeinanderlegen und verkleben können. Bei rezidivierenden und großen Seromen ist unter Umständen eine Wundrevision mit Einbringen einer Drainage erforderlich.

◘ **Abb. 14.2** Ein Weichteildefektsituation mit freiliegender Platte kann passager mit einer Vakuumversiegelung gedeckt werden

Spülung

Zur Spülung eignet sich im entzündlich veränderten Weichteilgewebe die gepulste Druckspülung eher weniger, weil die vulnerablen Gewebe dadurch oberflächlich verletzt würden und Flüssigkeitskissen einlagern. Diese ödematösen, flüssigkeitsgefüllten Areale sind neue Toträume für den Rückzug von Bakterien. Deshalb empfiehlt es sich, die Wundhöhle drucklos zu spülen und die Jet-Lavage nur zur Reinigung von festem Gewebe wie Knochen, Knorpel oder der Muskulatur biologisch junger Patienten einzusetzen (Muhr 2002).

Drainage

Bei Abszessen, die sich komplett exzidieren lassen, z.B. infizierte Atherome oder andere lokal begrenzte und komplett exzidierbare, infizierte Herde, kann der Wundverschluss nach der Exzision primär mit oder ohne Einlage einer Drainage erfolgen. Wenn man hingegen mit einem postoperativen Hämatom rechnet oder nicht sicher ist, ob alle kontaminierten Gewebeschichten entfernt werden können, ist die suffiziente Drainage der Wundhöhle eine wichtige Maßnahme, welche die Wundheilung unterstützt. In solchen Fällen sollte sie gegen eine unbeabsichtigte, vorzeitige Dislokation durch Annaht gesichert werden.

Offene Wundbehandlung/Vakuumversiegelung

Wenn sich infiziertes Material nicht komplett entfernen lässt oder die Entzündung sehr ausgeprägt ist, schließt man an die Abszessspaltung eine offene Wundbehandlung an, die so lange durchgeführt wird, bis die akute Entzündung abgeklungen ist. Später kann bei Bedarf eine Sekundärnaht erfolgen. In den letzten Jahren wurde zur Reinigung und Verkleinerung der Wunde die Vakuumversiegelung zunehmend benutzt. Der kontinuierliche Sog verhindert nicht nur einen erneuten Verhalt, sondern fördert gleichzeitig die Granulation. Auf diese Weise wird die Sekundärheilung erheblich beschleunigt, sodass man in vielen Fällen wesentlich schneller eine Sekundärnaht oder plastische Deckung der Wunde vornehmen kann.

Es gibt aber Situationen, in denen sich die Vakuumversiegelung nicht eignet. Bei anhaltender eitriger Sekretion besteht die Gefahr, dass sich ein erneuter Verhalt in einem Wundbereich bildet, der durch den Sog der Versiegelung nicht ausreichend erfasst wird. Dann ist der Patient durch eine systemische Keimausschwemmung bedroht. Zum anderen lässt sich die Technik bei Gerinnungsstörung oder anhaltender Blutung im Wundbereich nicht nutzen, weil sich die Wundhöhle durch den Dauersog nicht tamponieren kann. In solchen Fällen ist die offene Wundbehandlung evtl. kombiniert mit einer lockeren Tamponade mit feuchten Bauchtüchern angezeigt.

Ruhigstellung

Infizierte Wunden an den einzelnen Gliedmaßenabschnitten werden ruhiggestellt, bis die Entzündung abgeklungen und die Infektion beherrscht ist. Dies wirkt der Ausbreitung infizierten Wundsekrets entgegen, denn durch Muskelarbeit oder beim Durchbewegen von Gelenken wird infizierte, interstitielle Flüssigkeit kontinuierlich in die Umgebung massiert. Dem kann im Bereich der Extremitäten durch Schienenverbände und am Körperstamm durch Einhalten von Bettruhe entgegengewirkt werden. Man hilft damit der körpereigenen Abwehr, den Fokus einzugrenzen und ihn schneller und effektiver zu bekämpfen. Das Prinzip der Ruhigstellung ist deshalb eine der wichtigsten Maßnahmen bei der Therapie von Weichteil- und Knocheninfektionen.

Die einzige Ausnahme kann bei einem Gelenkempyem gegeben sein (▶ Abschnitt 14.3.3). Im Gegensatz zu Infektionen im Bereich der Röhrenknochen kann es für die Heilung förderlich sein, ein operativ versorgtes und bereits drainiertes Gelenk postoperativ durchzubewegen. Dies dient zum einen der Knorpelernährung, zum anderen dem Transport infizierten Sekrets aus dem Gelenkinneren. Wenn ein Gelenk ruhiggestellt ist, kann sich die Gelenkflüssigkeit in den verschiedenen Gelenkräumen verhalten, während sie beim Durchbewegen, z.B. auf der Motorschiene, ausgemolken wird.

14.2 Weichteilinfektion

14.2.1 Grundlagen

Haut- und Weichteilinfektionen sind ein Sammelbegriff für eine Vielzahl verschiedener Geschehen an unterschiedlichen anatomischen Strukturen wie der Haut, Subkutis, Faszie, Bursa oder Muskulatur, durch unterschiedliche Erreger wie Herpesviren, Staphylokokken, Streptokokken oder Clostridien sowie auf dem Boden unterschiedlicher Ätiologien wie einem Trauma, einer Immunschwäche oder iatrogen.

Es lassen sich lokale von fortgeleiteten Infektionen unterscheiden. Bei der fortgeleiteten Infektion kommt es zur Erregerausbreitung über unterschiedliche Wege:

- Per continuitatem: Kontinuierliche Ausbreitung der Erreger und Entzündungsreaktion vom Eintrittsort in das umliegende Gewebe.
- Lymphogen: Die Erreger breiten sich entlang der Lymphbahnen aus, es entstehen Lymphangitis und Lymphadenitis.
- Hämatogen: Das infizierte Gebiet bekommt Anschluss an die Blutgefäße, es entstehen metastatische Abszesse und/oder eine Sepsis.

Weiterhin werden leichte von komplizierten Weichteilinfektionen unterschieden. Einfache Infektionen sind z.B. der Furunkel, der subkutane Abszess, das Erysipel oder das Panaritium. Von einer komplizierten Weichteilinfektion spricht man, wenn tiefer gelegene Gewebeschichten erfasst werden und größere chirurgische Maßnahmen sowie eine intensive Antibiose nötig werden, z.B. bei der nekrotisierenden Fasziitis oder einer Phlegmone, die mehr als 3% der Körperoberfläche einnimmt.

Risikofaktoren für komplizierte Infektionen sind Grunderkrankungen wie Diabetes mellitus, konsumierende Erkrankungen,

Abb. 14.3 Eine akute Entzündung verursacht auffällige Veränderungen der Weichteile: Dolor, Calor, Rubor, Tumor, Functio laesa

Mangelernährung oder Immunsuppression, Einnahme von Steroiden über der Cushing-Schwelle sowie Perfusionsstörungen.

Allen Formen gemeinsam sind die **5 morphologischen Kardinalsymptome der Entzündung** (Abb. 14.3):

- Dolor: Lokaler Schmerz im Wundbereich durch Druck auf die örtlichen Nervenendigungen und durch Freisetzung von Schmerzmediatoren.
- Calor: Lokale Überwärmung des entzündlich veränderten Gewebes durch Hyperämie.
- Rubor: Lokale Rötung des über der Entzündung liegenden Hautareals durch Hyperämie.
- Tumor: Lokale Schwellung durch Exsudation.
- Functio laesa: Die schmerzhaften Entzündungsvorgänge schränken die Funktion des betroffenen Gliedmaßenabschnitts ein oder heben sie sogar auf.

14.2.2 Infizierte Verletzung

Verletzungen sind potenzielle Eintrittspforten für Erreger, die insbesondere in nicht vitalem Gewebe eine guten Nährboden finden, sich vermehren und die Wundheilung verhindern. Insbesondere in tropischen Ländern zeigen bereits kleine Verletzungen eine ausgeprägte Infektionsneigung.

Bei jeder verzögerten Wundheilung, insbesondere bei anhaltender wässriger oder eitriger Wundsekretion, ist an eine Infektion zu denken. Typischerweise zeigen sich zusätzlich lokale oder systemische Entzündungszeichen.

Erreger

Der häufigste Erreger ist in diesem Zusammenhang Staphylococcus aureus. Aber auch Streptokokken und andere Keime können Wundinfektion verursachen.

Diagnostik

Die typischen Symptome ergeben die Diagnose. Eine sorgfältige Inspektion der Wunde muss Aufschluss über die tatsächliche Ausdehnung geben. Wenn immer möglich, sollte ein Wundabstrich genommen werden und zwar an der Grenze zum vitalem Gewebe, denn Wundschorfe und generell alle eingetrockneten Sekrete lassen in der Regel keinen Keimnachweis mehr zu.

Therapie

Primär nötig sind Wundtoilette und lokale Desinfektionsmaßnahmen z.B. mit Octenidin oder PVP-Jod. Außerdem sollten infizierte Wunden ruhiggestellt werden, damit die darin enthaltenen Keime nicht durch die fortdauernde Bewegung in die Umgebung massiert werden. Bei Zeichen einer fortgeleiteten Infektion ist eine antibiotische Therapie notwendig. Fortgeleitete Entzündungen sind an der Umgebungsreaktion, Lymphangitis oder -adenitis und an systemischen Infektionszeichen mit Fieber erkennbar.

Zur empirischen Therapie von akuten Weichteilinfektionen eignen sich:

- Amoxicillin + Clavulansäure oder Ampicillin + Sulbactam,
- Cephalosporine der 1. oder 2. Generation,
- bei β-Lactam-Allergie Levofloxacin oder Moxifloxacin.

Da die Resistenzentwicklung von Keimen dramatisch zunimmt, ist, möglichst vor Beginn der Antibiose, eine mikrobiologische Probe indiziert, um Erreger und Resistenz zu ermitteln und um die Therapie ggf. anpassen zu können.

Münchhausen-Syndrom

Bei hartnäckigen, nicht heilen wollenden Wunden muss auch die Möglichkeit einer Persönlichkeitsstörung des Patienten bedacht werden, das so genannte Münchhausen-Syndrom. Die Patienten fallen durch ihre Strategie auf. Sätze wie: «Sie sind der einzige, der mir noch helfen kann«.... »nur eine Operation kann mir noch helfen« sollten hier hellhörig machen. Häufig erfolgen die Eigenverletzungen im Bereich von Narbengewebe, wo die Haut gefühllos ist.

Bisswunden

Auch frische Wunden durch Bisse von Mensch oder Tier gelten als infiziert. Erreger sind Streptokokken, Anaerobier (Fusobakterien), bei Hunden und Katzen häufig Pasteurella multocida.

Empirische Therapie

Geeignete Antibiotika sind:

- Amoxicillin + Clavulansäure 2-mal 1 g p.o. oder bei bereits bestehenden Infektionszeichen zunächst i.v. oder
- Moxifloxacin 1-mal 400 mg p.o.

Die Wunden müssen sekundär heilen, dürfen allenfalls locker adaptiert werden und müssen anschließend engmaschig einmal täglich kontrolliert werden, damit man sofort die Fäden entfernen oder revidieren kann, falls sich ein Verhalt bilden sollte. Bei Tierbissen muss abgeklärt werden, ob Tollwutverdacht besteht.

14.2.3 Postoperative Wundinfektion

Postoperative Infektionen treten, abhängig von der Art des Eingriffs und den Begleitumständen, bei 0,1–15% der Operationen auf. Abgesehen von den oft dramatischen Einzelschicksalen der Patienten sind diese Infektionen eine große Last für die Krankenhäuser und die Volkswirtschaft. Risikofaktoren und geeignete prophylaktische Maßnahmen sind in ► Abschnitt 14.1 beschrieben.

Klinik

Beginnende Wundinfekte treten häufig zwischen dem 3. und 5. postoperativen Tag auf. Sie fallen durch zunehmende Rötung, Sekretion Druck- und Spontanschmerzen im Wundbereich und durch einen Anstieg der Entzündungsparameter auf.

Diagnostik

Ein Abstrich zur mikrobiologischen Diagnostik ist bei allen postoperativen Wundinfektionen indiziert. Neben der Steuerung einer oft nötigen Antibiose dient er dem Erkenntnisgewinn über die lokale epidemiologische Situation. Bei hohem Fieber sollten zudem Blutkulturen angelegt werden.

Therapie

Bei oberflächlichen Infektionen sind häufig allein die Eröffnung der Wunde und eine sich anschließende offene Wundbehandlung ausreichend. Tiefe Infektionen, Organbeteiligung oder das Auftreten von systemischen Infektionszeichen mit Fieber erfordert eine systemische Antibiose.

Die initiale Wahl des Antibiotikums richtet sich nach der lokalen Situation. Wenn keine ungewöhnlichen Begleitumstände vorliegen, ist Cefuroxim 3-mal 1,5 g eine gute Wahl. Bei bekannten MRSA-Patienten oder in Abteilungen mit hoher MRSA-Prävalenz ist eine Kombination mit z.B. Vancomycin 2-mal 1 g zu empfehlen. Bei hoher Rate an Pseudomonas aeruginosa wird man auf ein ge-

gen Pseudomonas aktives Mittel zurückgreifen, z.B. Piperacillin + Tazobactam 3-mal 4,5 g.

Sobald das Ergebnis des Abstrichs bekannt ist, muss die Therapie angepasst werden. Kontaminationen der Probe mit Hautkeimen können in die Irre führen.

Dokumentation

Die Surveillance postoperativer Wundinfektionen ist ein wertvolles Qualitätskriterium für chirurgische Abteilungen und ist im Infektionsschutzgesetz verpflichtend festgelegt. Das Hygieneteam im Haus muss daher Kenntnis über das Auftreten postoperativer Wundinfektionen haben. Ein entsprechender Meldeweg sollte festgelegt sein.

14.2.4 Abszess

Wenn durch absterbendes Gewebe eine nicht präformierte Höhle mit einer Membran entsteht, die sich im weiteren Verlauf mit Eiter füllt, spricht man von einem Abszess. Solche Herde können praktisch in allen Körperregionen vorkommen. Sie können von Haarfollikeln oder Schweißdrüsen ausgehen, von Fremdkörpern oder Bagatellverletzungen. Beim Spritzenabszess – einer mit bis zu 1:10.000 typischen Komplikation von i.m.-Injektionen – werden die Keime von außen eingeschleppt, bei anderen Formen hämatogen oder durch Mikroläsionen aus angrenzenden Schleimhäuten. Eine Sonderform ist die Osteitis, deren Behandlung besonders anspruchsvoll ist (▶ Abschnitt 14.3).

Klinik und Diagnostik

Lokal zeigen sich die klassischen Entzündungszeichen und eine typische, durch Palpation des entzündlichen Areals feststellbare Fluktuation. Neben der klinischen Diagnostik kommt an apparativen Methoden hauptsächlich die Sonografie zum Einsatz. Bei unklarem sonografischem Befund und bei tief liegenden Prozessen leistet die MRT verlässliche Hilfe.

Erreger

Häufigster Erreger von Abszessen ist Staphylococcus aureus, sowohl Oxacillin-empfindlich als auch MRSA. Bei multiplen und rezidivierenden Abszessen besteht der Verdacht auf PVL-positive Stämme (PVL steht für Panton-Valentine-Leukozidin, ein Toxin, das sich gegen Granulozyten und Makrophagen richtet und auf diesem Weg die Immunantwort erheblich beeinträchtigen kann). Wenn diese bei einem Nasenabstrich festgestellt werden, ist ein Eradikationsversuch indiziert.

Aber auch Streptokokken, gramnegative Stäbchenbakterien und insbesondere auch Anaerobier können Abszesse verursachen. Nicht nur bei banalen Abszessen ist eine mikrobiologische Untersuchung des Punktats indiziert, um eine korrekte Behandlung einleiten zu können.

Therapie

Spaltung und Exzision

Allen Formen von Abszessen gemeinsam ist die Notwendigkeit, sie zu spalten, um dafür zu sorgen, dass mit dem Eiter Bakterien, nekrotisches Gewebe und Toxine abfließen können. Dadurch werden Gewebedruck und Keimzahl reduziert. Somit wird die Gefahr geringer, dass Toxine und Bakterien hämatogen gestreut werden. Bestehen bereits Zeichen einer Sepsis, so ist die notfallmäßige Entlastung des Abszesses angezeigt. Schwierig zu erreichende Körperregionen lassen sich ggf. CT- oder ultraschallgezielt perkutan punktieren und drainieren.

Wenn die Entzündung nicht zu ausgeprägt ist, schließt sich an die Abszessspaltung die Abszessausräumung an. Dabei saugt man zunächst den Detritus bzw. Pus ab und spült die Abszesshöhle, um die Gewebebeschaffenheit beurteilen zu können. Dann wird alles nekrotische und minderdurchblutete Gewebe so weit wie möglich entfernt. Dafür sollte jedoch kein scharfer Löffel benutzt werden, denn mit diesem Instrument quetscht man das entzündlich veränderte Gewebe und drückt die Keime in tiefer liegende Gewebeschichten. Der Heilung förderlicher ist es, die Abszesshöhle mit dem Skalpell oder einer Präparierschere scharf in toto zu exzidieren, einzelne Blutungen zu koagulieren und die Höhle noch einmal intensiv zu spülen.

Spülung

Zur Spülung eignet sich im entzündlich veränderten Weichteilgewebe die gepulste Druckspülung eher weniger, weil die vulnerablen Gewebe dadurch oberflächlich verletzt werden und Flüssigkeitskissen einlagern. Diese ödematösen, flüssigkeitsgefüllten Areale sind neue Toträume für Bakterien, die dann die Heilung verzögern oder Rezidive verursachen können. Deshalb empfiehlt es sich, die Wundhöhle drucklos zu spülen und die Jet-Lavage nur zur Reinigung von festem Gewebe wie Knochen, Knorpel oder der Muskulatur biologisch junger Patienten einzusetzen (Muhr 2002).

Drainage

Bei Abszessen, die sich komplett exzidieren lassen, z.B. infizierte Atherome oder andere lokal begrenzte und komplett exzidierbare infizierte Herde, kann der Wundverschluss nach der Exzision primär erfolgen, mit oder ohne Einlage einer Drainage. Wenn man hingegen mit einem postoperativen Hämatom rechnet oder nicht sicher ist, ob alle kontaminierten Gewebeschichten entfernt werden konnten, ist die suffiziente Drainage der Wundhöhle eine wichtige Maßnahme, welche die Wundheilung unterstützt. Sie sollte gegen eine unbeabsichtigte, vorzeitige Dislokation durch Annaht gesichert werden. Die Indikation zum Belassen einer Drainage sollte andererseits sorgfältig abgewogen werden, weil Drainagen wiederum Eintrittspforten für Erreger einer postoperativen Wundinfektion sind.

Offene Wundbehandlung/Vakuumversiegelung

Wenn sich infiziertes Material nicht komplett entfernen lässt oder die Entzündung sehr ausgeprägt ist, schließt man an die Abszessspaltung eine offene Wundbehandlung an. Diese wird so lange durchgeführt, bis die akute Entzündung abgeklungen ist. Später kann eine Sekundärnaht erfolgen.

In den letzten Jahren wird zur Wundreinigung und Wundverkleinerung zunehmend die Vakuumversiegelung eingesetzt. Der kontinuierliche Sog verhindert einen erneuten Verhalt und fördert gleichzeitig die Granulation. So wird die Sekundärheilung erheblich beschleunigt, man kann dann in vielen Fällen wesentlich schneller eine Sekundärnaht oder plastische Deckung der Wunde vornehmen.

Es gibt aber Situationen, in denen sich die Vakuumversiegelung nicht eignet. Bei anhaltender eitriger Sekretion besteht die Gefahr, dass sich ein erneuter Verhalt in einem Bereich der Wunde bildet, der nicht ausreichend vom Sog der Versiegelung erfasst ist; dann ist der Patient durch eine Keimeinschwemmung bedroht. Auch bei einer Gerinnungsstörung oder anhaltender Blutung im Wundbereich lässt sich diese Technik nicht nutzen, weil sich die Wundhöhle durch den Dauersog nicht tamponieren kann. In solchen Fällen ist die offene Wundbehandlung evtl. kombiniert mit einer lockeren Tamponade angezeigt.

Ruhigstellung

Infizierte Wunden an den einzelnen Gliedmaßenabschnitten werden – wie bereits im ▶ Abschnitt 14.1.7 dargestellt – ruhiggestellt, bis die Entzündung abgeklungen und die Infektion beherrscht ist. Dies wirkt der Ausbreitung infizierten Wundsekrets entgegen, denn durch Muskelarbeit oder beim Durchbewegen von Gelenken wird infizierte interstitielle Flüssigkeit kontinuierlich in die Umgebung massiert. Dem kann im Bereich der Extremitäten durch Schienenverbände und am Körperstamm durch Einhalten von Bettruhe entgegengewirkt werden. Man hilft damit, den Fokus einzugrenzen. Das Prinzip der Ruhigstellung ist deshalb eine der wichtigsten Maßnahmen bei der Therapie von Weichteil- und Knocheninfektionen. Die einzige Ausnahme kann beim Gelenkempyem gegeben sein (▶ Abschnitt 14.3.3). In diesem Fall kann es für die Heilung förderlich sein, wenn ein operativ revidiertes und drainiertes Gelenk postoperativ durchbewegt wird. Dies dient zum einen der Knorpelernährung, zum andern dem Transport infizierter Gelenkflüssigkeit aus dem Gelenkinneren über die liegenden Drainagen nach außen.

Antibiotika

Bei Abszessen sind Antibiotika nicht immer indiziert; bei subkutanen Abszessen z.B. reicht oft die Spaltung aus. Antibiotika sind indiziert bei systemischen Entzündungszeichen wie Fieber, CRP >50 mg/l oder Leukozytose >10.000 mit Linksverschiebung oder bei ausgedehnten oder tiefen Formen. Antibiotisch behandelt werden müssen auch Abszesse im Gesicht oberhalb des Mundes.

Die empirische Antibiose muss auf jeden Fall den häufigsten Erreger, Staph. aureus, Streptokokken und Anaerobier mit erfassen. Geeignet sind daher Kombinationen von Aminopenicillinen mit β-Lactamasehemmern, z.B. Amoxicillin + Clavulansäure oder Ampicillin + Sulbactam; bei entsprechender Allergie kann man auf Moxifloxacin ausweichen. Wichtig ist, möglichst noch vor der ersten Applikation einen Abstrich zu entnehmen, um ein unverfälschtes Bild der beteiligten Erreger zu erhalten. Nach Eintreffen des Antibiogramms wird die kalkulierte Therapie auf ihre Wirksamkeit gegenüber den Erregern kontrolliert und ggf. angepasst.

Heparine

Niedermolekulare Heparine sind zur Thromboseprophylaxe im Rahmen der Ruhigstellung von Bedeutung. Bei Infektionen mit ausgedehnten Schwellungen gilt dies auch für die obere Extremität.

Antiphlogistika

Antiphlogistika sind bei einem floriden Infekt in der Regel nicht indiziert.

Verhalten nach septischen Operationen

Nach dem septischen Eingriff sind die unmittelbare Patientenumgebung und meist auch die Bereichskleidung des Operationsteams kontaminiert. Deshalb sind besondere Verhaltensregeln nötig.

Das komplette Operationsteam schleust sich auf direktem Weg aus und neu wieder ein. Einzelheiten sind in den Hygienestandards der jeweiligen Einrichtungen festgelegt. Meist wird auch eine umfassendere Desinfektion des Operationssaals nötig sein, diese kann ggf. mit einer erhöhten Konzentration (z.B. 1% statt 0,5%) durchgeführt werden, um die Einwirkzeit zu reduzieren. Damit können annähernd normale Wechselzeiten erreicht werden. Ein »Ruhen« des Operationssaals für eine oder mehrere Stunden ist nicht nötig.

14.2.5 Erysipel

Das Erysipel ist eine auf die Haut beschränkte Infektion durch β-hämolysierende Streptokokken, meist der Gruppe A (Streptococcus pyogenes) seltener durch Gruppe C oder G.

Das Krankheitsbild fällt auf durch eine scharf begrenzte, leicht erhabene, schmerzhafte Rötung der Haut, meist begleitet von Fieber und allgemeinem Krankheitsgefühl (◘ Abb. 14.4). Prädilektionsstellen sind der Unterschenkel und das Gesicht.

Diagnose

Abstriche sind zur Diagnose im Prinzip wertlos, in etwa 5% der Fälle finden sich die Erreger in der Blutkultur, in ca. 20% in Rachenabstrichen. Aber die serologischen Streptokokken-Parameter sind erhöht, z.B. der Antistreptolysin-Titer.

Therapie

Die Therapie des Erysipels besteht in einer hochdosierten Penicillintherapie in Form von Penicillin G 4-mal 5000 IU i.v.. Wenn das Krankheitsbild klinisch nicht ganz typisch ist, sollte breiter therapiert werden, z.B. mit Cefuroxim 3-mal 1,5 g. Manchmal sind die Übergänge zur Phlegmone fließend.

Prognose

Ein Ansprechen des Lokalbefundes ist nicht sofort, sondern erst nach einigen Tagen zu erwarten. Rezidive sind häufig, v.a. bei einem Lymphödem an den Beinen. Da jedes Erysipel mit der Verödung zahlreicher Lymphbahnen einhergeht und die Gefahr chronischer Lymphödeme damit zunimmt, gilt es Rezidiven durch die Sanierung der Eintrittspforten vorzubeugen. Typische Eintrittspforten sind interdigitale Mykosen an den Zehen, dermale Mykosen, Ulcera crura, oberflächliche Wunden und Rhagaden trockener Hautareale.

14.2.6 Phlegmone

Eine Phlegmone ist eine eitrige Entzündung, die sich in tiefen dermalen Schichten, der Subkutis und im Bindegewebe ausbreitet. Die Erreger gelangen häufig durch Bagatellläsionen, z.B. im Fußbereich, ins Interstitium. Einige der Erreger haben Enzyme, welche die interzelluläre Substanz des Bindegewebes auflösen und auf diese Weise ein rasches Fortschreiten der Infektion bewirken.

◘ **Abb. 14.4** Erysipel des Ohrs

Beispiele dafür sind die Hyaluronidasen und Streptokinasen der β-hämolysierenden Streptokokken.

Klinik

Zu den klinischen Zeichen gehören der akute Verlauf mit starker Rötung, Überwärmung, Schwellung und Druckschmerz des betroffenen Gliedmaßenabschnitts, das rasche Voranschreiten und Wachstum des Prozesses in Richtung Körperstamm und die begleitenden Allgemeinsymptome mit Fieber und Abgeschlagenheit. Das entzündlich veränderte Gewebe ist teigig geschwollen; die Hautoberfläche glänzt.

Therapie

Die Therapie besteht in der Ruhigstellung der Extremität mit lokaler Anwendung kühlender Lösungen und der Gabe eines Antibiotikums. Die empirische antibiotische Therapie beinhaltet:

- Cefuroxim 3-mal 1,5 g i.v oder
- Ampicillin + Sulbactam 3-mal 3 g i.v.
- Bei β-Lactam-Allergie: Moxifloxacin 1-mal 400 mg p.o., wobei die erste Gabe i.v. verabreicht werden kann.

Nur wenn Hautläsionen vorliegen, macht ein Abstrich einen Sinn. Mikrobiologische Abstriche von der unverletzten Haut bringen nichts, wohl aber Blutkulturen bei Fieber.

Gleichzeitig muss die Eintrittspforte saniert werden. Sehr häufig handelt es sich um interdigitale Hautmykosen im Fußbereich, die mit einem Antimykotikum konsequent ausbehandelt werden müssen. Meist reicht es, Clotrimazol oder Terbinafin lokal zu applizieren. Die Gabe systemischer Antimykotika, z.B. Fluconazol p.o., ist nur bei schweren Befunden angezeigt. Aber auch ein Ulcus cruris oder Rhagaden an den Händen sowie Bagatellverletzungen, z.B. aufgekratzte Insektenstiche kommen in Betracht.

Meist bekommt man mit den genannten Methoden das Geschehen in den Griff. Eine operative Therapie wird allerdings notwendig, wenn ein eitriger Verhalt verbleibt oder ein besonders ausgedehnter Befund eine Sepsis oder ein Kompartment-Syndrom verursacht. In solchen Ausnahmefällen wird die Phlegmone breit gespalten. Die Zugangswege entsprechen denen für die Kompartmentspaltung (s. die Abschnitte »Kompartment-Syndrom« in den Kapiteln zu den verschiedenen Körperregionen sowie ▶ Kap. 17). Ein Abstrich vom infizierten Gewebe wird entnommen. Durch breites Eröffnen des Herdes kann die infizierte interstitielle Flüssigkeit in den Folgetagen abfließen. Die Wunde wird offen behandelt und mit Tüchern locker ausgelegt, sodass sie nicht wie eine Tamponade wirken, sondern wie eine Drainage. Selbstverständlich müssen die Tücher täglich gewechselt werden. Die Antibiose wird fortgeführt. Wenn der Infekt abgeklungen ist, kann die Wunde sekundär verschlossen werden. Vor der Sekundärnaht kann eine mehrtägige Vakuumversiegelung zwischengeschaltet werden, bis die Wunde mit Granulationsgewebe ausgekleidet ist. Dieses Verfahren hat sich im Hinblick auf drohende Rezidive im eigenen Vorgehen sehr bewährt.

14.2.7 Diabetischer Fuß

Ätiologie

Chronische Haut- Weichteil- und Knochenläsionen am Fuß sind häufig Folgen von Diabetes mellitus.

Die diabetische Angiopathie mit gestörter Mikrozirkulation und die diabetische Polyneuropathie mit vermindertem Schmerzempfinden, trophischen Störungen durch autonome Dysregulation sowie gestörter Motorik und Statik führen zu schmerzlosen Druckläsionen, dem so genannten Malum perforans. Aufgrund der Schmerzlosigkeit bagatellisieren die Patienten diese Druckläsionen häufig und gehen erst zum Arzt, wenn sich diese manifest infizieren.

Auch kleine Läsionen müssen sorgfältig in die Tiefe sondiert werden. Knochenkontakt lässt auf eine Osteitis schließen. Der verwendete Tupfer sollte mikrobiologisch untersucht werden.

Meist kommt eine polymikrobielle Infektion hinzu, die rasch voranschreitet. Die zunehmende Schwellung des Fußes kann über eine weitere Minderperfusion mit Sauerstoffmangel und Kompartment-Syndrom die Extremität gefährden und sogar zu einer vitalen Bedrohung führen.

Erreger

Meist sind Staphylococcus aureus mit oder ohne Streptokokken, Anaerobier, oder gramnegative Keime beteiligt. Zunehmend finden sich auch hochresistente Keime wie ESBL-Bildner. Daher ist eine mikrobiologische Diagnostik grundsätzlich indiziert.

Empirische antibiotische Therapie

Bei geringer, lokaler Entzündung ist eine ambulante Therapie möglich mit Clindamycin 3-mal 600 mg p.o. + Ciprofloxacin 2-mal 500 mg p.o.

Bei lokal begrenzter Infektion und stationärem Aufenthalt ist Amoxicillin + Clavulansäure 3-mal 2,2 g bzw. Ampicillin + Sulbactam 3-mal 3 g indiziert.

Besteht eine ausgedehnte Infektion mit Bedrohung der Extremität sind Piperacillin + Tazobactam 3-mal 4,5 g + Levofloxacin 1-mal 500 mg geeignet.

Bei vitaler Bedrohung durch Sepsis müssen Imipenem 4-mal 500 mg + Vancomycin 2-mal 1 g + Fosfomycin 3-mal 5 g gegeben werden.

Bei bekannten MRSA-Patienten sollte die Therapie ein MRSA-wirksames Antibiotikum enthalten, z.B. Vancomycin 2-mal 1 g oder Linezolid 2-mal 600 mg oder Daptomycin 4 mg/kg KG.

Da Keimspektrum und Erreger nicht vorhersehbar sind, ist eine mikrobiologische Diagnostik unabdingbar.

Die chirurgische Therapie orientiert sich an den Stadien der Infektion. Nur bei lokalen Infektionen ohne ausgeprägte Umgebungsreaktion und Fieber kann ambulant behandelt werden, ansonsten muss entsprechend der Ausdehnung des Prozesses ein stationäres Débridement vorgenommen werden.

Ein essenzieller Baustein der Therapie ist die Wiederherstellung einer ausreichenden Zirkulation.

Prognose

Durch das anhaltende Grundleiden sind Rezidive häufig. Amputationen können oft nicht vermieden werden.

14.2.8 Bursitis

Ätiopathogenese und Klinik

Bursae sind geschlossene, sackartige Strukturen, die eine geringe Menge seröser Flüssigkeit enthalten. Sie liegen an mechanisch beanspruchten Stellen über Knochenvorsprüngen, wo sich zwei Gewebeschichten unter Belastung gegeneinander verschieben müssen.

Subakromial und trochantär sind Bursitiden meist abakteriell. Am Olekranon und präpatellar entstehen nach Mikro- oder Ma-

kroverletzungen häufig Entzündungen bakterieller Genese. Deshalb müssen Wunden über dem Olekranon oder am Knie, die in Arealen liegen, die häufigen Druckbelastungen ausgesetzt sind, immer besonders sorgfältig auf eine mögliche Bursabeteiligung hin untersucht werden.

Solche Wunden werden häufig von den Patienten unterschätzt, sodass viele erst verzögert und bereits mit manifester Infektion in die Behandlung kommen. Verdächtig ist die anhaltende wässrige Sekretion aus einer Wunde und begleitende entzündliche Veränderung mit sichtbarer oder tastbarer Schwellung des betroffenen Schleimbeutels sowie Schmerzverstärkung bei Beugung. Häufig finden sich auch Rötung und Überwärmung des darüber liegenden Hautareals. Bei verzögerter Behandlung können daraus Phlegmonen entstehen, mit Zeichen der fortgeleiteten Entzündung wie Lymphangitis und Lymphadenitis bis zur Sepsis.

Diagnostik

Liegt eine Riss-Quetschwunde im Bereich einer Bursa, so muss die Wunde sorgfältig durch Verschieben der Wundränder und Ausleuchten der Wundtiefe inspiziert werden. Dann sind die glänzende Schleimhautauskleidung oder wässriges Sekret zu erkennen.

Hat es in eine Bursa nach stumpfem Trauma eingeblutet, imponiert dies als Vorwölbung. Bei Palpation lässt sich eine Fluktuation nachweisen. Nach länger zurückliegendem Knietrauma kann die Bursa auch fibrotisch verändert und druckschmerzhaft sein.

Sonografisch lässt sich die Flüssigkeitsansammlung innerhalb der Bursa gut nachweisen. Eitrige Flüssigkeit verändert das Echomuster charakteristisch in Form vermehrter Binnenechos. Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen werden zum Ausschluss frischer knöcherner Verletzungen oder etwaiger Fremdkörper angefertigt.

Die Bursapunktion unter sterilen Kautelen lässt weitere Aufschlüsse zu. Man beurteilt das Punktat makroskopisch und unterscheidet zwischen bernsteinfarben klarem, hämorrhagischem oder eitrigem Sekret und lässt es bakteriologisch untersuchen.

Hinweise auf eine Infektion geben auch die Entzündungsparameter im Blut (Leukozyten, Linksverschiebung, CRP) sowie die Körpertemperatur.

Antibiotische Behandlung

Während die nichtinfektiöse Bursitis antiphlogistisch und mit physikalischer Therapie behandelt wird, bedarf die infektiöse Bursitis der Antibiose. Diese muss im Wesentlichen Staphylococcus aureus erfassen. Ein Vorschlag zur empirischen Therapie ist:

- Stationär: Cefuroxim 3-mal 1,5 g i.v.
- Ambulant: Amoxicillin + Clavulansäure 2-mal 1 g p.o., bei Allergie: Moxifloxacin 1-mal 400 mg p.o.
- Bei Keimnachweis gezielte Therapie, z.B. bei Staphylococcus aureus Flucloxacillin 3-mal 1(–2) g i.v. oder 4-mal 0,5(–1) g p.o.

Zusätzlich ist meist ein chirurgisches Vorgehen in Form einer Bursektomie nötig.

Chirurgische Therapie

Traumatische Bursaeröffnung

Bei einer frischen, traumatischen Eröffnung einer Bursa besteht keine zwingende Indikation zur kompletten Bursektomie. Im Unterschied zu gegenteiligen Empfehlungen hat sich im eigenen Vorgehen bewährt, in diesen Fällen lediglich ein ausgiebiges Wunddébridement vorzunehmen mit Anfrischung möglichst aller Wundränder, Entfernung allen kontaminierten Gewebes und intensiver Spülung der Wunde. Unter den vergleichsweise behelfsmäßigen Bedingungen einer Notaufnahme, wo in örtlicher Betäubung ohne Einsatz einer Blutsperre und meist auch ohne Elektrokauter gearbeitet wird, kann man eine komplette Bursektomie nur bedingt technisch einwandfrei durchführen.

Erfahrungsgemäß heilen die in oben beschriebener Weise lediglich chirurgisch exzidierten und dekontaminierten Wunden traumatisch eröffneter Bursen problemlos ab, auch wenn restliches Bursagewebe in situ verbleibt. Dies deckt sich mit der klinischen Beobachtung, dass auch streckseitige Zugänge für die Osteosynthese oder Endoprothetik im Ellenbogen, Knie- oder Hüftbereich immer heilen, obwohl der Zugang quer durch Bursagewebe führt.

Voraussetzung für die ungestörte Heilung einer Wunde im Bursabereich ist natürlich, dass vor der Verletzung keine Infektion bestanden hat und die frischen Wunden zeitnah versorgt werden. Außerdem muss eine suffiziente Saugdrainage in die Wundhöhle gelegt und die betroffene Extremität in einer Schiene ruhiggestellt werden, bis die unterminierten Wundflächen ausreichend verklebt sind, was in der Regel nach 5–8 Tagen der Fall ist.

Primär braucht keine Antibiose zu erfolgen. Der Tetanusschutz muss abgeklärt werden.

Chronische Bursitis

Ganz anders verhält es sich mit chronischen Bursitiden. Wenn sie abakterieller Genese sind, sprechen sie gut auf eine antiphlogistische Therapie z.B. in Form von Kortisoninstillation (Triamcinolonacetonid) an. Die Instillation kann nach einigen Wochen nochmals wiederholt werden, falls die Bursitis wieder aufflammt. Bakterielle chronische Bursitiden bedürfen hingegen einer chirurgischen Therapie. Bei hochakuten Entzündungszuständen ist es sinnvoll, erst einige Tage mit Ruhigstellung und Antibiotikagabe konservativ zu behandeln (z.B. Cefuroxim 3-mal 1,5 g i.v.), bevor die Bursektomie durchgeführt wird; denn es ist viel einfacher, die Gewebegrenzen zu erkennen und die Bursa komplett zu entfernen, wenn das Gewebe nicht zu stark entzündlich verändert ist. Hat das Geschehen allerdings bereits zu einer systemischen Begleitreaktion (Fieber) geführt, muss der Eiterherd zunächst notfallmäßig drainiert und entlastet werden. Ist nach einigen Tagen die akute Entzündung abgeklungen, schließt sich die eigentliche Bursektomie an.

Während primär traumatische Bursaeröffnungen und abakterielle Bursitiden in Lokalanästhesie chirurgisch angegangen werden können, ist diese bei der bakteriellen Bursitis kontraindiziert, da sich der Infekt in die präformierten Hohlräume, die beim Instillieren des Lokalanästhetikums geschaffen werden, ausbreiten könnte. In diesen Fällen ist daher eine Regional- oder Allgemeinanästhesie erforderlich.

Operationstechnik

Am Knie bietet die quere Hautinzision über der Bursamitte im Verlauf der Langer-Spaltlinien das kosmetisch bessere Ergebnis. Die Inzision entspricht etwa der Patellabreite und kann bogenförmig nach den Seiten erweitert werden. Etwaige Hautverletzungen werden in die Inzision mit einbezogen und gleichzeitig exzidiert. Im eigenen Vorgehen wird aber insbesondere bei großen Bursen die Längsinzision bevorzugt, weil sie beliebig nach proximal und distal erweitert und für etwaige Folgeeingriffe wiederverwendet werden kann.

Am Ellenbogengelenk wird ohnehin nur der streckseitige Längsschnitt mit radialer Umschneidung der Olekranonspitze verwendet. Die Umschneidung erfolgt radial und nicht ulnar, um Narbenschmerzen zu vermeiden, die beim Abstützen des Ellenhakens entstehen könnten, denn dabei wird hauptsächlich der ulnare

Aspekt belastet. Außerdem geht man nicht unmittelbar über dem N. ulnaris ein, sondern auf der kontralateralen Seite.

Nach der Hautinzision wird die Bursa dargestellt. Sie wird mit einer Kocher-Klemme gefasst und unter Zug mit einer Präparierschere ausgeschält. Günstig ist, sich vor der Präparation einen Überblick über die Größenausdehnung der Bursa zu machen, indem man mit einem stumpfen Instrument den Schleimbeutel in alle Richtungen austastet. Beim Herausschälen des Gewebesacks orientiert man sich dann an der Grenzschicht zwischen Bursa und Subkutis einerseits und der Faszie des Streckapparats andererseits. Bei starken Vernarbungen, z.B. nach rezidivierenden Bursitiden, kann der Schleimbeutel häufig nur scharf herausgelöst werden, d.h. mit dem Skalpell. Die sorgfältige Blutstillung ist wichtig. Eine Redon-Drainage Charr 10 oder 12 wird eingelegt, anschließend werden Subkutis und Haut genäht und ein steriler, gepolsterter Kompressionsverband und eine Schiene angelegt.

Nachbehandlung

Die Frühmobilisation ist möglich. Die betroffene, geschiente Extremität wird hochgelagert. Bei Bursektomie am Bein und bei ausgeprägten Befunden am Arm ist eine Thromboseprophylaxe erforderlich. Ob das perioperativ verabreichte Antibiotikum weitergegeben werden soll, entscheidet der Operateur. Die erste Wundkontrolle und Entfernung der Drainage erfolgt meist am 2. postoperativen Tag. Die Ruhigstellung wird erst bei gesicherter Wundheilung aufgehoben.

Prognose

Die Entnahme des Schleimbeutels beeinträchtigt die Funktion der Extremität nicht wesentlich. Es kommt zwar zunächst zu Adhäsionen zwischen dem Weichteilmantel und den darunter liegenden Faszien- und Periostschichten, aber diese Verklebungen lösen sich im Laufe der Zeit wieder, und es bildet sich eine neue Verschiebeschicht und damit eine neue Bursa aus.

14.2.9 Myositis, Fasziitis

Schwere, tiefe Weichteilinfektionen sind mit einer Inzidenz von ca. 0,04/1000 oder weniger relativ seltene, aber lebensbedrohliche Ereignisse, die ein sofortiges Handeln erfordern. Sie gehören zu den seltenen Notfällen auch im mikrobiologischen Labor, denn von der korrekten und schnellen Anfertigung und Bewertung der Gramfärbung hängt die Therapie entscheidend ab.

Diagnostik

Wegweisend ist die Klinik. Im Labor findet sich meist eine ausgeprägte Leukozytose, ein deutlich erhöhtes CRP, eine beginnende Anämie, ein erniedrigtes Natrium, während das Kreatinin und der Blutzucker erhöht sind. Es muss ein Grampräparat von intraoperativ gewonnenem Gewebe angefertigt werden, womit die häufigsten Differenzialdiagnosen Streptokokken, Mischinfektion oder Gasbrand abgegrenzt werden können.

Therapie

Entscheidend ist die frühe, ausgedehnte, aggressive chirurgische Therapie mit Débridement allen nekrotischen Gewebes. Jede Verzögerung geht mit einer steigenden Letalität einher. Nach dem Eingriff sollten alle Wundränder vitales, blutendes Gewebe zeigen.

Die initiale Antibiose muss breit angelegt und hochdosiert sein (z.B. Imipenem 4-mal 1 g + Vancomycin 2-mal 1 g + Clindamycin 4-mal 600 mg). Mehrere mikrobiologische Proben müssen gewonnen und ad hoc untersucht werden (s. oben). Die weitere Behandlung erfolgt auf der Intensivstation. Wundrevisionen müssen häufig (alle 6–48 h) und so lange durchgeführt werden, bis kein nekrotisches Gewebe mehr aufzufinden ist. Wenn vor der nächsten geplanten Revision ein Anstieg der Entzündungszeichen zu bemerken ist, so muss sie ggf. früher als geplant erfolgen.

Nach Kenntnis der Erreger ist die antibiotische Therapie anzupassen.

Ätiologie

Die Einteilung geschieht nach der Ätiologie.

Nekrotisierende Fasziitis Typ I (polymikrobiell)

Synergistische nekrotisierende Zellulitis (non-clostridial anaerobic cellulitis), Ursachen sind:

- Komplikation eines diabetischen Beins,
- postoperativ oder nach Schleimhautpenetration im Darm oder im Urogenitalberich (Fournier-Gangrän),
- nach Schleimhautpenetration im Halsbereich (Ludwig's Angina).

Erreger: polymikrobiell: Anaerobier (Bacteroides, Fusobakterien, Peptostreptokokken), Enterobacteriaceaen, Streptokokken.

Wegweisend ist das Grampräparat mit einem bunten, polymikrobiellen Bild mit grampositiven Kokken, gramnegativen Stäbchen, oft zusätzlich Fusobakterien (Abb. 14.5).

Indiziert ist eine breite antibiotische Therapie, z.B. mit Imipenem 3- bis 4-mal 1 g initial + Vancomycin 2-mal 1 g.

Nekrotisierende Fasziitis Typ II (Streptokokken Fasziitis)

Sie entsteht über Hautläsionen, häufig auch nach Bagatellverletzungen und ist gekennzeichnet durch ein rasches Fortschreiten des Krankheitsbildes. Nach 24 h treten zunächst ein Erythem und Schmerzen auf (Abb. 14.6). Dann verfärbt sich die Haut purpur. Es bilden sich Blasen und schließlich eine Epidermolyse. Wenn sich Blasen gebildet haben, besteht in der Regel schon eine ausgeprägte, tiefe Fasziitis. Toxine führen zum Nieren- und letztlich Multiorganversagen.

Die Erreger sind β-hämolysierende Streptokokken meist der Gruppe A (S. pyogenes). Wegweisend ist das Grampräparat mit ausschließlich grampositiven Kokken. Die Therapie besteht in einer ausgedehnten chirurgischen Eröffnung der Fasziitis mit Nekrosenabtragung und gleichzeitiger hochdosierten Therapie mit Penicillin G 4-mal 5-10 Mio IE + Clindamycin 4-mal 600 mg.

S. pyogenes in chirurgischen Infektionen ist mit besonderer hygienischer Sorgfalt zu behandeln, denn Ausbrüche mit teils

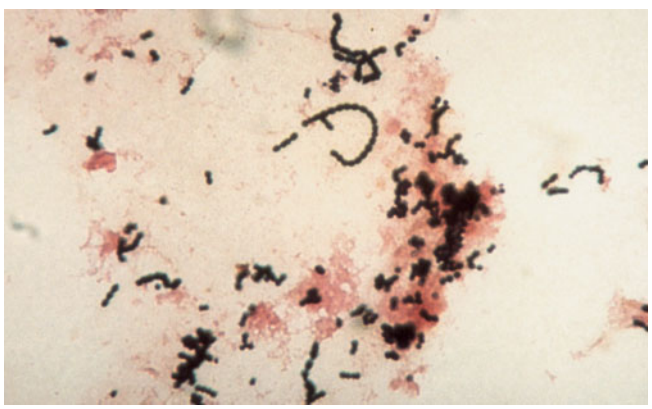


Abb. 14.5 Mikroskopisches Bild von Streptokokken

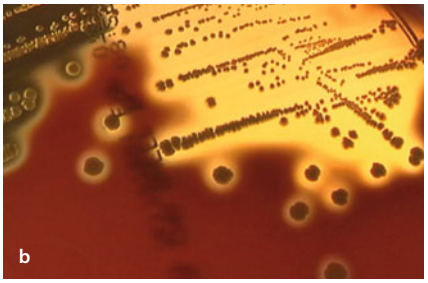


Abb. 14.6a,b **a** Nekrotisierende Fasziitis am Ellenbogen (Bildquelle: Kreisklinik Altötting). **b** Kultur: β-hämolysierende Streptokokken auf Columbia Blut Agar

schweren Konsequenzen kommen vor. Die Patienten müssen in einem Einzelzimmer isoliert werden und Pflegekräfte und Ärzte müssen beim Umgang mit den Erkrankten Schutzkittel tragen. Außerdem müssen Handschuhe getragen und nach jedem Patientenkontakt oder Kontakt mit dem direkten Patientenumfeld die Hände desinfiziert werden.

14.2.10 Gasbrand

Die Inkubationszeit des Gasbrands kann weniger als einen Tag nach einer Verletzung betragen, aber andererseits auch bis zu 8 Tage dauern. Der Ausbruch beginnt plötzlich mit sehr starken Schmerzen und einem raschen Fortschreiten der Entzündung. Die ursprünglich blasse Haut verfärbt sich zunächst dunkel, bronzeartig, später livide; sie wirkt gespannt. Dann entstehen Blasen und eine Gasbildung im Gewebe wird diagnostizierbar.

Es kommt zu ausgeprägten toxischen systemischen Zeichen mit Hämolyse und letztlich einem Multiorganversagen. Die Muskulatur ist dunkel verfärbt, verliert ihre Kontraktibilität und blutet kaum.

Beweisend ist bereits das Grampräparat aus Biopsiematerial mit plumpen grampositiven, manchmal initial auch gramnegativen Stäbchenbakterien (Clostridien), zerfallender quergestreifter Muskulatur, weitgehend ohne Leukozyten.

Die Mikrobiologie muss notfallmäßig angefertigt werden!

Die Erreger lassen sich in Blutkulturen und Kulturen aus Biopsiematerial nachweisen. Es handelt sich meist um Clostridium perfringens.

Die **Therapie** ist immer primär chirurgisch mit maximalem Débridement, hyperbarer Oxygenierung (Sauerstoff-Überdruckkammer) und einer hochdosierten Antibiose mit Penicillin 4-mal 10 Mio i.v. + Clindamycin 4-mal 600 mg i.v..

Die Prognose ist schlecht, insbesondere bei Gasbrand am Rumpf.

Gasbrand (spontan)

Die Erkrankung verläuft von der Klinik her ähnlich und foudroyant wie die posttraumatische Verlaufsform. Prädisponierend sind gastrointestinale Prozesse, z.B. ein Kolonkarzinom, Leukämien, Chemotherapie oder Bestrahlung. Der Erreger ist meist Clostridium septicum, das in der Regel in der Blutkultur nachgewiesen werden kann.

Pyomyositis

Die Pyomyositis kommt hauptsächlich in den Tropen vor und ansonsten nur bei HIV-positiven Patienten. Nach Verletzungen treten lokal Schmerzen in einer Muskelgruppe und Fieber auf. Der Erreger ist meist Staphylococcus aureus. Die Diagnose lässt sich durch die mikrobiologische Untersuchung eines Nadelaspirats sichern. Die Prognose ist bei adäquater chirurgischer und antibiotischer Therapie, z.B. mit Cefuroxim 3-mal 1,5 g i.v. gut (Anaya u. Dellinger 2007).

14.3 Infektion von Knochen und Gelenken

14.3.1 Versorgung offener Frakturen

Die Klassifikation der offenen Frakturen ist in der modifizierten Einteilung von Gustilo und Anderson (Gustilo 1993; Tab. 14.2) dargestellt. Folgende **Prinzipien** zur Behandlung offener Frakturen sind etabliert.

Erstversorgung

Die Komplikationswunden werden bereits am Unfallort steril abgedeckt und erst im Operationssaal unter sterilen Kautelen entfernt.

Antibiose

Eine Single-Shot-Antibiose wird präoperativ verabreicht. Nur in Ausnahmefällen wird die Antibiose postoperativ mehr oder weniger lang fortgeführt, weil die primäre Wundbesiedlung mit Keimen nach 10 Tagen regelmäßig einem Wandel hin zu den typischen Hospitalkeimen unterliegt. Bei stark verschmutzten Wunden mit Einsprengung von z.B. Erde muss zusätzlich ein Antibiotikum gegen Anaerobier gegeben werden.

Stabilisierung

Die Fraktur muss notfallmäßig mit einem externen oder internen Verfahren stabilisiert werden. Je ausgeprägter die Weichteilschädigung ist, umso mehr ist die primäre Versorgung mit einem Fixateur externe indiziert, wenngleich auch höhergradige Frakturen mit einem unaufgebohrten Marknagel versorgt werden können. Auch perkutane wenig invasive Plattenosteosyntheseverfahren eignen sich, z.B. das LISS-System. Gefährlich sind dagegen die offene Plattenosteosynthese und die Markraumbohrung, weil durch die Beeinträchtigung der Durchblutung, die diesen Verfahren immanent ist, die Infektgefahr steigt.

Débridement und Lavage

Kontaminierte Wunden, gequetschtes Gewebe, unterminierte Wundränder oder deperiostierte kortikale Knochenfragmente müssen ausgedehnt, evtl. mehrmals débridiert und lavagiert werden. Im Einzelnen wird folgendermaßen vorgegangen: Die Haut wird mit antiseptischer Lösung desinfiziert. Frei liegende Knochenenden werden mit einer sterilen Handbürste mechanisch gereinigt – ggf. unter Einsatz einer Jodlösung, wie sie zur Desinfektion von Schleimhaut verwendet wird. Der Einsatz einer gepulsten Druckspülung (Jet-Lavage) muss gut bedacht werden. Wenn das

Gewebe vulnerabel ist, hat eine gepulste Druckspülung u.U. einen nachteiligen Effekt, weil es die Gewebe, z.B. Muskulatur oder Fettgewebe, zusätzlich auflockert und damit Räume für Mikroorganismen präformiert. Die gepulste Druckspülung empfiehlt sich deshalb nur für stabile Gewebe, z.B. die Hautoberfläche, Faszie und insbesondere Knochen. Muskelgewebe eignet sich in der Regel nicht, allenfalls der besonders widerstandsfähige Muskel des sehr jungen Patienten, und Fettgewebe eignet sich schon gar nicht. Wenn man Fettgewebe druckspült, kann man dabei zusehen, wie einzelne Gewebeanteile mit Spüllösung aufgeschwemmt werden und sich große flüssigkeitsgefüllte Hohlräume bilden.

Beim Débridement werden zunächst die Hautränder sparsam exzidiert. Gequetschtes oder verunreinigtes Fettgewebe wird komplett entfernt. Mit der Muskulatur wird hingegen ganz sparsam umgegangen. Sie wird lediglich von Verunreinigungen frei gespült und evtl. durch ein oder 2 Situationsnähte adaptiert. Komplett deperiostierter, kortikaler Knochen hat in einem offenen Bruch keine Chance zur Heilung und wird deshalb wie alles bradytrophe Gewebe entfernt. Dies gilt nicht für spongiöse Fragmente, die nach intensiver Reinigung zur Rekonstruktion verwendet werden können. Wenn ein sorgfältiges Débridement durchgeführt wurde, kann die Komplikationswunde offen bleiben oder primär geschlossen werden mit der Maßgabe, dass sie ggf. im Rahmen eines Second look erneut inspiziert wird. Dies sollte der erstversorgende Operateur bereits festlegen und aus Gründen der Kontinuität nach Möglichkeit bei jedem weiteren Eingriff dabei sein.

Deckung der Wunde

Defektwunden können, bis sie endgültig gereinigt sind, mit einer Vakuumversieglung anbehandelt und nach Konditionierung des Wundgrundes plastisch gedeckt werden. Kleinere Defekte lassen sich mit lokalen Lappenplastiken, insbesondere mit einem der beiden Gastrocnemii beherrschen. Dabei ist zu bedenken, dass Raucher eine deutlich schlechtere Einheilungsrate von Weichteillappen nach plastischen Eingriffen aufweisen als Nichtraucher.

Weitere Fixierung

Bei primärer Montage eines Fixateur externe wird ein früher Verfahrenswechsel auf einen unaufgebohrten Marknagel, seltener auch auf eine perkutane Plattenosteosynthese angestrebt. Der Wechsel sollte möglichst innerhalb der ersten 3 Wochen nach dem Unfall stattfinden. Er ist kontraindiziert bei manifester Pinkanalinfektion. In diesem Fall ist es sicherer, ein implantatfreies Intervall bis zur Ausheilung des Infekts einzuhalten.

Resektion, Verkürzung, Amputation

Bei offenen Frakturen mit ausgedehntem Weichteilschaden kann eine primäre Verkürzung von bis zu 5 cm ein denkbarer Ausweg aus einer schwer beherrschbaren Situation sein, mit der Option, den Unterschenkel nach Ausheilung der Weichteile wieder zu verlängern. Eine Verkürzung von mehr als 5 cm ist nicht ratsam, denn dann drohen Durchblutungsprobleme aufgrund von Knickbildungen der großen Gefäße.

Eine Alternative zur Verkürzung ist die Resektion zerstörten Gewebes einschließlich des Knochens unter Beibehaltung der Länge und Anlage eines primären Segmenttransports entweder mit einem Ringfixateur nach Ilisarov oder mit einem Rohrfixateur mit Gewindestange (Abb. 10.79).

Sind die peripheren Pulse nachweisbar und besteht kein Anhalt für eine Nervenverletzung, wird versucht, die Extremität zu erhalten. Falls feststeht, dass der N. ischiadicus oder tibialis posterior unterbrochen ist, sollte die Extremität amputiert werden. Wird bei fehlenden Pulsen ein Erhaltungsversuch unternommen, sollte laut Roessler (1997) innerhalb der ersten 24 postoperativen Stunden der Flüssigkeitsbilanz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Bei einer positiven Bilanz von >3 l/24 h muss die Amputation des verletzten Extremitätenabschnitts ernsthaft erwogen werden. In Zweifelsfällen wird der MESS zur Entscheidung hinzugezogen. Ein MESS >7 spricht ebenfalls für eine Amputation.

14.3.2 Osteitis, Osteomyelitis

Terminologie

Der Begriff Osteomyelitis wird zunehmend durch die Bezeichnung Osteitis ersetzt, weil es sich nicht nur um eine Entzündung des Osteomyelons handelt, sondern immer alle Strukturen des Knochens betroffen sind (Schneider et al. 1996).

Ätiologie und Pathogenese

Eine konsekutive Serie zeigte für geschlossene Frakturen ein Risiko von 1,9%, für offene Frakturen von 6,2% und für drittgradig offene Frakturen von 10,2%, eine Osteitis zu entwickeln (Ochsner 1992). Unterschieden werden die endogene Form, die durch hämatogene Streuung entsteht und meist im Wachstumsalter auftritt, sowie die exogene Osteitis, die sich bei offenen Frakturen oder nach Osteosynthesen entwickeln kann. Als pathogenetische Faktoren wirken Zahl, Virulenz und Resistenz der eingebrachten Erreger sowie die allgemeine Abwehrlage des Patienten und das lokale Milieu am Verletzungsort. Dabei wird die Infektanfälligkeit des nichtkontaminierten Knochens bereits durch das Einbringen von Implantaten erhöht (■ Abb. 14.7).

Folgende Faktoren erhöhen das Risiko einer Knocheninfektion (Schrinner 1997):

- Alkoholabusus
- Arterielle Verschlusskrankheit
- Diabetes mellitus,
- Hypoproteinämie
- Hb <8,0 g%
- Schock
- Karzinom
- Nikotin, Allergie, Drogen, Hämophilie

Klinik

Bei Frühinfekt bzw. akuter Osteitis finden sich die klassischen Infektionszeichen wie Calor, Rubor, Dolor, Tumor und Functio laesa sowie eine meist massive Erhöhung der Entzündungsparameter im Labor und der Körpertemperatur. Häufig kommen bereits aus der stationären Behandlung entlassene Patienten erst dann zurück zum Operateur, wenn eine Fistelbildung bzw. Sekretion eingetreten ist. Bei der chronischen Osteitis finden sich im Bereich der Fisteln zum Teil ausgedehnte Narbenareale, in denen sich die Krankheitserreger ansiedeln können. Im Gegensatz zum eindeutigen klinischen Bild sind die Laborveränderungen häufig viel weniger deutlich ausgeprägt.

Diagnostik

Neben der Klinik stehen zahlreiche bildgebende Verfahren zur Verfügung, die eine differenzierte Abklärung der verdächtigen Regionen ermöglichen. Standard ist das konventionelle Röntgenbild, das eine kortikale Destruktion oder periostale Reaktion sowie die für die Osteitis pathognomonischen Sequestrierungen zeigt. Durch eine Fistelfüllung mit Kontrastmittel kann die Ausdehnung des Prozesses abgeschätzt werden.

Abb. 14.7a–f Radiologischer Verlauf einer Infektpseudarthrose. **a** Per- bis subtrochantäre Mehrfragmentfraktur des rechten Hüftgelenks, primäre Frakturstabilisierung mit einer DCS (dynamische Kondylenschraube). **b** Implantatversagen 2 Monate postoperativ. **c** Verfahrenswechsel auf einen langen Gammanagel. **d** 6 Monate postoperativ: Infektpseudarthrose mit Hüftkopfnekrose. **e** Entfernung des Gammanagels und mehrere Revisionen bei temporärer Girdlestone-Situation. **f** 10 Monate postoperativ: Ausheilungsergebnis nach Implantation einer zementierten Hüfttotalendoprothese mit Knochenaufbau durch Fremdknochen und Netzinterposition sowie Trochanterrefixierung durch eine Zuggurtung. Die 88-jährige Patientin wurde wieder mobil (O. Braunsperger, Rosenheim)

Die CT ist sensitiver als die konventionelle Radiologie. Wichtig ist sie insbesondere für die Diagnostik im Bereich der Wirbelsäule, des Beckens, des Sternums und der großen Röhrenknochen, da sie eine hohe Auflösung und eine exakte topografisch Zuordnung ermöglicht.

Mit der MRT wurde es erstmals möglich, die Perfusion des Knochens zu beurteilen. Über die Knochengrenze hinaus ermöglicht sie außerdem, den begleitenden Weichteilprozess mitzuerfassen. Die Möglichkeit der Darstellung in einer beliebigen Schichtebene ist darüber hinaus ein wichtiges Element zur exakten Einschätzung der Ausdehnung des Prozesses. Nach Chandnani et al. (1990) liegt die Sensitivität der MRT in der Frühdiagnostik der Osteitis bei 94% im Vergleich zu 66% für die CT, bei einer Spezifität von 93 vs. 97%.

Die nukleartechnische Basisuntersuchung bei Verdacht auf Osteitis ist die 3-Phasen-Skeletttszintigrafie. Zur weiteren Differenzierung können verschiedene Tracer eingesetzt werden. So bieten sich z.B. für die akute Osteitis ^{99m}Tc-Nanokolloide, für die chronische Osteitis ^{67}Ga-Zitrat an. Allerdings kann nicht zwischen einer aseptischen Entzündung und einer Infektion differenziert werden.

Klassifikation

Wenn eine Osteitis innerhalb der ersten 2–4 Wochen auftritt, spricht man von einem Frühinfekt, nach 4–12 Wochen von einem verzögerten und ab 13 Wochen von einem Spätinfekt (Tab. 14.8). Diese Einteilung wird jedoch nicht von allen Autoren gleich gehandhabt.

Tab. 14.8 Bezeichnung der Infekte in Abhängigkeit vom Zeitintervall ihres Auftretens

Bezeichnung	Zeitintervall
Frühinfekt	2–4 Wochen
Verzögerter Infekt	4–12 Wochen
Spätinfekt	Nach 12 Wochen

Therapie

Frühinfekt

Bei Verdacht auf einen Frühinfekt ist ein schnelles und konsequentes Handeln angezeigt. Das klinische Bild und das CRP sind die beiden Orientierungskriterien, die eine relativ verlässliche Entscheidungsgrundlage bilden. Wenn der CRP-Wert 10-mal höher als die Norm liegt, spricht das in der Gesamtschau für ein operatives Vorgehen. Steigen die Werte bei sich verschlechterndem klinischen Befund, besteht ebenfalls Handlungsbedarf.

Bei der Revision ist es wichtig, die Operationswunde in ihrer gesamten Ausdehnung wieder zu eröffnen, denn den rein epifaszialen, isolierten Infekt gibt es laut Muhr (2002) nicht. Infekte, die mit einem entsprechenden Weichteilbefund und Allgemeinreaktionen inklusive einer CRP-Erhöhung einhergehen, kommen immer aus der Tiefe. Deshalb muss bei jeder Revision grundsätzlich die Faszie mit eröffnet werden.

Infekt im Implantatlager

Neben dem Débridement der Wunde ist die Stabilitätsprüfung wesentlicher Bestandteil des Eingriffs. Sehr häufig steckt hinter einem tiefen Infekt eine instabile Osteosynthese. Bei Osteosyntheseplatten wird der Sitz der Schrauben überprüft. Wenn durch Débridement saubere Weichteilverhältnisse erreicht wurden, kein Stahlimplantat, sondern Titan verwendet wurde und die Schrauben sich fest drehen lassen, kann das Implantat beim Frühinfekt belassen werden. Gegebenenfalls können gelockerte Kortikalisschrauben gegen längere oder gegen Spongiosaschrauben ausgetauscht werden, um den Plattensitz zu festigen.

Verzögerter Infekt

Beim verzögerten Infekt gelten die gleichen Grundsätze, mit der Einschränkung, dass einliegende Implantate aufgrund der meist schon länger währenden und ausgedehnteren Infektion entfernt werden müssen. Nach der Implantatentfernung wird das Implantatlager ausgiebig débridiert. Wenn die Fraktur noch nicht fest verheilt ist, was in der Regel der Fall ist, wird sie mit einem Fixateur ruhiggestellt (Abb. 14.8, Abb. 14.9).

Lockere knöcherne Fragmente – z.B. im trochantären Bereich nach proximalen Femurtrümmerfrakturen – können mit einer Zuggurtung refixiert, kleinere Fragmente komplett reseziert werden. Bei ausgeprägter Osteoporose kann die Verbundosteosynthese die einzige Möglichkeit sein, Stabilität zu erreichen, bei gelenknahen Trümmerfrakturen die Endoprothese.

Bei jeder Revision legt man den Zeitpunkt eines Second look fest, der möglichst wieder vom selben Team durchgeführt werden sollte.

Spätinfekt

Der Eingriff kann eingehend geplant werden, ggf. mit Fisteldarstellung und MRT, um die Ausdehnung sowohl im Knochen als auch im Weichteilgewebe mitbeurteilen zu können. Bei der operativen Sanierung ist es entscheidend, das Fistelgangsystem komplett zu exzidieren. Dabei ist es hilfreich, dieses zu Beginn des Eingriffs mit Methylenblau anzuspritzen. Das gesamte minderdurchblutete Narbengewebe und abgestorbene Knochengewebe muss reseziert werden.

Ein Markrauminfekt an Humerus, Femur oder Tibia lässt sich am besten durch Aufbohrung, ausgiebige gepulste Druckspülung und Einlage kollagener Antibiotikaträger sanieren. Bei gleichzeitiger Instabilität schließt sich eine Stabilisierung mittels Marknagel oder Fixateur an. Durch dieses Vorgehen wurde bei 84% der behandelten Patienten eine dauerhafte Sanierung erreicht (Pape et al. 1995).

Durch langwierige Osteitiden können ausgedehnte Sklerosierungen des Markraums entstehen, die das Aufbohren der Markhöhle unmöglich machen. In solchen Fällen kann die Fensterung und in Ausnahmefällen auch das Schaffen einer Rinne ggf. auf die gesamte Länge des Röhrenknochens ein Ausweg sein. Entscheidend ist, dass alle Toträume mit erfasst und alles nekrotische und kontaminierte Gewebe exzidiert wird.

Mit Hilfe von Antibiotikaträgern können lokal sehr hohe Wirkspiegel erreicht werden. Die Tendenz weist heute mehr zu den resorbierbaren Antibiotikaträgern, weil sie nicht entfernt werden müssen und auf die Weichteile keinen Druck ausüben. Außerdem können sie zur Markraumtamponade oder Stillung diffus blutender Wundflächen verwendet werden. Gleichzeitig wird eine systemische Antibiotikabehandlung nach Resistenzprüfung durchgeführt.

Abb. 14.8a–d Ein 70-jähriger Patient mit zahlreichen Risikofaktoren wie Adipositas, Herzinsuffizienz und chronisch venöser Insuffizienz hat nach Versorgung einer lateralen Tibiakopfimpressionsfraktur mit Beteiligung des Unterschenkels das frisch operierte Bein voll belastet. Dies führte zum Korrekturverlust im Bereich der lateralen Tibiakondyle. **a, b** Röntgenaufnahmen und Weichteilsituation (**c**) nach vorzeitiger Belastung am 5. postoperativen Tag. **d** Nach wenigen Wochen bildete sich eine fistelnde Weichteilläsion, die mehrere Revisionen und letztlich die vorgezogene Implantatentfernung erforderlich machte

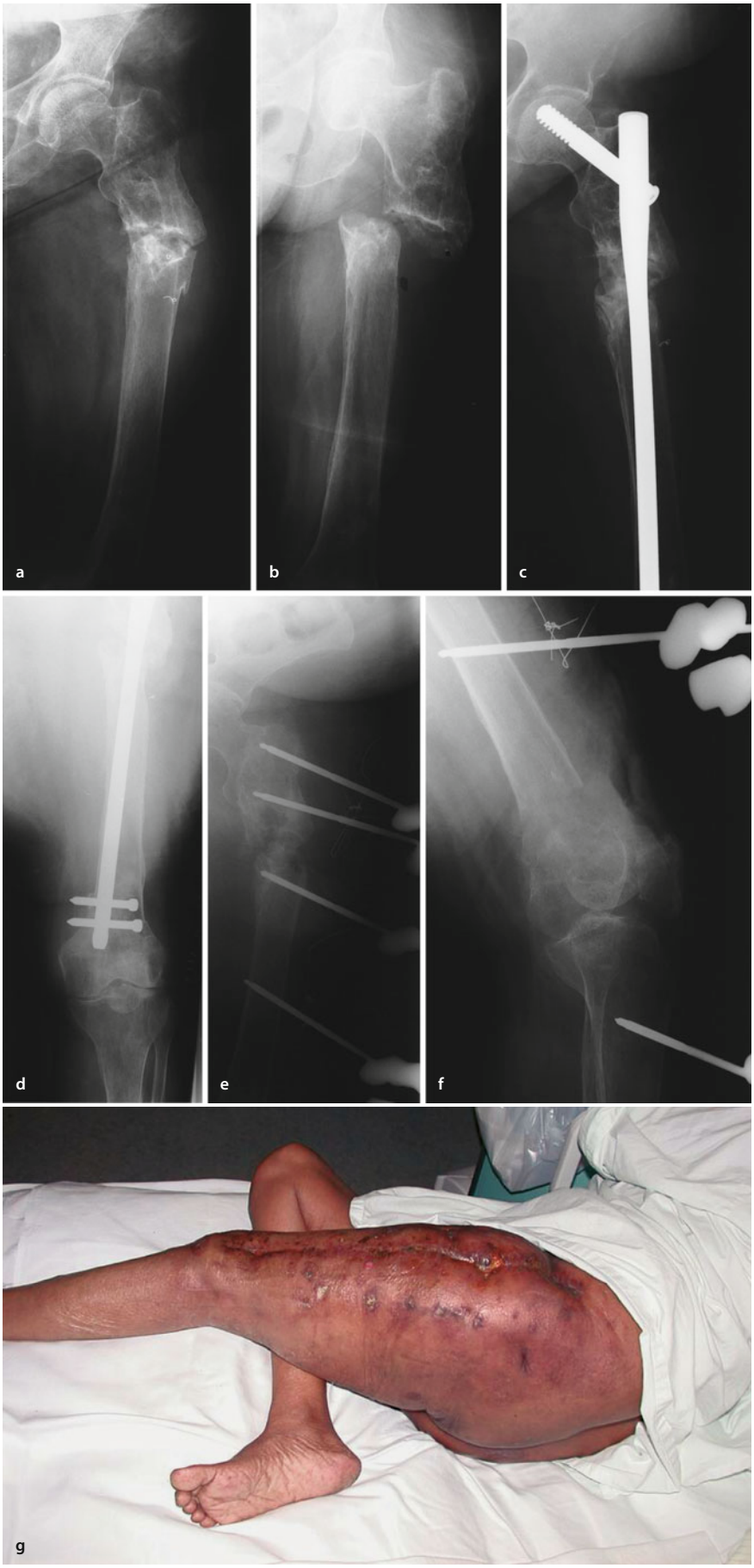


Abb. 14.9a–g Markraumphlegmone. **a, b** Eine 60-jährige Asiatin erlitt eine subtrochantäre Refraktur des linken Femurs bei seit 4 Jahren bestehender Infektpseudarthrose. **c, d** Die Fraktur konnte durch einen langen Verriegelungsnagel mit Hüftkomponente nicht ausreichend stabilisiert werden. Bei der distalen Verriegelung wurde aufgrund einer ausgeprägten Osteoporose zusätzlich eine suprakondyläre Fraktur verursacht. **e, f** Innerhalb weniger Tage entwickelte sich eine Markraumphlegmone, die zur Implantatentfernung und Anlage eines Fixateur externe zwang. Der Infekt klang aber erst ab, nachdem der Markraum auf ganze Länge rinnenförmig eröffnet wurde. Eine offene Wundbehandlung mit täglicher Applikation großer Mengen von Zucker schloss sich an. Nach 3 Wochen hatte sich die Wunde komplett gereinigt und war so weit granuliert, dass sie sekundär genäht werden konnte. **g** Ausheilungsergebnis nach 3 Monaten

Eine Spongiosaplastik zur Auffüllung von Defekten empfiehlt sich erst, wenn ein Infekt vollständig ausgeheilt ist.

In besonders schweren Fällen, in denen größere Knochenareale betroffen sind, bleibt oft nur die Resektion des infizierten Schaftanteils mit nachfolgendem Segmenttransport nach Ilisarov. Bei Gelenkbeteiligung lässt sich ein chronischer Infekt häufig nur durch ausgedehntes Débridement und anschließende Arthrodese in den Griff bekommen. In völlig ausweglosen Situationen muss ggf. auch die Amputation eines Extremitätenabschnitts erwogen werden.

Spondylitis, Spondylodiszitis

Der Erreger der Spondylodiszitis ist meist Staphylococcus aureus. Der Erregernachweis sollte nicht nur mikrobiologisch, sondern auch histopathologisch durchgeführt werden. Dies gelingt über eine CT-gesteuerte Punktion des Herdes. Die Behandlung besteht in einer Antibiose für 6 Wochen. Die Antibiotika werden i.v. appliziert und können auf eine orale Gabe umgestellt werden, wenn die Entzündungsparameter im Serum um 50% der Ausgangswerte gesunken sind. Bei Risikopatienten sollen die Antibiotika mindestens 12 Wochen gegeben werden. Die Angaben in der Literatur schwanken zwischen 23 und 231 Tagen. Der Durchschnittswert liegt bei 95 Tagen. Eine Orthese braucht nicht getragen zu werden. Sie beeinflusst das Outcome nicht.

Eine operative Intervention ist nur indiziert, wenn die Antibiose nicht greift, neurologische Ausfälle eintreten, eine pathologische Fraktur zum Gibbus führt und bei therapieresistentem Schmerz. Man geht an der Halswirbelsäule von ventral vor. Im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule sind all die Verfahren beschrieben, die auch für die Frakturbehandlung genutzt werden und hier wiederum ein- oder zweizeitig. Bei nur geringer Destruktion oder generell bei sehr alten Patienten und hohem Operationsrisiko kann auch interventionell vorgegangen werden. Die Erfolge bei konservativem und operativem Vorgehen sind laut Muhr (2002) identisch.

Das gesamte Thema inklusive der konservativen und operativen Therapieoptionen ist im ► Kap. 4, Wirbelsäule im Abschnitt 4.5.3 ausführlich dargestellt.

Komplikationen und Prognose

Die Infektionsrate bei geschlossenen, einfachen Tibiakopffrakturen und erfahrenem Operateur war geringer als bei Trümmerfrakturen mit Weichteilschaden und weniger erfahrenem Operateur (Dillin u. Slabaugh 1986). Bei einer Operationsdauer über 2 h steigt die Infektionsrate sprunghaft an (CDC 1989). Trotz der Verwendung verschiedenster Methoden ist die Reinfektionsrate nach der Behandlung einer Osteitis nach wie vor hoch. Rezidive können auch noch nach Jahrzehnten auftreten (Schneider et al. 1996). Eine chronische Osteitis kann zu einer Amyloidose, einem Sarkom oder Fistelkarzinom führen.

14.3.3 Empyem

Ätiologie

Ein Empyem ist die Ansammlung von Eiter in einer präformierten Höhle wie einem Gelenk, der Pleura oder Gallenblase. In der Unfallchirurgie hat man es in der Regel mit Schulter- oder Kniegelenkempyemen zu tun. Die häufigsten Ursachen sind eine stattgehabte intraartikuläre Injektion von Steroiden bei schmerzhaften degenerativen Prozessen, die hämatogene Streuung oder eine postoperative Infektion. Die betroffenen Patienten sind meist abwehrschwach durch fortgeschrittenes Lebensalter und einschlägige Begleiterkrankungen.

Klinik und Diagnostik

Das betroffene Gelenk ist geschwollen, überwärmt, druckschmerzhaft und gerötet. Seine Beweglichkeit ist meist stark schmerzhaft eingeschränkt oder im Sinne einer Schmerzlähmung ganz aufgehoben. Die Patienten zeigen Allgemeinsymptome einer beginnenden oder fortschreitenden Sepsis. Die Diagnose ist aufgrund des akuten klinischen Bildes meist eindeutig.

Dennoch sollte man das Gelenk präoperativ punktieren, um vor Beginn der Antibiotikatherapie Keime asservieren und die Diagnose sichern zu können. Aufgrund der makroskopischen Beschaffenheit des Punktats lassen sich bereits wichtige Rückschlüsse ziehen. Klare, bernsteinfarbene Flüssigkeit findet sich beim Reizerguss, purulente beim Empyem. Beim zellreichen Punktat besteht eine Grauzone, in der aufgrund des makroskopischen Befundes allein nicht sicher entschieden werden kann, ob eine Infektion vorliegt. Die Trübung allein ist nicht beweisend für eine bakterielle Besiedelung, denn sie entsteht auch bei Leukozytenzahlen >15.000/ml.

Eine akute konfluierende Bursitis am Kniegelenk kann dem klinischen Bild des Empyems ähneln. In diesem Fall muss die Lokalisation des Verhalts sonografisch abgeklärt werden. Viel schwieriger ist es, einen akuten Gichtanfall abzugrenzen, denn im Moment des Anfalls sind die Harnsäurewerte im Serum meist erniedrigt, weil sich die Harnsäure im Gelenk konzentriert hat. Die Beschaffenheit des Punktats und die mikroskopische Suche nach Harnsäurekristallen helfen weiter; außerdem fehlen die Zeichen einer beginnenden Sepsis, und die Beschwerden sprechen auf nichtsteroidale Antiphlogistika gut an.

Therapie

Timing

Der **akute Gelenkinfekt** ist ein absoluter Notfall, weil die Entzündung über Mediatoren (Interleukine) den Knorpel zerstört. Die Nüchternheitsgrenze braucht also nicht abgewartet zu werden. Nach 48 h können schon 40% der Knorpeloberfläche irreversibel geschädigt sein und nach 96 h 100%. Bei Verdacht auf Gelenkinfekt sollte zum Beweis der Diagnose deshalb unbedingt punktiert werden. Anschließend müssen sofort eine Gramfärbung und eine Kultivierung der Keime erfolgen. Solange der Verdacht auf eine Gelenkinfektion besteht, sollte er bis zum Beweis des Gegenteils notfallmäßig angegangen werden.

Ein Infektgeschehen, das bereits länger als 7 Tage währt, sollte nicht mehr arthroskopisch angegangen werden, sondern gleich primär offen chirurgisch über eine Arthrotomie, denn in diesem Fall ist meist ein ausgedehntes Débridement erforderlich, das offen schneller und effizienter durchgeführt werden kann. Beim arthroskopischen Vorgehen bestünde die Gefahr, dass Spülflüssigkeit in die umgebenden Weichteile gedrückt und auf diese Weise der Infekt verbreitet wird.

Spül-Saug-Drainagen bringen häufig nicht den gewünschten Erfolg, weil schnell Spülstraßen entstehen, die eine infektfreie Situation vorspiegeln, in Wirklichkeit aber Toträume im Gelenk nicht miterfassen.

Ob ein Infekt beherrscht wird, erkennt man am besten am CRP, denn es reagiert innerhalb von 48 h und ist deshalb ein hervorragender Verlaufsparameter.

Arthroskopie

Ein Empyem wird in der Regel arthroskopisch behandelt. Der Zugang erfolgt, wie es für die einzelnen Gelenke in den jeweiligen Kapiteln beschrieben ist. Da das purulente Sekret die Sicht komplett verwehrt, wird das Gelenk zunächst intensiv über den

Arthroskopieschaft gespült. Um auch die Toträume zu erfassen, empfiehlt es sich, das Gelenk mehrfach hintereinander zunächst mit einem gewissen Druck von z.B. 100 mmHg komplett volllaufen zu lassen. Dann massiert man es von außen, damit sich Eiter und Spülflüssigkeit miteinander vermengen. Anschließend wird das Gemisch abgelassen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis die Spülflüssigkeit klar zurückströmt.

Nun besteht ausreichende Sicht, um den Gelenkbinnenraum beurteilen zu können. Mit der eigentlichen Therapie beginnt man erst, wenn man einen Überblick über die Gesamtsituation gewonnen hat, denn durch die ausgeprägte Entzündung können bei der nun folgenden Abtragung von Fibrinbelägen und synovialen Zotten anhaltende Blutungen auftreten und die Sicht erheblich einschränken. Deshalb wird man auch trotz des floriden Infekts zur Arthroskopie peripher liegender Gelenke die Möglichkeit der Blutsperre nutzen.

Im Fibrin sind Bakterien eingeschlossen und gegen den Zugriff der körpereigenen Abwehr geschützt. Außerdem deckt das Fibrin den Knorpel ab und beeinträchtigt auf diesem Weg dessen Ernährung über die Gelenkflüssigkeit. Deshalb sollten alle Fibrinbeläge, soweit möglich, entfernt werden. Die Notwendigkeit einer Synovialektomie ist jedoch umstritten, denn der Gelenkinnenhaut werden ähnlich dem Peritoneum wichtige Funktionen bei der Infektabwehr zugeschrieben. Überdies ist die komplette Synovialektomie zeitaufwändig und hinsichtlich des weiteren Verlaufs aufgrund der zu erwartenden Nachblutung gerade im Moment des akuten Infekts nicht unproblematisch. Deshalb wird man sich in der Regel darauf beschränken, das Gelenkspiel und die arthroskopische Sicht störende synoviale Zotten mit einem Resektor oder Cutter zu entfernen und die übrige Gelenkauskleidung der Selbstheilung unter laufender Antibiose und Drainage zu überlassen.

Während all der geschilderten Maßnahmen laufen viele Liter Spülflüssigkeit durch das Gelenk unter Erfassung aller Toträume. Dies führt zu einer weitgehenden Keimreduzierung. Am Ende des Eingriffs wird über die Arthroskopiehülse ein Redon retrograd ins Gelenk eingeführt und in einem Recessus platziert. Anschließend werden die Drainage durch Annaht gegen vorzeitige Dislokation gesichert und das Bein mit einem wattegepolsterten Kompressionsverband gewickelt.

Arthrotomie

Bei hochakuten Fällen mit ausgeprägter Sekretion, nach erfolgloser arthroskopischer Therapie oder bei einliegender Endoprothese ist eine Arthrotomie indiziert. Man geht über einen streckseitigen geraden Zugang mit medialer Umschneidung der Patella vor (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Durch Luxieren der Patella nach lateral wird eine gute Übersicht erreicht. Nach intensiver Spülung des Gelenks werden alle Fibrinbeläge und synovialen Wucherungen exzidiert. Eine gepulste Druckspülung anzuwenden, empfiehlt sich nur für Knochen, Knorpel oder die Oberflächen von Endoprothesen, nicht für entzündlich veränderte, vulnerable Gewebe (▶ Abschnitt 14.2.4, Abszess). Wenn das Gelenk vollständig débridiert und ausreichend gespült ist, wird es drainiert und mit einzelnen Nähten verschlossen, um es später ggf. sogar auf der Motorschiene mobilisieren zu können.

Komplikationen und Prognose

Septische Gelenkdestruktionen

Eine septische Gelenkdestruktion (Kollig 2002) im Bereich der Schulter wird bei jungen Patienten am besten mit einer Arthrodese versorgt, bei alten hingegen mit einer Prothese.

Am Ellenbogen sollte dagegen eine Arthrodese vermieden werden, weil die Patienten funktionell damit sehr schlecht zurechtkommen. Das spiegelt auch die Uneinigkeit in der Literatur wider, denn ein Teil der Autoren empfehlen eine Versteifung in 30°-Beugung, was kosmetisch günstig, funktionell aber ungünstig ist, während der andere Teil eine 100°-Beugung bevorzugt, was kosmetisch störend, aber hinsichtlich der Funktion besser ist. Eine Prothese kann auch deshalb nicht empfohlen werden, weil die Standzeiten am Ellenbogengelenk zu gering und die Ergebnisse nur bei Rheumatikern gut sind. Es bleibt somit nur die Resektionsarthroplastik. Dabei werden die beiden Gelenkpartner mit Fascia lata oder lyophilisierter Dura umhüllt und durch entsprechende Kapselnähte eingestellt. Die Nachbehandlung erfolgt mit einem Distraktionsfixateur mit Gelenk.

Am Handgelenk zeigt die Arthrodese sehr gute Ergebnisse. Sie ist nach wie vor Goldstandard.

An der Hüfte kann in ausweglosen Situationen eine Girdlestone-Situation geschaffen werden, mit der Option der späteren Endoprothetik.

Am Knie ist bei gescheiterter Endoprothese die Arthrodese Methode der Wahl. Die regelmäßig eintretende Verkürzung kann später mit der Ilisarov-Technik behoben werden. Für die definitive Arthrodese am Knie empfehlen sich die intramedullären Stäbe der Fa. Link statt eines Fixateur externe, weil die Pins am Oberschenkel immer Weichteilentzündungen verursachen. Der Arthrodesennagel bietet mehr Komfort für den Patienten.

Auch am Sprunggelenk ist die Arthrodese nach wie vor Goldstandard, denn mit der Endoprothetik dieses Gelenks liegt noch vergleichsweise wenig Erfahrung vor und die zu erwartenden Standzeiten können noch nicht ausreichend abgeschätzt werden. Laut Muhr (2002) endet jede Infektion des Sprunggelenks zwangsläufig in der Arthrodese.

14.3.4 Infizierte Endoprothese

Epidemiologie

Pro Jahr entstehen im Rahmen der Endoprothetik bundesweit ca. 1700 Infekte. Spätinfekte sind am persistierenden Schmerz und Lockerungszeichen erkennbar sowie am erhöhten CRP und der erhöhten BSG, während die Leukozyten im Normbereich liegen können.

Therapie

Ein Infekt bei liegender Endoprothese macht eine Arthrotomie notwendig. Die Arthroskopie ist aus verschiedenen Gründen nicht Erfolg versprechend. Die metallischen Oberflächen reflektieren stark und beeinträchtigen die Sicht. Die Gelenkkompartimente sind durch den Gleitflächenersatz anatomisch so verändert, dass sie das arthroskopische Vorgehen behindern. Aus diesem Grund gelangt man nicht überall hin, und verschiedene Räume – z.B. der unter einem mobilen Inlay – können nicht ausreichend gereinigt werden. Bei offenem Vorgehen bestehen diese Nachteile nicht. Neben dem üblichen Débridement (s. oben) kann das Gelenk mit einer gepulsten Drucklavage gereinigt werden. Mobile Prothesenteile können ausgetauscht werden.

Laut Wittner (2002) kann bei postoperativem Infekt nach dem Einbau einer Prothese das **Implantat** dann **erhalten** werden, wenn eine frühe Revision innerhalb der ersten 14 Tage erfolgt und der Erreger ein grampositiver Keim ist. Das Polyethylen sollte allerdings nach Möglichkeit immer gewechselt werden. Bei Revisionen, die nach dieser 2-wöchigen Frist erfolgen, muss seiner Ansicht

nach die gesamte Prothese gewechselt werden, wobei ein- oder zweizeitig vorgegangen werden kann. Wittner verwendet keine Jet-Lavage für den Wechsel wegen der Gefahr der Gewebeaufschwemmung. Er spült mit einer großen Spritze unter Anwendung von mindestens 3 l Ringer-Lösung. Die Oberflächen im Situs sollen auch nicht mit dem scharfen Löffel abgekratzt, sondern mit dem Skalpell débridiert werden. Nur dann werden die keimbesiedelten Flächen ausreichend erfasst. Aus diesem Grund sollen alle Nähte ausgeschnitten und nicht nur gezogen werden. Damit ein möglichst umfassendes Débridement erfolgen kann, muss die Prothese auf jeden Fall luxiert werden. Beim Wundverschluss empfiehlt es sich, mit dem Nahtmaterial sparsam umzugehen, um möglichst wenig Fremdmaterial einzubringen. Die postoperative Antibiotikatherapie soll 4 Wochen fortgeführt werden. Bei alten hinfälligen Patienten ist es besser, eine infizierte Prothese zu belassen und eine Dauerdrainage einzulegen oder eine Defektheilung mit einer Fistel anzustreben. Bei MRSA- oder Pseudomonasinfektion ist immer ein zweizeitiges Vorgehen indiziert.

Neugebauer (2002) fasst den Zeitraum, in dem ein Prothesenerhalt möglich ist, mit 3–6 Wochen weiter. Ein Spätinfekt liegt nach 6 Wochen vor. Wurde die Prothese zementiert, ist ihr Erhalt eher möglich als bei unzementierter Prothese, denn der Knochenzement versiegelt den Markraum. Bei unzementierter Prothese sollte diese immer gewechselt werden. Außerdem muss beim Wechsel alles bradythrophe Gewebe débridiert werden. Anschließend legt man kollagene Antibiotika ein. Damit werden nicht nur sehr hohe Wirkspiegel vor Ort erreicht, sondern es kann damit auch der Markraum tamponiert und eine ausreichende Blutstillung bewirkt werden. Beim Prothesenwechsel empfiehlt sich ein unzementiertes Vorgehen mit einer Titanprothese, weil Titan ein bakterizider Effekt nachgesagt wird. Knochendefekte werden mit autologer Spongiosa aufgefüllt, die mit Chips kollagener Antibiotika durchmischt werden.

Neugebauer empfiehlt ein einzeitiges Vorgehen, wenn keine Fistel vorliegt, der Keim gut zu therapieren ist und die Prothesenimplantation nicht länger als 6 Wochen zurückliegt, ein zweizeitiges bei Fistel, Problemkeim und Erstoperation länger als 6 Wochen vorher. Wenn eine Revision zur Diskussion steht, sollte sie möglichst frühzeitig durchgeführt und dabei grundsätzlich jedes größere Hämatom ausgeräumt werden. Nach einem sorgfältigem Débridement und dem kompletten Prothesenausbau wird das gesamte Instrumentarium abgegeben und gegen frisches ausgetauscht. Auch Neugebauer hält die Jet-Lavage im ödematös-entzündlich veränderten Weichteilgewebe für kontraindiziert. Sie sollte nur im gesunden, festen Muskelgewebe und am Knochen angewendet werden. Beim zweizeitigen Vorgehen kann die ausgebaute Prothese als Platzhalter (Spacer) verwendet werden. Man muss sie dazu nach dem Ausbau sterilisieren und anschließend mit einem Gentamycin-Palacosmantel überziehen, bevor sie passager wieder eingesetzt wird. Die postoperative Antibiotikaprophylaxe dauert 4–6 Wochen.

Laut Muhr (2002) ist eine **Lockerung einer Prothese** innerhalb der ersten beiden Jahre keine aseptische, sondern meist eine septische auf dem Boden einer Small-colony-variants-Infektion. Der Nachweis von small colony variants ist sehr schwierig und erst nach langer Bebrütung möglich. Voraussetzung ist u.a. ein korrekt aus der Tiefe entnommener Abstrich ohne Oberflächenkontakt. Alternativ kann eine Gewebeprobe eingeschickt werden. Ein schneller Transport in die Mikrobiologie unter kühlen Bedingungen bei Raumtemperatur ohne Bebrütung ist günstig. Die Keime sind empfindlich auf Cotrimoxazol oder Vancomycin bzw. Gentamicin, die letzteren beiden jedoch nur in Kombination mit Rifampicin.

Nachbehandlung

Die Drainage ermöglicht den Abfluss verbliebenen infizierten Sekrets und sollte deshalb erst bei geringen Fördermengen gezogen werden. Allerdings reizt der Fremdkörper die Gelenkinnenhaut, weshalb die Exsudation solange erhöht bleiben wird, wie die Drainage liegt. Deshalb bleibt die Drainage in der Regel allenfalls einige Tage in situ. Gleichzeitig wird das betroffene Gelenk unter adäquater Schmerztherapie auf einer Motorschiene mehrfach täglich durchbewegt. Dies ist der entscheidende Unterschied zur Behandlung von Infekten, die sich außerhalb von Gelenken abspielen. Die Mobilisierung ist deshalb so wichtig, weil dadurch die Toträume im Bereich der verschiedenen Recessi und Kompartimente im Wechsel ausgepresst werden und auf diese Weise verbliebenes infiziertes Sekret über die Drainage das Gelenk verlassen kann. Gleichzeitig wird narbigen Verklebungen vorgebeugt und dafür gesorgt, dass der Knorpel ausreichend ernährt wird, denn dieser braucht den Wechsel zwischen Be- und Entlastung.

Unter laufender Antibiose wird der Heilungsfortschritt beurteilt. Dazu werden die Weichteilsituation und die Entzündungsparameter im Serum herangezogen. Der Weichteilbefund sollte möglichst täglich beurteilt werden, am besten vom Operateur selbst, weil dieser den intraoperativen Befund kennt und als der Behandelnde einer so schwerwiegenden Angelegenheit, wie sie ein Empyem darstellt, ohnehin zu den Erfahrenen im Team gehören dürfte. Die Verlaufskontrolle der Entzündungsparameter kann hingegen in mehrtägigen Abständen erfolgen. Falls sich Weichteilbefund und Laborwerte verschlechtern, ist ein Second look indiziert.

Literatur

Anaya D, Dellinger EP (2007) Necrotizing Soft-Tissue Infection: Diagnosis and Management, Clin Inf Dis 44: 705–710

Arens S (2002) Einfluss des Implantates auf das Infektionsrisiko.Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar

ASHP (1999) Therapeutic Guidelines on Antimicrobial Prophylaxis in Surgery April 21

AWMF Leitlinie (2010) OP-Kleidung und Patientenabdeckung, HygMed 35(10): 367ff

AWMF Leitlinie (2009) zur Hygiene in Klinik und Praxis. Maßnahmen beim Auftreten multiresistenter Erreger (MRE) HygMed 34 (7/8)

Bär W (2004) Anaerobe Bakterien. In: Adam D, Doerr HW. Die Infektiologie, Springer Verlag; Berlin Heidelberg New York

Bleck TP (2005) Clostridium tetani. In: GL Mandell. Principles and Practice of Infectious Diseases 6th, Elsevier 2817–2824

Brandt et al. (2006) Reduction of Surgical Site Infection Rates Associated With Active Surveillance; Infect Control Hosp Epidemiol 27: 1347–1351

Bratzler, Houck et al. (2004) Antimicrobial Prophylaxis for Surgery: An Advisory Statement from the National Surgical Infection Prevention Project; CID: 38

Brigham PA,McLoughlin E (1996) Burn incidence and medical care use in the United States: Estimate, trends, and data sources. J Burn Care Rehab 17: 95–107

Bundesgesundheitsblatt (2007) Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch Institut: Prävention postoperative Infektionen im Wundgebiet

Bundesgesundheitsbl. 50: 377–393

Bundesgesundheitsblatt (1999) Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am RKI Empfehlung zu Prävention und Kontrolle von Methicillin resistenten S.aureus Stämmen (MRSA) in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen Bundesgesundheitsbl. 42: 954–958

Centers for Disease Control/CDC (1989) Definitionen für nosokomiale Infektionen.Hyg Med 14: 259–269

Chandnani VP, Beltran J, Morris CS, et al. (1990) Acute experimental osteomyelits and abscesses: Detection with MR Imaging versus CT. Radiolgy 174: 233–236
Cochrane database (Jul 28/2009) Antibiotika reduzieren die Osteomyelitis Inzidenz bei offenen Frakturen
David A (2002) Infektionschirurgie: Wie radikal ist radikal?. Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar
Dillin L, Slabaugh P (1986) Delayed wound healing. J Trauma 26: 1116–1121
Ekkernkamp A (2002) Ist die Therapie der postoperativen Infektion noch finanzierbar? Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar
Empfehlungen der ständigen Impfkommission (STIKO) am Robert-Koch-Institut; Stand Juli 2010, Epidemiologisches Bulletin 30/2010, S. 296
Engesaeter LB et al. (2003) Antibiotic prophylaxis in total hip arthroplasty: effects of antibiotic prophylaxis systemically and in bone cement on the revision rate of 22.170 primary hip replacements followed 0-14 years in the Norwegian Arthroplasty Register. Acta Orthop Scand 74: 644–651
Geberding JL (1995) Management of Occupational Exposure to Blood-Borne Viruses, N Engl J Med. 332: 444-451
Gustilo RB (1993) Open fractures. In: Gustilo RB, Kyle RF, Templeman DC (eds) Fractures and dislocations. Mosby, St. Louis. pp 169–195
Jeschke MG,Herndon DN,Baer W,Barrow RE,Jauch KW (2001 a) Possibilities of gen transfer to improve dermal and epidermal regeneration. Current Gene Therapy 1: 267–278
Jeschke MG, Herndon DN, Ebener C, Baer W, Jauch KW (2001 b) A high vitamin, protein and amino acid nutrition improves protein metabolism during the hypermetabolic state after a burn injury. Arch Surg 136: 1301–1306
Jeschke MG, Richter G,Geissler EK, Perez-Polo JR, Herndon DN, Hofstätter F, Jauch KW (2001 c) Therapeutic success and efficacy of nonviral liposomal cDNA gene transfer to the skin is dose dependent. Gene Therapy 8: 1777–1784
Jeschke MG, Richter W, Ruf SG (2001 d) Cultured autologous outer root sheath cells: A new therapeutic alternative for chronic decubital ulcers.Plast Reconstr Surg 107: 1803–1806
Kasteren et al. (2002) Antibiotic Prophylaxis and the Risk of Surgical Site Infection following Total Hip Arthroplasty: Timely Administration Is the Most Important Factor; CID 44: 921–927
Kinzl L (2002) Diskussionsbeitrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar 2002
Kollig E (2002) Septische Gelenkdestruktion: Resektion – Prothese oder Arthrodese? Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar 2002
Kompendium der Regional-Anästhesie, Astra-Chemicals GmbH, in Anlehnung an den Atlas »Regionalanästhesie« erstellt (1985) Fischer, Stuttgart
Kramer A, Daeschlein G, Kammerlander G, et al. (2004) Konsensusempfehlung zur Auswahl vom Wirkstoffen für die Wundantiseptik. Zeitschr. für Wundheilung 3/2004: 110–120
Kujath P (2008) Wunden, von der Physiologie zum Verband; Dt Ärztebl, 28. März: 239–247
Lonneke GM et al. (2010) Preventing Surgical Site Infections in Nasal Carriers of Staphylococcus aureus, N Engl J Med 362: 9–17
Mandell GL (2005) Principles and Practice of Infectious Diseases 6th, Elsevier: 2047–2054, 3571, 3574
Mangram AJ et al. (1999) HICPAC Guideline for Prevention of Surgical Site Infection. Inf Contr Hosp Epidemiol 20(4): 250–272
Muhr, G (2002) Diskussionsbeiträge auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar
Muto et al. (2003) SHEA Guideline for Preventing Nosocomial Transmission of Multidrug-Resistant Strains of Staphylococus aureus and Enterococcus, Infect Contr Hosp Epidemiol 24(5): 362–385
Neugebauer R (2002) Die septische Prothesenlockerung: Ein- oder zweizeitig, zementiert oder zementfrei? Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar 2002
NHS clinical guideline 74 (2008) Prevention and Treatment of Surgical Site Infection, National Institute for Health and Clinical Excellence
Nichols RL (2001) Preventing Surgical Site Infections: A Surgeons Perspective Emerg Infect Dis 7:2: 220–224
Ochsner PE (1992) Prognosis and complications of open fractures.Helv Chir Acta 59: 129–141
Pape HC, Zwipp H, Regel G, Hoffmann M, Maschek H, Tscherne H (1995) Chronische therapierefraktäre Osteomyelits langer Röhrenknochen – Möglichkeiten und Risiken der Markraumbohrung. Unfallchirurg 98: 139–144
Paul Ehrlich Gesellschaft im Internet unter http://www.p-e-g.de/AWMF-online Leitlinie (2009) Händedesinfektion und Händehygiene: http://uni-duesseldorf.de/AWMF/11/029-027.htm
Renken F (2002) Die postoperative Infektion: Schicksal oder Fehler, was sagt das Infektionsschutzgesetz? Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. Bis 26. Januar
Robert-Koch-Institut (2010) Infektionsepidemiologisches Jahrbuch für 2009, Epidemiologisches Bulletin 46/2010, Berlin
Roy MC (2003) Modern Approaches to Oreventing Surgical Site Infections. In: Wenzel RP. Prevention and Control of Nosocomial Infections 4th Lippincott
Russe OJ (2002) Weichteilinfektion – inklusive der nekrotisierenden Fasziitis. Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar 2002
Sarrazin U et al. (2005) Prophylaxe gegenüber HBV, HCV und HIV nach beruflicher Exposition, Deutsches Ärzteblatt 102/33: 2234–2239
Scharfetter-Kochanek K, Meewes C, Eming S, Brenneisen P (1999) Chronic wounds and growth factors. HG 11: 664–672
Schneider U, Hierholzer G, Böhm H-J (1996) Knochen- und Gelenkinfektionen. Unfallchirurg 99: 789–800
Schrinner S (1997) Die Behandlung posttraumatischer bzw.postoperativer Knocheninfektionen am Unterschenkel. Vortrag auf der 5. Dortmunder Unfallchirurgie-Tagung
Scottish Intercollegiate Guidelines Network (2008) Antibiotic Prophylaxis in Surgery 104
Singer AJ, Clark RAF (1999) Cutaneous wound healing.N Engl J Med 341: 738–745
Wacha, Hoyme et al (2010) Perioperative Antibiotika Prophylaxe; Chemother 19: 70-84
Walenkamp G (2002) Antibiotikaprophylaxe zwischen kann und muss. Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar
Wicker S, Rabenau HF, Groneberg DA, Gottschalk R (2009) Arbeitsbedingte Infektionen bei Mitarbeitern des Gesundheitswesens: Blutübertragbare Erkrankungen, Zbl Arbeitsmed 59: 138–150
Wittner A (2002) Der Endoprothesenfrühinfekt: Ist der Implantaterhalt möglich? Vortrag auf dem 15. Bochum-Treff zum Thema »Die postoperative Infektion« 25. bis 26. Januar

Polytrauma

W. Jakob, B. Weigel

15.1 Basiswissen – 886
15.2 Präklinische Versorgung – 886
15.3 Klinische Versorgung – 895
15.4 Reanimation – 904
15.5 Ethische Fragen – 906
Literatur – 907

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_15,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

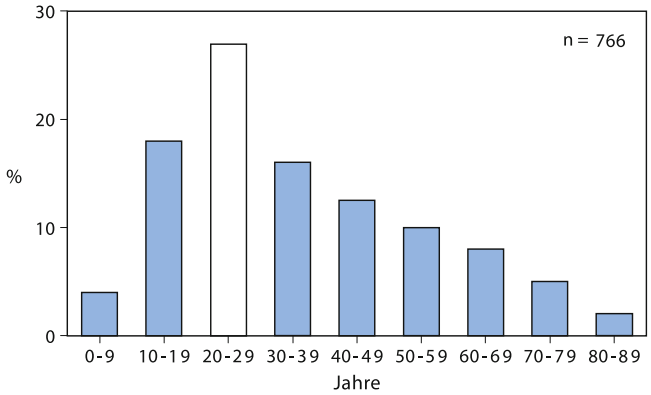
15.1 Basiswissen

Als Polytrauma bezeichnet man eine gleichzeitig entstandene Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme, wobei eine der Verletzungen oder die Kombination der Verletzungen lebensbedrohend ist (◘ Abb. 15.1, ◘ Abb. 15.2).

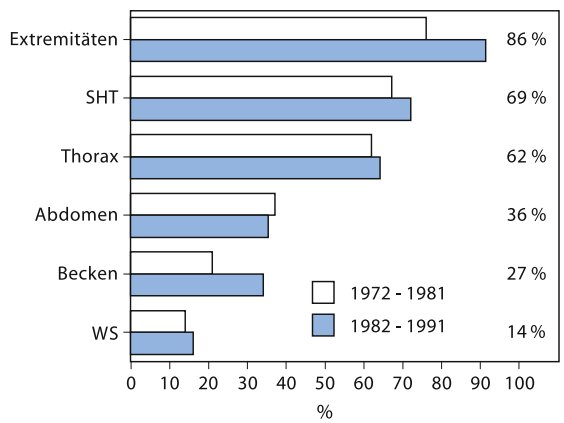
Zur erfolgreichen Versorgung von polytraumatisierten Patienten sind entsprechende strukturelle und personelle Voraussetzungen erforderlich. Erfolgreich bedeutet nicht nur das Überleben, sondern auch eine gute funktionelle Wiederherstellung möglichst vieler Patienten zu erreichen. Da hierbei erhebliche Kosten entstehen, darf auch die Kosteneffizienz nicht außer Acht gelassen werden (Rucholtz et al. 1995, Bühren 2007). Das bedeutet in der Gesamtschau, dass die klinische Versorgung dieser Patienten am besten von spezialisierten Zentren wahrgenommen wird, denn je schneller und kompetenter der Ablauf gelingt, umso besser ist die Prognose des einzelnen Falls. Deshalb sehen die Verantwortlichen der verschiedenen Traumanetzwerke vor, alle Fälle zu dokumentieren und einer Qualitätssicherung zu unterziehen.

Die Behandlung polytraumatisierter Patenten gliedert sich in die 3 Stufen:

1. Präklinische Versorgung
2. Klinische Versorgung im Schockraum
3. Definitive klinische Versorgung



◘ **Abb. 15.1** Altersverteilung polytraumatisierter Patienten. (Aus: Oestern u. Regel 1997)



◘ **Abb. 15.2** Verletzungshäufigkeit verschiedener Körperregionen. (Aus: Oestern u. Regel 1997)

Für jeden dieser Bereiche sind materielle und personelle Strukturen sowie Ablaufschemata, so genannte Algorithmen, erforderlich. Im Sinne der Qualitätssicherung ist in allen 3 Bereichen eine entsprechende Dokumentation der Ergebnisse notwendig.

Entscheidend für den Erfolg sind zügige Abläufe, bei denen alle wesentlichen Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt vollständig erfolgen. Für den präklinischen Bereich sind diese Abläufe und Maßnahmen den Prehospital Trauma Life Support-Richtlinien (PHTLS) und für den klinischen in den Advanced Trauma Life Support-Richtlinien (ATLS) beschrieben. Momentan durchlaufen alle führenden Klinikmitarbeiter, die im Rahmen der Traumanetzwerke an der Versorgung Schwerverletzter beteiligt sind, derartige Schulungen.

15.2 Präklinische Versorgung

15.2.1 Struktur der präklinischen Versorgung

Die präklinische Versorgung eines polytraumatisierten Patienten obliegt dem Notarzt. Arztbesetzte Rettungsmittel werden bei Meldebildern alarmiert, die ein schweres, lebensbedrohliches Trauma erwarten lassen (▶ Übersicht Notarztindikation). Höherwertige Rettungsmittel (Rettungshubschrauber) müssen großzügig und frühzeitig hinzugezogen werden, um Verzögerungen bei Versorgung und Transport zu vermeiden (Westhoff et. al. 2008).

15.2.2 Vorgehen am Notfallort

Der »Erste Blick«

Am Einsatzort sind Maßnahmen zur Eigensicherung zu treffen. Die Lage wird gesichtet. Die Anzahl der Verletzten und die Schwere von Verletzungen werden eingeschätzt und – falls erforderlich – umgehende weitere Rettungsmittel ausreichender Qualität (Luftrettung) nachgefordert. Eingeklemmte Personen werden mit feuerwehrtechnischen Mitteln befreit (Hempelmann et al. 1999, Madler et al. 1998). Die Rettungsmaßnahmen laufen parallel zur notärztlichen Versorgung. Der Notarzt spricht die Maßnahmen mit dem Einsatzleiter der Feuerwehr ab.

Die Verdachtsdiagnose »Polytrauma« wird beim Vorliegen bestimmter Unfallmechanismen und Umgebungsumstände gestellt, wie in der Übersicht aufgeführt.

Unfallmechanismen und Situationen, die zur Verdachtsdiagnose »Polytrauma« führen

- Fußgänger oder Radfahrer von Fahrzeug erfasst
- Person eingeklemmt
- Person aus Fahrzeug geschleudert
- Fahrzeugdeformierung >50 cm
- Zusammenstoß mit einer Geschwindigkeit >50 km/h
- Verunfallte Person war nicht angeschnallt
- Sturz aus >3 m Höhe
- Verletzung durch Explosion
- Tod eines weiteren Pkw-Insassen

Vitalparameter

Vitalparameter und Verletzungsmuster werden erfasst durch Beurteilung des neurologischen, des respiratorischen und des zirkulatorischen Status (◘ Abb. 15.3).

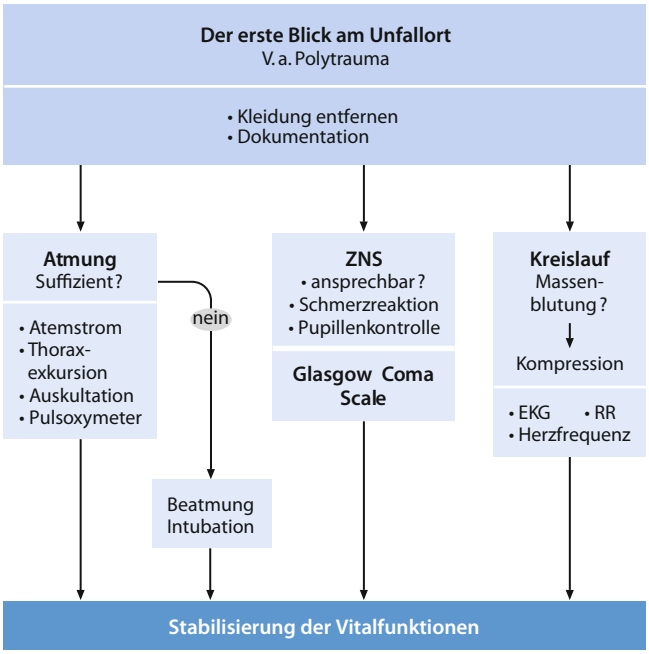


Abb. 15.3 Der Erste Blick am Unfallort

Notarztindikationen (nach Hempelmann et al. 1999)

Symptome

- Luftnot nach Trauma
- Blutung
- Bewusstlosigkeit
- Starke Schmerzen
- Zyanose
- Verbrennung

Lagebilder

- Schwerer Verkehrsunfall
- Einklemmung in einem Fahrzeug oder einer Maschine
- Notwendigkeit der technischen Rettung
- Brand
- Explosion
- Verschüttung, Sturz aus ≥ 3 m Höhe

Diagnosen

- Thoraxtrauma
- Bauchtrauma
- Frakturen großer Röhrenknochen
- Dislozierte Frakturen
- Amputationen
- Penetrierende Verletzungen

Neurologischer Status

Zunächst prüft man die Reaktion auf Ansprache. Wenn der Patient nicht reagiert, untersucht man, ob der Patient auf Schmerzreize eine Abwehrreaktion zeigt und die Augen öffnet. Verbale Äußerungen geben weiteren Aufschluss. Außerdem wird kontrolliert, ob der Patient alle Extremitäten bewegen kann.

Der Bewusstseinszustand wird mit Hilfe der »Glasgow-Coma-Scale« (GCS) dokumentiert. Darin fließen die Parameter »Augen öffnen«, »Extremitätenbewegung« und »verbale Äußerung« mit ein (▶ Kap. 1, Kopf und Hals, ▶ Abschnitt 1.2). Die Pupillen werden auf Größe, Größenunterschiede, Form und Lichtreaktion untersucht. Störungen der Pupillenreaktion kommen nicht nur beim Schädel-Hirn-Trauma, sondern auch bei protrahierten Schockzuständen vor.

Respiratorischer Status

Bei Patienten, die spontan atmen, achtet man auf das Atemmuster. Man fragt nach einer etwaigen Dyspnoe. Bei Bewusstlosen registriert man, ob noch eine Spontanatmung besteht oder nicht.

Zirkulatorischer Status

Bezüglich der Herz-Kreislauf-Funktion orientiert man sich am schnellsten am Karotispuls in Verbindung mit dem EKG. Gleichzeitig kann man am Kapillarpuls erkennen, ob eine ausreichende Zirkulation gegeben ist. Wenn man das Nagelbett eines Fingers komprimiert und wieder loslässt, sollte es sich innerhalb von 3 s rosa färben. Augenfällige Blutungen werden möglichst rasch durch Kompression gestillt. Bei Patienten mit Atem- und Kreislaufstillstand erfolgt die kardiopulmonale Reanimation nach den üblichen Regeln (s. unten). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Erfolgsaussichten bei Unfallopfern sehr gering sind.

Vorläufige Lagerung

Bevor nach dem »Ersten Blick« mit der Stabilisierung der Vitalfunktionen begonnen werden kann, wird der Patient so gelagert, dass er vollständig untersucht werden kann und für die zur Stabilisierung der Vitalfunktionen notwendigen Maßnahmen zugänglich ist. Die Lagerung auf dem Rücken ist dabei die Regel. Eingeklemmte Personen müssen mit Hilfe der Feuerwehr befreit werden. Bewusstlose, die auf dem Bauch liegen, werden achsengerecht gedreht. Dazu sind mehrere Helfer und technisches Gerät (z.B. Spineboard) erforderlich.

Trägt der Verletzte einen Helm, muss dieser vorsichtig durch 2 Personen abgenommen werden. Ein Helfer stabilisiert die Halswirbelsäule in einer geraden Haltung, indem er mit einer Hand den Nacken und mit der anderen das Kinn des Verletzen fasst. Der andere zieht den Helm vorsichtig nach oben in der verlängerten Körperachse weg. Bei der Helmabnahme soll die Halswirbelsäule nicht überstreckt oder gebeugt werden (Abb. 15.3).

Die Kleidung wird so weit entfernt, dass der Patient vollständig untersucht werden kann. Während der Patient entkleidet wird, laufen die unten erläuterten Maßnahmen zur Stabilisierung der Vitalfunktionen bereits an. Der Zeitbedarf für den »Ersten Blick« und die vorläufige Lagerung beträgt etwa 1 min. Spätestens dann beginnt die Schocktherapie, und es wird für eine ausreichende Oxygenierung gesorgt.

Bei einer vorderen Beckenverletzung (open book) werden die Beine nach innen rotiert und so fixiert.

Stabilisierung der Vitalfunktionen

Volumentherapie

Die aggressive Volumentherapie ist Bestandteil vieler Therapieempfehlungen beim Polytrauma (Maghsudi u. Nerlich 1998, Nast-Kolb et al. 1994, Nerlich u. Maghsudi 1996, Regel et al. 1998). Diese Vorgehensweise ist in jüngerer Zeit in die Kritik geraten (Hußmann et al. 2010). Zu aggressive Volumentherapie verschlechtert die Gerinnung und begünstigt Blutungen, sofern diese nicht mechanisch gestoppt werden können.

Zur suffizienten Therapie des hämorrhagischen Schocks sind mindestens 2 großlumige (≥12 Gauge), periphere Venenverweilkanülen erforderlich. Zentralvenöse Zugänge brauchen am Not-

fallort nicht gelegt zu werden. Sie sind nur in Ausnahmefällen indiziert, wenn man z.B. bei schlechter peripherer Venenfüllung keine Verweilkanüle positionieren kann. In diesen Fällen kann auch über einen intraossären Zugang an der Tuberositas tibiae Volumenersatz und Pharmakotherapie betrieben werden. Dazu benötigt man kommerziell erhältliche Sets, die spezielle Nadeln enthalten.

Eine Venae sectio, die über der Innenknöchelregion an der V. saphena magna oder im Ellenbeugenbereich an einer Kubitalvene erfolgt, stellt für darin erfahrene Ärzte die Alternative dar. Zugänge sind auf jeden Fall erforderlich und sollten auch dann gelegt werden, wenn man sich (noch) nicht zur Gabe größerer Volumina entschlossen hat. Die Volumentherapie muss sich an der jeweiligen Situation orientieren:

Liegen nicht stillbare Blutungen vor, werden relativ niedrige Blutdruckwerte um 70–90 mmHg systolisch toleriert. Dieses Prinzip wird als permissive Hypotension bezeichnet (Kill 2007). Voraussetzung ist, dass kein Schädel-Hirn-Trauma besteht. Patienten mit perforierenden Verletzungen des Thorax, Abdominalverletzungen und Beckensprengungen sowie Rupturen intraabdomineller Organe an Milz und Leber, aber auch im Bereich des Mesenteriums findet man bei 88% aller der innerhalb von 24 h nach Trauma verstorbenen Patienten (Nast-Kolb et al. 1993). Solche Patienten müssen einer schnellen chirurgischen Blutstillung zugeführt werden. Zum Einsatz kommt Vollelektrolytlösung. Der Stellenwert von Vasopressin in diesen Fällen ist Gegenstand von Studien und kann aktuell noch nicht abschließend beurteilt werden.

Äußere Blutungen werden durch Kompression gestillt. Gelingt es, alle Blutungen kurzfristig zum Stehen zu bringen, erfolgt der Volumenersatz wieder mit Vollelektrolytlösung bis zum Erreichen der Kreislaufstabilität. Als Parameter für die Wirksamkeit der Schocktherapie zieht man Blutdruck, Herzfrequenz, Femoralispuls, Kapillarfüllung und SaO_2 heran.

Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma benötigen einen systolischen Druck von mindestens 120 mmHg (MAP 90 mmHg), damit eine ausreichende zerebrale Perfusion sichergestellt ist. Nur in diesen Fällen sind hypertone kolloidale Lösungen (z.B. HyperHAES 250 ml) und Vasopressoren (Noradrenalin 0,1–2 mg/h über Spritzenpumpe) indiziert.

Oxygenierung

Das zweite wesentliche Standbein der Schocktherapie ist die Oxygenierung. Zunächst werden 10–12 l/min O_2 über eine Maske appliziert. Die Erfolgskontrolle erfolgt über die Pulsoxymetrie. Starke Blutverluste, die suffizient mit Volumenersatz behandelt werden, lassen die pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung jedoch in einem falschen Licht erscheinen. 95% O_2-Sättigung bei einem Hb-Wert von 3,0 g/dl bedeuten eine effektive Sauerstofftransportkapazität von 2,85 g/dl oxygeniertem Hämoglobin. Somit droht auch dann eine Gewebehypoxie, wenn noch keine respiratorische Störung erkennbar ist.

Da die protektive Wirkung der Frühintubation auf alle Organsysteme, besonders auf die traumatisierte Lunge, bewiesen ist (Trupka et al. 1995), erfolgt die Intubation und kontrollierte Beatmung sobald als möglich. Dazu ist die Einleitung einer Narkose erforderlich. Dabei ist die endotracheale Intubation unter Sicht nach wie vor der Goldstandard, obwohl immer wieder Alternativen genannt werden, z.B. die Larynxmaske, der Combitube oder der Larynxtubus.

Indikation zur Intubation

Die Diagnose »Polytrauma« stellt, für sich genommen, die Indikation zur Intubation dar (Tab. 15.1). Weitere Symptome sind in der folgenden Auflistung genannt:

Indikationen in Abhängigkeit bestimmter Symptome oder Symptomenkomplexe

- Respiratorische Insuffizienz mit drohender Hypoxie
- SaO_2 <90%
- AF <9/min oder >30/min
- Instabiler Thorax mit paradoxer Atmung
- Atemwegverlegung
- Offene Thoraxverletzung
- Tracheale Blutung mit Aspirationsgefahr
- Starke Blutung im Mund-Nasen-Rachen-Raum
- Verdacht auf Lungenkontusion
- GCS ≤10
- Kreislaufinsuffizienz

Indikationen in Abhängigkeit bestimmter Verletzungsmuster (nach Tscherne u. Regel 1997)

- Polytrauma mit PTS-Schweregruppe III (Tab. 15.1)
- Schweres Thoraxtrauma (s. oben)
- Stumpfes Bauchtrauma mit Schock
- Beckenüberrolltrauma
- Schädel-Hirn-Trauma (GCS ≤10)
- Hohe Querschnittslähmung mit Atemstörung
- Multiple Frakturen großer Röhrenknochen
- Schwere Verbrennungen im Gesicht und Nasen-Rachen-Raum

Vorgehen

Zur Narkoseeinleitung sind ein Analgetikum, ein Hypnotikum und evtl. ein Muskelrelaxans erforderlich. Als Analgetikum kommen Opiate (Fentanyl) und Ketamin/S-Ketamin infrage. Letzteres eignet sich beim Polytrauma besonders, da es blutdrucksteigernd und analgetische wirkt.

Ein Schädel-Hirn-Trauma gilt entgegen der früheren Lehrmeinung heute als eine Indikation für Ketamin, denn die blutdrucksteigernde Wirkung verbessert die zerebrale Perfusion. Ketamin ist ein NMDA-Rezeptorantagonist, der möglicherweise zerebroprotektive Effekte hat.

Als Hypnotika kommen v.a. Benzodiazepine (Midazolam etc.) infrage. Jeder intubierte Patient wird kontrolliert mit einem Atemminutenvolumen von 80–100 ml/kg KG, einer FiO_2 von 1,0 und einem PEEP von mindestens 5 cm H_2O beatmet. Die Aufrechterhaltung der Narkose erfolgt durch Repetitionsdosen der zur Einleitung verwendeten Substanzen.

Monitoring

Zur Überwachung des Patienten stehen EKG, Pulsoxymetrie und Blutdruckmessung zur Verfügung. Inzwischen werden bereits Pulsoxymetriegeräte angeboten, die auch die nichtinvasive Erfassung des Hb-Werts erlauben. Endtidale CO_2-Messung (Kapnometrie/Kapnografie) ist obligat; nur damit kann die korrekte, endotracheale Lage des Tubus bewiesen werden. Normoventilation mit einem CO_2 von 36–38 mmHg ist anzustreben. Die Hyperventilation ist wegen der dann drohenden zerebralen und koronaren Vasokonstriktion ungünstig. Die eingesetzten Monitore müssen für den außerklinischen Einsatz geeignet sein.

Tab. 15.1 Der Polytraumaschlüssel (PTS). Bereits ab einem Polytrauma mit PTS-Schweregruppe III besteht die Indikation zur Intubation

Kriterium	Punkte
1. PTSS (Schädel)	
SHT Grad 1: GCS = 13–15	4
SHT Grad 2: GCS = 8–12	8
SHT Grad 3: GCS = 3–7	12
Mittelgesichtsfraktur	2
Schwere Mittelgesichtsfraktur	4
2. PTSA (Abdomen)	
Milzruptur	9
Milz- und Leberruptur	13–18
Ausgedehnte Leberruptur	13–18
Darm, Mesenterium, Niere, Pankreas	9
3. PTSE (Extremitäten)	
Zentraler Hüftverrenkungsbruch	12
Oberschenkelfraktur einfach	8
Oberschenkelstück- und Trümmerfraktur	12
Unterschenkelfraktur	4
Knieband, Patella, Unterarm, Ellenbogengelenk, Sprunggelenk	2
Oberarm, Schulter	4
Gefäßverletzung proximal des Ellenbogen- bzw. Kniegelenks	8
Gefäßverletzung distal des Ellenbogen- bzw. Kniegelenks	4
Oberarm- bzw. Oberschenkelamputation	12
Unterarm- bzw. Unterschenkelamputation	8
Jede zweit- oder drittgradig offene Fraktur	4
Große Weichteilquetschung	2
4. PTST (Thorax)	
Sternum, Rippenfrakturen 1–3	2
Rippenserienfraktur	5
Rippenserienfraktur beidseits	10
Hämato- oder Pneumothorax	2
Lungenkontusion	7
Lungenkontusion beidseits	9
Instabiler Thorax zusätzlich	3
Aortenruptur	7
5. PTSB (Becken)	
Einfache Beckenfraktur	3
Kombinierte Beckenfraktur	9
Becken- und Urogenitalverletzung	12
Wirbelbruch mit und ohne Querschnitt	3
Beckenquetschung	15
6. Alterseinfluss	
0–39 Jahre	0
40–49 Jahre	1
50–54 Jahre	2
55–59 Jahre	3
60–64 Jahre	5
65–69 Jahre	8
70–74 Jahre	13
75–xx Jahre	21
Schweregradeinteilung	
Gruppe 1: 0–19 Punkte	Gruppe III: 35–48 Punkte
Gruppe II: 20–34 Punkte	Gruppe IV: 49–xx Punkte

Koniotomie

Bei unüberwindbaren Intubationshindernissen, wie schweren Mittelgesichtsverletzungen, massiven Blutungen im Mund-, Nasen-, Rachenraum oder anatomischen Besonderheiten, kann eine notfallmäßige Koniotomie erforderlich werden. Die einzelnen Schritte bei der Koniotomie sind in Abb. 15.4 dargestellt. Über einen Längsschnitt eröffnet man zwischen Schild- und Ringknorpel das Ligamentum cricothyreoideum quer und führt in diese Öffnung eine Beatmungskanüle oder einen blockbaren Tubus ein.

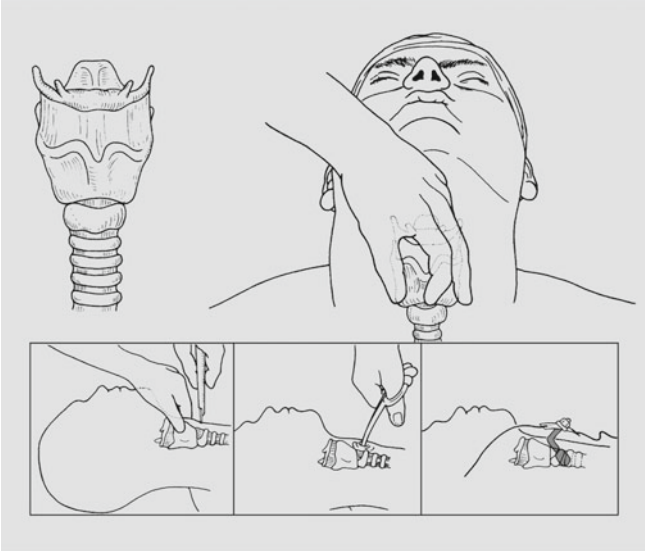
Thoraxdrainage

Thoraxtraumen, die zu Hämato-, Pneumo- oder gar Spannungspneumothorax geführt haben, müssen mit ein- oder ggf. beidseitiger Thoraxdrainage versorgt werden (Regel et al. 1998).

Spannungspneumothoraces bilden sich in der Regel erst unter Beatmung aus, führen dann aber zur rasch progredienten, respiratorischen und zirkulatorischen Insuffizienz. Einen Pneumothorax erkennt man an einem abgeschwächten Atemgeräusch und hypersonoren Klopfschall (trotz korrekter Tubuslage). Beim Spannungspneumothorax kommen Einflussstauung, Blutdruckabfall, Bradykardie und Zyanose hinzu.

Die **Indikation zur Thoraxdrainage** besteht bei einem »Abbreviated-Injury-Scale-Thorax ≥3 (AISThorax: Tab. 15.2) oder wenn folgende Kriterien vorliegen:

- Instabiler Thorax
- Hautemphysem
- Beatmungdruck >25 cm H_2O
- Abgeschwächtes oder fehlendes Atemgeräusch mit:
  - gestauten Halsvenen,
  - RR systolisch ≤80 mmHg,
  - Bradypnoe/Tachypnoe.



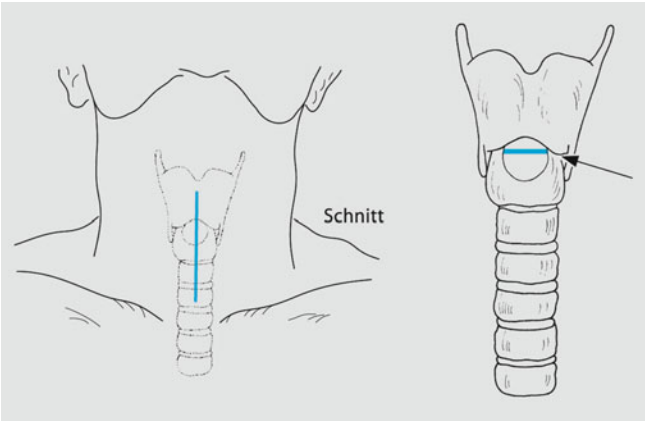


Abb. 15.4 Technik der Koniotomie. (Aus: Kalbe et al. 1997)

Tab. 15.2 Abbreviated Injury Scale Thorax (AISThorax). Die Indikation für eine Thoraxdrainage besteht bereits ab einem AISThrorax-Grad 3

Grad	Bewertung	Verletzungsmuster
1	Leicht	Isolierte Rippenfraktur, oberflächliche Weichteilverletzung
2	Mäßig	2–3 Rippenfrakturen, Weichteilverletzung mit Gewebeverlust
3	Ernst	Rippenserienfraktur, Hämatothorax, Pneumothorax, unilaterale Lungenkontusion
4	Schwer	Rippenserienfraktur, Hämatothorax, Pneumothorax, bilaterale Lungenkontusion, Myokardkontusion
5	Kritisch	Aortenruptur, Myokardruptur, Lungenkontusion mit Spannungspneumothorax
6	Tödlich	Aortenruptur mit Hämatothorax, massive Thoraxquetschung, komplexe Myokardruptur

In lauter Umgebung sind die Untersuchungsbedingungen sehr eingeschränkt und ein Spannungspneumothorax oft nur schwer zu erkennen. Die Indikation zur Thoraxdrainage ist dann großzügig zu stellen. Die Thoraxdrainagen werden in der mittleren Axillarlinie im 3. oder 4. Interkostalraum nach Minithorakotomie stumpf eingebracht (▶ Kap. 2, Thorax). Beim beatmeten Patienten sind weder ein Heimlich-Ventil noch die Anlage eines Unterdrucks erforderlich.

Körperliche Untersuchung

Nach erfolgter Stabilisierung der Vitalfunktionen schließt sich die körperliche Untersuchung in kraniokaudaler Richtung an. Man beginnt am Schädel. Hier interessieren sichtbare Verletzungen, Blutungen aus den Schädelöffnungen, Pupillenreaktion und -weite, der Zustand des Gesichtsskeletts und der Kiefer (Okklusion). Anschließend wird die Halswirbelsäule abgetastet.

Thorax und Abdomen werden auskultiert. Die Stabilität des knöchernen Thorax wird palpatorisch erfasst. Prellmarken der Bauchdecke (Gurte!) lassen auf ein stumpfes Trauma schließen. Das Becken wird auf eine etwaige Instabilität hin geprüft. Die Brust- und Lendenwirbelsäule wird abgetastet. Zuletzt werden die Extremitäten untersucht und Instabilitäten, Prellmarken, offene Verletzungen und sensomotorische Ausfälle erfasst.

Umgang mit verschiedenen Verletzungsformen

Extremitätenfrakturen

Frakturierte Extremitäten richtet man in ihrer Längsachse aus und immobilisiert sie in einer Vakuumschiene oder in geeigneten Schienen. Man verbessert auf diese Weise die Durchblutung der Peripherie und vermindert den Druck fehlstehender Fragmente auf die Weichteildeckung, was die Frakturheilung entscheidend beeinflussen kann. Kalbe et al. (1997) sehen auch bei offenen Frakturen die Indikation für die präklinische Reposition. Zwar muss damit gerechnet werden, dass Keime in die Komplikationswunde verschleppt werden, die Infektionsgefahr ist dennoch gering, da es sich um nur wenig pathogene Umweltkeime handelt und im Rahmen der operativen Versorgung ohnehin ein sorgfältiges Wunddébridement erfolgt.

Bei offenen Frakturen wird die Komplikationswunde bereits an der Unfallstelle steril verbunden. Der Verband soll erst im Operationssaal wieder entfernt werden. Der Notarzt dokumentiert die Größe der Komplikationswunde und das Ausmaß des Gewebeschadens.

Luxationen großer Gelenke

Luxierte Gelenke sollten, wenn der Notarzt es sich zutraut, möglichst schon vor Ort reponiert werden. Voraussetzung ist, dass der Notarzt ausreichend Erfahrung hat und die Risiken der jeweiligen Verletzung abschätzen kann:

- Bei luxiertem Schultergelenk kann eine Reposition ohne vorheriges Röntgen problematisch sein, da bei einer begleitenden Fraktur der Armplexus geschädigt werden kann.
- Hüftluxationen sind meist nur mit großem Krafteinsatz und optimalen Lagerungsbedingungen zu reponieren und bedürfen überdies einer guten Muskelrelaxation.
- Luxationen des Ellenbogen- oder Kniegelenks jedoch führen nicht selten zu neurovaskulären Ausfällen (A. brachialis/Nn. ulnaris und radialis bzw. A. poplitea und Nn. tibialis und peroneus) und machen deshalb ein sofortiges Handeln notwendig. Dies gilt umso mehr, wenn die Luxation schon länger besteht oder ein weiter Transportweg ansteht.

- Ähnliches gilt für die Luxationsfraktur des oberen Sprunggelenks. Hier droht die Weichteilschädigung durch fehlstehende Fragmente.

Gefäßverletzungen

Arterien

Man trägt bei der Versorgung eines polytraumatisierten Patienten grundsätzlich Handschuhe, um sich vor möglichen Infektionen zu schützen.

Die Erstmaßnahme zur Stillung einer spritzenden arteriellen Blutung ist die digitale Kompression. Prognostisch mit entscheidend ist eine möglichst rasche und suffiziente Blutstillung. Spritzende arterielle Blutungen lassen sich in aller Regel durch Druckverbände zum Stillstand bringen. Wenn dies nicht gelingt, bleibt an den Extremitäten die Möglichkeit der Blutsperre durch Anlegen und Aufblasen einer Blutdruckmanschette. Der Zeitpunkt der Blutsperre wird dokumentiert.

Der Versuch, ein spritzendes Gefäß in einer blutverschmierten Wunde selektiv zu orten und abzuklemmen, ist unter den behelfsmäßigen Bedingungen vor Ort meist zum Scheitern verurteilt. Die Gefahr benachbarte, noch intakte neurovaskuläre Strukturen zu verletzen, ist unter solchen Bedingungen erhöht. Daher ist die Blutsperre vorzuziehen.

Bei Gefäßverletzungen der Axilla oder Leistenregion ist das Anlegen einer Blutsperre nicht möglich, und auch Druckverbände können aufgrund der anatomischen Bedingungen nur begrenzte Wirkung entfalten. Am effektivsten ist der direkte manuelle Druck auf die abgedeckte Wunde, z.B. mit der Faust. Der Druck muss während der gesamten Transportzeit bis zur chirurgischen Exploration im Schockraum oder Operationssaal aufrecht erhalten werden.

Blutungen im **Bereich der Kopfschwarte** können hämodynamisch wirksam sein, obwohl die Verletzung an sich nicht alarmierend ist und starke Schmerzen an anderen Körperstellen oder ins Auge springende Fehlstellungen an den Extremitäten und ähnliche Umstände davon ablenken können. Gerade bei Patienten, die auf einer saugfähigen Unterlage liegen, kann die Größe des Blutverlusts leicht unterschätzt werden. Deshalb ist es wichtig, sich für diesen Umstand zu sensibilisieren und solche Verletzungen frühzeitig mit einem Kompressionsverband zu versorgen. Noch effektiver ist allerdings, stark blutende Wunden der Kopfschwarte mit einem Klammernahtgerät primär zu verschließen.

Es empfiehlt sich, im Rettungswagen und im Schockraum Klammernahtgeräte zur zumindest vorläufigen Adaptation stark blutender Wunden vorzuhalten.

Venen

Venöse Blutungen werden ebenfalls durch Kompressionsverbände behandelt. Eine gleichzeitige Hochlagerung der betroffenen Extremität ist von Vorteil. Bei Verletzung großer herznaher Gefäße, z.B. am Hals, besteht allerdings die potenzielle Gefahr der Luftembolie, weshalb in diesem Fall eine Oberkörperhochlagerung für den Patienten gefährlich werden kann.

Verbrennungen

Textilien, die verbrannte Hautareale bedecken, sollten nach Möglichkeit entfernt werden. Eisanwendung und Kaltwasserkühlung sind obsolet. Die Wunden werden mit speziellen, nicht haftenden Verbandsmaterialien abgedeckt. Die Kerntemperatur des Patienten muss laufend kontrolliert werden, weil Wärmeverluste über hyperämen Hautarealen besonders ausgeprägt sind.

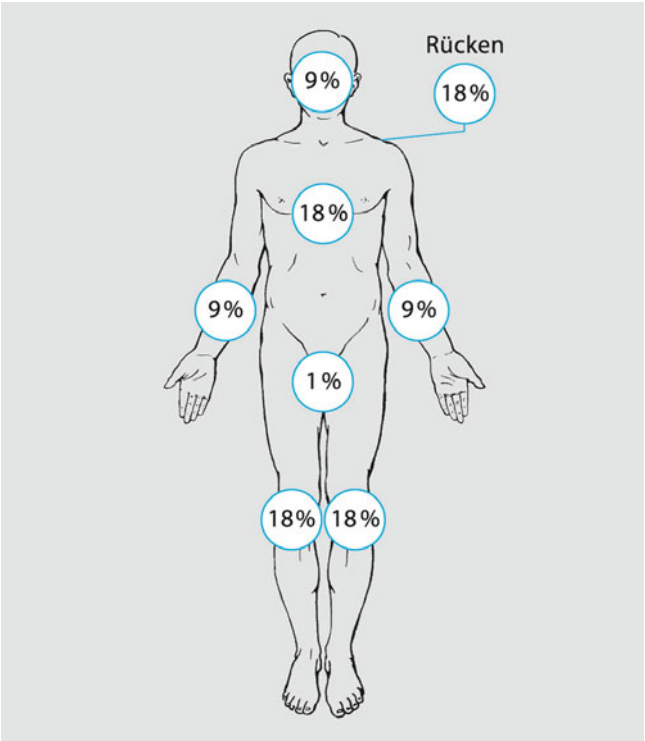


Abb. 15.5 Neunerregel. (Aus: Kalbe et al. 1997)

Anhand der Neunerregel kann man die Schwere der Verletzung abschätzen (Abb. 15.5). Als Alternative dient die Größe der Hand einschließlich der Finger des Verletzten. Diese Fläche entspricht etwa 1% der Körperoberfläche.

Brandverletzte haben aufgrund der Exsudation aus den geschädigten Oberflächen und der rasch einsetzenden Ödembildung einen besonders hohen Flüssigkeitsbedarf. Man deckt ihn ausschließlich mit Elektrolytlösung. Gleichzeitig muss ein potentes Analgetikum gegeben werden.

Inhalationstraumen verschlechtern die Prognose. Folgende Beobachtungen lassen ein **Inhalationstrauma** wahrscheinlich erscheinen:

- Verbrennung an Kopf und Hals
- Verbrennung von Nasenhaaren oder Augenbrauen
- Rußspuren im Mund-Rachen-Raum
- Heiserkeit
- Ruß im Sputum
- Anamnestischer Hinweis auf längere Exposition mit Brandgasen
- CO – Hb >10% (messbar mit speziellen Pulsoxymetersensoren)

Folgende Situationen erzwingen die Verlegung in ein Verbrennungszentrum:

- Inhalationstrauma
- Verbrennung Grad 2 >20% Körperoberfläche
- Verbrennung Grad 3 >5% Körperoberfläche
- Verbrennung Grad 2 >10% Körperoberfläche + Lebensalter <10 oder >65 Jahre
- Relevante internistische Vorerkrankungen
- Verbrennungen an Händen, Gesicht, Genitalien, Perineum, Haut über großen Gelenken
- Schwerwiegende Begleitverletzungen

Hypothermie

Die Hypothermie eines Patienten ist definiert als Körpertemperatur <35°C (Seekamp et al. 1995, 1996). Über 20% der polytraumatisierten Patienten erreichen die Notaufnahme mit einer Körperkerntemperatur von <34°C und sind damit deutlich hypotherm. Dabei lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Hypothermie und der Schwere der Verletzung zeigen. Obwohl immer wieder therapeutische Ansätze die protektive Rolle der Hypothermie auf verschiedene Organsysteme, besonders das Gehirn nutzen, ist die primäre Hypothermie als ungünstig zu betrachten. Sie verschlechtert die Blutgerinnung und mindert signifikant die Überlebenschancen.

Wärmeverluste müssen durch den Einsatz von Decken und geheizten Fahrzeugen so weit wie möglich vermieden werden. Wenn möglich sollten Patientenwärmesysteme, die auch mobil eingesetzt werden können, genutzt werden. Das Anwärmen von Infusionen ist zwar grundsätzlich zu begrüßen, ist aber wegen der zu geringen Wärmekapazität nicht geeignet, das Problem entscheidend zu beeinflussen.

Amputationen

Zwei Dinge sind bei Amputationsverletzungen zu beachten:

- die Blutstillung am Stumpf und
- die Asservierung des Amputats.

Die Blutstillung lässt sich entweder mit Hilfe eines Kompressionsverbandes oder durch Anlage einer Blutsperre in Form einer aufgeblasenen Blutdruckmanschette erreichen. Die Asservierung des Amputats ist aus forensischen Gründen wichtig, selbst wenn eine Replantation aufgrund des Zustandes des Amputats oder der Topografie nicht möglich ist. Teile des Amputats können in manchen Fällen für die operative Versorgung genutzt werden, z.B. spongiöser Knochen oder Haut. Das Amputat muss in geeigneter Weise steril verpackt und gekühlt werden (Abb. 15.6).

Dokumentation

Alle Untersuchungsbefunde einschließlich der Messparameter werden auf dem Notarztprotokoll dokumentiert. Für den weiteren Verlauf sind insbesondere die GCS und exakte Dokumentation der Extremitätenbewegung erforderlich. Wenn möglich sollte auch geklärt werden, ob eine Halbseitensymptomatik oder eine Querschnittslähmung bereits am Unfallort bestanden hat oder erst sekundär aufgetreten ist, denn dies hat erhebliche Konsequenzen für das weitere diagnostische und therapeutische Vorgehen (Abb. 15.7).

Lagerung für den Transport

Lagerungsmittel

Bei bewusstlosen Patienten oder solchen mit entsprechenden Beschwerden muss zum frühestmöglichen Zeitpunkt die Halswirbelsäule mit einer speziellen Halskrawatte (z.B. Stiffneck) ruhiggestellt werden (Abb. 15.8). Der Patient wird mit einer Schaufeltrage auf einer Vakuummatratze gelagert, die an den Körper des Verletzten anmodelliert und evakuiert wird. Dadurch lässt sich eine hervorragende Stabilisierung des gesamten Achsenskeletts für den anstehenden Transport erreichen.

Transport

Simultan zur medizinischen Versorgung des Unfallopfers muss die Organisation seiner klinischen Weiterversorgung und des Transports ablaufen. Der Arzt muss dazu dem Rettungs- und Leitstellenpersonal exakte Informationen und Anweisungen geben. Im Mittelpunkt steht die Frage, in welche Klinik der Patient verbracht werden sollte und welches Transportmittel dafür gebraucht wird.

Außerdem muss das Meldebild die Verletzungsschwere wiedergeben, damit das erforderliche Notaufnahmeteam in der Zielklinik verständigt werden kann.

Indikationen zur Verlegung in ein Traumazentrum

- GCS <12
- Penetrierende Verletzung an Schädel, Thorax oder Abdomen
- Instabiler Thorax
- Amputationsverletzung
- Ausgedehnte Verbrennungen
- Überrolltrauma
- Explosion
- Alter <6 Jahre
- Dialysepflichtigkeit
- Sonstige schwere internistische Vorerkrankungen

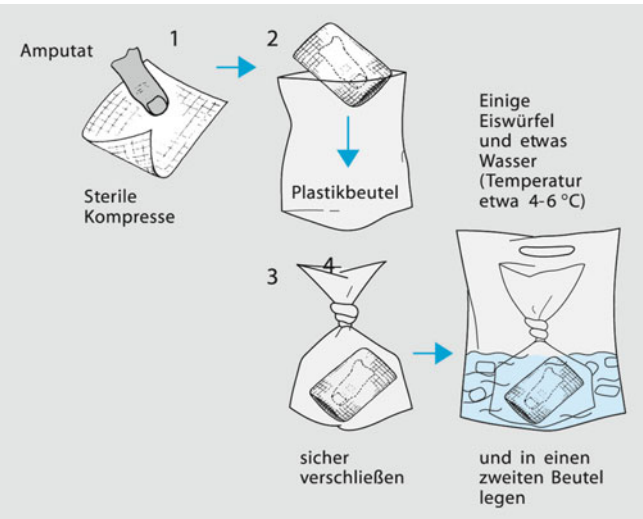
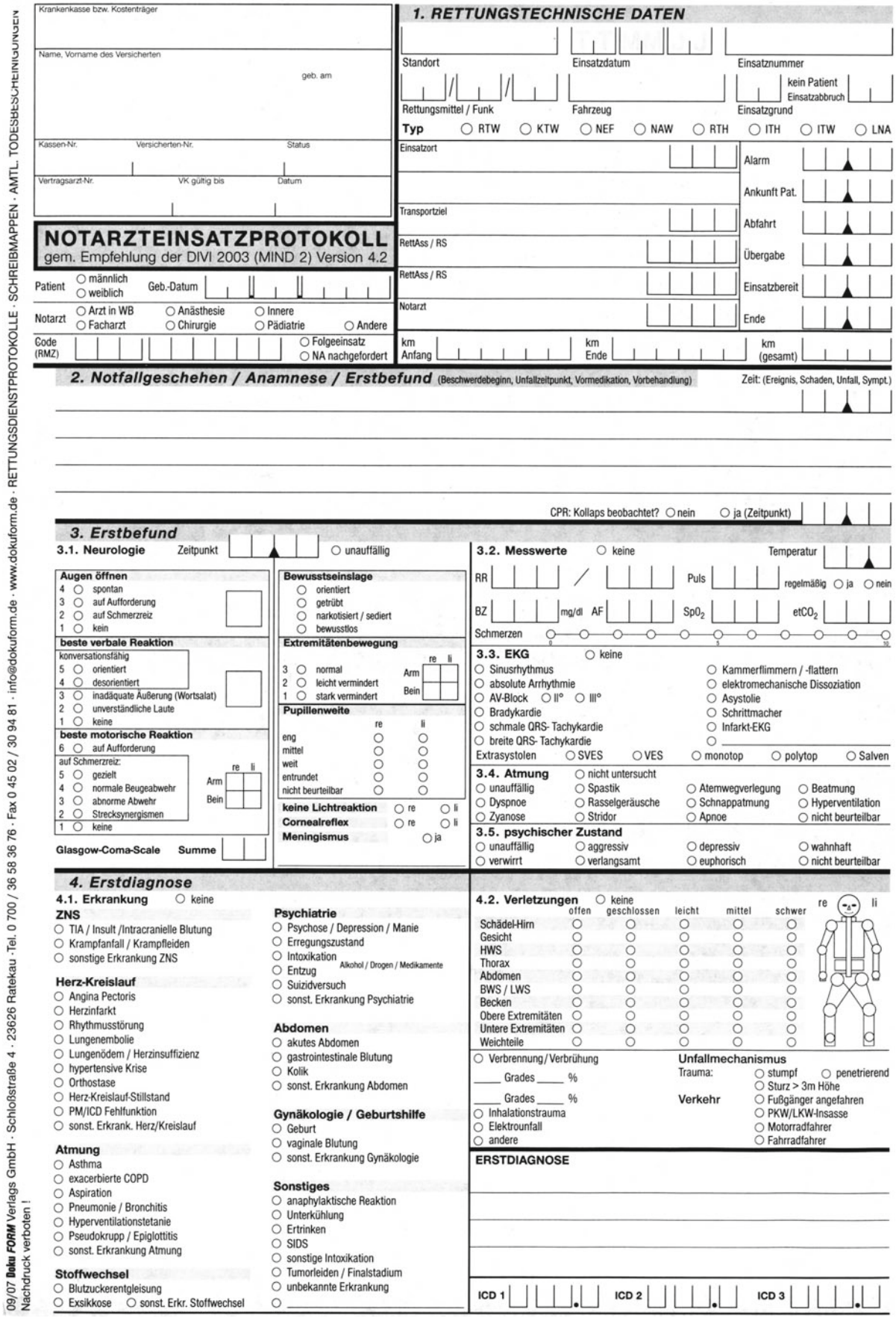


Abb. 15.6 Geeignete Verpackung und Kühlung eines Amputats. (Aus: Kalbe et al. 1997)

Abb. 15.8 Stabilisierung der Halswirbelsäule mit einer steifen Halskrawatte



Krankenkasse bzw. Kostenträger

Name, Vorname des Versicherten — geb. am

Kassen-Nr. | Versicherten-Nr. | Status

Vertragsarzt-Nr. | VK gültig bis | Datum

NOTARZTEINSATZPROTOKOLL
gem. Empfehlung der DIVI 2003 (MIND 2) Version 4.2

Patient ○ männlich ○ weiblich Geb.-Datum

Notarzt ○ Arzt in WB ○ Facharzt ○ Anästhesie ○ Chirurgie ○ Innere ○ Pädiatrie ○ Andere

Code (RMZ) ○ Folgeeinsatz ○ NA nachgefordert

1. RETTUNGSTECHNISCHE DATEN

Standort | Einsatzdatum | Einsatznummer

Rettungsmittel / Funk | Fahrzeug | Einsatzgrund | kein Patient | Einsatzabbruch

Typ ○ RTW ○ KTW ○ NEF ○ NAW ○ RTH ○ ITH ○ ITW ○ LNA

Einsatzort | Alarm

Ankunft Pat.

Transportziel | Abfahrt

RettAss / RS | Übergabe

RettAss / RS | Einsatzbereit

Notarzt | Ende

km Anfang | km Ende | km (gesamt)

2. Notfallgeschehen / Anamnese / Erstbefund (Beschwerdebeginn, Unfallzeitpunkt, Vormedikation, Vorbehandlung) Zeit: (Ereignis, Schaden, Unfall, Sympt.)

CPR: Kollaps beobachtet? ○ nein ○ ja (Zeitpunkt)

3. Erstbefund

3.1. Neurologie Zeitpunkt ○ unauffällig

Augen öffnen
4 ○ spontan
3 ○ auf Aufforderung
2 ○ auf Schmerzreiz
1 ○ kein

beste verbale Reaktion
konversationsfähig
5 ○ orientiert
4 ○ desorientiert
3 ○ inadäquate Äußerung (Wortsalat)
2 ○ unverständliche Laute
1 ○ keine

beste motorische Reaktion
6 ○ auf Aufforderung
auf Schmerzreiz:
5 ○ gezielt
4 ○ normale Beugeabwehr
3 ○ abnorme Abwehr
2 ○ Strecksynergismen
1 ○ keine
re li Arm Bein

Glasgow-Coma-Scale Summe

Bewusstseinslage
○ orientiert
○ getrübt
○ narkotisiert / sediert
○ bewusstlos

Extremitätenbewegung
re li Arm Bein
3 ○ normal
2 ○ leicht vermindert
1 ○ stark vermindert

Pupillenweite

	re	li
eng	○	○
mittel	○	○
weit	○	○
entrundet	○	○
nicht beurteilbar	○	○

keine Lichtreaktion ○ re ○ li
Cornealreflex ○ re ○ li
Meningismus ○ ja

3.2. Messwerte ○ keine Temperatur

RR / Puls regelmäßig ○ ja ○ nein

BZ mg/dl AF SpO_2 $etCO_2$

Schmerzen 0 5 10

3.3. EKG ○ keine
○ Sinusrhythmus
○ absolute Arrhythmie
○ AV-Block ○ II° ○ III°
○ Bradykardie
○ schmale QRS- Tachykardie
○ breite QRS- Tachykardie
○ Kammerflimmern / -flattern
○ elektromechanische Dissoziation
○ Asystolie
○ Schrittmacher
○ Infarkt-EKG
Extrasystolen ○ SVES ○ VES ○ monotop ○ polytop ○ Salven

3.4. Atmung ○ nicht untersucht
○ unauffällig ○ Spastik ○ Atemwegverlegung ○ Beatmung
○ Dyspnoe ○ Rasselgeräusche ○ Schnappatmung ○ Hyperventilation
○ Zyanose ○ Stridor ○ Apnoe ○ nicht beurteilbar

3.5. psychischer Zustand
○ unauffällig ○ aggressiv ○ depressiv ○ wahnhaft
○ verwirrt ○ verlangsamt ○ euphorisch ○ nicht beurteilbar

4. Erstdiagnose

4.1. Erkrankung ○ keine

ZNS
○ TIA / Insult /Intracranielle Blutung
○ Krampfanfall / Krampfleiden
○ sonstige Erkrankung ZNS

Herz-Kreislauf
○ Angina Pectoris
○ Herzinfarkt
○ Rhythmusstörung
○ Lungenembolie
○ Lungenödem / Herzinsuffizienz
○ hypertensive Krise
○ Orthostase
○ Herz-Kreislauf-Stillstand
○ PM/ICD Fehlfunktion
○ sonst. Erkrank. Herz/Kreislauf

Atmung
○ Asthma
○ exacerbierte COPD
○ Aspiration
○ Pneumonie / Bronchitis
○ Hyperventilationstetanie
○ Pseudokrupp / Epiglottitis
○ sonst. Erkrankung Atmung

Stoffwechsel
○ Blutzuckerentgleisung
○ Exsikkose ○ sonst. Erkr. Stoffwechsel

Psychiatrie
○ Psychose / Depression / Manie
○ Erregungszustand
○ Intoxikation Alkohol / Drogen / Medikamente
○ Entzug
○ Suizidversuch
○ sonst. Erkrankung Psychiatrie

Abdomen
○ akutes Abdomen
○ gastrointestinale Blutung
○ Kolik
○ sonst. Erkrankung Abdomen

Gynäkologie / Geburtshilfe
○ Geburt
○ vaginale Blutung
○ sonst. Erkrankung Gynäkologie

Sonstiges
○ anaphylaktische Reaktion
○ Unterkühlung
○ Ertrinken
○ SIDS
○ sonstige Intoxikation
○ Tumorleiden / Finalstadium
○ unbekannte Erkrankung
○ _____

4.2. Verletzungen ○ keine

	offen	geschlossen	leicht	mittel	schwer
Schädel-Hirn	○	○	○	○	○
Gesicht	○	○	○	○	○
HWS	○	○	○	○	○
Thorax	○	○	○	○	○
Abdomen	○	○	○	○	○
BWS / LWS	○	○	○	○	○
Becken	○	○	○	○	○
Obere Extremitäten	○	○	○	○	○
Untere Extremitäten	○	○	○	○	○
Weichteile	○	○	○	○	○

re li

○ Verbrennung / Verbrühung
____ Grades ____ %
____ Grades ____ %
○ Inhalationstrauma
○ Elektrounfall
○ andere

Unfallmechanismus
Trauma: ○ stumpf ○ penetrierend ○ Sturz > 3m Höhe
Verkehr ○ Fußgänger angefahren ○ PKW/LKW-Insasse ○ Motorradfahrer ○ Fahrradfahrer

ERSTDIAGNOSE

ICD 1 | ICD 2 | ICD 3

09/07 Doku FORM Verlags GmbH · Schloßstraße 4 · 23626 Ratekau · Tel. 0 700 / 36 58 36 76 · Fax 0 45 02 / 30 94 81 · info@dokuform.de · www.dokuform.de · RETTUNGSDIENSTPROTOKOLLE · SCHREIBMAPPEN · AMTL. TODESBESCHEINIGUNGEN
Nachdruck verboten !

Abb. 15.7a Notarztprotokoll Vorderseite

5. Verlauf Verlaufsbeschreibung

UHRZEIT 15 30 45 15 30 45

Puls
RR
HDM
Defibrillation
Transport
In/Extubation
Spontanatmung
assistierte Beatmung
kontrollierte Beatmung
Maßnahmen
SpO_2
O_2 l/min
Temp.
et CO_2

280 260 240 220 200 180 160 140 120 100 80 60 40 20

6.5. Medikamente

Dosis: (mg / ml / IE)

- ○ keine Medikamente
- ○ Analgetika (Opiate)
- ○ Antiarrhythmika
- ○ Antidota
- ○ Antiemetika
- ○ Antiepileptika
- ○ Antihypertensiva
- ○ Antikoagulantien
- ○ Bronchodilatantien
- ○ Diuretika
- ○ Glukose
- ○ Katecholamine
- ○ Kortikosteroide
- ○ Muskelrelaxantien
- ○ Narkotika
- ○ Sedativa
- ○ Thrombolytikum
- ○ Vasodilatantien
- ○ Kristalloide
- ○ Kolloide
- ○ Small Volume Lsg.
- ○ Pufferlösung
- ○ Sonstige

6. Maßnahmen

6.1. Herz / Kreislauf ○ keine

Anzahl

- ○ peripher-venöser Zugang Ort/Größe
- ○ zentral-venöser Zugang Ort/Größe
- ○ intraossäre Kanüle
- ○ art. Kanüle Ort/Größe
- ○ Spritzenpumpe
- ○ Schrittmacher (extern)
- ○ Reanimation / HDM
- ○ Defibrillation / Kardioversion Anzahl Joule letzte Defi
  - ○ monophasisch ○ biphasisch
- Zeit 1. Defi
- Zeit 1. ROSC
- ○ **Reanimationsregister (DIVI-MIND 2) s. Rückseite – nur RD / NA**

6.2. Atmung ○ keine

- ○ Sauerstoffgabe O_2 l/min
- ○ Freimachen der Atemwege
- ○ Absaugen

Beatmung Atemwegssicherung / Intubation ○ manuell ○ maschinell ○ ITN oral ○ ITN nasal

○ LMA ○ Combitubus ○ chir./tracheost. ○ andere

Tubus Gr. ID | AMV | AF | PEEP | Fi O_2

6.3. Weitere Maßnahmen ○ keine

- ○ Anästhesie ○ Entbindung ○ Dauerkatheter
- ○ Blutstillung ○ Magensonde ○ Krisenintervention
- ○ Verband
- ○ Reposition ○ Ort
- ○ bes. Lagerung ○ Art
- ○ Cervicalstütze ○ Vakuummatratze ○ Schaufeltrage
- ○ Thoraxdrainage ○ rechts ○ links Ch
- Ort
- ○ Sonstiges
- Art

6.4. Monitoring ○ keine

- ○ EKG-Monitor ○ Kapnometrie ○ Temperatur
- ○ 12-Kanal-EKG ○ manuelle Messung RR ○ Sono
- ○ Pulsoxymetrie ○ oszillometr. Messung RR
- ○ Sonstiges

7. Übergabe

7.1. Zustand ○ verbessert ○ gleich ○ verschlechtert

Zeitpunkt | Glascow-Coma-Scale ○ orientiert ○ getrübt ○ narkotisiert/sediert ○ bewusstlos

7.2. Messwerte ○ keine

RR / HF Temperatur regelmäßig ○ ja ○ nein

BZ mg/dl AF SpO_2 $etCO_2$

Schmerzen 0 5 10

7.3. EKG ○ keine

- ○ Sinusrhythmus
- ○ absolute Arrhythmie
- ○ AV-Block ○ II° ○ III°
- ○ Bradykardie
- ○ schmale QRS- Tachykardie
- ○ breite QRS- Tachykardie
- ○ Kammerflimmern / -flattern
- ○ elektromechanische Dissoziation
- ○ Asystolie
- ○ Schrittmacher
- ○ Infarkt-EKG
- ○

Extrasystolen ○ SVES ○ VES ○ monotop ○ polytop ○ Salven

7.4. Atmung ○ nicht untersucht

- ○ unauffällig ○ Spastik ○ Atemwegverlegung ○ Beatmung
- ○ Dyspnoe ○ Rasselgeräusche ○ Schnappatmung ○ Hyperventilation
- ○ Zyanose ○ Stridor ○ Apnoe ○ nicht beurteilbar

8. Ergebnis

8.1. Einsatzbeschreibung

- ○ Transport ins KH ○ mit Notarzt
- ○ Sekundäreinsatz ○ ohne Notarzt
- ○ Patient lehnt Transport ab
- ○ nur Untersuchung/Behandlung
- ○ Übergabe an anderes Rettungsmittel

Art

- ○ Übernahme von arztbes. Rettungsmittel
- ○ Reanimation primär erfolgreich
- ○ Reanimation primär erfolglos
- ○ Tod auf dem Transport
- ○ Todesfeststellung

Zeitpunkt

8.2. Ersthelfermaßnahmen (Laien)

- ○ suffizient ○ AED
- ○ insuffizient ○ keine

8.5. Zielklinik / Patientenübergabe

- ○ Notaufnahme ○ Intensiv-Stat. ○ OP
- ○ Allgemeinstation ○ Arztpraxis ○ k.A.

8.3. Notfallkategorie

- ○ kein Notfall
- ○ akute Erkrankung
- ○ Vergiftung
- ○ Verletzung

Unfall

- ○ Verkehr ○ Sportunfall
- ○ Arbeit ○ Hausunfall
- ○ Sonstiger

8.4. NACA-Score

- ○ I geringfügige Störung
- ○ II ambulante Abklärung
- ○ III stationäre Behandlung
- ○ IV akute Lebensgefahr nicht auszuschließen
- ○ V akute Lebensgefahr
- ○ VI Reanimation
- ○ VII Tod

9. Bemerkungen (z.B. Allergien, Hausarzt, Tel. Angeh., Wertsachen)

übergeben wurden ○ Chipkarte ○ Blut ○ Rhythmusstreifen ○ Prothesen ○ Wertsachen ○ Andere

Übergabe an:

Unterschrift Notarzt

Arztbrief erbeten ○ ja ○ nein
ZEK (s. Rückseite) ○ ja ○ nein

Nachforderung Notarzt ○ ja ○ nein
Notkompetenz RettAss / RS ○ ja ○ nein

Abb. 15.7b Notarztprotokoll Rückseite

Die Entscheidung, ob der Patient direkt vom Unfallort in ein Traumazentrum transportiert oder erst sekundär in ein solches verlegt wird, hängt von den jeweiligen Begleitumständen ab. Im Falle einer vor Ort nicht stillbaren Blutung steht die schnellst mögliche chirurgische Versorgung im Vordergrund. Das nächste Krankenhaus mit chirurgischer Kapazität wird angefahren. Durch den Notarzt stabilisierte Patienten, die keine unstillbare Blutung haben, aber mindestens eines der oben genannten Kriterien, sollten direkt in ein Traumazentrum gebracht werden.

Transportmittel

Jeder Polytraumatisierte wird auf dem Transport von einem Notarzt begleitet. Bereits am Unfallort erfolgte Blutabnahmen beschleunigen die Labordiagnostik, bergen aber andererseits auch eine grundsätzliche Verwechslungsgefahr in sich. Der schnellste und schonendste Transport wird durch den Einsatz eines Rettungshubschraubers gewährleistet. Eine Transportzeit über 15 min stellt eine Indikation zum Hubschraubertransport dar. Im großstädtischen Bereich wird dies seltener der Fall sein als im ländlichen. Allerdings stehen Rettungshubschrauber nur bei ausreichenden Sichtbedingungen zur Verfügung.

15.3 Klinische Versorgung

15.3.1 Strukturelle Voraussetzungen

Notwendige Versorgungsstufe

Die klinische Versorgung eines Polytraumas ist personell und strukturell aufwändig. Eine entsprechende Logistik muss täglich rund um die Uhr vorgehalten werden. In Hinblick auf Kosteneffizienz und angemessene Qualität ist die Versorgung an Schwerpunkt- und Maximalversorgungskliniken mit entsprechender Infrastruktur angezeigt. Derartige Kliniken müssen nicht nur über eine eigenständige chirurgische und unfallchirurgische Klinik verfügen, sondern auch über eine radiologische und anästhesiologische Abteilung einschließlich Intensivmedizin. Für die weitere Ausstattung gibt es Empfehlungen (▶ Übersicht Voraussetzung zur Versorgung polytraumatisierter Patienten).

Voraussetzungen zur Versorgung polytraumatisierter Patienten laut Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU; Haas 1997)

Anforderungen an Krankenhäuser der Schwerpunkt- und Maximalversorgung

- Selbstständige Unfallchirurgische Abteilung
- Zentrale Notaufnahme unter unfallchirurgischer Leitung*
- Hubschrauberlandeplatz mit Befeuerung*
- Intensivstation(en)
- Blutbank*
- Radiologische Diagnostik mit CT und MRT
- Sonografie einschließlich Doppler*
- Echokardiografie*

Fachbereiche mit 24 h-Hausdienst

- Unfallchirurgie*
- Viszeralchirurgie*
- Neurochirurgie
- Herzchirurgie (optional)
- Anästhesie und Intensivmedizin*
- Radiologie/CT

▼

Fachbereiche mit 24 h-Rufdienst

- Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie
- Ophthalmologie
- Gynäkologie
- Urologie
- Pädiatrie
- HNO
- Replantation
- Mikrobiologie, Innere Medizin, Dialyse

Häuser der Grund- und Regelversorgung müssen in der Lage sein, die Notfallversorgung von Traumapatienten vor sekundärer Verlegung in ein Traumazentrum sicherzustellen. Dafür sind die mit * markierten Voraussetzungen nötig

Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung müssen in der Lage sein, die Notfallversorgung von Traumapatienten vor sekundärer Verlegung in ein Traumazentrum sicherzustellen. Dies gilt besonders im Fall unstillbarer Blutungen, die sofort chirurgisch versorgt werden müssen.

Schockraum

Der Schockraum ist das Bindeglied zwischen präklinischer und klinischer Therapie. Hier werden die Patienten stabilisiert, der Diagnostik zugeführt und anschließend zur operativen Versorgung weitergeleitet. Ziel ist, die eingetretenen Verletzungen möglichst schnell zu erfassen und gleichzeitig die Vitalfunktionen sicher zu stellen.

Es gibt eine direkte Korrelation zwischen der Dauer der Akutdiagnostik und -therapie und der Überlebenswahrscheinlichkeit. Die so genannte »golden hour of shock« (Cowley et al. 1974), vom Zeitpunkt des Unfalls an gerechnet, soll nach Möglichkeit nicht überschritten werden, sonst steigt das Risiko eines prolongierten Schocks signifikant. Um den Ablauf möglichst effizient zu gestalten, bedarf es eines Teamleaders, der die Akutversorgung überwacht und koordiniert. Der Teamleader sollte ein erfahrener Unfallchirurg sein, der die gesamte Erstversorgung im Schockraum überwacht (Nerlich u. Tscherne 1987).

Für die Versorgungsphase im Schockraum gilt eine so genannte »door-to-treatment-time« von 15 min. Vom Eintreffen des Patienten bis zur Indikationsstellung zur chirurgischen Therapie lebensbedrohlicher Blutungen sollte nicht mehr als diese Zeitspanne vergehen. Der Schockraum muss deshalb in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Krankenanfahrt und zum Hubschrauberlandeplatz liegen (◘ Abb. 15.9, ▶ Übersicht Besetzung und Ausstattung des Schockraums).

Durch entsprechende Anbindung an Labor und Blutbank müssen die kurzfristige Versorgung mit Blutkonserven und die Durchführung von Laboruntersuchungen gewährleistet sein. Konserven der Blutgruppe 0 Rh^- müssen in ausreichender Menge in einem Blutkühlschrank vorgehalten werden.

Zur schnellen und sicheren Applikation einer ausreichenden Menge warmer Blutkonserven sind spezielle Druckinfusionsgeräte (LEVEL ONE) und Blutwärmer (RANGER) erforderlich. Der Einsatz von FFP (Gefrierplasma), Thrombozytenkonzentraten, Gerinnungsfaktoren und rekombinanten Faktor VII (NovoSeven) wird neuerdings zunehmend favorisiert (Fries et al. 2010).

Wie oben im ▶ Abschnitt 15.2 »Präklinische Versorgung« bereits diskutiert, gilt auch im Schockraum Zurückhaltung mit Volumengaben, v.a. dann, wenn noch keine Blutstillung möglich war.

Abb. 15.9 Schockraum

Personelle Besetzung und apparative Ausstattung des Schockraums

Obligate Besetzung

- Unfallchirurg (=»Team-Leader«)
- Pflegepersonal Notaufnahme (2-mal)
- Anästhesist
- Anästhesiepflegekraft
- MTA-Radiologie
- Dienstarzt Chirurgie
- Arzt Sonografie

Apparate

- Narkosearbeitsplatz mit Narkosewagen und Beatmungsgerät
- Monitor für invasives und noninvasives Monitoring
- Wagen für arterielle und venöse Gefäßzugänge
- Sonografiegerät
- Röntgenanlage für Thorax-und Skelettaufnahmen
- Blutgasanalyse
- Blutkühlschrank mit 4 Konserven Gruppe 0 Rh^-
- Transporteinrichtung zu Labor und Blutbank
- Patientenverwaltung und Dokumentationseinrichtung
- Telefonliste (Verbrennungszentren, Giftinformation, Behörden etc.)

Chirurgisches Material

- Kraniotomie
- Laparotomie
- Thorakotomie und Drainagenanlage
- Tracheotomie
- Endoskopie
- Verbrennungsversorgung einschließlich »Burn-Pack«

▼

Fakultative Besetzung Ärzte für:

- Neurochirurgie
- HNO
- Ophthalmologie
- Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie
- Radiologie
- Urologie
- Echokardiografie
- Gynäkologie
- Pädiatrie

Diagnostische Ausstattung

Klinische, sonografische und radiologische Diagnostik

Ziel der Diagnostik im Schockraum ist die rasche Erfassung des Verletzungsmusters und Festlegung der Strategien. Vital bedrohliche Blutungen und Frakturen müssen erkannt und bewertet werden. Unter den Frakturen sind die der Wirbelsäule wegen einer möglichen Bedrohung des Zentralnervensystems und die des Beckens wegen kreislaufwirksamer Blutungen von größter Bedeutung. Blutungen im Bauchraum und Thorax stellen die wichtigste unmittelbare Todesursache dar. Die Untersuchung erfolgt zeitgleich klinisch, sonografisch und radiologisch. Eine Multislice-CT-Untersuchung (Traumaspirale) mit Kontrastmittelgabe ermöglicht die kurzfristige Darstellung von Skelett, parenchymatösen Organen, Gefäßen, Blutungsquellen und des ZNS.

Huber et al. (2009) zeigten in einer Sammelstudie an über 4000 polytraumatisierten Patienten, dass die initiale Untersuchung im **Multislice-CT** die Letalität signifikant senkt. Die Untersuchungstechnik gilt inzwischen als Goldstandard und ersetzt die konventionelle Röntgendiagnostik. Erfahrene Untersucher können Organläsionen und freie Flüssigkeit auch sonografisch erfassen, wobei die Sensitivität allerdings dem CT unterlegen ist.

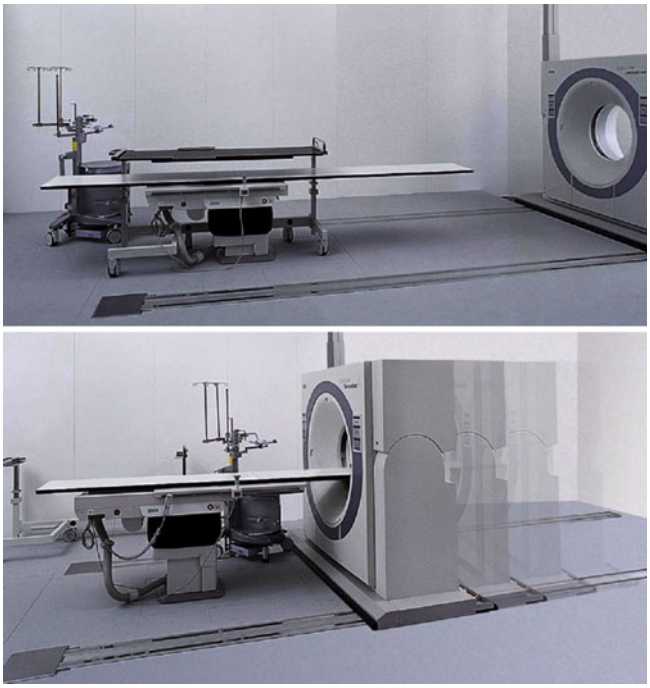


Abb. 15.10 Sliding Gantry mit Spiral-CT und Patiententisch mit Transporter (Fa. Siemens). (Aus: Beck et al. 2004)

Idealerweise befindet sich das CT direkt im Schockraum, sodass der Patient gleich auf dem Untersuchungstisch des Spiral-CTs behandelt werden kann (Abb. 15.10).

Monitoring und laborchemische Untersuchungen

Der Anästhesist ist für das Kreislaufmonitoring verantwortlich. Standard sind EKG, Pulsoxymetrie, Kapnometrie, invasive Blutdruckmessung, Urinmenge und Temperatur. Gleichzeitig wird die folgende Labordiagnostik veranlasst:

- Blutgruppe/Kreuzblut
- Blutbild
- Gerinnung inkl. ATIII, D-Dimere und Fibrinogen
- Leberenzyme (GOT, GPT, γ-GT, LDH, AP)
- Lipase
- Kreatinin, Harnstoff
- CK
- Schwangerschaftstest
- Toxscreening + Alkoholspiegel

Bei der Abnahme von Kreuzblut müssen die Richtlinien der Bundesärztekammer zur Hämotherapie beachtet werden. Krankenhausspezifisch sind geeignete Regelungen in der Transfusionsordnung zu treffen.

15.3.2 Zeitlicher Ablauf

Schockraum-Algorithmen

Die Koordinierung von diagnostischen und therapeutischen Abläufen im Schockraum erfolgt nach Algorithmen, um einerseits nichts zu übersehen und andererseits in kürzestmöglicher Zeit alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen. Schockraum-Management nach Algorithmen ist nachweislich effizienter als ungezieltes

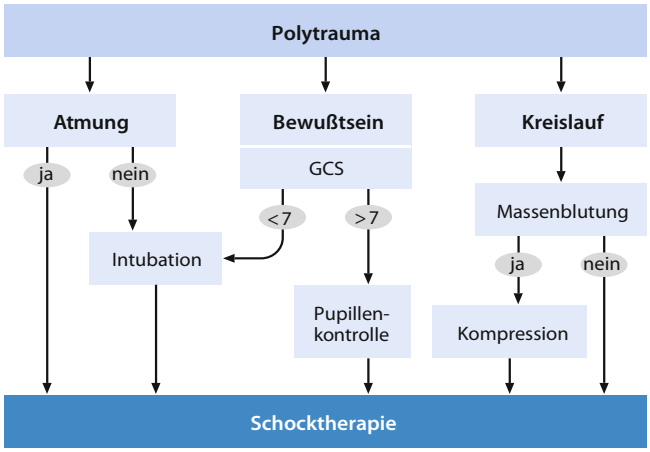


Abb. 15.11 Der Erste Blick bei der klinischen Versorgung

Vorgehen (Nast-Kolb et al. 1994). Die Algorithmen müssen allerdings der jeweiligen Situation angepasst werden (Abb. 15.11). Als Anhaltspunkt empfehlen sich die Prinzipien des Advanced Trauma Life Support (ATLS, Bouillon et al.).

Das Schockraummanagement im Rahmen der klinischen Versorgung läuft zunächst ähnlich ab wie die präklinische Versorgung. Der »Erste Blick« und die »Sicherung der Vitalfunktionen« sind wie am Unfallort die zunächst wichtigsten Maßnahmen. ATLS kennt analog zur kardialen Wiederbelebung die ABCDE-Regel:

- Airway = Atemwegsicherung
- Breathing = Beatmung
- Circulation = Kreislaufmanagement
- Disability = Neurologische Untersuchung auf Funktionsausfälle
- Exposure = Definition des Schädigungsmechanismus, Entkleiden, Schutz vor Wärmeverlusten

Regel und Mitarbeiter (1997 a) unterscheiden zudem 4 klinische Perioden im zeitlichen Ablauf der klinischen Versorgung eines polytraumatisierten Patienten:

- Akut- oder Reanimationsperiode (1. bis 3. Stunde),
- Primär- oder Stabilisationsperiode (1. bis 72. Stunde),
- Sekundär- oder Regenerationsperiode (3. bis 14. Tag),
- Tertiär- oder Rehabilitationsperiode (Wochen bis Monate).

Akut- oder Reanimationsperiode (1. bis 3. Stunde)

In dieser Periode gilt es, lebensbedrohliche Zustände möglichst rasch zu erkennen und abzuwenden. Beim »Ersten Blick« sollen solche Zustände möglichst innerhalb weniger Sekunden erkannt und entsprechende lebensrettende Sofortmaßnahmen eingeleitet werden (Tab. 15.3). In dieser Zeit wird der Patient von der Transportliege auf die fahrbare Schockraumliege bzw. den CT-Tisch mit der Schaufeltrage umgelagert. Die Schaufeltrage besteht aus zwei Hälften. Durch vorsichtiges axiales Drehen kann jeweils eine Hälfte der Trage unter jeweils eine Körperhälfte geschoben werden. Anschließend werden die beiden Hälften miteinander gekoppelt.

Gleichzeitig macht man sich ein Bild über den Zustand des Verletzten anhand von Bewusstseinslage, Hautkolorit, Herzfrequenz, Atemmuster und -frequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung und Anamnese. Zur Beurteilung des neurologischen Status werden GCS, Pupillen und Motorik evaluiert. Anästhesiologische Maßnahmen wie Intubation, Lagekorrektur des Tubus, zentralvenöse

Zugänge (großlumig!) und Reanimation laufen ebenso parallel wie Thoraxdrainagen oder Blutstillung. Wird der Patient bereits intubiert und beatmet in kreislaufstabilem Zustand in den Schockraum gebracht, verkürzt sich der Ablauf.

Erhöhter Hirndruck. Epiduralhämatome mit Raumforderung und Mittellinienverlagerung stellen die Indikation zur Kraniotomie dar. Derartige Verletzungen werden im Multislice-CT erfasst.

Schockformen

Meist liegt ein hämorrhagischer Schock vor. Eine neurogene Ursache kann der spinale Schock bei einer Querschnittslähmung sein. Finden sich keine Blutungen, erfolgt eine Echokardiografie zur Erfassung der Pumpfunktion und eine Perikardtamponade. Ursachen des kardiogenen Schocks können sein:

- Myokardinfarkt
- Herzkontusion
- Herzbeuteltamponade
- Spannungspneumothorax

Zur Drainage einer Perikardtamponade sticht man unterhalb des Processus xiphoideus ca. 45° zur Frontalebene geneigt, auf die linke Schulter zielend, unter kontinuierlicher Aspiration in den Herzbeutel und entlastet die Tamponade (▶ Kap. 2, Thorax). Eine EKG-gesteuerte Punktion ist möglich.

Spannungspneumothoraces müssen sofort drainiert werden. Entleeren sich bei der Drainage eines Hämatothorax mehr als 1000 ml bzw. nach initialer Entlastung mehr als 200 ml/h, ist die Indikation zur Thorakotomie und Gefäßligatur gegeben.

Tab. 15.3 Lebensbedrohliche Zustände und geeignete Sofortmaßnahme

Zustand	Sofortmaßnahme
Asphyxie	Freimachen der Atemwege, im Zweifelsfall Koniotomie
Spannungspneumothorax	Thoraxdrainage über Minithorakotomie
Herzbeuteltamponade	Punktion
Massenblutung	Blutstillung im Schockraum oder Operationssaal, Beckenzwinge

Bei einer Massenblutung, die eine aufwändige chirurgische Exploration z.B. des Bauchraums erforderlich macht, muss der Patient unverzüglich, ohne weitere Diagnostik, in den Operationssaal gebracht werden.

Hämorrhagischer Schock

Die Ursache eines hämorrhagischen Schocks ist bei äußerlich sichtbarer Massenblutung augenfällig. Bei innerer Blutung kommt hauptsächlich der Körperstamm infrage, aber auch die Summation von Extremitätenverletzungen. Aufschluss gibt wiederum das Spiral-CT. Laparotomien sind meist aufgrund von Leber- und Milzrupturen erforderlich. Von der intraabdominellen Massenblutung oft schwer abzugrenzen, aber in 28–47% der Fälle für nicht stabilisierbare Kreislaufverhältnisse verantwortlich, sind Beckenfrakturen. Zur unmittelbaren Blutstillung dient die Beckenzwinge (Abb. 15.12). Blutungen aus dem kleinen Becken erfordern ein pelvic packing (Cothren et. al. 2007).

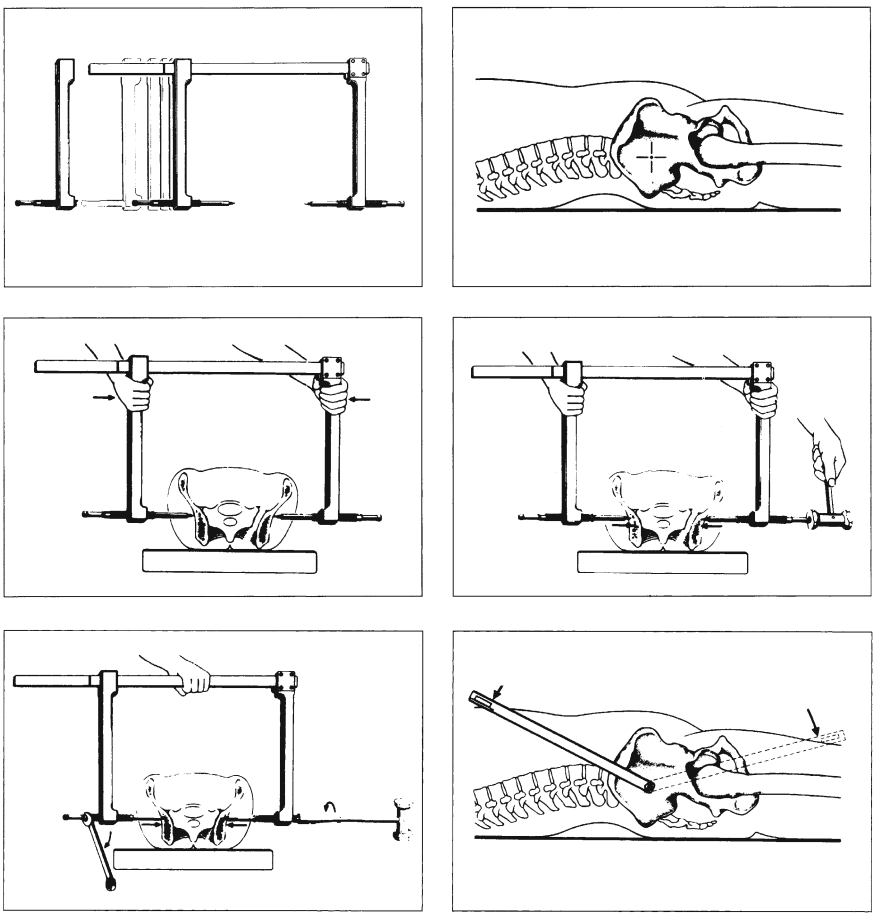


Abb. 15.12 Abriss der Operationstechnik der Notfallbeckenzwinge zur Schockbekämpfung bei dorsalen Beckenringverletzungen (Kap. 8, Becken). (Aus: Notfallbeckenzwinge – Zur Schockbekämpfung bei dorsalen Beckenringverletzungen, mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

Therapie des Schocks

Eine geeignete Schocktherapie besteht in der Stillung von Blutungen. Wurde der Patient am Notfallort noch nicht gänzlich entkleidet, geschieht dies jetzt. Über großlumige periphere Venenzugänge und Druckinfusionsgeräte werden Kristalloide und Erythrozytenkonzentrate infundiert bzw. transfundiert. Sind Gerinnungsstörungen nachweisbar, werden Faktoren (Fibrinogen, Prothrombinkomplex) gegeben. Thrombozytenkonzentrate können verabreicht werden, ihre Wirkung ist nicht gesichert (Fries et al. 2010). Über eine arterielle Kanüle in der A. radialis oder der A. femoralis wird eine Blutgasanalyse entnommen. Im Notfall kann die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten 0 Rh^- erforderlich sein, bis blutgruppengleiches Blut zur Verfügung steht und Kreuzproben vorliegen. Das Problem der Druckinfusion und der Anwärmung der Konserven kann elegant mit entsprechenden Geräten gelöst werden, die Pumpen und Schlauch-in-Schlauch-Heizsysteme enthalten (LEVEL ONE).

Die Anlage von zentralvenösen Zugängen und arteriellen Kanülen ist der Klinik vorbehalten. Beide dienen dem invasiven Monitoring der Kreislaufsituation. Zur Anlage eines zentralen Zugangs eignen sich V. subclavia und V. jugularis am besten. Die Auswahl richtet sich nach den Verletzungen und der Erfahrung des behandelnden Arztes. Die Platzierung erfolgt mittels Seldinger-Technik. Idealerweise werden Mehrlumenkatheter mit 2 großen Lumina (2-mal 18 Gauge, 1-mal 12 Gauge) eingesetzt. Die Lagekontrolle erfolgt durch EKG-Ableitung über den Draht. Sonografie erleichtert die Lokalisation der Gefäße.

Alternativ können A. und V. femoralis mit arteriellem Katheter und ZVK kanüliert werden. Dieses Vorgehen ist auf dem CT-Tisch einfacher zu realisieren.

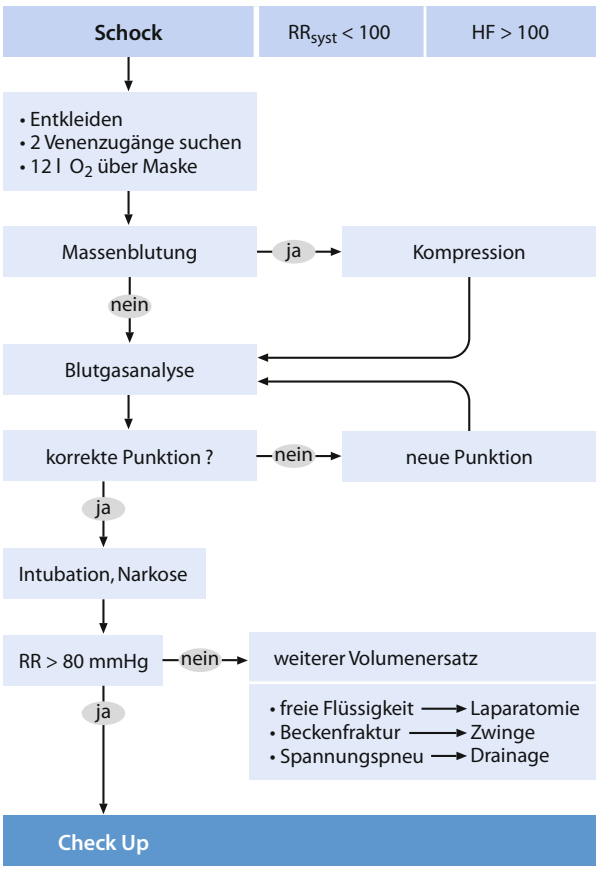


Abb. 15.13 Schocktherapie

Parallel zur Kreislauftherapie wird der Patient, falls nicht schon am Unfallort geschehen, intubiert und kontrolliert mit PEEP beatmet. Als Monitoring dient die Überwachung von Atemwegsdrucken, Volumina und die Kapnometrie (Abb. 15.13).

Sichtbare Massenblutungen werden komprimiert. Das geschieht zum einen manuell, zum anderen durch Druckverbände. Klaffende Wunden, aus denen es erheblich blutet, werden mit einem Klammernahtgerät in kürzester Zeit suffizient verschlossen.

Gelingt es in maximal 5 min nicht, den Kreislauf so zu stabilisieren, dass der Blutdruck systolisch über 80 mmHg liegt und die Femoralispulse gut tastbar sind, ist die Indikation zur Laparotomie und/oder (Mini-)Thorakotomie gegeben (Hokema et al. 2007).

Therapie- und Diagnostikphase

Nach Stabilisierung der Vitalfunktionen schließt sich eine kombinierte Therapie- und Diagnostikphase an, in der möglichst viele entscheidende Maßnahmen simultan abgewickelt werden sollen. Die Ergebnisse des Ganzkörper-CT werden von Unfallchirurgen und Radiologen gemeinsam beurteilt und das weitere Procedere festgelegt.

Man untersucht den Patienten in kraniokaudaler Reihenfolge, wie es im ▶ Abschnitt 15.1, »Präklinische Versorgung«, beschrieben wurde.

Kopf

Die Schädelkalotte wird abgetastet und auf Instabilitäten hin untersucht. Blutungen aus den Schädelöffnungen können ein Hinweis auf eine knöcherne Verletzung im Bereich der Schädelbasis sein. Insbesondere der behaarte Kopf muss genau abgetastet werden, weil es aus übersehenen Wunden der Kopfschwarte hämodynamisch wirksam bluten kann. Die Pupillen werden hinsichtlich Reaktion und Weite beurteilt. Eine darüber hinausgehende neurologische Untersuchung ist meist durch die Relaxierung erschwert oder nicht möglich. Zeigt sich im CT eine raumfordernde Blutung, ist die Indikation zur chirurgischen Dekompression gegeben. Man prüft die Stabilität des Mittelgesichts und der Kiefer. Dazu umfasst man mit einer Hand die Nasenwurzel, mit der anderen den Oberkiefer und achtet darauf, ob er mobil ist. Die Mundhöhle wird auf Blutungen und Verletzungen der Zähne ausgetestet. Die Okklusion wird beurteilt.

Thorax und Abdomen

Am Thorax lassen sich Instabilitäten, Krepitation und Emphyseme erfassen. Die Beschaffenheit des Weichteilmantels gibt hier und am Bauchraum wertvolle Hinweise auf eine stattgehabte stumpfe Gewalteinwirkung. Der Brustkorb wird auskultiert sowie Belüftung und Atemgeräusch beider Lungen im Seitenvergleich beurteilt.

Ein Spannungspneumothorax wird über eine Minithorakotomie entlastet und mit einer Drainage versorgt (▶ Kap. 2, Thorax). Ein unter Beatmung entstehendes Hautemphysem ist als Notfallindikation für die Anlage einer Thoraxdrainage zu werten. Entleeren sich mehr als 1000 ml Blut oder >200 ml/h im weiteren Verlauf, ist die Indikation zur Thorakotomie gegeben.

In der Diagnostik abdomineller Verletzungen und Blutverluste ist die CT der Sonografie überlegen. Jeder sonografisch verdächtige Befund ist eine Indikation zur CT.

Wirbelsäule

Die Wirbelsäule wird abgetastet. Wache Patienten können Angaben zu druckschmerzhaften Arealen, Sensibilität und motorischen Funktionen machen, während bei intubierten oder bewusstlosen

Patienten allein die Stabilität im Bereich der Dornfortsatzreihe und die Beschaffenheit des Weichteilmantels beurteilt werden kann. Um sich ein genaues Bild machen zu können, wird der Patient en bloc axial auf die Seite gedreht. Ist die klinische Untersuchung unauffällig, hat dies einen hohen prädiktiven Wert.

Die steife Halskrawatte bleibt bei Bewusstlosen, die keine Schmerzangaben machen können, auf jeden Fall bis zum radiologischen Frakturausschluss angelegt. Laut Regel et al. (1997 a) kann jedoch entgegen den Empfehlungen des amerikanischen Schrifttums im Notfall ohne vorausgegangene Diagnostik eine Intubation erfolgen.

Becken

Die Stabilitätsprüfung des Beckens schließt sich an. Symphysensprengungen mit deutlicher Dehiszenz können ertastet werden. Bei instabilen Frakturen im Bereich des dorsalen Beckenrings lassen sich die beiden Beckenschaufeln bei Belastung in der Frontalebene gegen- bzw. auseinanderdrücken. Von der Art der Mobilität kann man auf die verbliebenen intakten Strukturen schließen. Bei der Open-book-Läsion bleiben die dorsalen Ligamente intakt. Das Becken lässt sich bei sagittaler Belastung aufklappen. Die intakten dorsalen Bänder halten die beiden Schaufeln aber zusammen, während bei einer kompletten Zerreißung die Beckenschaufeln gegeneinander verschieblich sind (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Solche Verletzungen bluten heftig, weshalb man auf weitere Manipulationen verzichten und möglichst schnell eine Beckenzwinge anbringen sollte (Abb. 15.12). Im günstigsten Fall werden dadurch die großen spongiösen Flächen, aus denen es massiv bluten kann, tamponiert.

Zur Untersuchung des Beckens gehören auch die Inspektion der Dammregion und eine digitale rektale, ggf. auch vaginale Untersuchung zum Ausschluss oder Nachweis einer Pfählungsverletzung. Beim Mann achtet man u.a. auch auf den festen Sitz der Prostata. Falls sie mobil ist und mit dem tastenden Finger nach kranial verdrängt werden kann, liegt eine Urethraruptur vor. Bei manifester Blutung aus der Harnröhre darf kein Blasenkatheter gelegt werden, denn bei einer Harnröhrenruptur könnte mit dem Katheter eine Via falsa geschaffen werden. Deshalb wird zunächst eine Urethrografie mit 10–20 ml eines wasserlöslichen Kontrastmittels durchgeführt. Entleert sich bei liegendem Katheter Blut aus der Harnblase, wird durch eine Kontrastmittelfüllung der Blase über den Katheter eine Blasenruptur nachgewiesen oder ausgeschlossen. Prävesikale Läsionen lassen sich durch eine Infusionspyelografie nachweisen (▶ Kap. 8, Becken).

Die Menge produzierten Urins sollte erfasst werden, weil sie Rückschlüsse auf die Effizienz der Schockbehandlung zulässt. Bei stabilen Kreislaufverhältnissen produzieren die Nieren 1 ml Urin/min. Werte darunter sind als Hinweis auf eine Hypovolämie zu werten. Bessert eine weitere Volumensubstitution die Diurese nicht, ist von einer fortbestehenden akuten Blutung auszugehen.

Extremitäten

Man bewegt Arme und Beine durch, tastet die knöchernen Konturen der Gelenke und langen Röhrenknochen ab, registriert Prellmarken und offene Wunden, prüft die Bandstabilität der großen Gelenke, palpiert die peripheren Pulse und beurteilt beim wachen Patienten Motorik und Sensibilität. Grobe Fehlstellungen müssen, falls dies nicht bereits am Unfallort geschehen ist, unter ausreichender Anästhesie möglichst rasch beseitigt werden. Dadurch lassen sich Weichteilirritationen, die durch den anhaltenden Druck fehlstehender Fragmente entstehen können, reduzieren oder ganz vermeiden. Durch solche Fehlstellungen können überdies Gefäße abgeknickt und in der Folge die Peripherie minderdurchblutet sein. Dieses kinking lässt sich durch Ausrichtung der Extremität in ihrer Längsachse beheben. In dieser Stellung werden die frakturierten Extremitäten anschließend in einer Luftkammer- oder anderen Schiene ruhiggestellt (Tab. 15.4).

Tab. 15.4 Ablauf der kraniokaudalen, klinischen Untersuchung bei Polytrauma samt der wichtigsten Kriterien, die dabei beachtet werden müssen

Körperregion	Wichtigste Kriterien
Kopf	Verlegung der Atemwege
	Pupillen
	Offene Schädelverletzung
	Mittelgesicht
Thorax	Spannungspneumothorax
	Perikarderguss
	Massenblutung
	Instabilitäten
Abdomen	Freie Flüssigkeit
	Perforation
Wirbelsäule	Instabilitäten
	Neurologisches Defizit
Becken	Blutung
	Instabilität
	Verletzung der Harnwege
	Pfählung
Extremitäten	Durchblutung, Sensibilität, Motorik
	Frakturen
	Luxationen
	Kapsel-, Bandverletzungen

Um Schmerzen, Blutungen und damit auch das Schockgeschehen sowie Weichteilschäden zu bekämpfen, müssen Frakturen großer Röhrenknochen frühzeitig in ihrer Längsachse ausgerichtet und anschließend in geeigneten Schienen ruhiggestellt werden.

Zusätzliche apparative Untersuchungen

Thoraxtraumen können mit einer Contusio cordis kombiniert sein, eine Echokardiografie gibt Aufschluss über Pumpfunktion und Perikardtamponade

Laboruntersuchungen

Folgende Parameter werden beim Polytraumatisierten im Verlauf untersucht:

- Blutbild
- Blutgasanalyse
- Blutgruppe mit Kreuzblut und Bereitstellung von 8 Konserven
- Elektrolyte (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-)
- Glukose im Serum

- Kreatinin, Harnstoff
- Gesamtprotein, Albumin
- LDH, GOT, GPT, alkalische Phosphatase
- Lipase
- CK/CK-MB
- Laktat
- Gerinnung (INR, PTT, D-Dimer, Fibrinogen, AT III)
- Urinstatus

Lebensrettende Sofortoperationen

Verletzungen, die ein sofortiges Eingreifen und den Abbruch der laufenden Diagnostik erfordern, sind Massenblutungen im Bereich des Körperstamms und die akute intrakranielle Blutung.

Körperstamm

Patienten mit Aortenruptur, welche die Klinik lebend erreichen, müssen dringlich versorgt werden, wenn die Thoraxdrainage initial 1 l und danach >200 ml/h fördert, wenn der Kreislauf nicht stabilisiert werden kann oder ein Druckgefälle zwischen oberer und unterer Körperhälfte von >30 mmHg besteht.

Eine gesicherte Verletzung des Herzens ist ebenfalls eine absolute Operationsindikation. Penetrierende Thoraxverletzungen können hingegen auch durch eine Drainage ausreichend behandelt sein. Zum technischen Vorgehen im Einzelnen wird auf die Ausführungen im ▶ Kap. 2, Thorax verwiesen.

Eine intraabdominelle Massenblutung mit >500 ml freier Flüssigkeit bei hämodynamisch instabilen Patienten erfordert laut Tscherne et al. (1983) immer eine Laparotomie. Die Versorgung der verschiedenen Verletzungen ist im ▶ Kap. 3, Abdomen, detailliert beschrieben.

Bei gedeckter Massenblutung im Beckenbereich muss in bestimmten Fällen sogar eine operative Tamponade erfolgen. Die Indikation ist gegeben, wenn die Blutung nicht mit einer Beckenzwinge zu beherrschen ist und aufgrund einer Zerreißung der Faszienräume keine Selbsttamponade der Blutung eintritt (◘ Abb. 15.14).

Reevaluierung

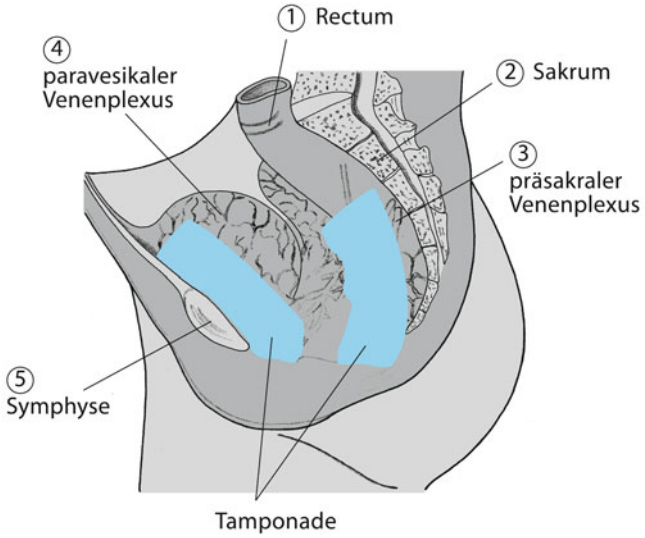
Ist der Patient stabilisiert, wird sein klinischer Zustand erneut geprüft. Für diese Reevaluierung zieht man folgende Parameter heran:

- Pupillenreaktion und -weite
- Blutdruck, Puls, SaO_2
- Beatmungsparameter, Auskultation des Thorax
- Blutbild
- Blutgasanalyse
- Elektrolyte (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-)
- Gerinnung (INR, PTT, D-Dimer, Fibrinogen, AT III)
- Diurese
- Körpertemperatur

Nun kann in Absprache mit dem Anästhesisten entschieden werden, ob der Patient für dringliche operative Eingriffe stabil genug ist oder ob er erst durch intensivmedizinische Maßnahmen weiter stabilisiert werden muss.

Primäre oder Stabilisationsperiode (4. bis 72. Stunde)

Nach Abschluss der Akut- oder Reanimationsperiode schließt sich nun die primäre operative Versorgung an. Der Ablauf folgt den Prinzipien der Damage Control Surgery. Diese besagt, dass Frakturen der langen Röhrenknochen zunächst mit Fixateur externe versorgt werden. Die Marknagelung ist nur bei stabilen Patienten angezeigt.



◘ **Abb. 15.14** Schematische Darstellung einer Beckentamponade. (Aus: Regel et al. 1997a)

In folgenden Fällen wird der Patient primär vom Schockraum auf die Intensivstation verbracht (Regel et al. 1997 a):

- Schweres Schädel-Hirn-Trauma mit Hirnschwellung
- Kardiogener Schock
- Respiratorische Dekompensation
- Ausgeprägte Hypothermie >30°C

Instabile Becken- und Extremitätenfrakturen werden dann auf der Intensivstation mit Fixateuren stabilisiert.

In allen anderen Fällen können nun die Operationen der Primärphase durchgeführt werden (synonyme Begriffe: »verzögerte Primärchirurgie« oder »day one surgery«). Die **Prioritäten** bzw. die Reihenfolge, in der die verschiedenen Verletzungen versorgt werden, sehen wie folgt aus:

1. Kopfverletzungen (Hirn, Augen, Gesicht)
2. Zunehmende Kompression des Rückenmarks
3. Viszerale Verletzungen
4. Komplizierte Frakturen und Luxationen (Gefäßverletzung, Kompartment-Syndrom, höhergradiger Weichteilschaden)
5. Geschlossene Frakturen der unteren Extremität
6. Beckenringfrakturen
7. Instabile Wirbelsäulenverletzungen

Kopfverletzungen

Schädelimpressionsfrakturen und offene Hirnverletzungen werden in dieser Phase versorgt. Intrakranielle Hämatome, die nicht bereits in der Akutphase zum sofortigen Handeln gezwungen haben, müssen ggf. jetzt entlastet werden. Dies wird in Absprache mit dem Neurochirurgen entschieden. Als nächstes folgen perforierende Augenverletzungen und Verletzungen der Gesichtsweichteile und des Gesichtsschädels.

Zunehmende Kompression des Rückenmarks

Instabile Verletzungen der Wirbelsäule, die primär neurologische Ausfälle verursacht haben, werden erst nach der Stabilisierung von Schaftfrakturen großer Röhrenknochen versorgt. Eine andere Situation besteht jedoch, wenn fortschreitende neurologische Ausfälle auf eine zunehmende Kompression des Rückenmarks hinweisen. Dies indiziert ein sofortiges Handeln (▶ Kap. 4, Wirbelsäule).

Viszerale Verletzungen

Massenblutungen zwingen zur sofortigen Versorgung noch während der Akutphase und zum Abbruch der Diagnostik. Verzögert auftretende oder subakut verlaufende Blutungen können nach der Akutphase manifest werden. Sie werden vor der Versorgung der Frakturen langer Röhrenknochen und offener Gelenkverletzungen gestillt (▶ Kap. 3, Abdomen).

Komplizierte Frakturen und Luxationen

Gefäßverletzung

In Hinblick auf den Erhalt einer Extremität hat eine möglichst rasche Wiederherstellung der Durchblutung die höchste Priorität bei der Versorgung (▶ Kap. 14, Gefäßverletzungen). Da die Strombahn meist durch fehlstehende Fragmente blockiert wird, ist nach erfolgter Reposition und Stabilisierung der Fraktur die Kontinuität der Strombahn in der Regel wieder hergestellt.

Bei der präoperativen Diagnostik lässt der klinische Befund bereits eindeutige Schlüsse zu. Er wird mit der sehr sensitiven Methode der Dopplersonografie untermauert. Eine Angiografie ist auf jeden Fall indiziert, wenn nach erfolgter Reposition der Fraktur die Durchblutung weiterhin beeinträchtigt ist. Ob die Angiografie präoperativ oder intraoperativ durchgeführt wird, hängt von den apparativen Möglichkeiten der Klinik ab. Ideal wäre eine intraoperative Angiografie, weil man ohne Zeitverlust den Patienten in den Operationssaal bringen kann und unmittelbar nach Reposition der Fraktur und ggf. temporärer und schneller Stabilisierung mit einem Fixateur am offenen Situs angiografieren und im Anschluss daran das Gefäß versorgen kann.

Bei der Versorgung wird in der Regel zuerst die Fraktur stabilisiert und anschließend das Gefäß rekonstruiert. Deshalb wird das Osteosyntheseverfahren gewählt, das sich am schnellsten durchführen lässt: ein Fixateur externe oder eine Plattenosteosynthese. Abhängig von der Dauer der Ischämie kann auch eine umgekehrte Reihenfolge notwendig werden. Dann wird das Gefäß zuerst rekonstruiert. Die Anlage eines passageren Shunts kann die Ischämiezeit erheblich verkürzen. Dies ist gerade beim polytraumatisierten Patienten von entscheidender Bedeutung. Der bereits stark belastete Organismus kann durch den Reperfusionsschaden dekompensieren. Deshalb muss der Operateur kritisch abwägen, ob dem Patienten mit einem Extremitätenerhalt in jedem Fall gedient ist.

Kompartment-Syndrom

Die Indikation zur Fasziotomie ist bei einer Differenz zwischen Kompartmentdruck und diastolischem Blutdruck ab 30 mmHg gegeben (▶ Kap. 6, Kap. 10, Kap. 17). Dabei muss diese Richtgröße bei generalisierter Hypoxie noch niedriger angesetzt werden. Drohende Kompartment-Syndrome werden durch Dermatofasziotomie entlastet. Die entstehenden breit klaffenden Wundflächen werden mit Kunsthaut gedeckt.

Höhergradiger Weichteilschaden

Der Weichteilschaden geschlossener und offener Frakturen wird nach Tscherne et al. (1983) klassifiziert und ist in ▶ Kap. 15, Weichteilverletzungen und Infektionen, aufgeführt. Bei allen Operationen an Extremitäten ist eine perioperative Antibiotikaprophylaxe (z.B. Cefazolin 2 g oder Ceftrixon 2 g) vor Operationsbeginn als single shot indiziert.

Offene Frakturen werden bereits in der Primärperiode behandelt. Der entstandene Weichteilschaden wird ermittelt und débridiert. Fremdkörper, Schmutz und avitale Gewebeanteile werden entfernt. Zur mechanischen Reinigung wird bei starker Verschmutzung eine Bürste benutzt. Eine gepulste Druckspülung (Jet-Lavage) kann hilfreich sein. Im Zweifelsfall wird ein Second look geplant. Die Stabilisierung des Knochens ist unabdingbar für die Verhütung einer Infektion. Die Art der Osteosynthese ist vom Ausmaß des Weichteilschadens und der Güte der Weichteildeckung abhängig. Die einzelnen Indikationen werden in den Kapiteln des jeweiligen Extremitätenabschnitts besprochen.

Reine Weichteilverletzungen müssen im Rahmen der Primärversorgung débridiert und evaluiert werden, da sie sich infizieren können und in der Folge zu einer zusätzlichen systemischen Belastung der immunsupprimierten Patienten führen können.

Geschlossene Frakturen der unteren Extremität

Geschlossene Frakturen der unteren Extremität müssen frühzeitig stabilisiert werden, da sie die Patienten stärker belasten als Frakturen der oberen Extremität. Als Merkhilfe für die Reihenfolge der Versorgung von unkomplizierten Frakturen dient das umgekehrte kraniokaudale Vorgehen, das bei der körperlichen Untersuchung eines Patienten zugrunde gelegt wird:

Tibia → Femur → Becken → Wirbelsäule → Unterarm → Oberarm.
Geschlossene Frakturen der oberen Extremität werden in der Regel erst während der Sekundärphase versorgt.

Die intramedulläre Nagelung von Femurschaftfrakturen gefährdet Patienten mit pulmonalem Trauma zusätzlich und führt zu systemischen Inflammationsreaktionen (▶ Kap. 9, Hüfte und Oberschenkel). Daher wird zunächst mit einem Fixateur externe behandelt. Eine Marknagelung erfolgt erst nach der Stabilisierung des Patienten. In Hinblick auf die spätere Mobilisierung sollen Patienten mit mehreren Frakturen möglichst gipsfrei nachbehandelt werden können.

Beckenringfrakturen

Vordere und hintere Beckenfrakturen werden nach erweiterter Röntgen- und CT-Diagnostik nach Möglichkeit in Rückenlage versorgt, um aufwändige und riskante Umlagerungsmanöver in dieser Phase zu vermeiden. Frakturen des Typs A sind stabil und damit nicht versorgungsbedürftig, B- und C-Verletzungen jedoch schon. Bei den Verletzungen des Typs B besteht eine Instabilität in der Sagittal-, bei Typ C in der Frontalebene.

Wiederum gilt es, diese Verletzungen möglichst frühzeitig zu stabilisieren, um Blutungen und Schmerzen zu stillen und damit das Schockgeschehen einzudämmen. Da polytraumatisierte Patienten aufgrund ihrer Verletzungsmuster in der Primärphase meist nicht auf dem Bauch gelagert werden können, wird zunächst ausschließlich von ventral vorgegangen. Die dorsale Stabilisierung erfolgt erst später. Bei Bedarf behilft man sich bis dahin mit der Beckenzwinge (▶ Kap. 8, Becken).

Instabile Wirbelsäulenverletzungen

Instabile Wirbelsäulenverletzungen ohne oder mit gleich bleibenden neurologischen Störungen werden frühzeitig operiert. Instabilitäten der Halswirbelsäule versorgt man mit einer ventralen Verriegelungsplatte, da ein Halofixateur die intensivmedizinische Betreuung sehr erschwert. Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule können bei konstantem neurologischem Status prinzipiell im Intervall angegangen werden. Dabei ist zu bedenken, dass unversorgte Wirbelfrakturen die Pflege von Traumapatienten erheblich beeinträchtigen. Deshalb strebt man auch hier eine möglichst frühzeitige Versorgung an, wenngleich dies mit einem gewissen Lagerungsaufwand verbunden sein wird, da die Patienten für die dorsale Instrumentierung mittels Fixateur interne auf dem Bauch gelagert werden müssen (▶ Kap. 4, Wirbelsäule).

Sekundäre oder Regenerationsperiode (3. bis 14. Tag)

Der Beginn der Sekundärperiode ergibt sich aus dem klinischen Verlauf. Die Stabilisierung der Vital- und Laborparameter erlaubt dann die Durchführung zeitaufwändiger Operationen niedrigerer Priorität.

Kriterien, die den Beginn der Sekundärperiode anzeigen, sind:

- Der Kreislauf ist stabil; Katecholamine sind nicht mehr erforderlich.
- Die Flüssigkeitsbilanz ist negativ; die Diurese beträgt mehr als 100 ml/h.
- paO_2/FiO_2 >250 mmHg, FiO_2 <0,5, PEEP <10 mmHg,
- Thrombozyten >100.000/µl,
- Leukozyten >2000 und <12.000/µl, kein Hinweis auf Sepsis oder SIRS,
- ICP <15 mmHg.

In der Sekundärperiode werden folgende Verletzungen angegangen:

- Weichteilverletzungen,
- Gesichtsschädelverletzungen,
- Frakturen der oberen Extremität,
- komplexe Rekonstruktionen von Frakturen mit Gelenkbeteiligung und
- andere Operationen, die in der Primärperiode nicht möglich waren,
- Weichteilverletzungen werden 48 h nach Primärversorgung revidiert; dies kann ggf. mehrfach erforderlich sein, um potenzielle septische Herde zu sanieren.

Die kritischste Periode für einen so genannten »second hit« ist der 3. bis 5. Tag nach Trauma (Pape et al. 1993).

Tertiäre Rehabilitationsperiode (Wochen bis Monate)

Die Tertiärperiode stellt den Übergang zur Rehabilitation dar. Im Idealfall kann 1 Woche nach Trauma damit begonnen werden. Diese Phase ist durch die zunehmende Mobilisation einerseits und dem Weaning von der Beatmung andererseits gekennzeichnet. Die Entwöhnung von Respirator und Extubation ist nur bei einem wachen und kooperativen Patienten möglich. Durchgangssyndrome erschweren und verlängern diesen Prozess oft erheblich. Nach sorgfältiger Indikationsstellung kann eine dilatative Tracheostomie nach Fantoni oder mit der Percu-Twist-Methode das Weaning erleichtern.

Letalitätsphasen beim Polytraumatisierten

Todesfälle nach Trauma lassen sich in 3 Phasen einteilen.

Die **erste Phase** umfasst diejenigen Patienten, die an den unmittelbaren Folgen des Traumas versterben. Dazu zählen Verletzungen des Zerebrums, des Hirnstamms und Rupturen großer Gefäße. Derartige Todesfälle sind nicht vermeidbar.

Die **zweite Phase** ist gekennzeichnet durch Blutverluste. Der Tod tritt binnen Stunden ein und ist nur dann vermeidbar, wenn die Patienten in kürzester Zeit einer qualifizierten Therapie zugeführt werden.

Die **dritte Phase** ist gekennzeichnet durch Tod im Multiorganversagen nach Tagen oder Wochen. Trotz aller intensivmedizinischen Bemühungen treten solche Fälle immer wieder auf, allerdings umso seltener, je schneller eine initiale Stabilisierung des Patienten gelingt.

Extremitätenerhalt: Pro und Contra

Scoring-Systeme

Während Kirk (1989) die Indikation zur Amputation v.a. auf das Urteilsvermögen des Chirurgen stützt, der abschätzen soll, ob die Verletzung, Erkrankung oder Deformität einer Extremität unvereinbar mit dem Leben oder der Funktionalität ist, wurde in jüngerer Zeit versucht, die Entscheidungsfindung von ausgesuchten, in einem Score zusammengefassten Parametern abhängig zu machen.

Die bekanntesten Scores, von denen man sich erhoffte, die Frage »Amputation vs. Extremitätenerhalt« beantworten zu können, sind:

- MESI (mangled extremity syndrome grading system)
- PSI (predictive salvage index)
- MESS (mangled extremity severity score)
- LSI (limb savlage index)

Inzwischen weiß man jedoch, dass all diese Scores die Verletzungsschwere nicht eindeutig definieren. Sie sind entweder zu komplex oder zu übergreifend. Darüber hinaus wurden sie anhand retrospektiver Daten relativ kleiner Patientenkollektive entwickelt und an den gleichen Patientendaten auf ihre Validität hin überprüft, was zu einer falsch hohen Sensitivität und Spezifität führte. Außerdem ist die Funktionalität der erhaltenen Extremität nicht nachuntersucht worden (Roessler 1997, Bonanni et al. 1993).

Die Scoring-Systeme haben somit nur einen begrenzten prädiktiven Wert. Das drückt sich auch darin aus, dass sich keiner als führendes Entscheidungsinstrument durchsetzen konnte. Problematisch ist die Komplexität der einzelnen Scores, die eine vollständige Erhebung der gewünschten Daten oft schwierig macht, und die Tatsache, dass einige Parameter der subjektiven Einschätzung des Untersuchers unterliegen. Außerdem wird nur der Status zum Zeitpunkt der Aufnahme des Patienten berücksichtigt. Für das weitere Vorgehen bei Erhaltungsversuch existieren hingegen keine Empfehlungen oder Richtlinien. Diesbezüglich macht lediglich der MESS eine Ausnahme. Für ihn wurde in nicht veröffentlichten Daten eine Übereinstimmung für die Entscheidungskriterien und die klinische Anwendbarkeit beobachtet.

Entscheidungskriterien

Der Kliniker stützt sich beim Abwägen Amputation vs. Extremitätenerhalt im Wesentlichen auf folgende Kriterien:

- Pulsstatus
- Neurologischer Status
- Schadensausmaß an Weichteilen und Knochen

In der Regel kann eine Extremität auch bei schweren Schäden am Weichteil- und Knochengewebe erhalten werden, wenn sie durchblutet ist. Bei manifester Ischämie jedoch ist entscheidend, ob die Strombahn rekonstruiert werden kann und wie ausgeprägt die Schäden an Nerven, Weichteilen und Knochen sind, denn ein Erhaltungsversuch ist nur dann sinnvoll, wenn er den Patienten nicht vital gefährdet und die zu erwartende Funktionalität in Relation zu den Belastungen steht, die man dem Patienten durch einen langwierigen Verlauf aufbürdet. Letzteres korreliert eng mit dem Lebensalter des Patienten.

Im Zweifelsfall wird man immer erst einen Erhaltungsversuch unternehmen. Um den Patienten jedoch nicht vital zu gefährden, bedarf es eines Verlaufsparameters, der die Notwendigkeit einer sekundären Amputation rechtzeitig anzeigt.

Roessler (1997) hat einen brauchbaren Parameter gefunden. Er beurteilte den Verlauf anhand der Flüssigkeitsbilanz während der ersten 24 h nach dem Trauma und sah in einem Kollektiv

von insgesamt 80 Patienten mit isolierter Verletzung der unteren Extremität ein überraschendes Ergebnis. Das Kollektiv ließ sich in 3 Gruppen teilen. Die erste Gruppe bestand aus 53 Patienten mit nachweisbaren Fußpulsen, bei denen ein Erhaltungsversuch unternommen wurde, die zweite aus 13 Patienten ohne Fußpulse, bei denen sofort amputiert wurde und die dritte aus 14 Patienten, bei denen ein Erhaltungsversuch ohne Fußpulse unternommen wurde. Die Gruppen unterschieden sich hinsichtlich Alter, Geschlecht und Injury Severity Score nicht voneinander. Sekundäre Amputationen mussten jedoch nur in der Gruppe 3 vorgenommen werden, bei Patienten, die bei Aufnahme keine Fußpulse nachgewiesen hatten. Kein Patient aus der ersten und zweiten Gruppe starb. In der Dritten jedoch ereigneten sich insgesamt 3 Todesfälle (21%). Ein Patient starb am 8. Tag aufgrund einer Sepsis und eines ARDS, die beiden anderen am 23. bzw. 89. Tag an einer Sepsis mit Nierenversagen, und das, obwohl bei allen 3 Patienten die verletzte Extremität sekundär amputiert worden war, beim ersten am 3., beim zweiten am 6. und beim dritten am 16. Tag nach Aufnahme. Das auffälligste Unterscheidungsmerkmal innerhalb der einzelnen Gruppen war, dass die dritte Gruppe statistisch signifikant größere Mengen parenteral zugeführter Flüssigkeit benötigte. 6 der 14 Patienten hatten postoperativ positive Flüssigkeitsbilanzen von >3 l/24 h; im Fall der 3 Verstorbenen waren es im einzelnen 5,1, 5,5 und 8,4 l.

Empfohlenes Vorgehen

In Übereinstimmung mit einer Vielzahl namhafter Autoren (Burri u. Stober 1986, Caudle u. Stern 1987, Gustilo 1982, Kirk 1989, Lange et al. 1985, Russe 1985, Südkamp et al. 1989) besteht die Indikation zur primären Amputation bei komplettem oder irreparablem Verlust des N. ischiadicus oder tibialis posterior, weil die Prognose für ein gutes funktionelles Ergebnis in diesem Fall extrem schlecht ist. Da bei fehlenden Fußpulsen das »outcome« weniger gut prognostiziert werden kann, empfiehlt es sich, bei unklarem neurologischem Status, möglicherweise rekonstruierbarer Gefäßverletzung und unklarem Ausmaß des Weichteilschadens die Verletzung operativ zu explorieren und ggf. einen Erhaltungsversuch zu unternehmen. Dann stellt sich im weiteren Verlauf die Frage, ob eine frühsekundäre Amputation, die von vitaler Bedeutung sein kann, angezeigt ist. Es ist bekannt, dass im Schock große Flüssigkeitsmengen ins Interstitium und in den intrazellulären Raum verschoben werden und dass eine positive Flüssigkeitsbilanz von >3 l/24 h in hohem Maß mit der Entwicklung einer respiratorischen Insuffizienz und einer erhöhten Mortalität korreliert. Dies bestätigte sich in der dritten Untergruppe auf dramatische Weise mit einer Mortalität von 21%.

Aus diesen Befunden lässt sich ein praktikabler **Algorithmus** ableiten, der als Entscheidungshilfe bei Patienten mit isolierter schwerer Verletzung der unteren Extremität gelten kann:

1. Sind die peripheren Pulse nachweisbar und besteht kein Anhalt für eine Nervenverletzung, wird versucht, die Extremität zu erhalten.
2. Falls feststeht, dass der N. ischiadicus oder N. tibialis posterior unterbrochen ist, sollte die Extremität amputiert werden. Das Ausmaß der Nervenläsion kann von einem darin erfahrenen Neurologen durch Elektromyografie genau definiert werden.
3. Wird bei fehlenden Pulsen ein Erhaltungsversuch unternommen, sollte innerhalb der ersten 24 postoperativen Stunden der Flüssigkeitsbilanz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Bei einer positiven Bilanz von >3 l/24 h muss die Amputation des verletzten Extremitätenabschnitts ernsthaft erwogen werden. In Zweifelsfällen wird der MESS zur Entscheidung hinzugezogen. Ist er >7, spricht dies für eine Amputation.

15.4 Reanimation

Unter Reanimation werden alle Maßnahmen zusammengefasst, die bei teilweisem oder vollständigem Ausfall der Vitalfunktionen diese sichern bzw. wiederherstellen sollen. Die Maßnahmen folgen den Leitlinien des European Resuscitation council (ERC), der American Heart Association (AHA) und des International Liasion Committee on Resuscitation (ILCOR). Die Leitlinien der genannten Organisationen unterscheiden sich nur minimal. Stufenweise kommen Basismaßnahmen, die ohne technisches Gerät erfolgen können (Basic Life Support, BLS) und erweiterte Maßnahmen mit technischem Gerät und Medikamenten (Advanced Cardiac Life Support, ACLS) zum Einsatz.

Nach dem Check auf Vitalzeichen (Prüfen der Bewusstseinslage durch Ansprechen, Hautkolorit) folgt man dem CAB-Schema:

- **C**: Die Zirkulation in Gang zu bringen, ist die wichtigste Maßnahme der Reanimation. Dies geschieht in Form einer Herzmassage über zyklische Thoraxkompressionen. Kompressionen beginnen sofort. Die Frequenz beträgt 100/min, die Drucktiefe mindestens 5 cm. Der Druckpunkt liegt in der Mitte des Sternums. Man setzt dabei seine dominante Hand auf dem Sternum auf und verstärkt die Kraft dosiert mit der anderen Hand, die auf die dominante gelegt wird. Die Kompressionen erfolgen mit durchgestreckten Armen. Da eine Herzmassage für den reanimierenden Arzt körperlich sehr anstrengend ist, muss man sich gegenseitig immer wieder ablösen. Der Patient wird auf eine harte Unterlage, idealerweise auf den Boden, gelagert. Untergelegte Reanimationsbretter sind nur bedingt wirksam.
- **A**: Die Atemwege werden durch Überstrecken des Kopfs, Einsetzen eines Guedel- oder Wendl-Tubus, Entfernen etwaiger Fremdkörper (Zahnprothesen) und Absaugen von Blut und Sekret freigemacht.
- **B**: Die Beatmung erfolgt durch einen Beatmungsbeutel mit Sauerstoff. Idealerweise werden 100% Sauerstoff durch den Einsatz eines Demand-Ventils zugeführt, das an das Einlassventil des Beatmungsbeutels angeschlossen wird (Abb. 15.15). Die Beatmung mit Maske und Beutel ist nicht ganz einfach und erfordert eine gewisse Übung. Ggf. kann die Maske auch mit beiden Händen gehalten werden, dann muss eine weitere Person den Beutel in regelmäßigen Abständen komprimieren. Nach 30 Kompressionen folgen 2 Beatmungen.

Es ist Aufgabe des Leiters der Maßnahmen die lückenlose, konsequente Herzmassage sicherzustellen, Unterbrechungen durch Intubation, Defibrillation etc. möglichst kurz zu halten und die ausführende Person auch dann häufig abzulösen, wenn noch keine Zeichen der Erschöpfung erkennbar sind.

Erweiterte Maßnahmen des Advanced Cardiac Life Support (ACLS)

Die Defibrillation erfolgt, sobald ein Defibrillator verfügbar ist. Heute üblich sind großflächige Klebeelektroden, die ventral und dorsal über dem linken Hemithorax oder rechts zwischen Klavikula und Sternum und links über der Herzspitze angebracht werden. Die korrekte Position ist als Zeichnung auf der Verpackung dargestellt. Alternativ können auch von Hand gehaltene Elektroden verwendet werden, die allerdings vorher mit Elektroden-Gel vollständig benetzt werden müssen.

Abb. 15.15 Demand-Ventil

Über die Defibrillationselektroden erfolgt die Analyse des Rhythmus. Liegt ein Kammerflimmern oder eine pulslose Kammertachykardie vor, ist eine Defibrillation angezeigt. Abhängig vom Gerätetyp wird sie biphasisch mit 200 J oder monophasisch mit 360 J durchgeführt. Unmittelbar nach einer stattgehabten Defibrillation wird die Herzmassage wieder aufgenommen und erst 2 min später geprüft, ob sich ein Spontankreislauf eingestellt hat. Bei einer Asystolie oder einer pulslosen elektrischen Aktivität (PEA) wird überhaupt nicht defibrilliert, sondern die Herzmassage sofort weitergeführt.

Automatische externe Defibrillatoren (AED) übernehmen die Rhythmusanalyse selbstständig, über Sprachausgabe wird eine Defibrillation nur dann empfohlen, wenn sie erforderlich ist. Das Gerät gibt die richtige Energie ab. Der Stromstoß wird nach Aufforderung durch die Sprachausgabe durch Knopfdruck ausgelöst. AEDs benötigen obligat Klebeelektroden. Diese Geräte sind sehr einfach auch durch Ungeübte zu bedienen. Bei allen Defibrillationsmaßnahmen darf die Herzmassage nur für den Moment des Schocks unterbrochen werden.

Medikamente

Standardmedikament bei der Renimation ist Adrenalin in einer Dosierung von 1 mg als Bolus. Alternativ kommen 40 IE Vasopressin infrage. Die Applikation erfolgt über einen periphervenösen Zugang. Mit Vollelektrolytlösung wird nachgespült. Die Gabe wird alle 3–5 min wiederholt. Der Einsatz der genannten Medikamente ist gängige Praxis. Der Beweis der Wirksamkeit in plazebokontrollierten Studien fehlt.

Antiarrrythmika

Eingesetzt werden Amiodaron 300 mg beim defibrillationsrefraktären Kammerflimmern. Auch dabei handelt es sich um Expertenempfehlungen; der Beweis der Wirksamkeit in Hinblick auf ein langfristiges Überleben einer derart lebensbedrohlichen Situation fehlt.

Intubation

Die endotracheale Intubation hat im Rahmen der Reanimation zwar ihren Platz, darf jedoch nicht überbewertet werden. Entscheidend ist, dass der Patient adäquat ventiliert wird. Intubationsversuche dürfen nicht länger als 30 s dauern, um die Kontinuität der Herzmassage nicht zu gefährden. Die endotracheale Applikation von Medikamenten ist obsolet.

Behebbare Ursachen

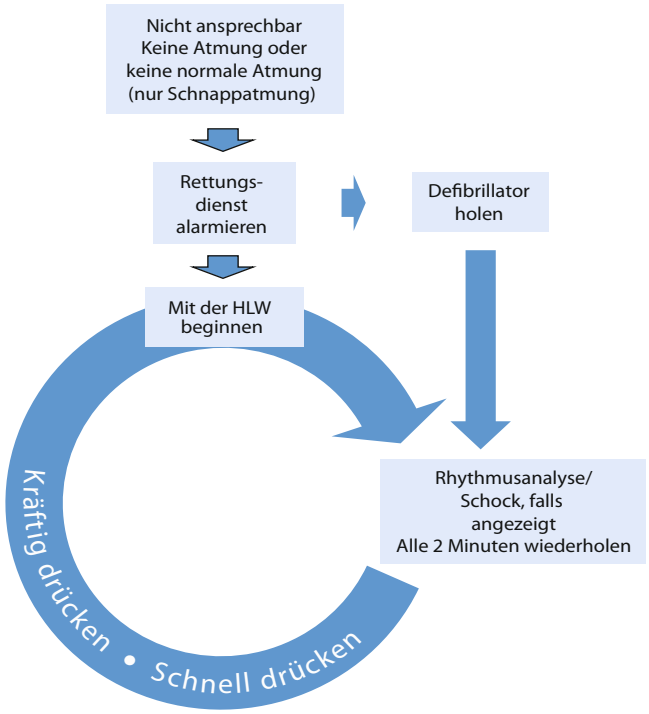
Während jeder Reanimation ist umgehend nach behebbaren Ursachen einer Asystolie und pulslosen elektrischen Aktivität zu suchen, denn nur dann ist mit einem Reanimationserfolg zu rechnen.

Als Merkregel gelten die in der Übersicht dargestellten 4 H und HITS.

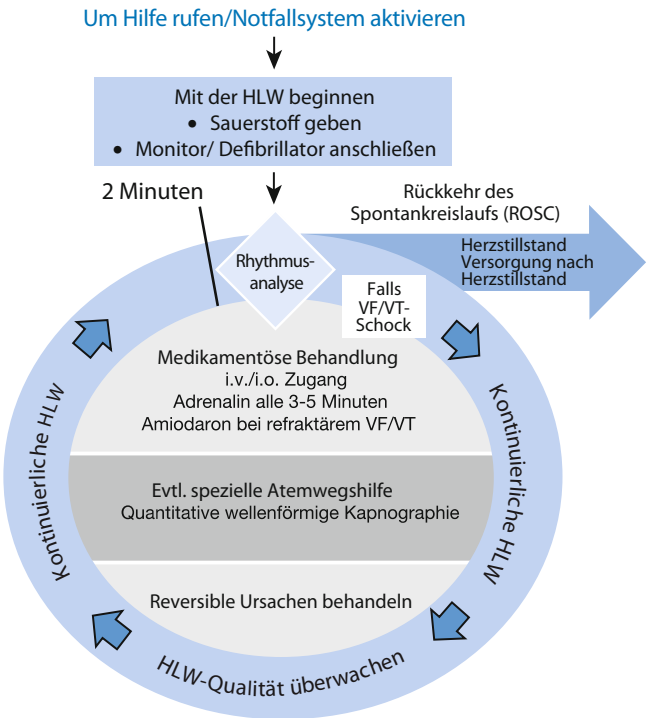
4 H und HITS

- **H** – Hypoxie: Man muss sich vergewissern, dass mit 100% Sauerstoff beatmet wird. Man achte auf Thoraxexkursionen und Atemgeräusche.
- **H** – Hypovolämie: Wie oben ausführlich beschrieben, sind Traumapatienten durch unerkannte Blutverluste bedroht. Blutstillung und Volumenersatz schaffen Abhilfe.
- **H** – Hyperkaliämie: Hyperkaliämie und Azidose können durch eine Blutgasanalyse nachgewiesen werden. Gegenmaßnahmen sind die Gabe von Glukose und Insulin, eine Pufferung und ggf. eine Akutdialyse.
- **H** – Hypothermie: Die Unterkühlung, die zum Kreislaufstillstand führt, gilt als Indikation zur kontrollierten Erwärmung an einer Herz-Lungen-Maschine. Die Prognose ist grundsätzlich günstig, sodass auch der große Aufwand eines Transports unter laufender Reanimation in ein Herzchirurgisches Zentrum mit entsprechender Ausstattung gerechtfertigt ist. Adrenalin ist in diesem Fall ebenso kontraindiziert wie die Defibrillation. Die Reanimation eines Unterkühlten darf erst abgebrochen werden, wenn der Patient wieder aufgewärmt ist. »No one is dead until warm and dead.«
- **H** – Herzbeuteltamponade: Zeichen der Herzbeuteltamponade sind die Einflussstauung in Verbindung mit einem niedrigen kardialen Auswurfvolumen. Die Diagnose wird echokardiografisch gestellt. Bei positivem Befund ist eine Entlastung durch Punktion oder einen offenen Eingriff indiziert.
- **I** – Intoxikation: Hinweise für eine Intoxikation ergeben sich aus der Anamnese und den Laborwerten. Manche Vergiftungen lassen sich mit Antidoten behandeln, z.B. durch Sauerstoffgabe bei Kohlenmonoxidvergiftung.
- **T** – Thrombembolie: Gerade Traumapatienten mit Verletzungen der unteren Extremitäten sind emboliegefährdet. Bei begründetem Verdacht auf Lungenembolie mit Kreislaufstillstand kann der Versuch der Lyse mit 100 mg rTPA oder einer Thrombektomie unternommen werden.
- **S** – Spannungspneumothorax: Das einseitig fehlende Atemgeräusch in Verbindung mit einer Kreislaufinsuffizienz sind Hinweise auf einen Spannungspneumothorax, der sofort durch eine Minithorakotomie und Drainage entlastet werden muss (▶ Kap. 2, Thorax).

Der Advanced Life Support-Algorithmus der erweiterten Reanimationsmaßnahmen ist in ◘ Abb. 15.16 und ◘ Abb. 15.17 übersichtlich dargestellt (American Heart Association, Guidelines Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care 2010; Nolan et al. 2010, Hazinski et al. 2010, Field et al. 2010; Möckel et al. 2010).



◘ **Abb. 15.16** Vereinfachter Basic-Life-Support-Algorithmus (HLW: Herz-Lungen-Wiederbelebung)



◘ **Abb. 15.17** Kreisförmiger ACLS-Algorithmus (ACLS: Advanced Cardiovascular Life Support, HLW: Herz-Lungen-Wiederbelebung)

Ausbildung

Die Ausbildung von Krankenhauspersonal in den Reanimationstechniken erfolgt an Simulatoren. Diese Darstellungen sind sehr realitätsnah und sollten deshalb regelmäßig stattfinden. Je nach Simulator können unterschiedliche Stufen der Reanimation bis hin zur Anlage einer Thoraxdrainage geübt werden. Bestandteil der Übungen muss auch die innerklinische Organisation, z.B. das richtige Verständigen des Reanimationsteams mit Bekanntmachung der entsprechenden Telefonnummern und der Standorte der Gerätschaften für den Notfall sein.

Organisation

Voraussetzung für die erfolgreiche Bewältigung innerklinischer Notfälle ist eine gute Logistik. An verschiedenen Orten einer Klinik sollten einfach zugängliche und einheitlich ausgestattete Notfallkoffer und/oder Notfallwägen zur Verfügung stehen. Die Mitarbeiter müssen mit der Handhabung der Gerätschaften vertraut gemacht und in festgelegten Abständen immer wieder geschult werden, damit im Ernstfall jeder Handgriff sitzt. Die Funktionsfähigkeit von Batterien und die Verfallsdaten von Medikamenten müssen regelmäßig überprüft werden.

Prävention

Wenn Patienten aus der Intensiv- auf die Allgemeinstation verlegt werden, entsteht in Hinblick auf die Intensität der Betreuung, Pflege und Überwachung ein plötzliches Gefälle. Dies ist nachts und am Wochenende noch ausgeprägter, wenn auf den Stationen weniger Pflegekräfte eingeteilt sind. Das bedeutet, dass solche Verlegungen möglichst in den Kernarbeitszeiten erfolgen sollten, wenn genügend Mitarbeiter vorhanden sind, um eine engmaschige Kontrolle solcher Patienten sicherzustellen.

Falls sich der Zustand eines Patienten verschlechtert, sollte nicht lange über die Rückübernahme auf die Intensivstation diskutiert werden, denn es ist bekannt, dass die Letalität in dieser Phase nochmals ansteigt.

15.5 Ethische Fragen

Immer wieder werden alle noch so gut abgestimmten und sorgfältig ausgeführten Maßnahmen nicht den gewünschten Erfolg haben. Der menschliche Umgang mit solch schwierigen Situationen ist eine der elementaren ärztlichen Aufgaben. Der Wunsch des Patienten, der heute oft in Form einer Vorsorgevollmacht oder Patientenverfügung vorab formuliert ist, sollte respektiert und im Zusammenhang mit der Prognose bewertet werden. Der Umgang mit nicht heilbaren Krankheiten und dem daraus resultierenden Leid des Patienten und seiner Angehörigen erfordert nicht nur fachliches Wissen, sondern auch ein tragfähiges ethisches Fundament.

Patientenverfügungen sind nicht an eine feste Form gebunden. Die Bandbreite geht von frei formulierten, handschriftlichen Texten bis zu notariell beglaubigten Wortlauten; für deren Interpretation spielt die zeitliche Nähe zum aktuellen Problem eine große Rolle. Wichtig ist, ob die aktuelle medizinische Situation in der Verfügung genannt ist und zum Zeitpunkt des Abfassens bereits absehbar war.

Eine Vorsorgevollmacht geht über die Patientenverfügung hinaus. Auch sie kann, muss aber nicht notariell testiert sein. In der Vorsorgevollmacht werden eine oder mehrere Personen genannt, die im Falle der Bewusstlosigkeit oder anders begründeten Unfähigkeit, selbst zu entscheiden, für den Patienten sprechen sollen. Diese Personen werden in der Regel auf Antrag zum Betreuer

bestellt und erhalten dann entsprechende Befugnisse. Betreuer, soweit die »Zuführung zur ärztlichen Behandlung« Bestandteil ihres Aufgabengebiets ist, sind die Ansprechpartner für solche Entscheidungen. Wichtig ist, dass die medizinische Entscheidung und Indikationsstellung Aufgabe des Arztes ist und bleibt. Das Für und Wider von Maßnahmen wird dem Betreuer erläutert, es wird ihm aber keine Entscheidung aufgezwungen, damit er keinesfalls dadurch belastet wird, durch seine Entscheidung das Ableben eines Familienmitgliedes verantworten zu müssen.

Verzicht auf Reanimationsversuche

Die Entscheidung, im Falle eines Kreislaufstillstandes nicht mit Wiederbelebungsmaßnahmen zu beginnen, erfolgt nach sorgfältiger Abwägung aller an der Behandlung Beteiligten. Die Angehörigen bzw. Betreuer sind mit zu hören. Wichtig ist, dass die Argumente aller Beteiligten gehört und ernst genommen werden. Der Erfahrenste wägt dann die Argumente ab und macht sie den übrigen verständlich. Dieser Entscheidungsprozess muss dokumentiert werden. Ändert sich der Zustand des Patienten, muss die Entscheidung erneut überprüft werden.

Abbruch von Reanimationsmaßnahmen

Die schlechte Prognose des Kreislaufstillstandes führt zwangsläufig dazu, dass Reanimationsmaßnahmen häufiger abgebrochen als erfolgreich beendet werden. Verbindliche Regeln dafür, wann abgebrochen wird, existieren nicht. Werden sichere Todeszeichen erkannt, wird eine Reanimation sofort eingestellt bzw. gar nicht erst begonnen. Gelingt es binnen 20–30 min nicht, einen spontanen Kreislauf zu erzeugen, müsse der Abbruch der Maßnahmen erwogen werden. Es gilt möglichst viele Informationen über die Ursache des Ereignisses und den Zustand des Patienten zu sammeln, um die Prognose besser beurteilen zu können. Asystolie hat eine deutlich schlechtere Prognose als Kammerflimmern. Die Entscheidung muss wiederum der Teamleiter in Absprache mit allen Beteiligten treffen. Die Anwesenheit von Angehörigen ist zulässig und erleichtert diesen das Verständnis und die Bewältigung der Situation. Da Transporte unter laufender Reanimation die Prognose nicht verbessern, sollte die Reanimation dort abgebrochen werden, wo sie begann. Eine Ausnahme dieser Regel besteht bei der Reanimation Unterkühlter aus den oben dargelegten Gründen.

Überbringen von Todesnachrichten

Die Todesnachricht muss von demjenigen überbracht werden, der die Behandlung geleitet hat und die Entscheidung zum Therapieabbruch bei infauster Prognose gestellt hat. Dies ist in der Regel ein erfahrener Arzt. Die Mitteilung muss eindeutig und unmissverständlich sein. Der Ort sollte der Situation angemessen sein. Der Angehörige und der Arzt sollten sich gegenübersitzen können, am besten in einem separaten Raum ohne Störungen durch Telefone oder Stationsbetrieb. Der Arzt muss sich Zeit nehmen, um auf die Reaktionen der Betroffenen eingehen zu können. Viele Angehörige wünschen den Beistand durch einen Seelsorger. Man kann dies aktiv erfragen und seine Hilfe bei der Herstellung des Kontakts anbieten.

Literatur

American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science. 2010 Circulation 122: 639

Beck A, Bischoff M, Gebhard F, Huber-Lang M, Kinzl L, Schmelz A (2004) Apparative Diagnostik im Schockraum. Unfallchirurg 107: 862–870

Bickell WH, Wall MJ Jr, Pepe PE, et al. (1994) Immediate versus delayed fluid resuscitation for hypotensive patients with penetrating torso injuries [see comments]. N Engl J Med 331: 1105–1109

Bonanni F, Rhodes M, Lucke JF et al. (1993) The futility of predictive scoring of mengled lower extremity. J Trauma 34: 99–104

Burri C, Stober R (1986) Indikationen zur sofortigen oder verspäteten Amputation bei schweren Weichteil- und Skelettverletzungen am distalen Unterschenkel. Langenbecks Arch Chir 369: 621–623

Caudle RJ, Stern PJ (1987) Severe open fracture of the tibia. J Bone Joint Surg Am 69: 801–807

Cothren CC, Osborn PM, Moore EE, Morgan SJ, Johnson JL, Smith WR (2007) Preperitoneal pelvic packaging for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift. J Trauma 62(4): 834–839

Cowley RA, Sacco WJ, Gill W et al. (1974) A prognostic index for severe trauma. J Trauma 14: 1029–1035

Field JM, Hazinski MF, Sayre M, et al. (2010) Part 1: Executive Summary of 2010 AHA Guidelines for CPR and ECC. Circulation 122: 639

Fries D, Innerhofer P, Schobersberger W (2009) Time for changing coagulation management in trauma-related massive bleeding. Curr Opin Anaesthesiol 22(2): 267–274

Ganz R, Krushell RJ, Jakob RP, Kuffer J (1991) The antishock pelvic clamp. Clin Orthop 267: 71–78

Gustilo RB (1982) Management of open fractures and complications. In: American Association of Orthopedic Surgeons/AAOS (ed) Instructional course lectures 31. Chicago, pp 64–75

Haas NP (1997) DGU – Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Empfehlungen zur Struktur, Organisation und Ausstattung der präklinischen und klinischen Patientenversorgung an Unfallchirurgischen Abteilungen in Krankenhäusern der Bundesrepublik Deutschland. Unfallchirurg 100: 2–7

Haas NP, Lindner T, Bail HJ (2007) Neues zum Polytrauma. Chirurg 78: 894–901

Hazinski MF, Nolan JP, Billi JE, et al. (2010) Part 1: Executive Summary: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. Circulation 122: 639

Hempelmann G, Adams H-A, Sefrin P (1999) Notfallmedizin, AINS, Bd 3. Thieme, Stuttgart

Hokema F, Donaubauer B, et al. (2007) Versorgung des Polytraumas – Schockraummanagement nach dem ATLS®-Algorithmus. Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 10: 716–722

Hußmann B, Taeger G, Lefering R, et al. (2010) TraumaRegister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. Letalität und Outcome beim Mehrfachverletzten nach schwerem Abdominal- und Beckentrauma. Unfallchirurg Dec 10 [Epub ahead of print]

Kalbe P, Seekamp A, Tscherne H (1997) Erstmaßnahmen des Notarztes. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 189–211 (Tscherne Unfallchirurgie, Bd 1)

Kirk NT (1989) The classic amputations. Clin Orthop 243: 3–16

Lange R, Bach AW, Hansen ST, Johansen KH (1985) Open tibial fractures with associated vascular injuries: Prognosis for limb salvage. J Trauma 25: 203–208

Madler C, Jauch K-W, Werdan K (Hrsg) (1998) Das NAW-Buch Praktische Notfallmedizin. Urban & Fischer, München

Maghsudi M, Nerlich M (1998) Polytrauma – Management, präklinisches Handling und Schockraumversorgung. Chirurg 69: 313–322

Martin RR, Bickell WH, Pepe PE, Burch JM, Mattox KL (1992) Prospective evaluation of preoperative fluid resuscitation in hypotensive patients with penetrating truncal injury: A preliminary report. J Trauma 33: 354–361; discussion 361–362

Möckel M, Koppenberg J, Moecke H (Hrsg. Für die Dt. Fassung) (2010) Zusammenfassung der American Heart Association Leitlinien 2010 für die Herz-Lungen-Wiederbelebung und kardiovaskuläre Notfallmedizin. (www.american-heart.at/fileadmin/downloads/Guidelines2010-Highlights_D/Guidelines2010-Highlights_D.pdf)

Mutschler W, Haas N (1999) Praxis der Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart

Nast-Kolb D, Waydhas C, Kanz KG, Schweiberer L (1994) Algorithmus für das Schockraummanagement beim Polytrauma. Unfallchirurg 97: 292–302

Nast-Kolb D, Waydhas C, Kastl S, Duswald KH, Schweiberer L (1993) Stellenwert der Abdominalverletzung für den Verlauf des Polytraumatisierten. Chirurg 64: 552–559

Nerlich M, Maghsudi M (1996) Polytrauma – Management, präklinische und Schockraumversorgung. Unfallchirurg 99: 595–606
Nerlich M, Tscherne H (1987) Der Traum-Algorithmus – Entscheidungshilfe bei der Erstversorgung Schwerverletzter. Zentralbl Chir 112: 1465–1472
Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Böttiger BW, Smith G (2009) Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene (ALS). Unfallchirurg 112: 102-138
Nolan JP, Hazinski MF, Billi JE, et al. (2010) Part 1: Executive Summary: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. Resuscitation. Circulation 122: 639
Oestern HJ, Regel G (1997) Allgemeine Aspekte. In: Tscherne H, Regel G: Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 225–238 (Tscherne Unfallchirurgie)
Pape HC, Regel G, Dwenger A, Tscherne (1993) Beeinflußt der Zeitpunkt der Sekundäroperation die Prognose des polytraumatisierten Patienten? Hefte zu »Der Unfallchirurg« 232: 86–87
Regel G, Lobenhofer PH, Tscherne H (1997 a) Akutversorgung. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) Traumamanagement. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 257–297 (Tscherne Unfallchirurgie)
Regel G, Pohlemann T, Krettek C, Tscherne H (1997 b) Frakturversorgung beim Polytrauma. Unfallchirurg 100: 234–248
Regel G, Seekamp A, Pohlemann T, Schmidt U, Bauer H, Tscherne H (1998) Muß der verunfallte Patient vor dem Notarzt geschützt werden? Unfallchirurg 101: 160–175
Richtlinien zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (Hämotherapie). Aufgestellt gemäß Transfusionsgesetz von der Bundesärztekammer im Einvernehmen mit dem Paul-Ehrlich-Institut; Gesamtnovelle 2005, mit Richtlinienanpassung 2010
Roessler M (1997) Die schwer traumatisierte untere Extremität – Wann muß amputiert werden? Dissertation, Medizinische Hochschule Hannover
Rucholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Stuber R, Lewan U, Schweiberer L (1995) Kostenanalyse der klinischen Behandlung polytraumatisierter Patienten. Chirurg 66: 684–692
Russe S (1985) Die Indikation zur Amputation. Unfallchirurg 88: 385–389
Schmidt U, Muggia-Sullam M, Holch M et al. (1993) Primärversorgung des Polytraumas – Vergleich eines deutschen und amerikanischen Luftrettungssystems. Unfallchirurg 96: 287–291
Seekamp A, Ziegler M, Van Griensven M, Grotz M, Regel G (1995) The role of hypothermia in trauma patients. Eur J Emerg Med 2: 28–32
Seekamp A, Ziegler M, Biank J, Grotz M, Regel G (1996) Die Bedeutung der Hypothermie beim polytraumatisierten Patienten. Unfallchirurg 99: 100–105
Südkamp N, Haas N, Flory PJ, Tscherne H, Berger A (1989) Kriterien der Amputation, Rekonstruktion und Replantation von Extremitäten bei Mehrfachverletzten. Chirurg 60: 774–781
Trupka A, Waydhas C, Nast-Kolb D, Schweiberer L (1995) Der Einfluß der Frühintubation auf die Reduktion des posttraumatischen Organversagens. Unfallchirurg 98: 111–117
Trupka A, Waydhas C, Hallfeldt KK, Nast-Kolb D, Pfeifer KJ, Schweiberer L (1997 a) Value of thoracic computed tomography in the first assessment of severely injured patients with blunt chest trauma: Results of a prospective study. J Trauma 43: 405–411; discussion 411–412
Trupka AW, Trautwein K, Waydhas C, Nast-Kolb D, Pfeiffer KJ, Schweiberer L (1997 b) Können Diagnostik und weiteres Therapiemanagement des Mehrfachverletzten mit stumpfem Thoraxtrauma durch die frühe Computertomographie des Thorax verbessert werden? Zentralbl Chir 122: 666–673
Tscherne H, Regel G (Hrsg) (1997) Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie, Bd 1)
Tscherne H, Oestern HJ, Sturm J (1983) Osteosynthesis of major fractures in polytrauma. World J Surg 7: 80–87
Waydhas C, Kanz KG, Ruchholtz S, Nast-Kolb D (1997) Algorithmen in der Traumaversorgung. Unfallchirurg 100: 913–921

Intensivmedizin

T. Bein

16.1 Pathogenese des Organversagens – 910
16.2 Prävention/Therapie des Organversagens – 912
16.3 Prognose des Organversagens – 920
Literatur – 921

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_16,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

16.1 Pathogenese des Organversagens

16.1.1 Grundlagen und Definition

Trotz unbestreitbarer Fortschritte in der Intensivtherapie ist die Mortalität von Traumapatienten mit konsekutiver Funktionseinschränkung von Organsystemen oder schweren, generalisierten Inflammationssyndromen hoch. Dies betrifft besonders die langfristige Morbidität und Mortalität nach (Poly-)Trauma, während das frühe Trauma-assoziierte Versterben überwiegend durch den Schweregrad einer primären Hirnverletzung und durch das Ausmaß des primären Blutverlusts bestimmt wird (Meier et al. 2007). Nach älteren Untersuchungen in den USA (Parrillo et al. 1990) versterben 30–70% der Patienten, die ein solches Inflammationssyndrom im Gefolge eines Schocks, eines schweren Traumas, ausgedehnter Operationen oder lebensbedrohlicher Infektionen erleiden. Durch intensive Forschung in den vergangenen Jahren sind einschneidende wissenschaftliche Einsichten zu den Syndromen »Multiorganversagen« und »Sepsis« gewonnen worden, welche in erheblichem Maße Auswirkungen auf therapeutische Strategien zeigen.

Heute wird das »septische Syndrom« als die **klinische Manifestation der Antwort des Organismus auf verschiedene Noxen** verstanden. Diese Antwort besteht im Wesentlichen aus einer überschießenden Immunreaktion mit Freisetzung zahlreicher Mediatoren und Zytokinkaskaden (z.B. Tumornekrosefaktor/TNF, Interleukine, Arachidonsäuremetaboliten), welche wiederum alle Organsysteme, insbesondere das kardiozirkulatorische System, in typischer Weise beeinflussen.

Nach internationalem Konsens wird dieses Syndrom als »systemic inflammatory response syndrome« (SIRS) bezeichnet, wenn keine bakterielle oder virale Noxe vorliegt. Im Falle einer infektiologischen Ursache spricht man weiterhin von Sepsis. Die klinische Manifestation von Sepsis und SIRS ist ähnlich. Sepsis und SIRS begünstigen die Ausbildung eines »Multiorgan-Dysfunktions-Syndroms« (MODS).

16.1.2 Mediatoren und Zytokine

Tierexperimentelle und klinische Studien der letzten Jahre (z.B. Napolitano et al. 2000) haben ergeben, dass der erhöhten Freisetzung von »proinflammatorischen Substanzen« infolge eines Traumas die Schlüsselrolle bei der Ausbildung von SIRS und MODS zukommt. Die wesentlichen, bisher mit Expressionsort und Wirkmechanismus identifizierten Mediatoren sind in ◘ Tab. 16.1 dargestellt. Obwohl die Forschung auf mikrozirkulatorischer und molekularbiologischer Ebene zweifelsfrei wichtige Erkenntnisse zum Verständnis des Phänomens »Ganzkörperinflammation« beigetragen hat, sind durchgreifende klinische Konsequenzen bisher weitgehend ausgeblieben. Dies dürfte durch die Tatsache bedingt sein, dass die Mediatoren- und Zytokinfamilie – je mehr man über sie weiß – immer komplexer wird; die Pathogenese von SIRS und MODS erscheint zunehmend als multivariant und mit verschiedenen Kaskadensystemen vernetzt, sodass ein »simpler« pharmakologischer Ansatz (z.B. Rezeptorblockade eines Mediators) zu kurz greift. Darüber hinaus wird mit weiteren molekularbiologischen Forschungsansätzen evident, dass nicht nur pro-inflammatorische Mediatorkaskaden nach Trauma in Gang gesetzt werden, sondern auch ebenso anti-inflammatorische Zytokine typische Reaktionsmuster auslösen können (v.a. Interleukin 4, Interleukin 10, Prostaglandine). Die Ausrichtung einer »Waage« dieser beiden inflammatorischen Richtungen kann offenbar so komplex sein, dass kein »simples« therapeutisches Konzept zur Beeinflussung dieser Mediatoren greifen kann.

Als (momentanes) Fazit für die klinische Praxis bleibt, dass es zu einer optimierten, umfassenden Intensivtherapie, welche den pathophysiologischen Besonderheiten der einzelnen Organsysteme Rechnung trägt, keine Alternative gibt.

16.1.3 Pathophysiologie der Organe nach Schock und generalisierter Inflammation

Das akute Schocksyndrom – sei es hämorrhagisch, kardial oder septisch bedingt – ist gekennzeichnet durch ein globales komplexes Kreislaufversagen, welches ein gravierendes Missverhältnis zwischen Herzzeitvolumen und aktuellem Durchströmungsbedarf der Organe bzw. ihrer Teilkreisläufe nach sich zieht. Wesentliche pathophysiologische Folge ist eine Mikrozirkulationsstörung, die durch Fibrinablagerungen, Aggregation von Leuko- und Thrombozyten sowie eine Permeabilitätsstörung der Gefäßwand charakterisiert ist sowie ein Ischämie-/Reperfusionsschaden (Offner et al. 2000). Die daraus folgende Umverteilung der Kapillardurchblutung mündet – trotz gelegentlich gesteigerter Gesamtperfusion – in eine unzureichende nutritive Perfusion der Gewebe. Diese Minderversorgung der Gewebe mit Sauerstoff bei gleichzeitiger Akkumulation metabolischer Substanzen führt bei den einzelnen Organsystemen zu unterschiedlichen, charakteristischen pathophysiologischen Reaktionen.

Hämodynamik

Die Hämodynamik ist zumeist durch eine hyperdyname Reaktion gekennzeichnet. In der Frühphase des septischen Schocks findet man typischerweise ein gesteigertes Herzzeitvolumen mit vermindertem peripherem Gefäßwiderstand bei noch normalen oder

◘ **Tab. 16.1** Klinisch bedeutsame Mediatoren des Inflammationssyndroms mit Expressionsort und Wirkmechanismus

Proinflammatorischer Mediator	Expressionsort	Wirkmechanismus
Interleukin-1 (IL-1)	Monozyten	Stimuliert die Synthese von Akute-Phase-Proteinen
Interleukin-2 (IL-2)	T-Zellen	Fördert-T-Zell-Aktivierung und -Replikation
Interleukin-6 (IL-6)	Monozyten	Stimulation der Monozytenaktivität
Tumor-Nekrose-Faktor (TNF)	Makrophagen, Monozyten, Kupffer-Zellen	Direkter »Zellkiller«, Induktion pyrogener Mechanismen
Prostaglandine (PGE)	Makrophagen, Endothel	Vasodilatation, Suppression von Monozyten, T-Helfer-Zellen und B-Zellen
Thromboxane (Tx)	Endothel, Leukozyten	Vasokonstriktion, Plättchenaggregation

grenzwertig niedrigen systemischen Blutdruckwerten. Dagegen ist der pulmonale Gefäßwiderstand häufig durch die Aggregation zellulärer Blutbestandteile in den Lungenkapillaren und durch den Reflex der »hypoxisch-pulmonalen Vasokonstriktion« erhöht.

Gerinnung

Im septischen Schock kommt es meist zu einer Aktivierung des Gerinnungssystems. Hierbei bildet sich eine Verminderung der plasmatischen Hemmfaktoren der Blutgerinnung aus. Es besteht daher in der Frühphase oft eine vermehrte Gerinnungsneigung, welche durch den Verbrauch an Gerinnungsfaktoren und durch gleichzeitige Fibrinolyse mit Erhöhung der Fibrinspaltprodukte in eine disseminierte Gerinnungsstörung übergehen kann. Das Vollbild der Verbrauchskoagulopathie (disseminierte intravasale Gerinnung/DIC) mit diffuser, generalisierter Blutungsneigung ist eine seltene, aber schwerwiegende Komplikation des SIRS.

Niere

Die Einschränkung der Nierenfunktion ist eine charakteristische Organmanifestation von Schock und Sepsis. Die häufigere Form des oligurischen Nierenversagens zeigt sich durch den Anstieg harnpflichtiger Substanzen im Blut bei abnehmender quantitativer Leistung. Selten bildet sich ein normo- oder gar polyurisches Nierenversagen aus, welches bei unveränderter oder gesteigerter Ausscheidung durch die Abnahme der Kreatinin-Clearance gekennzeichnet ist.

Gastrointestinaltrakt

Durch experimentelle und klinische Studien wurde eindrucksvoll die pathophysiologische Bedeutung des gastrointestinalen Systems und der Leber als Ausgangs- und Zielorgan von SIRS und MODS aufgezeigt (z.B. Hassoun et al. 2001). Der Gastrointestinaltrakt reagiert besonders empfindlich auf prolongierte Minderperfusion und Hypoxämie im Rahmen von Trauma und Schock. Die Mukosaschicht von Magen und Darm stellt unter physiologischen Bedingungen eine wichtige Barriere gegen den Übertritt von Bakterien und Toxinen aus dem Darmlumen in das Gefäßsystem dar. Eine schockbedingte Minderperfusion des Gastrointestinal- und Splanchnikussystems führt zur Beeinträchtigung dieser Barrierefunktion, sodass eine »bakterielle Translokation« begünstigt wird, welche wiederum der systemischen Einschwemmung von Bakterien und Toxinen Vorschub leisten kann. Die **Drosselung der Leberdurchblutung** kann eine Verminderung der Syntheseleistung der Gerinnungsfaktoren induzieren, welche die oft ohnehin bestehende Gerinnungsstörung aggraviert. Weitere pathophysiologische hepatische Funktionseinschränkungen äußern sich in Hyperbilirubinämie, verminderter Albuminsyntheserate, Störungen des Glukosestoffwechsels und verminderter Entgiftungsleistung (Ammoniak-, Laktatanstieg).

16.1.4 Das posttraumatische Lungenversagen

Im Gefolge eines ausgedehnten Traumas sind pulmonale Komplikationen nicht selten. Das posttraumatische Lungenversagen trägt zur Mortalität bei, seine Behandlung ist ein essenzieller Bestandteil der Intensivmedizin. Die Entwicklung einer akuten respiratorischen Insuffizienz (»acute lung injury«, ALI), eines akuten schweren Lungenversagens (»acute respiratory distress syndrome«, ARDS, Ware et al. 2001), von Pneumonien, Atelektasen oder Lungenembolien sind die bedeutenden pathophysiologischen Mechanismen, welche in der Regel eine länger dauernde maschinelle Beatmung nach Trauma notwendig machen. Darüber hinaus liegt häufig eine Instabilität der Thoraxwand durch Rippen(serien)frakturen, eine Lungenkontusion oder ein Hämato-/Pneumothorax vor. Patienten, welche innerhalb der ersten Woche auf der Intensivstation trotz kontrollierter Beatmung eine therapierefraktäre, kritische Einschränkung der arteriellen Oxygenierung aufweisen (PaO_2/FIO_2-ratio <100 mmHg), haben eine erhöhte Mortalitätsrate im Vergleich zu Patienten, die sich im Laufe der ersten posttraumatischen Tage in ihrer Lungenfunktion verbessern lassen (Übersicht in Bein et al. 2006). Dies unterstreicht eindrucksvoll, dass der adäquaten Behandlung eines drohenden oder bereits eingetretenen Lungenversagens eine zentrale Bedeutung für die Therapiestrategie nach Polytrauma beikommt.

16.1.5 Klinische Manifestation von Sepsis und SIRS

Leitsymptome eines beginnenden Inflammationssyndroms äußern sich in zerebralen Veränderungen, Fieber und Tachykardie (Tab. 16.2). Aus einem »septischen Syndrom« kann sich – innerhalb von Stunden bis Tagen – das klinische Bild des septischen Schocks entwickeln, welcher charakterisiert ist durch das Versagen der peripheren Gefäßregulation sowie durch eine Einschränkung der myokardialen Pumpfunktion. Die Prognose des septischen Schocks wird bestimmt durch den konsekutiven Ausfall weiterer Organsysteme (»Multiorganversagen«).

Während die Frühphase des septischen Schocks durch eine »hyperdyname Kreislaufreaktion« gekennzeichnet ist (Tab. 16.2, Tab. 16.3), zeichnet sich die Spätform durch ein progredientes, häufig letal endendes myokardiales Versagen aus (hypodyname Sepsis).

Tab. 16.2 Klinische Manifestation von Sepsis und SIRS

Frühsymptome	Organmanifestationen der Sepsis	Laborbefunde
Schüttelfrost	Hyperdynames Kreislaufsystem	Laktatazidose
Unruhe, Verwirrtheit	Akute respiratorische Insuffizienz	Leukozytose oder Leukopenie
Trockene, warme Haut	Akutes Nierenversagen	
Fieber	Leberinsuffizienz, Gerinnungsstörung	Thrombozytopenie
Tachykardie, Hypotonie	Splanchnikusminderperfusion	
Koagulopathie		
Oligurie		

Tab. 16.3 Charakteristische Hämodynamik im (frühen) septischen Schock. (Nach Schuerholz et al. 2008)

Organ	Untersuchungsbefund	Interpretation
Peripheres Gefäßsystem	Systemischer Gefäßwiderstand↓↓ <1000 dyn/s/cm^5/m^2	Verlust des peripheren Vasotonus durch Mediatorenexpression
	Mittlerer arterieller Blutdruck↓↓ <60 mmHg	
Myokard	Herzminutenvolumenindex: ↑↑ >3,5 l/min/m^2	Kompensation zur Aufrechterhaltung einer adäquaten Zirkulation
	Ventrikulare Auswurffraktion↓	»Septische Myokarddepression«
	Herzfrequenz↑↑ >120/min	Kompensation der eingeschränkten Ventrikelfunktion

Trotz frühzeitiger, »aggressiver« Therapie entwickelt sich in etwa 50% aller Sepsisfälle ein Multiorganversagen, die Letalität beträgt bei einem Ausfall von 3 Organsystemen bereits über 70% (Barie et al. 2009).

16.2 Prävention/Therapie des Organversagens

Die Strategie zur Behandlung bzw. Prävention von SIRS und MODS beruht im Wesentlichen auf 3 Säulen:

1. die operative Eradikation eines infektiologischen Fokus mit begleitender antibiotischer Therapie,
2. die intensivmedizinische Korrektur der Organfunktionsstörungen und der metabolischen Entgleisung durch invasives Monitoring und entsprechende Therapieansätze und
3. die pharmakologische Modulation der durch massive Mediatorenfreisetzung vermittelten überschießenden Immunantwort.

16.2.1 Chirurgische Herdsanierung und Fokuseradikation

Da bei Patienten nach Trauma häufig ein lokalisierbarer Prozess als Ursache der Sepsis feststeht oder vermutet werden muss, hat die Fokuseradikation vorrangigen Stellenwert. Unter keinen Umständen darf die operative Behandlung hinausgeschoben werden, »um den Patienten noch in einen besseren Zustand zu bringen«. Dies gilt insbesondere für die Entfernung infizierten oder nekrotischen Gewebes und für die Sanierung großer Weichteiltraumen (wiederholtes Débridement).

Die erfolgreiche Ausschaltung eines Sepsisherdes steht in der Effektivität über der antibiotischen Therapie und den übrigen intensivtherapeutischen Maßnahmen!

Bei unklaren Situationen trägt die Radiodiagnostik mit den modernen bildgebenden Verfahren erheblich zur Klärung bei. Einen Sonderfall stellt die schwere Peritonitis nach Abdominaltrauma dar, welche mehrfache Relaparotomien (»programmierte Lavage«) nach sich ziehen kann. Abdominelle oder retroperitoneale Abszesse sind in etwa 80% die Ursache schwerer septischer posttraumatischer Komplikationen. Die computertomografische Untersuchung ist bei Verdacht auf das Vorliegen solcher Abszesse die Methode der Wahl. Darüber hinaus sind in den letzten Jahren die radiologisch-interventionelle, CT-gestützte Punktion und Drainage zunehmend zur Alternativmethode anstelle der offenen chirurgischen Sanierung geworden.

Diese Verfahren setzen aber viel Erfahrung voraus, da eine Verschleppung infizierten Materials in nicht infizierte Areale vermieden werden muss und im intensivmedizinischen Bereich eine sorgfältige Kontrolle von Menge und Art des ausgeleiteten Sekrets erfolgen sollte. Besteht eine erhebliche Sekretproduktion über mehrere Tage, so muss durch bildgebende Darstellung die inadäquate Drainage oder die akute Ausbildung einer Fistel ausgeschlossen werden.

16.2.2 Damage Control

Die Versorgungsstrategie von Frakturen während Intensivbehandlung ist in den letzten Jahren durch das Konzept des Damage Control modifiziert worden (▶ Kap. 15, Polytrauma). Während in den letzten Jahrzehnten die operative Stabilisierung von Frakturen hinausgeschoben wurde, um den Patienten im Heilungsprozess »nicht zu gefährden«, hat sich in jüngerer Zeit die Einsicht durchgesetzt, dass sich die frühzeitige Versorgung von frakturierten Röhrenknochen oder komplizierten Beckenfrakturen positiv auf den weiteren Verlauf auswirken kann, sofern man eine gute interdisziplinäre Absprache trifft und den Patienten optimal vorbereitet (Taeger et al. 2005). Im Wesentlichen beinhaltet das Damage-Control-Konzept folgende Überlegungen: unmittelbar posttraumatisch durchgeführte, »primäre« Osteosynthese-Operationen (z.B. Marknagelungen) kritisch kranker Intensivpatienten können eine additive Entzündungsreaktion begünstigen und dem Multiorganversagen Vorschub leisten. Nach sekundären, später durchgeführten Operationen ist die Inflammationsreaktion wesentlich geringer ausgeprägt. Andererseits stellen unversorgte Frakturen großer knöcherner Strukturen per se eine Inflammationsquelle dar. Das Damage-Control-Konzept schlägt daher eine primäre minimal-invasive Versorgung, z.B. mittels Fixateur externe mit sekundärer definitiver Versorgung vor, nachdem der akute »Inflammationssturm« mit ausgedehnter Intensivtherapie überstanden ist.

Ein solches Vorgehen wird besonders bei folgender Befundkonstellation vorgeschlagen:

- ISS ≥16 **und/oder**:
- Schweres Schädel-Hirntrauma
- Schweres Thoraxtrauma
- Instabile Beckenfraktur
- Multiple Frakturen langer Röhrenknochen
- Persistierender instabiler Kreislauf

16.2.3 Grundzüge der Antibiotikatherapie

Die begleitende Antibiotikatherapie beim septischen Patienten stellt den Intensivmediziner nicht selten vor eine schwierige Entscheidung. Häufig ist der Erreger zum Zeitpunkt des Sepsisbeginns nicht bekannt, sodass bei potenzieller Lebensbedrohung ein breites Spek-

Tab. 16.4 Typische Erreger posttraumatischer Infektionen, geeignete Therapiemaßnahmen

Art der Infektion	Typische Erreger	Antibiotikum	Präparat (Bsp.)	Dosis/Tag i.v.
Wundinfektion	Staph. aureus (β-Laktamase-negativ)	Penicillin G	Penicillin G	1–5 Mio. E
	Staph. aureus (β-Laktamase-positiv) Streptokokken	Flucloxacillin oder Cefazolin	Staphylex Elzogram	3-mal 2 g 3-mal 2 g
Pneumonie (posttraumatisch, nach Aspiration)	P. aeruginosa Enterobakterien Pneumokokken Anaerobier	Moxifloxacin Amoxicillin + β-Laktamase-Hemmer oder Piperacillin + β-Laktamase-Hemmer	Avalox Augmentan Tazobac	1-mal 400 mg 2- bis 3-mal 2,2 g 3-mal 2 g
Nekrotisierende Pneumonie, ARDS Peritonitis (posttraumatisch)	s. oben E. coli Enterobakterien Enterokokken Anaerobier	Imipenem + Aminoglykosid Piperacillin + β-Laktamase-Hemmer Aminoglykosid + Metronidazol oder Imipenem + Aminoglykosid	Zienam + Gernebcin Tazobac Gernebcin + Metronidazol oder Zienam + Gernebcin	3-mal 0,5 g 5 mg/kg KG 3-mal 2 g 5 mg/kg KG 3-mal 0,5 g 3-mal 0,5 g 5 mg/kg KG
Nekrotisierende (Wund-) Infektion	Streptokokken (anaerob) C. perfringens C. septicum	Ampicillin/Sulbactam + Clindamycin + (evtl.) Penicillin G	Ampicillin + Sobelin + (evtl.) Penicillin G	2-mal 2 g 3-mal 0,6 g 1–5 Mio. E
Pilzinfektionen: Pneumonie, systemische Candidose)	C. albicans	Fluconazol	Diflucan	0,4 g
		Caspofungin	Cancidas	1-mal 50 mg

trum kalkuliert werden muss (z.B. Kombination Breitspektrumpenicillin/Aminoglykosid: Piperacillin/Tobramycin). Zum anderen erfordern weltweit zunehmende Probleme mit multiresistenten Keimen (Methicillin-resistenter Staph. aureus: MRSA; Vancomycin-resistente Enterokokken: VRE) die kritische Indikationsstellung und sorgfältige Wahl (▶ Kap. 14, Weichteilverletzungen und Infektionen). Die rasche Identifikation des pathogenen Erregers hat daher höchste Priorität.

Bereits bei Verdacht auf ein septisches Bild und in jedem Fall vor Beginn der antibiotischen Therapie müssen Blutkulturen, Endotrachealsekret oder Wunddrainagensekret gewonnen und unverzüglich mikrobiologisch analysiert werden.

Nach Erhalt des Antibiogramms soll die Therapie gezielt auf ein »schmaleres« Spektrum umgestellt werden. Vermutet man anaerobe Bakterien als Auslöser, muss die Therapie durch spezifische Wirkstoffe (z.B. Metronidazol) ergänzt werden.

Die langdauernde »Abdeckung« mit einem »breiten Spektrum« verleitet zu einer falschen Sicherheit, fördert den Selektionsdruck und die Multiresistenzentwicklung und wirkt nicht selten schädlich auf andere Organsysteme (peripheres Nervensystem, Ototoxizität, Leberparenchym, Nierenfunktion). Bei kritisch kranken Intensivpatienten muss daher die Wahl und Dosierung des Antibiotikums dem individuellen Krankheitsverlauf angepasst werden. Bei eingeschränkter Nierenfunktion empfiehlt sich die Bestimmung von Blutspiegeln (z.B. für Tobramycin, Vancomycin) zur optimalen Dosierung. Prinzipiell müssen bei einer Aggravierung des septischen Bildes unter Antibiotikatherapie nach einem Zeitraum >72 h das Regime überdacht oder alternative diagnostische Maßnahmen erwogen werden.

Die Erreger typischer posttraumatischer Infektionen sowie geeignete Antibiotikatherapiemaßnahmen sind mit Präparat- und Dosisvorschlägen in Tab. 16.4 dargestellt.

Der verantwortungsvolle Einsatz antimikrobieller Substanzen beim kritisch kranken Intensivpatienten setzt die Kenntnis möglicher unerwünschter Nebenwirkungen sowie ein pharmakokinetisches Grundverständnis voraus, um eine optimale Wirkung bei möglichst geringer Schädigung zu erzielen. Die meisten Substanzen müssen bei eingeschränkter Nierenfunktion in der Dosis angepasst werden. Während der Therapie mit Nierenersatzverfahren (Hämofiltration, Dialyse) gelten besondere Dosierungsrichtlinien. Die möglichen Nebenwirkungen der wichtigsten Substanzgruppen sind in Tab. 16.5 aufgeführt.

Als supportive Maßnahme zur Reduktion nosokomialer Pneumonien bei beatmeten Intensivpatienten wird die Anwendung topischer Antibiotika im Bereich der Magen- und Oropharyngealschleimhaut propagiert. Dieses Verfahren (»selektive digestive Dekontamination«/SDD) hat zum Ziel, die lokale nosokomiale Keimflora in Oropharynx und oberem Gastrointestinaltrakt zu eradizieren, um die Inzidenz von im Krankenhaus erworbenen Pneumonien zu reduzieren, als deren wesentlicher Pathomechanismus die (Mikro-)Aspiration von Speichel oder Mageninhalt in die Lunge gilt. Allerdings steht bisher noch der Beweis aus, dass die Anwendung der SDD einen Einfluss auf die Beatmungsdauer und die Intensivbehandlungszeit ausübt.

In mehreren Studien und Metaanalysen wurde zwar eine Reduktion nosokomialer Pneumonien unter SDD-Anwendung bei Intensivpatienten beobachtet, es ließ sich allerdings keine Senkung der Hospitalmortalität dokumentieren, sodass das Verfahren weiterhin kontrovers diskutiert wird. Als Indikationen für das SDD-Ver-

Tab. 16.5 Klinische bedeutsame Nebenwirkungen der wichtigsten Antibiotika-Substanzgruppen

Substanz(-gruppe)	Nebenwirkung	Maßnahme/Prävention
Penicilline	Allergische Reaktion	Alternative: z.B. Cefazolin
Cephalosporine	Allergische Reaktion, pseudomembranöse Kolitis	Alternative: z.B. Ciprofloxacin
Aminoglykoside	Ototoxizität, Nephrotoxizität, pseudomembranöse Kolitis (Clindamycin!)	Dosismonitoring durch Serumspiegelbestimmung (»Tal- und Spitzenspiegel«)
Imipenem	ZNS-Störungen (Krämpfe) Transaminasen, Bilirubin↑	Dosisreduktion bei eingeschränkter Nieren- und Leberfunktion
Antimykotika	Nephrotoxizität, zerebrale Störungen Hepatotoxizität	Dosisreduktion bei eingeschränkter Nieren- und Leberfunktion

fahren, bei dem topisch wirksame Antibiotika/Antimykotika, z.B. Gentamicin und Amphotericin B, nach einem bestimmten Schema verdünnt mehrfach am Tage auf die Schleimhäute aufgebracht werden, können Polytraumen, ausgedehnte Oberbaucheingriffe (z.B. Ösphagusresektion), Verbrennungen und ausgeprägte Immunsuppression (Transplantation, Aids, Leberversagen) angesehen werden.

16.2.4 Volumentherapie

Nach schwerem Trauma oder in der Reperfusionsphase nach Schock kommt es zu erheblichen Flüssigkeitsverschiebungen, welche einer wohlüberlegten, differenzierten Substitutionstherapie bedürfen, die nicht nur Menge und Art der zu infundierenden Lösungen erwägt, sondern v.a. die Therapie mit einem adäquaten Monitoring verknüpft. Die für SIRS und Sepsis typische periphere Vasodilatation und erhöhte Permeabilität in der Endstrombahn bewirken einen beträchtlichen Mangel an intravasalem Volumen, der die rasche und adäquate Substitution erforderlich macht.

Die frühzeitige Volumenzufuhr ist die zentrale Therapiemaßnahme zu Beginn eines Inflammationssyndroms.

Der Volumenbedarf wird häufig unterschätzt, er kann akut mehrere Liter betragen. Als Monitoring- und Kontrollinstrument für Volumen- und Vasopressorentherapie galt bisher der Pulmonalis-Einschwemmkatheter (Bennett et al. 1991), über dessen abgeleitete Parameter (Herzminutenvolumen, peripherer Widerstand, zentraler Venendruck, pulmokapillärer Verschlussdruck) die aktuelle hämodynamische Situation eingeschätzt wird. Die Anwendung dieser Methode gehört allerdings in die Hand Erfahrener, da zum einen der Einschwemmvorgang selbst schwerwiegende Komplikationen (Pneumothorax, intrapulmonale Blutung, Herzrhythmusstörungen) hervorrufen kann; zum anderen kann die Interpretation der gewonnenen Daten erschwert sein durch andere therapeutische »Störvariablen« (invasive Beatmung, Lagerung). Darüber hinaus war in mehreren prospektiven Studien die Überlegenheit einer mittels invasivem hämodynamischem Monitoring gesteuerten Therapie im Vergleich zur konventionellen Therapie nicht erkennbar.

Als alternativer hämodynamischer Leitparameter wird seit einigen Jahren eine nichtinvasive Methode zur Bestimmung von Herzzeitvolumen und weiteren volumetrischen Parametern der kardialen Vorlast sowie der pulmonalen Flüssigkeitsbalance propagiert. Diese Methode bedient sich der Thermodilution nach der **Stewart-Hamilton-Methode**, indem ein definiertes Volumen einer gekühlten isotonischen Kochsalzlösung i.v. injiziert wird und an einem bestimmten Messpunkt (z.B. in der A. femoralis platzierter spezieller Katheter) die Kälteverdünnung als Thermodilutionskurve registriert wird (Pulse Contour Cardiac Output, PiCCO). Die kardiale Vorlast kann dabei mittels des globalen enddiastolischen Volumens oder des intrathorakalen Blutvolumens abgeschätzt werden, darüber hinaus wird mittels Erfassung des extravasalen Lungenwassers die pulmonale Flüssigkeitsbelastung registriert. Zudem kann die kardiale Kontraktilität näherungsweise ermittelt werden. Die Interpretation der Daten erfolgt computergestützt. Derzeit liegen noch keine multizentrisch-prospektiven Studien vor, welche die Überlegenheit einer Methode bei der Behandlung von SIRS und Sepsis aufzeigen.

Die Volumentherapie beruht immer auf der Applikation verschiedener Volumenersatzmittel, da die Verabreichung eines Mittels allein, z.B. kristalloider Lösungen, erhebliche nachteilige Auswirkungen hätte (Tab. 16.6). Eine solche abgewogene »Mehrkomponententherapie« hat neben der Kreislaufstabilisierung das Ziel, das Sauerstoffangebot in den peripheren Geweben zu optimieren und die metabolische Dekompensation im Bereich der Mikrozirkulation zu minimieren (Brunkhorst et al. 2008).

Prinzipiell gilt bei Schock und Hypotension die Applikation von kristalloiden Lösungen als Basismaßnahme. Künstliche Kolloide, z.B. Hydroxyethylstärke, entfalten einen guten Volumeneffekt durch Erhöhung des kolloidosmotischen Drucks. Das Substitutionsverhältnis Kristalloide:Kolloide sollte im Allgemeinen 3:1 betragen. Wegen möglicher Nebenwirkungen (Leberbelastung, Gerinnungsstörung) sollte aber die Maximaldosierung nur in Ausnahmefällen überschritten werden.

Die Infusion von Humanalbumin sollte einer strengen Indikationsstellung unterworfen werden. Neben den Kostenerwägungen hält die kontroverse Diskussion über den Wert der Albuminsubstitution an (Cochrane Injuries Group Albumin Reviewers 1998).

Ebenso ist die Transfusion von Blutbestandteilen Gegenstand einer kritischen Indikationsabwägung. Solche Transfusionen sind nicht nur kostenaufwändig, sondern beinhalten auch ein (wenngleich geringes) Infektionsrisiko, sodass »Luxustransfusionen« unbedingt vermieden werden müssen. In zahlreichen klinischen Studien wurde gezeigt, dass die Transfusion von Fremdblut – insbesondere von »älteren« Konserven (>14 Tage) – einen von der Erkrankungsschwere unabhängigen Parameter für eine Zunahme der Mortalität darstellt. Diese Erkenntnisse gelten besonders auch für die Traumaversorgung (Übersicht in Marek et al. 2008).

16.2.5 Vasoaktive und positiv-inotrope Substanzen

Der Einsatz vasoaktiver Substanzen während der Sepsisbehandlung geht Hand in Hand mit der Volumentherapie. Beide Maßnahmen dienen der raschen Wiederherstellung einer adäquaten Zirkulation. Vasokonstriktorisch und/oder positiv inotrop wirkende Substanzen, wie Noradrenalin, Dopamin und Dobutamin, können allerdings auch unerwünschte Nebenwirkungen produ-

Tab. 16.6 Substitution von Volumenersatzmitteln und Blutbestandteilen in der Intensivtherapie

Volumenersatzmittel	Präparat (Bsp.)	Vorteil	Nachteil	Bedeutung	Anwendungshinweise
Kristalloide Lösungen	Tutofusin	Nahezu keine Nebenwirkungen	Kurzzeitiger Effekt	»Freies Wasser« → Nierenprotektion	Kaliumspiegel-Kontrolle, keine Dosisbeschränkung
Künstliche Kolloide Hydroxyethylstärke 6% 130/0,4 (HAES)	Voluven	Guter Volumeneffekt, kolloidosmotischer Druck↑	Interferenz mit Gerinnung, Leberbelastung, kurzzeitiger Effekt Nephrotoxizität?	Im Schock: Kristalloide/HAES im Verhältnis 3:1	Dosisbeschränkung: bei neueren Präparaten aufgehoben
Gelatine	Haemaccel	Guter Volumeneffekt, kolloidosmotischer Druck↑			
Humanalbumin		Guter Volumeneffekt, kolloidosmotischer Druck↑	Ionisiertes Kalzium↓	Substitution: septischer Schock, schwere Verbrennung	20%ige Lösung bevorzugen; cave: Kosten!
Erythrozyten-Konzentrat		Erhöhung des systemischen O_2-Angebots	Immunsystem↓ (?)	Sorgfältige Indikationsstellung nach Hk	Vermeiden von Transfusionszwischenfällen (»bedside-test«)
Fresh-frozen-Plasma		Wie Humanalbumin, Gerinnung↑	Immunsystem↓ (?)	Sorgfältige Indikationsstellung nach Gerinnungslabor	
Hyperonkotisch-hyperosmolare Lösungen	Hyperhaes	Rascher Effekt auf die Hämodynamik durch intravasalen Flüssigkeitseinstrom	Osmotische Schwankungen?	Experimentelle und klinische Studien noch nicht ausreichend	

Tab. 16.7 Profil der klinisch wichtigen katecholaminergen Substanzen

	Dosis	Effekt	Kommentar
Noradrenalin (z.B. Arterenol)	≤0,1 µg/kg KG/min	α-Stimulation + schwache β-Stimulation	Geeignet als Monosubstanz bei mäßiger Kreislaufinstabilität
	>0,1 µg/kg KG/min	Überwiegende α-Stimulation	Beim septischen Schock: effektiv vasokonstriktorisch in Kombination mit Dobutamin
Dopamin (z.B. Dopamin Solvay)	1–3 µg/kg KG/min	Renale Vasodilatation (?)	»Nierendosis« heute umstritten; widersprüchliche Studienergebnisse!
	5–8 µg/kg KG/min	Überwiegende β-Stimulation	Zur mäßigen Stimulation der Herzleistung geeignet
	10–20 µg/kg KG/min	Überwiegende α-Stimulation	Für diese Indikation dem Noradrenalin unterlegen; therapeutisch nicht sinnvoll!
Dobutamin (z.B. Dobutamin Hexal)	3–8 µg/kg KG/min	Überwiegende β-Stimulation	Sinnvoll zur Therapie der »septischen Myokarddepression« in Kombination mit Noradrenalin
	>10 µg/kg KG/min	Reine β-Stimulation	Hyperdynamik↑; cave myokardiale Überlastung! Kreislaufinstabilität!

zieren (überschießende Vasokonstriktion, Aggravierung der Katabolie), sodass für die Anwendung in der Sepsis eine ausreichende pharmakologische Kenntnis und klinische Erfahrung sowie ein entsprechendes Monitoring zu fordern sind. Die verschiedenen Substanzen sind charakterisiert durch ein unterschiedliches hämodynamisch wirksames Profil und sollten entsprechend diesem Profil eingesetzt werden (Tab. 16.7). Darüber hinaus bestehen für die einzelnen Substanzen unterschiedliche Effekte in Abhängigkeit von der Dosis. Prinzipiell wird die Wirkung solcher Substanzen auf α-Rezeptoren (Vasokonstriktion) von der Wirkung auf β-Rezeptoren (positive Inotropie, Vasodilatation) unterschieden.

Aus Tab. 16.7 wird ersichtlich, dass sich beim septischen Schock die Kombination von 2 Substanzen, z.B. Noradrenalin und Dobutamin, als günstig erweist, da durch zwei gut steuerbare Substanzen beide therapeutischen Ziele (Besserung der myokardialen Leistung und periphere Vasokonstriktion; Levy et al. 1997) erreicht werden können.

16.2.6 Management des Lungenversagens

SIRS, Sepsis und posttraumatisches Organversagen sind häufig mit akuter respiratorischer Insuffizienz verknüpft, sodass die Intubation und maschinelle Beatmung unausweichlich sind. Moderne Ventilatoren ermöglichen eine nahezu unübersehbare Vielfalt von Beatmungstechniken, darüber hinaus sind in den letzten Jahren eine

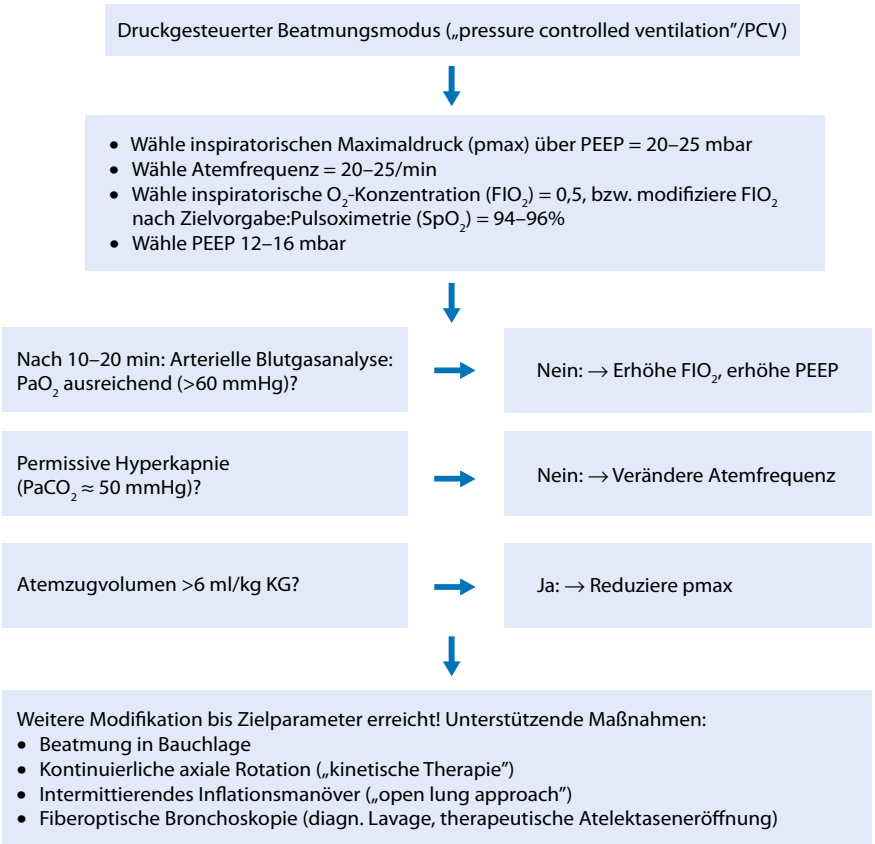


Abb. 16.1 Möglicher Beatmungsmodus im druckgesteuerten Verfahren zur Behandlung des akuten posttraumatischen Lungenversagens – Algorithmus

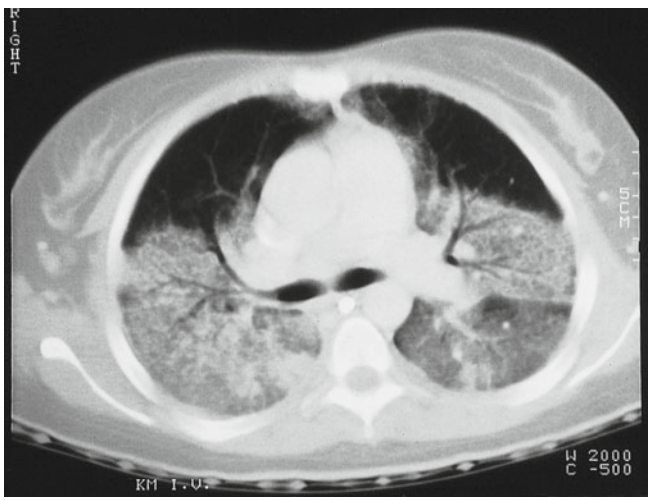


Abb. 16.2 Patientin mit fortgeschrittenem ARDS (Zustand nach Polytrauma). Computertomografische Schnittführung durch den Thorax. Sichtbar ist die fortgeschrittene Fibrosierung, welche von den dorsobasalen Lungenabschnitten ausgeht. Die intakte Gasaustauschfläche ist auf ein Minimum reduziert. Die Patientin verstarb 6 Wochen nach Trauma an der therapierefraktären Hypoxämie

Fülle von experimentell-klinischen Studien veröffentlicht worden, welche die pathophysiologischen Grundlagen des Lungenversagens weiter ausgeleuchtet haben und die Grundlagen zunehmend differenzierter Beatmungstechniken darstellen (Abb. 16.1).

In den vergangenen Jahren wurde durch eindrucksvolle tierexperimentelle Untersuchungen und darauf folgende klinische Studien gezeigt, dass die maschinelle Beatmung die Heilung einer geschädigten Lunge nicht nur verzögern, sondern sogar verhindern kann, dies gilt besonders auch für das posttraumatische Lungenversagen. Mittlerweile ist bewiesen, dass die Beatmung mit hohen Atemzugvolumina (>6 ml/kg »ideales« Körpergewicht) die Alveolen durch ständige Überdehnung schädigt (»Volutrauma«). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass auch die langdauernde Beatmung mit hohen inspiratorischen Spitzendrücken (>40 cm H_2O) ebenso eine schwere, durch pro-inflammatorische Substanzen hervorgerufene Lungenschädigung auslösen bzw. verstärken kann (»Barotrauma«). Zusätzlich wurde nachgewiesen, dass Lungenareale, welche zyklisch mit jedem Atemzug eröffnet werden, um anschließend wieder exspiratorisch zu »rekollabieren«, ebenfalls chronisch destruiert werden (»Atelektrauma«). Der Überbegriff all dieser Schädigungen ist die **»beatmungsinduzierte Lungenschädigung«** (Übersicht in Lionetti et al. 2005). Die eindrucksvollste, schwerwiegende Form der zerstörten »Beatmungslunge« stellt das »acute respiratory distress syndrome« (ARDS) dar, das durch eine völlige Aufhebung der Parenchymstruktur und eine Minimierung der Gasaustauschfläche gekennzeichnet ist (Abb. 16.2). Diese Spätform des Lungenversagens ist in der Regel nicht mehr umkehrbar.

16.2.7 Lungenprotektive Beatmung

Aus der oben beschriebenen Pathophysiologie der Lungenschädigung durch die Beatmung ergibt sich das strikte Gebot der Anwendung einer »lungenprotektiven« Beatmungsstrategie (The Acute Respiratory Distress Syndrome Network 2000): Es gilt, die beatmungsinduzierte Lungenschädigung bei ohnehin vorgeschädigter ARDS-Lunge zu minimieren: Im druckkontrollierten Modus sollte

ein ausreichend hoher PEEP (>12 cm H_2O) eingestellt werden, um die Lunge »offen« zu halten und den zyklischen Kollaps der Lunge (»Atelektrauma«) zu vermeiden. Die **Zielparameter** der lungenprotektiven Beatmung sind folgende:

- Druckkontrollierter Beatmungsmodus
- Tidalvolumen = 6 ml pro kg »ideales« Körpergewicht
- Begrenzung des Spitzendrucks ≤35 cm H_2O
- Titration eines »optimalen« positiv-endexspiratorischen Drucks (PEEP)

Beim schweren posttraumatischen Lungenversagen kann es sinnvoll sein, den optimalen PEEP durch »Titration« zu suchen: hierbei wird in Einzelschritten (2 cm H_2O) der PEEP erhöht und der Effekt auf Blutgase, statische Compliance (bei nahezu allen modernen Respiratoren auf Knopfdruck bestimmbar) und Hämodynamik beobachtet. Solange Blutgase und Compliance sich bessern und die Hämodynamik stabil bleibt, kann eine PEEP-Erhöhung vorgenommen werden. Kommt es im Rahmen dieses Manövers zur Verschlechterung der Parameter, ist die für diesen Patienten adäquate obere PEEP-Grenze überschritten worden und muss heruntergesetzt werden. Bei schwerer posttraumatischer respiratorischer Insuffizienz erreicht man mit einem solchen PEEP-Titrationsmanöver häufig PEEP-Werte zwischen 14 und 18 cm H_2O mit entsprechender, nicht selten eindrucksvoller Steigerung der Oxygenierung. Oberstes Ziel bleibt allerdings, für jeden Patienten individuell den optimalen PEEP zu ermitteln.

Der inspiratorische Spitzendruck sollte auf 35 cm H_2O limitiert werden (Vermeide »Barotrauma«!). Die Einstellung des Tidalvolumens (V_T) richtet sich nach dem »idealen« Körpergewicht (Körpergröße [cm] – 100 × 0,9), da bei adipösen Patienten das Lungenvolumen nicht parallel zum Körpergewicht erhöht ist. Hier wird eine konsequente Reduktion des V_T auf 6 ml/kg »ideales« Körpergewicht empfohlen. Da sich hierunter häufig keine »normalen« Blutgasparameter, insbesondere keine Normokapnie erzielen lassen, wird eine Hyperkapnie billigend (»permissiv«) in Kauf genommen. Wenn sich allerdings in Folge der Hyperkapnie eine ausgeprägte Azidose einstellt (pH <7,2), muss entweder die Beatmung gegenreguliert oder eine pharmakologische Pufferung durchgeführt werden. Bei Versagen dieser Methoden sollte ein extrakorporaler Lungenersatz in Erwägung gezogen werden (Abb. 16.3).

Eine wichtige und absolute Kontraindikation zur Anwendung der »permissiven Hyperkapnie« stellt der Patient mit akutem Schädel-Hirn-Trauma dar, denn in diesem Falle ist zwingend die Normokapnie anzustreben: eine Hyperkapnie induziert durch zerebrale Vasodilatation den Anstieg des zerebralen Drucks.

Ferner erlangen verschiedene Techniken der **Lagerungstherapie** (Beatmung in Bauchlage, kontinuierliche axiale Rotation; Bein 1998) zunehmend Bedeutung als additive und besonders effektive Verfahren bei der Behandlung des Lungenversagens. Therapeutischer Mechanismus solcher Lagerungsmaßnahmen ist die Wiedereröffnung meist dorsobasal gelegener, komprimierter Lungenareale durch Veränderung der Schwerkraft. In Rückenlage werden die basal gelegenen Abschnitte durch das Gewicht der darüber liegenden ödematösen Areale (interstitielles Permeabilitätsödem) komprimiert. Eine Veränderung der Hydrostatik führt zur Wiedereröffnung.

Zum Training der muskulären Atempumpe sollte zum frühestmöglichen Zeitpunkt ein unterstützendes Spontanatmungsverfahren (Spontanatmung mit Druckunterstützung, »augmented spontaneous breathing«/ASB, oder Spontanatmung mit kontinuierlich-positivem Druck, »continuous positive airway pressure«/CPAP) angestrebt werden, da die erfolgreiche Entwöhnung von der Beatmungsmaschine – v.a. nach Langzeitbeatmung – entscheidend von einer intakten diaphragmalen Funktion sowie einem guten Vigilanzniveau abhängen.

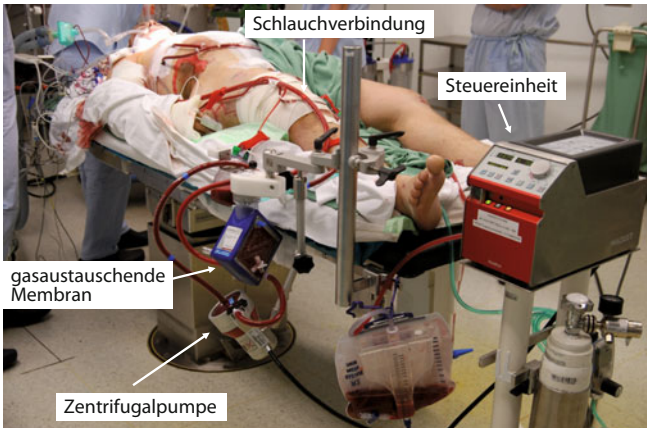


Abb. 16.3 Patient mit Polytrauma und akutem posttraumatischem ARDS an der pumpengetriebenen extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO). Sichtbar sind die Zentrifugalpumpe mit Steuereinheit sowie die gasaustauschende Membran. (Mit freundlicher Genehmigung des Universitätsklinikums Regensburg)

16.2.8 Prävention und Behandlung des akuten Nierenversagens – Nierenersatztherapie

Im posttraumatischen Verlauf entwickelt sich bei Intensivpatienten häufig eine Nierenfunktionsstörung, die zumeist kompensiert ist und sich – im Rahmen der Besserung der Gesamtsituation – zurückbildet. Die entscheidende Determinante für ein behandlungspflichtiges, akutes Nierenversagen ist die ungenügende Volumentherapie im unmittelbaren Verlauf nach Trauma oder Schock. Dieses »prärenale« Nierenversagen kann daher durch überlegte und gut überwachte Volumensubstitution (erweitertes hämodynamisches Monitoring) bei vielen Patienten vermieden werden. Die Bedeutung pharmakologischer Maßnahmen zur Prävention des Nierenversagens, insbesondere die Applikation von Dopamin in »Nierendosis« ist nach wie vor umstritten, da einer Zahl von Studien, welche den Benefit beweisen, eine ebensolche Zahl an wissenschaftlichen Mitteilungen gegenübersteht, die keinen Vorteil sehen (Übersicht in Kellum 2008). Entscheidend sind daher eine ausreichende Volumentherapie – insbesondere mit einem hohen Anteil an »freiem Wasser« (kristalloide Lösungen) – sowie die Aufrechterhaltung einer ausreichenden Nierendurchblutung (arterieller Mitteldruck >70 mmHg). Ferner ist zu beachten, dass nur unter dieser Vorbedingung Diuretika verabreicht werden sollten.

Dennoch lässt sich – v.a. nach ausgedehntem Trauma mit längeren Schockphasen – ein akutes Nierenversagen nicht immer verhindern, da das Nierenparenchym empfindlich auf stattgehabte Minderperfusion reagiert. Als Nierenersatzverfahren stehen prinzipiell die kontinuierlichen Verfahren der intermittierenden Therapie gegenüber, wie sie die Dialyse darstellt (Tab. 16.8). Beide Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile, sodass man die Entscheidung jeweils beim individuellen Patienten abwägen sollte (Ronco et al. 2008).

Tab. 16.8 Klinische Wertung gebräuchlicher Nierenersatzverfahren

	Vorteil	Nachteil	Kommentar
Kontinuierliche Nierenersatzverfahren			
Kontinuierliche arteriovenöse Hämofiltration (CAVH)	Keine Pumpe erforderlich	Arterielle Kanülierung (Blutungsgefahr!)	Geringe Effizienz, heute nur selten verwendet
Kontinuierliche venovenöse Hämofiltration (CVVH)	Gute Filtrationsleistung	Erschwerung von Lagerungsmaßnahmen	Goldstandard in der Intensivtherapie
	Nur geringe Antikoagulation erforderlich	Erschwerte Mobilisierung	
	Gute Volumensteuerung		
Kontinuierliche venovenöse Hämodiafiltration (CVVHD)	Steigerung der Filtrationsleistung	Aufwändige Installation (Gegendialysat) Höhere Materialkosten	Maschinensysteme teurer und aufwändiger als CVVH
Intermittierende Nierenersatzverfahren			
Hämodialyse (HD)	Schnelle und effektive Entfernung harnpflichtiger Substanzen	Ungeeignet bei hämodynamischer Instabilität wegen akutem Volumenentzug	Gut geeignet bei weitgehend wiederhergestellten Intensivpatienten in der Mobilisierungsphase
	Keine Behinderung der Mobilisierung des Patienten	Intermittierende Planung u.U. bei Intensivpatienten schwierig	

Tab. 16.9 Indikationen zur Anwendung von Nierenersatzverfahren

Indikation	Diagnostische Zeichen
Anstieg harnpflichtiger Substanzen	Kreatinin >6–8 mg% oder rascher Anstieg >5 mg% in 24 h Harnstoff >160 mg%
Elektrolytentgleisung	K^+-Wert >7 mmol/l
Zeichen der massiven Überwässerung	Radiologisch: schweres Lungenödem
Zeichen der Urämie	Enzephalopathie, Gerinnungsstörung
	Akute Vergiftung mit dialysablen Toxinen
Hyperkalzämische Krise	Bei akuter Pankreatitis, Leberversagen

Der entscheidende Vorteil der kontinuierlichen Verfahren ist die Möglichkeit der Volumensteuerung, die beim hämodynamisch instabilen Patienten alle graduellen Möglichkeiten des Volumenentzugs gestattet. Die intermittierende Dialyse verbietet sich in der Regel beim kritisch kranken Intensivpatienten und ist besser geeignet für die Rehabilitationsphase des stabilen, im Stadium der Mobilisierung befindlichen Patienten. Die Durchführung der Hämodialyse obliegt dem entsprechenden Fachgebiet (Dialysezentrum, nephrologische Abteilung), für die Gefäßzugänge ist allerdings die Intensivabteilung selbst zuständig. Die Dialyseintervalle richten sich nach dem Ausmaß der beim Patienten vorhandenen Restdiurese. Da unter normalen Bedingungen beim stabilen Intensivpatienten maximal 3 l Flüssigkeit pro Dialyse entzogen werden können, muss im Falle des oligoanurischen Nierenversagens täglich dialysiert werden. Hier ist eine frühzeitige und ständige Absprache mit der Dialyseabteilung erforderlich (Vorausplanung, Auslastung und Anzahl der zur Verfügung stehenden Geräte).

Die Indikation zum Einsatz von Nierenersatzverfahren richtet sich nach klinischen, laborchemischen und radiologischen Kriterien (Tab. 16.9). Bei zerebralen Zeichen der Urämie, radiologischen Zeichen der massiven Überwässerung (Lungenödem) und starkem Anstieg der harnpflichtigen Substanzen oder schwerer Elektrolytentgleisung (Kalium) ist eine Hämofiltration oder Dialyse unvermeidlich.

Die Durchführung der Nierenersatztherapie erfordert die Anlage entsprechender Gefäßzugänge. Besonders geeignet und komplikationsarm sind Doppellumen-Shaldon-Katheter, welche die Punktion nur eines Gefäßes (wahlweise V. jugularis interna, V. subclavia, V. femoralis) notwendig machen. Nach entsprechender Vorbereitung des Hämofiltrationssystems (steriles Füllen und völlige Entlüftung des Hämofilters und Schlauchsystems) erfolgt der Anschluss eines Heparinperfusors. Vor dem Anschluss am Patienten müssen die ausreichende Überwachung der Hämodynamik des Patienten (kontinuierlich gemessener arterieller Druck, zentralvenöser Druck) sowie die Überwachung der Maschinenfunktion (»arterieller« und venöser Druckalarm, Luftalarm) sichergestellt sein. Zur Antikoagulation reicht in der Regel die Applikation von 500 IE Heparin pro Stunde unmittelbar vor dem Filter. Zur Beurteilung von Volumenstatus und Filtrationsleistung ist die stündlich vorgenommene, exakte Bilanzierung erforderlich. Aus infektiologischen Gründen sollte bei kontinuierlichen Verfahren nach 72 h ein Wechsel des Schlauchsystems durchgeführt werden. Ferner ist die Anpassung intravenöser Therapieregime (parenterale Ernährung, Antibiotika) unter Hämofiltration zu beachten. Hierzu geben alle Medikamenteninformationen für die jeweiligen Präparate einen »Dialyse- oder Hämofiltrationskoeffizienten« an, um den die Dosierung verändert werden muss.

16.2.9 Ernährungstherapie nach Trauma – während Sepsis

Jedes Trauma bewirkt eine charakteristische Stoffwechselumstellung, die durch eine Katabolie in den Substratdepots, d.h. im Glykogen, im Fettgewebe und im Muskeleiweiß gekennzeichnet ist (»Postaggressionssyndrom«). Von klinischer Bedeutung sind der erhebliche Eiweißkatabolismus in Kombination mit gestör-

Tab. 16.10 Substratlösungen für parenterale und enterale Ernährung

Substrat	Handelsname (Bsp.)	Kommentar
Parenterale Ernährung		
Kohlenhydratlösungen		
Glukoselösung 5, 10, 20, 40%	Glucose 5 Braun, Glucose 10 Braun etc.	
Aminosäurenlösungen		
Aminosäurenlösung 10%	Aminomel	Dosierung: 1–2 g/kg/24 h
Mischlösung: Aminosäuren 2,5% + Xylit 5% + Elektrolytlösung	Periamin X	Substratkombination im Postaggressionsstoffwechsel, auch über periphere Zugänge applizierbar
Fettemulsionen		
Fettlösung 20%	Lipofundin MCT 20%	Enthält überwiegend mittelkettige Triglyzeride
Enterale Ernährung (Sondenkost)		
Ernährung über Magensonde	Biosorb 1500	Energiegehalt: 1,5 kcal/ml
Ernährung über Duodenal-Jejunal-Sonde	Survimed OPD	Oligopeptid-Spezialdiät
Ernährung bei diabetogener Stoffwechsellage	Fresubin diabetes	Stoffwechseladaptierte Spezialdiät

ter Proteinsyntheseleistung sowie das gleichzeitige Überwiegen »antiinsulinärer Faktoren« (Kortisol, Katecholamine, Glukagon) mit eingeschränkter Kohlenhydratverwertung, sodass sich für die Ernährungstherapie ein Paradoxon ergibt: Einem gesteigerten Energiebedarf des Intensivpatienten nach Trauma oder im generalisierten Inflammationssyndrom steht die erheblich eingeschränkte Verwertbarkeit der angebotenen Substrate gegenüber (Kudsk et al. 1994). Dieses Dilemma lässt sich nach modernen Erkenntnissen nur durch das **Konzept der hypokalorischen Ernährung** lösen (Abb. 16.4), da zum einen eine »Fastentherapie« den Katabolismus erheblich aggravieren würde; zum anderen könnte ein normokalorisches Konzept schädliche oder u.U. lebensbedrohliche Nebenwirkungen (Fettleber, Leberversagen, therapieresistente Azidose) provozieren, da ein Großteil des angebotenen Substrats nicht verwertet wird. Die Zufuhr geringer Energiemengen hingegen vermag durch mäßige Steigerung der (Protein-)Syntheserate die Katabolie günstig zu beeinflussen. Eine ausführliche Beschreibung der Grundlagen der enteralen und parenteralen Ernährung des Intensivpatienten findet sich in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM: www.dgem.de).

Die Wahl des Ernährungswegs (parenteral vs. enteral) ist in den letzten Jahren erheblich in die Diskussion geraten. Während bis vor kurzem die parenterale Route via zentralem Venenkatheter für die Frühphase nach Trauma und Sepsis als unbestrittene Präferenz galt, wird heute die frühestmögliche enterale Ernährung favorisiert. Die Argumentation für diese Strategie bezieht sich im Wesentlichen auf die Wiederherstellung und Erhaltung einer ausreichenden Integrität und Durchblutung der Mukosa durch physiologische Ernährung, um durch diese »Barriere« die Translokation von Bakterien oder Endotoxinen durch die Darmwand ins Gefäßsystem zu verhindern (Fink 1993). Mehrere Studien belegen, dass das Phänomen der bakteriellen Translokation erheblich zur Ausbildung von Sepsis und Multiorganversagen beiträgt und dass das frühe enterale Ernährungsangebot diesen Pathomechanismus zu durchbrechen vermag (diskutiert in European Society of Parenteral and Enteral Nutrition [ESPEN] Guidelines 2006).

Patienten nach Trauma oder im septischen Zustandsbild leiden allerdings regelmäßig an einer gastrointestinalen Motilitätsstörung mit Reflux, sodass die Ernährung über eine nasogastrale Sonde

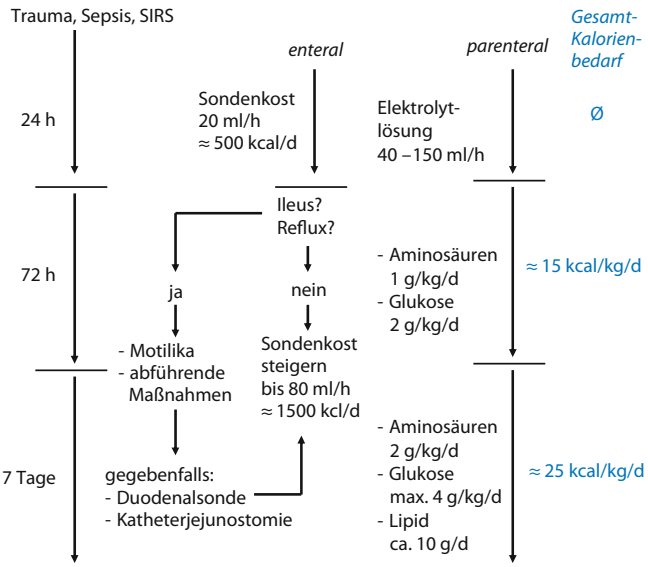


Abb. 16.4 Algorithmus zur Ernährungstherapie nach Trauma und/oder Sepsis/SIRS

selten zufriedenstellend möglich ist. Hier gilt als Ausweg zum einen der Versuch, eine Ernährungssonde duodenal zu platzieren (u.U. unter Durchleuchtung), zum anderen wird empfohlen, bei abdominellen Revisionen einen jejunalen Katheter (Feinnadelkatheterjejunostomie) einzubringen, über den in der Regel eine problemlose, kontinuierliche Sondenkosternährung möglich ist.

Aus Abb. 16.4 kann man schließen, dass in den ersten Stunden nach Trauma oder in der Akutphase von Sepsis und SIRS lediglich eine Elektrolytlösung appliziert werden sollte, da in dieser Phase nahezu keine Substratverwertung stattfindet. Allerdings wird die frühestmögliche niedrig-dosierte Zufuhr von Sondennahrung unmittelbar nach Trauma mit hoher Evidenz empfohlen. Nach 24 h ist der Beginn der parenteralen, hypokalorischen Ernährung empfehlenswert. Als Komponenten eignen sich Aminosäurelösungen, um dem Proteinkatabolismus entgegenzuwirken, sowie Glukoselösungen,

wobei eine kontrollierte Normoglykämie (Blutzucker ≈ 150 mg%) angestrebt werden sollte. Bei diesem Regime, das die ersten Tage umfasst, sollte die Zufuhr von maximal 1000 kcal am Tag nicht überschritten werden. Darüber hinaus wird bei Traumapatienten additiv die Zufuhr von Glutamin-haltigen Lösungen empfohlen.

Als Monitoring einer adäquaten Ernährung dienen die Blutgasanalyse, insbesondere der Kohlendioxidwert, regelmäßige Blutzuckerbestimmungen sowie die Werte für Serumcholesterin und -triglyzeride. Die klinisch wichtigen Substratlösungen für parenterale und enterale Ernährung sind in ◘ Tab. 16.10 aufgeführt.

16.2.10 Neuere Ansätze zur Immunmodulation in der Sepsis

Neue Erkenntnisse der Zytokinforschung der letzten Jahre haben zu einer Flut von experimentellen Studien und Therapieansätzen geführt, die das Ziel haben, durch pharmakologische Immunmodulation die negativen Auswirkungen der »überschießenden Immunantwort« des Organismus zu dämpfen. Das Fazit ist derzeit ernüchternd, da das Mediatorengeschehen und die Ausbildung von konsekutiven Kaskaden offensichtlich so komplex ist, dass der »Angriff« mittels einer einzigen Substanz nicht ausreichend ist. Darüber hinaus hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Expression von Zytokinen, z.B. Interleukinen oder TNF durchaus eine schützende und lebenserhaltende Maßnahme des Organismus darstellt, sodass die Antagonisierung solcher Zytokine u.U. die Überlebenschance noch verschlechtert.

Allerdings wurde in den letzten Jahren in mehreren Studien über den Einsatz einer neuen Substanz »rekombinantes humanes aktiviertes Protein C« (**rhAPC**, Xigris®) im Rahmen der Behandlung der Sepsis berichtet. rhAPC inhibiert das Gerinnungssystem und entfaltet wichtige profibrinolytische und anti-inflammatorische Eigenschaften. Da in der Sepsis eine komplexe Imbalance im Wechselspiel aus Koagulation, Fibrinolyse, Inflammation und endothelialer Dysfunktion angenommen wird, erscheint rhAPC als besonders attraktive Substanz zur Unterbrechung solcher Sepsis-induzierter Kaskaden. Als besonders wichtig wird die Hemmung der Thrombinbildung durch rhAPC angesehen, da Thrombin nicht nur direkte gerinnungsfördernde (und somit die Mikrozirkulation störende) Potenzen in der Kapillarstrombahn, sondern auch direkte proinflammatorische Wirkungen aufweist.

Diese Studien erregten viel Aufsehen, da die Mortalität im Gefolge einer Sepsis nach wie vor hoch ist und innovative Therapiestrategien fehlten. Auf der anderen Seite ist die Substanz sehr kostenaufwändig und nebenwirkungsreich.

Für die Anwendung von aktiviertem Protein C werden nach der aktuellen Studienlage und der Abwägung der Risiken folgende Empfehlungen abgegeben:

- Im Fokus der Sepsisbehandlung stehen zunächst die rasche Identifikation der Sepsisquelle sowie die Einleitung einer adäquaten unverzüglichen Standardtherapie (»Sepsis-Bündel«).
- Bei Ausbleiben eines Therapieerfolgs trotz maximaler und rasch eingeleiteter Therapie sollte die Behandlung mit rhAPC erwogen werden.
- Kontraindikationen und mögliche bedrohliche (Blutungs-) Komplikationen sind abzuwägen (insbesondere bei operativen Sepsispatienten).
- Bei Versagen von ≥2 Organsystemen und fehlendem Therapieerfolg ist die Letalität im Gefolge einer Sepsis besonders hoch. Hier kann die frühzeitige Therapie mit rhAPC die Prognose verbessern.

16.3 Prognose des Organversagens

Die Prognose des Überlebens bzw. des Grades der Beeinträchtigung nach schwerem Trauma oder Schock richtet sich nach Art und Schweregrad des Traumas, nach Alter und chronischem Gesundheitsstatus des Unfallopfers und nach der Qualität der primären und sekundären Versorgung. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Score-Systeme vorgestellt, mittels derer das Überleben des Patienten nach Aufnahme auf die Intensivstation prognostiziert werden soll. Die wichtigsten Vertreter solcher Scores sind:

- »Injury Severity Score« (ISS)
- »Acute Physiology and Chronic Health Evaluation«-Score (APACHE III)
- »Sequential Organ Failure Assessment Score« (SOFA)
- »Simplified Acute Physiology Score« (SAPS II)

Zur Erfassung neurologischer Defizite eignet sich die Glasgow Coma Scale (GCS). Die Gemeinsamkeit all dieser Score-Systeme besteht darin, dass sie in großen Patientenpopulationen – wie in zahlreichen Studien gezeigt werden konnte – offensichtlich gut in der Lage sind, die Schwere der Erkrankung zu klassifizieren und das Überleben oder Versterben vorauszusagen. Score-Systeme wie der SOFA Score eignen sich allerdings nicht zur individuellen Prognoseabschätzung, sondern dienen zur Charakterisierung des Patientenguts bei klinischen Studien oder epidemiologischen Untersuchungen (Antonelli et al. 1999).

Unbestritten ist, dass das Auftreten schwerwiegender posttraumatischer Komplikationen – insbesondere schwerer Infektionen – die Mortalität entscheidend beeinflusst. Die Inzidenz eines infektiösen Geschehens nach schwerem Trauma beträgt etwa 20%; bei Traumapatienten, die die ersten 2 Tage überleben, ist eine Sepsis bzw. ein SIRS die führende Ursache für gravierende Komplikationen und einen letalen Ausgang. Die wesentlichen Mechanismen, welche die Inzidenz infektiöser posttraumatischer Komplikationen fördern, betreffen das Muster und den Umfang der Verletzungen und die Anzahl der beteiligten Organe, die Ausbildung eines akuten Schocksyndroms im Gefolge des Traumas sowie die Notwendigkeit massiver Transfusion von Blutbestandteilen (s. Übersicht). Generell ließ sich in mehreren Studien eine enge Korrelation zwischen der Schwere der Verletzung, z.B. erfasst durch den »Injury Severity Score«, und der Inzidenz einer Sepsis herstellen.

Faktoren, welche die Inzidenz einer posttraumatischen Sepsis erhöhen

- Anamnestische Einschränkung des Immunsystems (z.B. Kortikosteroiddauermedikation, chronischer Alkoholismus)
- Posttraumatischer (hämorrhagischer) Schock
- Massivtransfusion
- Großflächige Verbrennungen
- Offene Frakturen großer Skelettareale
- Großflächige, tiefe Weichteilverletzungen
- Verletzungen des Gastrointestinalsystems
- Posttraumatische Beatmungsdauer >5 Tage

In einer retrospektiven Analyse an 1278 verletzten Patienten (Ertel et al. 1998) ließ sich zeigen, dass eine enge Beziehung zwischen dem Schweregrad einer Verletzung, der Ausbildung eines SIRS und der Hospitalmortalität existiert. Diese Zahlen unterstreichen die Aufgabe einer optimierten Intensivmedizin in der Frühphase nach Trauma und Schock, da ein wesentlicher Therapiefortschritt

mit Senkung der Mortalität nicht so sehr durch die Behandlung des bereits eingetretenen septischen Schocks zu erwarten ist, sondern durch die frühzeitige Identifikation gefährdeter Patienten und durch die Prävention der Schockmanifestation.

16.3.1 Lebensqualität und Spätschäden nach Intensivtherapie

Das Überleben eines schweren Traumas mit konsekutiver Intensivtherapie und künstlicher Beatmung ist nicht selten mit einer chronischen Beeinträchtigung der Lebensqualität verknüpft. Dies bezieht sich auf psychomentale Beeinträchtigungen, körperliche Defizite sowie eine Beschädigung des Körpergefühls und der Selbstwahrnehmung. In mehreren Studien wurde gezeigt, dass in der Regel im Verlauf der Zeit nach Rehabilitation die »quality of life« zwar wieder zunimmt, aber bei den meisten Patienten nicht mehr das Ausmaß erreicht, welches vor dem Unfall angegeben wurde (Flaatten et al. 2006). In einer älteren umfangreichen prospektiven Studie an 351 polytraumatisierten Patienten (Vazquez et al. 1996) wurde gezeigt, dass 2 Jahre nach dem Trauma bei 51,6% der Patienten eine erhebliche Einschränkung des »Quality-of-life-Scores« bestand. Immerhin konnten 57,5% der Patienten zu diesem Zeitpunkt wieder ihrer Arbeit nachgehen. Die Autoren zeigten einen klaren Zusammenhang zwischen der Schwere der Verletzung – erfasst durch den APACHE II – und dem Grad der späteren Beeinträchtigung auf.

Einen Sonderfall bilden naturgemäß schwere Schädel-Hirn-Verletzungen, bei denen der Grad des späteren »outcome« überwiegend von Art und Schwere der zerebralen Schädigung determiniert wird. Hier zeigt sich generell, dass von der Patientenpopulation, die ein schweres Schädel-Hirn-Trauma (GCS <8) überleben, nur etwa 30% in ein annähernd normales Leben zurückfinden.

Neben einer emotionalen (Dauer-)Beeinträchtigung wird von Polytraumaopfern die Einschränkung der Mobilität nach Verletzungen der unteren Extremität (z.B. durch ektopische Verkalkungen) als besonders belastend empfunden. Zu den Langzeitschäden durch die Intensivbehandlung selbst zählen der Hörverlust nach längerer Diuretikabehandlung (Furosemid), die Übertragung von Viruserkrankungen durch Massivtransfusion von Blutprodukten oder Gefäßthrombosen nach Langzeitkanülierungen (zentraler Venenkatheter, Shaldon-Katheter). Solche Schäden sind aber eher selten und spielen im Vergleich mit den durch das Trauma selbst induzierten Schäden nur eine untergeordnete Rolle.

Generell bietet die moderne Intensivtherapie auch bei schwersten Verletzungen eine Überlebenschance. Heute ist es möglich, auch den längeren Ausfall mehrerer Organsysteme zu überleben, dies wäre vor wenigen Jahrzehnten noch undenkbar gewesen. Als eindrucksvolles Beispiel sei die Lungenersatztherapie (extrakorporale Membranoxygenierung) genannt, mittels derer in speziellen Zentren die Überbrückung der Lungenfunktion über mehrere Wochen ermöglicht wird.

Literatur

Antonelli M, Moreno R, Vincent JL, et al. (1999) Application of SOFA score to trauma patients. Sequential Organ failure Assessment. Intensive Care Med 25: 389–394

Barie PS, Hydo LJ, Pieracci FM, et al. (2009) Multiple organ dysfunction syndrome in critical surgical illness. Surg Infect 10: 369–377

Bein T (1998) Patientenlagerung – Kinetische Therapie in der Intensivmedizin. Anaesthesist 47: 74–80

Bein T (2006) Beatmungsstrategien nach Polytrauma. Intensiv- und Notfallbehandlung 31(2): 52–57

Bennett D, Boldt J, Vincent JL (1991) Expert panel: The use of the pulmonary artery catheter. Intensive Care Med 17: I–VIII

Brunkhorst FM, Reinhart K (2008) Sepsistherapie – Aktuelle Leitlinien und deren Umsetzung. Chirurg 79: 306–314

Cochrane Injuries Group Albumin Reviewers (1998) Human albumin administration in critically ill patients: Systematic review of randomised controlled trials. BMJ 317: 235–240

Ertel W, Keel M, Marty D, et al. (1998) Die Bedeutung der Ganzkörperinflammation bei 1.278 Traumapatienten. Unfallchirurg 101: 520–526

Flaatten H, Ulvik A (2006) Quality of life after intensive care in trauma patients. Minerva Anestesiol 2006 72: 479–481

Hassoun HT, Kone BC, Mercer DW, Moody FG, Weisbrodt NW, Moore FA (2001) Post-injury multiple organ failure: the role of the gut. Shock 15: 1-10

Kellum JA (2008) Acute kidney injury. Crit Care Med 36(4): S141–S145

Kreymann KG et al. (2006) ESPEN Guidelines on enteral nutrition: intensive care. Clin Nutr 25: 210–223

Kudsk KA, Minard G, Wojtysiak SL (1994) Visceral protein response to enteral versus parenteral nutrition and sepsis in patients with trauma. Surgery 116: 516–523

Levy B, Pollaert PE, Charpentier C et al. (1997) Comparison of norepinephrine and dobutamine to epinephrine for hemodynamics, lactate metabolism, and gastric tonometric variables in septic shock: A prospective randomized study. Intensive Care Med 23: 282–287

Lionetti V, Recchia FA, Ranieri M (2005): Overview of ventilator-induced lung injury mechanisms. Curr Opin Crit Care 11: 82–86

Marek PE, Corwin HL (2008) Efficacy of red blood cell transfusion in the critically ill: a systematic review of the literature. Crit Care Med 36: 2667–2674

Meier J, Habler O (2007) Versorgung des Polytraumas – Die Behandlung auf der Intensivstation. Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 10: 724–729

Napolitano LM, Ferrer T, McCarter RJ jr, Scalea TM (2000) Systemic inflammatory response syndrome at admission indepently predicts mortality and lenghth of stay in trauma patients. J Trauma 49: 647–652

Offner P, Moore E (2000) Risk factors for MOF and pattern of organ failure following severe trauma. In: Baue E, Faist E, Fry D (Hrsg.) Multiple Organ Failure – pathophysiology, prevention, and therapy. Springer Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, S. 30–43

Pal J, Brown R, Fleiszer D (1989) The value of the Glasgow Coma Scale and Injury Severity Score: Predicting outcome in multiple trauma patients with head injury. J Trauma 29: 746–748

Ronco C, Bagshaw SM, Gibney RT, Bellomo R (2008) Outcome comparisons of intermittent and continuous therapies in acute kidney injury: what do they mean? Int J Artif Organs 31: 213–220

Schuerholz T, Marx G (2008) Management of sepsis. Minerva Anesthesiol 74: 181–195

Taeger G, Ruchholtz S, Waydhas C, Lewan U, Schmidt B, Nast-Kolb D (2005) Damage control orthopedics in patients with multiple injuries is effective, time saving, and safe. J Trauma 59: 409–416

The Acute Respiratory Distress Syndrome Network (2000): Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 342: 1301–1308

Vazquez MG, Rivera-Fernandez R, Perez-Aragon A et al. (1996) Analysis of quality of life in polytraumatized patients two years after discharge from an intensive care unit. J Trauma 41: 326–323

Ware LB, Matthay MA (2000) The acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 342: 1334–1349

Wilson RF, Tyburski JG, Janning SW (1996) Sepsis in Trauma. In: Wilson RF, Walt AJ (eds) Management of trauma – pitfalls and practice, 2nd edn. Williams & Wilkins, Baltimore, pp 828–866

Komplikationen

F. Müller

17.1 Allgemeine Komplikationen in der Traumatologie – 924
17.2 Spezielle Komplikationen in der Traumatologie – 939
Literatur – 952

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_17,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Die intensive Auseinandersetzung mit Komplikationen ist Teil der Qualitätssicherung. Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen und fachgerechter Durchführung kann eine Komplikation selbst nach einer Bagatellverletzung auftreten (Abb. 17.1). Im unfallchirurgischen Patientenkollektiv muss mit einer Komplikationsrate von 3–8% gerechnet werden (Piltz u. Lob 1998), allerdings neigt jeder Arzt und Operateur dazu, seine eigene Komplikationsrate niedriger einzuschätzen als sie ist.

Im Folgenden werden typische Komplikationen der Traumatologie einschließlich deren Prophylaxe und Therapie besprochen.

17.1 Allgemeine Komplikationen in der Traumatologie

17.1.1 Dekubitus

Definition und Epidemiologie

Dekubitus (neulateinisch, erst im 19. Jahrhundert geprägtes Wort) ist eine Schädigung der Haut und des darunter liegenden Gewebes durch mangelnde Durchblutung infolge von Druckbelastung. Während eines Krankenhausaufenthalts entwickeln 3–4% der Patienten einen Dekubitus, 71% der Patienten sind älter als 70 Jahre (Hatz et al. 1993).

Pathogenese

Für das pathophysiologische Geschehen ist die Druckbelastung einer bestimmten Körperregion entscheidend. Liegt die Kompression des Gewebes unterhalb des Kapillardrucks von 25–35 mmHg, kommt es zunächst zu einem Verschluss der Venolen mit reversibler Kreislaufstörung. Druckwerte >35 mmHg führen zu einem zusätzlichen Verschluss der Arteriolen und in Abhängigkeit von der Zeitdauer der Druckeinwirkung zur Ischämie mit irreversibler Schädigung des Gewebes. Für die kritische Ischämiezeit werden keine einheitlichen Grenzwerte, sondern lediglich orientierende Zeitintervalle zwischen 30 und 240 min bis zur Entstehung einer Druckschädigung mit erheblichen interindividuellen Schwankungen angegeben.

Ätiologie

Folgende Faktoren prädisponieren zur Entstehung eines Dekubitus:

- Fortgeschrittenes Lebensalter
- Gefäßerkrankung
- Multimorbidität
- Bettlägerigkeit
- Kachexie
- Stuhl- und Harninkontinenz
- Eiweißverlust
- Diabetes mellitus
- Schwere Grunderkrankung (z.B. Querschnittslähmung, Polytrauma)
- Lange chirurgische Eingriffe

Nicht selten beginnt ein Dekubitus am Operationstisch. Hier werden an der Hautoberfläche Druckspitzen von >200 mmHg erreicht (Hatz et al. 1993, Abb. 17.2).

Es gibt verschiedene klinische Gefährdungsskalen, um das Risiko einer Dekubitusentstehung bei Patienten einzuschätzen. Die so genannte Norton-Skala (entwickelt 1962 in England durch Doreen Norton) z.B. berücksichtigt den geistigen und körperlichen Zustand, Aktivität, Beweglichkeit und Kontinenz. Diese Skala wurde 1985 von Christel Bienstein um weitere 4 Risikofaktoren erweitert.

Abb. 17.1 Erfrierung 1.–2. Grades bei Distorsion des Kniegelenks und 20-minütiger Anwendung eines ungeschützten Eisgels bei einer 14-jährigen Fußballspielerin

Abb. 17.2 Dekubitus 1.–2. Grades, der während des elektiven Einbaus einer Hüftendoprothese, in Seitenlage vorgenommen, entstanden ist

Allen Skalen ist gemein, dass lediglich eine Orientierungshilfe gegeben wird, die nicht die Einschätzung eines Arztes oder einer erfahrenen Pflegekraft ersetzen kann (Schlömer 2003).

Klinik

Besondere Prädilektionsstellen für das Auftreten von Dekubiti sind die dorsale Beckenregion, der Trochanter major, das Fibulaköpfchen, Außen- und Innenknöchel und das Fersenbein. An diesen Stellen entwickeln sich >80% aller Druckschäden.

Die Einteilung in die in der Übersicht dargestellten klinischen Schweregrade hat sich bewährt.

Einteilung des Dekubitus in Schweregrade

- **Grad I:** Erythem mit reversibler schmerzloser Hautrötung,
- **Grad II:** oberflächliche, schmerzhafte Blasenbildung mit bläulich livider Hautverfärbung, die sich auf Epidermis und Dermis erstreckt,
- **Grad III:** tiefes Geschwür mit Ödem und Entzündung des Randwalls, das bis an eine knöcherne Prominenz reicht,
- **Grad IV:** ausgedehntes Ulkus mit Beteiligung von Knochen, Bursa, Gelenken oder Körperhöhlen.
  - Stadium A: saubere Wunde, Granulationsgewebe, keine Nekrosen
  - Stadium B: Wunde schmierig belegt, Restnekrosen, keine Infiltration des umgebenden Gewebes, Granulationsgewebe, keine Nekrosen
  - Stadium C: Wunde wie Stadium B, mit Infiltration des umgebenden Gewebes und/oder Allgemeininfektion (Sepsis)

Diagnostik

In Verbindung mit Klinik und Anamnese ist die Diagnose aufgrund des typischen Bildes häufig einfach zu stellen. Bei tiefen Drucknekrosen muss zum Ausschluss bzw. Nachweis einer begleitenden Knochenerosion bzw. Osteitis die betroffene Region geröntgt werden. Vor allem an der unteren Extremität sollte eine chronische arterielle Verschlusskrankheit (AVK), ein venöses Ulcus cruris oder Malum perforans bei Polyneuropathie ausgeschlossen werden.

Prophylaxe und Therapie

Wesentlich zur Vermeidung eines Dekubitus sind Bewegungsförderung, Druckvermeidung, Druckentlastung und Druckverteilung. Dies wird durch Mobilisation des Patienten oder bei bettlägerigen Patienten durch regelmäßigen Lagewechsel erreicht. Dazu hat sich folgender 2- bis 3-stündlicher Rhythmus bewährt: Rückenlage – 30°-Rechtsseitenlage – Rückenlage – 30°-Linksseitenlage – Rückenlage. Eine Bauchlagerung oder 135° Lagerung kann ebenfalls erwogen werden. Bei Hochrisikopatienten (z.B. Multimorbidität, Querschnitt, Verbrennungen) sollten Spezialbetten, die eine Drucksenkung unter dem Perfusionsdruck der Kapillaren ermöglichen, Verwendung finden (z.B. Clinitron, Nimbus II).

Auch bei Spezialbetten muss eine regelmäßige Umlagerung erfolgen. Dies dient sowohl der Dekubitus- als auch der Pneumonieprophylaxe.

Eine weitere Maßnahme betrifft die Hautpflege. Sie richtet sich nach den individuellen Hautverhältnissen des Patienten. Prinzipiell gilt, dass trockene Haut oder Altershaut mit Wasser-in-Öl-Lotion, fettige Haut mit Öl-in-Wasser-Lotion behandelt wird. Die Lotionen sollten nicht eingerieben werden, da intensives Einreiben nachweislich zu Gewebeschäden führen kann. Eis und Föhn, durchblutungsfördernde Cremes und Hautdesinfektionsmittel sind ebenfalls obsolet.

Für die Lagerung auf dem Operationstisch empfiehlt sich eine Gelmatte (Strunk u. Osterbrink 1990, Hofmann-Rösener 1995).

Praktisches Vorgehen

Allgemeine Basismaßnahmen zu allen 4 Stadien umfassen folgende Regeln (Hofmann-Rösener 1998):

Zunächst muss die Druckentlastung konsequent durchgeführt werden. Das betroffene Areal soll keinem Auflagedruck mehr ausgesetzt werden. Beim 2- bis 3-stündlichen Lagerungswechsel wird deshalb der Dekubitusbereich immer ausgelassen. Weiterhin ist Reibung unbedingt zu vermeiden. Patienten sollte man deshalb im Bett niemals hochziehen, sondern mit Hilfe mehrerer Personen hochheben. Um Scherkräfte zu reduzieren, sollte eine Oberkörperhochlagerung über 30° vermieden werden. Bei ausgedehnten Geschwüren kann der Eiweißbedarf alleine über die Nahrung nicht mehr gedeckt werden und muss über eine entsprechende Infusionstherapie und eiweißreiche Kost ausgeglichen werden.

Entsprechend der Gradeinteilung werden folgende weitere Therapiemaßnahmen durchgeführt (Hofmann-Rösener 1998):

Grad I. In diesem Stadium, bei noch intakter Epidermis, sind die oben aufgeführten Prophylaxemaßnahmen ausreichend, um eine vollständige Rückbildung zu gewährleisten.

Grad II. Intakte Hautblasen werden belassen. Ist die Spontaneröffnung unvermeidbar, wird die Blase steril abgetragen und mit einem Hydrokolloidverband abgedeckt. Die Verwendung von Betaisadona-Lösung, Mercuchrom, Wasserstoffperoxid 3% und NaCl 0,9% muss aus unterschiedlichen Gründen unterbleiben.

Abb. 17.3 Bilateraler Rotationsschwenklappen aus der Glutealhaut bei tiefem Sakralulkus

Grad III. Auch in diesem Stadium steht die Wichtigkeit der Schaffung eines feuchten Milieus durch einen Hydrokolloidverband im Vordergrund. Wunden, die mit Fibrin überzogen sind, werden z.B. mit Lavasept gereinigt und mit sterilen Kompressen abgetupft.

Grad IV. Drucknekrosen werden bis zum Erreichen des gesunden Gewebes chirurgisch abgetragen und veränderte Knochenbezirke radikal mit entfernt. Bei sauberer, nicht mehr blutender Wunde kommt ebenfalls ein Hydrokolloidverband zum Einsatz.

Große Weichteildefekte lassen sich nur mit Rotationslappen, Schwenklappen oder gestielten Lappen decken (Abb. 17.3).

Hydrokolloidverbände (z.B. Comfeel) beschleunigen die Regeneration des Gewebes durch Verdoppelung der Reepithelisierungsrate.

Komplikationen und Prognose

Bei Fortschreiten des Krankheitsprozesses kann es zu Osteitis und septischen Komplikationen mit letztlich vitaler Bedrohung des Patienten kommen. Bei Dekubitus Grad I und II ist eine Restitutio ad integrum, bei Grad III und IV nur noch eine Defektheilung möglich. Die Therapie hat deshalb ihren Schwerpunkt in der Prophylaxe.

17.1.2 Harnweginfekt

Definition, Klinik und Epidemiologie

Die nosokomiale Harnweginfektion ist definiert durch die klinischen Symptome Dysurie, Pollakisurie, ziehende Schmerzen im Unterleib, Flankenschmerz sowie Keimnachweis von $>10^5$ koloniebildenden Einheiten/ml Urin (KBE/ml Urin) sowie Leukozyturie aus Mittelstrahlurin. Dieser Grenzwert, ab dem eine Bakteriurie als beweisend für einen Harnweginfekt betrachtet wird, ist jedoch weder in der wissenschaftlichen Literatur noch in der Praxis einheitlich definiert. Andere Empfehlungen lauten, abhängig von der Art der nachgewiesenen Bakterien, schon bei Keimzahlen von 10^3 koloniebildenden Einheiten/ml Urin einen Harnweginfekt zu diagnostizieren.

Die Häufigkeit der nosokomialen Harnweginfektionen liegt nach einer Studie bei 42,1% aller im Krankenhaus erworbenen Hospitalinfektionen. In bis zu 90% sind die Harnweginfektionen mit dem Einsatz eines Blasenkatheters assoziiert (Rüden et al. 1995).

Ätiologie

Der Zusammenhang von Harnweginfektion mit der Harnblasendrainage ist signifikant. Eine neuere Untersuchung (Tambyah et al. 1997) zeigte, das 22% der katheterinduzierten Harnweginfekte bei der Katheteranlage, 16% durch intraluminale Keimaszension aus dem Drainagebeutel und 29% durch eine extraluminale Aszension der periurethralen Flora entstehen.

Die häufigsten Erreger sind Escherichia coli, Proteus, Enterokokken, Pseudomonas, Klebsiella, Enterobacter, Serratia, Gonokokken und Chlamydien. Die wichtigsten endogenen Risikofaktoren für die katheterinduzierte Harnweginfektion stellen schwere Grunderkrankung, Diabetes mellitus, Niereninsuffizienz, höheres Lebensalter oder auch Polytrauma dar. Weibliche Patienten erkranken mit 84% häufiger an Harnweginfektionen als Männer, die nur in 16% der Fälle davon betroffen werden (Panknin u. Vogel 1993).

Folgende exogene Ursachen begünstigen eine katheterinduzierte Harnweginfektion:

- unsachgemäße Technik des Katheterismus (unsteriles Arbeiten, Traumatisierung der Harnröhrenschleimhaut),
- kontaminierte Katheterspitze,
- Unterbrechung des sterilen Urinableitungssystems,
- Keimwanderung im Katheterlumen,
- kontaminierte Wäsche und Gegenstände (Urin, Stuhl, Blut) und
- Autoinfektion des Patienten durch die Urethral- und Fäkalflora.

Diagnostik

Bei der täglichen Visite sollte der Patient auch in Bezug auf erhöhte Körpertemperatur, Schmerzäußerungen und klinische Symptome einer Harnweginfektion wie Dysurie beobachtet werden. Häufig liegt lediglich eine asymptomatische Bakteriurie mit einem kulturellen Urinbefund mit mehr als 10^5 KBE/ml vor, die keine Therapie erfordert. In Zusammenhang mit den klinischen Symptomen gilt die Diagnose einer Harnweginfektion als gesichert und erfordert therapeutische Maßnahmen.

Prophylaxe und Therapie

In >95% aller Fälle könnte anstelle eines transurethralen Dauerkatheters die suprapubische Drainage zum Einsatz kommen (Panknin et al. 1999). Gegenüber dem transurethralen Katheter hat der suprapubische Katheter zur Harnableitung erhebliche Vorteile. Die Rate der Infektionen lässt sich bis auf ein Drittel senken, die Zeit bis zur Spontanmiktion verkürzen, da ein problemloser Übergang zur normalen Miktion möglich ist. Bei fehlender Kontraindikation (Übersicht) ist der suprapubische Katheter deshalb Mittel der Wahl, wenn die Harnableitung länger als 3 Tage erforderlich ist (Dietzel 1996).

Kontraindikationen der suprapubischen Katheterdrainage (nach Panknin et al. 1999)

Relative Kontraindikationen:

- Ungenügend aufgefüllte Blase (<150 ml)
- Prävesikale oder suprasymphysäre Vernarbungen oder Verbrennungen
- Ileus, Meteorismus
- Gravidität
- Extreme Adipositas

Absolute Kontraindikationen:

- Schrumpfblase
- Blasentumoren
- Abdominaltumoren mit Verdrängung der Harnblase
- Stärkere Makrohämaturie, Blutungsneigung, Marcumarisierung
- Hauterkrankungen im Punktionsbereich

Maßnahmen zur Prävention katheterinduzierter transurethraler Harnweginfektionen, wie tägliche Reinigung des Meatus urethrae externus mit einem Antiseptikum, Spülung der Harnblase mit antiseptischen Lösungen (z.B. Uro-Nebacetin) und Substanzen zur Harnansäuerung (Ascorbinsäure) sind unwirksam und können allenfalls in Sonderfällen empfohlen werden. Auch regelmäßige Katheterwechsel sind abzulehnen, da sie zur Mikrotraumatisierung und bei meist massiver Bakteriurie zum Aufflackern der Entzündung führen können. Die Wechselintervalle sollten sich deshalb an der Inkrustationstendenz des Kathetermaterials und dem Auftreten eines symptominduzierten Harnwegsinfekts orientieren (Panknin et al. 1999).

Das intermittierende Abklemmen eines transurethralen Blasenverweilkatheters vor dessen Entfernung zur Steigerung der Blasenkapazität bzw. der Wiederherstellung eines normalen Miktionsrhythmus (so genanntes Blasentraining) initiiert Infektionen und muss deshalb unterbleiben.

Akutmaßnahmen

Bei Fieber, Symptomatik und signifikanter Bakteriurie ist das komplette Kathetersystem zu entfernen. Wenn die Infektionssymptome auch nach dem Wechsel des Kathetersystems weiter fortbestehen, wird eine antibiotische Therapie eingeleitet. Zuvor wird eine Urinprobe für die bakteriologische Untersuchung asserviert. Alternativ kann die Ableitung auch mit Kondomkathetern, intermittierendem Katheterisieren oder suprapubischen Kathetern fortgeführt werden.

Bei akuten Symptomen muss die Behandlung begonnen werden, ehe das Ergebnis der bakteriologischen Untersuchung vorliegt. Die empirische parenterale Behandlung beginnt mit einem Cephalosporin der Gruppe 2 (z.B. Cefotiam, Spizef) oder 3a (Ceftriaxon, Rocephin), einem Acylaminopenicillin plus β-Laktamase-Hemmer (z.B. Mezlocillin, Baypen) oder einem Fluorchinolon (Vogel et al. 1999).

Nach der Isolierung des Erregers bestimmt das Antibiogramm die weitere Behandlung, wenn möglich in Form einer Sequenztherapie. Diese wird 3–5 Tage nach Entfieberung bzw. Beseitigung des komplizierenden Faktors fortgesetzt.

Komplikationen und Prognose

Beim Mann kann sich nicht nur eine Urethritis mit später folgender Harnröhrenstriktur, sondern auch eine Infektion von Nebenhoden und Samenblasen entwickeln. Im ungünstigsten Fall, und der betrifft beide Geschlechter, entsteht eine Urosepsis, die bei immunsupprimierten Patienten letal enden kann. Die Urosepsis ist eine vorwiegend durch gramnegative Stäbchen hervorgerufene Allgemeininfektion, die bei etwa 2–3% der Patienten mit katheterinduzierter Bakteriurie auftritt und zum septischen Schock führen kann.

Bei 12% aller Patienten mit nosokomialen Harnweginfektionen ist die Infektion entweder Hauptursache oder zumindest mitverantwortlich für den Tod des Patienten (Panknin u. Vogel 1993).

17.1.3 Nachblutung und Hämatom

Bezogen auf die Gesamtzahl der Komplikationen stellen Hämatome bzw. Nachblutungen mit 25% den größten Anteil (Piltz u. Lob 1998).

Ätiologie

Nachblutungen sind prinzipiell nach jedem Eingriff möglich, jedoch gehäuft bei gleichzeitiger perioperativer PTT-wirksamer Heparinisierung, nach Knochenentnahme im Beckenbereich, endoprothetischen Eingriffen, Tibiakopfosteotomien oder Mobilisation großer Weichteilareale.

Klinik und Diagnostik

Eine Nachblutung ist durch Schwellung, Schmerzen und Hb-Abfall einfach zu erkennen. Viel schwieriger ist, zu entscheiden, ob das Hämatom ausgeräumt werden muss oder eine konservative Therapie vertretbar erscheint. Hier ist die Differenzierung zur beginnenden Wundinfektion besonders wichtig. Auf dem Boden eines Hämatoms entwickeln sich häufig Infekte, insbesondere dann, wenn Hämatome Kontakt zur Keimflora der Hautoberfläche bekommen und von hier aus sekundär besiedelt werden.

Allerdings sind Entzündungsparameter für die Verlaufsbeurteilung (Leukozyten, CRP und Temperatur) nur bedingt verwertbar, weil sie allein aufgrund des Operationstraumas grundsätzlich bereits erhöht sein können. Für eine richtige Beurteilung sind deshalb klinische Erfahrung und die typischen Zeichen einer Infektion: Überwärmung, Druckschmerz und Allgemeinsymptome entscheidend. Im Zweifelsfall kann zur Differenzierung von Hämatom, Serom oder Abszess sonografisch gezielt punktiert werden. Das Punktat wird anschließend makroskopisch beurteilt und bakteriologisch untersucht.

Prophylaxe und Therapie

Wichtig ist die sorgfältige intraoperative Blutstillung und der adäquate Wundverschluss. Besonders bei sehr umfangreichem Weichteilmantel, z.B. am proximalen Oberschenkel, muss darauf geachtet werden, dass sich die Weichteilschichten bei der späteren Mobilisierung bzw. dem Lagern des Patienten nicht gegeneinander verschieben und auseinanderweichen. Ansonsten entstehen große Wundtaschen, die sich mit Blut oder Wundsekret füllen. Diese Hämatome oder Serome können dann wiederum Wegbereiter sekundärer Infektionen sein.

Im Bereich der peripheren Abschnitte der oberen bzw. unteren Extremität werden vorbeugend Kompressionsverbände angelegt. Damit keine Schnürfurchen entstehen, die den Lymphabfluss behindern, können die Verbände gepolstert werden. Die Polsterung sorgt für eine gleichmäßigere Druckverteilung.

Eine weitere sehr wichtige prophylaktische Maßnahme ist die ausreichende Drainage der Wunde. Im Bereich der Unfallchirurgie werden fast ausschließlich Saugdrainagen verwendet. Es gibt jedoch Fälle, in denen initial kein Sog angewendet werden soll, um zunächst durch eine Selbsttamponade eine bestehende Sickerblutung meist aus spongiösen Knochenflächen (Tibiakopf, Becken, Endoprothetik) zum Stillstand zu bringen. Der Sog wird erst sekundär nach 12 oder 24 h angelegt.

Praktisches Vorgehen

Kleine Hämatome resorbieren sich oft von selbst. Die konservative Behandlung solcher Blutergüsse beinhaltet die Kryotherapie und Lymphdrainage. Eine frische Nachblutung kann durch äußerliche Kühlung und Kompression zum Stillstand gebracht werden. Anschließend wird die Kühlung in Intervallen kurzzeitig appliziert und dadurch der gegenteilige Effekt einer Durchblutungssteigerung erzielt. Durch regelmäßige Lymphdrainage lassen sich organisierte Hämatome oft in relativ kurzer Zeit eindrucksvoll verkleinern.

Große Hämatome, die eine Verbindung zur Hautoberfläche haben, können sich infizieren. Sie sollten deshalb frühzeitig unter aseptischen Bedingungen punktiert und mikrobiologisch untersucht werden. Lässt sich das Hämatom nicht mehr absaugen, muss die Wunde ggf. revidiert und gespült werden. Neben der ausgiebigen Spülung ggf. unter Einsatz einer Jet-Lavage kann bei Bedarf ein resorbierbarer Antibiotikaträger eingebracht werden. Gleichzeitig erfolgt eine systemische antibiotische Abschirmung für die Dauer der Wundheilung.

Beim **operativen Vorgehen** sollten möglichst alle Beläge, nekrotisches Gewebe, Hämatomreste und Zelldetritus radikal entfernt werden, denn sie sind ein potenzielles Keimreservoir. Außerdem sollte man minderdurchblutete Wundflächen anfrischen. Wenn man sich unsicher ist, die Wunde ausreichend debridiert zu haben, empfiehlt sich ein Second look.

Nur wenn der initiale Zugang in seiner ganzen Ausdehnung wieder eröffnet wird, kann man sicher sein, das gesamte – potenziell kontaminierte oder infizierte – Hämatom oder abgestorbene Gewebe erreicht und entfernt zu haben. Insbesondere wenn Hämatome bis auf Implantate reichen, sollten keine Kompromisse gemacht werden. Die breite Darstellung, intensive Débridierung und Spülung sind die einzigen Mittel, um eine drohende Infektion abzuwenden. Gleichzeitig wird bei diesen Maßnahmen die Stabilität überprüft. Instabile Komponenten, ob es sich um Knochengewebe oder Implantate handelt, unterhalten die Wundsekretion und können dadurch zu Wegbereitern eines Infekts werden. Deshalb sollten lockere Implantate grundsätzlich ausgetauscht oder refixiert werden und nicht stabilisierbare Knochenanteile im Zweifelsfall reseziert werden.

Beim Wundverschluss muss weitgehende Bluttrockenheit vorliegen. Zusätzlich empfiehlt es sich, Wunden zu drainieren, damit nicht erneut Hämatome entstehen.

17.1.4 Kontraktur

Definition

Als Kontraktur bezeichnet man die Funktions- und Bewegungseinschränkung von Gelenken, die durch Verkürzung von Muskeln oder Sehnen bedingt ist oder durch die Schrumpfung der Gelenkkapsel oder durch Verwachsungen der Gelenkflächen. Sie kann in einer vollständigen Gelenkversteifung enden.

Epidemiologische Daten zu Kontrakturen im Anschluss an unfallchirurgische Operationen liegen nach unserem Wissen in der Literatur bisher nicht vor. Dies liegt auch daran, dass die Übergänge von passagerer Bewegungseinschränkung zu dauerhafter Ausprägung fließend sein können.

Ätiologie

Zahlreiche Faktoren können eine Kontraktur bedingen bzw. begünstigen:

- Posttraumatische Arthrofibrosen
- Gelenkinfektionen
- Freie Gelenkkörper
- Intraartikuläre Frakturen
- Kapsel-Band-Verletzungen
- Polytrauma
- Immobilisation

- Verbrennungen
- Heterotope Ossifikationen
- Bettlägerigkeit
- Schonhaltung

Klinik und Diagnostik

Typisch für eine Kontraktur sind aktive und passive, mitunter schmerzhafte Bewegungseinschränkungen, Zwangshaltung und unharmonischer Bewegungsablauf. Die Diagnose orientiert sich an der oben genannten Klinik und ist deshalb meist einfach zu stellen.

Prophylaxe

Allgemein umfassen die Maßnahmen zur Kontrakturprophylaxe die Lagerung des Patienten möglichst in Funktionsstellungen, mindestens 2-mal täglich endgradige Bewegungen (aktiv oder passiv) aller nicht ruhiggestellten Gelenke bzw. statische Muskelarbeit im Bereich der ruhiggestellten Gelenke und das Anhalten bettlägeriger Patienten sich selbst zu bewegen.

Bei Gelenkfrakturen sollte immer eine übungsstabile Osteosynthese mit frühfunktioneller Beübung des Gelenks angestrebt werden, um eine zusätzliche Ruhigstellung des Gelenks und die Gefahr einer Kontraktur nach einer Verletzung zu vermeiden.

Zur postoperativen Beübung von Gelenken hat sich die so genannte Continous-passive-motion-Schiene (CPM) bewährt (Abb. 17.4). Hierbei handelt es sich um verschiedene motorisierte Bewegungsschienen für Schulter, Ellenbogen-, Hüft-, Knie- oder Sprunggelenk. Bei allen Geräten (z.B. Atromot-System) sind sowohl die Bewegungsamplituden als auch -geschwindigkeiten regulierbar. Die Behandlungsdauer richtet sich nach dem Wohlbefinden des Patienten sowie der Reaktion des Gelenks und sollte im Allgemeinen täglich mindestens einige Stunden betragen. Die Motorschienen werden laut Blauth (1991) jedoch meistens viel zu wenig intensiv angewendet.

Verhindern oben genannte Prophylaxemaßnahmen nicht die Ausbildung einer Kontraktur, sind operative Interventionen wie arthroskopische oder offene Arthrolyse, Tenolysen, Arthroplastik oder in wenigen Ausnahmefällen eine Arthodese zu diskutieren.

An der oberen Extremität neigt insbesondere das Ellenbogengelenk zur Beugekontraktur, jede Ruhigstellung über 2 Wochen nach einer Verletzung muss deshalb vermieden werden. An der unteren Extremität stellt sich rasch eine Verkürzung der Achillessehne und somit eine Spitzfußstellung im oberen Sprunggelenk ein.

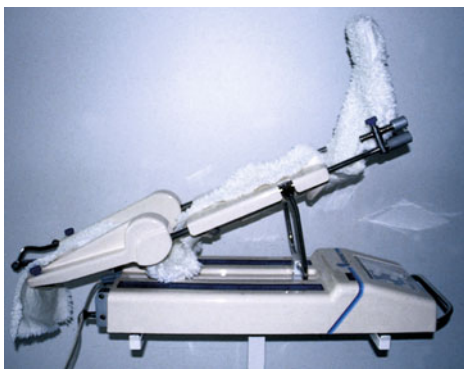


Abb. 17.4 CPM-Schiene für die untere Extremität

17.1.5 Magen-Darm-Atonie

Definition

Die physiologische postoperative Darmatonie dauert meist 3 Tage und endet mit dem ersten Stuhlgang. Sie kann jedoch bei Operationen im Retroperitoneum oder kleinen Becken bis zu 6 Tagen andauern und wird dann als verlängerte postoperative Darmatonie bezeichnet.

Genaue Daten zur Häufigkeit von postoperativer Darmatonie im unfallchirurgischen Patientengut liegen nicht vor. Dies könnte auch an der Tatsache liegen, dass die angelsächsische Literatur keine klare Trennung zum postoperativen Ileus vornimmt.

Ätiologie

Die sympathischen Fasern für den Magen-Darm-Trakt stammen aus dem Grenzstrang, der ventral entlang der Wirbelsäule verläuft. Die parasympathischen Fasern hingegen verlaufen im Rückenmark und geben zwischen C8–L2 und S1–S4 ihre Verbindungsäste zum Magen-Darm-Trakt ab. Werden diese z.B. durch ein Trauma, ein Hämatom oder iatrogen beeinträchtigt, kann eine Darmatonie resultieren.

Bei unfallchirurgischen Patienten prädisponieren v.a. frische Frakturen der Wirbelsäule oder des Beckens mit begleitendem Hämatom zu einer postoperativen Magen-Darm-Atonie. Dies gilt insbesondere auch für ventrale Zugangswege bei Wirbelkörpermetastasen v.a. von Nierenzellkarzinomen, die massiv bluten können.

Klinik und Diagnostik

Klinisch äußert sich die postoperative Darmatonie mit Bauchschmerzen, Völlegefühl, geblähtem Abdomen, Übelkeit und Erbrechen, Wind- und Stuhlverhalt sowie Meteorismus. Treten die oben genannten klinischen Symptome auf, wird eine kontinuierliche klinische Überwachung und Beurteilung des Patienten erforderlich.

Bei der Unterscheidung zwischen postoperativer Darmatonie und frühem postoperativem Ileus hilft die Röntgendiagnostik. Bei Darmatonie (Abb. 17.5) fehlen Flüssigkeitsspiegel, die beim manifesten Ileus nachzuweisen sind (Abb. 17.6). Jede verlängerte postoperative Darmatonie mit Zunahme der oben genannten Symptome einer Darmpassagestörung muß an das Auftreten eines frühen postoperativen Ileus denken lassen. Neben engmaschiger Palpation, Auskultation und konventioneller Röntgendiagnostik können auch Ultraschall und CT zur Differenzierung herangezogen werden.

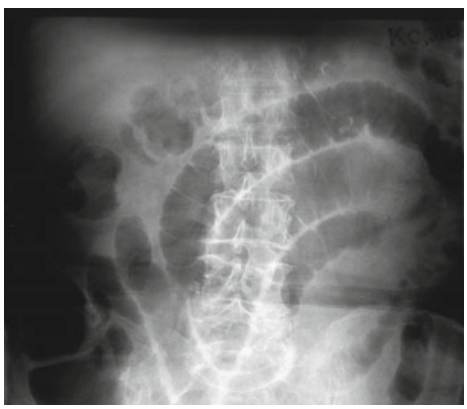


Abb. 17.5 Abdomenübersichtsaufnahme bei postoperativer Darmatonie mit Koprostase

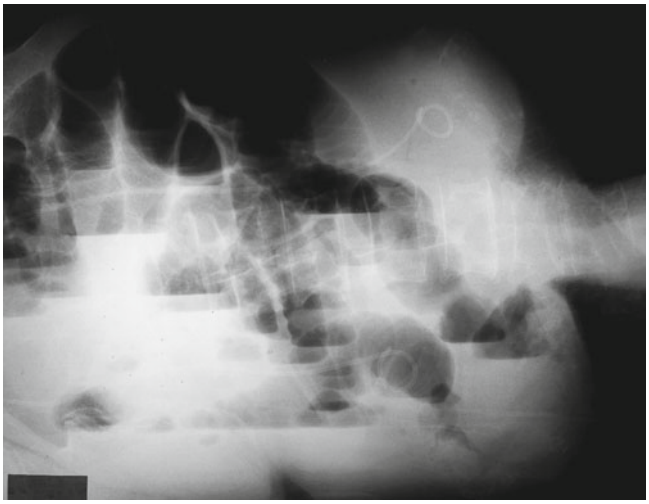


Abb. 17.6 Abdomenübersichtsaufnahme in Linksseitenlage bei Ileus mit multiplen Flüssigkeitsspiegeln

Abb. 17.7 Ausgeprägte Keloidbildungen nach Verbrennung

Therapie

Die postoperative Darmatonie dauert weniger lange, wenn der Patient frühzeitig enteral ernährt wird, eine postoperative Schmerztherapie mit nichtsteroidalen Antirheumatika oder eine peridurale Analgesie vorgenommen wird.

Klagt der Patient über starke Beschwerden, können Prokinetika (z.B. Ubretid alle 4–6 h subkutan injiziert) unter Einhaltung der Gegenanzeigen – wie Bradykardie, Hypotonie, Herzinsuffizienz, frischer Myokardinfarkt, frisches Ulkus oder Schwangerschaft – die Peristaltik fördern und die Atonie beenden (weiterführende Literatur s. Decurtins u. Goti 1998).

17.1.6 Hypertrophe Narbe und Keloid

Definition

Hypertrophe Narben sind überschießende gutartige Bindegewebeproliferationen der Haut, die nach einer Verletzung, selten auch spontan, auftreten können. Makroskopisch bleibt die Proliferation der hypertrophen Narbe auf das ursprüngliche Wundgebiet begrenzt. Das Keloid hingegen dehnt sich tumorös über das gesamte Wundgebiet hinaus aus. Der Begriff »Keloid« stammt aus dem Griechischen und bedeutet »Krebsschere«. Die beiden Formen unterscheiden sich nicht nur makroskopisch, sondern auch mikroskopisch.

Die Inzidenz für Keloide in der schwarzen und hispanischen Bevölkerung liegt zwischen 4,5 und 16%, in der weißen Bevölkerung deutlich darunter. Für hypertrophe Narben gibt es in der Literatur bisher keine eindeutigen Zahlen (Berman u. Flores 1998). Der Gipfel des Manifestationsalters liegt zwischen der Pubertät und dem 30. Lebensjahr (Tebbe et al. 1995). 80% der Keloide und hypertrophen Narben entstehen 6–12 Monate nach einer Verletzung, knapp 20% bis zum 3. posttraumatischen Jahr und in Ausnahmefällen erst bis zu 20 Jahre später.

Ätiologie

Es gibt unterschiedliche biochemische, metabolische und immunologische Theorien, die eine Erklärung für die überschießende Bindegewebeproliferation (v.a. ungerichtete hyaline Kollagenbündel) geben. Das Gesamtgeschehen ist jedoch noch nicht geklärt. Man weiß aber, dass die abnorme Bindegewebeproliferation mit einer Reihe von Risikofaktoren assoziiert ist (Berman u. Flores 1998):

- Hohe Anzahl von Melanozyten (dunkle Hautfarbe)
- Missachtung der Langer-Spannungslinien der Haut beim operativen Zugangsweg
- Erhöhte Nahtspannung nach Wundverschluss
- Wundinfektion
- Bestimmte Körperregionen: Sternum, Schulter, Rücken, Ohrläppchen
- Schwangerschaft
- Pubertät
- Genetische Faktoren, z.B. HLA B14, B21
- Lebensalter zwischen 10 und 30 Jahren

Abb. 17.8 Hypertrophe Narbe nach Osteosynthese einer lateralen Klavikulafraktur

Klinik und Diagnostik

Bei Keloiden handelt es sich häufig um ein gerötetes, stark juckendes Gewebe, das nicht auf die ursprüngliche Verletzung begrenzt bleibt, sondern tumorös wuchert (Abb. 17.7). Hypertrophe Narben dagegen sind weniger gerötet, der Juckreiz ist geringer oder gar nicht vorhanden und das Proliferationsgewebe bleibt auf das Verletzungsareal begrenzt (Abb. 17.8). Allerdings ist diese klinische Trennung nicht immer so deutlich, und Überlappungen sind nicht selten.

Prophylaxe

Exzisionen an Prädilektionsstellen bei Patienten um die Pubertätszeit, an unbedeckten Körperstellen und bei familiärer oder ethnischer Disposition erfordern eine sorgfältige Indikationsstellung. Die Schnittführung entlang der Langer-Hautlinien, die Vermeidung von Elektrokaustik, eine spannungsfreie Naht und die Infektprophylaxe sind ebenso wichtig. Eine Z-artige Schnittführung kann in machen Fällen von Vorteil für die Reduzierung der Wundspannung sein.

Therapie

Die therapeutischen Maßnahmen, die meist durch eine dermatologische Abteilung bzw. einen Dermatologen eingeleitet und durchgeführt werden, beinhalten folgende Möglichkeiten:

Kryochirurgie

Die Kryotherapie wird von vielen Autoren als Therapie der Wahl angesehen (Ernst u. Hundeiker 1995, Tebbe et al. 1995). Die hypertrophen Narben und Keloide werden mit flüssigem Stickstoff im Kontakt- oder Sprayverfahren behandelt. In einer großen Studie zeigte sich, dass frische und kleine Keloide insgesamt gut und schnell auf die Behandlung ansprachen, bereits länger bestehende und größere Keloide erwiesen sich oft als therapierefraktär (Ernst u. Hundeiker 1995). Die besten Resultate wurden bei hypertrophen Narben erzielt. Die Erfolgsquote betrug 82%. Befriedigende und gute Erfolge wurden bei 64% der Patienten mit Keloiden verzeichnet. Auch hier muss die Behandlung in 4-wöchigen Abständen mehrfach wiederholt werden. Die Frequenz schwankt zwischen 3 und 10 Sitzungen.

Exzision

Bei hypertrophen Narben zeigt die alleinige Exzision gute Erfolgsaussichten. Nach einer chirurgischen Entfernung eines Keloids muss die Wunde prophylaktisch mit Kortikosteroiden infiltriert werden (s. unten). Unterbleibt diese Maßnahme, muss mit einem Rezidiv gerechnet werden. Die Rezidivrate beträgt zwischen 45 und 100% (Berman u. Flores 1998).

Kortikosteroide

Intraläsional appliziertes Kortikosteroid verhindert in 50–100% der Fälle ein Keloid. Das meist verwendete Kortikosteroid ist Triamcinolon (z.B. Volon A) in einer Konzentration von 10–40 mg/ml in Intervallen von 4–6 Wochen.

Druck

Die Haut reagiert auf mechanischen Druck mit einer gerichteten Kollagensynthese und einer Verdünnung der Dermis. Wichtig ist, dass der Druck mindestens 24 mmHg beträgt und kontinuierlich mit einer maximalen Unterbrechungszeit von 3 h auf die Narbe ausgeübt wird. Diese Therapie sollte 6–24 Monate durchgeführt werden, um Erfolge zu erzielen.

Radiotherapie

Auch die Radiotherapie wird eingesetzt, wenngleich die Ergebnisse nur in der Hälfte der Fälle befriedigend sind (Braun-Falco et al. 1996).

Silikongel

Silikongelfolien (z.B. Epi-Derm) werden über mehrere Monate täglich mindestens für 12 h appliziert (Katz 1995). Der genaue Mechanismus des Silikongels ist noch nicht vollständig aufgeklärt. Diskutiert wird eine antiinflammatorische Wirkung und damit Verminderung des Gewebeödems. Dies wiederum führt langfristig zu einer Narbenabflachung.

Andere Verfahren

Weitere empfohlene Möglichkeiten sind CO_2-, Argon-, Neodym-Yag-, Helium- und Neolaser, intraläsionale Applikation von Interferon-γ oder Colchizin. Sie haben sich allenfalls in Einzelfällen bewährt und sind als Monotherapie nicht zu empfehlen. Die Wirksamkeit einer alleinigen lokalen Behandlung von Keloiden und hypertrophen Narben mit Salben und Cremes ist eher fraglich. Eine Besserung wurde allenfalls bei frischen Läsionen beobachtet (Tebbe et al. 1995).

Komplikationen und Prognose

Liegen Keloide oder hypertrophe Narben im Gelenkbereich, kann dies zu empfindlichen Funktionseinschränkungen führen. Weiterhin können entstellende Narben der Gesichtsregion, der Hände oder des Dekolletés zu einer starken psychischen Belastung und langfristig zu Veränderungen der Persönlichkeit führen. In seltenen Fällen wurde über eine maligne Entartung berichtet. Eine baldige Korrektur sollte deshalb immer angestrebt werden. Die Prognose hängt entscheidend von der frühzeitigen Erkennung einer hypertrophen Narbe oder eines Keloids ab. Wird dann eine Kombinationstherapie eingeleitet, kann mit guten bis befriedigenden Ergebnissen gerechnet werden.

17.1.7 Ödem

Ätiologie

Das posttraumatische Ödem ist durch eine vermehrte interstitielle Flüssigkeitseinlage infolge einer direkten Verletzung der Kapillargefäße und der Weichteile bedingt.

Nach initialer Verletzung der Kapillargefäße kommt es durch Einschwemmung von Histamin zu einer Gefäßdilatation, die eine erhöhte Durchblutung und damit eine Zunahme der Schwellung und des Hämatoms verursacht. Durch die Schwellung entsteht ein erhöhter Druck auf die Nervenenden. Der daraus resultierende Schmerz verursacht Muskelspasmen, die wiederum die Durchblutung vermindern und zur Hypoxie im betroffenen Bereich mit Zelluntergang führen können. Posttraumatische oder postoperative Ödembildung ist ein nahezu alltägliches Bild bei unfallchirurgischen Patienten. Die untere Extremität ist am häufigsten betroffen.

Klinik und Diagnostik

Die betroffene Extremität ist im Gegensatz zur gesunden Seite geschwollen. Die Patienten klagen über Schmerzen und Spannungs- bzw. Druckgefühl. Mit dem palpierenden Finger lassen sich Dellen in die Weichteile drücken, die sich zögerlich wieder auffüllen.

Die differenzialdiagnostische Abklärung umfasst v.a. folgende Erkrankungen:

- Herz- oder Niereninsuffizienz
- Lymphabflussstörung
- Phlebothrombose
- Kompartment-Syndrom

Therapie

Die in vielen Kliniken angewandte Standardtherapie zur Abschwellung besteht in Hochlagern der verletzten Extremität, Ruhigstellen und Kühlen, wobei die Kühlung umstritten ist. Einer Studie (Stöckle et al. 1995) zufolge soll die kontinuierliche Kryotherapie der herkömmlichen Intervallkryotherapie signifikant überlegen sein. Nach 4 Tagen war bei kontinuierlicher Kryotherapie im postoperativen Verlauf von Verletzungen des Sprunggelenks und Fußes eine durchschnittliche Abschwellung um 69% nachzuweisen, gegenüber 43% bei intermittierender Kryotherapie.

In einer Studie wurde über die positive Wirkung einer intermittierenden Impulskompression bei akuten posttraumatischen und postoperativen Ödemen am Fuß- und Sprunggelenk berichtet. Bereits nach 24 h konnte die ursprüngliche Schwellung um fast die Hälfte reduziert werden und war somit einer herkömmlichen Kryotherapie mit so genannten »cool packs« signifikant überlegen (Stöckle et al. 1997). Medikamentös kommen nichtsteroidale Antiphlogistika zum Einsatz.

Komplikationen und Prognose

Ausgeprägte Ödeme können Blasenbildung und nachfolgend oberflächliche oder sogar tiefe Nekrosen an der Extremität hervorrufen, deren Behandlung sich häufig als schwierig und langwierig erweist, und zu weiteren Komplikationen führen, z.B. Kontrakturen. Meist sind Ödeme von kurzer temporärer Art und heilen folgenlos ab.

17.1.8 Phlebothrombose

Bei einer Phlebothrombose handelt es sich um eine relativ plötzliche, intravasale Bildung eines Blutpfropfs z.B. in den Beinvenen mit teilweiser oder kompletter Blockierung des venösen Blutstroms.

Epidemiologie

Die tiefe Beinvenenthrombose ist eine ernste und häufige Komplikation nicht nur in der Unfallchirurgie. Selbst in der nichtverletzten Allgemeinbevölkerung liegt die Gefahr, eine tiefe Beinvenenthrombose zu entwickeln, bei 1–3/1000 und nimmt exponentiell mit dem Alter zu (Mayer et al. 1999). Bei Elektiveingriffen wie alloprothetischen Gelenkersatzoperationen liegt die Inzidenz der tiefen Beinvenenthrombosen bei nicht durchgeführter Prophylaxe zwischen 40 und 70% (Salzman u. Harris 1976, Sikorski et al. 1981).

Ätiologie

Die 3 Komponenten der Virchow-Trias (Hyperkoagulabilität, Stase und Endothelläsion) sind je nach Verletzung oder Operation in ihrer Gesamtheit oder mit Gewichtung einer einzelnen Komponente die wichtigsten pathogenetischen Faktoren. Bei bloßer Immobilisierung sind es insbesondere venöse Stase und Hyperkoagulabilität, welche die Thrombosebereitschaft erhöhen.

Aus den pathophysiologischen Abläufen resultiert, dass die Initialzündung für eine Venenthrombose schon intraoperativ erfolgen kann. Untersuchungen mit dem Radiofibrinogentest haben gezeigt, dass 50% der Thrombosen intraoperativ und 80–90% innerhalb der ersten 3–4 postoperativen Tage entstehen. Unter den Traumapatienten sind solche mit Wirbelsäulen-, Becken-, Ober- und Unterschenkelfrakturen sowie Frakturen mit Gelenkbeteiligung besonders gefährdet.

Nach Haas (1997) ergibt sich das individuelle Risiko für eine tiefe Venenthrombose aus erworbenen und angeborenen Faktoren. Die nachfolgende Übersicht zeigt eine Zusammenstellung häufiger Risikofaktoren.

Risikofaktoren für die Entstehung einer Phlebothrombose

Erworbene (expositionelle) Risikofaktoren:

- Lebensalter >40 Jahre
- Adipositas >20% Broca-Index
- Stammvarikosis
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- Immobilisation, z.B. durch einen Oberschenkelgips
- Zerebraler Insult
- Diabetes mellitus
- Frühere thromboembolische Komplikationen
- Sepsis
- Maligne Erkrankung, Chemotherapie
- Orale Kontrazeptiva mit einem Östrogenanteil >50 µg
- Nikotinabusus mit mehr als 15 Zigaretten pro Tag

Angeborene (dispositive) Faktoren:

- APC-Resistenz
- AT-III-Mangel
- Protein-C- und Protein-S-Mangel
- Dysfibrinogenämie
- Störungen der Fibrinolyseaktivierung

Bei Unfallverletzten wiegen die expositionellen Faktoren Trauma und Operation weit schwerer als dispositionelle (Geerts et al. 1994). Systematische Untersuchungen zur Häufigkeit postoperativer Thrombosen und Lungenembolien zeigten allerdings, dass Patienten ein unterschiedlich hohes Thromboserisiko mitbringen. Man unterscheidet deshalb zwischen niedrigem, mittlerem und hohem Gefährdungspotenzial (Tab. 17.1). Diese Einteilung hilft bei der Abschätzung des allgemeinen, nicht aber des individuellen Thromboserisikos (Haas 1997). Auch die Narkose beeinflusst die Inzidenz thrombotischer Komplikationen. Verschiedene Publikationen berichten, dass durch Anwendung der Spinal- und Epiduralanästhesie gegenüber der Intubationsnarkose eine Absenkung von postoperativen Thrombosen um etwa 25–40% erreicht wird.

Der Einsatz pneumatischer Blutsperren an den Extremitäten hat jedoch keinen Einfluss auf die Thromboserate. Man nimmt an, dass dies damit zusammenhängt, dass durch die Blutsperre fibrinolytische Substanzen aktiviert werden.

Klinik

Die klinische Diagnostik der Venenthrombose ist unzuverlässig und genügt weder für deren Bestätigung noch deren Ausschluss. Nur 20% der tiefen Beinvenenthrombosen werden klinisch erfasst. Vor allem an der unteren Extremität verlaufen Thrombosen häufig klinisch inapparent ab. Sensitivität und Spezifität der klinischen Zeichen wie Schwellung, Rötung, Überwärmung, Schmerzen und folgender Zeichen sind gering:

- Druckschmerz in der Leiste,
- Druckschmerz über dem Adduktorenkanal,

Tab. 17.1 Verschiedene Risikopotenziale in Abhängigkeit von der Schwere eines Traumas

Risikopotenzial	Beispiele für Verletzungen, Eingriffe, Immobilisation
Niedriges Risiko	Isolierte fibuläre Bandruptur, Schiene
Mittleres Risiko	Diagnostische Kniearthroskopie, Metallentfernung, Liegegips
Hohes Risiko	Hüft- und Kniegelenkersatz, verunfallter Patient, Polytrauma, multimorbider Patient, Risikofaktoren

- Schmerzprovokation durch Manschettendruck zwischen 60 und 120 mmHg,
- Schmerzen in der Wade bei Dorsalextension des Fußes,
- Druckschmerz in der Fußsohle,
- Druckschmerz im Verlauf der V. saphena magna an den Austrittspunkten der Perforansvenen und
- retromalleolärer Druckschmerz.

Diagnostik

Apparative Methoden

Wegen der geringen Aussagekraft der klinischen Zeichen muss zum Ausschluss oder Nachweis einer Thrombose eine apparative Untersuchungsmethode eingesetzt werden. Für das Routinescreening werden v.a. Sonografie, Phlebografie und MRT eingesetzt.

Mit der Kompressionsultraschalluntersuchung wird für die Erfassung von Oberschenkel- und Poplitealvenenthrombosen untersucherabhängig eine Sensitivität von 90–95% bei einer Spezifität von 97% erreicht (Partsch 1996). Das entscheidende Kriterium für den Nachweis einer Thrombose ist die fehlende Komprimierbarkeit einer Vene. Weitere Hinweise sind die erhöhte Echogenität des Thrombus, die Verdickung der Venenwand und die Erweiterung des Gefäßlumens. Eine deutlich geringere Aussagekraft besteht bei Thrombosen im Becken- und Unterschenkelbereich, und zwar auch dann, wenn eine zusätzliche Flussdarstellung durchgeführt wird.

Wenn durch den Ultraschall keine definitive Aussage getroffen werden kann, wird zur Abklärung des Ober- und Unterschenkelbereichs immer die Phlebografie eingesetzt. Im tiefen Beckenbereich ist die MRT allerdings der Phlebografie signifikant überlegen (Carpenter et al. 1993, Montgomery et al. 1995) und sollte deshalb bevorzugt werden.

Laborparameter

Die Bestimmung der D-Dimere kann als einfache Laboruntersuchung zum Screening und zur Verlaufsbeobachtung eingesetzt werden. In einer prospektiven Studie (Tempka et al. 1999) mit unfallchirurgischen Hochrisikopatienten traten keine falsch-negativen Ergebnisse auf, sodass er zum Ausschluss einer Thrombose geeignet ist. Im Falle eines positiven Schnelltests sollte zum sicheren Ausschluss bzw. Nachweis einer Thrombose eine Phlebografie durchgeführt werden.

Differenzialdiagnose

Abzugrenzen sind arterieller Verschluss, Lymphödem, Erysipel, hereditäres Angioödem, kardiales Ödem, posttraumatisches Ödem und Kompartment-Syndrom.

Prophylaxe

Nach derzeitiger Auffassung sollte jeder über 16 Jahre alte und thrombosegefährdete stationäre Patient eine medikamentöse Prophylaxe erhalten. Auf eine postoperative medikamentöse Prophylaxe kann im Kindes- und Jugendalter nur dann verzichtet werden, wenn keine zusätzlichen Risikofaktoren vorliegen und die Operation weniger als 30 min dauert. Ein 12-jähriges Kind mit deutlicher Adipositas oder ein 14-jähriges Mädchen mit Antiovulantien-Medikation muss dagegen bereits eine medikamentöse Prophylaxe erhalten (Koppenhagen u. Häring 1995).

Die Vermeidung venöser Thrombosen und ihrer Komplikationen wie Lungenembolie umfasst ein breites Spektrum allgemeiner und spezieller Maßnahmen. Verschiedene Prophylaxeempfehlungen sind in zahlreichen Studien untersucht worden:

Unfraktioniertes (low dose) Heparin

Die 3-malige, tägliche Gabe von 5000 IE oder auch 2-malige von 7500 IE gilt als etabliertes Verfahren bei Patienten mit niedrigem und mittlerem Thromboserisiko. Im Hochrisikobereich scheint es jedoch nicht ausreichend wirksam zu sein, wie Knudson und Mitarbeiter (1994) zeigten. Bei Traumapatienten hatte die alleinige Gabe von Low-dose-Heparin keine Effektivität im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Heparinprophylaxe.

Niedermolekulares Heparin

Es stehen inzwischen eine Vielzahl von Präparaten zur Verfügung, die jedoch aufgrund ihrer unterschiedlichen Anti-Xa-Einheiten nicht miteinander vergleichbar sind (z.B. Certoparin mit 3000 Anti-Xa-Einheiten; Enoxaparin mit 2000 Anti-Xa-Einheiten). Sie stellen derzeit im Vergleich zu anderen Antikoagulanzien, z.B. unfraktioniertem Heparin, hinsichtlich Wirkungsumfang, Nebenwirkungen in Form von Blutungskomplikationen und Praktikabilität das optimale peri- und postoperative sowie ambulante Thromboseprophylaktikum dar (Koppenhagen u. Häring 1995, Stammler u. Diehm 1998).

Bei niedrigem und mittlerem Risikoprofil gilt die einmalige Injektion mit täglich 2500–3000 Anti-Xa-Einheiten, subkutan appliziert, als ausreichend. Bei hohem Risiko hingegen bedarf es einer Dosierung von 4000–5000 Anti-Xa-Einheiten pro Tag.

Allgemein wird empfohlen, mit der Prophylaxe am Vorabend des Operationstags zu beginnen. Dabei soll ein Zeitintervall von etwa 12 h bis zum Beginn der Operation eingehalten werden.

Die Thromboseprophylaxe soll etwa 12 h vor Operationsbeginn, ggf. bereits am Vorabend, begonnen werden.

Eine Kontrolle der antikoagulatorischen Aktivität ist nicht nötig. Allerdings werden Thrombozytenkontrollen zum Ausschluss einer heparininduzierten Thrombozytopenie I oder II auch bei niedermolekularen Heparinen vor Beginn, dann zwischen dem 3. und 5. Tag nach Beginn und während der nächsten 3 Wochen 2-mal wöchentlich und am Ende der Behandlung empfohlen.

Bei elektiver Hüft- und Kniegelenkchirurgie wird eine prolongierte Prophylaxe mit niedermolekularem Heparin bis zum 35. postoperativen Tag empfohlen (Stammler u. Diehm 1998). Diese Maßnahme senkt signifikant die Inzidenz von Thrombosen v.a. zwischen dem 7. und 35. postoperativen Tag.

Bei elektiver Hüft- und Kniegelenkchirurgie sollte die Thromboseprophylaxe über den stationären Aufenthalt hinaus bis zum 35. postoperativen Tag weitergeführt werden.

Einzelne Fallberichte über ein erhöhtes Risiko einer intrazerebralen Blutung oder spinaler Hämatome nach Spinalanästhesie, führten zur Empfehlung, die konkurrente Verabreichung zu vemeiden (Food and Drug Administration 1997). Eine aktuelle Metaanalyse (Freedman et al. 2000) an 4049 Patienten mit Spinalanästhesie zeigte jedoch für das spinale Hämatom lediglich ein Risiko von 0,025% (1 Patient), wenn ein niedermolekulares Heparin bereits am Vorabend der Spinalanästhesie injiziert wird. Eine intrazerebrale Blutung wurde in keinem Fall beobachtet.

Marcumar

In Nordamerika ist die Marcumarisierung des Patienten mit einer therapeutischen International Normalized Ratio (INR) von 2–2,5 zur Verhinderung einer Thrombembolie, v.a. in der Hüftendoprothetik, ein häufig praktiziertes und zweifellos effektives Verfahren, das den anderen prophylaktischen Maßnahmen inklusive niedermolekularem Heparin in Hinblick auf Effizienz und Sicherheit

sogar überlegen erscheint. Dies ergab eine Metaanalyse (Freedman et al. 2000).

Weiterhin zeigte auch eine große retrospektive Studie mit über 2700 Hüftendoprothesen während eines Zeitraumes von 27 Jahren eine postoperative 90-Tage-Mortalität von nur 0,3%. Kein Patient verstarb direkt an einer pulmonalen Embolie. Allerdings verstarben 2 Patienten an einer Blutung (Dearborn u. Harris 1998).

Acetylsalicylsäure

Trotz anderweitiger Feststellungen gibt es Studien, die eine signifikante antithrombotische Wirksamkeit von Acetylsalicylsäure bei einer Dosierung von 2-mal 500 mg pro Tag nachweisen (Collins et al. 1994). Dies gilt selbst für Hochrisikopatienten (Zekert et al. 1974). In einer Studie war sogar die ambulante medikamentöse Thromboseprophylaxe mit Acetylsalicylsäure der niedermolekularen Heparinprophylaxe nicht unterlegen. Eine generelle Empfehlung wurde daraus aber nicht abgeleitet (Gehling et al. 1998).

Hirudin

Die entscheidende Wirkung der Hirudine besteht in einem direkten Thrombinantagonismus. Das bedeutet, dass Hirudine, im Gegensatz zu Heparinen, Thrombin unabhängig von plasmatischen Kofaktoren wie AT-III inaktivieren. In einer Studie (Eriksson et al. 1997) wurde die Wirksamkeit von 2-mal 15 mg Desidurin pro Tag bei Hüftgelenkersatz verglichen mit 2-mal 40 mg Enoxaparin pro Tag (subkutan appliziert). Dabei wurden signifikant weniger proximale tiefe Beinvenenthrombosen in der Hirudingruppe gefunden. Lungenembolien und Mortalität waren jedoch in beiden Gruppen gleich selten. Dennoch erscheint die breite Anwendung von Hirudinen zur Prophylaxe venöser Thrombosen in Anbetracht der deutlich höheren Kosten derzeit nicht gerechtfertigt (Der Arzneimittelbrief 1998).

Physikalische Maßnahmen

Neben der medikamentösen Prophylaxe sind physikalische Maßnahmen sehr wichtig für die Verhinderung von Thrombosen. Sie gehören zu den Basismaßnahmen. Das Ziel ist, den venösen Rückfluss zu beschleunigen. Die Wirkung hält allerdings nur für die Dauer der Maßnahme an. Dennoch vermag sie das Thromboserisiko signifikant zu reduzieren. Ob dadurch allerdings auch weniger Lungenembolien entstehen, bleibt umstritten. Zur Beschleunigung des venösen Rückstroms werden folgende Maßnahmen eingesetzt:

Lagerung der Beine. Die Thromboseprophylaxe kann bereits bei der Lagerung des Patienten berücksichtigt werden. Beim liegenden Menschen muss das venöse Blut vom Knie bis zur Leiste den so genannten Femoralisberg überwinden. Zum Ausgleich wird die Hochlagerung beider Beine um ungefähr 20° empfohlen, die Strömungsgeschwindigkeit erhöht sich dadurch um 80–150%.

Bewegungsübungen im Bett. Alle Bewegungsübungen im Bett setzen die Funktion der Muskelpumpe voraus. Die Patienten sollen beispielsweise die Beine heben und senken, sie kreisen lassen oder anstellen. Auch wenn nicht für jede einzelne Übung der Beweis der Wirksamkeit erbracht wurde, steht doch außer Zweifel, dass dadurch die Muskelpumpe aktiviert wird. Die Strömungsgeschwindigkeit lässt sich durch diese Maßnahmen jedenfalls um 50–90% erhöhen.

Sofort- oder Frühaufstehen. In der Klinik wird besonderer Wert auf eine möglichst frühzeitige Mobilisation gelegt. Die Muskelpumpe wird allerdings nur dann richtig aktiviert, wenn der Patient geht und nicht nur steht.

Es genügt nicht, den Patienten zu Zwecken der Thromboseprophylaxe einmal kurz vor das Bett zu stellen. Wenn der Patient nicht gehen kann, sollte er wenigstens auf der Stelle treten, damit die Muskelpumpe richtig aktiviert wird.

Bettfahrrad (z.B. Reck motor und Statio). Eine weitere Methode hat sich v.a. auf einigen Intensivstationen etabliert: das Bettfahrrad. Es scheint die weitaus effektivste Methode zu sein. Sie steigert die Strömungsgeschwindigkeit im Bein auf über 400%. Bei der Benutzung des Bettfahrrads ist spätestens 4 min nach Beginn die maximale Strömungsgeschwindigkeit erreicht. Daraus ergibt sich die Regel, den Patienten maximal 3-mal täglich für 5 min seine höchstmögliche Umdrehungszahl treten zu lassen.

Intermittierende pneumatische Kompression (z.B. SCD-Gerät, Kendall). Bei der intermittierenden Venenkompression werden in bestimmten zeitlichen Intervallen die Venen zyklisch entleert, indem computergesteuerte Beinmanschetten aufgepumpt werden. Hierdurch werden neben einem Blutströmungsanstieg um 240% auch fibrinolytische Faktoren freigesetzt. Die Manschetten können bereits intraoperativ eingesetzt werden und sollten so lange im Einsatz bleiben, bis der Patient aufstehen und mit normalen Antithrombosestrümpfen versorgt werden kann.

Nach einer Metaanalyse ist der Erfolg dieser Methode zur Verhinderung einer tiefen Beinvenenthrombose bei Patienten mit elektivem Hüft- und Kniegelenkersatz sogar der medikamentösen Prophylaxe mit niedermolekularem Heparin gleichzusetzen bzw. überlegen (Dearborn u. Harris 1998, Westrich et al. 2000).

Antithrombosestrümpfe. Die Effektivität der Antithrombosestrümpfe hängt entscheidend von der richtigen Anpassung ab. Die Anpassungsvorschriften der Hersteller sind genauestens zu beachten. Wichtig ist zudem, dass die Strümpfe faltenfrei sitzen. Im Hinblick auf die Blutströmungsgeschwindigkeit, die um 130% gesteigert wird, sollten die Strümpfe Tag und Nacht, im Liegen und Stehen getragen werden.

Auch bei Einsatz zusätzlicher physikalischer Verfahren muss eine medikamentöse Prophylaxe durchgeführt werden.

Ambulante Patienten

Ob auch ambulante unfallchirurgische Patienten mit immobilisierenden Verbänden der unteren Extremität, z.B. nach fibularer Bandruptur, generell eine medikamentöse Thromboseprophylaxe benötigen, steht weiter zur Diskussion. So fanden Kock et al. (1993) in einer prospektiven, kontrollierten, randomisierten Studie bei 176 Patienten, die prophylaktisch einmal täglich ein niedermolekulares Heparin erhielten, keine, in der unbehandelten Kontrollgruppe jedoch in 4,3% der Fälle (7 von 163 Patienten) eine tiefe Beinvenenthrombose.

Andererseits zeigten Gehling et al. (1994) in einer prospektiven Studie mit v.a. fibularen Bandrupturen, dass bei jungen Patienten mit einem niedrigen Risikoprofil und ohne zusätzliche Risikofaktoren eine generelle Prophylaxe nicht indiziert ist. Eine Prophylaxe sollte jedoch bei allen Patienten über 40 Jahren erfolgen, auch wenn keine zusätzlichen Risikofaktoren vorliegen.

Giannadikis et al. (2000) sehen ebenfalls eine generelle Prophylaxe bei jungen, gesunden Patienten mit einer Verletzung der unteren Extremität und einer Ruhigstellung im Gipsverband als nicht indiziert an.

Aus juristischer Sicht gilt, dass mit allen Patienten ein dokumentiertes Aufklärungsgespräch über die Notwendigkeit und mögliche Nebenwirkungen der medikamentösen Thromboseprophylaxe geführt werden muss (Koppenhagen u. Häring 1995).

Therapie

Unfraktioniertes Heparin

Die Grundlage der konservativen Therapie der frischen Beinvenenthrombose ist die sofortige Antikoagulation mit Heparin. Sie allein senkt die Mortalität entscheidend. Der antikoagulatorische Effekt des Heparins wird dabei im Wesentlichen durch die Interaktion mit Antithrombin III vermittelt. Hierdurch kommt es zu einer Konformationsänderung des AT-III-Moleküls und einer deutlichen Erhöhung der inaktivierenden Wirkung auf die Gerinnungsenzyme Thrombin (Faktor IIa), Faktor Xa und Faktor IXa.

Wichtig ist es, möglichst innerhalb von 24 h den therapeutischen PTT-Bereich von 46–70 s zu erreichen. Gelingt dies nicht, kommt es 15-mal häufiger zu einer Thrombusaszendierung (Geerts et al. 1995). Mit einem in enger Anlehnung an das von Raschke et al. (1993) beschriebenen, gewichtsadaptierten, unfraktionierten Heparinschema erreichen Patienten signifikant häufiger diesen Zielbereich. Es ist der Standardheparintherapie überlegen (Linke u. Kattenhagen 1999, ◘ Tab. 17.2).

Zum Ausschluss einer heparininduzierten Thrombozytopenie I oder II muss vor der ersten Gabe und dann 2-mal wöchentlich die Thrombozytenzahl kontrolliert werden. Eine Messung der Anti-Xa-Aktivität ist nur bei Personen <50 kg oder >80 kg Körpergewicht insbesondere bei Therapiebeginn anzuraten (Mayer et al. 1999).

Niedermolekulares Heparin

Die Hauptdifferenz zwischen unfraktioniertem Heparin und niedermolekularem Heparin besteht in der unterschiedlich hemmenden Wirkung auf Faktor Xa und Thrombin. Die inhibitorische Aktivität von unfraktioniertem Heparin auf Faktor Xa und Thrombin ist äquivalent. Sie steht im Verhältnis von 1:1. Dagegen inaktivieren niedermolekulare Heparine verstärkt den Faktor Xa, und zwar 4- bis 8-mal mehr. Die Wirkung der niedermolekularen Heparine ist zudem wegen der hohen Bioverfügbarkeit, längeren Halbwertzeit und dosisunabhängiger Clearance besser voraussagbar.

In der Akuttherapie der tiefen Venenthrombose galt bislang die intravenöse gewichtsadaptierte Gabe von unfraktioniertem Heparin über 5–10 Tage als Standard. Die Ergebnisse einer Vielzahl von Studien zeigten allerdings deutlich, dass niedermolekulare Heparine wirksamer und sicherer bezüglich verschiedener Faktoren wie Thrombusgröße, Rezidivrate, Blutungsneigung und Letalität sind (Leizorovicz et al. 1994, Lensing et al. 1995). Außerdem sind Kontrollen der antikoagulatorischen Aktivität in der Regel verzichtbar. Es wird überwiegend eine gewichtsadjustierte Dosierung in Höhe von 175–200 Anti-Xa-Einheiten pro kg KG, verteilt auf 2 Tagesdosen, empfohlen. Die Applikation der Tagesdosis über eine einmalige Injektion ist noch nicht ausreichend etabliert (Stammler u. Diehm 1998).

Marcumar

Routinemäßig wird bei Patienten am 2. oder 3. Tag nach Diagnosestellung einer tiefen Beinvenenthrombose überlappend zur akuten Heparintherapie mit einer Marcumartherapie begonnen. Die Cumarindosis wird hierbei an das täglich durchgeführte Monitoring der Prothrombinzeit (Quick-Wert) angepasst. Als Zielbereich wird derzeit ein Quick-Wert von 20–25% angesehen (INR 2,0–3,0). Bei Unterschenkelvenenthrombose dauert die Therapie in der Regel 3 Monate, bei Mehretagenthrombosen 6–12 Monate. Eine Langzeittherapie mit niedermolekularen Heparinen kann derzeit lediglich bei Kontraindikationen zu Cumarinen (z.B. Schwangerschaft) empfohlen werden. Über die optimale Dosierung besteht noch Uneinigkeit (Stammler u. Diehm 1998).

Begleitmaßnahmen

Eine initiale Kompressionsbehandlung hat in erster Linie die Schmerzbehandlung und die Verhinderung des Thrombuswachstums zum Ziel. Die Immobilisierung dient hauptsächlich der Schmerzbekämpfung. Es gibt derzeit keine Daten, die eine Reduktion des Lungenembolierisikos durch eine längere Immobilisation beweisen würden (Mayer et al. 1999). In Studien sah man bei einer Immobilisationszeit von unter 2 Tagen bei proximalen Thrombosen keine erhöhte Embolierate (Koopman et al. 1996, Levine et al. 1996).

Patienten mit tiefen Beinvenenthrombosen können sofort mobilisiert werden (Mayer et al. 1999).

Ist eine Becken- oder Oberschenkelvenenthrombose diagnostiziert, sollte interdisziplinär über eine Lysetherapie oder den prophylaktischen Einsatz eines V.-cava-Filters nachgedacht werden.

Komplikationen und Prognose

Eine symptomatische Lungenembolie entsteht bei Patienten mit Beckenverletzungen in 2–10% der Fälle. Klinisch inapparente Embolien sind jedoch wesentlich häufiger.

Die venöse Abflussbehinderung mit Ödem, Flussverlangsamung und schmerzhafter Faszienspannung kann im Extremfall zur

◘ **Tab. 17.2** Ablauf und Dosierungswahl bei Heparinisierung in Abhängigkeit vom PTT-Wert. Nach der Anfangsdosis erfolgt die weitere Heparinisierung abhängig vom PTT-Wert

PTT-Wert in s	Dosierung	Beispiel für einen ca. 60 kg schweren Patienten
Anfangsdosis	80 IE/kg KG als Bolus, dann 18 IE/kg KG/h	5000 IE als Bolus, dann 1000 IE/h
PTT <35	80 IE/kg KG als Bolus, dann Dosis um 4 IE/kg KG/h erhöhen	5000 IE Bolus und Dosis um 200 IE/h erhöhen
PTT 35–45	40 IE/kg KG als Bolus, dann Dosis um 2 IE/kg KG/h erhöhen	5000 IE Bolus und Dosis um 100 IE/h erhöhen
PTT 46–70	Keine Dosisänderung	Keine Dosisänderung
PTT 71–90	Dosis um 2 IE/kg KG/h reduzieren	Dosis um 100 IE/h reduzieren
PTT >90	Perfusor 1 h stoppen, dann Dosis um 3 IE/kg KG/h reduzieren	Perfusor 1 h stoppen, dann Dosis um 200 IE/h reduzieren

Phlegmasia coerulea dolens mit akuter Gefährdung der betroffenen Extremität führen. Die Schwellung ist dann so ausgeprägt, dass sie zu einer Kompression der Arterien führt.

Für die Entstehung eines postthrombotischen Syndroms mit Ulcus cruris ist insbesondere die Kombination von Venenobstruktion und Reflux verantwortlich.

Rezidivierende Thrombembolien können zur pulmonalen Hypertonie führen.

Heparininduzierte Thrombozytopenie

Bei Anwendung von unfraktioniertem und seltener auch von niedermolekularem Heparin kann eine heparininduzierte Thrombozytopenie (HIT) vom Typ I oder Typ II entstehen. Die Häufigkeit der HIT-I liegt etwa bei 0,5–1%. Der Abfall der Thrombozyten ist mäßig, tritt schon kurz nach Behandlungsbeginn auf und erreicht zumeist nicht den Wert von <100.000/µl. Sie beruht auf einer temporären Thrombozytenaggregation im Sinne einer Direktwirkung des Heparins. HIT-I tritt üblicherweise bis zu 3 Tage nach Beginn der Heparintherapie auf und gilt als ungefährliche, asymptomatische Thrombozytopenie. Die Laborwerte normalisieren sich spontan auch unter weiterer Heparingabe. Spezielle Heparinantikörper sind nicht nachweisbar, eine therapeutische Intervention ist nicht nötig.

Die HIT-II tritt mit einer Häufigkeit von ca. 3% nach 5–12 Tagen auf. Hierbei kommt es zur Thrombozytenaggregation aufgrund einer immunologischen Interaktion. Hämorrhagische Komplikationen sind mit 5% zwar insgesamt selten, ein Teil der Patienten erleidet aber schwerwiegende thromboembolische Komplikationen mit einer hohen Letalität. Beschrieben ist das »white-clot syndrom« mit thrombotischen, arteriellen und venösen Gefäßverschlüssen, die mit einer hämorrhagischen Nebennierennekrose, arteriellem Gefäßverschluss, tiefer Beinvenenthrombose, Lungenembolie, Herzinfarkt, Apoplex sowie neurologischen Ausfällen einhergehen können. Die frühzeitige Erkennung einer HIT-II ist für die Prognose des Patienten entscheidend. Aus diesem Grunde sollen neben sorgfältiger klinischer Beobachtung regelmäßig Thrombozytenkontrollen erfolgen: präoperativ, am 3. bis 5. Tag postoperativ, anschließend 2-mal wöchentlich und am Ende der Heparinbehandlung.

Bei Abfall der Thrombozyten auf 100.000–80.000/µl oder 50% des Ausgangswertes muss noch vor dem Ergebnis einer weiteren Laboruntersuchung, wie einem Thrombozytenaggregationstest, die Heparinzufuhr sofort gestoppt werden. Dafür reicht bereits der klinische Verdacht aus. Zuvor sollten andere Ursachen für eine Thrombozytopenie, wie eine Verbrauchskoagulopathie, Sepsis oder Nebenwirkungen anderer Medikamente, ausgeschlossen werden.

Falls eine weitere Antikoagulation notwendig ist, stehen zur Akuttherapie das Heparinoid Danaparoid-Natrium (Orgaran) und Hirudin (Refludan) zur Verfügung. Die Umstellung von unfraktioniertem auf niedermolekulares Heparin ist wegen der hohen Kreuzreaktivität obsolet.

Für die Therapie mit Orgaran wird für einen normalgewichtigen, 70 kg schweren Erwachsenen folgendes Therapieschema empfohlen (Wenzl et al. 1996): 2500 IE intravenös als initialer Bolus, anschließend 12-stündliche Dauerinfusion beginnend mit 400 IE/h und Reduzierung dieser Dosis um jeweils 100 IE/h alle 4 h. Danach 7 Tage 100–150 IE/h als Dauerinfusion unter Blutspiegelkontrolle. Die Konzentration im Blut soll zwischen 0,3 und 0,9 IE/ml liegen. Anschließend wird weiter 3-mal 750 IE subkutan verabreicht.

Für die subkutane Thromboseprophylaxe mit Desidurin werden 2-mal 15 mg/Tag empfohlen.

Orale Antikoagulanzien (Marcumar) werden erst zur Sekundärprophylaxe eingesetzt. Dem Patienten soll bei Verlassen der Klinik ein Marcumarausweis ausgehändigt werden.

17.1.9 Postoperative Pneumonie

Definition

Die postoperative Pneumonie ist eine akute, meist bakterielle Entzündung des Lungengewebes im Anschluss an einen operativen Eingriff. Sie gehört zu den häufigsten Komplikationen in der Chirurgie bzw. Traumatologie (Ephgrave et al. 1993, Garibaldi et al. 1981).

Ätiologie

Es wird postuliert, dass intraoperativ Erreger aus dem Gastrointestinaltrakt in das Lungengewebe gelangen (du Moulin et al. 1982). Häufiger sollen jedoch gramnegative Erreger aus der oropharyngealen Flora über Mikroaspiration in die tiefen Atemwege gelangen und zu einer Pneumonie führen (Estes u. Meduri 1995).

Im weiteren postoperativen, insbesondere intensivmedizinischen Verlauf sind dann v.a. respiratorische Funktionsstörungen wie Atemdepression, Hypersekretion mit Dyskrinie und Insuffizienz der mukoziliären Clearance, die einen circulus vitiosus verursachen können, Ausgangspunkt der Pneumonie.

Das Erregerspektrum umfasst meist gramnegative Bakterien wie Pseudomonas, Klebsiella, Proteus, Enterobacter oder Serratia. Zu den weiteren Erregern zählen insbesondere auch Staphylococcus aureus und verschiedene Anaerobier (Ephgrave et al. 1993, Schaberg u. Lode 1997).

Faktoren, die das Risiko einer postoperativen Pneumonie erhöhen und deshalb bei der Therapie berücksichtigt werden sollen, sind (Ephgrave et al. 1993, Garibaldi et al. 1981):

- Höheres Lebensalter
- Schwere Verletzung (Polytrauma)
- Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (chronic obstructive lung disease, COLD)
- Nikotinabusus
- Zusätzliche andere Infektionen
- Operationsdauer >5 h
- Intubationsdauer >2 Tage
- Intensivaufenthalt >6 Tage
- Stationärer Aufenthalt >15 Tage

Klinik

Häufig zeig sich ein plötzlicher Beginn mit Fieber über 38,5°C, evtl. mit Schüttelfrost, Husten und purulentem Auswurf. Je nach Schweregrad der Pneumonie finden sich zusätzlich Tachypnoe, Tachykardie, Zyanose, Bewusstseinstrübung, Oligurie oder Kreislaufversagen. Das Ausmaß wird durch die Gasaustauschstörung und die Änderung der Atemmechanik bestimmt.

Diagnostik

Das native Röntgenbild in 2 Ebenen zeigt bei einer typischen Pneumonie zumeist eine dichte, relativ scharf begrenzte, homogene Verschattung, die üblicherweise eine segmentale, lobuläre oder auch multilobuläre Verteilung aufweist. Die Befunde bei atypischen Pneumonien sind hingegen zumeist diffus, weniger abgegrenzt und inhomogen (Abb. 17.9).

Das Blutbild weist meist eine Leukozytose mit >10000/µl mit oder ohne Linksverschiebung auf. Das CRP ist ebenfalls erhöht.

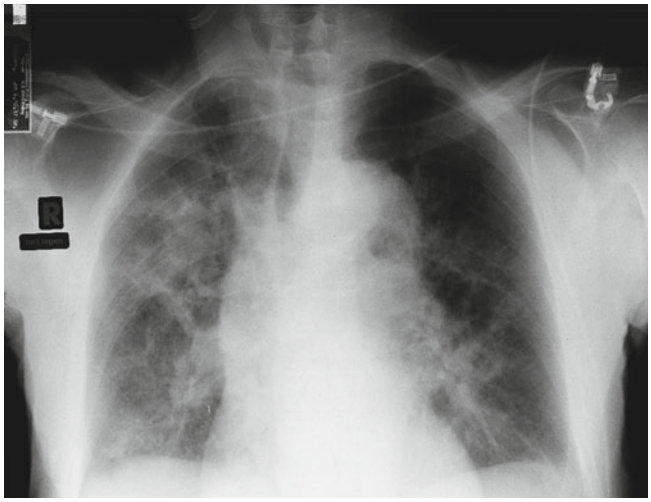


Abb. 17.9 Fast vollständige Verschattung des rechten und linken Lungenflügels. Die Patientin hatte im Rahmen der Versorgung einer Schenkelhalsfraktur postoperativ aspiriert. Als Ursache für die Aspiration wurde später ein großes Zenker-Divertikel entdeckt

Im Rahmen der Diagnostik, Differenzierung und Planung der Therapie stehen die Materialgewinnung und die mikroskopische Untersuchung im Vordergrund. Das Grundproblem der Materialgewinnung liegt jedoch weniger darin, überhaupt Bakterien nachzuweisen, als vielmehr diejenigen Erreger zu isolieren, die für die Pneumonie auch tatsächlich relevant sind (Schaberg u. Lode 1997).

Unverändert gilt Sputum als geeignetes Material, wenn es eindeutig purulent ist, >25 Granulozyten pro Gesichtsfeld ergibt und die Transport- und Aufarbeitungszeit unter 2 h liegen. Sputumbefunde, die reichlich Erreger der physiologischen Mundflora aufweisen, lassen jedoch eine Interpretation der Resultate nicht zu.

Sputum muss innerhalb von 2 h in ein Labor transportiert werden.

Wenn sich die Sputumdiagnostik nicht als aussagekräftig erweist, kann ein endoskopisches Verfahren indiziert sein. Optimal ist hier eine Materialgewinnung durch eine geschützte Bürste oder bronchoalveoläre Lavage. Beide Techniken versprechen eine hohe Sensitivität und Spezifität und werden als Goldstandard angesehen. Andere invasive Verfahren, z.B. transbronchiale Biopsie, Thorakoskopie oder offene Lungenbiopsie bleiben Problemfällen vorbehalten.

Serologische Methoden des Antikörper- und Antigennachweises aus Blut, Urin, Sputum oder Bronchialsekret können ebenfalls zur Diagnose führen, stehen aber für die aktuelle Therapieentscheidung häufig nicht zur Verfügung.

Differenzialdiagnose

Abzugrenzen sind:

- Atypische Pneumonien durch Viren, Mykoplasmen oder Pilze
- (Rezidivierende) Lungenembolie
- Myokardinfarkt
- Pleuritis
- Lungentuberkulose
- Lungenabszess
- Atelektasen
- Herzinsuffizienz
- Acute respiratory distress syndrome (ARDS)
- Lungenkontusion bei Traumapatienten

Prophylaxe

In der Prophylaxe stehen neben einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr von mindestens 1500 ml sowie der Anfeuchtung der Atemluft mit Ultraschallvernebler eine Vielzahl sowohl manueller atemtherapeutischer Techniken als auch technischer Hilfsmittel zur Verfügung, deren wichtigste im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Manuelle Therapie

Hierunter werden Techniken verstanden, die vom Physiotherapeuten mit den Händen am Thorax ausgeführt werden. Neben dem Lösen von Geweben und Sekrettransport wird auch das Unterstützen und Aktivieren von Ein- und Ausatembewegungen angewandt. Als Leitbegriffe stehen hierfür sowohl Techniken gegen Widerstand, durch Zug oder aus dem Propriozeptive-neuromuskuläre-Fazilitationen-Konzept (PNF) als auch Lagerungsdrainage, Klopfungen, Vibration, Schüttelungen, Thoraxkompression und Massagetechniken.

Triflo-Atemtrainer

Mit dem Triflo wird eine langsame, tiefe und anhaltende Atmung geübt, die zur Erweiterung der Alveolen und zur Sekretlösung führen kann. Beim Einatmen durch das Mundstück soll der Patient möglichst viel Sog aufbauen, damit der erste Ball angehoben und möglichst lange oben gehalten wird. Die Ausatmung erfolgt ohne Mundstück. Beim nächsten Atemzug soll nicht nur der erste, sondern auch der zweite Ball angehoben und gehalten werden. Weitere Atemzüge schließen sich an. Die Übung soll insgesamt 6-mal täglich jeweils mit 8–10 Atemzügen durchführt werden. Bei Kindern hat sich das Aufblasen eines Luftballons bewährt.

Giebelrohr

Das Giebelrohr ist ein variabler Totraumvergrößerer, der mit Ansatzstücken von je 100 ml verlängert werden kann. Der vergrößerte Totraum erhöht den arteriellen Kohlendioxiddruck. Dies wird vom Atemzentrum mit einer Steigerung der Atemtiefe beantwortet. Die Anpassung der Atmung an das künstlich vergrößerte Totraumvolumen benötigt jedoch mindestens 3 min.

Therapie

Einfache und überall zutreffende therapeutische Empfehlungen existieren für die postoperative (nosokomiale) Pneumonie nicht. Für die empirische antibiotische Anfangstherapie kann die Einteilung der Patienten nach dem Schweregrad ihrer Erkrankung hilfreich sein. Die antibiotische Therapie sollte allerdings nach Erhalt eines differenzierten mikrobiologischen Befundes einschließlich der Resistenzbestimmung adäquat angepasst werden (Tab. 17.3).

Die Dauer der antibiotischen Therapie kann individuell gestaltet werden (Lode et al. 1997). Milde bis mäßig schwere Pneumonien können innerhalb von 7–10 Tagen erfolgreich behandelt werden, eine Fortführung der anfänglichen intravenösen Antibiotikatherapie in Form von Tabletten ist häufig möglich. Infektionen mit Pseudomonas aeruginosa sind allerdings mit therapeutischen Misserfolgen, Rezidiven oder auch tödlichen Verläufen verbunden, sodass hier durchaus eine 2- bis 3-wöchige Antibiose notwendig wird.

Komplikationen und Prognose

Eine schwere akute Pneumonie kann zu einem septischen Schock und zu einer hochgradigen respiratorischen Insuffizienz führen, die eine intensivmedizinische Überwachung bis hin zur künstlichen Beatmung erforderlich machen. Weiterhin können sich Pleuraergüsse, Lungenabszesse oder Empyeme bilden. Bei vielen

Tab. 17.3 Die Schwere der Pneumonie und das Vorhandensein von Risikofaktoren entscheiden über die Wahl des Antibiotikums. (Therapieempfehlungen nach Lode et al. 1997)

Schwere der Pneumonie	Wahl des Antibiotikums
Milde bis mäßig schwere Infektion ohne besondere Risikofaktoren	Cephalosporine der 2. und 3. Generation oder β-Laktam-/β-Laktamase-Inhibitor
Milde bis mäßig schwere Infektion mit Risikofaktoren (Einfach- oder Zweifachkombinationstherapie)	Clindamycin oder β-Laktam-/β-Laktamase-Inhibitor mit oder ohne Glykopeptidantibiotika oder Makrolidantibiotika mit oder ohne Rifampicin
Schwere Infektion mit Risikofaktoren (Zweifach- oder Dreifachkombinationstherapie)	Aminoglykosid oder Ciprofloxacin plus eine folgende weitere Substanz: – Pseudomonas-wirksame Penicilline – β-Laktam-/β-Laktamase-Inhibitor – Ceftazim, Cefepim, Cefpirom – Imipenem, Meropenem – mit oder ohne Glykopeptidantibiotikum

Patienten ist eine Monotherapie zur Abheilung der postoperativen Pneumonie ausreichend (Lode et al. 1997). Bei Pseudomonas aeruginosa beträgt die Letalität 70%.

17.1.10 Wundheilungsstörung

Definition und Epidemiologie

Wundheilungsstörungen verzögern den physiologischen Heilungsverlauf. Man findet verlängerte Zwischenstadien. Das funktionelle und ästhetische Ausheilungsergebnis wird beeinträchtigt. Nach den Harnweginfekten ist die zweithäufigste nosokomiale Infektion die Wundheilungsstörung. Sie macht ca. 25% aller nosokomialen Infektionen aus. Akute Wundinfektionen sind überdies der häufigste Grund für einen operativen Reeingriff.

Ätiologie

Jede Wundinfektion ist das Resultat von 3 Determinanten: inokulierte Erreger, lokale Situation des Operationsgebiets und lokale und systemische Abwehrmechanismen.

Für die Entstehung postoperativer Wundinfektionen ist eine Reihe von Risikofaktoren bekannt:

- Operationsart und -dauer
- Vorhandensein eines Implantats, z.B. Endoprothese (Abb. 17.10)
- Alter des Patienten und begleitende Grunderkrankungen (z.B. Diabetes mellitus, Alkoholabusus)
- Schwere des vorangegangenen Traumas (Abb. 17.11)
- Traumatisierendes Vorgehen des Operateurs
- Verbliebene Instabilität einer Osteosynthese oder Fraktur

Abb. 17.10 Akuter Infekt 14 Tage nach Implantation eines bikondylären Gleitflächenersatzes am Knie

Abb. 17.11 Drittgradig offene Sprunggelenksluxationsfraktur. Der Patient wurde 4 h nach Unfall eingeliefert. Bis zu diesem Zeitpunkt war noch kein Repositionsversuch unternommen worden

Gequetschtes, nekrotisches Gewebe, belassene Hohlräume und insuffiziente Wunddrainage mit konsekutiver Ausbildung von Seromen bzw. Hämatomen gelten als häufigste Gründe für akute Heilungsstörungen (Hansis et al. 1995).

Nach sauberen Eingriffen ist die Hauptquelle der postoperativen Infektionen die endogene Bakterienflora des Patienten z.B. der Haut. Als bevorzugte Keime finden sich v.a. Staphylococcus aureus et epidermidis, Escherichia coli und Enterokokken.

Klinik

Neben den Kardinalzeichen der Entzündung, Rubor, Calor, Dolor, Tumor und Functio laesa fallen febrile Temperaturen und eine anhaltende Leukozytose mit Erhöhung des CRP auf. Die laborchemischen Parameter sind allerdings nicht in jedem Fall von ausreichender Verlässlichkeit und dürfen daher nicht als maßgebliche Begründung für eine unterlassene Revision herangezogen werden (Weise u. Schäffer 2000). Weitere wichtige Merkmale, die regelmäßig auftreten, sind vermehrte Sekretion und abnormer Geruch.

Diagnostik

Die Diagnostik der akuten Wundheilungsstörung beruht im Wesentlichen auf der klinischen Untersuchung. Maßgeblich sind die oben aufgezählten 5 Kardinalzeichen der Entzündung. Der Nachweis von 2 Infektionszeichen genügt jedoch bereits für die Indikation zur Revision (Hansis et al. 1995).

Apparative Möglichkeiten zur Diagnostik akuter Wundheilungsstörungen sind die Sonographie sowie das Leukozytenszintigramm, das in Zweifelsfällen zusätzliche Hinweise zur Akuität des lokalen Geschehens liefert.

Prophylaxe

Entscheidende Maßnahmen, Infektionen zu verhindern, ergeben sich in erster Linie aus der Beachtung der Regeln der Hygiene und Asepsis. Aber auch die ständige Weiterentwicklung der Osteosyntheseverfahren und chirurgischen Techniken, die immer weniger traumatisierend sind, immer mehr Stabilität vermitteln und die Operationszeiten verkürzt haben, wirken sich günstig aus. Große Bedeutung hat auch die perioperative antibiotische Therapie gewinnen können (Rübenacker u. Burri 1989).

Antibiotische perioperative Prophylaxe

Die prophylaktische, perioperative Gabe von Antibiotika hat die Rate postoperativer Wundinfektionen signifikant gesenkt. Unter den möglichen Therapieschemata wird heute routinemäßig der so genannte one- oder single-shot eingesetzt. Da das Risiko einer bakteriellen Kontamination gegen Ende eines operativen Eingriffs wesentlich höher als zu Beginn ist, bedarf es während der gesamten Operationsdauer eines ausreichend hohen Antibiotikaspiegels. Der ideale Zeitpunkt der initialen Verabreichung liegt deshalb unmittelbar präoperativ, bei Einleitung der Narkose. Während länger dauernder Eingriffe wird die Single-shot-Antibiose nach etwa doppelter Halbwertzeit oder, wenn massive Blutverluste aufgetreten sind, bereits früher wiederholt. Die Verabreichung des Antibiotikums bleibt allerdings im Gegensatz zu anderen Formen der Antibiotikaprophylaxe auf die Operationsdauer beschränkt.

Die Wahl des Antibiotikums muss das zu erwartende Erregerspektrum berücksichtigen. Bei unfallchirurgischen Patienten hat man es meist mit Staphylokokken zu tun. Während einige Autoren sehr schmal wirksame Antibiotika wie Oxacillin oder Flucloxacillin empfehlen, empfehlen viele Cephalosporine der 1. und 2. Generation. Neuere Cephalosporine oder Breitbandpenicilline bieten gegenüber z.B. Cefazolin bisher keine signifikanten Vorteile.

Inzisionsfolien

Da eine völlige Keimfreiheit des Operationsfeldes mit keinem der heute zur Verfügung stehenden Desinfektionsmittel zu erreichen ist, wurde versucht, durch Aufkleben von Inzisionsfolien die nach Desinfektion verbleibenden Mikroorganismen der Hautflora von der Operationswunde zu isolieren. Untersuchungen zufolge muss der Wert dieser Folien allerdings infrage gestellt werden. Beispielsweise fand man am Ende einer Operation auf der Folie ebenso viele Keime wie auf der Haut (Katthagen et al. 1992). Die meisten Studien kommen zu gleichen Ergebnissen. Deshalb kann nicht nur in Hinblick auf die Kosteneinsparung auf Inzisionsfolien verzichtet werden (Daschner et al. 1983, Kappstein u. Daschner 1989).

Inzisionsfolien haben keinen positiven Einfluss auf die postoperative Wundinfektionsrate.

Therapie

Infizierte Operationswunden müssen unverzüglich revidiert werden. Zum technischen Vorgehen s. ▶ Abschnitt 17.1.3, Nachblutung und Hämatom.

Die gesamte Operationswunde muss wiedereröffnet werden, um keine Verhaltungen zu übersehen. Zur Identifizierung des Keimspektrums werden in den verschiedenen Logen obligatorisch Abstriche entnommen. Alle Nekrosen sollen radikal entfernt werden. Die mechanische Reinigung durch eine gepulste Druckspülung (z.B. Jet-Lavage) kann hilfreich sein. Die radikale Nekrosektomie ist Voraussetzung für eine zeitgerechte, möglichst folgenlose Ausheilung. Gleiches gilt für die Ausräumung von Hämatomen und Seromen bzw. die Revision von Wunddehiszenzen und Wundrandnekrosen.

Wenn eine Infektion bis an das Implantat reicht, ist entscheidend, ob es fest sitzt. Je früher man eine Infektion erkennt und konsequent angeht, desto größer ist die Chance, das Implantat in situ belassen zu können und die Infektion dennoch in den Griff zu bekommen. Lockere Implantate müssen stabilisiert oder, wenn dies nicht möglich ist, ganz entfernt werden. Im Zweifelsfall kann ein Fixateur externe angelegt und auf diese Weise für ausreichende Ruhe im Wundbereich gesorgt werden. Die körpereigene Abwehr hat nur dann Chancen, den Infekt zu beherrschen, wenn sie ihn eingrenzen kann. Dies ist bei einer bestehenden Instabilität nicht möglich, weil durch die Unruhe im Implantatlager eine permanente Keimausschwemmung erfolgt. Zur Gesamtproblematik s. auch ▶ Kap. 14, Infektionen.

Das Wunddébridement ist meist nicht mit einem Eingriff abgetan, sondern erfordert häufig mehrere Schritte. Eine offene Wundbehandlung kann nur dann erfolgen, wenn in der Tiefe kein Implantat liegt und der Knochen durch eine ausreichend dicke Weichteilschicht gedeckt ist. Sie wird so lange durchgeführt, bis der Infekt abgeheilt ist und sauberes Granulationsgewebe entstanden ist. Für die temporäre Auffüllung infizierter, oberflächlicher, eher planer und feuchter Gewebedefekte eignet sich besonders die Konditionierung mit Kunsthaut (z.B. Epigard, Syspurderm). Tiefere Wunden, Wundhöhlen oder präformierte Hohlräume hingegen lassen sich am besten durch die Technik der Vakuumversiegelung behandeln. Bei sauberen Verhältnissen kann dann später je nach Situation eine Sekundärnaht, Spalthautdeckung oder Lappenplastik vorgenommen werden.

Größere und tief liegende Wunden können aber auch zunächst verschlossen und dann planmäßig in Intervallen von 3–6 Tagen revidiert werden, bis blande lokale Weichteilverhältnisse und 2 oder 3 negative Wundabstriche in Folge vorliegen. Ein einzelner negativer Keimnachweis wäre zu unsicher (Eyssel u. Graupe 1996).

Grundsätzlich wird immer eine begleitende, systemische Antibiotikatherapie bis zur Normalisierung der laborchemischen Parameter durchgeführt, jedoch für mindestens 6 Wochen. Um Resistenzen zu vermeiden, sollte mit der Therapie erst nach Vorliegen des Keimnachweises und des Antibiogramms begonnen werden. Lokale Antibiotikaträger, die sich rückstandslos auflösen, behindern die Infektausbreitung, reduzieren die ortsansässige pathologische Flora und begünstigen auf diesem Weg die Heilung (Hierholzer u. Hierholzer 1984).

Technik der Vakuumversiegelung

Der Gewebedefekt einschließlich etwaiger Wundhöhlen oder -taschen wird locker mit Polyvinylschaumstoff, der eine Saugdrainage enthält, aufgefüllt. Es können beliebig viele Einzelteile neben und übereinander gelegt werden. Haut und Schaumstofflagen werden abschließend mit einer transparenten, für Wasserdampf durchlässigen, aber für Bakterien undurchlässigen luftdichten Folie versiegelt und zunächst über einen Sauger Sog aufgebaut. Der Sog kann anschließend durch Anlage von Redon-Flaschen aufrechterhalten werden. Sollte das System nicht dicht sein, muss kontinuierlich über spezielle Vakuumpumpen Luft abgesaugt werden. Bei Verwendung von Pumpen kann der Sog auch intermittierend ausgeübt werden. Dadurch bildet sich das Granulationsgewebe noch rascher. Normalerweise wird ein Sog von 100 bis maximal 300 mmHg

angewandt (Zöch 2000). Bei suffizienter Versiegelung ist die Folie konkav eingezogen und der Schaumstoff fühlt sich hart an.

Zu Therapiebeginn, in der Reinigungsphase und bei stark infizierten Wunden empfiehlt sich ein täglicher Verbandswechsel. In der Granulationsphase wird der Verbandswechsel üblicherweise alle 48 h durchgeführt.

Solange ein Sog vorhanden ist, die sichtbaren Wundränder keine Entzündungszeichen aufweisen und der Patient frei von septischen Erscheinungen ist, kann abgewartet werden, bis sich ein ausreichender Rasen von Granulationsgewebe gebildet hat und damit günstige Bedingungen für eine Sekundärnaht, Hauttransplantation oder Lappenplastik gegeben sind. Verbandswechsel sind während dieser Zeit nicht notwendig (Fleischmann et al. 1993). Im eigenen Vorgehen wird jede Versiegelung jedoch spätestens nach 7 Tagen gewechselt. Verliert der Verband den Sog, muss davon ausgegangen werden, dass sich in der Wunde ein Sekretstau bildet. Dies zeigt sich an der fehlenden konkaven Einziehung der Folie, am Weichwerden des Schwamms und daran, dass sich unter der Folie Flüssigkeit ansammelt. Dann sollte man schnell handeln, die »feuchte Kammer« sofort öffnen und eine neue Vakuumversiegelung anlegen.

Komplikationen und Prognose

Neben septischen Komplikationen mit lebensbedrohlichen Zuständen stellt v.a. das Übergreifen auf operativ versorgte Areale wie Frakturen, Sehnen- oder Bandrupturen und endoprothetisch ersetzte Gelenke eine gravierende Komplikation des Wundinfekts dar. Mit den rechtzeitig eingeleiteten oben genannten Behandlungsstrategien sind Sekundärschäden und ungünstige Langzeitresultate in vielen Fällen zu vermeiden. Die Indikation zur Revision sollte deshalb grundsätzlich immer großzügig und möglichst rasch gestellt werden.

17.2 Spezielle Komplikationen in der Traumatologie

17.2.1 Algodystrophie

Definition und Epidemiologie

Algodystrophie ist eine schmerzhafte Erkrankung mit vasomotorischen und trophischen Veränderungen im Bereich der oberen, seltener der unteren Extremität. Es gibt zahlreiche synonyme Begriffe, z.B. Morbus Sudeck, Sudeck-Dystrophie, reflektorische Sympathikusdystrophie, Kausalgie, posttraumatische Dystrophie.

Genaue Angaben zur Inzidenz liegen nicht vor. Schätzungen deuten jedoch darauf hin, dass ungefähr einer von 2000 unfallchirurgischen Patienten betroffen ist (Plewes 1956). Nach einer distalen Radiusfraktur vom Typ Colles liegt die Inzidenz für eine Algodystrophie bei 7–37% (Berman u. Flores 1998, Decurtins u. Goti 1998). Auch am Fuß ist die Inzidenz erhöht.

Ätiologie

Die Symptome der Algodystrophie wurden bereits vor Jahrhunderten beschrieben. Ihre Pathophysiologie ist aber bis heute nicht zweifelsfrei geklärt. Eine Fehlverarbeitung schmerzhafter Afferenzen scheint über eine überschießende Sympathikusaktivierung zu lokalen Perfusions- und Stoffwechselstörungen mit Entzündungsreaktionen und Durchblutungsstörungen aller Weichteilschichten und des Knochens der betroffenen Extremität zu führen. Die Sympathikusaktivierung wird auf zentralnervöser Ebene über einen circulus vitiosus unterhalten. Man unterscheidet die primäre, idiopathische von der sekundären, reflektorischen Algodystrophie, die meist in Verbindung mit einem Trauma beobachtet wird. Dabei ist die obere Extremität deutlich häufiger als die untere betroffen. Folgende in der Übersicht genannte Ursachen können eine Algodystrophie auslösen oder verstärken.

Ursachen für eine Algodystrophie

Trauma- oder Therapiefolgen:

- Distorsionen, Kontusionen, Frakturen
- Mangelnde oder zu lange Ruhigstellung von Frakturen
- Immobilisation oder zu eng anliegender Gipsverband
- Traumatisierende Operationsweise
- Wiederholte Repositionen
- Schmerzhafte Physiotherapie

Vorerkrankungen:

- Lungen- oder Herzerkrankungen
- Zentralnervöse Erkrankungen
- Tumoren
- Hyperthyreose
- Diabetes mellitus
- Blutungen
- Nervenengpässe (z.B. Karpaltunnelsyndrom)

Eine Analyse von 50 Fällen mit Algodystrophie nach distaler Radiusfraktur zeigte folgende typische Ursachen (Hansis 1999): Nahezu alle Verletzungen wurden konservativ behandelt, obwohl in etwa zwei Drittel der Fälle instabile Frakturen vorlagen. Über die Hälfte der Repositionen wurden ganz ohne oder in nicht ausreichender Analgesie vorgenommen. 30 von 40 Repositionen waren unvollständig und 19 redislozierten.

In der Schwangerschaft kann eine Algodystrophie häufiger entstehen als bei nichtschwangeren Frauen.

Verschiedene prädisponierende psychosoziale Faktoren, z.B. eine vegetative oder emotionale Labilität und die Hypochondrie, werden mit der Entwicklung der Algodystrophie in Verbindung gebracht. Eine kritische Literaturübersicht ergab jedoch hierfür keinen Hinweis (Bruehl u. Carlson 1992).

Klinik und Diagnostik

Allgemein anerkannt ist die in ◘ Tab. 17.4 wiedergegebene Stadieneinteilung (Panknin u. Vogel 1993). In dieser Tabelle sind auch die typischen Symptome der Erkrankung wie brennender Dauerschmerz, Ödem, Hyperthermie, Hyperhidrose, Hypertrichose, Glanzhaut, Bewegungseinschränkung und Dystrophie den verschiedenen Stadien zugeordnet (◘ Abb. 17.12).

Neben dem Nativröntgen können Szintigrafie und MRT zur Verlaufskontrolle herangezogen werden. Beide Untersuchungstechniken erbringen deutlich früher positive Ergebnisse als das Röntgen.

Differenzialdiagnose

Abzugrenzen sind:

- pAVK
- Schleichender Infekt
- Rheumatische Erkrankungen
- Hyperurikämie
- Aktivierte Arthrosen
- Aseptische Knochennekrosen

- Inaktivitätsosteoporose
- Ermüdungsfrakturen
- Tumoren
- Phlebothrombose

Prophylaxe

Nach Möglichkeit sollte auf eine längere Immobilisation mit der Gefahr einer anhaltenden Instabilität oder sekundären Dislokation im zirkulären Gips verzichtet und nach Möglichkeit eine übungsstabile Osteosynthese angestrebt werden. Repositionen müssen schonend unter ausreichender Analgesie durchgeführt werden. Das Repositionsergebnis sollte so gesichert werden, dass keine erneuten Repositionen nötig sind.

Therapie

Medikamente

Stehen bei dem Patienten die Schmerzen im Vordergrund, so ist in jedem Stadium eine ausreichende Schmerzmedikation, z.B. mit nichtsteroidalen Antiphlogistika indiziert.

Im Stadium I und II wird zusätzlich eine medikamentöse Therapie mit Kalzitonin empfohlen (Münzenberg 1978). Hierdurch kommt es zum Rückgang der brennenden Schmerzen und nach einigen Wochen auch der Ödeme und der Temperaturveränderungen. Im Stadium III ist das Medikament allerdings unwirksam. Synthetisch hergestellte Präparate sollten bevorzugt werden, weil sie wesentlich besser als die von Tieren stammenden vertragen werden und somit seltener zum Therapieabbruch führen. 2–4 Wochen lang sollen täglich 0,25–0,5 mg Kalzitonin subkutan gespritzt werden.

Patienten mit kühler Haut, meist im Stadium II, können durch den frühzeitigen Einsatz von Vasodilatoren (z.B. Pentoxyfilin 1- bis 2-mal 400 mg/Tag oral) profitieren (van der Laan 1997). Hierdurch wird die Perfusion der Extremität verbessert.

Bleibt die Hauttemperatur trotz Behandlung mit Vasodilatoren kühl, wird von manchen Autoren als ultima ratio in einem frühen Stadium eine Sympathikusblockade empfohlen. In doppelblinden, randomisierten Studien konnte jedoch kein Unterschied zwischen einer Sympathikusblockade und einer Plazebobehandlung festgestellt werden (Jadad et al. 1995, Ramamurthy u. Hoffmann 1995).

Tab. 17.4 Stadieneinteilung der Algodystrophie: Die Einteilung kann nur als grobe Orientierungshilfe dienen, da der Krankheitsverlauf Phasen überspringen kann und Übergänge fließend sein können. (Nach Bruehl u. Carlson 1992)

Stadium	Dauer	Klinik	Röntgen
I: Hyperämie	1–8 Wochen posttraumatisch	Brennende Dauerschmerzen Überempfindlichkeit Ödem Hyperthermie Hyperhidrose Hypertrichose	Eventuelle gelenknahe feinfleckige Entkalkung
II: Dystrophie	2–3 Monate posttraumatisch	Schmerzen Hyperpathie Kühle, glänzende, livide Haut Beginnende Fibrosierung der Subkutis Gestörte Beweglichkeit	Deutliche, herdförmige Entkalkung, die auf die Meta- und Diaphyse übergreift
III: Atrophie	Etwa 1 Jahr posttraumatisch	Haut- und Muskelatrophie Gelenkkapselschrumpfung Sehnenverkürzung Einsteifung von Gelenken	Hochgradige, grobwabige, teilweise fleckige Osteoporose

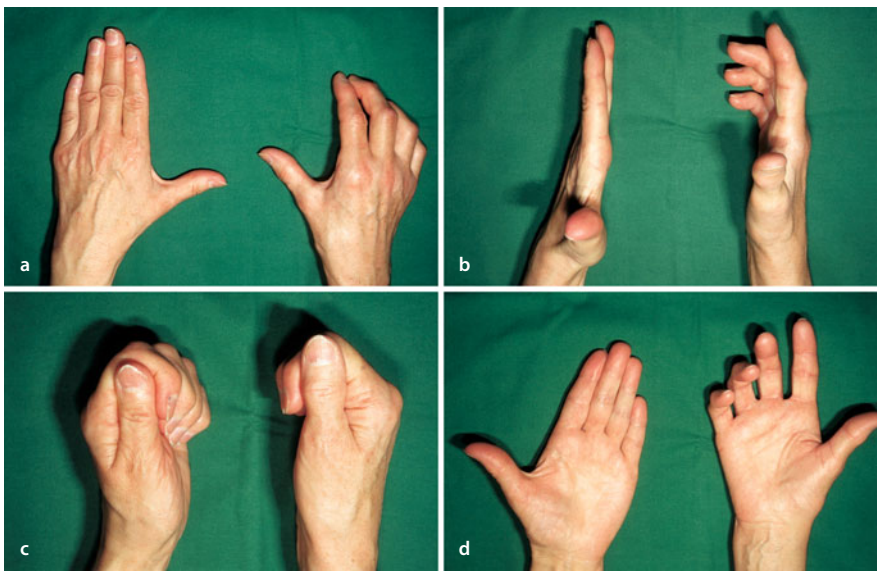


Abb. 17.12a–d Algodystrophie der rechten Hand nach distaler Radiusfraktur Stadium II: glänzende Haut mit gestörter Beweglichkeit

Im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung kann bei chronischen Schmerzen eine spinale Nervenstimulation erwogen werden (Kemler et al. 2000, Kumar et al. 1997). Hiermit wird eine deutliche Schmerzreduktion erreicht. Der funktionelle Status bleibt jedoch auch unter zusätzlicher Physiotherapie unbeeinflusst (Kemler et al. 2000).

Physiotherapie

In allen Stadien der Algodystrophie ist eine begleitende Physiotherapie indiziert (Kissling u. Sager 1990):

Im **Stadium I** umfasst diese aktive Muskelübungen unterhalb der Schmerzgrenze, moderate Kryotherapie, Lymphdrainage außerhalb des betroffenen Areals und anschließend Ruhigstellung und Hochlagerung der betroffenen Extremität.

Die Anwendung der Kryotherapie kann zu gesteigerter reflektorischer Hyperämie führen und dadurch den circulus vitiosus unterhalten

Im **Stadium II** werden die aktiven Muskelübungen unterhalb der Schmerzgrenze weitergeführt, die Kryotherapie jedoch durch milde Wärme ersetzt. Dehnungsübungen, Ultrakurzwelle und Bindegewebemassage können bedarfsweise eingesetzt werden.

Im **Stadium III** steht die Förderung der Durchblutung (z.B. Fango) mit Gefäßtraining (z.B. Quengel) im Vordergrund. Aktive und passive Muskelübungen werden unterhalb der Schmerzgrenze weitergeführt.

Bei der Mobilisierung der betroffenen Gelenke muss unbedingt die Schmerzgrenze beachtet werden.

Prognose

Die Übergänge zwischen den einzelnen Stadien sind fließend. In den Stadien I und II ist eine Restitutio ad Integrum noch möglich, ein Stadium III jedoch irreversibel. Die beste Therapie der Algodystrophie ist die Prophylaxe.

17.2.2 Fettembolie und Fettemboliesyndrom

Definition

Zwischen Fettembolie und Fettemboliesyndrom muss unterschieden werden (Bulger et al. 1997). Fettembolie bedeutet verletzungsbedingte oder iatrogene Einschwemmung von Bestandteilen des Knochenmarks in Form von Zelldetritus und Fettmark über die venösen Sinus in den Körperkreislauf und das Lungenparenchym. Fettemboliesyndrom bedeutet hingegen die symptomatische Manifestation einer Fettembolie durch respiratorische Insuffizienz, Thrombozytopenie und zerebrale Beteiligung innerhalb von 72 h nach Trauma (Levy 1990).

Epidemiologie

Eine Fettembolie ist häufig und kann mittels unterschiedlichster Techniken bei bis zu 90% aller Patienten mit Frakturen langer Röhrenknochen nachgewiesen werden (Bulger et al. 1997). Andererseits ist die Morbidität für ein manifestes Fettemboliesyndrom deutlich geringer. Sie liegt bei isolierten Frakturen langer Röhrenknochen zwischen 0,9 und 2% (Bulger et al. 1997, Müller et al. 1994), wobei die Altersgruppe zwischen 18 und 29 Jahren am häufigsten betroffen ist (Baltensweiler 1997). Bei Mehrfachverletzten oder polytraumatisierten Patienten steigt die Inzidenz für ein Fettemboliesyndrom deutlich an (Levy 1990). Die Letalitätsrate liegt zwischen 5% und 10% (Bulter et al. 1997, Fulde u. Harrison 1991).

Ätiologie und Pathogenese

Es wird angenommen, dass bei Frakturen langer Röhrenknochen, Frakturstabilisierung und der Implantation von Hüft- und Knieendoprothesen als Folge der Erhöhung des intramedullären Drucks Markfettpartikel in das venöse System ausgeschwemmt werden, die fast immer in den Kapillargebieten der Lunge zu tropfenförmigen Fettausgüssen führen. Dies verursacht eine pulmonale Mikroembolie mit erhöhtem Perfusionsdruck, Stauung der Lungengefäße und sekundärer Überlastung des rechten Herzens. Daraus kann eine Hypoxämie mit möglichem akutem Rechtsherzversagen entstehen. Durch ein offenes Foramen ovale kann aber auch ein paradoxes zerebrales Fettemboliesyndrom zustande kommen. Im eigenen Patientenkollektiv sahen wir diesbezüglich einen fulminanten Verlauf nach Marknagelung einer Femurfraktur. Weiterhin bewirkt das Knochenmark im venösen Gefäßsystem eine enorme Gerinnungsaktivierung mit Thrombozytenabfall und Verbrauchskoagulopathie. Als Spätfolge können am Körperstamm und subkonjunktival Petechien auftreten.

Neben der Genese im Rahmen von Beckenfrakturen entsteht ein Fettemboliesyndrom iatrogen am häufigsten bei:

- Repositionen langer Röhrenknochen insbesondere am Femur
- Intramedullärer Stabilisierung langer Röhrenknochen
- Implantation von Hüft- und Knieendoprothesen

Marknagelung

Zur großen Fetteinschwemmung kommt es bei der intramedullären Frakturstabilisierung, wenn vermehrt Druck auf die Markhöhle appliziert wird, wie es beim Aufbohrvorgang für den Marknagel am Femur der Fall sein kann. Die gemessenen maximalen Druckwerte liegen zwischen 400–500 mmHg (Heim et al. 1993). Diese Werte werden v.a. bei der Eröffnung und den ersten Bohrergrößen erreicht. Bei ausreichend aufgebohrter Markhöhle führt das Einschlagen des Nagels zu keiner übermäßigen Drucksteigerung mehr.

Außerdem bestehen folgende Zusammenhänge (Wenda et al. 1988, 1990):

- je großkalibriger die Bohrwelle, desto höher der hydraulische Effekt,
- je schneller eine flexible Bohrwelle in den Markraum eingebracht wird, desto höher sind die Markraumdrücke,
- je proximaler eine Fraktur liegt, desto höher sind die im Schaftbereich auftretenden Druckspitzen.

Relevante Einschwemmungen von Markrauminhalt treten insbesondere im Bereich des Femur auf, an der Tibia stellt die Fettembolie dagegen kein so großes Problem dar.

Bei unaufgebohrten Marknägeln betragen die Druckwerte im Mittel zwischen 200 und 300 mmHg (Heim et al. 1993). Hier entfällt die Druckerhöhung durch den Bohrvorgang. Jedoch können beim Einschlagen des Nagels genauso hohe Drucke wie beim Aufbohren des Markraums entstehen.

Für die Prävention des Fettemboliesyndroms ergeben sich am Femur keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Verwendung von unaufgebohrten oder aufgebohrten Marknägeln.

Endoprothetik

In der Hüftendoprothetik konnten Druckspitzen bis 420 mmHg beim Einbringen von Instrumenten, z.B. der Formraspel, in den Femurmarkraum gemessen werden (Hofmann et al. 1993). Durch das Raspeln des Markraums und die Prothesenplatzierung im Schaft kann auch bei der zementfreien Implantation eine Fett- und

Knochenmarkembolisation beobachtet werden. Dies geschieht jedoch viel seltener als bei der Verwendung von Knochenzement. Hier wurden die höchsten Werte beim Eindrücken des Zements durch die Schaftkomponente gemessen.

Der intraoperative Blutdruckabfall während des Einbringens des Knochenzements ist keine toxische Reaktion des Körpers auf bestimmte Zementbestandteile, sondern eine Erhöhung des pulmonalen Widerstandes durch eine Fettembolie, wobei letztere meist passagerer Natur ist.

Klinik und Diagnostik

Das Fettemboliesyndrom manifestiert sich bei 46–60% der Patienten in den ersten 24 h und bei über 90% in den ersten 72 h (Baltensweiler 1997). Mit Einführung der transösophagealen Echokardiografie konnten erstmals Einschwemmungen von Knochenmarksubstanzen bei Hüftprothesenimplantationen und Marknagelungen nachgewiesen werden (Christie et al. 1994, Wenda et al. 1989). Trotzdem stützt sich die definitive Diagnosestelllung v.a. auf klinische Erfahrungen und Einteilungen (Buler et al. 1997).

Nach Gurd (1970) werden Haupt- und Nebenkritierien unterschieden. Er diagnostizierte ein manifestes Fettemboliesyndrom, wenn ein Hauptsymptom und 4 Nebensymptome nachgewiesen wurden (Tab. 17.5).

Es ist allerdings unmöglich, alle Symptome eines Fettemboliesyndroms an einem Patienten nachzuweisen. Überdies bestehen sehr große Unterschiede in der Ausprägung der klinischen Zeichen. Viele Kriterien sind unspezifisch und mit anderen Komplikationen zu vereinbaren. Nach Polytrauma oder großen operativen Eingriffen ist beispielsweise der Fettnachweis im Urin in 50–95% der Fälle positiv, obwohl nur in 5–10% eine klinische Manifestation des Fettemboliesyndroms besteht.

Differenzialdiagnose

Differenzialdiagnostisch muss eine Lungenerkrankung anderer Genese ausgeschlossen werden, z.B. Lungenödem, Bronchopneumonie, Pneumothorax, Hämatothorax oder eine Embolie aus dem venösen System. Ebenso kommen beim Polytraumatisierten eine intrakranielle Blutung, ein Kreislaufschock oder ein Schädel-Hirn-Trauma in Betracht. Eine pulmonale Störung, die später als 72 h postoperativ auftritt, kann nicht mehr ursächlich und allein auf eine Fettembolie zurückgeführt werden (Peltier 1988).

Tab. 17.5 Haupt- und Nebenkriterien für ein Fettemboliesyndrom

Hauptkriterien	Nebenkriterien
Hypoxämie mit einem PaO2 <60 mmHg	Tachykardie >120 Schläge/min
Zerebrale Veränderungen wie Verwirrtheit, Benommensein, Bewusstlosigkeit	Temperaturerhöhung >38,3°C
Petechien v.a. konjunktival, retinal, axillär	Retinale Embolie in der Funduskopie
Lungenödem	Fett im Urin und Sputum, Thrombozytopenie <150.000/µl, Abfall des Hämatokrit, Anämie

Hypoxie,Verwirrung und beginnende Petechien bei Patienten mit Femurfraktur machen ein Fettemboliesyndrom wahrscheinlich. Anhand der Nebenkriterien lässt sich die Diagnose sichern

Prophylaxe

Bei der Prophylaxe wird mit verschiedensten Methoden versucht, dem entscheidenden pathogenetischen Faktor, der Erhöhung des intramedullären Drucks, entgegenzuwirken.

Marknagelung

Ist der Zustand des Patienten stabil und handelt es sich um eine solitäre Fraktur, kann eine unaufgebohrte Verriegelungsnagelung am Oberschenkel primär durchgeführt werden. Beim polytraumatisierten Patienten oder bei gleichzeitigem Thoraxtrauma ist dies jedoch nicht vertretbar (Wenda et al. 1993). Solche Patienten sollten primär mit einem Fixateur externe versorgt werden. Erst nach Konsolidierung der Gesamtsituation kann dann frühzeitig auf einen Marknagel umgestiegen werden.

Für die unaufgebohrte Nagelung gelten die gleichen Empfehlungen wie für das Aufbohren. Rasches Vorantreiben führt zu erheblicher Druckerhöhung. Der Versuch der Markhöhlenentlastung durch eine distale 4,5-mm-Bohrung vermag laut Heim et al. (1993) den Druckanstieg nicht entscheidend zu senken. Im Widerspruch dazu steht die Beobachtung von Röder u. Isemer (1998). Die Autoren konnten zeigen, dass durch Anbringen einer Bohrung etwa 5 cm distal der Spitze eines Gammanagels die Markeinschwemmung beim Einbringen des Implantats deutlich reduziert war.

Endoprothetik

Bei der Implantation von Knieendoprothesen wird eine wirksame Druckverminderung erreicht, indem man den Zugang zur Markhöhle vor dem Einbringen des intramedullären Führungsstabs großzügig erweitert.

Beim Einpressen der femoralen Komponente der Hüftprothesen sind die Probleme komplexer. Empfohlen wird ein schrittweises Eröffnen der Markhöhle. Die Stellungnahmen zur gleichzeitigen Anwendung eines Entlastungslochs von etwa 4,5 mm Durchmesser distal der Prothesenspitze sind kontrovers. Hofmann et al. (1991) erreichen damit intraoperativ eine Druckminderung beim Raspeln. Beim späteren Zementieren blieben die Druckwerte dennoch deutlich über 200 mmHg. Trotzdem gelingt es, mit einem 4,5-mm-Bohrloch die Druckspitzen praktisch zu halbieren (Isendorf u. Ritter 1977). Beim Einsatz kanülierter Ahlen und Raspeln baut sich ebenfalls weniger Markraumdruck auf (Schmidt et al. 2000).

Tierexperimentell zeigte sich, dass durch den Einsatz einer gepulsten Druckspülung (Jet-Lavage) bei der Implantation zementierter Hüftendoprothesen im Vergleich zur manuellen Spritzenspülung das Risiko für die Entstehung von Fettembolien durch Reduzierung intramedullären Fetts und Knochenmarks deutlich gesenkt werden kann (Breusch et al. 2000).

Vor der Zementierung von Hüftendoprothesen sollte der proximale Femurschaft routinemäßig mit einer gepulsten Druckspülung gesäubert werden, denn dadurch wird nicht nur das Risiko der Fettembolie, sondern durch eine verbesserte Penetration des Zements in das spongiöse Knochenlager auch eine aseptischen Schaftlockerung verringert (Malchau et al. 2002).

Die Entlastung mittels Plastikschlauch bringt keine Drucksenkung (Isendorf u. Ritter 1977). Sie wird nur zur Vermeidung einer Luftembolie empfohlen.

Therapie

Die Behandlung eines Fettemboliesyndroms erfolgt rein symptomatisch (Bulger et al. 1997). In fortgeschrittenen Fällen muss eine intensivmedizinische Überwachung mit mechanischer Beatmung

zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Organperfusion und Organoxygenierung eingeleitet werden. Der vielfach diskutierte therapeutische Effekt von Kortikosteroiden konnte bis heute in keiner klinischen oder experimentellen Untersuchung nachgewiesen werden (Huemer et al. 1955).

Prognose

Ein großer Teil der Fettembolien verläuft in einer milden Form und klinisch wenig symptomatisch. Daher ist es schwierig, eine allgemeingültige Aussage über die klinische Relevanz zu treffen. Oft werden Fettembolien als Pneumonie oder Lungenödem fehlinterpretiert. Die meisten Patienten tolerieren eine Fettembolie sehr gut. Ist jedoch die kardiorespiratorische Reserve eingeschränkt oder bestehen zusätzliche Erkrankungen oder Verletzungen, kommt es zu dramatischen Verläufen mit tödlichem Ausgang.

17.2.3 Heterotope Ossifikation

Definition

Heterotope Ossifikationen sind außerhalb des Knochens, in der Muskulatur und im Bereich von Sehnengewebe, auftretende Verknöcherungen, die sich histologisch nicht von orthotopen Knochen unterscheiden. Ein Begriff, der häufig synonym verwendet wird, heißt Myositis ossificans. Dieser Terminus ist allerdings unzutreffend, weil der Prozess nicht immer die Muskulatur betrifft und nicht immer entzündlicher Natur ist.

Epidemiologie

Heterotope Ossifikationen treten am häufigsten infolge von Operationen im Bereich des Hüftgelenks auf. Wird keine Prophylaxe durchgeführt, beträgt die Inzidenz 60% (Eulert et al. 1997). Allerdings schwanken die Angaben hierzu außerordentlich. Klinisch relevante Symptome finden sich aber nur in 10–20% der Fälle. Weit seltener werden Schulter, Ellenbogen oder Kniegelenk betroffen. Männer sollen eher zu heterotopen Ossifikationen neigen als Frauen (Wick et al. 1999).

Pathogenese

Es wird postuliert, dass sich Mesenchymzellen über das bone morphogenic protein (BMP) zu Osteoblasten differenzieren und nichtmineralisierte Knochensubstanz, das Osteoid, bilden. Wandeln sich die Osteoblasten über 2 Arten von Vorläuferzellen, die »determined« und die »inducible osteogenic progenitor cells« zu Osteozyten um, wird das Osteoid mineralisiert.

Ätiologie

Heterotope Ossifikationen können in eine posttraumatische und neurogene Genese eingeteilt werden. Zur posttraumatischen Genese zählen extreme körperliche Belastung bei Leistungssportlern, Frakturen, Weichteilverletzungen und Operationen, zur neurogenen Schädel-Hirn-Traumen, Rückenmarkverletzungen und auch Enzephalitiden.

Neben den großen Gelenken sind bei Reitern die Gluteal- und Adduktorengruppe, bei Fußballern der M. quadriceps, bei Sprintern der Ansatz des M. tensor fasciae latae und bei Soldaten der M. deltoideus und pectoralis typische Lokalisationen (Booth u. Westers 1989). Weit weniger bekannt sind heterotope Ossifikationen dagegen im Bereich der Membrana interossea cruris (Amling et al. 1998).

Prädisponierende Faktoren können massive intraoperative Blutverluste, Hämatome, Infektionen, operative Zugangswege oder Implantationstechniken sein (Eulert et al. 1997; Leibfritz u. Heisel 2000). Postoperative Rehabilitationsmaßnahmen wie aktive oder passive Bewegungsübungen oder eine Ruhigstellung haben keinen Einfluss auf die Genese heterotoper Ossifikationen.

Klinik und Diagnostik

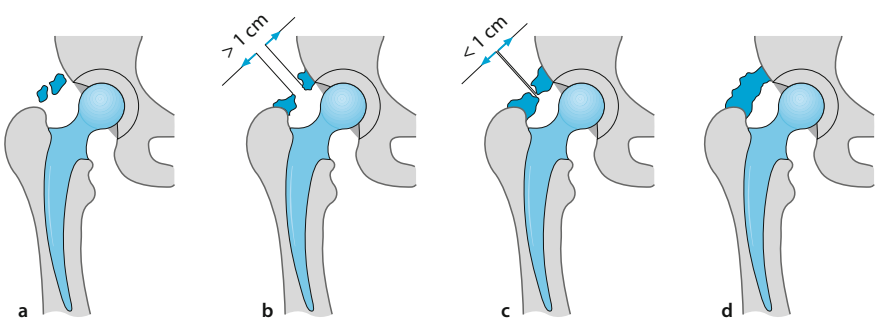
Heterotope Ossifikationen können zu Schmerzen und erheblichen Bewegungseinschränkungen bis zur vollständigen Versteifung eines Gelenks führen. Das Diagnostikum der Wahl ist das Röntgenbild. Am Hüftgelenk hat sich die von Brooker et al. (1973) vorgeschlagene Klassifikation, die das Krankheitsbild in 4 Grade einteilt, gegenüber der Klassifikation nach Arcq (1973) international durchgesetzt (◘ Abb. 17.13):

- Grad I: Knocheninseln innerhalb des periartikulären Weichteilmantels
- Grad II: knöcherne Ausziehungen vom Os ilium oder Trochanter major, Mindestabstand >1 cm
- Grad III: wie Grad II, Abstand jedoch <1 cm
- Grad IV: Ankylose

Unabhängig von der Ätiologie ist der Beginn einer heterotopen Ossifikation bereits 3–6 Wochen postoperativ bzw. posttraumatisch im Röntgenbild sichtbar. Die Verknöcherungen sind in der Regel nach 3–6 Monaten zu ihrer vollen Größe herangewachsen (◘ Abb. 17.14). In 10–20% der Fälle zeigt sich eine Zunahme der Ossifikation bis 12 Monate postoperativ. Szintigrafisch können beginnende Prozesse schon vor den ersten radiologischen Veränderungen diagnostiziert werden.

Differenzialdiagnose

Die differenzialdiagnostische Abgrenzung zum Osteosarkom ist von besonderer klinischer Relevanz, um eine unnötige invasive Diagnostik zu vermeiden. Außerdem müssen Tendinosis calcarea, Pseudogicht und andere neoplastische Knochenneubildungen abgegrenzt werden. Eine Sonderform stellt die Myositis ossificans progressiva dar. Diese Erkrankung beginnt bereits im Kindesalter



◘ **Abb. 17.13a–d** Klassifikation der heterotopen Ossifikationen nach Brooker Grad I–IV

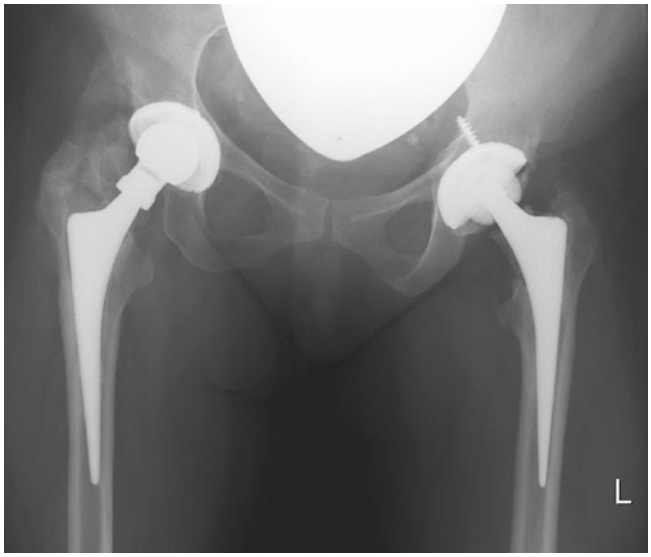


Abb. 17.14 Heterotope Ossifikation, Grad IV nach Brooker, 12 Wochen postoperativ nach Hüft-TEP-Wechsel rechts

und führt durch Mitbefall der interkostalen Muskulatur zum frühen Tod.

Prophylaxe

Zur Prophylaxe einer heterotopen Ossifikation stehen eine Reihe medikamentöser und bestrahlungstechnischer Therapieregime zur Verfügung, deren Wirksamkeit v.a. nach dem Einbau von Hüft-TEPs untersucht wurde.

Angiphlogistika

Folgende Regime haben prophylaktischen Effekt:

- Indometacin 3-mal 50 mg/Tag vom 1. bis 7. postoperativen Tag (Koorevaar et al. 1999)
- Indometacin 2-mal 50 mg/Tag vom 1. bis 7. postoperativen Tag (Eulert et al. 1997, Cella et al. 1988)
- Indometacin 2-mal 50 mg/Tag vom 1. bis 14. postoperativen Tag (Trnka et al. 1999)
- Diclofenac 3-mal 50 mg/Tag vom 1. bis 21. postoperativen Tag (Esenwein et al. 1999)

Bei einer Indometacin- oder Diclofenac-Prophylaxe wird generell die Gabe von Magenschutzpräparaten empfohlen (z.B. Omeprazol 40 mg/d), um gastrointestinale Nebenwirkungen zu verhindern. Andere Prostaglandin-Synthesehemmer, z.B. Acetylsalicylsäure oder Ibuprofen (z.B. 3-mal 400 mg/Tag für 5 Tage), sind Indometacin oder Diclofenac deutlich unterlegen (Koorevaar et al. 1999).

Radiatio

Um optimale Ergebnisse mit einer Radiatio zu erreichen, sollten folgende Studienergebnisse berücksichtigt werden: Mit einer Strahlendosis von 6 und 7 Gy als Einzeldosis werden Ossifikationen weitgehend verhindert (de Flitch u. Stryker 1993, Hedley et al. 1989, Kienapfel et al. 1999). Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass die einmalige Dosis von 8 Gy die gleiche Wirkung besitzt wie 10 Gy in 5 Fraktionen (Konski et al. 1990). Eine andere Studie zeigte ebenfalls eine nahezu gleiche Wirkung nach einer Einzelfraktion von 7 Gy im Vergleich zu 10 Gy in 5 Fraktionen (Alberti et al. 1995).

Bei einem Intervall zwischen Operation und Bestrahlung von nur 1 Tag war die Rate neuer Ossifikationen am niedrigsten. Bei einem Bestrahlungsbeginn am 2. und 4. Tag fanden sich deutlich mehr. Am wenigsten erfolgreich war die Radiatio, wenn sie erst nach dem 4. postoperativen Tag zum Einsatz kam.

Eine Bestrahlung hat grundsätzlich weder Wundheilungsstörungen noch andere Nebenwirkungen zur Folge wie ungenügende Stabilisierung oder vermehrte Lockerung der Prothesen. Ebenso wird bei Dosen unter 30 Gy kein Sarkom induziert (Brady 1979).

Rezidivtherapie

Bei ausgeprägten Beschwerden und Bewegungseinschränkungen ist die einzige therapeutische Möglichkeit die operative Resektion der Ossifikationen.

Einige Autoren empfehlen, mit der Resektion bis zur kompletten Ausbildung der Ossifikation abzuwarten. Das würde bedeuten, nicht vor Ablauf eines halben Jahres zu operieren. Für diese Empfehlung gibt es jedoch keinen Konsens. Andere Autoren empfehlen eine frühzeitige Entfernung, um einer dauerhaft funktionell limitierenden Kontraktur vorzubeugen (Ebinger et al. 2002).

Essenziell ist allerdings eine unmittelbar anschließende medikamentöse Prophylaxe zur Verhinderung eines Rezidivs. Hierfür wird Indometacin (3-mal 50 mg) ab dem 1. postoperativen Tag für 6 Wochen empfohlen. Nach diesem Regime sah man bei 21 Patienten nur ein Rezidiv (Wick et al. 1999).

Prognose

Bei immer jünger werdenden Patienten, die eine Hüftendoprothese erhalten, gewinnen schon leichte Funktionsbeeinträchtigungen zunehmend an Bedeutung. Da die Ausbildung heterotoper Ossifikationen das klinische Ergebnis erheblich verschlechtern kann, ist es sinnvoll, routinemäßig eine medikamentöse oder sogar strahlentherapeutische Prophylaxe durchzuführen.

17.2.4 Kompartment-Syndrom

Definition

Das Kompartment-Syndrom ist ein multifaktorielles Geschehen. Durch eine Erhöhung des Gewebedrucks innerhalb eines abgeschlossenen Muskel- oder Faszienkompartiments wird der Kapillarfluss unter das für die Gewebeernährung notwendige Maß gesenkt.

Man unterscheidet:

- nach dem Zeitpunkt zwischen einem drohenden, akuten bzw. manifesten und einem chronischen Kompartment-Syndrom,
- nach dem Pathomechanismus zwischen atraumatischem und traumatischem Kompartment-Syndrom,
- nach dem Organsystem zwischen abdominellem und dem Kompartment-Syndrom, das die Skelettmuskulatur betrifft.

Epidemiologie

Einer amerikanischen Studie (McQueen et al. 2000) zufolge liegt die Inzidenz, ein manifestes traumatisches Kompartment-Syndrom zu entwickeln, bei Männer mit 7,3 deutlich höher als bei Frauen mit 0,7 pro 100.000 Einwohnern. Das mittlere Lebensalter liegt bei 32 Jahren. Die häufigsten Ursachen sind Tibiakopf-, Unterschenkel- und Fußwurzelfrakturen.

Pathogenese

Der initiale Druckanstieg im Kompartiment ist entweder durch Verkleinerung des Kompartimentvolumens bei gleichem Inhalt

oder durch Volumenzunahme bei gleicher Dimensionierung möglich. Dies führt über ein multifaktorielles Geschehen mit Störung der Mikrozirkulation, Durchblutungsstörung, Hypoxie, Azidose und Ödembildung zu einem circulus vitiosus, der in einer ischämischen Muskelnekrose mündet, wenn er nicht rechtzeitig unterbrochen wird.

Ätiologie

Folgende wichtige Ursachen können zu einem Kompartment-Syndrom an den Extremitäten führen (Echtermeyer u. Horst 1997):

- Gefäßverletzung mit Ischämie-Reperfusions-Schaden
- Postoperative Nachblutung und Hämatom
- Offene oder geschlossene Frakturen (s. unten)
- Offene oder geschlossene Weichteilverletzungen
- Zirkuläre Verbände oder Antischockhose
- Extension von Frakturen
- Blutsperre und Lagerung
- Thrombosen
- Einnahme von Antikoagulanzien, Hämophilie
- zirkuläre Verbrennungen und Erfrierungen
- Leistungssport mit Überbeanspruchung der Muskulatur

Tornetta u. French (1997) berichteten von einer erhöhten Inzidenz nach Marknagelosteosynthese an der Tibia. Andere Autoren sahen allerdings in retrospektiven Studien diesbezüglich kein erhöhtes Risiko bzw. keine Spätschäden (McQueen et al. 2000, Ploberger u. Povacz 1994).

Weniger bekannt dürfte die Ausbildung eines Kompartment-Syndroms am unverletzten Bein bei Lagerung des Unterschenkels in einer so genannten gynäkologischen Schale mit gleichzeitiger Hüftabduktion und Kniebeugung auf dem Extensionstisch sein (Tan et al. 2000). Bei zu erwartender langer Operationszeit von mehr als 4 h oder ausgeprägter Adipositas empfiehlt es sich, das gesunde Bein lediglich zu abduzieren oder intermittierend von der Schale zu nehmen.

Die in Tab. 17.6 aufgeführten Verletzungen bergen ein besonders hohes Risiko für die Entstehung eines Kompartment-Syndroms.

Tab. 17.6 Risikoverletzungen für die Entstehung eines Kompartment-Syndroms

Art der Verletzung	Inzidenz	Literatur
Fersenbeinfraktur	5–9%	Myerson u. Manoli 1993, Lindsay u. Dewar 1958
Tibiakopffraktur	6,9%	Scherer 2002
Tibiaschaftfraktur	4,3%	McQueen et al. 2000
Radius- oder Ulnaschaftfraktur	3,1%	McQueen et al. 2000
Distale Radiusfraktur	0,25%	McQueen et al. 2000

Klinik und Diagnostik

Die Diagnose wird in der Regel zunächst klinisch gestellt. Das erste Zeichen eines drohenden Kompartment-Syndroms ist der akut einsetzende, brennend bohrende, heftige Schmerz, der durch Analgetika kaum mehr zu beeinflussen ist. Die betroffene Extremitätenloge ist meist prall-elastisch gespannt. Der Schmerz kann bei fortgeschrittenem Stadium dann von Parästhesien oder Hypästhesien begleitet sein. Pathologische Laborwerte mit Erhöhung von z.B. Kreatininkinase, Myoglobin oder Laktat haben nur eine geringe klinische Bedeutung, da die Therapie bereits vor Erhöhung dieser Werte einsetzen muss. Dies gilt grundsätzlich ebenfalls für die bildgebende Diagnostik.

Das Vorhandensein der peripheren Pulse spricht nicht gegen ein drohendes Kompartment-Syndrom, weil der Blutfluss aufgrund des erhöhten Drucks im Muskelgewebe längst zum Stillstand gekommen sein kann, während er in den großen Gefäßen unbeeinträchtigt ist.

Kompartmentdruckmessung

In allen unklaren Fällen, v.a. bei Polytraumatisierten, bewusstseinsgestörten Patienten oder Diabetikern mit Polyneuropathie, die entweder keine Schmerzen an den Extremitäten verspüren oder sich nicht adäquat äußern können, wird der klinische Verdacht durch eine Druckmessung erhärtet. Hierzu können Messeinheiten zur arteriellen Druckmessung, die im Schockraum, auf der Intensivstation oder im Operationssaal zur Verfügung stehen, verwendet werden. Auf der Normalstation sind solche Geräte meist nicht verfügbar. Dann behilft man sich mit einem batteriebetriebenen Messgerät z.B. der Firma Howmedica-Stryker, das mit hydrostatischer Druckübertragung und extrakorporal lokalisiertem Drucksensor arbeitet (Abb. 17.15).

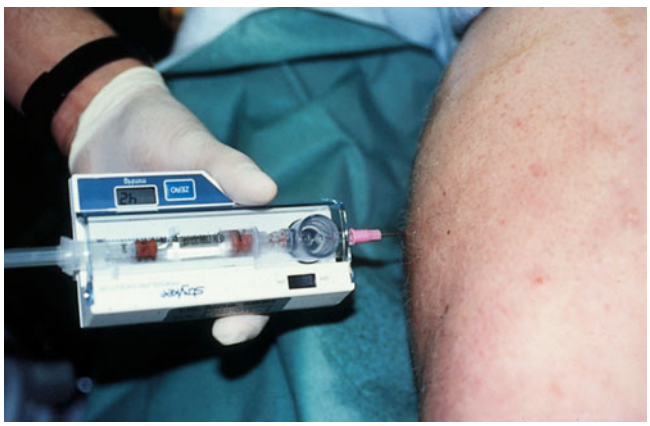


Abb. 17.15 Messung des Logendrucks am Oberschenkel mit dem Howmedica-Stryker-Gerät

Praktisches Vorgehen. Zunächst wird die sterile Kanüle oder der Infusionsschlauch zum Messgerät luftfrei gefüllt und eine Null-Eichung vorgenommen. Nach Hautdesinfektion und ggf. Setzen einer Lokalanästhesie wird die Kanüle in die zu messende Muskelloge gestochen. Dann wird 0,5–1 ml Lösung injiziert. Unmittelbar danach können auf dem Monitor sehr hohe Druckwerte bis zu 100 mmHg erscheinen, die den initialen lokalen Wert an der Kanülenspitze wiederspiegeln und nicht voreilig falsch-positiv bewertet werden dürfen. Denn erst nach etwa 5–10 s hat im Kompartiment ein Druckausgleich stattgefunden, und der eigentliche Wert kann abgelesen werden.

Interpretation des Kompartmentdrucks. Der normale Logendruck schwankt zwischen 5 und 10 mmHg. Der kritische Messwert für den maximalen Gewebedruck wird allerdings unterschiedlich definiert und variiert je nach Autor bzw. Untersuchungstechnik zwischen 30 und 45 mmHg (Hargens et al. 1989, Matsen et al.

1980; Schwartz et al. 1989). In einer Kompartment-Syndrom-Modellstudie (Willy et al. 2001) am Unterschenkel von normotensiven gesunden Freiwilligen führten bereits Druckerhöhungen von 30–40 mmHg zur Hypoxie und Einschränkung der neuralen Funktion. Gewebedruckwerte von über 75 mmHg resultierten ausnahmslos in einer Anoxie des Muskels. Bei Patienten mit schwerem Weichteiltrauma sollte daher aus Sicherheitsgründen der niedrig gewählte absolute Druckwert von 30 mmHg als Grenze gelten.

McQueen u. Court-Brown (1996) zeigten allerdings in einer prospektiven Studie mit 116 Patienten, die eine Tibiaschaftfraktur aufwiesen, dass eine Fasziotomie bei einem alleinigen Kompartmentdruck von 30 bzw. 40 mmHg bei 43 bzw. 23% der Patienten unnötig gewesen wäre.

Unter der Berücksichtigung der Tatsache, dass der kapillare Perfusionsdruck abhängig von der Differenz des mittleren arteriellen Drucks und des intrakompartimentellen Drucks ist, kann mit einem Sistieren der Mikrozirkulation gerechnet werden, wenn die Druckdifferenz den Wert von 30 mmHg unterschreitet. Deshalb setzen andere Autoren den kritischen Muskeldruckwert in Relation zum diastolischen (oder mittleren arteriellen) Blutdruck. Ist die Differenz ≤30 mmHg, muss von einem manifesten Kompartment-Syndrom ausgegangen und eine entsprechende Therapie eingeleitet werden (McQueen u. Court-Brown 1996).

In der Gesamtsicht kann deshalb kein definitiver Grenzwert festgelegt werden. Dies spiegelt sich in einer Umfrage wieder, die extrem uneinheitliche Vorgehensweisen erbrachte (Sterk et al. 2001).

Das akute Kompartment-Syndrom der Extremität ist eine Notfallsituation, kontrovers wird der kritische Muskelgewebedruck diskutiert: Ab wann ist die Indikation zur Fasziotomie zu stellen? Im Zweifelsfall muss die Indikation zur Dermatofasziotomie großzügig gestellt werden.

Differenzialdiagnose

Differenzialdiagnostisch müssen Phlebothrombose, Phlegmasia coerulea dolens, Thrombophlebitis, Nervenläsionen und Infektionen in Betracht gezogen werden.

Therapie

McQueen et al. (1996) empfehlen, routinemäßig bei allen Patienten mit traumatischer Tibiaschaftfraktur eine kontinuierliche Gewebedruckmessung durchzuführen, da dies die Inzidenz eines akuten Kompartment-Syndroms mit seinen Spätfolgen signifikant senkt. Bei bewusstlosen, beatmeten oder nicht kooperativen Patienten ist bei entsprechendem Verdacht die subfasziale Gewebedruckmessung ebenfalls unverzichtbares Instrument der Verlaufsbeobachtung.

Bei drohendem Kompartment-Syndrom kann das Spalten eines Verbandes oder die Fasziotomie den Gewebedruck senken und dadurch die Durchblutung verbessern. In gleicher Weise wirkt das minimale Anheben z.B. des Unterschenkels von der Auflagefläche durch Senkung des Auflagedrucks. Eine Hochlagerung der Extremität soll aber unterbleiben, weil dadurch der für die Perfusion des Gewebes nötige Druckgradient steigt. Da ein Volumenmangel die Viskosität des Bluts herabsetzt, ist zudem für eine ausreichende Volumensubstitution zu sorgen.

Dermatofasziotomie

Lässt sich aufgrund der oben genannten Befunde ein Kompartment-Syndrom diagnostizieren, muss umgehend eine Dekompression (s. unten) erfolgen. Der Eingriff wird ohne Blutsperre durchgeführt, um die Ischämiezeit nicht unnötig zu verlängern bzw. eine zusätzliche Schädigung der Muskulatur durch eine erneute Volumenzunahme nach Öffnen der Blutsperre zu vermeiden.

Abb. 17.16 Dermatotraktion mit einem Vesselloop-Gummiband nach lateraler Dermatofasziotomie des Unterschenkels

Mit der ausreichenden Dermatofasziotomie werden unter hohem Druck stehende Muskeln revidiert, sicher avitale Anteile und Blutkoagel entfernt. Bei zweifelhaftem Vitalitätsbefund sollte eher nicht reseziert werden, da die Regenerationsfähigkeit der Muskulatur intraoperativ häufig nicht abgesehen werden kann. Kriterien hierfür sind Kontraktilität (vitales Gewebe kontrahiert sich auf Berührungreize, z.B. durch Pinzette), Konsistenz, Kolorit (rotbraun) und Kapillarisierung (Blutung nach Inzision).

Ein Fasziotomie in Form einer halbgedeckten Spaltung durch multiple kleine Inzisionen birgt die Gefahr einer inkompletten Entlastung der Logen durch unzureichende Öffnung von Haut und Faszie und wird nicht empfohlen (Seifert et al. 2002).

Um nach der Faszienspaltung ein Rebound-Kompartment-Syndrom zu verhindern, wird die Fasziotomie anschließend grundsätzlich nicht wieder verschlossen und die Haut nur in Ausnahmefällen. Die Wunde wird nach gründlicher Blutstillung, mehrfacher Spülung und ausgiebiger Drainage temporär mit Kunsthaut gedeckt (z.B. Syspoderm oder Epigard) und der Sekundärverschluss etwa 5–8 Tage später durch Dermatotraktion eingeleitet oder im Zweifelsfall mit Spalthaut gedeckt (Abb. 17.16). Bei initial fraglicher Vitalität der Muskulatur empfiehlt es sich, ein notwendiges Débridement ggf. bei einen Second look nach 24–48 h vorzunehmen, zumal ausgeprägte Kompartment-Syndrome auch in hohem Maß Sekundärinfektionen unterliegen.

Bei primärem Hautverschluss nach Kompartmentspaltung muss auf ein mögliches Rebound-Kompartment geachtet werden.

Dermatofasziotomie Oberarm

Kompartment-Syndrome am Oberarm sind selten, in der Literatur wurden bisher nur sehr kleine Kollektive publiziert (Wippermann et al. 1991). Am Oberarm finden sich 3 Kompartimente: das Kompartiment des M. deltoideus, das vordere und das hintere Kompartiment. Im Bereich des Schultergelenks erfolgt der Zugang zum M. deltoideus leicht geschwungen unterhalb der Klavikula in Höhe des Processus coracoideus beginnend, nach kaudal dem Sulcus deltoideopectoralis folgend. Am Oberarm erfolgt der Zugang zur Dekompression des ventralen und dorsalen Kompartiments je nach Begleitverletzung. Im Falle einer Gefäßverletzung wird die Inzision medial gewählt, bei osteosynthetischer Versorgung des Humerus erfolgt der Zugang von lateral.

Dermatofasziotomie Unterarm (Schmidt et al. 1991)

Der Unterarm wird in der Literatur übereinstimmend neben dem Unterschenkel als der am häufigsten befallene Extremitätenabschnitt beschrieben. Nach anatomischen Studien existieren 10 isolierte Kompartiments am Unterarm, streckseitig 4 und beugeseitig 6. In der Klinik werden allerdings lediglich ein dorsales und volares Kompartiment unterschieden (▶ Kap. 6, Arm).

Die Beugemuskulatur wird dabei durch eine volarulnare oder mediane Inzision entlastet, mit Durchtrennung des Lacertus fibrosus proximal und des Ligamentum carpi transversum distal.

Zu beachten ist, dass bei der Karpaltunnelspaltung ulnar des N. medianus präpariert werden sollte, um den radial zur Thenarmuskulatur abgehenden motorischen Ast des N. medianus nicht zu verletzen (▶ Kap. 7, Hand).

Etwaige Verlängerungen der Inzisionen über die Gelenke hinweg erfolgen über S-förmige Wechselschnitte. Die Streckmuskulatur wird über eine radialseitige Eröffnung der Unterarmfaszie entlastet (◘ Abb. 17.17).

Dermatofasziotomie Hand (Tempka u. Schmidt 1991)

Das ausschließlich auf die Hand beschränkte Kompartment-Syndrom ist ein sehr seltenes Krankheitsbild, etwas häufiger tritt es in Verbindung mit dem Unterarm auf. Die Entlastung der Kompartimente erfolgt nach Rowland (1999) von dorsal mittels Längsschnitten oder leicht bogenförmigen Hautschnitten über dem 2. und 4. Mittelhandknochen sowie palmar mit einer Schnittführung zwischen Thenar und Hypothenar. Lanz (1982) hingegen empfiehlt zur palmaren Entlastung eine Querinzision.

Bei unbehandeltem Kompartment-Syndrom an der Hand resultiert eine isolierte Ischämie der Handbinnenmuskulatur in der »Intrinsic-plus-Stellung« der Hand mit Beugekontrakturen der Fingergrundgelenke und Streckstellung der Interphalangealgelenke. Dies kann mit einem einfachen Funktionstest geprüft werden: Hierbei hält der Untersucher das Fingergrundgelenk gestreckt und versucht passiv das Mittel- und Grundgelenk zu beugen. Gelingt dies wegen der fibrotisch verkürzten Interosseusmuskeln nicht, ist der Test positiv.

Dermatofasziotomie Becken (Bosch 1991)

Das Kompartment-Syndrom ist im Bereich des Beckens eher eine seltene Komplikation und wird dann häufiger im Rahmen einer Antikoagulanzientherapie oder bei Drogenmissbrauch gesehen. Ein relevantes Trauma fehlt meist in der Anamnese. Im Wesentlichen wird zwischen dem Kompartiment des M. iliopsoas, dem der Mm. glutei medius et minimus und dem des M. gluteus maximus unterschieden. Davon getrennt liegt ventrolateral das Kompartiment des M. tensor fasciae latae.

Die Schnittführung zur Entlastung der glutealen Muskulatur liegt knapp distal und parallel zur Crista iliaca oder erfolgt wie beim dorsalen Zugang (nach Moore) zum Hüftgelenk. Hier sollte der Hautschnitt am ventralen Rand des M. gluteus maximus schräg nach distal zum Trochanter major verlaufen. Bei neurologischer Symptomatik schließt sich die Revision des N. ischadicus an. Der Zugang zur Entlastung des M. iliopsoas und N. femoralis kann über eine extraperitoneale Schnittführung erfolgen.

Dermatofasziotomie Oberschenkel (Kladny u. Nerlich 1991)

Der Oberschenkel hat 3 Kompartimente, die Extensorenloge (mit A. und V. femoralis, N. saphenus), die Flexorenloge (mit N. ischiadicus) und die Adduktorenloge (mit A. und V. femoralis profunda). Das am kräftigsten ausgeprägte Septum intermusculare liegt zwischen Flexoren- und Extensorenloge, die beiden anderen Septen sind weniger stark.

◘ **Abb. 17.17** Kompartment-Syndrom am proximalen Unterarm nach mehrstündiger Lagerung bei laparaskopischer Sigmaresektion. Es wurde eine sofortige Dermatofasziotomie am proximalen Unterarm dorsal vorgenommen

Die Therapie des Oberschenkel-Kompartment-Syndroms besteht in einer lateralen Hautinzision vom Trochanter major bis auf Femurkondylenhöhe. Anschließend wird die Fascia lata gespalten und das Septum intermusculare zwischen Flexoren- und Extensorenloge getrennt. Hierbei wird grundsätzlich eine ausreichende Druckentlastung aller Logen erreicht. Umstritten ist die Notwendigkeit der Spaltung der Adduktorenloge über einen zusätzlichen medialen Zugang. In unklaren Fällen wird die intraoperative Druckmessung im medialen Kompartiment nach lateraler Dekompression empfohlen.

Nach lateralseitiger Dermatofasziotomie kommt es in allen Fällen zu einem weiten Zurückweichen der Wundränder, die Muskulatur tritt pilzförmig hervor. Nun können aufgetretene Muskelnekrosen débridiert und Hämatome ausgeräumt werden. Eine Frakturversorgung ist ebenfalls durch diesen Zugang möglich.

Die rechtzeitig durchgeführte Dermatofasziotomie am Oberschenkel ermöglicht eine Ausheilung des Kompartment-Syndroms ohne funktionelle oder schwerwiegende neurologische Ausfälle. Bei den Patienten kommt es jedoch infolge der nicht verschlossenen Faszie zu einem lateralseitigen Hervortreten der Muskulatur am Oberschenkel, v.a. bei Muskelanspannung. Das funktionelle Ergebnis wird hierdurch nicht beeinträchtigt.

Dermatofasziotomie Unterschenkel (Echtermeyer 1991)

Die 4 Unterschenkellogen können entweder durch bilaterale Inzisionen oder durch eine parafibuläre Dermatofasziotomie entlastet werden.

Die Hautinzision für den parafibulären Zugang liegt über der gesamten Länge der Fibula, direkt darunter erfolgt die Faszienspaltung für das laterale Kompartiment. Das ventrale Kompartiment wird durch Weghalten der Haut nach ventral erreichbar. Das oberflächliche dorsale Kompartiment lässt sich durch das Weghalten der Haut nach dorsal darstellen. Nach Ablösen des lateralen Kompartiments von seiner dorsalen Faszie werden die Mm. peronei nach vorne und der M. triceps surae nach dorsal weggehalten. Hierdurch spannt sich die Faszie zwischen Fibula und dem tiefen Blatt der Fascia cruris an. Ihre Inzision entlastet das tiefe Kompartiment der tiefen Beuger. Auf die Gefährdung des Hautastes des N. peroneus superficialis muss hingewiesen werden (◘ Abb. 17.18, ◘ Abb. 17.19, ▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel).

Dermatofasziotomie Fuß

Im Bereich des Fußes unterscheidet Garfin (1981) ein mediales, laterales, zentrales sowie interossales Kompartiment. Das laterale Kompartiment enthält die Mm. flexor et abductor digiti minimi, das mediale die Muskulatur des Großzehenballens (Mm. flexor

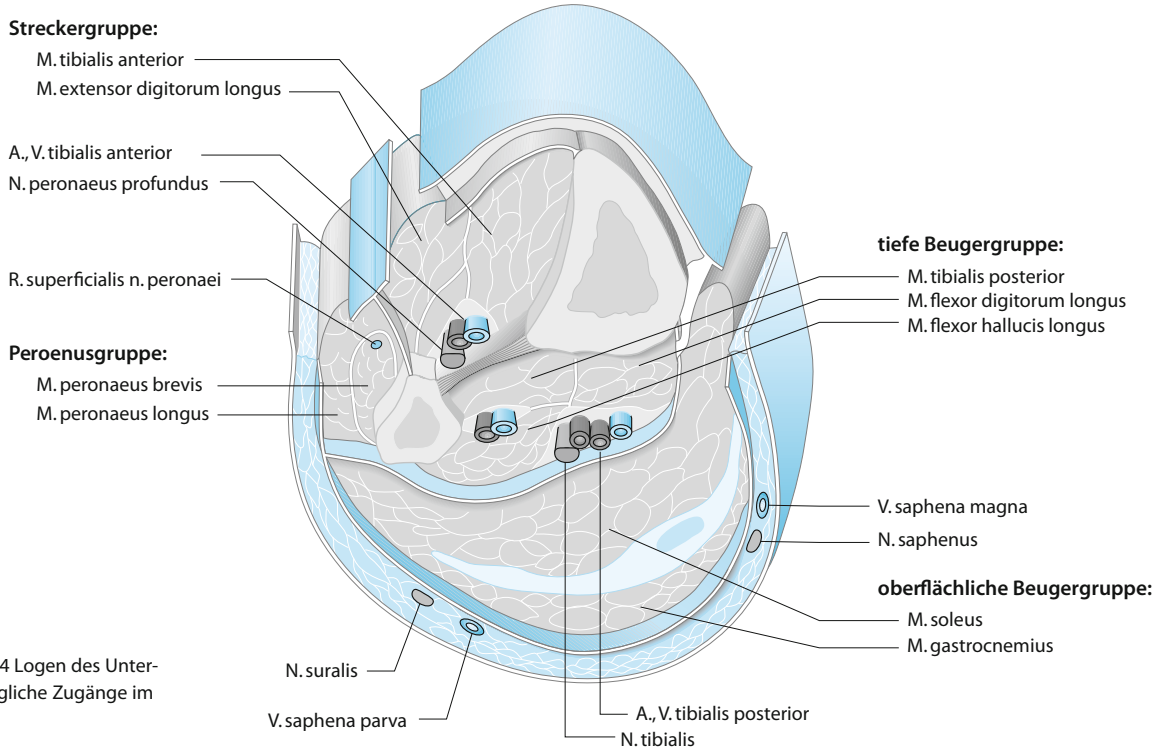


Abb. 17.18 Die 4 Logen des Unterschenkels und mögliche Zugänge im Querschnitt

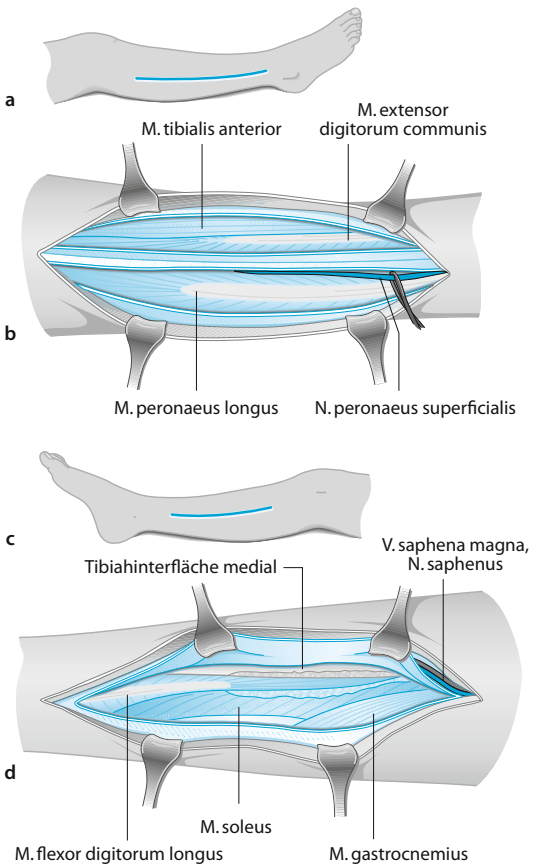


Abb. 17.19a–d Eröffnung der 4 Logen über einen lateralen und medialen Zugang. In Kapitel 10, Knie und Unterschenkel, ist die Eröffnung aller Logen über nur einen Zugang von lateral dargestellt

hallucis brevis et abductor hallucis), das zentrale die Mm. adductor hallucis, quadratus plantae et flexor digitorum brevis sowie die Sehnen der Mm. flexor digitorum longus et flexor hallucis longus und das dorsale die Mm. interossei.

Für die Dermatofasziotomie am Fuß sind mehrere Möglichkeiten beschrieben: Löffler u. Ballard (1980) benützen eine Längsinzision an der Fußsohle vom Köpfchen des Metatarsale II in Richtung Malleolus medialis. Andere Autoren (Bonutti u. Bell 1986, Myerson 1987) beschreiben eine Längsinzision über dem Großzehenballen und Entlastung aller 4 Kompartimente über diesen Hautschnitt. Mubarak (1981) wiederum plädiert für 1–2 Längsinzisionen (über 2. und 4. Mittelstrahl) im Bereich des Fußrückens mit anschließender stumpfer Präparation der Mm. interossei bis zur Plantarloge und Spaltung der angrenzenden Logen. Nach Swoboda et al. (1991) kann sich die Dermatofasziotomie auch auf eine dorsale, mediane Längsinzision (über 3. Mittelstrahl) mit Spaltung der Fascia dorsalis pedis und der Retinacula extensorum inferius et superius beschränken, weil Kompartment-Syndrome des Fußes überwiegend durch Luxationsfrakturen im Mittelfußbereich mit ausgedehnten Faszienzerreißungen bedingt sind und deshalb regelmäßig die einzelnen Muskellogen bereits pathologisch kommunizieren. Dieser Zugang ist einfach durchzuführen und ermöglicht gleichzeitig die Exploration und Versorgung von knöchernen Verletzungen.

Eine anschließende intraoperative Druckmessung entscheidet, ob die Fasziotomie ggf. erweitert werden muss.

Eine Entlastung des Rückfußes, die häufig im Zusammenhang mit Fersenbeinfrakturen notwendig wird, erfolgt über einen medialen Zugang (Myerson u. Manoli 1993). Die Inzision beginnt in einem Abstand von ca. 4 cm von der Ferse und 3 cm oberhalb der Fußsohle und wird parallel zur Fußsohle auf einer Länge von ca. 6 cm fortgeführt. Gegebenenfalls kann der Zugang sowohl proximal als auch distal erweitert werden. In einigen Fällen muss zusätzlich der Vorfuß nach den oben genannten Methoden entlastet werden.

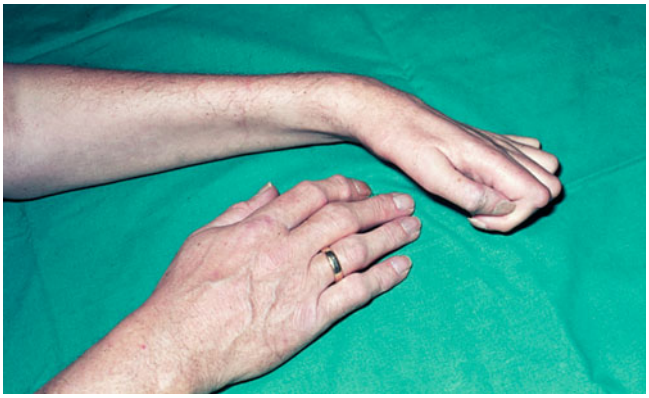


Abb. 17.20 Volkmann-Kontraktur der Hand nach Kompartment-Syndrom des Unterarms

Bei Kompartmentspaltung aufgrund einer Fersenbeinfraktur wird empfohlen, eine notwendige Reposition mit osteosynthetischer Versorgung erst nach Wundverschluss durchzuführen, um eine weitere Gefährdung durch den lateralen Zugangsweg zu vermeiden (Myerson u. Manoli 1993, ▶ Kap. 11, Sprunggelenk und Fuß).

Komplikation und Prognose

Das manifeste Kompartment-Syndrom der Skelettmuskulatur verursacht unbehandelt eine ischämische Muskelnekrose. Die möglichen Folgen sind ein massiver Muskeluntergang mit Weichteilinfektionen, u.U. begleitet von einem Multiorganversagen. Die Extremität ist gefährdet und kann eine Amputation zur Folge haben. Im Spätstadium führen Vernarbungen, Verkürzung und Verklebung der Muskulatur zu Funktionsverlusten, Kontrakturen und Fehlstellungen, z.B. bei der Volkmann-Kontraktur der oberen Extremität. Bleibende Nervenschäden als Ischämiefolge sind die Regel (Abb. 17.20).

Nach einer Kompartmentspaltung ist die Gefahr einer sekundären Infektion deutlich erhöht. Scherer (2002) sah im Verlauf der Behandlung bei 8 von 17 Patienten (47%) mit Tibiakopffrakturen nach der Kompartmentspaltung eine sekundäre Infektion.

Werden Muskelnekrose und Infektion als direkte Konsequenzen eines Kompartment-Syndroms zusammengefasst, fanden Nerlich et al. (1991) bei einer Analyse von 134 operativ behandelten traumatischen Kompartment-Syndromen am Unterschenkel eine Komplikationsrate von 28% bei Spaltung von 6 h nach Unfall und von 51% bei Spaltung nach über 12 h. Eine Oberschenkelamputation nach Behandlung des Kompartment-Syndroms war sogar 8-mal notwendig, im Wesentlichen bedingt durch den vollständigen Funktionsverlust der Gliedmaße durch Ischämie. In einer Dissertation (Krahn 2005) waren die mittelfristigen Ergebnisse nach Kompartmentspaltung in der Mehrheit funktionell gut, mit einem Leistungsdefizit der betroffenen Muskelgruppe von 10%. Die Indikation zur Dermatofasziotomie ist deshalb in allen Zweifelsfällen immer großzügig zu stellen. Ist ein motorisches Defizit eingetreten, wird eine Restitutio ad integrum unwahrscheinlich (Rorabeck 1984, Willis u. Rorabeck 1990).

17.2.5 Pseudarthrose

Definition

Abhängig von der Art und Lokalisation einer Fraktur sowie der lokalen Weichteilsituation, sollten Frakturen bei ungestörter Heilung innerhalb von 3 Monaten konsolidiert sein. Bei einer Heilungsdauer von 4–6 Monaten spricht man von verzögerter Frakturheilung (delayed union), wenn hingegen nach mehr als 6 Monaten keine Durchbauung eingetreten ist, von einer Pseudarthrose (non-union).

Epidemiologie

Über 90% der vitalen Pseudarthrosen entwickeln sich nach konservativer Therapie (Runkel u. Rommens 2000). Nach primärer Marknagelung am Femur bildet sich z.B. bei 1–2% der Fälle eine Pseudarthrose aus, an der Tibia in etwa 2–4% (Strecker et al. 1996).

Pathophysiologie und Ätiologie

Pseudarthrosen lassen sich meist auf mechanische oder biologische Ursachen zurückführen. Zu den mechanischen Ursachen zählen fehlender Fragmentkontakt durch Defekt, Muskelinterponat oder Fragmentdistraktion, aber auch ein zu geringes oder zu hohes Maß an Stabilität durch das verwendete Implantat. Die biologischen Ursachen sind kortikale Durchblutungsstörungen, die entweder durch das Trauma selbst, durch Behandlungsmaßnahmen wie eine Markraumbohrung oder durch eine (subklinische) Infektion bei offener Fraktur entstehen.

Pseudarthrosen verteilen sich wie folgt auf folgende Skelettabschnitte (Hoffmann et al. 1999):

- Tibiaschaft 19%
- Os scaphoideum 17%
- Schenkelhals 16%
- Unterarm 12%
- Klavikula 8%
- andere 28%

Verschiedene Risikofaktoren wie Polytrauma, Schocksymptomatik, Steroide, Nikotinabusus, Alkoholismus, periphere AVK und Adipositas sind beschrieben worden.

Klassifikation

Es werden angeborene (z.B. fibröse Dysplasie) von erworbenen Pseudarthrosen unterschieden. Die erworbenen Pseudarthrosen werden in aseptische und in infizierte bzw. septische Pseudarthrosen eingeteilt. Weber u. Cech (1973) unterscheiden zwischen vitalen und avitalen Pseudarthrosen (Übersicht, Abb. 17.21).

Klassifikation der Pseudarthrosen (nach Weber u. Cech)

Vitale Pseudarthrosen:

- Hypertrophe Pseudarthrose (Elefantenfuß-Pseudarthrose)
- Kallusarme Pseudarthrose (Pferdefuß-Pseudarthrose)
- Kalluslose, oligotrophe Pseudarthrose

Avitale Pseudarthrosen:

- Drehkeilpseudarthrose
- Defektpseudarthrose
- Atrophe Pseudarthrose

Für die Behandlung ist die Unterscheidung in aseptische oder infizierte Pseudarthrose essenziell.

Klinik und Diagnostik

Aseptische Pseudarthrosen verursachen aufgrund der Instabilität bewegungs- und belastungsabhängige Schmerzen, die sich typischerweise in Ruhe bessern. Symptomfreiheit schließt jedoch eine Pseudarthrose nicht aus. Bei der klinischen Untersuchung der

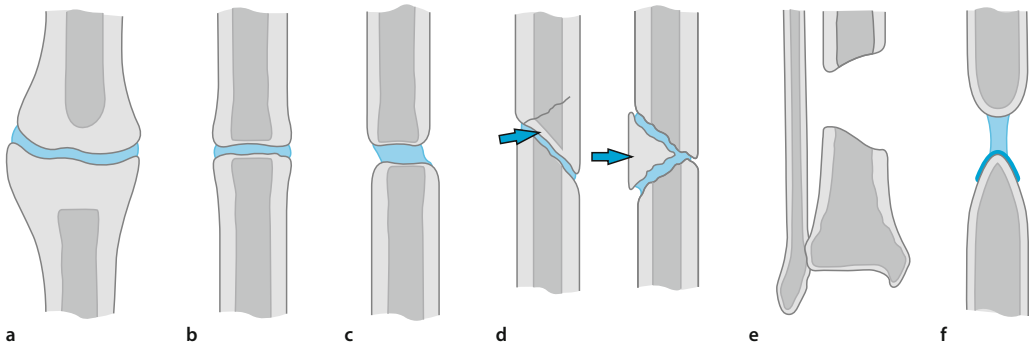


Abb. 17.21a–f Klassifikation der Pseudarthrosen nach Weber und Cech. **a** Hyperthrophe Pseudarthrose. **b** Kallusarme Pseudarthrose. **c** Kalluslose Pseudarthrose. **d** Drehkeil-Pseudarthrose. **e** Defekt-Pseudarthrose. **f** Atrophe Pseudarthrose

Extremitäten sollte man zudem immer auf potenzielle Achsen- und Rotationsabweichungen sowie Längenunterschiede achten und sie dokumentieren.

Infizierte Pseudarthrosen zeigen pathologische laborchemische Entzündungsparameter, wobei CRP und Prokalzitonin sehr sensitiv meist erhöht bleiben, Leukozyten und BKS dagegen aber häufig im Normbereich liegen. Klinisch kann eine Rötung der betroffenen Extremität mit schmerzhafter Instabilität und ggf. Fistelung auftreten, in letzterem Fall liegt dann meist eine Osteitis vor.

Die bildgebende Diagnostik umfasst als Standard eine native Röntgenaufnahme in 2 Ebenen mit weiteren falkultativen Möglichkeiten der Sonografie und Tomografie. Zudem erlaubt die Dreiphasenskelettszintigrafie mit ^{99m}Technetium-Phosphonat die sichere Beurteilung der Durchblutungssituation, jedoch keine Unterscheidung zwischen Infekt und hypervaskularisiertem Areal. Ein Kontrastmittel-CT dient dem Nachweis oder Ausschluss einer Abzessbildung, ein MRT der Beurteilung der Größenausdehnung einer Osteitis.

Unabdingbar ist die Kontrolle der peripheren Durchblutung, da chronische Infekte und ausbleibende Bruchheilung oft auf dem Boden einer arteriellen Verschlusskrankheit entstehen. Verschlussdruckmessungen und ggf. auch die Angiografie gehören zur Routinediagnostik bei chronisch infizierten Pseudarthrosen, wenn keine peripheren Pulse tastbar sind.

Differenzialdiagnose

Abzugrenzen sind Refraktur, pathologische Fraktur und Osteitis.

Therapie

Bleibt bei den radiologischen postoperativen Kontrollen eine knöcherne Konsolidierung nach 6 Monaten aus, muss im Einvernehmen mit dem Patienten zu diesem Zeitpunkt die Entscheidung getroffen werden, zunächst weiter abzuwarten oder eine operative Revision vorzunehmen.

Es muss betont werden, dass zu diesem Zeitpunkt keine absolute, sondern eine relative Operationsindikation besteht, und aseptische Pseudarthrosen auch ohne weitere oder durch konservative Maßnahmen noch zur Ausheilung gelangen können (s. additive Therapieverfahren). Der genaue Zeitpunkt eines operativen Verfahrenswechsel ist deshalb individuell zu stellen, z.B. nach 12 Monaten.

Vitale Pseudarthrose

Ist die Vaskularität im Frakturbereich weitgehend erhalten und zeigt sich im Röntgenbild eine mehr oder weniger ausgeprägte hypertrophe Kallusbildung, handelt es sich um eine vitale Pseudarthrose. Die Ursache hierfür ist in der Regel eine Instabilität im Frakturbereich. Vitale Pseudarthrosen benötigen weder ein Anfrischen oder Resezieren noch das Einbringen von Spongiosa in das Pseudarthrosegewebe. Durch Erhöhung der Stabilität heilt eine vitale Pseudarthrose in der Regel grundsätzlich rasch aus. Operativ kann hier durch einen Verfahrenswechsel eine ausreichende Frakturstabilität herbeigeführt werden. Dies kann durch eine Plattenosteosynthese oder durch den Austausch eines unaufgebohrten gegen einen aufgebohrten Verriegelungsnagel, der sich langstreckiger im Markraum verklemmt, erzielt werden oder durch die Dynamisierung eines Verriegelungsnagels.

Unaufgebohrte Marknägel verklemmen sich im Markraum der Diaphyse oft nur ungenügend. Der Nachteil der aufgebohrten Marknagelung ist eine Beeinträchtigung der endostalen Durchblutung.

Bühren (2000) führt mit Ausnahme von atrophen und infektiösen Defektpseudarthrosen bei ausbleibender Heilung der Röhrenknochen im Schaftbereich eine Kompressionsmarknagelung durch. Dafür wird der Markraum aufgebohrt. Anschließend wird ein Nagel mit einem Durchmesser von 1 mm unter Bohrergröße eingebracht und mit größtmöglichem Drehmoment komprimiert. Am Unterschenkel erfolgt bei einer tibialen Pseudarthrose mit abgeheilter Fibula regelmäßig eine Dynamisierung der Fibula durch Teilresektion oder bei nur geringgradiger notwendiger Verkürzung eine schräge Osteotomie. Die Fibula kann anschließend zur Stabilitätserhöhung mittels Zuggurtung über 2 Einzelschrauben stabilisiert werden, wobei sich der Defekt in nahezu allen Fällen spontan auffüllt.

Avitale Pseudarthrose

Avitale, oligotrophe Pseudarthrosen benötigen eine Stimulation der Knochenneubildung. Dies wird meist durch eine autologe Spongiosaplastik vom Beckenkamm erreicht, ggf. in Verbindung mit einer Dekortikation. Das Bohrmehl, das bei der Markraumbohrung anfällt, wirkt ebenfalls wie eine Spongiosaplastik (Abb. 17.22). Hierdurch können Defekte bis 3 cm zur Ausheilung gebracht werden. Größere Defekte erfordern eine Resektion mit nachfolgender Wiederherstellung der Länge, z.B. durch Kallusdistraktion mittels Ringfixateur nach Ilizarov.

Infizierte Pseudarthrose

Bei diesen Pseudarthrosen steht die Sanierung des Infekts zunächst im Vordergrund. Hierzu sind nahezu immer mehrfache operative Eingriffe notwendig, die Behandlungsdauer ist meist langwierig und für den Patienten belastend.

Intraoperativ werden zunächst nicht nur Wundabstriche entnommen, für den möglichen Keimnachweis sollten mehrere Gewebeproben aus dem Muskel, dem Knochen und vom Impantat zur mikrobiologischen Untersuchung eingesendet werden, um

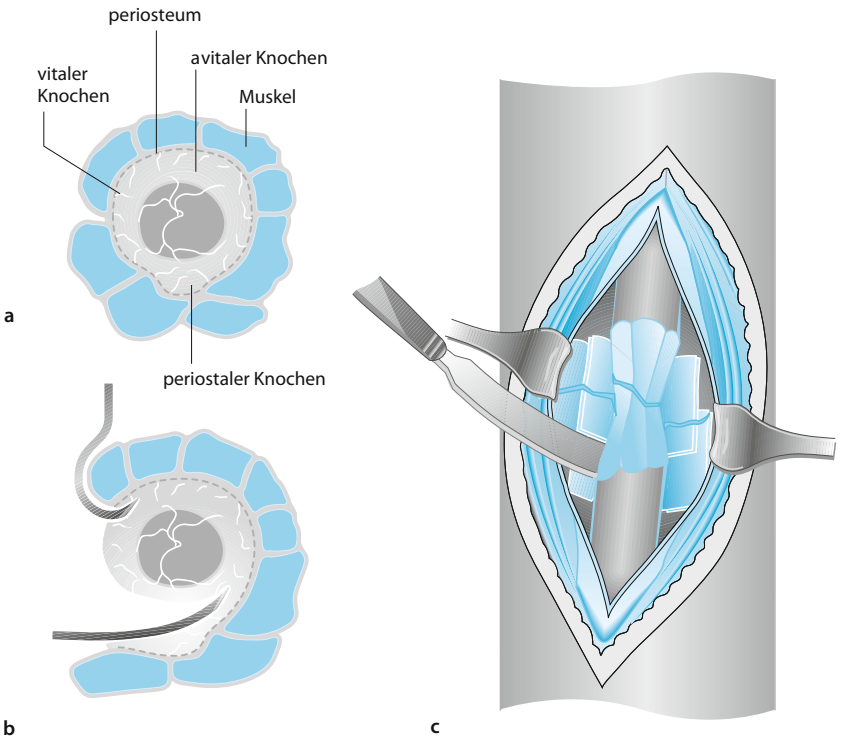


Abb. 17.22a–c Technik der Dekortikation

die Wahrscheinlichkeit eines Keimnachweises zu erhöhen. Dann schließt sich ein radikales Débridement von Weichteilen und Knochen mit gepulster Druckspülung an. Ein einliegendes Implantat wird grundsätzlich entfernt. Insbesondere Hohlnägel begünstigen durch ihren Totraum ein Unterhalten des Entzündungszustandes im Markkanal und sind daher regelmäßig gegen einen Fixateur externe zu ersetzen. Die Angst vor einem entstehenden Defekt soll nicht zu Kompromissen bei der Resektion verleiten. Entscheidend ist, alles nekrotische und potenziell infizierte Gewebe zu entfernen, soweit, bis die débridierten Gewebe frische kapilläre Blutungen zeigen.

Als unabdingbare Begleitmaßnahme gilt eine systemische intravenöse Antibiose nach Antibiogramm. Derzeit wird bei Staphylococcus aureus häufig eine gut knochengängige Zweifachtherapie mit Clindamycin und Rifampicin favorisiert und kann bei Ausschluss von Kontraindikationen auch als Initialtherapie bis zum Vorliegen des Antibiogramms verwendet werden. Bei Mehrfachresistenz kann auch Vancomycin mit Rifampicin kombiniert werden. Rifampicin wird jedoch um Resistenzen zu vermeiden grundsätzlich nicht als Monotherapie eingesetzt, zudem müssen die Leberwerte regelmäßig kontrolliert werden, und der Urin nimmt eine orange Farbe an, welches dem Patienten vorab mitgeteilt wird. Aus mikrobiologischer Sicht muss betont werden, dass orale Antibiotika im Bereich der Infektion einer Extremität keine therapeutischen Wirkspiegel erreichen, und deshalb im Anschluss an eine intravenösen Applikationsform lediglich nur kurzfristig, maximal 3 Wochen lang verabreicht werden (▶ Kap. 14, Weichteilverletzungen und Infektionen).

Revisionen mit Débridement müssen so lange weitergeführt bzw. dürfen erst dann eingestellt werden, wenn sich der klinische und laborchemische Befund im Verlauf kontinuierlich bessert; eine alleinige mikrobiologische Untersuchung ohne Keimnachweis darf unter laufender intravenöser Antibiose hierfür nicht herangezogen werden, falsch-negative Befunde sind hier häufig zu erwarten. In welchen Zeitabständen Revisionen durchgeführt werden müssen, ist lediglich gering evidenzbasiert, grundsätzlich wird aber die erste Revision nach 24–48 h durchgeführt und zwar möglichst von einem erfahrenen Facharzt, der dann auch die weiteren Revisionen vornehmen sollte.

Nach erfolgreicher Infektbekämpfung kann ein Fixateur externe entweder beibehalten oder bei erforderlichem Segmenttransfer zum (Ring)-Transportfixateur umgebaut, in geeigneten Fällen auch der Verfahrenswechsel zur überbrückenden Plattenosteosynthese vorgenommen werden. Die Weichteilsanierung geschieht unter Verwendung verschiedenster Verbandstoffe, Wundauflagen bzw. Hautersatzmaterialien mit einfachen Maßnahmen wie Spalthautübertragung ebenso wie mit lokalen oder freien Lappentransfers bei größeren Defekten. Die autologe Spongiosaplastik vom Beckenkamm ist speziell bei kleinen Defekten bis 3 cm als biologische Maßnahme zur Überbrückung geeignet, bei größeren Defektstrecken aber zugunsten der Kallusdistraktion mit Segmenttransport in den Hintergrund getreten.

Zudem wird inzwischen mit ersten klinischen Erfolgen BMP2 (bone morphogenetic protein) als osteoinduktives Material in Form eines Kollagenvlieses im Frakturbereich verwendet, um die Frakturheilung zu fördern bzw. zu beschleunigen. Allerdings ist aus Kostengründen darauf zu achten, dass das Kollagenvlies lediglich bei der letzten Revision und bei definitiven Wundverschluss ohne Drainageneinlage eingebracht wird, damit der Wirkspiegel therapeutisch bleibt.

Additive konservative Therapieverfahren

Extrakorporale Stoßwellentherapie

Bei der Stoßwelle wird das physikalische Prinzip nutzbar gemacht, wonach energiereiche Schallwellen beim Einlaufen in den Grenzbereich zwischen 2 Medien unterschiedlicher Dichte und Schallleitungseigenschaften mechanische Energie freisetzen. Als Auswirkung der Stoßwelle auf den Knochen wird eine Induk-

tion der Osteogenese durch Mikrofissuren mit Schädigung der Fibroblasten und konsekutiver Transformation in Osteoblasten postuliert.

Der Stellenwert einer extrakorporale Stoßwellentherapie zur Behandlung von Pseudarthrosen ist bisher nicht eindeutig geklärt, es fehlt trotz positiver Einzelstudien eine Standardisierung der Behandlung (Runkel u. Rommens 2000).

Dennoch erscheint dieses Verfahren als adjuvanter, nichtinvasiver Behandlungsversuch mit geringen Aufwand gerechtfertigt und sollte vor einer aufwändigen operativen Versorgung frühzeitig erwogen werden (Schoellner et al. 2002).

Bei Brandner u. Späth (2001) kam es in einer einfachen prospektiven Studie an 105 Patienten mit 105 Pseudarthrosen im Sinne der Definition an verschiedenen Lokalisationen in 85% der Fälle zur knöchernen Konsolidierung bzw. zur deutlichen Zunahme der knöchernen Durchbauung. Im Durchschnitt waren 2,3 Sitzungen pro Patient im Abstand von 6 Wochen erforderlich, grundsätzlich wurden 2000 Impulse je Sitzung mit hochenergetischer Energie (0,49–0,79 mJ/mm^2) angewendet. Tendenziell ließ sich aber feststellen, dass bei atrophen Pseudarthrosen (in 21% der Fälle) schlechtere Ergebnisse erzielt wurden.

Schaden (2000) unterzog insgesamt 115 Patienten mit Pseudarthrosen oder verzögerter Knochenheilung einer einmaligen Stoßwellenbehandlung mit maximal 12.000 Impulsen bei einem Druckbereich von 35–51 MPa. Nach der Behandlung wurde eine korrekte Fixation der Fraktur nach den Regeln der konservativen Knochenbruchbehandlung durchgeführt. Bei delayed union wurden in 74%, bei non-union in 77% und bei infizierten Pseudarthrosen in 77,3% der Fälle eine knöcherne Heilung erzielt. Abgesehen von geringgradigen lokalen Reaktionen (Schwellung, Hämatome, petechiale Blutungen) wurden keine Komplikationen beobachtet. Aufgrund der hohen Impulsrate benötigten hier jedoch nahezu alle Patienten eine Allgemein- oder Regionalanästhesie.

Bei Schoellner et al. (2002) war nach durchschnittlich 4 Monaten bei 31 von 41 (72%) Pseudarthrosen ein knöcherner Durchbau vorhanden. Verwendet wurde ein einmalige Applikation von 3000 Impulsen mit einer Energieflussdichte von 0,6 mJ/mm^2 in Regionalanästhesie.

Im Rahmen einer prospektiven Kohortenstudie (Beutler et al. 1999) wurden in 2 Sitzungen mit jeweils 2000 Impulsen und 18 kV insgesamt 27 Pseudarthrosen behandelt. Zur Ausheilung kamen 8 von 15 hypertrophen und nur 3 von 12 atrophen Pseudarthrosen. Eine radiologische Durchbauung zeigte sich in keinem Fall innerhalb des 1. Monats, bei allen jedoch innerhalb der ersten 3 Monate. Ebenso kam es bei diaphysärer Pseudarthrose häufiger zur Ausheilung als bei der metaphysären. Bei Betrachtung des Weichteilschadens zeigte sich, dass 8 der 13 geschlossenen Frakturen und nur 3 der 14 primär offenen Frakturen nach extrakorporaler Stoßwellentherapie ausheilten.

Ultraschall

Es wurde auch über positive Erfahrungen mit der niedrig intensiv gepulsten Ultraschalltherapie beispielsweise mit einer Trägerfrequenz von 1,5 MHz und mit einer Pulsfrequenz von 1 kHz berichtet. So zeigte eine Arbeitsgruppe, dass bei der alleinigen Behandlung von Frakturheilungsstörungen einschließlich der delayed- und non-union mit Ultraschall in 80–85% der Fälle mit einem Durchbau gerechnet werden kann (Mayr et al. 2000). Die mittlere Heilungszeit betrug dabei 140 Tage.

Eine prospektive, randomisierte Studie, welche die Wirksamkeit der Ultraschalltherapie bei Pseudarthrosen beweisen könnte, liegt jedoch auch bei diesem Verfahren bisher nicht vor.

Literatur

Alberti W, Quack G, Krischke W, Lommatzsch A, Huyer C, Krahl H (1995) Verhinderung ektoper Ossifikationen nach Totalendoprothese des Hüftgelenkes durch Strahlentherapie. Dtsch Med Wochenschr 120: 983–989

Amling M, Rücker A, Rueger J.M, Delling G (1998) Heterotope Ossifikation der Membrana interossea cruris. Unfallchirurgie 23: 230–235

Arcq M (1973) Ectopic ossification: A complication after total hip replacement. Arch Orthop Unfallchir 77: 108–131

Atkin RM, Duckworth T, Kanis JA (1990) Features of algodystrophy after Colles' fracture. J Bone Joint Surg Br 72: 105–110

Baltensweiler J (1997) Fettemboliesyndrom, Klinik und Prophylaxe. Huber, Bern Stuttgart Wien

Berman B, Flores F (1998) The treatment of hypertrophic scars and keloids. Eur J Dermatol 8: 591–596

Beutler S, Regel G, Pape HC et al.(1999) Die extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) in der Behandlung von Pseudarthrosen des Röhrenknochens. Unfallchirurg 102: 839–847

Bhandari M, Guyatt GH, Tong D, Adili A, Shaughnessy SG (2000) Reamed versus nonreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: A systematic overview and meta-analysis. J Orthop Trauma 14: 2–9

Blauth W. (1991) Die CPM Behandlung mit motorisierten Übungsgeräten. Historie und heutiger Stand. Praktische Hinweise. Urban & Vogel, München

Bonutti PM, Bell GR (1986) Compartment syndrome of the foot. J Bone Joint Surg Am 68: 1449–1451

Booth DW, Westers BM (1989) The management of athletes with myositis ossificans traumatica. Can J Sport Sc 14: 10–16

Bosch U (1991) Das Kompartmentsyndrom am Becken. Unfallchirurg 94: 244–248

Brady LW (1979) Radiation-induced sarcomas of bone. Skeletal Radiol 4: 72–78

Brandner H, Späth K (2001) Extrakorporelle Stoßwellentherapie bei Knochenheilungsstörungen. Trauma Berufskrankh 3 (Suppl 2): S253–S261

Braun-Falco O, Plewig G, Wolff HH (1996) Dermatologie und Venerologie. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Breusch S.J, Reitzel T, Schneider U, Volkmann M, Ewerbeck V, Lukoschek M (2000) Zementierte Hüftendoprothetik – Verminderung des Fettembolierisikos mittels gepulster Druckspülung. Orthopäde 29: 578–586

Brooker AF, Bowermann JW, Robinson RA, Riley LH (1973) Ectopic ossification following total hip replacement – incidence and a method of classification. J Bone Joint Surg Am 55: 1629–1632

Bruehl S, Carlson CR (1992) Predisposing psychological factors in the development of reflex sympathetic dystrophy. A review of the empirical evidence. Clin J Pain 8: 287–299

Bühren V (2000) Kompressionsmarknagelung langer Röhrenknochen. Unfallchirurg 103: 708–720

Bulger EM, Smith DG, Maier RV, Jurkovich GJ (1997) Fat embolism syndrome. A 10-year review. Arch Surg 132: 435–439

Carpenter JP, Holland GA, Baum RA et al. (1993) Magnetic resonance venography for the detection of venous thrombosis: Comparison with contrast venography and duplex Doppler ultrasonography. J Vasc Surg 18: 734–741

CDC/Centers for Disease Control and Prevention (1989) Definitionen für nosokomiale Infektionen. Hyg Med 14: 259–269

Cella JP, Salvati EA, Sculco TP (1988) Indomethacin for the prevention of heterotopic ossification following total hip arthroplasty. Effectiveness, contraindications, and adverse effects. J Arthroplasty 3: 229–234

Chandnani VP, Beltran J, Morris CS et al. (1990) Acute experimental osteomyelits and abscesses: Detection with MR Imaging versus CT. Radiology 174: 233–236

Christie J, Burnett R, Potts HR, Pell AC (1994) Echocardiography of transatrial embolism during cemented and uncemented hemiarthroplasty of the hip. J Bone Joint Surg Br 76: 409–412

Collins R, Baignent C, Sandercock P, Peto R (1994) Antiplatelet therapy for thromboprophylaxis: The need for careful consideration of the evidence from randomized trials. Antiplatelets Trialists Collaboration. BMJ 309: 1215–1217

Daschner F, Langmaack H, Hartung H.G, Maros-Schwörer M (1983) Einfluß von Plastikinzisionsfolien auf die postoperative Wundinfektionsrate. Internist Praxis 23: 357
Davis JC, Heckmann JD, DeLee JC, Buchwoldt FJ (1986) Chronic non-hematogenous osteomyelitis treated with adjuvant hyperbaric oxygen. J Bone Joint Surg Am 68: 1210–1217
de Bruijin HP (1987) Functional treatment of Colles fractures. A prospective clinical study. Thesis, Maastricht
de Flitch CJ, Stryker JA (1993) Postoperative hip irradation in prevention of heterotopic ossification: Causes of treatment failure. Radiology 188: 265–270
Dearborn JT, Harris WH (1998) Postoperative mortality after total hip arthroplasty: An analysis of deaths after two thousand seven hundred and thirty six procedures. J Bone Joint Surg Am 80: 1291–1294
Decurtins M, Goti F (1998) Postoperativer Ileus – Früh, spät oder gar nicht operieren? Zentralbl Chir 123: 1355–1359
Der Arzneimittelbrief (1998) Jahrgang 32, 4: 25–27
Dietzel W (1996) Anästhesiologie und Intensivpflege – Häufigkeit und Art der Infektionen. Krankenhaus-Hygiene + Infektionsverhütung 6: 190–196
Dillin L, Slabaugh P (1986) Delayed wound healing. J Trauma 26: 1116–1121
du Moulin GC, Paterson DG, Hedley-Whyte J, Lisbon A (1982) Aspiration of gastric bacteria in antacid-treated patients: A frequent cause of postoperative colonization of the airway. Lancet 1: 242–245
Ebinger T, Schulte M, Mentzel M, Kinzl L (2002) Frühzeitige Exzision periartikulärer Ossifikationen des Ellenbogengelenkes. Aktuelle Traumatol 32: 153–156
Echtermeyer V (1991) Kompartmentsyndrom. Prinzipien der Therapie. Unfallchirurg 94: 225–230
Echtermeyer V, Horst P (1997) Das Kompartmentsyndrom. Ausschließlich das Resultat eines gestiegenen muskulären Logendrucks? Unfallchirurg 100: 924–937
Ephgrave KS, Kleinman-Wexler R, Pfaller M, Booth B, Werkmeister L, Young S (1993) Postoperative pneumonia: A prospective study of risk factors and morbidity. Surgery 114: 815–821
Eriksson BI, Ekman S, Lindbratt S et al. (1997) Prevention of thromboembolism with us of recombinant hirudin. Results of a double-blind, multicenter trial comparing the efficacy of desirudin (Revasc) with that of unfractionated heparin in patients having a total hip replacement. J Bone Joint Surg Am 79: 326–333
Ernst K, Hundeiker M (1995) Ergebnisse der Kryotherapie bei 394 Patienten mit hypertrophen Narben und Kelloiden. Hautarzt 46: 462–466
Esenwein SA, Sell S, Willms R, Schulze W, Richter J, Muhr G (1999) Anwendung von Diclofenac zur Prophylaxe heterotoper Ossifikationen. In: Hertel P, Rehm KE (Hrsg) 63. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 17. bis 20. November 1999, Abstracts. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 378–379 (Hefte zu Der Unfallchirurg)
Estes RJ, Meduri GU (1995) The pathogenesis of ventilator-associated pneumonia. Mechanisms of bacterial transcolonization and airway inoculation. Intensive Care Med 21: 365–383
Eulert J, Knelles D, Barthel T (1997) Heterotope Ossifikationen. Unfallchirurg 100: 667–674
Eyssel M, Graupe F (1996) Die planmäßige Revision – Ein Beitrag zur Behandlungsstrategie des Frühinfektes in der Unfallchirurgie. Unfallchirurgie 22: 139–142
Fleischmann W, Strecker W, Bombelli M, Kinzl L (1993) Vakuumversiegelung zur Behandlung des Weichteilschadens bei offenen Frakturen. Unfallchirurg 96: 488–492
Food and Drug Administration Public Health Advisory (1997) Reports of epidural or spinal hematomas with the concurrent use of low molecular weight heparin and spinal/epidural anaesthesia or spinal puncture. United States Department of Health and Human Resources, Rockville/MD
Freedman KB, Brookenthal KR, Fitzgerald RH, Williams S, Lonner JH (2000) A Meta-analysis of thromboembolic prophylaxis following elective total hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Am 82: 929–938
Fulde G, Harrison P (1991) Fat embolism: A review. Arch Emerg Med 8: 233–239
Garfin SR (1981) Anatomy of the extremitiy compartments. In: Mubarak SJ, Hargens AR (eds) Compartment syndromes and Volkman's contracture. Saunders, Philadelphia, pp 1–232
Garibaldi RA, Britt MR, Coleman ML, Reading JC, Pace NL (1981) Risk factors for postoperative pneumonia. Am J Med 70: 637–680
Geerts WH, Code KI, Jay R et al. (1994) A prospective study of venous thromboembolism after major trauma. N Engl J Med 331: 1601–1606
Geerts WH, Jay R, Code K et al. (1995) Thrombophrophylaxis after major trauma – a double blind RCT comparing LDH and the LMWH, Enoxaparin. Thromb Haemost 73: 284–292
Gehling H, Künneke M, Leppek R, Giannadakis K, Gotzen L (1994) Ist eine medikamentöse Thromboembolieprophylaxe bei konservativer, ambulanter Therapie der fibularen Bandrutur des oberen Sprunggelenkes erforderlich? In: Neugebauer E, Troidl H (Hrsg) Effektivität und Ökonomie chirurgischen Handelns. Thieme, Stuttgart, S 56–61
Gehling H, Giannadakis K, Lefering R, Hessmann M, Achenbach S, Gotzen L (1998) Prospektiv-randomisierte Pilotstudie zur ambulanten Thromboembolieprophylaxe. 2mal 500 mg Aspirin (ASS) versus Clivarin 1750 (NMH). Unfallchirurg 101: 42–49
Giannadakis K, Gehling H, Sitter H, Achenbach S, Hahne H, Gotzen L (2000) Ist eine generelle medikamentöse Thromboembolieprophylaxe bei konservativer Behandlung von Verletzungen der unteren Extremität im immobilisierenden Unterschenkelstützverband notwendig? Unfallchirurg 103: 475–478
Gurd AR (1970) Fat embolism: An aid to diagnosis. J Bone Joint Surg Br 52: 732–737
Haas S (1997) Thrombose in der Unfall- und Orthopädischen Chirurgie. Prophylaxe, Diagnostik, Therapie. Unfallchirurg 100: 307–319
Hansis M (1999) Die Sudeck'sche Dystrophie. Eine unvermeidbare Verletzungskomplikation bei der distalen Radiusfraktur? Zentralbl Chir 124: 479–482
Hansis M, Siebert CH, Arens S (1995) Versuch einer Bewertung (Scoring) posttraumatischer bzw. postoperativer Infektionen an Knochen und Weichteilen. Hefte Unfallchir 255: 249–254
Hargens AR, Akeson WH, Mubarak SJ et al. (1989) Tissue fluid pressures: From basic research tools to clinical applications. J Orthop Res 7: 902–909
Hatz R.A, Niedner R, Vanscheidt W, Westerhof W (1993) Wundheilung und Wundmanagement. Ein Leitfaden für die Praxis. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
Hedley AK, Leon PM, Douglas HH (1989) The prevention of heterotopic bone formation following total hip arthroplasty using 600 rad in a single dose. Arthroplasty 4: 319–325
Heim D, Schlegel U, Perren SM (1993) Intramedullary pressure in reamed und unreamed nailing of the femur and tibia – an in vitro study in intakt human bones. Injury 24 Suppl 3: 56–63
Hencke J, Strube HD (1998) Die hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) als ergänzendes Verfahren in der Behandlung der chronischen Osteomyelitis. OP-Journal 14: 197–202
Hierholzer S, Hierholzer G (1984) Antibiotikaprophylaxe in der Unfallchirurgie. Chirurg 55: 222–226
Hoffmann R, Klaar N, Heinz J, Nonnemann HC (1999) Pseudarthrosen im Gesamtkrankengut einer Unfallchirurgischen Klinik. Osteoporos Int (Suppl) 7: 5–8
Hofmann S, Hopf R, Huemer G, Kratochwill C, Koller-Strametz J, Schlag G, Salzer M (1993) Modifizierte Operationstechnik zur Vermeidung von Knochenmarkausschüttung in der Knieendoprothetik. Orthopäde 24: 144–150
Hofmann-Rösener M (1995) Dekubitus-Prophylaxe im Operationssaal. Krankenpflege Journal 33: 86–88
Hofmann-Rösener M (1998) Standardisierte Dekubitustherapie mit besonderer Berücksichtigung der feuchten Wundbehandlung. In: Wassel P, Berngroß H (Hrsg) Moderne Wundbehandlung. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 7–14
Huemer G, Hofmann S, Kratochwill C, Koller-Strametz J, Hopf R, Schlag G, Salzer M (1955) Therapeutische Ansätze zur Behandlung des Fettembooliesyndroms. Orthopäde 24: 173–178
Isendorf WD v, Ritter G (1977) Untersuchungen zur Höhe und Bedeutung des intramedullären Druckes während des Einzementierens von Hüftendoprothesen. Unfallchirurgie 3: 99–104
Jadad AR, Carroll D, Glynn CJ, McQuay HJ (1995) Intravenous regional sympathetic blockade for pain relief in reflex sympathetic dystrophy: A syste-

matic review and a randomized, double-blind crossover study. J Pain Symptom Manage 10: 13–20
Jerosch J, Lindner N, Fuchs S (1995) Langfristige Therapieergebnisse der chronischen, posttraumatischen Osteomyelitis mit Gentamycin-PMMA-Ketten. Unfallchirurg 98: 338–343
Kappstein I, Daschner F (1989) Infektionsprophylaxe: Fakten und Mythen. Z Orthop 127: 467
Katthagen BD, Zamani P, Jung W (1992) Einfluß der Inzisionsfolie auf das Keimverhalten im Operationsgebiet. Z Orthop 130: 230–235
Katz BE (1995) Silicone gel sheeting in scar therapy. Cutis 56: 65–67
Kemler M.A, Barendse G.A.M, van Kleef M et al. (2000) Spinal cord stimulation in patients with chronic reflex sympathetic dystrophy. N Engl J Med 343: 618–624
Kienapfel H, Koller M, Wüst A, Sprey C, Merte H, Engenhart-Cabillic R, Griss P (1999) Prevention of heterotopic bone formation after total hip arthroplasty: A prospective randomised study comparing postoperative radiation therapy with indomethacin medication. Arch Orthop Trauma Surg 119: 296–302
Kinzl L, Bauer G, Fleischmann W (1995) Diagnostik und Therapie der posttraumatischen Osteitis. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 1–254 (Hefte zu Der Unfallchirurg)
Kissling R, Sager M (1990) Morbus Sudeck – Erscheinungsbild und Therapie. Unfallchirurgie 16: 88–94
Kladny B, Nerlich M (1991) Das Kompartmentsyndrom am Oberschenkel. Unfallchirurg 94: 249–253
Knudson MM, Lewis FR, Clinton A et al. (1994) Prevention of venous thromboembolism in trauma patients. J Trauma 37: 1–11
Kock HJ, Schmit-Neuerburg KP, Hanke J, Hakmann A, Althoff M, Rudofsky G, Hirche H (1993) Ambulante Thromboseprophylaxe mit niedermolekularen Heparin bei Gipsimmobilisation der unteren Extremität. Chirurg 64: 483–491
Konski A, Weiss C, Rosier C et al. (1990) The use of postoperative irradiation for the prevention of heterotopic bone after total hip replacement with biological fixation prothesis. An animal model. Int J Radiat Oncol Biol Phys 18: 861–865
Koopman MW, Prandoni P, Piovella F et al. (1996) Treatment of venous thrombosis with intravenous unfractionated heparin administered in the hospital compared with subcutaneous low-molecular-weight heparin administered at home. N Engl J Med 334: 682–687
Koorevaar CT, Hu HP, Lemmens A, van Kampen A (1999) No effective prophylaxis of heterotopic ossification with short-term ibuprofen. Arch Orthop Trauma Surg 119: 183–185
Koppenhagen K, Häring R (1995) Aktuelle Aspekte zur stationären und ambulanten Thromboembolie-Prophylaxe. In: Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (Hrsg) Grundlagen der Chirurgie. Beilage zu den Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie. Heft 3
Krahn N.E (2005) Das akute Kompartmentsyndrom. Funktionelle Resultate und Lebensqualität nach operativer Behandlung. Inaugural-Dissertation, Ruhr Universität Bochum.
Kretschmann B, Hierholzer G (1998) Algodystrophie – Erscheinungsbild und Therapie. Aktuelle Traumatol 28: 279–283
Kumar K, Nath RK, Toth C (1997) Spinal cord stimulation is effective in the management of reflex sympathetic dystrophy. Neurosurgery 40: 503–508
Lanz U (1982) Das Kompartment-Syndrom der oberen Extremitäten. Hefte Unfallheilkunde 158: 701–707
Leibfritz H, Heisel J (2000) Häufigkeit und Ursache postoperativer periartikulärer Ossifikationen nach primärem Hüftgelenkersatz. Orthopäd Praxis 36: 708–713
Leizorovicz A, Simonneau G, Decousus H, Boissel JP (1994) Comparison of efficacy and safety of low molecular weight heparins and unfractionated heparin in initial treatment of deep vein thrombosis. A meta-analysis. BMJ 309: 299–304
Lensing AWA, Prins MH Davidson BL, Hirsh J (1995) Treatment of deep vein thrombosis with low-molecular-weight heparins. A meta-analysis. Arch Intern Med 155: 601–607
Levine M, Gent M, Hirsh J et al. (1996) A comparison of low-molecular-weight heparin administered primarily at home with unfractionated heparin administered in the hospital for proximal deep-vein thrombosis. N Engl J Med 334: 677–681
Levy D (1990) The fat embolism syndrome. Clin Orthop 261: 281–286
Lindsay WRN, Dewar FP (1958) Fractures of the os calcis. Am J Surg 95: 555
Linke LC, Katthagen BD (1999) Gewichtsadaptierte Heparintherapie zur Behandlung venöser Thrombosen in der Gelenkchirurgie. Unfallchirurgie 25: 193–197
Lode H, Schaberg T, Raffenberg M (1997) Therapie der nosokomialen Pneumonie. Dtsch Med Wochenschr 122: 93–96
Löffler RD, Ballard A (1980) Plantar fascial spaces of the foot and a proposed surgical approach. Foot Ankle 1: 11–14
Malchau H, Herberts P, Eisler T, Garellik G, Soderman P (2002) The Swedisch total hip replacement register. J Bone Joint Surg Am 84 Suppl 2: 2–20
Matsen FA III, Winquist RA, Krugmire RB Jr (1980) Diagnosis and management of compartmental syndromes. J Bone Joint Surg Am 62: 286–291
Mayer A, Vogel N, Rommens PM (1999) Thromboembolische Komplikationen bei Patienten mit Becken- und Azetabulumfrakturen. Diagnostik, Therapie, Prävention. Unfallchirurgie 25: 183–192
Mayr E, Frankel V, Rüter A (2000) Ultrasound – an alternative healing method for nonunions? Arch Orthop Trauma Surg 120: 1–8
McQueen MM, Court-Brown C.M (1996) Compartment monitoring in tibial fractures. The pressure threshold for decompression. J Bone Joint Surg Br 78: 99–104
McQueen MM, Christie J, Court-Brown CM (1996) Acute compartment syndrome in tibial diaphyseal fractures. J Bone Joint Surg Br 78: 95–98
McQueen MM, Gaston P, Court-Brown CM (2000) Acute compartment syndrome. Who is at risk? J Bone Joint Surg Br 82: 200–203
Montgomery KD, Potter HG, Helfet DL (1995) Magnetic resonance venography to evaluate the deep venous system of the pelvis in patients who have an acetabular fracture. J Bone Joint Surg Am 77: 1639–1649
Mubarak SJ (1981) Principles of treating compartment syndromes. In: Mubarak SJ, Hargens AR (eds) Compartment syndromes and Volkman's contracture. WB Saunders, Philadelphia, pp 1–232
Mubarak SJ, Hargens AR (1983) Acute compartment syndromes. Surg Clin North Am 63: 539–565
Müller C, Rahn B, Pfister U, Meining R (1994) The incidence, pathogenesis, diagnosis, and treatment of fat embolism. Orthop Rev 23: 107–117
Münzenberg KJ (1978) Therapie des Sudeck-Syndroms mit Calcitonin. Dtsch Med Wochenschr 103: 26–29
Myerson M (1987) Acute compatment syndrome of the foot. Bull Hosp J Dis Orthop Inst 47: 251–261
Myerson M (1991) Management of compartment syndromes of the foot. Clin Orthop 271: 239–248
Myerson M, Manoli A (1993) compartment syndromes of the foot after calcaneal fractures. Clin Orthop 290: 142–150
Nerlich M, Dziadzka S, Schmidt U (1991) Das Kompartmentsyndrom am Unterschenkel. Langzeitergebnisse. Unfallchirurg 94: 257–261
Nordstrom M, Lindblad B, Bergqvist D et al. (1992) A prospective study of the incidence of deep-vein thrombosis within a defined urban population. J Intern Med 232: 155–156
Ochsner PE (1992) Prognosis and complications of open fractures. Helv Chir Acta 59: 129–141
Orsini EC, Byrick RJ, Mullen JBM, Kay JC, Wadell JP (1987) Cardiopulmonary function and pulmonary microemboli during arthroplatsy using cemented or non-cemented components. J Bone Joint Surg Am 69: 822–832
Panknin HT, Vogel F (1993) Infektionsprävention transurethraler katheterinduzierter Harnwegsinfektionen. Krankenhaus-Hygiene + Infektionsverhütung 15: 76–82
Panknin H-T, Schwemmle K, Haacke C (1999) Strenge Indikationsstellung für thransurethrale Blasenverweilkatheter in der Allgemeinchirurgie. Krankenpflege Journal 37: 431–436
Pape HC, Zwipp H, Regel G, Hoffmann M, Maschek H, Tscherne H (1995) Chronische therapierefraktäre Osteomyelits langer Röhrenknochen – Möglichkeiten und Risiken der Markraumbohrung. Unfallchirurg 98: 139–144
Partsch H (1996) Diagnose und Therapie der tiefen Thrombose. VASA J Vasc Dis 46 Suppl: 1–53
Peltier LF (1988) Basic science and pathology: Fat embolism (a perspective). Clin Orthop 232: 263–270

Piltz S, Lob G (1998) Komplikationen in der Unfallchirurgie. Unfallchirurg 101: 856–865
Plewes L.W (1956) Sudeck's atrophy in the hand. J Bone Joint Surg Br 38: 195–203
Ploberger E, Povacz F (1994) Unterschenkelmarknagelung und Kompartmentsyndrom. Unfallchirurg 97: 266–268
Ramamurthy S, Hoffman J (1995) Intravenous regional guanethidine in the treatment of reflex sympathetic dystrophy/causalgia: A randomized, double-blind study. Guanethidine Study Group. Anesth Analg 81: 718–723
Raschke RA, Reilly BM, Guidry JR et al. (1993) The weight-based heparin dosing nomogram compared with a standard care nomogram. Ann Intern Med 119: 874–881
Röder W, Isemer FE (1998) Zum Problem der Markeinschwemmung bei Versorgung von proximalen Femurfrakturen. Gamma-Nagel versus DHS. In: Gahr RH, Leung KS, Rosenwasser MP, Roth W (Hrsg) Der Gamma-Nagel. Standortbestimmung nach den ersten zehn Jahren. Einhorn, Reinbek, S 98–106
Rorabeck CH (1984) The treatment of compartment syndromes of the leg. J Bone Joint Surg Br 66: 93–97
Rowland SA (1999) Fasciotomy: The treatment of compartment syndrome. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC (eds) Green's operative hand surgery, 4th edn. Churchill Livingstone, New York Edinburgh London , pp 689–710
Rübenacker S, Burri C (1989) Antibiotikaprophylaxe in der Unfallchirurgie – Ergebnisse einer klinischen Studie. Fortschr Antimikrob Antineoplast Chemother 8: 413–418
Rüden H, Daschner FD, Schumacher M (1995) Nosokomiale Infektionen in Deutschland – Erfasssung und Prävention (NIDEP-Studie). Teil 1: Prävalenz nosokomialer Infektionen. Nomos, Baden-Baden (Qualitätssicherung in der Krankenhaushygiene, Bd 56, Schriftreihe des Bundesministeriums für Gesundheit)
Runkel M, Rommens PM (2000) Pseudarthrosen. Unfallchirurg 103: 51–63
Rüter A, Mayr E (1999) Pseudarthrosen. Chirurg 70: 1239–1245
Salzman EW, Harris WH (1976) Prevention of venous thromboembolism in orthopaedic patients. J Bone Joint Surg Am 58: 903–906
Schaberg T, Lode H (1997) Diagnostik der nosokomialen Pneumonie. Dtsch Med Wochenschr 122: 61–64
Schaden W (2000) Extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) bei Pseudarhtrosen und verzögerter Frakturheilung. Trauma Berufskrankh 2 (Suppl 3): S333–S339
Scherer M (2002) Arthroskopisch unterstützte Behandlung von Tibiakopffrakturen. 4: 51–62
Schmidt J, Sulk C, Weigand C, LaRosee K (2000) Reduction of fat embolic risks in total hip arthroplasty using cannulated awls and rasps for the preparation of the femoral canal. Arch Orthop Trauma Surg 120: 100–102
Schmidt U, Tempka A, Nerlich M (1991) Das Kompartmentsyndrom am Unteram. Unfallchirurg 94: 236–239
Schneider U, Hierholzer G, Böhm H-J (1996) Knochen- und Gelenkinfektionen. Unfallchirurg 99: 789–800
Schoellner C, Rompe J-D, Decking J, Heine J (2002) Die hochwertige extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) bei Pseudarthrose. Orthopäde 31: 658–662
Schrinner S (1997) Die Behandlung posttraumatischer bzw. postoperativer Knocheninfektionen am Unterschenkel. Vortrag auf der 5. Dortmunder Unfallchirurgie-Tagung, 28.2 bis 1.3.1997. In: Langendorff H-U, Wolf L (Hrsg) Homo Reparandus. Merck Biomaterial, S 91–95
Schlömer G (2003) Dekubitusrisikoskalen als Screeninginstrumente – Ein systematischer Überblick externer Evidenz. ZaeFQ 97: 33-46
Schulz RH, Buch K (1998) Morbus Sudeck – Pathologie, Klinik und Therapie. Sportverletz Sportschaden 12: 79–85
Schwartz JT, Brumback RJ, Lakatos R et al. (1989) Acute compartment syndrome ot the thigh: A spectrum of injury. J Bone Joint Surg Am 71: 392–400
Seifert J, Matthes G, Stengel D, Hinz P, Ekkernkamp A (2002) Kompartmentsyndrom, Standards in Diagnostik und Therapie. Trauma Berufskrankh 4: 101–106
Sikorski JM, Hampson WG, Staddon GE (1981) The natural history and aetiology of deep vein thrombosis alter total hip replacement. J Bone Joint Surg Br 63: 171
Stammler F, Diehm C (1998) Niedermolekulare Heparine bei venöser Thromboembolie. Wirkmechanismus, Therapie und Prophylaxe. Dtsch Med Wochenschr 123: 604–611
Sterk J, Schierlinger M, Gerngross H, Willy C (2001) Intrakompartimentelle Druckmessung beim akuten Kompartmentsyndrom. Unfallchirurg 104: 119–126
Stöckle U, Hoffmann R, Südkamp NP, Haas N (1995) Kontinuierliche Kryotherapie – Ein Fortschritt in der Therapie des posttraumatischen und postoperativen Ödems. Unfallchirug 98: 154–159
Stöckle U, Weißkopf M, Hoffmann R, Südkamp N.P, Haas N (1997) Optimierte Therapie des posttraumatischen Ödems. Krankengymnastik 49: 1335–1346
Strecker W, Suger G, Kinzl L (1996) Lokale Komplikationen der Marknagelung. Orthopäde 25: 274–291
Strunk H, Osterbrink JK (1990) Der Operationstisch als Risiko für Druckstellen. Die Schwester/Der Pfleger 11: 934–941
Swoboda B, Scola E, Zwipp H (1991) Operative Behandlung und Spätergebnisse des Fußkompartmentsyndroms. Unfallchirurg 94: 262–266
Tambyah PA, Halvorson K, Maki DG (1997) A prospective study of the pathogenesis of catheter-associated urinary tract infection. Seventh Annual Meeting of the Society of Healthcare Epidemiology of America. Abstract M48
Tan V, Pepe MD, Glaser DL, Seldes RM, Heppenstall RB, Esterhai JL (2000) Well-leg comparment pressures during hemilithotomy position for fracture fixation. J Orthop Trauma 14: 157–161
Tebbe B, Zouboulis CC, Blume-Peytavi U, Gollnick H (1995) Keloide und hypertrophe Narben. In: Orfanos CE, Garbe C (Hrsg) Therapie der Hautkrankheiten. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 1265–1272
Tempka A, Schmidt U (1991) Das Kompartmentsyndrom der Hand. Diagnose, Therapie, Ergebnisse, Spätfolgen. Unfallchirurg 94: 240–243
Tempka A, Förster C, Schmidtmaier G, Haas NP (1999) Ausschluß einer Thrombose durch einen D-Dimer Schnelltest. In: Hertel P, Rehme KE (Hrsg) 63. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 17. bis 20. November 1999, Abstracts. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 25–26 (Hefte zu Der Unfallchirurg)
Thiele R (2000) Effekt extrakorporaler Stoßwellentherapien (ESWT) am Stütz- und Bewegungsapparat. Trauma Berufskrankh 2 (Suppl 3): S324–S332
Tornetta P III, French BG (1997) Compartment pressures during nonreamed tibial nailing without traction. J Orthop Trauma 11: 24–27
Trnka HJ, Zenz P, Zembsch A, Easley M, Ritschl P, Salzer M (1999) Stable bony integration with and without short-term indomethacin prophylaxis. Arch Orthop Trauma Surg 119: 456–460
Van der Laan L, Goris RJA (1997) Sudeck-Syndrom. Hatte Sudeck recht? Unfallchirurg 100: 90–99
Vogel F, Naber KG, Wacha H et al. (1999) Parenterale Antibiotika bei Erwachsenen. Chemother J 8: 2–49
Weber BG, Cech O (1973) Pseudarthrosen. Huber, Bern Stuttgart Wien
Weise K, Schäffer M (2000) Wundheilungsstörungen in der Unfallchirurgie. Unfallchirurg 103: 100–109
Wenda K, Heinrichs KJ, Biegler M, Erbel R (1989) Nachweis von Markembolien während Oberschenkelmarknagelungen mittels transoesophagealer Echokardiographie. Unfallchirurgie 15: 73–76
Wenda K, Ritter G, Degreif J, Rudigier J (1988) Zur Genese pulmonaler Komplikationen nach Marknagelosteosynthesen. Unfallchirurg 91: 432–435
Wenda K, Ritter G, Ahlers J, V.Isendorf WD (1990) Nachweis und Effekte von Knochenmarkeinschwemmungen bei Operationen im Bereich der Femurmarkhöhle. Unfallchirurg 93: 56–61
Wenda K, Runkel M, Degreif J, Ritter G (1993) Pathogenesis and clinical relevance of bone marrow embolism in medullary nailing. Injury 24 Suppl 3: 73–81
Wenzl ME, Leffringhausen W, Scherlitzky L (1996) Extremitätenverluste bei heparininduzierter Thrombozytopenie. Unfallchirurg 99: 607–611
Westrich GH, Haas SB, Mosca P, Peterson M (2000) Meta-analysis of thromboembolic prophylaxis after total knee arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 82: 795–800
Wick M, Müller EJ, Hahn MP, Muhr G (1999) Surgical excision of heterotopic bone after surgery followed by oral indomethacin application: Is there a clinical benefit for the patient? Arch Orthop Trauma Surg 119: 151–155

Willis RB, Rorabeck CH (1990) Treatment of compartment syndrome in children. Orthop Clin North Am 21: 401–412
Willy C, Sterk J, Völker H-U, Sommer C, Weber F, Trentz O, Gerngroß H. (2001) Das akute Kompartmentsyndrom. Ergebnisse einer klinisch-experimentellen Studie zu Druck- und Zeitgrenzwerten für die Notfallfasziotomie. Unfallchirurg 104: 381–391
Wippermann B, Schmidt U, Nerlich M (1991) Behandlungsergebnisse beim Kompatmentsyndrom des Oberarms. Unfallchirurg 94: 231–235
Zekert F, Kohn P, Vormittag E, Poigenfürst J, Thien M (1974) Thromboembolieprophylaxe mit Acetylsalicylsäure bei Operationen wegen hüftgelenksnahen Frakturen. Unfallheilk 77: 97–110
Zöch G (2000) Das Prinzip der vakuumunterstützten Wundbehandlung. Acta Chir Austriaca 32 Suppl 167: 3–4

Analyse und Korrektur von Deformitäten der oberen und unteren Extremität

W. Strecker

18.1 Basiswissen – 958
18.2 Untere Extremitäten – 958
18.3 Obere Extremitäten – 1001
Literatur – 1012

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_18,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

18.1 Basiswissen

Die räumliche Anordnung des menschlichen Skeletts fußt im Wesentlichen auf 2 Grundlagen:

- Der Symmetrie und
- den funktionellen und mechanischen Gesetzmäßigkeiten.

Die **Symmetrieebene** verläuft sagittal median und teilt das Skelett in 2 spiegelbildliche Hälften. Demzufolge sind die geometrischen Eckdaten der oberen und unteren Extremitäten grundsätzlich seitengleich. Dies betrifft die frontale, sagittale und horizontale Achsausrichtung der analogen Knochen ebenso wie deren Längen- und Torsionsverhältnisse. Das Prinzip einer intraindividuellen knöchernen Symmetrie im Links-Rechts-Seitenvergleich schließt allerdings gewisse individuelle **Toleranzen** nicht aus.

Ist nur eine Extremität deformiert, wird die kontralaterale Seite als Referenz herangezogen. Bei beidseitigen Fehlstellungen muss auf Normwerte eines altersentsprechenden Bevölkerungsquerschnitts zurückgegriffen werden.

Die funktionellen und mechanischen Ansprüche an die einzelnen Extremitätensegmente führten phylogenetisch zu einer optimierten Achsausrichtung der Gliederkette mit entsprechenden Beweglichkeiten der beteiligten Gelenke.

Statische Abweichungen von dieser idealen knöchernen Anatomie werden als **Deformitäten** bezeichnet. Diese knöchernen Formabweichungen sind beim Erwachsenen irreversibel. Kinder verfügen hingegen über eine gewisse Fähigkeit zur Spontankorrektur von Deformitäten. Dieses Korrekturpotenzial wird beeinflusst vom Wachstumsalter sowie von Art und Pathogenese der individuellen Deformität.

Knöcherne Deformitäten können metabolische, infektiöse/postinfektiöse, kongenitale, tumoröse oder traumatische/posttraumatische Ursachen haben. Echte, also anatomische Deformitäten, sind von funktionellen Deformierungen abzugrenzen. Funktionelle Abweichungen können durch Muskel- und Sehnenverkürzungen, Gelenkkontrakturen und/oder neurologische Imbalancen bedingt sein.

Die **knöcherne Geometrie** der Extremitäten wird durch 5 räumliche Dimensionen festgelegt. Neben der Ausrichtung der Achsen in den 3 Ebenen des Raums sind Längen und Drehungen zu bewerten. Daraus ergeben sich (◘ Tab. 18.1):

- in der Frontalebene eine Varus-/Valgusabweichung,
- in der Sagittalebene eine Ante-/Rekurvation,
- in der Horizontalebene eine Translation,
- in longitudinaler Achsausrichtung eine Verkürzung/Verlängerung sowie
- bezüglich der Drehung eine Innen-/Außentorsion.

◘ **Tab. 18.1** Analyse der Beingeometrie in 5 räumlichen Dimensionen mit korrespondierenden Abweichungen. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 a)

Dimensionen	Abweichungen
Achsenausrichtung	
Frontal	Varus/Valgus
Sagittal	Ante-/Rekurvation
Horizontal	Translation
Länge	Verkürzung/Verlängerung
Torsion	Innen-/Außentorsion

Während die geometrischen Dimensionen der Achsen in frontaler und sagittaler Ebene und diejenige der Längenverhältnisse auf den ganzen Arm, das ganze Bein oder auf ein knöchernes Segment bezogen, klar definiert sind, besteht bezüglich der Drehung keine einheitliche Nomenklatur. Wir bezeichnen die Drehung im Knochen als **Torsion**, also z.B. Innen- oder Außentorsion des Humerus oder des Femur. Die Drehung zwischen 2 Knochen hingegen wird als **Rotation** definiert und beschreibt somit eine Gelenkbeweglichkeit, also z.B. Innen- oder Außenrotation im Schulter- oder Hüftgelenk.

Ergänzend zur Beschreibung der knöchernen Geometrie der Extremitäten erfolgt eine funktionelle und anatomische Charakterisierung durch Angabe der Bewegungsumfänge der beteiligten Gelenke, entsprechend den Vorgaben der **Neutral-Null-Methode**. Bei allen Gelenken der oberen und unteren Extremitäten werden hierbei Extension/Flexion erfasst. Schulter- und Hüftgelenk ermöglichen darüber hinaus noch Abduktion/Adduktion, Schulter, Hüfte und Knie eine Außen- und Innenrotation. Hinzu kommen Anteversion/Retroversion der Schulter, Pronation und Supination des Ellenbogengelenks bzw. des Unterarms.

Deformitäten der oberen Extremität sind nicht nur sehr viel seltener als Beindeformitäten, sondern haben meist auch deutlich geringere funktionelle und kosmetische Auswirkungen. Die klinische Bedeutung der Beindeformitäten ist ungleich größer. Nach eigenen Erfahrungen treffen auf eine Korrekturosteotomie an der oberen Extremität, lässt man handgelenknahe Korrekturen außer Acht, etwa 30 Korrekturen der unteren Extremität. Aus diesen Gründen werden im Folgenden zunächst die Analyse und Korrektur von Deformitäten der unteren Extremität ausführlicher dargestellt.

Eine Vielzahl von Informationen, etwa zur Korrekturplanung, zur Technik der Knochendurchtrennung und -rekonstruktion, besitzen Allgemeingültigkeit und sind unabhängig vom anatomischen Ort der Deformität. Auf einige typische Deformitäten der oberen Extremität und entsprechenden Korrekturmöglichkeiten wird daher gesondert im zweiten Abschnitt unter 18.3, Obere Extremitäten eingegangen.

18.2 Untere Extremitäten

18.2.1 Definitionen und Normalwerte

Achsen und Gelenkwinkel

An der unteren Extremität werden anatomische von mechanischen Achsen unterschieden. Die anatomischen Achsen verlaufen in den jeweiligen diaphysären Zentren von Femur und Tibia, also sozusagen »middiaphysär«. Dagegen verbinden die mechanischen Achsen die Mittelpunkte der angrenzenden Gelenke. Am Femur entsteht somit ein Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Achse von durchschnittlich 7°. An der Tibia sind anatomische und mechanische Längsachse meistens parallel und annähernd deckungsgleich (◘ Abb. 18.1).

Mikulicz erkannte bereits im 19. Jahrhundert die Bedeutung der mechanischen Beinachsen für Fehlstellungen in der Frontalebene: »Die Druckverteilung auf die Gelenke und damit die Bewegung derselben durch die Belastung sind allein abhängig von der Stellung der mechanischen Achsen und unabhängig vom Verlauf der anatomischen Achsen des Knochens.«

Die mechanische Beinachse wird aus der Verbindungslinie zwischen den Zentren von Hüftgelenk und oberem Sprunggelenk gebildet und verläuft normalerweise in der Frontalebene geringgradig medial der Kniegelenkmitte (Paley et al. 1994). Es besteht

somit zwischen der mechanischen Femurachse und der mechanischen Tibiaachse eine Varusstellung von durchschnittlich 1,2–1,3° (Hsu et al. 1990).

Die physiologischen Achsenverhältnisse und Gelenkwinkel sowie deren Schwankungsbreiten sind in ◘ Tab. 18.2 und in ◘ Abb. 18.1 dargestellt und zusammengefasst. Die Nomenklatur folgt den Vorschlägen von Paley und Mitarbeitern (Paley 2002, Paley et al. 1994). Hierbei wird die Lage der Winkel durch 5 Buchstaben exakt beschrieben.

- Der 1. Buchstabe gibt Auskunft über die Art der betroffenen Achse, **a**natomisch oder **m**echanisch.
- Der 2. Buchstabe definiert die Position des Winkels zur zuvor festgelegten Achse: **M**edial oder **L**ateral bzw. **A**nterior oder **P**osterior.
- Der 3. Buchstabe gibt Auskunft über eine **P**roximale oder **D**istale Lage des Winkels im jeweiligen Extremitätensegment.
- Durch den 4. Buchstaben wird das angesprochene Segment der unteren Extremität, **F**emur oder **T**ibia, angegeben.
- Der 5. Buchstabe steht für **W**inkel.

Koxales Femurende

Der CCD-Winkel (Centrum-Collum-Diaphysenwinkel) beschreibt den Winkel zwischen Schenkelhalsachse und anatomischer Femurachse. Dieser beträgt im Mittel 130°, wobei Schwankungsbreiten von 124–136° angegeben werden. Im Alter lässt sich ein Rückgang des CCD-Winkels bis 120° beobachten.

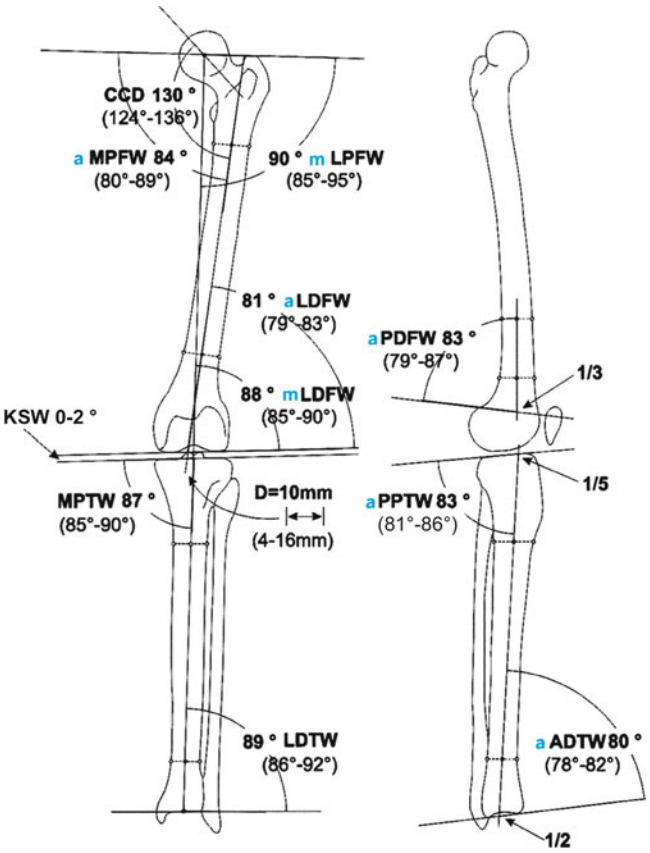
Zur Beschreibung der Winkelverhältnisse am proximalen Femurende kann alternativ auch der Winkel mLPFW im Schnittpunkt zwischen mechanischer Femurachse und der Verbindungslinie zwischen Trochanterspitze und Hüftkopfzentrum verwendet werden. Dieser beträgt im Mittel 90° (85–95°).

Kniegelenk

Durch die Verbindungslinie der distalen Konturen der Femurkondylen wird die femorale Kniebasislinie definiert. Die tibiale Kniebasislinie wird analog hierzu durch die Belastungszonen der Tibiakondylen festgelegt. Zwischen der femoralen und tibialen Kniebasislinie besteht ein nach medial offener Winkel von 0–2°, der Kniespaltwinkel (KSW). Damit stehen femorale und tibiale Kniebasislinie nahezu parallel. Die anatomische Femurachse schneidet die femorale Kniebasislinie medial der Kniegelenksmitte in einer Distanz D von 10 mm (4–16 mm).

Von großer Bedeutung insbesondere bei kniegelenknahen Deformitäten sind die Ermittlungen des lateralen distalen Femurwinkels LDFW, entweder anatomisch oder mechanisch, sowie des medialen proximalen Tibiawinkels MPTW in ◘ Tab. 18.2 und ◘ Abb. 18.1 dargestellt. Anatomische und mechanische Tibiaachse verlaufen meist parallel; aMPTW und mMPTW sind dann gleich, damit ist die alleinige Angabe von MPTW ausreichend.

Schwieriger ist die Ermittlung der entsprechenden Gelenkwinkel in der Sagittalebene. Hierbei werden jeweils die anatomischen Achsen, wie in ◘ Abb. 18.1 dargestellt, benutzt.



◘ **Abb. 18.1** Physiologische Achsenverhältnisse und Gelenkwinkel der unteren Extremität (Nomenklatur im Text bzw. in ◘ Tab. 18.2). (Geringfügig mod. nach Paley et al. 1994, mit freundlicher Genehmigung von D. Paley und K. Tetsworth, Maryland Center for Limb Lengthening and Reconstruction, Baltimore, USA)

◘ **Tab. 18.2** Physiologische Achsen- und Winkelverhältnisse des Beins mit Schwankungsbreiten.(Nach Paley et al. 1994, aus: Strecker u. Keppler 2002 a, S. 813)

Winkel		Normwert (°)	Streuung (°)
CCD	Centrum-Collum-Diaphysenwinkel	130	124–136
aMPFW	Anatomischer medialer proximaler Femurwinkel	84	80–89
mLPFW	Mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel	90	85–95
aLDFW	Anatomischer lateraler distaler Femurwinkel	81	79–83
mLDFW	Mechanischer lateraler distaler Femurwinkel	88	85–90
aPDFW	Anatomischer posteriorer distaler Femurwinkel	83	79–87
mMPTW	Mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel	87	85–90
aPPTW	Anatomischer posteriorer proximaler Tibiawinkel	83	81–86
mLDTW	Mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel	89	86–92
aADTW	Anatomischer anteriorer distaler Tibiawinkel	80	78–82
KSW	Kniespaltwinkel		0-2
D	Distanz (s. Text)	10 mm	4–16 mm

Die jeweiligen Gelenkwinkel aPDFW und aPPTW zeigen relativ große Toleranzen. Beide Winkel sind zudem nicht immer ganz einfach zu bestimmen. Die entsprechende Winkelanalyse stützt sich daher im Zweifelsfall sowohl auf den röntgenologischen intraindividuellen Seitenvergleich als auch auf das Bewegungsausmaß des Kniegelenks.

Distaler Unterschenkel

Bei physiologischer Ausrichtung der Beinachse sind anatomische und mechanische Achsen der Tibia in beiden Ebenen parallel. Die Basislinie des oberen Sprunggelenks in der Frontalebene wird durch die distale tibiale Gelenkfläche festgelegt. Dies gilt ebenso für die Sagittalebene.

Längen

Hierbei interessieren zum einen die Längenverhältnisse zwischen Ober- und Unterschenkel, zum anderen auch die intraindividuellen Längentoleranzen von Oberschenkel-, Unterschenkel- und Beinpaaren.

Das Längenverhältnis von Femur zur Tibia beträgt 1,26±0,1 (±2 Standardabweichungen), sie entspricht also einem Verhältnis von 5:4.

Die Längendifferenzen bei einer gesunden mitteleuropäischen erwachsenen Bevölkerung sind in Tab. 18.3 zusammengefasst. Hierbei werden jeweils die Grenzen für das 95. und 99. Perzentil angegeben. Hieraus werden Längentoleranzen von 1,2 cm für den Oberschenkel, von 1,0 cm für den Unterschenkel und von 1,4 cm für Beinpaare abgeleitet. Die Längentoleranzen geben somit die physiologischen intraindividuellen Längendifferenzen im Rechts-Links-Seitenvergleich an (Strecker et al. 1997c).

Torsionen

Auch hier ist grundsätzlich von einer Symmetrie im Seitenvergleich auszugehen. Dennoch sind die intraindividuellen Unterschiede ebenfalls nicht unerheblich. Diese werden als **Torsionstoleranzen** bezeichnet. Die Torsionstoleranzen betragen für Oberschenkelpaare 13°, für Unterschenkelpaare 14° und für Beinpaare 16° (Tab. 18.3). Innerhalb dieser Grenzen sind intraindividuelle Torsionsunterschiede als physiologisch zu betrachten (Strecker et al. 1997c).

Die gemessenen Absolutwerte der Torsionswinkel sind letztlich von der jeweilig angewandten Messmethode abhängig. Die von uns empfohlene computertomografische Messung der Torsionswinkel nach der Ulmer Methode (Waidelich et al. 1992) ergibt Mittelwerte für die femorale Innentorsion von –24° und die tibiale Außentorsion von +35°. Innentorsionen werden dabei mit einem negativen Vorzeichen belegt, Außentorsionen mit einem positiven Vorzeichen. Während die Absolutwerte der femoralen Innentorsionen rechts und links nahezu gleich sind, drehen rechte Tibiae mit +36,5° im Mittel stärker nach außen als linke Tibiae mit +33° (Strecker et al. 1997c).

Tab. 18.3 Längen- und Torsionswinkeldifferenzen der unteren Extremität bei Erwachsenen. (Nach Strecker et al. 1997c)

Kollektiv	(n)	Median	95. Perzentile	99. Perzentile
Längendifferenzen (mm)				
OS-Paare	178	3	9	12
US-Paare	171	3	8	10
Beinpaare	60	6	11	
Torsionsdifferenzen (°)				
OS-Paare	176	4	11	13
US-Paare	167	5	13	14
Beinpaare	48	5	14	

18.2.2 Methodik

Die Diagnostik von posttraumatischen Deformitäten im Bereich der unteren Extremitäten umfasst die Analyse der gesamten Beingeometrie. Die standardisierte klinische Untersuchung (s. unten) ist das erste Glied in der diagnostischen Kette (Strecker et al. 1997b). Sie liefert wertvolle Hinweise für die anschließende bildgebende Diagnostik. Durch die klinische Untersuchung allein kann weder eine Fehlstellung ausreichend genau beschrieben, noch eine Indikation zur Operation gestellt werden. Die Diagnostik von Achsenabweichungen in der Frontal- und Sagittalebene erfolgt durch exakt eingestellte konventionelle radiologische Aufnahmen (s. unten). Goldstandard zur Torsionswinkel- und Längenbestimmung ist die CT.

Mittlerweile hat zusätzlich die dreidimensionale sonografische Bestimmung der Beingeometrie einen gewissen Platz in der Diagnostik von Deformitäten eingenommen (Keppler et al. 1999). Die Sonografie eignet sich ganz besonders für die Analyse der Beingeometrie von Kindern und Jugendlichen. Bei entsprechender Erfahrung des Untersuchers ist sie auch bei der Untersuchung von Erwachsenen der CT ebenbürtig. Unabhängig von der eingesetzten Messmethode, sei es CT oder Sonografie, ist der Nachweis ihrer jeweiligen Reproduzierbarkeit und Genauigkeit zu fordern.

Klinische Untersuchung

Voraussetzungen für eine umfassende klinische Analyse der Beingeometrie (Strecker et al. 1997b) sind ein ausreichend großer Untersuchungsraum und eine straff gepolsterte Untersuchungsliege mit horizontaler Auflagefläche. Die Untersuchungsliege muss von beiden Seiten und vom Fußende her zugänglich sein. Ansonsten benötigt man gelegentlich Winkelmesser, Maßband, Fettstift und etwa 15×25 cm große Brettchen in verschiedenen Stärken von 0,5–5 cm.

Die unteren Extremitäten der Patienten sollen einschließlich der Füße entkleidet sein. Zur Beurteilung von Beinlängendifferenzen gilt dies auch für den Oberkörper, um die Wirbelsäule beurteilen zu können.

Frontale Achsausrichtung

Die Aufsicht auf den stehenden Patienten von vorne oder hinten erlaubt die Beurteilung von Symmetrie und von Achsabweichungen im Valgus- oder Varussinn (Abb. 18.2a).

In der Normalstellung berühren sich beide Femurkondylen und Malleolen jeweils medial. Beim X-Bein berühren sich nur die Femurkondylen. Die Intermalleolendistanz erlaubt eine orientierende Schätzung des femorotibialen Valguswinkels. Beim O-Bein berühren sich nur die medialen Malleolen. Die Interkondylendistanz wiederum erlaubt Hinweise auf die Größe des femorotibialen Varuswinkels.

Da ein Genu antecurvatum eine X-Beinstellung vortäuscht, ein Genu recurvatum eine O-Beinstellung, soll auf eine neutrale Achsausrichtung in seitlicher Aufsicht geachtet werden.

Instabilitäten der Kniekollateralbänder können knöcherne Deformitäten im Valgus- oder Varussinn vortäuschen. Eine diesbezügli-

Abb. 18.2a,b Physiologische Ausrichtung der Beinachsen. **a** In der Frontalebene. Die Femurkondylen und Malleolen berühren sich. **b** In der Sagittalebene. Sie verläuft wie in der Frontalebene durch die Zentren von Hüft-, Knie- und Sprunggelenk. (Aus: Strecker u. Keppler 2002a)

Abb. 18.3a,b Abschätzung von Beinlängendifferenzen anhand der Gesäßfalten. **a** Unterkorrektur rechts mit 0,8 cm Unterfütterung. **b** Überkorrektur rechts mit 1,5 cm Unterfütterung. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 a)

che Abklärung erfolgt durch die zusätzliche Inspektion und Untersuchung des Patienten auf der Untersuchungsliege in Rückenlage. Durch die neutrale sagittale Achsausrichtung entfällt zudem der störende Einfluss einer Ante- und Rekurvation auf die Beurteilung von frontalen Achsabweichungen. Bei dieser Gelegenheit wird gleichzeitig der Bewegungsumfang von Hüft-, Knie- und Sprunggelenken dokumentiert, um bedeutsame Streckdefizite in Hüfte, Knie und oberem Sprunggelenk oder eine Überstreckbarkeit im Kniegelenk zu erkennen.

Sagittale Achsausrichtung

Die Beurteilung von Ante- und Rekurvationsstellungen erfolgt durch seitliche Aufsicht auf den Patienten von beiden Seiten. Während bei physiologischer Achsausrichtung die Mittelpunkte von Hüft-, Knie- und oberem Sprunggelenk auf einer Linie angeordnet sind (Abb. 18.2b), weicht ein Genu recurvatum nach dorsal, ein Genu antecurvatum nach ventral ab. Diese Abweichungen werden in Winkelgraden angegeben. Ein Femur oder Crus ante- bzw. recurvatum beschreibt die Biegung des Ober- oder Unterschenkels nach ventral bzw. dorsal. Je nach Ausprägung der Deformität ist eine ergänzende Überprüfung der sagittalen Achsausrichtung in Rücken- oder Bauchlage empfehlenswert (Abb. 18.34c).

Die klinische Abschätzung des Ausmaßes von frontalen, sagittalen und horizontalen Achsabweichungen ist am Oberschenkel, bedingt durch den Weichteilmantel, deutlich erschwert und dementsprechend ungenau. Knöcherne Deformitäten sind von funktionellen Einschränkungen abzugrenzen. In anderen Worten: Jede Beurteilung der sagittalen Achsen muss die jeweiligen Extensionen und Flexionen von Hüft-, Knie- und oberem Sprunggelenk mit einschließen. Intra- und extraartikuläre Pathologien müssen berücksichtigt werden.

Längendifferenzen

Generell müssen funktionelle von strukturellen Beinlängendifferenzen unterschieden werden. Strukturelle, also tatsächliche Längendifferenzen können z.B. durch Infektionen, kongenitale Dysplasie, Verletzungen von Wachstumsfugen oder sonstige Traumata hervorgerufen werden. Funktionelle Längendifferenzen sind bedingt durch knöcherne Achsabweichungen oder Gelenkveränderungen wie Kontrakturen, Hyperlaxitäten und anderes mehr.

Gesamtes Bein

Die dorsale Aufsicht auf den stehenden Patienten erlaubt eine gute Beurteilung der Längenverhältnisse beider Beine im Seitenvergleich. Beide Fußsohlen müssen dabei vollen Bodenkontakt haben. Bei fixiertem Spitzfuß sollte ein Höhenausgleich durch seitengleiches Unterfüttern beider Fersen erfolgen.

Längenunterschiede der Beine gehen immer mit einem Beckenschiefstand einher. Dieser lässt sich besonders einfach am Höhenunterschied der Gesäßfalten erkennen (Abb. 18.3a,b). Eine analoge Information liefert die Betrachtung der markierten Spinae iliacae posteriores. Eine weitere Folge von Beinlängenunterschieden ist die kompensatorische Skoliose der Wirbelsäule, die nach längerem Bestehen in eine fixierte Skoliose übergehen kann.

Die Beurteilung einer Skoliose wird durch das Anzeichnen der Dornfortsätze von Brust- und Lendenwirbelsäule erleichtert. Eine Bestätigung der bisher gewonnenen Informationen erhält man, wenn sich der Patient bei durchgestreckten Beinen nach vorne neigt: Neben einem etwaigen Schiefstand des Beckens würde sich auch der des Rückens zeigen.

Das Ausmaß der Längendifferenz wird durch die **Brettchenmethode** abgeschätzt. Brettchen unterschiedlicher Stärke werden solange dem kürzeren Bein unterlegt, bis ein Beckengeradstand erreicht ist. Persistiert mit dem Beckengeradstand die vorbestehende Skoliose, spricht man von einer fixierten Skoliose, ansonsten von einer nichtfixierten Skoliose.

Die beschriebene dorsale Aufsicht im Stehen erlaubt eine Abschätzung von Längenunterschieden der gesamten Beine, nicht aber von Ober- und Unterschenkelpaaren. Die vergleichende Betrachtung der Kniekehlen und der Höhen des Kniegelenkspalts

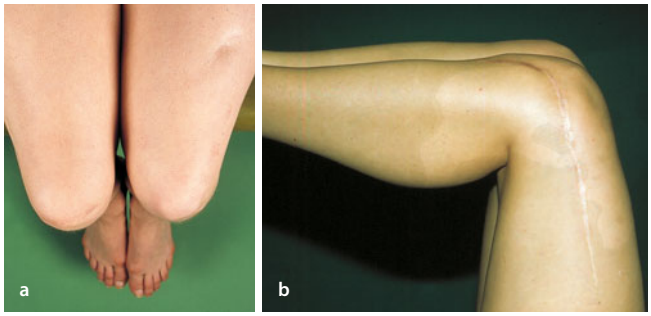


Abb. 18.4a,b Bewertung von Oberschenkellängendifferenzen beim sitzenden Patienten durch Aufsicht auf beide Knie von oben. Diese Position erlaubt gleichzeitig die Abschätzungen der spontanen Torsionseinstellung beider Unterschenkel. **a** Im dargestellten Fall handelt es sich um eine posttraumatische Verkürzung des linken Oberschenkels um 2,3 cm. **b** Alternative Technik durch seitliche Aufsicht auf die Patientin in Rückenlage. (Aus: Strecker u. Keppler 2002a)

erlaubt lediglich eine annähernde Abschätzung von Längendifferenzen pro Segment.

Oberschenkel

Der Patient sitzt auf einer Untersuchungsliege und lässt beide Unterschenkel entspannt hängen. Zwischen beiden Oberschenkeln und dem Vorderrand der Liege muss ein rechter Winkel bestehen. Die tangentiale Aufsicht auf beide Kniescheiben von oben erlaubt die Abschätzung einer Längendifferenz der Oberschenkel (Abb. 18.4a). Analog dazu kann die Untersuchung in Rückenlage bei rechtwinkliger Beugung in Knie- und Hüftgelenk durchgeführt werden. Hier erfolgt die Schätzung durch tangentiale Aufsicht auf die Tuberositates tibiae der horizontal gehaltenen Unterschenkel (Abb. 18.4b). Wichtige Voraussetzung ist ein allseits rechter Winkel zwischen beiden Oberschenkeln und der Unterlage sowie eine seitengleiche Kapsel-Band-Stabilität der Kniegelenke. Eine posteriore Instabilität muss berücksichtigt werden.

Unterschenkel

Der Patient befindet sich in Bauchlage. Knie- und Sprunggelenke werden, mit Unterstützung und Kontrolle durch den Untersucher, rechtwinklig gebeugt. Auch hier müssen beide Unterschenkel rechtwinklig zur Unterlage stehen. Ein seitliches Abweichen geht mit Fehleinschätzungen der Längenverhältnisse einher. Die tangentiale Sicht auf beide Fersen von unten oder von der Seite erlaubt die Abschätzung einer Längendifferenz (Abb. 18.5).

Torsionsdifferenzen

Alle Untersuchungsmethoden der Torsionen von Ober- und Unterschenkel setzen einen seitengleichen Bewegungsumfang der benachbarten Gelenke voraus. Asymmetrische Bewegungseinschränkungen reduzieren die Aussagekraft von Torsionsbewertungen ebenso wie Kapsel-Band-Instabilitäten von Hüft-, Knie- und Sprunggelenken.

Gesamtes Bein

Die Betrachtung der Fußposition von oben oder unten erlaubt am liegenden und völlig entspannten Patienten eine grob orientierende Abschätzung der Drehung beider Beine im Seitenvergleich (Abb. 18.6a). Durch aktive oder passive maximale Außen- oder Innendrehung werden Seitenunterschiede gelegentlich deutlicher (Abb. 18.6b, c).

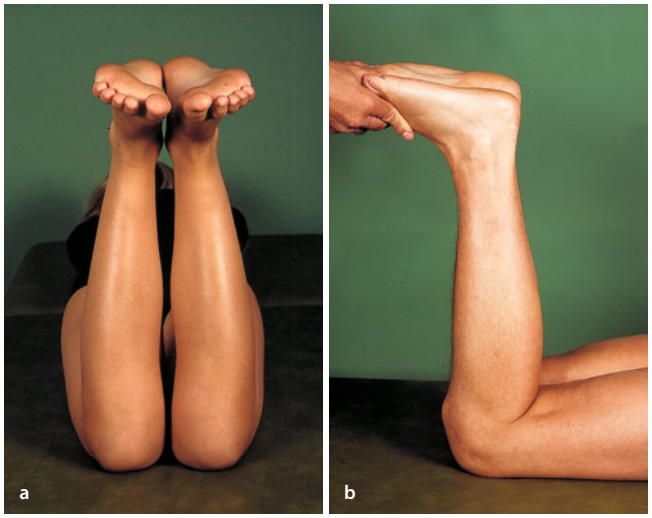


Abb. 18.5a,b Bewertung von Unterschenkellängendifferenzen beim Patienten in Bauchlage durch tangentiale Sicht auf beide Fersen von unten. **a** Regelrechte Längenverhältnisse. **b** Blickrichtung von der Seite bei posttraumatischer Verkürzung des rechten Unterschenkels um 0,9 cm. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 a)

Oberschenkel

Die Überprüfung der femoralen Torsion kann durch eine pathologische Kopf-Pfannen-Relation und Entrundungen des Hüftgelenks gestört werden. Daher sollte die femorale Torsion sowohl in 90°-Hüftflexion am sitzenden Patienten als auch in Hüftextension in Bauchlage untersucht werden. Zunächst sitzt der Patient auf der Untersuchungsliege, wobei die Oberschenkel im rechten Winkel zur Vorderkante der Untersuchungsliege ausgerichtet sind. Die Knie sind aneinander gelegt. Der Untersucher nimmt beide Füße des Patienten und drückt sie mit gleichmäßigem Kraftaufwand nach außen bis zum jeweiligen Anschlag. Die im Kniegelenk rechtwinklig gebeugten Unterschenkel dienen somit als Zeiger für die Torsion der Oberschenkel bzw. für die Rotation in den Hüftgelenken. Bei der beschriebenen Außenkreiselung der Unterschenkel erlaubt der Winkel zwischen Mittellinie und jeweiliger Unterschenkelposition Rückschlüsse auf die Innentorsion des zugehörigen Oberschenkels (Abb. 18.7a).

Eine entsprechende Innenkreiselung des Unterschenkels beschreibt andererseits die Außentorsion der Oberschenkel. Hierbei werden die Unterschenkel überkreuzt. Aufgrund der Weichteile ist diese Untersuchungsmethode meist weniger ergiebig. Bei allen Untersuchungen im Sitzen muss eine gleichmäßige, also symmetrische Auflage von Gesäß und Oberschenkel auf der Unterlage gewährleistet sein.

Die Oberschenkeltorsion wird anschließend ergänzend in Bauchlage des Patienten untersucht. Beide Unterschenkel sind rechtwinklig im Knie gebeugt und dienen wiederum als Zeiger für die Drehung der Oberschenkel. Der entspannte Patient lässt beide Unterschenkel bei aneinandergelegten Knien nach außen fallen, hiermit wird also eine Innentorsion (= Antetorsion) der Oberschenkel angezeigt (Abb. 18.7b). Eine Bewertung der Oberschenkelaußentorsion durch Überkreuzung der Unterschenkel ist durch den Weichteilmantel der Unterschenkel erschwert, gelegentlich auch überhaupt nicht möglich. Immer zu beachten ist eine plane Auflage des Beckens auf der Unterlage, was bei beleibten Patienten mitunter nicht zu erfüllen ist.

Abb. 18.6a–c Orientierende Bewertung der Drehung beider Beine am liegenden Patienten. **a** Entspannte Spontaneinstellung mit relativer Innendrehung des rechten Beins von 12°. Keine Unterschiede bei maximaler Außendrehung (**b**) und Innendrehung (**c**). (Aus: Strecker u. Keppler 2002 a)

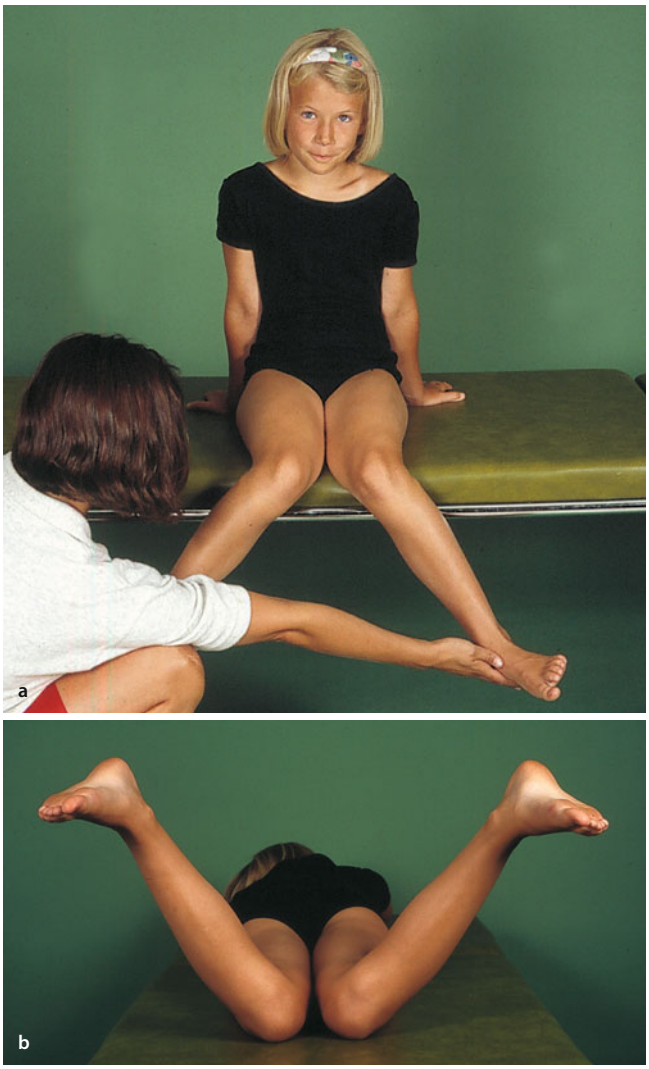


Abb. 18.7a,b Bewertung der Oberschenkeltorsionen mit flektiertem Hüftgelenk am sitzenden Patienten (**a**) und mit extendiertem Hüftgelenk in Bauchlage (**b**). In beiden Positionen werden hier jeweils die femoralen Innentorsionen demonstriert. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 a)

Tab. 18.4 Standardisierte klinische Untersuchung zur Erfassung von Beindeformitäten: (⊥= in zwei Ebenen, Δ = eine Differenz. (Aus: Strecker u.Keppler 2002 a, S. 820)

Position des Patienten	Informationen
Stehen ⊥	Varus-/Valgusposition
	Ante-/Rekurvation
	Δ Beinlänge
	Skoliose (fixiert?)
Sitzen	Δ Oberschenkellänge
	Δ Oberschenkeltorsion
	Δ Unterschenkeltorsion
Rückenlage	Varus-/Valgusposition
	Δ Beinlänge
	Δ Beinrotation
	Δ Oberschenkellänge
Bauchlage	Δ Unterschenkellänge
	Δ Oberschenkeltorsion
	Δ Unterschenkeltorsion

Unterschenkel

Die im Sprunggelenk rechtwinklig gebeugten Füße dienen als Zeiger für die Drehung der Unterschenkel. Der Patient sitzt auf der Untersuchungsliege und lässt beide Unterschenkel entspannt hängen. Zunächst erlaubt die Aufsicht von oben eine Abschätzung der Seitendifferenz der Fußstellung und somit der Unterschenkeltorsion. Verbessert wird die Aussagekraft durch die maximale Außen- und Innendrehung, die der Untersucher an den rechtwinklig im oberen Sprunggelenk fixierten Füßen vornimmt (Abb. 18.8a, b). Diese Untersuchungstechnik ist analog in Bauchlage des Patienten ausführbar. Knie- und Sprunggelenke müssen dabei ebenfalls rechtwinklig gebeugt sein (Abb. 18.8c, d).

Untersuchungsablauf

Durch eine Standardisierung des Untersuchungsablaufs lässt sich vermeiden, dass wichtige Informationen der Beingeometrie übersehen werden. Das zahlt sich im Allgemeinen nicht nur durch einen Zeitgewinn aus, sondern verbessert auch die Sicherheit beim Umgang mit dem Patienten.

Nach Erhebung einer ausführlichen Anamnese wird zunächst das Gangbild beurteilt. Dabei sollte auf ein Hinken, einen Außen- bzw. Innendrehgang und das Zusammenspiel der Gelenke geachtet werden. Danach schließt sich die körperliche Untersuchung an. Dafür hat sich das in Tab. 18.4 dargestellte Vorgehen bewährt.

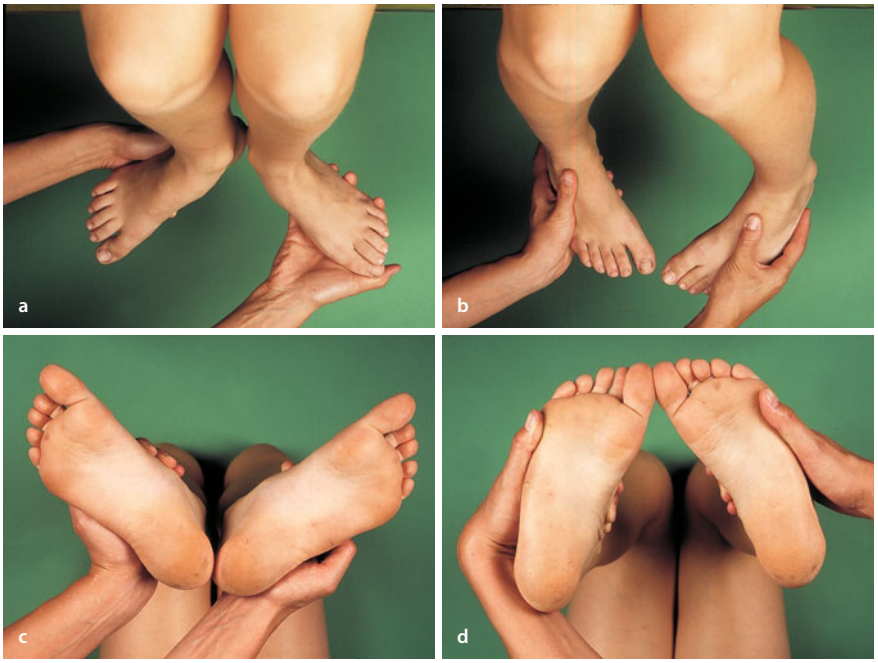


Abb. 18.8a–d Abschätzung der Unterschenkeltorsionen am sitzenden Patienten durch die Aufsicht von oben mit jeweils maximaler Außendrehung (**a**) und Innendrehung (**b**). **c, d** Diese Untersuchung ist alternativ in Bauchlage des Patienten durchführbar durch Aufsicht von oben. (Aus: Strecker u. Keppler 2002)

Am stehenden Patienten werden durch Aufsicht von vorne, hinten und von beiden Seiten Achsabweichungen frontal und sagittal registriert. Längendifferenzen der gesamten Beine werden mit der Brettchenmethode ermittelt. Gleichzeitig lassen sich Art und Ausmaß einer begleitenden Skoliose abschätzen.

Am sitzenden Patienten lassen sich Aussagen zu Differenzen der Oberschenkellängen und -torsionen sowie der Unterschenkeltorsionen im Seitenvergleich gewinnen.

In Rückenlage werden die Bewegungsumfänge von Hüft-, Knie- und Sprunggelenken beurteilt. Außerdem überprüft man die Kapsel-Band-Stabilität von Knie- und Sprunggelenken. Längen- und Rotationsdifferenzen der gesamten Beine lassen sich grob abschätzen. Genauere Aussagen zu Oberschenkellängendifferenzen sind nach Beugung in Hüft- und Kniegelenken möglich.

In Bauchlage lassen sich Differenzen von Unterschenkellängen und -torsionen bestimmen. Besonders wichtig ist die axiale Aufsicht von unten zur Bewertung von Oberschenkeltorsionsdifferenzen.

Dieser standardisierte Untersuchungsablauf wird individuellen Fragestellungen angepasst und ggf. ergänzt. Durch Belastungs- und Funktionsuntersuchungen sind gelegentlich wertvolle Zusatzinformationen zu gewinnen.

Radiografie

Obligate Voraussetzung für die Ermittlung der anatomischen und mechanischen Beinachsen sowie der Winkel von Hüfte, Knie und oberem Sprunggelenk sind **a.p.-Langbeinaufnahmen im Stehen** in standardisierter Technik. Entscheidend ist hierbei die parallele Ausrichtung der Femurkondylenachse zur Filmebene. Dies wird im Allgemeinen durch frontales Ausrichten der Patellae bei neutraler Streckung beider Kniegelenke erreicht. Diese Position geht dann mit einer Außenrotation der Füße von etwa 8–10° einher. Bei femoropatellaren Dysplasien sind die Patellae als Referenz ungeeignet. Hier empfiehlt sich eine parallele Ausrichtung der Kniekehle zur Filmebene. Grundsätzlich ist die Positionierung des Patienten für die Langbeinaufnahmen vom behandelnden Orthopäden oder Unfallchirurgen persönlich vorzunehmen!

Torsionsabweichungen können zu erheblichen **Projektionsfehlern** führen und sind daher unbedingt zu berücksichtigen. Ebenfalls rotationsbedingt kann die physiologische femorale Antekurvation unterschiedlich projiziert werden. Unphysiologische rotatorische Einstellungen in Hüft- oder Kniegelenk verändern zwangsläufig auch die Größe der projizierten Gelenkwinkel. Dies betrifft insbesondere den CCD-Winkel und die entsprechenden Kniebasiswinkel femoral und tibial (LDFW und MPTW), aber auch den lateralen distalen Tibiawinkel (LDTW). Eine zunehmende Innenrotation des Kniegelenks ist immer von einer projektorischen Valgität begleitet, eine zunehmende Außenrotation von einer Varität.

Bei Innenrotation wirkt der mediale Femurkondylus verschmälert, der laterale verbreitert, die mediale Plateauausbuchtung des Schienbeinkopfes kommt stärker zum Vorschein. Durch den eingelagerten medialen Kondylus wird eine Gelenkspaltverschmälerung vorgetäuscht. Bei Außenrotation sind diese Phänomene umgekehrt. Das Fibulaköpfchen wird in Neutralstellung um ein Drittel vom Schienbeinkopf verdeckt, in Außenrotation vom lateralen Tibiakopf überlagert, und bei Innenrotation projiziert sich das Köpfchen frei.

Bei jeder Analyse einer Beingeometrie sowie vor jeder Planung einer Korrekturosteotomie sollten die Röntgenbilder auf Projektionsfehler hin überprüft werden.

Neben der exakten Ausrichtung der Beine frontal und sagittal wird bei Beinlängendifferenzen das kürzere Bein solange durch Brettchen unterlegt, bis ein Beckengeradstand erreicht wird.

Insbesondere bei gelenknahen Deformitäten und geplanten Korrekturosteotomien sind zusätzlich entsprechende Zielaufnahmen nützlich.

Im kniegelenknahen Bereich empfehlen sich lange Aufnahmen in 2 Ebenen. Hierbei wird die distale Oberschenkelhälfte ebenso abgebildet wie die proximale Unterschenkelhälfte. Das Kniegelenk selbst wird durch den Zentralstrahl gut abgebildet. Dementsprechende Zielaufnahmen können für das Hüftgelenk ebenso nützlich sein wie für das obere Sprunggelenk. Fragestellungen zur Kopf-

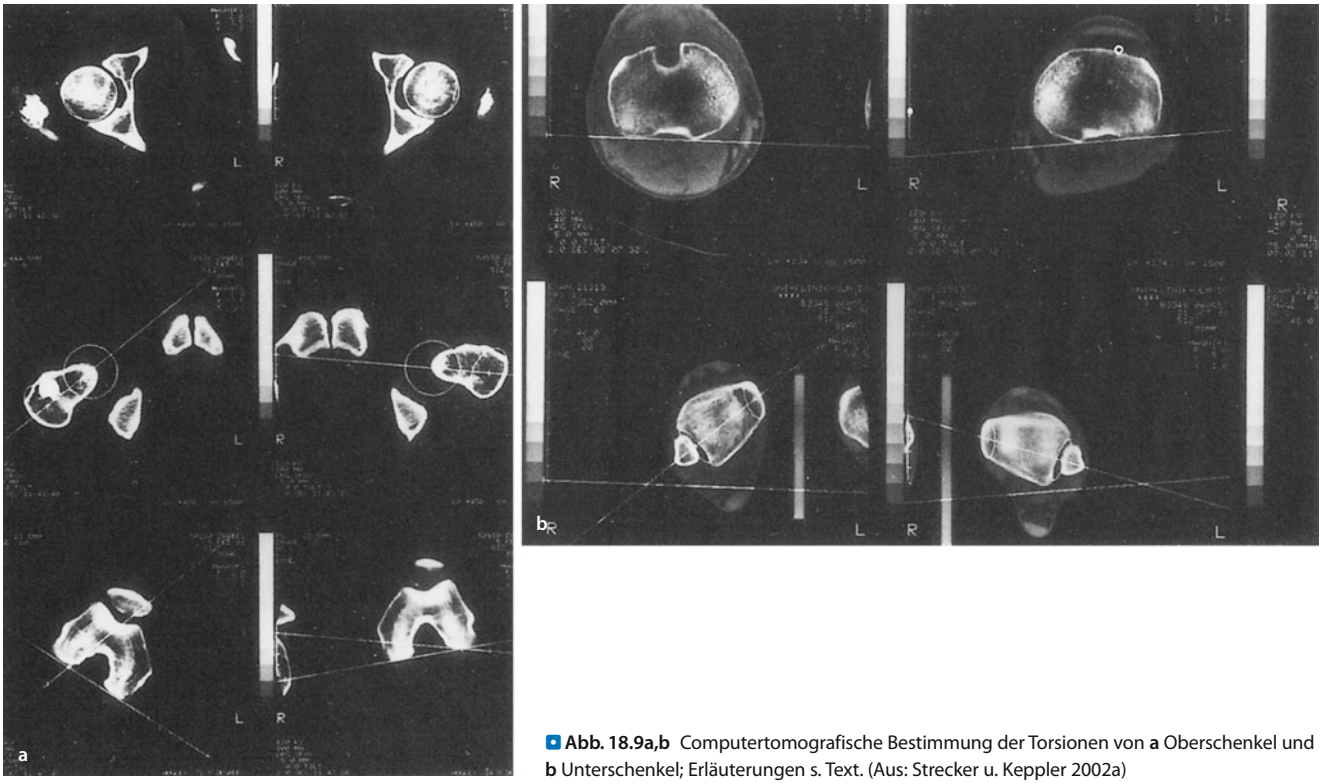


Abb. 18.9a,b Computertomografische Bestimmung der Torsionen von **a** Oberschenkel und **b** Unterschenkel; Erläuterungen s. Text. (Aus: Strecker u. Keppler 2002a)

Pfannen-Relation am koxalen Femurende können ggf. Ala-, Obturator- und Faux-Profil-Aufnahmen erfordern. Die patellofemorale Kongruenz wird durch Patella-Défilé-Aufnahmen in 30, 60 und 90° beurteilt, evtl. ergänzt durch CT-Schichten in Knieextension.

Aufgrund wesentlich präziserer Alternativen mit insgesamt geringerer oder fehlender Strahlenbelastung ist eine Beinlängenbestimmung radiografisch heute nicht mehr indiziert. Als obsolet gilt die Bestimmung der femoralen Antetorsion durch die konventionelle Radiografie nach Rippstein: zum einen wegen der sehr hohen Strahlenbelastung und zum anderen aufgrund der hohen Fehlerbreite. Weitere radiologische Methoden zur Torsionswinkelmessung, sei es am Ober- oder Unterschenkel, können aufgrund deren fehlenden Validierung nicht empfohlen werden.

Computertomografische Längen- und Torsionswinkelbestimmung

Eine gleichzeitige Bestimmung der Längen und Torsionen von Ober- und Unterschenkel ermöglichte erstmalig die 1992 von Waidelich und Mitarbeitern publizierte computertomografische Methode.

Im Gegensatz zu anderen Verfahren wird bei dieser Ulmer Methode die Schenkelhalsachse nicht approximativ festgelegt, sondern durch die jeweiligen Flächenmittelpunkte von Hüftkopfzentrum und einer den Trochanter major einhüllenden Ellipse definiert. Die anatomische Schenkelhalsachse bleibt hierbei unberücksichtigt. Nach einer anatomischen Studie sind 69% der Hüftköpfe nicht auf den Schenkelhals zentriert. Dadurch entstehende Messfehler werden bei der Ulmer Methode eliminiert. Als distale Achse zur Torsionswinkelbestimmung wird die femorale Kondylenhinterkantentangente gewählt (Abb. 18.9a). Die proximale Achse zur Bestimmung der Unterschenkeltorsion bildet analog dazu die tibiale Kondylenhinterkantentangente. Die distale tibiale Winkelachse wird durch die Flächenmittelpunkte von 2 Ellipsen festgelegt, die medial in die Innenknöchelbasis gelegt werden und lateral in die Incisura fibularis tibiae (Abb. 18.9b). Messpunkte zur Längenmessung am Oberschenkel sind die proximale Hüftkontur und die Mitte der distalen Femurkondylenkontur, am Unterschenkel die Mittelpunkte der proximalen Tibiakondylenkontur und der distalen Tibiagelenkfläche.

Die hohe Reproduzierbarkeit dieser standardisierten Methode ist durch Mehrfachuntersuchungen verschiedener Anwender belegt. Die beschriebenen Untersuchungen können an jedem konventionellen CT mit der entsprechenden Grafiksoftware durchgeführt werden. Wichtige Voraussetzung für eine artefaktfreie Messung ist eine konstante und seitengleiche Lagerung beider Beine während der Untersuchung. Dies erfordert bei posttraumatischen oder schmerzbedingten Streckdefiziten an Hüft- oder Kniegelenken eine symmetrische, d.h. seitenkongruente Lagerung. Dies lässt sich häufig durch Unterpolsterung des unverletzten Kniegelenks erreichen. Projektionsbedingte Messfehler können bei erheblichen posttraumatischen Fehlstellungen im Bereich des Oberschenkels dennoch nicht immer vermieden werden. Dieser Fehler lässt sich durch Verwendung von Korrekturdiagrammen eliminieren.

Zur Reduktion der benötigten Schnittebenen im strahlensensiblen Beckenbereich empfiehlt sich ggf. ein Beinlängenausgleich mit Erreichung eines Beckengeradstandes. Die Patienten sollten sich während der Untersuchung keinesfalls bewegen. Dies wird durch Fußhaltegeräte, Klettgurte und andere Lagerungshilfen gewährleistet. (Zu den Normwerten der computertomografisch ermittelten Längen und Torsionen Tab. 18.3.)

Sonografische Längen- und Torsionswinkelmessung

Die sonografische Längen- und Torsionswinkelbestimmung der unteren Extremitäten eignet sich wegen der fehlenden Strahlenbelastung für Screening- und Kontrolluntersuchungen von Kindern. Besondere Vorzüge bietet die Sonografie in der Verlaufskontrolle

nach kindlichen Ober- und Unterschenkelfrakturen. Spontankorrekturen von posttraumatischen Achs-, Längen- und Torsionsdeformitäten lassen sich gut verfolgen. Aufgrund der nachweislich hohen Reproduzierbarkeit und Genauigkeit ist das von Keppler und Mitarbeitern 1995 erstmals vorgestellte System (Keppler et al. 1999) der computertomografischen Längen- und Torsionswinkelmessung mittlerweile ebenbürtig bzw. in mancher Hinsicht sogar überlegen. Neben dem Vorteil der fehlenden Strahlenbelastung entfällt bei der Sonografie das Problem von Projektionsfehlern und Bewegungsartefakten. Durch Definition der Referenz- und Projektionsebenen am Knochen ist das System unabhängig von der Patientenlagerung.

Einschränkungen bei der sonografischen Messung treten bei nicht definierbaren Oberflächenkonturen auf, wie sie gelegentlich an Hüft-, Knie- oder oberem Sprunggelenk posttraumatisch, degenerativ oder tumorös vorhanden sein können. Probleme der Bestimmung der Oberflächenkonturen, insbesondere am proximalen Oberschenkel, können systembedingt auch bei sehr adipösen Patienten oder reflektierenden Metallimplantaten auftreten.

Derzeit sind die Sonografie und die CT als komplementäre Methoden in der Analyse der Beingeometrie zu betrachten. Die Sonografie erlaubt ebenfalls die Messung von Längen und Torsionen in einem Arbeitsgang. Hierzu werden Standardschnittebenen an Hüft-, Knie- und Sprunggelenken gewählt. Simultan werden bei diesem Messsystem die Ultraschallbilder und die räumlichen Schallkopfpositionen mit Hilfe eines computergestützten Navigationssystems registriert. Damit wird sonografisch eine dreidimensionale Analyse der Beingeometrie möglich. Weiterentwicklungen dieser Technik erlauben mittlerweile auch die Ermittlungen der Achsausrichtungen femoral und tibial sowie die Messung der entsprechenden Kniebasiswinkel. Eingeschränkt wird der klinische Wert der sonografischen Analyse der Extremitätengeografie durch die ausgeprägte Untersucherabhängigkeit.

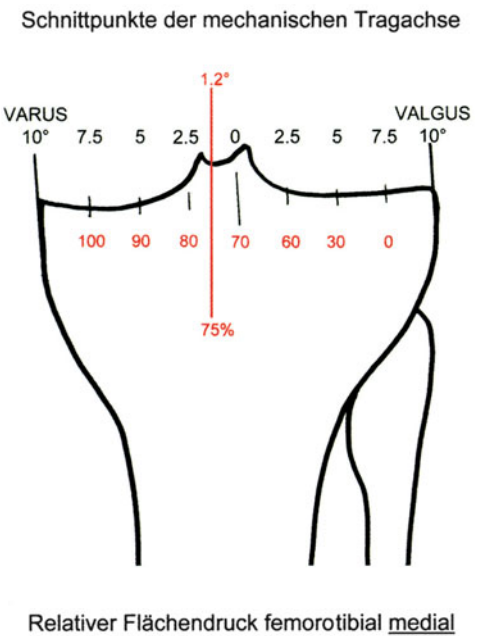


Abb. 18.10 Die femorotibiale Druckverteilung medial/lateral wird durch die Lage der mechanischen Beinachse bestimmt. Eine mediale Lage führt zur Belastung bzw. Überlastung des medialen femorotibialen Kompartiments. Eine laterale Lage belastet den Knorpel femorotibial lateral bei gleichzeitiger Entlastung medial. In der Abbildung oben angegeben sind ausgewählte Schnittpunkte der mechanischen Tragachse nach Mikulicz (1878). Diese ist definiert durch die geometrischen Zentren von Hüft- und oberem Sprunggelenk. Unten ist der jeweilige Flächendruck im medialen femorotibialen Kompartiment angezeigt, entsprechend den Ergebnissen von Hsu et al. (1990). Bei »normaler« mechanischer Beinachse bilden die mechanische Femurachse und die mechanische Tibiaachse einen Winkel von 178,8°. Die mechanische Beinachse schneidet die Kniebasis etwa im medialen Eminentiazipfel. Unter diesen physiologischen Achsenverhältnissen liegt der relative femorotibiale Flächendruck medial bei etwa 75%. Bei der typischen Varusgonarthrose wird eine Druckentlastung medial durch Valgisierung angestrebt. Ziel ist ein mechanischer femorotibialer Valgus von etwa 2–5% in Abhängigkeit von der arthroskopisch verifizierten Knorpelqualität femorotibial medial und lateral. (Aus: Strecker u. Keppler 2002)

18.2.3 Korrekturosteotomie

Indikationen

Grundlage für jede Indikationsstellung für eine Korrekturosteotomie an den unteren Extremitäten ist die oben dargestellte umfassende Analyse der Beingeometrie. In Kenntnis dieser Eckdaten sind in jedem Einzelfall die zu erwartenden mittel- und langfristigen Auswirkungen der jeweiligen Deformität nach folgenden Gesichtspunkten kritisch zu hinterfragen und abzuschätzen:

- biomechanisch,
- funktionell,
- kosmetisch.

Biomechanische Gesichtspunkte

In der Frontalebene führt jede Abweichung von der physiologischen mechanischen Achse zu einer Fehlbelastung der angrenzenden Gelenke. Diese artikuläre Fehlbelastung ist am Knie und dem oberen Sprunggelenk besonders offenkundig: Jede Varusdeformität erhöht am Knie den Druck im medialen Kompartiment, jede Valgusdeformität im lateralen Kompartiment. Das Ausmaß der jeweiligen Fehlbelastung korreliert dabei direkt mit dem Ausmaß der Achsabweichung. Von großer klinischer Bedeutung sind die frontalen Achsabweichungen am Kniegelenk: Unter physiologischen Verhältnissen schneidet die mechanische Achse das Kniegelenk 4–10 mm medial der Gelenkmitte und geht dabei etwa durch den medialen Eminentiazipfel. Die relative mediale/laterale Druckverteilung liegt dann bei 3:1. Diese physiologische femorotibiale Druckverteilung ändert sich bei Verschiebung der mechanischen Achse nach medial oder lateral. Schneidet die Achse das laterale femorotibiale Kompartiment in dessen Mitte, so sinkt die relative Druckbelastung medial auf 20–30%. Weitere Einzelheiten sind aus Abb. 18.10 ersichtlich.

Analoge Fehlbelastungen sind am oberen Sprunggelenk zu erwarten bei Abweichungen der mechanischen Beinachse oder Veränderungen des mLDTW, z.B. im Rahmen einer posttraumatischen supramalleolären Deformität. Jede Varusdeviation führt zu einer medialen, jede Valgusdeviation zu einer lateralen tibiotalaren Hyperkompression. Typische Folge sind kartilaginäre oder osteokartilaginäre Schäden an der medialen oder lateralen Talusschulter, wie etwa bei einer Osteochondrosis dissecans.

Das Hüftgelenk ist ein Kugelgelenk und kompensiert daher frontale und sagittale Achsabweichungen besser. Allerdings induzieren große, also valgische CCD-Winkel artikuläre Druckerhöhungen. Eine Varisierung geht hier mit einer Verminderung des Gelenkdrucks einher (Pauwels 1973).

Funktionelle Gesichtspunkte

Funktionelle und biomechanische Aspekte sind nicht scharf zu trennen und bedingen sich u.U. gegenseitig. Dies betrifft ganz be-

sonders Einschränkungen des Bewegungsumfangs von Gelenken, die häufig von mechanischen Über- bzw. Fehlbelastungen begleitet werden. Von großer klinischer Bedeutung ist hier das Streckdefizit des Kniegelenks, das immer mit einer patellofemoralen Hyperkompression einhergeht. Neben dem Genu antecurvatum ist das Genu recurvatum ebenfalls bedeutsam. In ausgeprägten Fällen kann damit eine erhöhte Luxationsneigung des Kniegelenks verbunden sein.

Offenkundig sind funktionelle Auswirkungen von Beinlängendifferenzen auf Becken und Wirbelsäule. Nicht kompensierte Längenunterschiede gehen immer mit einer Skoliose, häufig einer Torsionsskoliose, einher. Während Skoliosen in der Frühphase nicht fixiert, also reversibel sind, kommt es in Abhängigkeit von der Dauer der Beinlängendifferenz und vom Patientenalter zur zunehmenden Fixierung derartiger zunächst funktioneller Deformierungen.

Hochgradige Torsionsdeformitäten bedingen immer funktionelle Beeinträchtigungen. Ein typisches Beispiel ist das Syndrom der »inwardly pointing knee«. Hier liegt, symptomatisch meist bei jungen Frauen, eine erhöhte femorale Innentorsion bei gleichzeitig erhöhter tibialer Außentorsion vor. Daraus resultiert eine Lateralisation der Patellae mit gesteigerter Luxationstendenz. Torsionsdeformitäten am Unterschenkel werden durch die angrenzenden Gelenke kaum kompensiert und wirken sich daher klinisch besonders störend aus. Höhergradige Innentorsionsabweichungen führen zu einer chronischen Überlastung des lateralen Fußrandes, Außentorsionsabweichungen zu einer Überlastung medial mit Tendenz zum Pes plano valgus. Im Alltag werden pathologisch erhöhte Außentorsionen des Unterschenkels als störend empfunden, z.B. beim Fahrrad fahren – die Ferse stößt permanent an die Tretkurbel. Pathologische Innentorsionen induzieren Schmerzen an lateralem Sprunggelenk, Fußwurzel und lateralem Fußrand.

Kosmetische Gesichtspunkte

Kosmetische Aspekte sind wiederum von funktionellen Gesichtspunkten nicht immer scharf zu trennen. Beinlängendifferenzen, auch geringeren Ausmaßes, werden gerade von jüngeren Menschen nur ungern akzeptiert. Bereits Längenunterschiede von weniger als 1 cm werden beim Barfußlaufen als störend empfunden. Sie wirken sich bei vielen Sportarten ungünstig aus. Verständlicherweise werden ausgeprägte Achsabweichungen in der Frontalebene insbesondere von jüngeren Frauen wenig geschätzt. Diesen Aspekt sollte man durchaus nicht nur unter rein biomechanischem Blickwinkel würdigen.

Neben den genannten biomechanischen, funktionellen und kosmetischen Gesichtspunkten sind bei der indikatorischen Entscheidung einer Korrekturosteotomie weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Diese werden zum einen durch die lokale Situation im Zentrum der Deformität geprägt, zum anderen durch den Patienten selbst.

Patientenabhängige Kriterien

Die Knochenqualität beeinflusst die Höhe einer Osteotomie. Stark sklerosierte und postinfektiöse Knochenabschnitte sind zu meiden. Metaphysäre Osteotomien heilen im Allgemeinen besser als diaphysäre. Ungünstig sind außerdem Abschnitte mit mangelhafter Weichteildeckung oder Narbenplatten. Insbesondere kniegelenknahe Kapsel-Band-Instabilitäten lassen sich durch eine geschickte Wahl spezieller Osteotomieformen, wie etwa der Domosteotomie, einer aufklappenden Osteotomie (s. unten), im Rahmen der knöchernen Korrektur gleichzeitig stabilisieren.

In Abhängigkeit von der lokalen Situation und sonstigen Erfordernissen ist die Osteotomiehöhe ggf. zu modifizieren. Jede Abweichung zwischen dem planerisch ermittelten Apex der Deformität und der Osteotomiehöhe geht allerdings mit einer Translation einher.

Die Indikation zur Korrekturosteotomie wird sowohl durch die lokale als auch durch die allgemeine Operabilität beeinflusst, also durch das biologische Alter des Patienten, durch individuelle Risikofaktoren und Vorerkrankungen. Die entsprechende Compliance und Geduld sind ganz wesentliche Grundvoraussetzungen für den Erfolg einer Korrekturosteotomie insbesondere bei den langwierigen und anspruchsvollen Verfahren der Kallusdistraktion. Von den individuellen Risikofaktoren hat sich das Zigarettenrauchen als besonders ungünstig auf die Knochenheilung herausgestellt (Hoogendoorn et al. 2002). Aufklappende und distrahierende Korrekturverfahren sind bei Rauchern daher äußerst zurückhaltend zu indizieren.

Erst die Zusammenschau dieser z.T. subjektiven Einzelinformationen erlaubt die Ausarbeitung eines Behandlungsplans, welcher der individuellen Deformität eines individuellen Patienten gerecht wird. Jede Indikation zur Korrekturosteotomie setzt also eine kritische Nutzen-Risiko-Abwägung auf dem Boden einer konkreten Planung voraus. Der Patient muss über das zu erwartende funktionelle und kosmetische Ergebnis aufgeklärt werden sowie über die Risiken der möglichen Korrekturverfahren, über den Ablauf der Behandlung und dessen zeitlichen Rahmen. Erst nach Berücksichtigung dieser Aspekte lässt sich die Indikation zur Korrekturosteotomie festlegen und über Höhe und Art der Osteotomie sowie der knöchernen Stabilisierung, ob mit interner, externer oder kombinierter Osteosynthese, entscheiden.

Indikatorische Richtgrößen zur Korrektur eindimensionaler Deformitäten

Aufgrund der genannten erheblichen individuellen Unterschiede lassen sich für eindimensionale Deformitäten lediglich orientierende indikatorische Richtgrößen zur operativen Korrektur angeben.

Frontale Deformitäten

Varusabweichungen von mehr als 5–10° und Valgusabweichungen von über 10° können eine Korrekturosteotomie begründen. Indikatorisch entscheidender sind Unterschiede der Knorpelqualität in den jeweiligen medialen und lateralen Gelenkkompartimenten, am besten arthroskopisch verifiziert!

Sagittale Deformitäten

Diaphysäre Deformitäten bis zu 10–15° können toleriert werden sowie gelenknahe Deformitäten bis zu 5–10°. Wichtiger sind hier funktionelle Beeinträchtigungen! Streckdefizite in Hüft-, Knie- und oberem Sprunggelenk gehen immer mit einer Fehlbelastung einher! Ossär bedingte Streckdefizite von mehr als 5–10° indizieren eine Korrekturosteotomie. Weichteilbedingte, wie ligamentäre oder narbige Streckdefizite sind davon abzugrenzen.

Horizontale Deformitäten

Translationen können eine wesentliche Veränderung der mechanischen Tragachse bedingen und dann eine Operationsindikation darstellen. Ansonsten sind horizontale Deformitäten nur in gelenknahen Abschnitten relevant. Dies gilt ganz besonders für die patellofemorale Relation. Die patellofemorale Balance und ihre Normo- bis leichte Hypokompression sind die indikatorischen und planerischen Zielgrößen.

Längendifferenzen

Isolierte Längenunterschiede von mehr als 1,5–2 cm können bei jungen Patienten eine operative Korrektur indizieren unter besonders sorgfältiger Nutzen-Risiko-Abwägung. Posttraumatische Längendifferenzen sollten hierbei großzügiger korrigiert werden als kongenitale. Vor einzeitigen Korrekturen kongenitaler Verkürzungen sollte der optimale Längenausgleich probatorisch durch konsequenten Schuhhöhenausgleich über mehrere Monate hinweg getestet werden. Bei solchen Korrekturen sollte das Längenverhältnis zwischen Ober- und Unterschenkel von 5:4 berücksichtigt und die Höhe der Kniebasis seitengleich eingestellt werden. Unterschiede der Kniebasishöhen von mehr als 2 cm führen zu einer Fehlbelastung durch ein »unrundes« Gangbild und sind daher zu vermeiden.

Torsionsdeformitäten

Wird bei femoralen Torsionsabweichungen der rotatorische Nulldurchgang der Hüftgelenke in 90°-Flexion und in Extension nicht erreicht, ist unseres Erachtens die Indikation zur Torsionskorrektur gegeben. Am Unterschenkel ist die Korrektur indiziert bei fehlendem rotatorischem Nulldurchgang im Kniegelenk.

Richtgrößen, die unseres Erachtens eine Operationsindikation bei **eindimensionalen** Deformitäten begründen können, sind in ◘ Tab. 18.5 zusammengefasst. Sie beschreibt zudem für die einzelnen räumlichen Dimensionen die wichtigsten operativen Ziele.

Bei mehrdimensionalen Deformitäten relativieren sich die eindimensionalen Richtgrößen. Je komplexer die Deformität und die entsprechende Korrekturoperation wird, um so kritischer muss der Operateur die eigene, persönliche operative Erfahrung prüfen und sich fragen, ob der Patient bei einem selbst wirklich gut aufgehoben ist oder ob es einen Operateur gibt, der mit dem geplanten Vorgehen mehr Erfahrung hat. Das Einholen einer zweiten oder dritten Meinung zu einem komplexen Problem kennzeichnet keinesfalls eine Schwäche des Operateurs, sondern ist Ausdruck von Verantwortungsgefühl und Fähigkeit zur Selbstkritik!

Planung durch Ist-Soll-Analyse

Voraussetzungen

Deformitäten in der Frontalebene, also Abweichungen im Valgus- oder Varussinn, haben die größte klinische Relevanz. Die folgenden Darstellungen beschränken sich daher auf die isolierten frontalen Deformitäten. Grundsätzlich ist die planerische Ist-Soll-Analyse jedoch auch für sagittale und horizontale Deformitäten sowie Längen- und Torsionsabweichungen und Komplexdeformitäten analog anwendbar.

Grundlage jeder planerischen Analyse von frontalen Beinachsenabweichungen sind die oben beschriebenen Langbein-Standaufnahmen im a.p.-Strahlengang. Die Charakterisierung der Deformität und die Planung der Korrekturosteotomie folgen in 6 Schritten den Prinzipien der Ist-Soll-Analyse:

1. Anatomische Landmarken
2. Tragachse
3. Achs- und Gelenkwinkel
4. Korrekturziel
5. Höhe der Osteotomie
6. Korrekturwinkel

Alle Schritte werden im Folgenden an einer Valgusdeformität (◘ Abb. 18.12a, ◘ Abb. 18.13a, ◘ Abb. 18.14a, ◘ Abb. 18.15a, ◘ Abb. 18.16a) und einer Varusdeformität (◘ Abb. 18.12b, ◘ Abb. 18.13b, ◘ Abb. 18.14b, ◘ Abb. 18.15b, ◘ Abb. 18.16b) exemplarisch dargestellt.

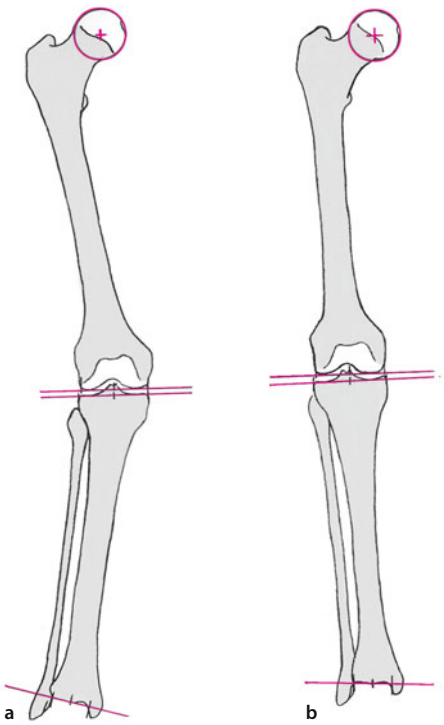
◘ Tab. 18.5 Indikatorische Richtgrößen zur Korrekturosteotomie eindimensionaler Deformitäten mit den wichtigsten operativen Zielsetzungen. (Aus: Strecker u.Keppler 2002 a, S. 826)

Deformität	Richtgrößen	Operative Zielsetzungen
Achsabweichung frontal	>5–10°	Mechanische Idealachse/physiologische Gelenkwinkel
Achsabweichung sagittal	>10–20°	Volle Extension
Achsabweichung horizontal	Gelenksituation?	Patellofemorale Kongruenz
Längendifferenz	>2,0 cm	Längenausgleich <1,0 cm
Torsionsdifferenz	>15°	Freier rotatorischer Nulldurchgang, seitengleiche Torsionen
	Fehlender rotatorischer Nulldurchgang	

Planerische Schritte

1. Anatomische Landmarken

In Röntgen-Langbeinaufnahmen a.p. unter Belastung werden die anatomischen Zentren von Hüfte, Knie und oberem Sprunggelenk mit feinem Bleistift möglichst präzise eingezeichnet (◘ Abb. 18.11). Osteophytäre Anbauten, insbesondere an den Femurkondylen und dem Tibiaplateau, werden dabei nicht berücksichtigt. Nach Festlegung der jeweiligen knöchernen Grenzen medial und lateral folgt das Einzeichnen der Kniebasislinien femoral und tibial sowie der distalen tibialen Basislinie am oberen Sprunggelenk. Erst dann werden deren Mittelpunkte in Knie und oberem Sprunggelenk (OSG) bestimmt. Am Kniegelenk decken sich dabei die Mittel-



◘ Abb. 18.11 Anatomische Landmarken. (Aus: Strecker 2006)

punkte der femoralen und tibialen Basislinien im Allgemeinen nicht, sodass letztlich deren Mittelwert als Kniegelenkmitte herangezogen wird.

2. Tragachse

Die Verbindungslinie zwischen den Zentren von Hüftkopf und oberem Sprunggelenk bildet die mechanische Tragachse des Beins (Abb. 18.12). Sie schneidet das Kniegelenk, wie oben ausgeführt, physiologischerweise etwa 5–10 mm medial der Gelenkmitte und läuft in etwa durch die Eminentia intercondylaris medialis. Das laterale oder mediale Abweichen der Tragachse von der zeichnerisch ermittelten Kniegelenksmitte zeigt eine valgische oder varische Deformität an.

3. Achs- und Gelenkwinkel

Die bisherige zeichnerische Analyse informiert über das Vorliegen einer valgischen oder varischen Beinachsenabweichung. Es bleibt jedoch offen, ob diese Achsabweichung überwiegend femoral oder tibial angesiedelt ist. Der Ort der Deformität wird erst nach Einzeichnen der Achs- und Gelenkwinkel erkennbar (Abb. 18.13). Die femoralen und tibialen Kniebasiswinkel in der Nomenklatur nach Paley (Paley 2002, Paley et al. 1994) sind durch die entsprechenden Kniebasiswinkel und die zugehörigen mechanischen Achsen definiert. Sie werden als mechanischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFW) und als medialer proximaler Tibiawinkel (MPTW) bezeichnet. Eine Abweichung von der jeweiligen physiologischen Norm von 85–90° erlaubt die Erkennung des tatsächlich deformierten Extremitätenabschnitts. Der Winkel zwischen der mechanischen femoralen und tibialen Achse beschreibt gleichzeitig die Achsabweichung von der Norm. Der physiologische mechanische femorotibiale Winkel beträgt 1,2° Varus.

In Abb. 18.13a liegt der mLDFW mit 89,5° noch im Bereich der Norm von 85–90°, wohingegen der MPTW mit 100° deutlich über der Norm liegt. Somit ist diese Valgusdeformität tibial angesiedelt. Es resultiert ein mechanischer femorotibialer Valguswinkel von 10°. In Abb. 18.13b erweist sich der MPTW mit 89° als normal, der mLDFW mit 95,5° als pathologisch verändert. Die Varusdeformität ist somit eindeutig femoral lokalisiert und daher auch dort zu korrigieren. Der mechanische femorotibiale Winkel beträgt 8° Varus und liegt somit deutlich über der Norm von 1,2°.

4. Korrekturziel

Das Korrekturziel (**Soll**) wird jeweils durch den Endpunkt der mechanischen Tragachse des Beins festgelegt (Abb. 18.14). Bei tibialen Deformitäten wird hierbei die mechanische Tragachse antegrad durch das gesunde Femur vorgegeben, bei femoralen Deformitäten und regelrechten tibialen Verhältnissen wird die mechanische Tragachse retrograd durch die Tibia definiert.

In der Praxis wird das Korrekturziel bei **tibialen Deformitäten** (Abb. 18.14a) durch das Einzeichnen der mechanischen Tragachse, also der Verbindungslinie von Hüftkopfzentrum und Kniegelenksmitte, ermittelt. Das Korrekturziel, also die angestrebte Lage des oberen Sprunggelenkzentrums, wird **antegrad** gefunden und liegt auf der mechanischen Beinachse. Bei ausgeglichenen Längenverhältnissen ist hierbei der jeweilige Abschnitt zwischen Kniegelenksmitte und der Mitte des oberen Sprunggelenks vor und nach der Korrektur gleich lang.

Bei **femoralen Deformitäten** (Abb. 18.14b) empfiehlt sich eine **retrograde** Planung: Die mechanische Beinachse wird durch die Zentren von oberem Sprunggelenk und Kniegelenk definiert und von dort aus nach proximal verlängert. Die gewünschte Lage des Hüftkopfzentrums auf der Beinachse ergibt sich wiederum durch das Übertragen der gleichen Längen zwischen dem Hüftkopfzentrum **Ist** und dem Zentrum des Kniegelenkes auf die als ideal ermittelte Beinachse. Damit wird das angestrebte Hüftkopfzentrum **Soll** festgelegt.

Die Planung des Korrekturziels orientiert sich zunächst am »Idealbein«. In Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen,

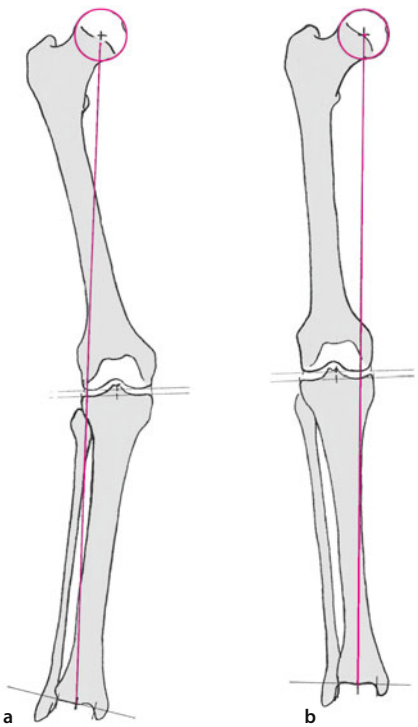


Abb. 18.12 Tragachse. (Aus: Strecker 2006)

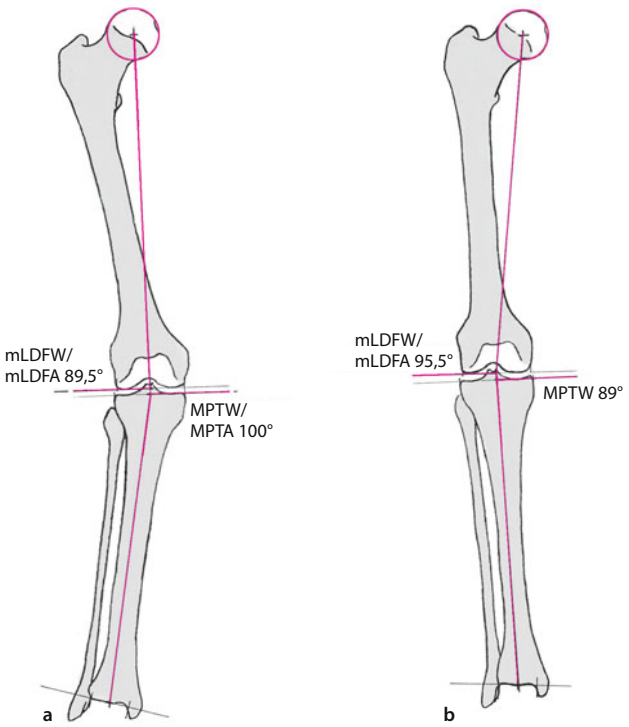


Abb. 18.13 Achs- und Gelenkwinkel. (Aus: Strecker 2006)

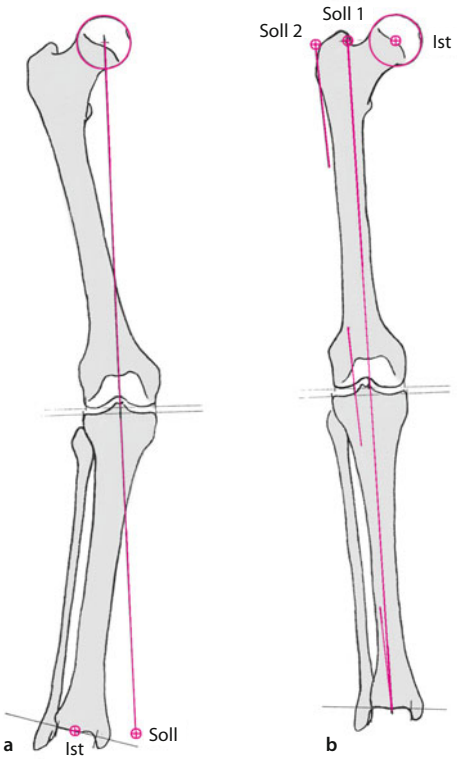


Abb. 18.14 Korrekturziel. (Aus: Strecker 2006)

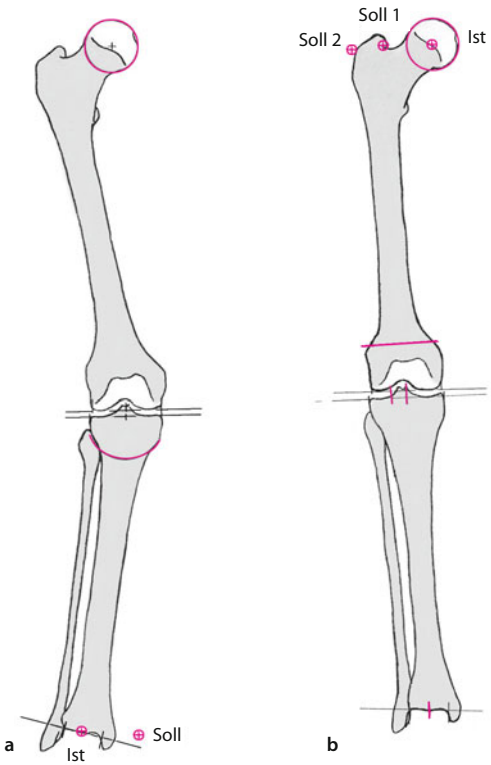


Abb. 18.15 Höhe der Osteotomie. (Aus: Strecker 2006)

insbesondere von der Knorpelqualität, der ligamentären Stabilität, etc., ist dieses ideale Korrekturziel in der einen oder anderen Richtung zu modifizieren (s. Einflussgrößen).

Bei einer typischen Valgusgonarthrose mit höhergradiger, arthroskopisch gesicherter Chondromalazie femorotibial lateral und guter Knorpelqualität femorotibial medial sollte die mechanische Achse das Kniegelenk in dessen Zentrum oder etwas medial davon schneiden, also etwa im Bereich der Eminentia intercondylaris medialis. Dies entspricht einer physiologischen mechanischen femorotibialen Achse von etwa 1–1,5° Varus und korrespondiert mit einer intraartikulären Belastungsverteilung medial zu lateral von 75:25.

Umgekehrt wird bei Varusgonarthrose eine Entlastung des geschädigten medialen Kompartiments durch Verlagerung der mechanischen Beinachse nach lateral angestrebt. Das Ausmaß dieser Lateralisation wird durch die arthroskopisch verifizierte Knorpelqualität femorotibial medial und lateral modifiziert. Bei Varusgonarthrosen empfiehlt es sich daher, das maximale und minimale Ausmaß einer Valgisation planerisch festzuhalten, hier durch *Soll 2* und *Soll 1* angegeben (Abb. 18.14b).

5. Höhe der Osteotomie

Im Idealfall entspricht die Höhe der Osteotomie dem Apex der Deformität (Abb. 18.15). In Abhängigkeit von der Weichteilsituation und der Knochenqualität (postinfektiös?), dem geplanten Osteosyntheseverfahren und der Höhe der Deformität (intra-, extraartikulär), muss die Osteotomiehöhe im Einzelfall, jedoch u.U. erheblich modifiziert werden. Jede Diskrepanz zwischen dem Apex der Deformität und der definitiven Osteotomiehöhe ist dabei grundsätzlich mit einer axialen Translation verbunden.

Gleichzeitig muss die Art der Osteotomie festgelegt werden, d.h. ob es sich um eine auf- oder zuklappende Keilosteotomie, Pendel- oder Domosteotomie, etc. handelt. Aufklappende Keilosteotomien gehen grundsätzlich mit einer Verlängerung der Extremität einher, zuklappende Keilosteotomien sind im Wesentlichen längenneutral.

6. Korrekturwinkel

Die Höhe der Osteotomie bestimmt das Ausmaß des Korrekturwinkels (Abb. 18.16). Dieser ist festgelegt durch die Verbindungslinien Ist – Osteotomie – Soll. Bei längenneutralen Korrekturosteotomien, wie etwa bei Dom- oder Pendelosteotomien, liegt die Spitze des Winkels im Mittelpunkt der Osteotomie (Abb. 18.16a). Bei Keilosteotomien trifft die Spitze des Korrekturwinkels die Spitze des jeweiligen Keils (Abb. 18.16b).

Kniegelenknahe Osteotomien gehen dabei mit relativ spitzen Korrekturwinkeln, kniegelenkferne Osteotomien mit stumpfen Winkeln einher. Somit bestimmt die Höhe der Osteotomie das Ausmaß des Korrekturwinkels. Entsprechende Veränderungen der daraus resultierenden Gelenkwinkel von Hüfte und oberem Sprunggelenk müssen selbstverständlich berücksichtigt werden. Das minimale und maximale Ausmaß einer suprakondylären Valgisation ist in Abb. 18.16b jeweils angegeben.

Einflussgrößen

Ausmaß und Indikation jeder Korrekturosteotomie sind unter Berücksichtigung allgemeiner und spezieller Einflussgrößen zu überprüfen und ggf. zu modifizieren.

Allgemeine Einflussgrößen

Dazu gehören:

- Lokale Knochen- und Weichteilqualität
- Ligamentäre Stabilitäten

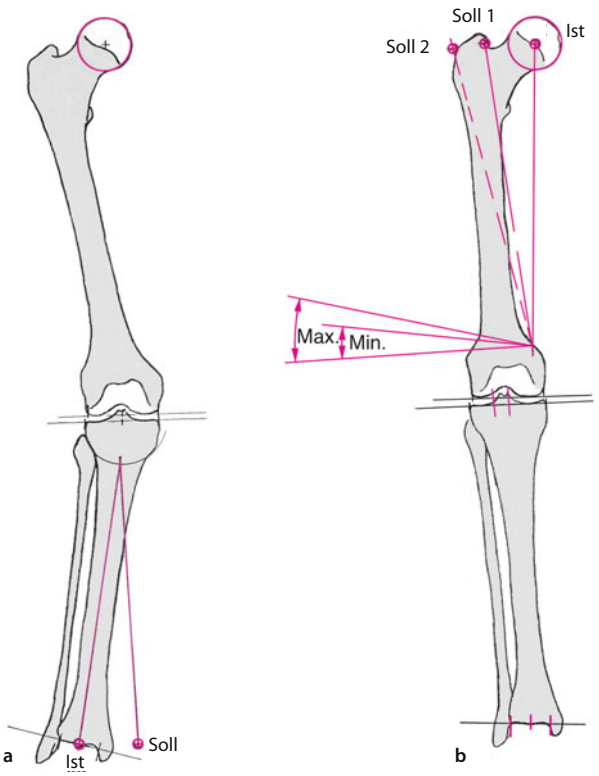


Abb. 18.16 Korrekturwinkel. (Aus: Strecker 2006)

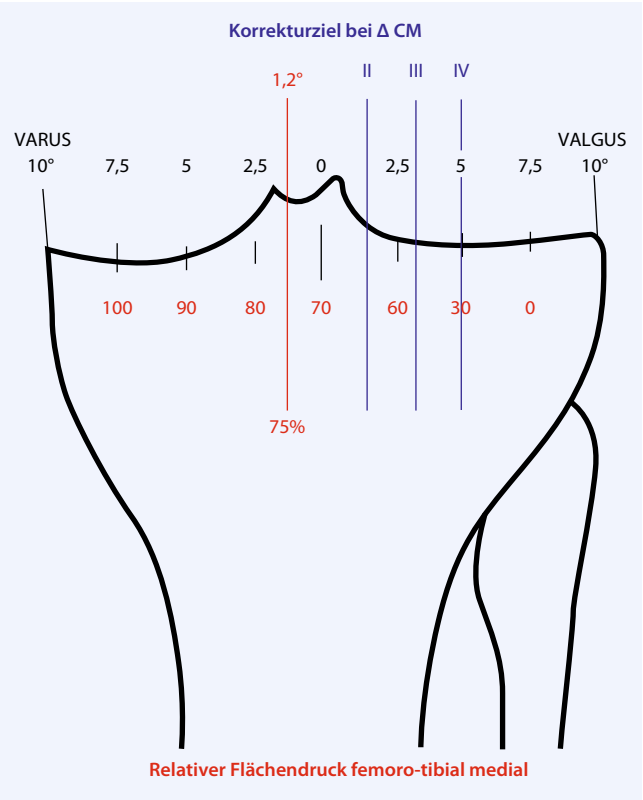


Abb. 18.17 Korrekturziel bei valgisierenden Osteotomien: *rot* relativer Flächendruck im medialen Kompartiment in Abhängigkeit von der frontalen Beinachse (physiologisch 75%), *blau* jeweiliger Zielwert der Korrekturmaßnahme in Abhängigkeit von ΔCM (Unterschied des Knorpelstatus der Kniegelenkkompartimente gemäß der Outerbridge-Chondromalazieklassifikation. Angestrebt wurde die Verlagerung der Beinachse in die Mitte des lateralen Kompartiments (5° Valgus) bei ΔCM=IV°, auf den Fujisawa-Punkt (3,3° Valgus) bei ΔCM=III° und auf die halbe Distanz zum Fujisawa-Punkt (1,7° Valgus) bei ΔCM=II°. (Aus: Strecker et al. 2009)

- Muskuläre Balance
- Systemische Risikofaktoren: Diabetes mellitus, Arteriosklerose, Immunsuppressiva, Nikotinabusus, etc.
- Funktionelle und ästhetische Erwartungen des Patienten
- Fähigkeit des Patienten zur Zusammenarbeit

Spezielle Einflussgrößen

Die speziellen Einflussgrößen orientieren sich an lokalen anatomischen Gegebenheiten. Bei kniegelenknahen Achsabweichungen in der Frontalebene sind dies in erster Linie die:

- Patellofemorale Geometrie und Balance,
- Knorpelqualität femorotibial medial und lateral.

Die patellofemorale Kongruenz, Balance und Höhenrelation und die Knorpelqualität patellofemoral medial versus lateral entscheiden letztlich über die Höhe einer Tibiakopfosteotomie, ob supra- oder infratuberositär.

Das Ausmaß einer **kniegelenknahen Valgisation** wird letztlich bestimmt durch die arthroskopisch verifizierte Knorpelqualität im medialen und lateralen femorotibialen Kompartiment. Der Unterschied des Knorpelstatus der Kniegelenkkompartimente folgt der **Outerbridge-Chondromalazie-Klassifikation** und wird als ΔCM bezeichnet. Weitere Einzelheiten sind der ◘ Abb. 18.17 zu entnehmen.

In Analogie davon werden kniegelenknahe Varisationen bewertet und geplant. Die maximale Varisation überschreitet in keinem Fall einen femorotibialen Varus von 2° (◘ Abb. 18.18).

Vor kniegelenknahen Korrekturosteotomien ist die direkt vorgeschaltete Arthroskopie obligat zur Überprüfung der Indikation und befundadaptierten Modifikation der Planung sowie zur Therapie von Kniebinnenläsionen (Strecker et al. 2009).

Knochendurchtrennung

Art und Technik der Knochendurchtrennung bei der Korrektur knöcherner Deformitäten orientieren sich an folgenden Kriterien:

- Lokalisation der Osteotomie: metaphysär oder diaphysär
- Operative Taktik: einzeitige oder kontinuierliche Korrektur mittels Kallusdistraktion
- Art der operativen Stabilisierung: interne, externe oder kombinierte Osteosynthese

Definitionen

Die verschiedenen Arten der Knochendurchtrennung wurden von R. Baumgart et al. (1998) unter Berücksichtigung der anatomischen Lokalisation, der periostalen und medullären Durchblutung sowie der Operationstechnik folgendermaßen definiert.

Osteotomie. Vollständige Knochendurchtrennung über den gesamten Querschnitt ohne Unterscheidung zwischen Dia- und Metaphyse. Durchtrennung des Medullarsystems, aber Schonung der umgebenden Weichteile und des Periosts entsprechend den allgemeinen Operationstechniken.

Kortikotomie. Durchtrennung der diaphysären Kortikalis unter Anwendung minimal-invasiver Techniken mit Schonung der umgebenden Weichteile, des Periosts und des Medullarsystems.

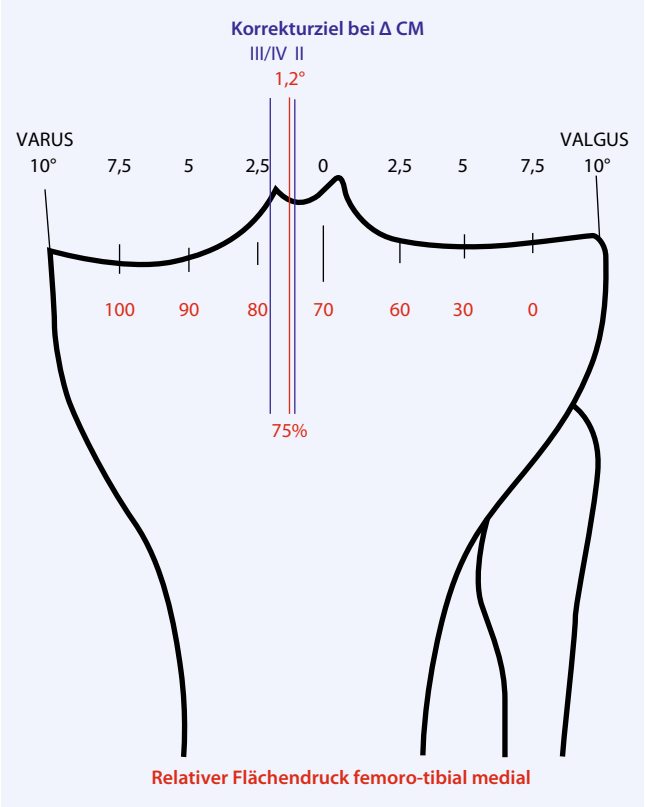


Abb. 18.18 Korrekturziel bei varisierenden Osteotomien: *rot* relativer Flächendruck im medialen Kompartiment in Abhängigkeit von der frontalen Beinachse (physiologisch 75%), *blau* jeweiliger Zielwert der Korrekturmaßnahme in Abhängigkeit von ΔCM. Angestrebt wurde die Verlagerung der Beinachse auf 2,0° Varus bei ΔCM=III° bzw. ΔCM=IV° und 1,0° Varus bei ΔCM=II°. (Aus: Strecker et al. 2009)

Kompaktotomie. Durchtrennung der dünnen metaphysären Kortikalis und der spongiösen Randbereiche unter Anwendung minimal-invasiver Techniken mit Schonung der umgebenden Weichteile, des Periosts und des metaphysären Querschnitts.

Osteoklasie. Kontrollierter Knochenbruch unter Schonung der umgebenden Weichteile, des Periosts und des Medullarsystems.

Interne versus externe Korrekturverfahren

Die jeweiligen Korrekturziele und die gewählten Verfahren der Osteosynthese entscheiden letztlich über die Form der Knochendurchtrennung. Einzeitige interne Osteosynthesen verlangen grundsätzlich eine präzise Umsetzung der Operationsplanung und damit exakt durchgeführte plane Schnitte. Die osteotomierten Flächen sollen passgenau aneinander liegen und durch die Osteosynthese flächig komprimiert werden. Diese angestrebte Präzision und Passgenauigkeit geht jedoch zu Lasten der lokalen Biologie, kompromittiert durch die erhöhte Invasivität des operativen Zugangs, der Osteotomie mit der oszillierenden Säge und der nachfolgenden Osteosynthese.

Eine grundlegend neue Philosophie und Operationstechnik wurde durch die Einführung winkelstabiler Plattensysteme und aufklappender, z. T. biplanarer Osteotomietechniken möglich. Die aufklappenden biplanaren Osteotomien haben sich insbesondere am Tibiakopf bewährt und zeichnen sich durch günstige biologische Eigenschaften aus, den operativen Zugang, die Art der Osteotomie und das Implantat betreffend.

Externe Korrekturtechniken sind bezüglich Knochendurchtrennung und Osteosynthese im Allgemeinen wenig invasiv. Ihre Nachteile liegen andererseits in geringerem Komfort für die Patienten bei oft sehr langen Tragezeiten der externen Fixationssysteme, erhöhten Raten an so genannten »Pin-track-Infekten« und gehäuften Weichteilirritationen und -transfixationen mit konsekutiven Vernarbungen und Bewegungseinschränkungen.

Osteotomieformen und Indikationen

Die im Folgenden dargestellten Osteotomieformen werden überwiegend in Kombination mit internen Osteosyntheseverfahren angewendet.

Quere Osteotomien

Quere Osteotomien bieten sich für Torsionskorrekturen an. Die Schnittfläche sollte rechtwinkelig zur anatomischen Achse stehen und möglichst glatt und eben sein. Zur Knochendurchtrennung eignen sich oszillierende Säge und Gigli-Säge (Abb. 18.38b). Bei zusätzlich geplanter Kallusdistraktion bietet sich die quere Osteotomie aus biologischen Gründen in Form einer Bohrer-Meißel-Osteoklasie an (Abb. 18.35c, Abb. 18.67c). Ausnahmsweise können derartige Osteoklasien auch für einzeitige Korrekturen diaphysärer Deformitäten akzeptiert werden. Voraussetzung ist eine zuverlässige Achsausgradung und mechanische Stabilisierung durch gebohrte Marknagelung (Abb. 18.31).

Aufklappende oder zuklappende Keilosteotomien

Aufklappende oder zuklappende Keilosteotomien eignen sich für frontale und sagittale Achskorrekturen, Translationen und Torsionskorrekturen. Bevorzugtes Werkzeug für die nötigen glatten Schnitte ist die oszillierende Säge, wobei das Sägeblatt durch Anlegen an einen zuvor eingebrachten Kirschner(K)-Draht dirigiert wird. Bei eindimensionalen auf- oder zuklappenden Achskorrekturen sollte die Gegenkortikalis geschont und nicht völlig durchtrennt werden. In diesen Fällen empfiehlt sich eine gezielte Schwächung der Gegenkortikalis durch mehrfache Bohrungen mit etwa 2,5 mm Durchmesser. Translationen und Torsionskorrekturen erfordern immer eine vollständige Knochendurchtrennung über den gesamten Querschnitt. Die mittlere Höhe des Keils korreliert mit der erzielbaren Verlängerung bzw. Verkürzung.

Der keilförmige Knochendefekt bei aufklappenden Osteotomien kann grundsätzlich mit auto- oder allogenem Knochen aufgefüllt werden, sei es in spongiöser oder auch trikortikaler Form. Am Tibiakopf kann auf eine derartige Defektauffüllung verzichtet werden. Voraussetzung ist sowohl eine biologische Operationstechnik als auch der Einsatz einer winkelstabilen Plattenosteosynthese (Abb. 18.33).

Dom- oder Pendelosteotomie

Dom- und Pendelosteotomien erlauben längenneutrale Achskorrekturen in einer Ebene. Domosteotomien werden bevorzugt mit einem Bohrer von 3,2–4,5 mm Durchmesser durchgeführt, am besten unter Verwendung einer Bohrlehre, die um einen Drehpunkt frei gelagert werden kann. Als Drehpunkt am Knochen eignet sich eine kräftige Schanz-Schraube von 5 mm Durchmesser. Pendelosteotomien erfolgen mit der oszillierenden Säge. Der frei werdende kortikospongiöse Halbschaftkeil wird umgekehrt auf der sich öffnenden Gegenseite wieder eingesetzt. Diese Technik erscheint biologisch ungünstig und ist als historisch zu betrachten.

Wenn der Drehpunkt der Osteotomie nicht im Apex der Deformität liegt, resultiert eine Translation.

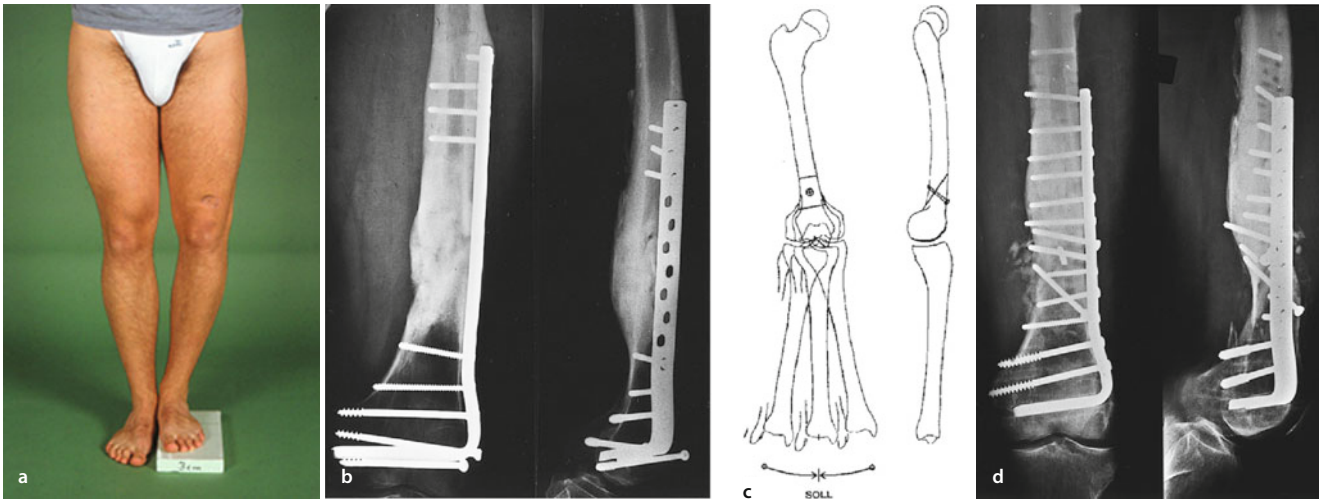


Abb. 18.19a–d Scheibenwischerosteotomie. **a, b** 22-jähriger Patient mit posttraumatischer Varusdeformität von 12° und Verkürzung um 2,2 cm des linken Oberschenkels. **c, d** Einzeitige Längen- und frontale Achsenkorrektur mittels Scheibenwischerosteotomie. Der »Scheibenwischer« dreht sich um eine interfragmentäre Zugschraube als Drehachse. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 b)

Scheibenwischerosteotomien

Scheibenwischerosteotomien sind uniplanar. Bei ausgeklügelter Planung lassen sich damit aber auch mehrdimensionale Deformitäten korrigieren (Gürke et al. 1999). Im einfachsten Fall wird das distale Fragment um ein Drehzentrum scheibenwischerartig gedreht und somit die Achsausrichtung verändert. Am Oberschenkel sind einzeitige Verlängerungen bis zu 2 cm möglich (Abb. 18.19).

Treppenförmige Osteotomien

Treppenförmige Osteotomien eignen sich für einzeitige Verlängerungen bis zu 3 cm (Abb. 18.20). Die entstehenden Halbschaftdefekte werden durch auto- oder allogene kortikospongiöse Knochenblöcke passgenau aufgefüllt. Für die Osteosynthese bieten sich lange 95°-Kondylenplatten an. Zusätzliche Achskorrekturen bis zu 5° und Torsionskorrekturen bis zu 20° sind gleichzeitig möglich, erfordern allerdings eine sehr subtile Planung und exakte operative Umsetzung (Abb. 18.29; Abb. 18.43e,f).

Treppenförmige Osteotomien eignen sich nur am Femur, nicht jedoch an der Tibia, wegen der Gefahr der Peroneusparese oder eines Kompartment-Syndroms.

Operationstechnik

Die oben beschriebenen Techniken der Knochendurchtrennung werden im Folgenden bezüglich ihrer Vor- und Nachteile für interne und externe Korrekturen bewertet. Die Wahl der geeigneten Osteotomietechnik wird durch allgemeine und lokale biologische Gegebenheiten ebenso beeinflusst wie durch die Art der geplanten Korrektur und der nachfolgenden Osteosynthese. Vorrangiges Bestreben ist immer die Schonung des ortständigen Gewebes, insbesondere des Knochens, als wesentliche Grundvoraussetzungen für eine ungestörte Heilung. Dieser »biologischen Grundhaltung« steht allerdings der Wunsch nach maximaler Präzision bei der operativen Umsetzung einer Korrekturplanung häufig entgegen. In jedem Einzelfall ist daher der bestmögliche Kompromiss zwischen Biologie und mechanischer Präzision abzuwägen. Unabhängig davon erfordern beide Zielvorgaben, Biologie und mechanische Präzision, scharfe Schneidwerkzeuge. Dies gilt für Sägeblätter, Bohrer und Meißel gleichermaßen (Tab. 18.6).

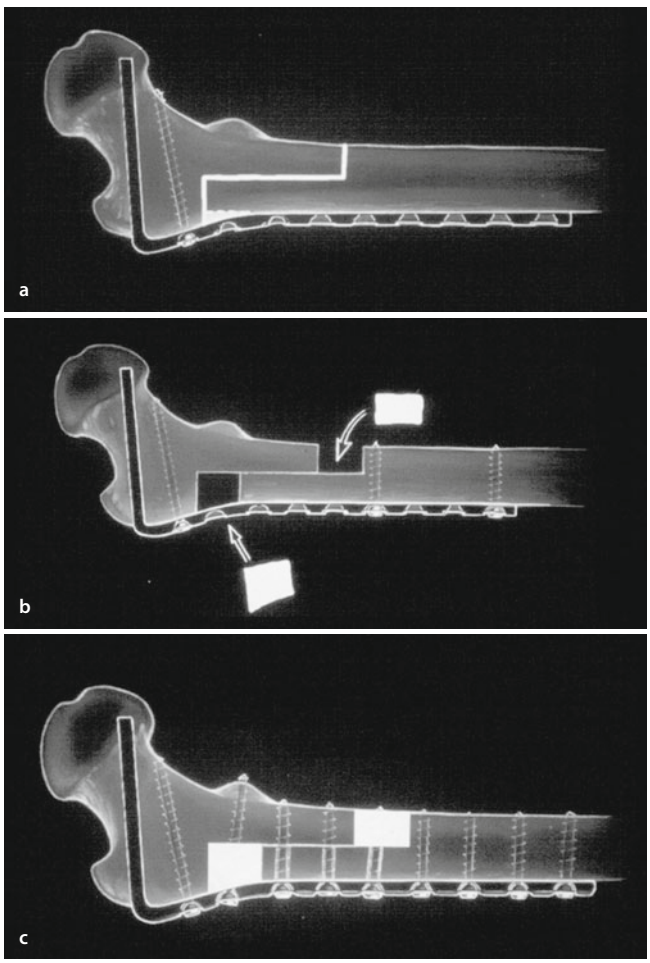


Abb. 18.20a–c Treppenförmige Osteotomie. **a** Schema der einzeitigen treppenförmigen Verlängerungsosteotomie femoral subtrochantär. **b,c** Die nach Verlängerung entstehenden Halbschaftdefekte werden durch auto- oder allogene kortikospongiöse Knochenblöcke aufgefüllt. Für die Osteosynthese empfehlen sich ausreichend lange 95°-Kondylenplatten. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 b)

Tab. 18.6 Vor- und Nachteile der oszillierenden Säge, Markraumsäge, Gigli-Säge, Bohrer und Meißel

Vorteile	Nachteile
Oszillierende Säge	
Glatte Schnittflächen bieten einen guten knöchernen Flächenkontakt. Geeignet fur einzeitige Korrekturosteotomien mit nachfolgender Stabilisierung durch Plattenosteosynthese über denselben operativen Zugang, also für Keil- und Pendelosteotomien, uniplanare oder treppenförmige Osteotomien.	Weichteiltraumatisierung durch den relativ ausgedehnten operativen Zugang. Denaturierung der knöchernen Schnittflächen durch Wärmeentwicklung. Deshalb scharfe, am besten dachverzahnte Sägeblätter verwenden und während des Sägevorgangs durch Spülung konsequent kühlen.
Markraumsäge	
Weichteilschonendes Verfahren zur diaphysären Durchtrennung insbesondere am Femur mit nachfolgender Marknagelosteosynthese. Geeignet für einzeitige Torsionskorrekturen oder kontinuierliche Längenkorrekturen.	Für Torsionskorrekturen muss der Schnitt der Innensäge im rechten Winkel zur anatomischen Achse laufen. Unvollständige Schnitte sind relativ häufig und hinterlassen störende Grate. Dies erfordert, insbesondere an der Tibia, ein Nacharbeiten von außen mit dem Meißel. Diaphysäre Achskorrekturen frontal/sagittal sind nur mit einer ergiebigen Spongiosaplastik durch Markraumbohrung (Biologie?) vertretbar. Insgesamt stellt dies eine seltene Indikation dar.
Gigli-Säge	
Weichteilschonendes Verfahren zur diaphysären Durchtrennung, insbesondere der Tibia. Geeignet für einzeitige Torsionskorrekturen oder kontinuierliche Längenkorrekturen.	Der subperiostale Durchzug des Gigli-Drahts kann technisch schwierig sein. Der Sägedraht kann sich verklemmen und reißen. Um dies zu vermeiden, empfiehlt es sich, sanft und gleichmäßig zu sägen, ohne den Vorgang zu unterbrechen.
Bohrer	
Weichteilschonendes Verfahren zur meta- und diaphysären Osteotomie. Geeignet für alle externen und distrahierenden Korrekturverfahren. Einzig mögliche Technik für die Domosteotomie.	Wegen fehlender glatter Schnittflächen nicht geeignet für einzeitige Torsionskorrekturen. Tangentiales Bohren der Kortikalis ist häufig schwierig. Hier empfiehlt sich eine Komplettierung der Kortikalisdurchtrennung mit dem Meißel. Durch unkontrolliertes Abgleiten besteht die Gefahr der Verletzung von Blutgefäßen und Nerven.
Meißel	
Einfaches, weichteilschonendes Verfahren; es eignet sich für alle externen und distrahierenden Korrekturverfahren, ggf. in Kombination mit dem Bohrer.	Es erfordert viel Geduld und handwerkliches Feingefühl. Die Gefahr der unkontrollierten Bruch- oder Fissurbildung besteht. Schanz-Schrauben und Ilisarov-Drähte können dabei auslockern und müssen ggf. umgesetzt werden.

18.2.4 Osteosynthesetechniken

Grundsätzlich stehen zwei unterschiedliche Prinzipien der Deformitätenkorrekturen zur Verfügung:

- Einzeitige oder Akutkorrekturen
- Kontinuierliche oder distrahierende Verfahren

Einzeitige oder Akutkorrekturen

Akutkorrekturen sind immer dann angezeigt, wenn Risiken von Dehnungsschäden und Kinking ausgeschlossen sind.

Am Oberschenkel sind akute Verlängerungen proximal bis zu 3 cm und distal bis zu 2 cm möglich ohne wesentliche Gefahr einer Überdehnung des N. ischiadicus. Dies gilt jedoch nur, wenn der Verlauf des Nervs frei von Narben ist. Bei akuten Verkürzungen ist das Risiko eines Kinking von Blutgefäßen und Nerven abzuschätzen. Im Zweifelsfall sind kontinuierliche Verkürzungstechniken vorzuziehen.

Am Unterschenkel bedroht jede akute Verlängerung, jede proximale Innentorsionskorrektur und jede proximale Varisierung den N. peroneus und das Kompartiment des M. tibialis anterior. Peroneusparese und Kompartment-Syndrom sind typische und gefürchtete Komplikationen. Deshalb sind am proximalen Unterschenkel Akutverlängerungen kontraindiziert! Vor proximalen Innentorsionskorrekturen (bis maximal 10°!) oder Varisierungen muss eine Neurolyse des N. peroneus vorgenommen werden! Im Zweifelsfall ist immer eine kontinuierliche Korrektur zu indizieren.

Kallusdistraktion

Kontinuierliche Verfahren der Kallusdistraktion empfehlen sich bei allen Korrekturen mit potenziellen Dehnungsschäden, insbesondere bei allen Verlängerungen des Unterschenkels und bei längerstreckigen Verlängerungen des Oberschenkels. Unabhängig von diesen Korrekturprinzipien ist die Entscheidung für eines der 3 Osteosyntheseverfahren zu fällen, sei es intern, extern oder kombiniert. Generell werden jedoch Akutkorrekturen meist intern stabilisiert, kontinuierliche Korrekturen meist extern oder kombiniert intern/extern. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Osteosyntheseverfahren werden im Folgenden dargestellt.

Interne Osteosynthesetechniken

Interne Osteosynthesen bieten sich bei unkritischen Weichteil- und Knochenverhältnissen an. Vorteilhaft ist ein im Allgemeinen guter Patientenkomfort mit der Möglichkeit einer frühfunktionellen Nachbehandlung. Das Infektrisiko entspricht demjenigen interner Osteosynthesen bei geschlossenen Frakturen, die gesamte Behandlungsdauer ist bei Akutkorrekturen relativ kurz.

Nachkorrekturen ohne erneuten Revisionseingriff sind nicht möglich. Operationsplanung und -technik müssen daher besonders präzise sein.

Plattenosteosynthesen gehen bei dem initialen Korrektureingriff und der späteren Metallentfernung meist mit einem größeren Operationstrauma einher. Grundsätzlich sind alle gängigen Plattensysteme, seien sie konventionell oder winkelstabil, zur Retention von Korrekturosteotomien geeignet. Winkelstabile Platten haben sich insbesondere bei kniegelenknahen Korrekturosteotomien bewährt.

Korrekturen mittels Marknagel bieten sich bei diaphysären Deformitäten an und zeichnen sich im Allgemeinen durch eine niedrige Zugangsmorbidität aus. Ausgeprägte Markraumsklerosen können dieser Korrekturtechnik Grenzen setzen oder sie gar scheitern lassen. Diaphysäre Achsdeformitäten mit gleichzeitigen Verkürzungen eignen sich entweder für Distraktionsmarknägel oder für ein Kombinationsverfahren mit Marknagel und unilateralem Distraktionsfixateur.

Postinfektiöse Weichteil- und Knochenabschnitte sind grundsätzlich Kontraindikationen für interne Osteosynthesen und stellen eine Domäne externer Fixationssysteme dar. Kindliche Deformitäten werden ebenfalls bevorzugt extern korrigiert.

Externe Osteosynthesetechniken

Externe Stabilisierungen bieten bei größter Variabilität den weitesten Anwendungsbereich. Unter den zahlreichen Konstruktionen haben der Ringfixateur nach Ilizarov (1992) und unilaterale Fixateure (Pfeil et al. 1996) die weiteste Verbreitung in Mitteleuropa gefunden. Kombinationen aus beiden Systemen sowie Ringfixateure, die über Teleskopstangensysteme eine kontinuierliche Korrektur in allen Dimensionen des Raums möglich machen, wie etwa der Hexapod oder der TSF (Taylor Spatial Frame) runden das Angebot ab. Hierbei erlauben die beiden letztgenannten Ringsysteme unter Nutzung computerassistierter Programme ein präzises Ansteuern des zuvor definierten Korrekturziels. Ihre Anwendung erfordert allerdings eine spezielle Schulung und Erfahrung.

Externe Fixationssysteme werden zwar auch bei Akutkorrekturen eingesetzt. Ihre Domäne sind indessen alle Formen der Kallusdistraktion, bevorzugt bei Extremitätenverlängerungen. Generell wird bei erwachsenen Nichtrauchern ein Längengewinn von durchschnittlich 1 mm pro Tag erreicht. Die Knochenreifung und -festigung benötigt pro Millimeter Längengewinn weitere 2 Tage. Für 1 mm Längengewinn ist also eine durchschnittliche Tragezeit des Fixateurs von 3 Tagen anzusetzen und für 1 cm dementsprechend ein Monat. Hinzu kommen 10 Tage initialer Ruhephase nach der Osteotomie vor Beginn der Kallusdistraktion. Bei Rauchern sind die genannten Zeiten häufig wesentlich verlängert. Nicht selten ist deren Kallusreifung gestört (Hoogendoorn et al. 2002).

Nachteilig sind insgesamt:

- die relativ lange Tragezeit der externen Fixation,
- die gelegentlich ausladende Konstruktion,
- der geringe Patientenkomfort,
- die hohe Rate an Pin-track-Infektionen (bis zu 95%) und
- die erschwerte Rehabilitation durch Pin-bedingte Weichteiltransfixierung.

Während die Vorteile der externen Fixationen unbestritten sind, insbesondere bei kritischen Weichteil- und Knochenverhältnissen, erfordern die oben genannten Nachteile eine adäquate Patientencompliance und eine besonders belastungsfähige Kooperation zwischen Arzt und Patient. Nur so kann den entsprechenden Komplikationen rechtzeitig und angemessen begegnet werden. Pin-track-Infektionen sind so schnell wie möglich durch eine systemische Antibiose zu behandeln. Gelegentlich werden lokale Weichteilrevisionen oder ein Umsetzen der Pins nötig.

Kombinierte Osteosynthesetechniken

Kombinierte Korrekturverfahren vereinigen bei Kallusdistraktionen die Vorteile von Marknagel und externen Fixationssystemen. Während der Marknagel als zentrale Leitschiene die axiale Ausrichtung sicherstellt, wird die Länge kontinuierlich durch Kallusdistraktion gewonnen. Hierbei finden bevorzugt unilaterale Distraktionsfixateure Anwendung, aber auch Ringmontagen, Hybridfixateure, Drahtseilzugsysteme und anderes mehr. Gegenüber rein externen Systemen ist die deutlich kürzere Tragzeit des Fixateur externe bei kombinierten Verfahren ein großer Vorteil: Nach Abschluss der Kallusdistraktion wird der Marknagel statisch verriegelt und der Fixateur externe entfernt. Nachteilig ist die Gefahr einer Markraumphlegmone, die mit konventionellen Schanz-Schrauben in einer Größenordnung von 2–5% zu befürchten war, begünstigt durch Pin-track-Infektionen (Strecker et al. 2001). Der Einsatz von Hydroxylapatit-beschichteten Schanz-Schrauben hat dieses Problem ganz entscheidend entschärft. Dennoch sind engmaschige klinische Kontrollen der Pin-Eintrittsstellen obligat. Lokalen Weichteilreizungen oder -infektionen ist durch sofortige Applikation von systemischen Antibiotika zu begegnen, ggf. auch durch lokale Revision der Pin-Eintrittsstellen. Bei manifester Pin-track-Infektion mit Osteolysen ist darüber hinaus das Umsetzen der Schanz-Schrauben zwingend.

18.2.5 Spezielle Deformitäten

In Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation der Deformität, der funktionellen Beeinträchtigung, dem Alter des Patienten sowie der Erfahrung und den Möglichkeiten des Operateurs u.a.m., bieten sich jeweils verschiedene operative Korrekturtechniken an.

Letztlich erfordert jede individuelle Deformität eines individuellen Patienten eine ganz individuelle maßgeschneiderte Korrektur.

Über die oben ausgeführten Grundlagenkenntnisse hinausgehend verlangt eine Reihe von Deformitäten zusätzliche Kenntnisse an analytischer Diagnostik und operativer Korrekturtechnik. In Abhängigkeit von ihrer anatomischen Lokalisation werden daher im Folgenden typische Deformitäten und bewährte, angepasste Korrekturverfahren dargestellt.

Die anatomische Gliederung unterteilt dabei Ober- und Unterschenkel jeweils in proximal, diaphysär und distal, entsprechend den Frakturklassifikationen 31, 32, 33 sowie 41, 42 und 43 der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (Müller et al. 1990). Wichtige koxofemorale wie auch tibiotalare Deformitäten werden in die folgende Darstellung mit einbezogen.

Hüftpfanne

Kongenitale und posttraumatische Deformitäten im Hüftbereich können mit einer unphysiologischen Belastung des Gelenks einhergehen und gelegentlich zu einer koxofemoralen Subluxation

oder Luxation führen. Inkongruenzen und eine Verkleinerung der belastungsfähigen koxofemoralen Gelenkflächen induzieren unphysiologische Erhöhungen des Flächendrucks mit Überlastung und konsekutiver Zerstörung von Labrum und Gelenkknorpel. Inkongruenzen erzeugen fokale Scherbelastungen und begünstigen damit zusätzlich die Entstehung einer Koxarthrose. Während sich bei älteren Patienten mit fortgeschrittener Koxarthrose therapeutisch ein Hüftgelenkersatz anbietet, sollten bei jüngeren Patienten bis etwa zum 50. Lebensjahr mit milderen Arthroseformen operativ gelenkerhaltende Verfahren, sei es offen oder arthroskopisch, zur Verbesserung der Kopf-Pfannen-Relation erwogen werden.

Röntgendiagnostik

Zur Röntgendiagnostik gehören hierbei:

- Tiefes Becken a.p.
- Faux-Profil-Aufnahme nach Lequesne
- Ggf. Funktionsaufnahmen der betroffenen Hüfte in 20–30°-Abduktion

Die tiefe Beckenaufnahme erlaubt eine Abschätzung der lateralen Hüftkopfüberdachung durch Bestimmung des lateralen Zentrum-Ecken-Winkels (VCE) und des Kopfbedeckungsindex (KBI). Der VCE misst in neutraler Hüftposition die Überdachung des Hüftkopfs durch das Acetabulum und gibt damit einen Hinweis auf die relative Größe der tragenden Gelenkfläche. Er beträgt bei gesunden Hüftgelenken mehr als 25° (Abb. 18.21a).

Der Kopfbedeckungsindex errechnet sich aus der Formel KBI = b/a×100% und liegt in einer Größenordnung von 80–85% (Abb. 18.21b). Der KBI erlaubt ebenfalls Rückschlüsse auf die Überdachung des Hüftkopfs und die Größe der tragenden Gelenkfläche.

Der ventrale Zentrum-Ecken-Winkel (ACV) wird in der Faux-Profil-Aufnahme ermittelt. Er gibt Hinweise auf die ventrale Überdachung des Femurkopfs und sollte normalerweise über 20° betragen (Abb. 18.21c).

Die a.p.-Funktionsaufnahme in 20- bis 30°-Hüftabduktion erlaubt eine Aussage sowohl zur verbesserten Überdachung als auch zur koxofemoralen Kongruenz durch eine periacetabuläre Osteotomie.

Die genannten Röntgenaufnahmen liefern darüber hinaus Informationen zu Knochenqualität und zum Schweregrad der Koxarthrose. Unter den zahlreichen radiologischen Klassifikationen der Koxarthrose hat u.a. diejenige nach Kellgren weite Verbreitung gefunden (Kellgren u. Lawrence 1957).

Computertomografie

Die oben genannte konventionelle Röntgendiagnostik bietet wertvolle Basisinformationen und bestimmt ganz wesentlich die Operationsindikation zur Positionsverbesserung der Hüftpfanne. Zusätzliche Informationen zu den räumlichen Verhältnissen des Hüftgelenks, zur Größe der artikulären Kontaktfläche und zur Operationsplanung können computertomografisch gewonnen werden (Nerlich u. Füchtmeier 1997).

Korrekturziel

Durch eine dreidimensionale Neuorientierung des Acetabulums soll sowohl die koxofemorale Kongruenz als auch die allseitige Überdachung des Hüftkopfs verbessert werden. Damit verbunden sind eine Vergrößerung der tragenden Gelenkfläche und eine Verminderung des relativen artikulären Flächendrucks.

Korrekturtechnik

Die Korrektur einer mangelhaften oder fehlorientierten acetabulären Überdachung kann durch Augmentation oder Reorientierung des Acetabulums erreicht werden. Die bekannten Operationsverfahren haben alle verschiedene Nachteile. Die weitverbreitete Beckenosteotomie nach Chiari oder Pfannendachplastiken vergrößern zwar die Überdachung, aber nicht die Knorpelfläche. Die Beckenosteotomie nach Salter erlaubt bei Erwachsenen keine suffiziente Korrektur. Dies gilt ebenso für die komplexeren Doppel- oder Tripel-Osteotomien. Einige Osteotomieformen verändern den Beckeneingang, andere destabilisieren den Beckenring, gefährden die acetabuläre Vaskularität etc.

Vor dem Hintergrund dieser Nachteile und Risiken wurde von Ganz die **periacetabuläre Osteotomie** (PAO) entwickelt, die derzeit als Referenzmethode betrachtet wird (Weber u. Ganz 2002). Indikationen und Kontraindikationen für die periacetabuläre Osteotomie werden in der Übersicht aufgeführt.

Indikationen und Kontraindikationen für periacetabuläre Osteotomie

Indikationen:

- Symptomatische Pfannendysplasien bei sich schließender oder
- geschlossener Wachstumsfuge
- Niedriger Arthrosegrad (Kellgren <2)
- Gute Kongruenz mit verbesserter Überdachung in der Abduktionsaufnahme

Kontraindikationen:

- Hohe Luxation
- Sekundärpfanne
- Kongruenzverschlechterung in der Abduktionsaufnahme
- Höhergradige Degeneration bzw. Arthrose
- Alter über 50 Jahre

Die periacetabuläre Osteotomie stellt hohe Ansprüche an den Operateur und sein Team und verlangt intensive Vorarbeiten und

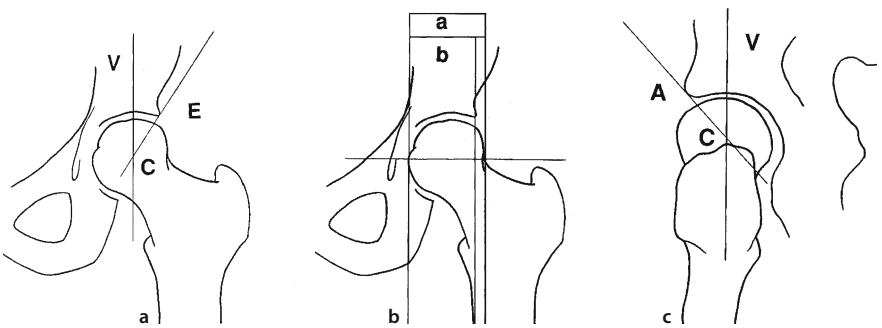


Abb. 18.21a–c **a** Lateraler Zentrum-Ecken-Winkel (VCE), **b** Kopfbedeckungsindex (KBI), **c** ventraler Zentrum-Ecken-Winkel (ACV). (Aus: Nerlich u. Füchtmeier 1997)

Studien. Diese Korrekturtechnik sollte daher auf entsprechende Zentren mit großer Erfahrung in der Beckenchirurgie beschränkt bleiben. Bezüglich der Operationstechnik wird daher auf die weiterführende Grundlagenliteratur verwiesen (Nerlich u. Füchtmeier 1997, Weber u. Ganz 2002).

Eine Verbesserung der Kopf-Pfannen-Relation kann auch durch eine Kombination der periacetabulären Osteotomie mit einer proximalen Femurosteotomie, wie etwa einer intertrochantären Varisations-Außentorsions-Osteotomie erreicht werden.

Grundsätzlich ist bei entsprechenden koxofemoralen Impingement-Syndromen bei adäquater Knorpelqualität differenzialtherapeutisch auch eine der offenen oder arthroskopischen Detrapment-Operationen zu erwägen, etwa durch ein Trimming am femoralen Kopf-Hals-Übergang.

Oberschenkel proximal

Grundsätzlich sind folgende kongenitale oder posttraumatische Zustände im Bereich des proximalen Femur durch Osteotomien therapeutisch beeinflussbar:

- Rezidivierende Hüftluxationen oder -subluxationen
- Femurkopfnekrosen
- Pseudarthrosen
- Deformitäten

Zielvorgaben sind:

- Verbesserung der Funktion
- Druckentlastung
- Verbesserung der Krafteinleitung
- Wiederherstellung der Anatomie prae trauma

Unter Berücksichtigung der individuellen Situation ist dabei in allen Fällen ein diagnostisches, indikatorisches und therapeutisches Raster zu respektieren, das sich im Wesentlichen aus folgenden Schritten aufbaut:

- Analyse des Problems unter Berücksichtigung von Vorgeschichte, Klinik und bildgebender Diagnostik
- Indikation zur Osteotomie unter Würdigung indikatorischer Grenzen, von Kontraindikationen und Alternativverfahren
- Zeichnerische Planung
- Operationstechnik

Rezidivierende Hüftluxationen und -subluxationen

Traumatische Hüftluxationen ohne knöcherne Beteiligung oder dysplastische Komponente sind äußerst selten. Bei dieser Konstellation lassen sich posttraumatische Rezidivluxationen oder -subluxationen nur durch eine Zerreißung des Kapsel-Labrum-Komplexes erklären. Bei ventralen Läsionen werden hierbei Luxationen durch Außenrotation des Beins provoziert, bei dorsalen Läsionen prinzipiell durch Innenrotation.

Kapsel-Labrum-Rekonstruktionen nach älteren Zerreißungen sind bei hohem operationstechnischem Aufwand und Risiko mitunter wenig Erfolg versprechend, sodass bei jüngeren Patienten mit adäquater Knorpelqualität eine subtrochantäre Torsionskorrektur diskutiert werden kann. Ziel dieser Torsionskorrektur ist die Vermeidung einer luxationsauslösenden Grenzrotation. Bei einem ventralen Kapsel-Labrum-Defekt und Hüftluxation, provoziert durch Außenrotation des Beins, bewirkt eine subtrochantäre Außentorsionsosteotomie eine entsprechende Innentorsion von Schenkelhals und Hüftkopf mit konsekutiver Entlastung der ventralen Anteile des Hüftgelenks. Prinzipiell entspricht dieses Vorgehen der subkapitalen Drehosteotomie des Oberarms nach Weber bei rezidivierenden Schulterluxationen.

Femurkopfnekrosen

Posttraumatische Femurkopfnekrosen treten nach inadäquater axialer (Stauchung) oder tangentialer (Scherung) Krafteinwirkung auf sowie durch traumatische oder iatrogene Störungen der lokalen Durchblutung. Hauptursachen sind demnach Hüftluxationen, meist in Kombination mit Acetabulumfrakturen sowie auch (späte!) Repositionsmanöver und invasive operative Rekonstruktionen. Kombinationsverletzungen mit Kalottenfrakturen des Hüftkopfs können in einzelnen Fällen vorkommen. Aufgrund des Verletzungsmechanismus dürften isolierte traumatisch bedingte Hüftkopfnekrosen ohne Schädigung des korrespondierenden acetabulären Knorpels selten sein. Ein weiteres Problem stellt die meist späte Demaskierung einer derartigen Hüftkopfnekrose dar. Das Ausmaß der avitalen Zone wird oft erst 2–3 Jahre nach dem initialen Trauma röntgenologisch sichtbar. Bei entsprechendem klinischem Verdacht wird daher eine MRT durchgeführt. Dieses bildgebende Verfahren liefert bereits in frühen Stadien einer Femurkopfnekrose wertvolle Informationen.

Als Ursachen nichttraumatischer Femurkopfnekrosen mit entsprechenden fokalen Ischämien gelten Äthylismus, Zigarettenrauchen, Immunsuppressiva und Glukokortikoide.

Lediglich bei isolierten Hüftkopfnekrosen, deren Tiefenausdehnung den Kopfdurchmesser nicht um mehr als ein Drittel überschreitet, kann bei jüngeren Patienten eine Osteotomie mit dem Ziel einer lokalen Druckentlastung avisiert werden. Inwieweit zusätzliche Bohrungen mit Perforation einer ossären Sklerosezone einer Verbesserung der lokalen Biologie dienen, bleibt spekulativ. Ebenso wenig liegen verlässliche Langzeitergebnisse alternativer Maßnahmen vor, wie das lokale Einbringen von autogener Spongiosa oder mikrovaskulär gestieltem Knochen.

Art und Ausmaß von druckentlastenden Osteotomien orientieren sich letztlich an Lokalisation und Ausdehnung der Nekrosezone. Liegen intakte anteriore oder posteriore Kopfanteile vor, können diese durch eine Drehosteotomie des Schenkelhalses in die Hauptbelastungszone gebracht werden. Bei der anterioren Drehosteotomie nach Sugioka et al. (1992) wird die apikale Nekrosezone

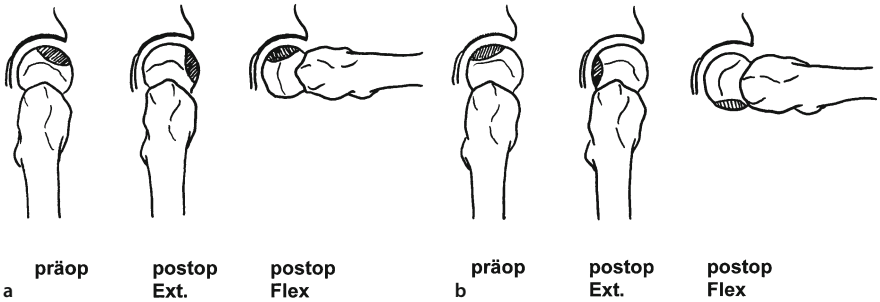


Abb. 18.22a,b Drehosteotomie. **a** Anteriore Drehosteotomie nach Sugioka et al. (1992). Eine Entlastung der apikalen Femurkopfnekrose wird nur in Extension erreicht. **b** Posteriore Drehosteotomie nach Kempf et al. (1984). Ein Entlastungseffekt tritt sowohl in Extension als auch in Flexion ein. (Aus: Strecker et al. 1998)

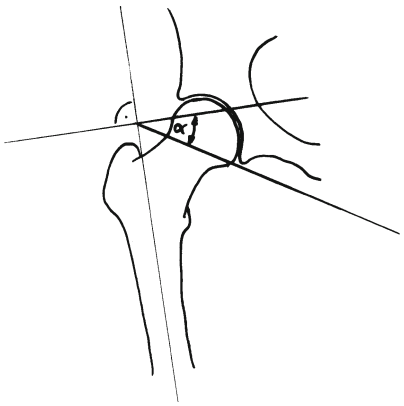
nach ventral gedreht, bei der posterioren Drehosteotomie nach Kempf et al. (1984) nach dorsal (◘ Abb. 18.22).

Als Osteosyntheseverfahren eignen sich Winkelplatten und Schraubenosteosynthesen. Aufgrund der vorbestehenden gestörten Vaskularität wird vor größervolumigen Implantaten im Bereich von Schenkelhals und Femurkopf gewarnt.

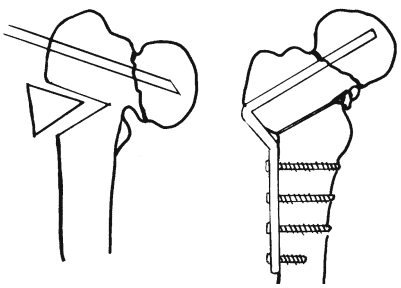
Insgesamt sollte die Indikation zur Entlastungsosteotomie bei Hüftkopfnekrosen selbst bei jüngeren Patienten sehr streng gestellt werden. Voraussetzung ist immer eine ausreichende Motivation und Compliance der betroffenen Patienten. Selbstverständlich muss die schädigende Ursache ausgeschaltet werden. Die Indikation zur Entlastungsosteotomie wird weiterhin relativiert durch neuere, vielversprechende Entwicklungen auf dem Gebiet der Endoprothetik.

Pseudarthrosen

Nach Schenkelhalsfrakturen liegt die Pseudarthrosenrate auch bei adäquater operativer Versorgung in einer Größenordnung von 10–25% und damit höher als nach Frakturen anderweitiger anatomischer Lokalisation. Hauptursache, neben traumatisch oder iatrogen gestörter Vaskularität, sind biomechanische Faktoren. Pauwels hat 1935 als erster auf die Zusammenhänge zwischen Neigungswinkel der Bruchflächen und der knöchernen Heilung hingewiesen (s. Pauwels 1973). »Je stärker die Bruchfläche geneigt ist, umso größer ist die Schubspannung, welche das Gewebe im Bruchspalt dehnt und dadurch zur Entstehung einer bindegewebigen Narbe führt.«



◘ **Abb. 18.23** Die Ausheilung einer Schenkelhalsfraktur oder -pseudarthrose ist bei einem Winkel α<30° zu erwarten. α wird definiert durch die Ebene der Fraktur bzw. Pseudarthrose und dem Lot zur Senkrechten der anatomischen Femurachse. (Aus: Strecker et al. 1998)

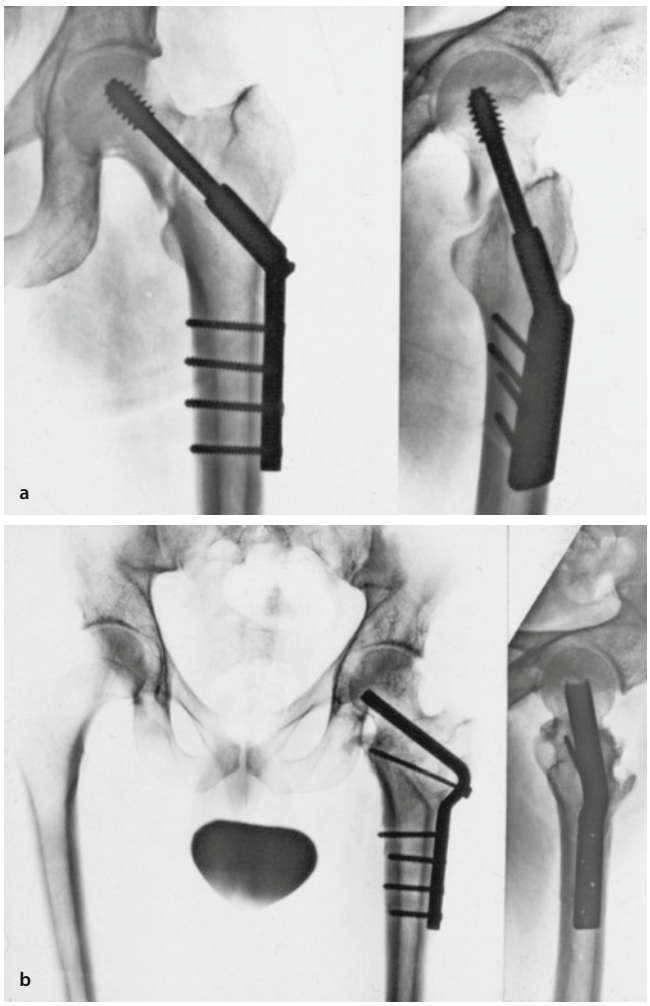


◘ **Abb. 18.24** Intertrochantäre Valgisierungsosteotomie um 52° und Osteosynthese mit einer gekröpften 120°-Winkelplatte. Damit wird ein Winkel α von 30° erreicht. (Aus: Strecker et al. 1998)

Diese Erkenntnisse führten zum einen zur bewährten Einteilung der Schenkelhalsbrüche in die 3 Grade nach Pauwels (▶ Kap. 9, Hüfte und Oberschenkel), zum anderen zu den theoretischen und praktischen Grundlagen der valgisierenden Umlagerungsosteotomie. Ziel der Valgisationsosteotomie bei Schenkelhalsfrakturen und -pseudarthrosen ist die möglichst rechtwinklige Ausrichtung des Fraktur- bzw. Pseudarthrosespalts zu den lokal einwirkenden Druckkräften (◘ Abb. 18.23, ◘ Abb. 18.24).

Die Valgisationsosteotomie ist indiziert bei (biologisch) jüngeren Patienten ohne Zeichen einer Koxarthrose oder ausgedehnteren Femurkopfnekrosen (◘ Abb. 18.25). Bei Kindern und Jugendlichen ist die Operationsindikation großzügiger zu stellen. Selbst bei Vorliegen von Hüftkopfnekrosen wurden Revaskularisierungen nach Umlagerungsosteotomien bei einzelnen jungen Patienten beschrieben. In jedem Fall sind jedoch die Unwägbarkeiten einer derartigen operativen Korrektur, insbesondere im Hinblick auf das Schicksal des Hüftkopfs, explizit anzusprechen und schriftlich zu fixieren. Alternativ sind, unter Berücksichtigung der individuellen Situation, Vor- und Nachteile alloarthroplastischer Maßnahmen zu diskutieren.

Bei der zeichnerischen Planung von intertrochantären Valgisationsosteotomien wird ein Winkel α<30° angestrebt (◘ Abb. 18.23).



◘ **Abb. 18.25** 29-jähriger Patient: **a** 5 Monate nach Schenkelhalsfraktur vom Typ Pauwels III und Osteosynthese mittels DHS. Schmerzhaftes Schonhinken bei Pseudarthrose. **b** Ausheilung der Pseudarthrose nach intertrochantärer Valgisierungsosteotomie und Osteosynthese mit gekröpfter 120°-Winkelplatte

Bei der Planung müssen selbstverständlich auch die entsprechenden Änderungen der Längenverhältnisse durch die Valgisation mit berücksichtigt werden. Zu große Valgisationen und Verlängerungen können vorübergehend in Kauf genommen werden. Allerdings nur dann, wenn nach Ausheilung der Pseudarthrose eine anschließende Revarisierung und Wiederherstellung der anatomischen Situation prae trauma mit einem physiologischen CCD-Winkel vorgesehen ist. Ein derartiges Vorgehen ist mit dem Patienten detailliert zu diskutieren. Geringer ausgeprägte Valgisierungen, etwa in einer Größenordnung von weniger als 140° CCD-Winkel, können nach Ausheilung der Pseudarthrose und entsprechender Beschwerdefreiheit belassen bleiben. Die entsprechende Vorgehensweise wird wesentlich durch das Alter der Patienten mit beeinflusst.

Deformitäten

Frontale Achsabweichungen

Nach valgisierender Umlagerungsosteotomie bei Schenkelhalspseudarthrose und knöcherner Ausheilung kann ein zu steiler CCD-Winkel resultieren. Übertrifft der postoperative CCD-Winkel die gesunde Gegenseite um mehr als 10–15°, empfiehlt sich bei jüngeren Patienten die Revarisierung. Ansonsten stellen posttraumatische Valgusdeformitäten Raritäten dar, die zudem selten korrekturbedürftig sind. Sehr viel häufiger sind kongenitale Coxa valga, meist in Verbindung mit einer erhöhten femoralen Innentorsion, demnach also Coxa valga antetorta. Bei CCD-Winkeln von mehr als 140–145° kann hier eine intertrochantäre Varisierung, ggf. in Kombination mit einer Torsionskorrektur, indiziert sein. Ziel ist immer ein freier rotatorischer Null-Durchgang im Hüftgelenk von mindestens jeweils 15° Innen- und Außenrotation.

Jede intertrochantäre Varisierung ist mit einer Verkürzung des Beins verbunden. Dies ist planerisch und operativ zu berücksichtigen.

Die Operationsplanung muss dabei nicht nur die exakte Osteotomiehöhe und den Korrekturwinkel beinhalten, sondern auch die Lage des gewünschten Implantats. Hierbei empfehlen sich die Rechtwinkelplatten der AO (Müller et al. 1977). Bei der operativen Umsetzung der Planung sollte zunächst das Klingenlager für die Rechtwinkelplatte vorbereitet werden. Nach Festlegen der intertrochantären Osteotomiehöhe mit einem K-Draht empfiehlt es sich, zur Torsionskontrolle proximal und distal der Osteotomie je eine Schanz-Schraube von 5 mm Durchmesser einzudrehen. Diese Schanz-Schrauben sollten in axialer Aufsicht parallel liegen. In Abhängigkeit von den Längenverhältnissen wird die Knochendurchtrennung als Halbschaft- oder Ganzschaftosteotomie geplant.

Posttraumatische Varusdeformitäten sind häufiger. Ursache ist meist eine ungenügende knöcherne Abstützung medial oder eine mangelhafte Reposition und fehlerhafte Implantatlage nach Frakturen des koxalen Femurendes. Im Rahmen der zunehmenden Varisierung verkürzt sich das Femur und es entsteht in Abhängigkeit vom Apex der Deformität u.U. eine pelvitrochantäre muskuloligamentäre Imbalance. Die Indikation zur Korrektur varischer Deformitäten orientiert sich am Beschwerdebild des Patienten mit seinen funktionellen Problemen. Im Einzelnen gehen folgende Aspekte in die Betrachtung ein:

- Trendelenburg-Hinken
- Einschränkungen des Bewegungsumfangs
- Laterale Ausladung des Trochanter major
- Verlauf der mechanischen Tragachse mit möglicher Fehlbelastung von Knie- und Sprunggelenken
- Ausmaß der begleitenden Oberschenkelverkürzung
- Kopf-Pfannen-Relation des Hüftgelenks

Kongenitale Coxa vara manifestieren sich häufig als Coxa vara retrotorta und scheinen bei Männern häufiger aufzutreten als bei Frauen (Abb. 18.26). Die Beweglichkeit der Hüftgelenke ist bezüglich Abduktion und Innenrotation oft erheblich eingeschränkt. Adduktionsaufnahmen in neutraler Hüftrotation können Hinweise geben auf das Ausmaß einer möglichen Valgisierung. Bei diesen Aufnahmen stellt sich die koxofemorale Kongruenz nach einer entsprechenden Korrektur dar. Analog zu den periacetabulären Osteotomien sollte auch hier der Arthrosegrad nach Kellgren nicht über 2 liegen. Entsprechende Korrekturen werden zudem auf Patienten mit einem biologischen Alter von weniger als 50 Jahre beschränkt.

Sagittale Achsdeformitäten

Von klinischer Relevanz sind kongenitale oder posttraumatische Streckdefizite im Hüftgelenk, die von den benachbarten Gelenken, hier also insbesondere von Lendenwirbelsäule und Kniegelenk, kompensiert werden müssen. Diese Beeinträchtigung der benachbarten Gliederkette geht mit einer Verkippung des Beckens sowie einer lumbalen Lordosierung einher. Streckdefizite des Hüftgelenks von mehr als 10° können daher eine Korrekturosteotomie indizieren. Beugedefizite sind von geringerer Relevanz und bedürfen nur ausnahmsweise einer Korrektur. Weitere Indikationen sind segmentale Hüftkopfnekrosen und fokale Arthrosezonen bei jüngeren Menschen. Durch die intertrochantäre Extensions- oder Flexionsosteotomie (Abb. 18.27) soll der nekrotische oder arthrotische Gelenkabschnitt aus der Hauptbelastungszone des Hüftgelenks herausgedreht werden – analog zu den Drehosteotomien nach Kempf (Kempf et al. 1984) und Sugioka (Sugioka et al. 1992). Bei mehrdimensionalen Deformitäten lassen sich sagittale Korrekturen meist gut integrieren, wie etwa bei queren oder treppenförmigen Osteotomien.

Longitudinale Achsdeformitäten

Translationen wirken sich in praxi bevorzugt in der Frontalebene aus. Über eine Verschiebung der mechanischen Beinachse kommt es zu Fehlbelastungen von Knie- und Sprunggelenken.

Jede Medialisierung des Femurschafts führt tendenziell zu einem Genu valgum, jede diaphysäre Lateralisierung zu einem Genu varum.

Das Ausmaß dieser valgischen oder varischen Situation, primär das Kniegelenk betreffend, modifiziert schließlich die Indikation zur Korrekturosteotomie. Unabhängig davon beeinflussen intertrochantäre Translationen die muskuloligamentäre Balance von Becken und Hüftgelenk.

Längendifferenzen

Bei Längendifferenzen der Oberschenkel ist durch eine subtile Analyse der Beingeometrie eindeutig zu klären, ob diese Deformitäten diaphysär oder intertrochantär angesiedelt sind. Längendifferenzen proximal des Trochanter minor sind selten und lassen sich meist nur durch Änderung des CCD-Winkels beeinflussen. Alle sonstigen Längendifferenzen sind letztlich subtrochantär bzw. diaphysär auszugleichen. Auf die entsprechenden Techniken wird in ▶ Abschnitt 18.2.5.3 (Oberschenkel diaphysär) eingegangen (s. unten).

Torsionsdifferenzen

Kongenitale Torsionsabweichungen liegen bei den oben beschriebenen Coxa valga antetorta und Coxa vara retrotorta häufig vor. Posttraumatische Torsionsdifferenzen intertrochantär sind relativ selten.

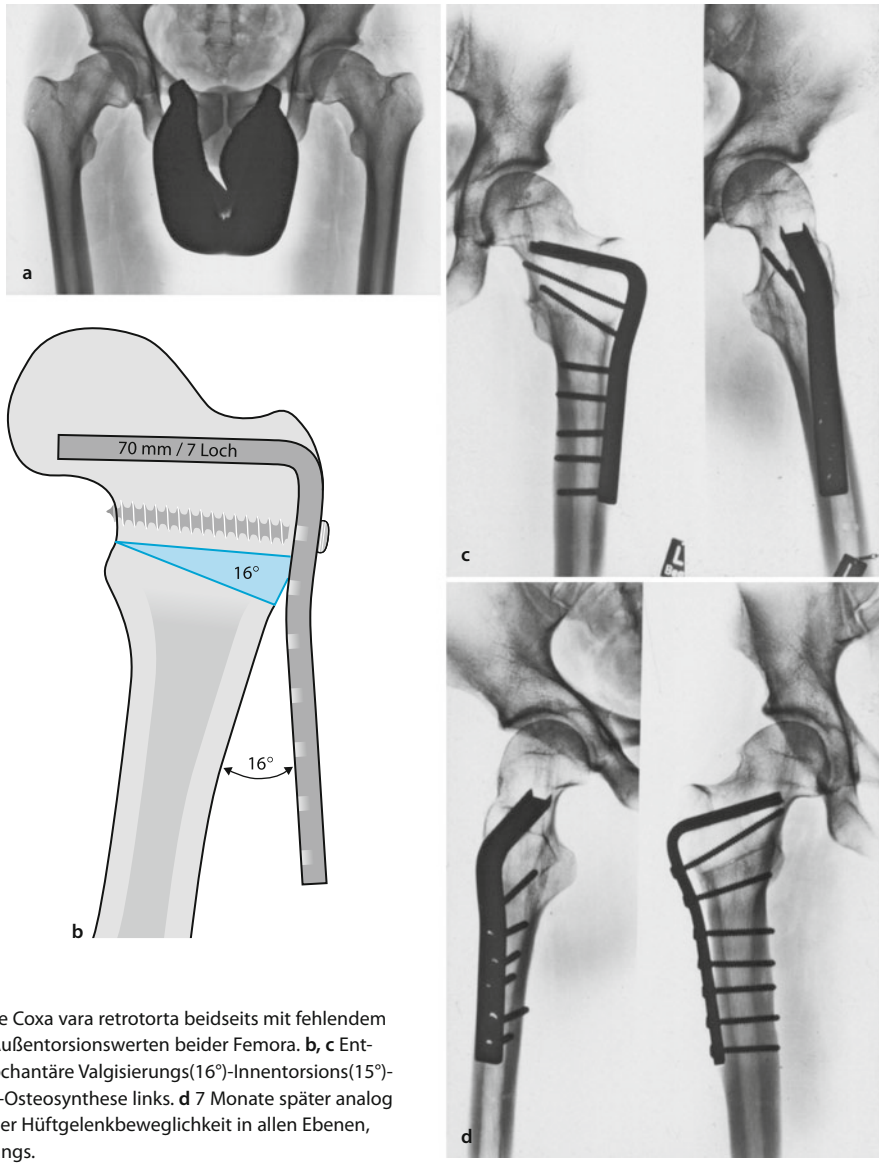


Abb. 18.26a–d 27-jähriger Patient. **a** Idiopathische Coxa vara retrotorta beidseits mit fehlendem rotatorischen Nulldurchgang bei absolut erhöhten Außentorsionswerten beider Femora. **b, c** Entsprechend der Planungszeichnung zunächst intertrochantäre Valgisierungs(16°)-Innentorsions(15°)-Osteotomie mit nachfolgender 95°-Kondylenplatten-Osteosynthese links. **d** 7 Monate später analog dazu rechts. Postoperativ erhebliche Verbesserung der Hüftgelenkbeweglichkeit in allen Ebenen, insbesondere der Abduktion und des Rotationsumfangs.

Torsionskorrekturen sind nur angezeigt bei fehlendem rotatorischen Nulldurchgang sowohl im extendierten als auch im flektierten Hüftgelenk. Dementsprechend definiert sich das Korrekturziel: Bei posttraumatischen Veränderungen ist die femorale Torsion der gesunden unverletzten Gegenseite anzustreben. Bei kongenitalen Veränderungen und bilateralen posttraumatischen Torsionsdeformitäten ist der freie rotatorische Nulldurchgang im Hüftgelenk das Ziel korrigierender operativer Bemühungen.

Die intraoperative Torsionskontrolle erfolgt, wie oben angegeben, durch Eindrehen von je einer Schanz-Schraube proximal und distal der geplanten Osteotomie.

Proximale Femurosteotomien werden nach wie vor bevorzugt mit Winkelplatten stabilisiert. Den weitesten Anwendungsbereich bietet hierbei die 95°-Kondylenplatte. Bei Valgisierungen empfehlen sich darüber hinaus 120- oder 130°-Winkelplatten, bei Varisierungen gekröpfte Rechtwinkelplatten (Müller et al. 1977). Als Zugang wird der laterale Zugang zum Femur genutzt (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Ist ein flächiger Kontakt der knöchernen Fragmente in der Osteotomieebene gegeben, empfehlen wir eine postoperative Teilbelastung von 20 kg über einen Zeitraum von 6 Wochen bei freifunktioneller Nachbehandlung. Der anschließende Belastungsaufbau erfolgt mit 10 kg pro Woche. Nach Drehosteotomien des Schenkelhalses orientieren sich Belastungsaufbau und Mobilisierung an den Richtlinien wie nach Schraubenosteosynthesen von Schenkelhalsfrakturen.

Gelegentlich lassen sich posttraumatische Deformitäten elegant über liegende Implantate ausgleichen. Dieses bietet sich insbesondere für Torsionskorrekturen nach vorangegangener Osteosynthese mit Marknagel und Schenkelhalsschraube an.

Ganz wesentlich ist die präzise Operationsplanung durch den Operateur selbst. Sie muss intraoperativ Schritt für Schritt umgesetzt werden. »Freischaffendes Künstlertum« führt zu Misserfolgen.

»Präoperative Planungszeichnungen sind bei Korrektureingriffen am proximalen Femur unerlässlich. Sie beanspruchen oft bedeutend mehr Zeit als der Eingriff selbst, zwingen jedoch den Chirurgen, über klinische und röntgenologische Diagnose, Zielsetzungen, Winkelkorrekturen und Achsverschiebungen nachzudenken und erlauben ihm, eine klare Vorstellung von Taktik und Technik der

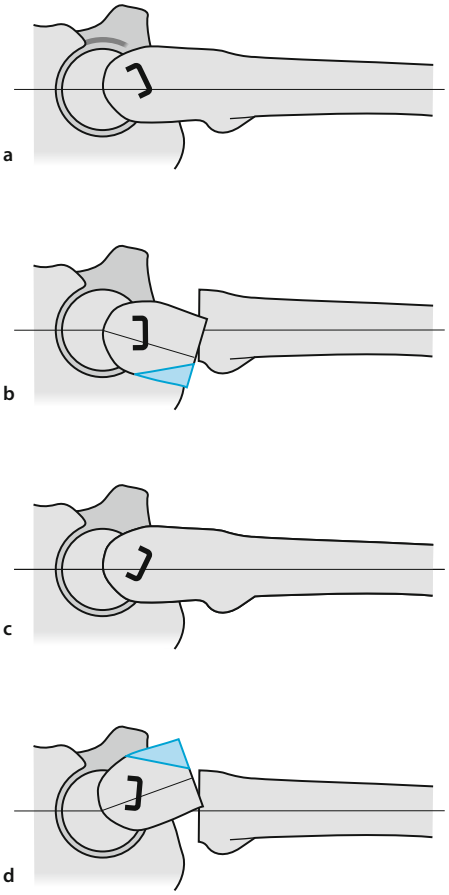


Abb. 18.27a–d Bei einer geplanten Flexionsosteotomie wird zunächst die ventrale Hüftgelenkkapsel eingekerbt oder reseziert mit dem Ziel, eine entsprechende Hyperextension im Hüftgelenk zu ermöglichen. **a** Dann wird der Klingensitz für die Winkelplatte im gewünschten Korrekturwinkel vorbereitet; **b** intertrochantäre Querosteotomie und Einschlagen der Winkelplatte mit Osteosynthese unter interfragmentärer Kompression. Knöcherne Überstände werden nachfolgend geglättet und als Spongiosa angelagert. **c, d** Analoges Vorgehen bei der Extensionsosteotomie. Die dorsale Hüftgelenkkapsel braucht allerdings nicht inzidiert zu werden

Operation zu gewinnen.« Diesen Forderungen von M.E. Müller ist nichts hinzuzufügen (Müller et al. 1984).

Oberschenkel diaphysär

Grundlagen

Posttraumatische Deformitäten des diaphysären Femurs sind in industrialisierten Ländern wesentlich häufiger als so genannte orthopädische Deformitäten. Letztere manifestieren sich als kongenitale Deformitäten, sei es systemisch, wie etwa bei der Achondroplasie, der Osteogenesis imperfecta, etc. oder fokal, wie etwa bei der proximalen fokalen Femur-Defizienz. Ebenfalls können Stoffwechselstörungen ossäre Deformitäten verursachen, wie etwa bei Rachitis.

Art und Ausmaß posttraumatischer Deformitäten werden durch die Technik der Repositions- und Retentionsverfahren der primären Frakturversorgung geprägt. Die Entwicklung torsionsstabiler Marknägel und winkelstabiler Plattensysteme sowie die Respektierung biologischer Heilungsvorgänge haben zu deutlichen Verbesserungen der gesamten Frakturversorgung geführt. Dies betrifft nicht nur die Heilung von Knochen- und Weichteilen, sondern ist auch mit einem Rückgang posttraumatischer Deformitäten verbunden. Bei Erwachsenen führte die früher geübte Versorgung diaphysärer Femurfrakturen durch Extensionsbehandlung gehäuft zu frontalen, sagittalen oder longitudinalen Achsabweichungen. Dieses Problem wurde durch die Einführung der Plattenosteosynthese deutlich reduziert und später durch die Marknagelosteosynthese weitgehend gelöst. Während sich die Rekonstruktion der anatomischen Achsausrichtung durch den Nagel im Allgemeinen unproblematisch gestaltet, fehlt bis dato eine befriedigende intraoperative Torsionskontrolle. Torsionsabweichungen von 15° und mehr werden immerhin nach jeder vierten Marknagelosteosynthese diaphysärer Femurfrakturen beobachtet (Strecker et al. 1996). Dagegen ist das Problem der Teleskopage, der unkontrollierten Verkürzung in der Frakturzone unter Belastung, durch die Verwendung der statischen Verriegelung bei Marknagelosteosynthesen deutlich seltener geworden.

Von anderer Natur sind die Folgen **kindlicher Oberschenkelschaftfrakturen**. Aber auch hier bestimmt die primäre Frakturversorgung Art und Ausmaß späterer Deformitäten. Nach diaphysären Femurfrakturen verbleiben kaum Abweichungen der anatomischen Achse. Häufiger sind Torsions- und v.a. Längendifferenzen im Sinne von posttraumatischen Verlängerungen. Dieses Problem der kindlichen Frakturversorgung scheint jedoch nach intramedullärer Schienung mit elastischen Titannägeln, der so genannten ECMES-Technik, deutlich seltener aufzutreten (P. Keppler, persönliche Mitteilung).

Diaphysäre Deformitäten eignen sich grundsätzlich zur Korrektur mit Marknägeln. Voraussetzungen hierfür sind:

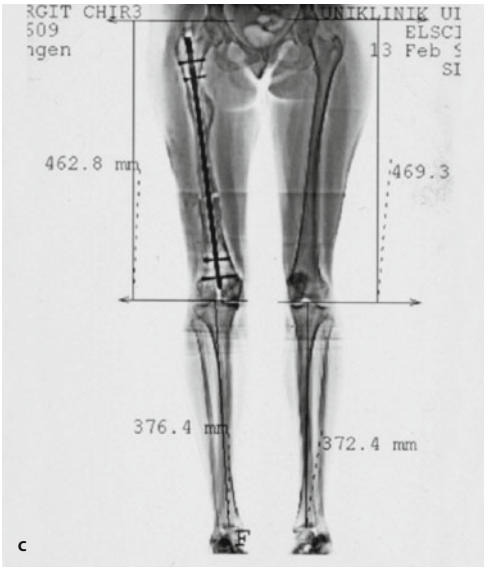
- Abgeschlossenes Knochenwachstum,
- Infektfreiheit und
- passierbare Markhöhle.

Nicht selten ist die Markhöhle im Bereich einer posttraumatischen Deformität partiell oder komplett sklerosiert. Meist gelingt es jedoch, diese Sklerosezone mit einem Handbohrer zu eröffnen. Dann kann eine übliche Markraumbohrung angeschlossen werden. Das Problem der Markraumsklerose muss anhand von Röntgenbildern, ggf. auch von CT-Schnittbildern, im Rahmen der Korrekturplanung frühzeitig beantwortet werden. Alternativ kann die knöcherne Stabilisierung nach Korrektur mittels Plattenosteosynthese oder Fixateur externe durchgeführt werden.

Als Technik der Knochendurchtrennung bei geplanter Marknagelosteosynthese bieten sich ganz besonders die minimal-invasive Markrauminnensäge, die Bohrlochosteoklasie oder die Gigli-Osteotomie an (s. oben, Tab. 18.6). Zur intraoperativen Korrekturkontrolle empfiehlt sich die Verwendung von 5 mm-Schanz-Schrauben proximal und distal der geplanten Osteotomie.

Frontale, sagittale und horizontale Achsabweichungen

Eindimensionale Deformitäten, die strikt nur eine Ebene betreffen, sind posttraumatisch am diaphysären Oberschenkel selten. Viel häufiger sind mehrdimensionale Achsabweichungen, also sowohl die Frontal- als auch die Sagittalebene betreffend. Derartige Komplexdeformitäten lassen sich grundsätzlich durch grafische Analyse auf eine uniplanare Deformität zurückführen und damit durch eine einzige Osteotomie korrigieren (Gürke et al. 1999). Während diese Überlegungen bei Korrekturen mittels Plattenosteosynthese durchaus von praktischer Relevanz sind, stellt sich bei der Marknagelosteosynthese die erwünschte diaphysäre Achsausgradung zwangsläufig ein. Dieses Verfahren ist diesbezüglich überzeugend einfach. Dennoch ist die femorale Antekurvation ebenso zu beachten wie die Längen- und Torsionsverhältnisse (Abb. 18.28).



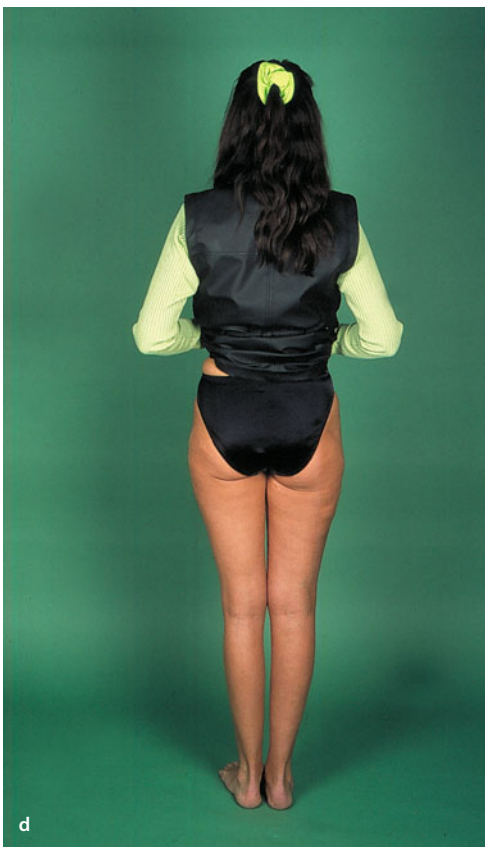


Abb. 18.28a–d 28-jährige Patientin: Motorradunfall im 18. Lebensjahr mit Femurfraktur rechts vom Typ AO 32-C3.2, O III, u.a. mit Abriss der A. femoralis, primärer knöcherner Verkürzung und Gefäßrekonstruktion. In der Folgezeit weitere 7 Operationen zur knöchernen Rekonstruktion mit Achsausgradung durch Marknagel und subtrochantäre Verlängerung durch Kallusdistraktion mit Ringfixateur. **a,b** Es verbleibt eine diaphysäre Varus(15°)-Außentorsions(27°)-Verkürzungs(1,1 cm)-Deformität sowie eine medial betonte Pangonarthrose Grad II–III. Vorgehen: Nach direkt vorgeschalteter arthroskopischer Inspektion und Revision des rechten Kniegelenks erfolgte eine diaphysäre Ausgradung entsprechend der Planungsvorgabe. Nach Eröffnung der sklerosierten Markhöhle mit Handbohrern wurden je eine Schanz-Schraube von 5 mm Durchmesser proximal und distal der geplanten Osteotomie in die dorsale Femurkortikalis eingedreht. Es folgten die Osteoklasie im Apex der Deformität mit 4,5 mm Bohrer und akute Ausgradung. **c** Markraumbohrung, damit Spongiosatransport an den Ort der Knochendurchtrennung, und statisch verriegelte Marknagelosteosynthese. **d** Messtechnisch und klinisch ausgeglichene Achs-, Längen- und Torsionsverhältnisse

18

Längendifferenzen

Verkürzungen sind zum Ausgleich von Längendifferenzen im Links-Rechts-Seitenvergleich operationstechnisch einfacher und risikoärmer, werden aber von vielen Patienten abgelehnt. Dennoch muss in jedem Einzelfall die Indikation zur Verkürzung, meist des gesunden kontralateralen Femurs, oder zur Verlängerung unter Würdigung der individuellen Nutzen-Risiko-Relation kritisch hinterfragt werden.

Ist nur eine reine Verkürzung ohne zusätzliche Achskorrektur geplant, empfiehlt sich eine diaphysäre Osteotomie durch quere Resektion eines entsprechend langen Knochenzylinders. Die Resektion kann schonend mittels Innensäge, halb offen mit Gigli-Säge oder offen mit oszillierender Säge erfolgen. Für die nachfolgende Stabilisierung eignet sich ein Kompressionsmarknagel, der eine frühzeitige Vollbelastung erlaubt. Mit dieser Technik lassen sich auch gleichzeitig Torsionsdeformitäten korrigieren.

Bei zusätzlicher frontaler oder sagittaler Achsabweichung sollte metaphysär am proximalen oder distalen Femur korrigiert werden. Für die Osteosynthese haben sich Winkelplatten bewährt.

Verlängerungen lassen sich am Oberschenkel entweder einzeitig oder kontinuierlich durch Kallusdistraktion durchführen. Einzeitige Korrekturen bis maximal 3,0–3,5 cm Längengewinn sind durch **treppenförmige Osteotomien** subtrochantär möglich.

Längerstreckige Akutverlängerungen dürfen auch wegen drohender Dehnungsschädigung des N. ischiadicus auf keinen Fall erzwungen werden.

Bei der treppenförmigen Verlängerungsosteotomie (Strecker et al. 1999) entstehen Halbschaftdefekte. Diese werden mit passgenauen, bevorzugt allogenen Knochenblöcken aufgefüllt. Die Osteosynthese erfolgt mit 95°-Kondylenplatten von ausreichender Länge. Hierbei sollten mindestens 4 Plattenlöcher über die distale Halbschaftosteotomie hinaus bikortikal besetzt werden (Abb. 18.20, Abb. 18.29).

Kontinuierliche Femurverlängerungen mittels Kallusdistraktion lassen sich intern, extern oder kombiniert intern/extern durchführen. Nach einer initialen Ruhephase von etwa 10 Tagen beträgt der tägliche Längengewinn durch Kallusdistraktion etwa 1 mm. Nach Abschluss der Verlängerungsphase müssen noch etwa 2 Tage pro Millimeter Längengewinn für die Knochenreifung veranschlagt werden.

Alle internen Verlängerungstechniken bedienen sich des Prinzips des Teleskopnagels, also von zwei ineinander gleitenden Rohren, die jeweils mit dem proximalen und distalen Femurfragment durch statische Verriegelung verbunden sind. Vorteilhaft sind geringe Infektgefahr und hoher Patientenkomfort. Dies gilt ganz besonders für den Münchner Marknagel mit programmierbarem motorischem Antrieb, der die Anforderungen an eine kontinuierliche Kallusdistraktion auf höchstem technischem Niveau hervorragend erfüllt. Nachteilig sind die hohen Kosten und die fehlende allgemeine Verfügbarkeit des Implantats (Baumgart et al. 1999).

Guichet entwickelte einen Teleskopnagel, dessen Verlängerungsvorschub auf einem Ratschenmechanismus beruht, der im Nagelinneren integriert ist (Guichet 1997). Durch Rotation der beiden Nagelkomponenten bzw. der Femurfragmente gegeneinander kommt es über den Ratschenmechanismus zum gleichzeitigen Vortrieb um etwa 0,07 mm. Dabei wird der im Knie rechtwinklig gebeugte Unterschenkel als Hebel benutzt. Besonders die initiale Verlängerungsphase ist durch die Reibung der knöchernen Fragmentenden im Bereich der Osteotomie für den Patienten schmerzhaft. Dieser Friktionsschmerz lässt jedoch mit zunehmendem Längengewinn nach. Weiterentwicklungen des Distraktions-Marknagels von Guichet führten zu einer Erleichterung des mechanischen Vortriebs im Nagel selbst, gleichzeitig wurden elegante Überwachungsmechanismen zur Verlängerungskontrolle entwickelt. Nichtsdestotrotz konnten diese Verbesserungen nicht zu einer deutlichen Verringerung der relativ hohen Komplikations- und Revisionsraten führen. Die Verlängerungsvorgänge sind sehr von der individuellen körperlichen Aktivität des einzelnen Patienten abhängig. Damit verbunden sind zum einen zu rasche Verlängerungen, zum anderen frühzeitig stagnierende Distraktionen mit vorzeitiger Reifung des Distraktionskallus.

Externe Verlängerungstechniken bedienen sich im Allgemeinen eines Ringfixateurs nach Ilizarov (1992) oder eines unilateralen Distraktionsfixateurs (Pfeil et al. 1996). Externe Transportfixateure bieten sich bei allen Situationen an, die ein internes Vorgehen verbieten. Dies betrifft alle Kontraindikationen für die Marknagelung, also eine sklerosierte oder stärker deformierte Markhöhle, den kindlichen Knochen oder postinfektiöse Zustände, die eine Reaktivierung eines Infekts befürchten lassen.

Nachteilig sind der limitierte Tragekomfort – dies gilt insbesondere für den Ringfixateur – und die lange Tragezeit. Unter Berücksichtigung der täglichen Verlängerung durch Kallusdistraktion von durchschnittlich 1 mm und der anschließenden Phase der Kallusreifung mit 2 Tagen pro gewonnenem Millimeter müssen pro Zentimeter Längengewinn mindestens 30 Tage Fixateurtragezeit veranschlagt werden. Diese Zeitspanne kann bei Kindern und Jugendlichen kürzer sein, bei Rauchern und bei Patienten mit metabolischen Problemen u.U. aber auch erheblich länger. Insbesondere bei Rauchern ist die Kallusreifung häufig problematisch (Hoogendoorn et al. 2002), sodass die Indikation zur Kallusdistraktion bei diesen Patienten sehr kritisch zu stellen ist.

Die lange Tragezeit bei rein externen Transportsystemen erklärt u.a. das **hohe Risiko von Pin-track-Infektionen**. Der kräftige Weichteilmantel des Oberschenkels begünstigt zudem Weichteilirritationen durch die Pins. Die meisten Pin-track-Infektionen lassen sich durch lokale antiseptische Maßnahmen und systemische Antibiose beherrschen, etwa mit Gyrasehemmern für etwa 2 Wochen. Anderenfalls müssen die Pins umgesetzt werden. Über diese Probleme und die insgesamt hohe Rate an Pin-track-Infektionen müssen die Patienten präoperativ informiert werden. Der Indikationsbereich für Ringfixateure am Oberschenkel hat an Bedeutung verloren. Neben postinfektiösen Situationen besteht bei Erwachsenen unseres Erachtens lediglich eine Indikation bei nötigen gelenküberbrückenden Montagen, z. B. an Hüfte und Knie. Gelenküberbrückende Fixateure haben in diesen Fällen das protektive Ziel, den intraartikulären Druck zu reduzieren oder Subluxationen oder gar Luxationen zu vermeiden, insbesondere am Kniegelenk.

Die beiden genannten Hauptprobleme externer Distraktionssysteme – geringer Patientenkomfort und lange Fixateurtragezeit – lassen sich durch eine **Kombination interner und externer Techniken** deutlich reduzieren (Abb. 18.31d, f). Als internes Implantat bietet der Marknagel nicht nur den Vorzug einer problemlosen Achsausrichtung, sondern erlaubt durch statische Verriegelung nach abgeschlossener Kallusdistraktion die frühzeitige Demontage des Distraktionsfixateurs. Dies verbessert den Komfort für die betroffenen Patienten erheblich. Der vorzeitige Wegfall der pinbedingten Transfixierung der Weichteile erweitert rasch die physiotherapeutischen Möglichkeiten. Die statische Verriegelung bietet darüber hinaus eine frühzeitige Aufbelastung. Nachteilig ist bei diesen internen/externen Kombinationen das Risiko einer tiefen Infektion. In Abhängigkeit von der Tragezeit des Fixateur externe kann diese durchaus 5% und mehr betragen (Strecker et al. 2001).

Die Kombination Marknagel/unilateraler Distraktionsfixateur hat sich mittlerweile bewährt. Die Markhöhle sollte hierbei mindestens 2,0–2,5 mm über den Nageldurchmesser hinausgehend aufgebohrt werden. Der Gleitvorgang muss intraoperativ überprüft werden. Die Schanz-Schrauben sollten dorsolateral im Bereich des Septum intermusculare platziert werden. Diese müssen selbstverständlich außerhalb des Nagelbetts eingedreht werden, bevorzugt unter Bildwandlerkontrolle in der dorsalen Femurkortikalis (Linea aspera). Es empfiehlt sich die Verwendung von Hydroxylapatit-beschichteten Schanz-Schrauben von 6 mm Durchmesser mit konisch zulaufendem Gewinde.

Mit zunehmender Distraktionsstrecke bewirkt der Adduktorenzug am Oberschenkel eine Tendenz zur Varisierung. Der damit verbundenen drohenden Nagelverklemmung kann durch Montage eines zweiten Distraktionsfixateurs begegnet werden. Hierbei können unterschiedliche Transportgeschwindigkeiten der Varisierungstendenz entgegenwirken: Der äußere Fixateur transportiert hierbei etwas langsamer, z.B. mit 1 mm pro Tag, der innere Fixateur etwas schneller, mit z.B. 1,5 mm pro Tag (Abb. 18.30).

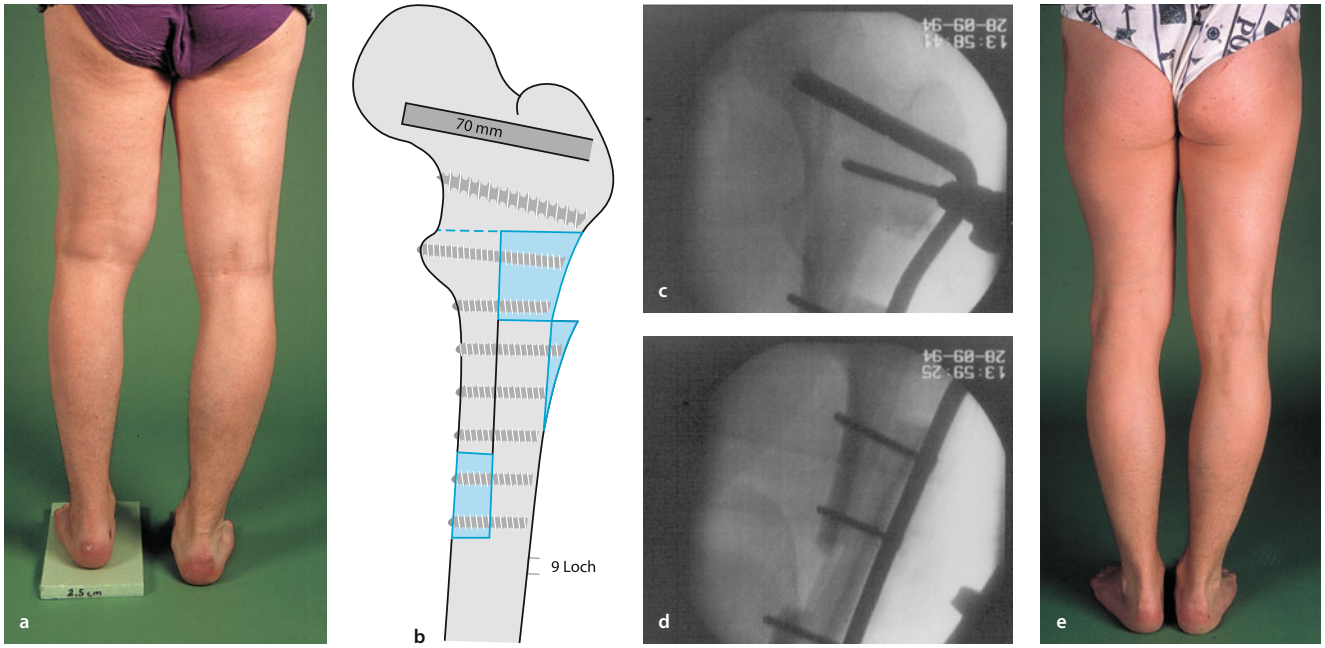


Abb. 18.29a–e 29-jähriger Patient. **a** Nach distaler Femurfraktur vom Typ AO 33-C3.3, O II und 4 rekonstruktiven Operationen suprakondylär verbleibt eine Verkürzung von 3,6 cm. **b** Planungszeichnung für die treppenförmige subtrochantäre Verlängerungsosteotomie. **c** Distraktion der Fragmente. **d** Interfragmentäre Kompressionsschrauben. **e** Klinisch ausgeglichene Längenverhältnisse

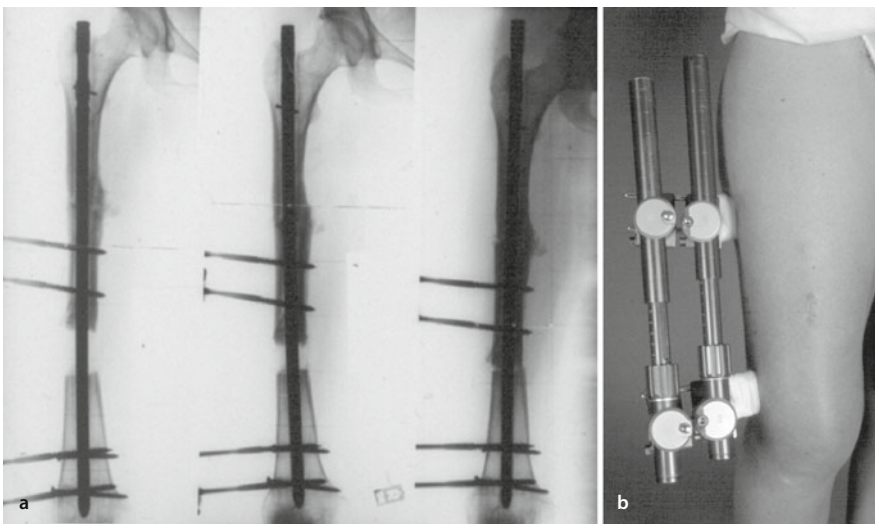


Abb. 18.30a,b **a** Diaphysäre Femurverlängerungen gehen einher mit zunehmender Varisierungstendenz. Als Faustregel gilt, 1 cm Längengewinn induziert etwa 1° Varus. **b** Dieser Varisierung kann durch Montage eines zweiten Distraktionsfixateurs begegnet werden. Durch unterschiedliche Transportgeschwindigkeiten lässt sich das Problem der drohenden Nagelverklemmung meist beherrschen

18

Torsionsdifferenzen

Posttraumatische Torsionsabweichungen, insbesondere nach Marknagelosteosynthesen des Oberschenkels, sind nicht selten und indizieren bei fehlendem rotatorischem Nulldurchgang im Hüftgelenk eine Torsionskorrektur. Meist fällt dem aufmerksamen Patienten in den ersten postoperativen Tagen ein Drehfehler auf. Diese Beobachtungen von Patienten müssen ernst genommen und durch computertomografische oder sonografische Messung überprüft werden. Bestätigt sich eine relevante Torsionsdeformität, sollte sie am besten durch eine frühe Torsionskorrektur ausgeglichen werden. Bei ausreichend torsionsstabilem Marknagel und genügend verbliebenen statischen Verriegelungsmöglichkeiten kann nach erfolgter akuter Torsionskorrektur eine statische Reverriegelung durchgeführt werden. Bei torsionsinstabilen Marknägeln und unzureichender Winkelstabilität der Verriegelungsbolzen im Nagel sichert man die erzielte Torsionskorrektur durch eine zusätzliche breite 6-Loch-DCP.

Vor allen Korrekturen wird proximal und distal der Frakturzone bzw. der geplanten Osteotomie außerhalb des Osteosynthesematerials je eine Schanz-Schraube von 5 mm Durchmesser eingedreht. Hierbei sollten die Schanz-Schrauben in axialer Aufsicht parallel liegen oder den geplanten Korrekturwinkel anzeigen. Diese Indikator-Schanz-Schrauben müssen bis zum definitiven Abschluss der Osteosynthese belassen bleiben. Zur Messung der Korrekturwinkel eignen sich Goniometer aus Stahl oder Kunststoff. Letztere können nach Gassterilisation mehrfach verwendet werden. Die Knochen-

durchtrennung (▶ Abschnitt 18.2.3, Osteotomie) kann bei liegendem Marknagel medial mit der Gigli-Säge erfolgen, lateral komplettiert durch eine oszillierende Säge. Die Markraumsäge empfiehlt sich bei implantatfreiem Femur und geplanter Torsionskorrektur mit Marknagel. Bei zusätzlicher Kallusdistraktion mit Marknagel und Distraktionsfixateur ist eine Bohrlochosteoklasie am einfachsten und schonendsten.

Oberschenkel distal

Grundlagen

Erst die konsequente planerische Analyse (▶ Abschnitt 18.2.3, Planung) einer kniegelenknahen Deformität erlaubt Aussagen zum Apex der Deformität und zur Höhe der Osteotomie. Der häufig geübte Automatismus, Genua valga grundsätzlich am suprakondylären Femur und Genua vara am Tibiakopf zu osteotomieren, ist unbegründet. Diese Frage wird vielmehr in jedem Einzelfall durch die Ermittlung der femoralen und tibialen Kniebasiswinkel in der Frontalebene entschieden (◘ Abb. 18.13).

Das Ausmaß der Korrektur in der Frontalebene wird durch die femorotibiale Knorpelqualität beeinflusst. Daher ist jeder kniegelenknahen Korrekturosteotomie eine arthroskopische Inspektion und ggf. eine Revision des betroffenen Kniegelenks direkt vorzuschalten.

Hierbei bietet die Arthroskopie neben den üblichen Maßnahmen eine Reihe interessanter therapeutischer Optionen:

- Beseitigung intraartikulärer Streckdefizite etwa durch Notch-Plastik und Resektion von Eminentia-Osteophyten.
- Mikrofrakturierung oder Mosaikplastiken von Knorpeldefekten (die Patienten müssen nach einer Osteotomie sowieso längerfristig entlasten).
- Gewinnung von Knorpelzellen im Falle einer später geplanten Chondrozytentransplantation.
- Resektion einer Plica parapatellaris medialis bei »Plica-shelf-Syndrom« oder geplanter Valgisierung (in diesem Fall kann eine bislang asymptomatische Plica symptomatisch werden!).
- Kreuzbandersatzplastiken bei entsprechender Indikationsstellung.

In Einzelfällen macht die arthroskopische Befunderhebung eine Korrekturosteotomie überflüssig, z.B. bei medial und lateral ähnlich ausgeprägten Knorpelschäden oder bei fortgeschrittener Pangonarthrose. Dann kann man sich auf das arthroskopische Gelenkdébridement beschränken oder ggf. einen einzeitigen Gelenkersatz durchführen (Strecker et al. 2009). Diese Optionen und Entscheidungen sind mit dem Patienten präoperativ ausführlich zu klären und abzustimmen.

Während die anatomische Lokalisation einer frontalen Korrektur auf der Analyse der Röntgen-Langbeinaufnahmen im Stehen basiert, werden sagittale Deformitäten sowohl röntgenologisch als auch ganz besonders klinisch bewertet. Bei radiologisch seitengleichen und physiologischen sagittalen Kniebasiswinkeln aPDFW und aPPTW (◘ Tab. 18.1, Analyse der Beingeometrie) sollten Streckdefizite nicht tibial, sondern suprakondylär korrigiert werden. Eine nach ventral fallende tibiale Kniebasislinie muss dabei in jedem Fall vermieden werden. Bei Einschränkungen des Bewegungsumfangs ist nach intraartikulären und kapsuloligamentären Ursachen zu fahnden.

Mit Ausnahme der infratuberositären Tibiakopfosteotomie wird bei jeder kniegelenknahen Korrektur die patellofemorale Kongruenz tangiert. Valgisierungen lateralisieren, Varisierungen medialisieren die Patella. Femorale Innentorsionskorrekturen und tibiale supratuberositäre Außentorsionskorrekturen lateralisieren die Patella und vice versa. Ähnliche Überlegungen sind bei Translationen angebracht. Bei suprakondylären Osteotomien führt eine Ventralisierung der Femurdiaphyse zur patellofemoralen Druckentlastung, eine Lateralisierung zur lateralen Drucksteigerung etc.. Diese Effekte sollten nicht ignoriert, sondern genutzt werden.

Weitere Einflussgrößen bei der einzeitigen kniegelenknahen Korrekturosteotomie mit modifizierter Osteotomiehöhe und -technik finden sich im ▶ Abschnitt Planung durch Ist-Soll-Analyse, Abschnitt 18.2.3.

Gerade die Korrektur kniegelenknaher Deformitäten hat zur Entwicklung einer Vielzahl unterschiedlicher Korrekturtechniken geführt. Zu Einzelheiten wird daher auf die entsprechende Spezialliteratur verwiesen werden (Ilizarov 1992, Pfeil et al. 1996, Strecker et al. 1997a, 2001). Zahlreiche Neuentwicklungen mit winkelstabilen Implantaten werden möglicherweise bisherige Operationsverfahren ersetzen oder vereinfachen. Diese Entwicklungen dürfen aber nicht zu einer Missachtung und Simplifizierung analytischer, planerischer und indikatorischer Grundsätze verleiten.

Die folgenden Darstellungen beschränken sich auf zwei grundverschiedene **interne Korrekturtechniken distaler Femurdeformitäten**:

- zum einen mit der Winkelplatte,
- zum anderen mit dem retrograden Marknagel.

Die Winkelplatten der AO (Müller et al. 1977) erlauben einzeitige suprakondyläre Korrekturen in allen räumlichen Dimensionen einschließlich der akuten treppenförmigen Verlängerung bis maximal 2 cm. Die Korrektur über den retrograden Marknagel empfiehlt sich bei komplexeren Deformitäten und – kombiniert mit einem unilateralen Distraktionsfixateur – für längerstreckige kontinuierliche Verlängerungen durch Kallusdistraktion (Strecker et al. 2001).

Winkelplatte

Suprakondyläre Korrekturen erfolgen »in klassischer Technik« durch Osteotomie und Winkelplattenosteosynthese. Dabei verwendet man lateral eine 95°-Kondylenplatte und medial eine Rechtwinkelplatte der AO (Müller et al. 1977). Die Zugangswege liegen bei subtraktiven Valgisierungen lateral und bei subtraktiven Varisierungen medial. Sie befinden sich damit im Bereich des künftigen Plattenlagers. Osteotomiert wird gewöhnlich mit der oszillierenden Säge unter Benutzung von Kirschnerdrähten als Leitschiene. Diese Vorgehensweise erlaubt grundsätzlich eine Korrektur von Deformitäten in der Frontal- und Sagittalebene. Ebenso sind Translationen und bei queren Osteotomien auch Torsionskorrekturen möglich.

Frontale Achsabweichungen

Alle subtraktiven, also zuklappenden, Osteotomien sind mit einer geringen Femurverkürzung verbunden. Diese Verkürzung entspricht der Höhe des Resektionskeils in dessen Mitte, liegt also in der Regel bei etwa 3–5 mm. Da jede Achsausgradung wiederum mit einem relativen Beinlängengewinn verbunden ist, muss für jede Korrektur bei der Planung eine individuelle Längenbilanz ermittelt werden. Bezüglich der Osteotomie sind Domosteotomien längenneutral und additive, also aufklappende Osteotomien mit einem Längengewinn verbunden. Eine additive suprakondyläre Valgisierung erfolgt von medial, wie bereits oben erwähnt, unter Verwendung einer Rechtwinkelplatte, eine additive suprakondyläre Varisierung von lateral mit einer Kondylenplatte. Bei additiven Korrekturen übernimmt die Winkelplatte eine Abstützfunktion.

Aus biologischen und mechanischen Gründen sind Osteotomien 5–6 cm proximal der femoralen Kniebasislinie günstig. Die Höhe der Knochendurchtrennung liegt dann planerisch zwischen

letztem und vorletztem Loch der Winkelplatte. Die Vorbereitung des Klingensitzes folgt exakt der planerischen Vorgabe, die operationstechnische Durchführung den klassischen AO-Regeln (Müller et al. 1977). Zunächst wird die Winkelplatte vorläufig eingeschlagen, anschließend die Osteotomiehöhe festgelegt und mit einem K-Draht markiert. Dann entfernt man die Winkelplatte wieder. Bei subtraktiven Osteotomien wird ein zweiter K-Draht im gewünschten Korrekturwinkel als Leitschiene für die Säge eingebohrt. Die beiden K-Drähte sollten sich in der Gegenkortikalis treffen. Dadurch verbleibt nach der Osteotomie mit der oszillierenden Säge eine Knochenbrücke. Diese wird mit mehreren Bohrungen von 2–2,5 mm Durchmesser geschwächt und beim Zuklappen als »Scharnier« genutzt. Nach Resektion des Knochenkeils wird die Winkelplatte in das bereits vorbereitete Klingenlager vorsichtig eingeschlagen. Dann klappt man die Osteotomie mit einem Plattenspanner oder – weichteilschonender – durch Verwendung einer schräg verlaufenden Spielschraube im proximalen Plattenloch allmählich zu. Bei diesem Manöver lässt sich der Unterschenkel als Hebel nutzen.

Sagittale Achsabweichungen

Für die Korrektur sagittaler Deformitäten ist die Kondylenregion im Allgemeinen weitaus besser geeignet als der Tibiakopf. Durch entsprechende Ausrichtung des Plattensitzinstruments der Winkelplatte wird bei der Vorbereitung des Klingensitzes das Ausmaß der Korrektur bereits festgelegt. Hierbei gibt der Flügel der Führungsplatte die gewünschte Abweichung von der sagittalen Oberschenkelschaftrichtung an. Bei subtraktiven Extensionsosteotomien ist der Resektionskeil ventral offen, bei Flexionsosteotomien dorsal.

Horizontale Achsabweichungen

Vorrangiges Ziel gelenknaher Translationsdeformitäten ist die Wiederherstellung der patellofemoralen Balance und Normokompression. Eine retropatellare Hyperkompression kann durch sanfte Ventralisierung der Diaphyse etwa um 2–3 mm gemildert werden. Stärkere Ventralisierungen über 5 mm hinausgehend führen nach unseren Erfahrungen zu einer relativen Insuffizienz des Streckapparats mit entsprechender »Giving-way-Symptomatik«. Bei frontalen Ad-latus-Deformitäten wird die patellofemorale Balance durch die Wiederherstellung eines anatomisch korrekten Alignements erreicht.

Längendifferenzen

Analog zum Vorgehen am proximalen Femur lässt sich die einzeitige treppenförmige Verlängerungsosteotomie auch suprakondylär durchführen. Diese planerisch und operationstechnisch anspruchsvolle Methode (Strecker et al. 1999) erlaubt maximale Verlängerungen von 2–2,5 cm (vgl. Abb. 18.43d-f). Bei entsprechender Indikation lassen sich einzeitige Verkürzungen ebenfalls gut mit der Winkelplatte durchführen.

Torsionsdifferenzen

Quere suprakondyläre Osteotomien erlauben problemlos Torsionskorrekturen. Die Indikator-Schanz-Schrauben dürfen selbstverständlich die Winkelplatte nicht tangieren und müssen bis zum definitiven Abschluss der Osteotomie belassen werden. Suprakondyläre Torsionskorrekturen gehen, wie oben erwähnt, immer mit Veränderungen des patellofemoralen Gleichgewichts einher. Dieser Effekt sollte nicht nur berücksichtigt, sondern, wenn immer möglich, genutzt werden.

Suprakondyläre Femurosteotomien haben durch die Einführung winkelstabiler Plattenfixateure in den letzten Jahren eine gewisse Renaissance erfahren. Insbesondere zuklappende eindimensionale Varisierungen über einen medialen Zugang werden dadurch operationstechnisch einfacher. Allerdings scheint die mechanische Stabilität dieser Implantate nicht diejenige der herkömmlichen Winkelplatten zu erreichen. Höherdimensionale Korrekturen werden daher nach wie vor bevorzugt mit den herkömmlichen Klingenplatten stabilisiert. Von lateral eingebrachte winkelstabile Plattenfixateure aus Titan gehen mit einer erhöhten Rate an Weichteilirritationen und funktionellen Beschwerden bzw. Einbußen einher und sind daher Ausnahmeindikationen vorbehalten.

Retrograder Marknagel

Die genannten Osteotomie- und Stabilisierungsverfahren mit der Winkelplatte bzw. von medial auch mit der winkelstabilen Titanplatte haben sich in der Korrektur vieler Deformitäten des distalen Femur bewährt. Dennoch sind diese Techniken mit 2 wesentlichen Nachteilen behaftet: einem ausgedehnten Operationstrauma und einer Beschränkung der räumlichen Korrekturoptionen. Es lag daher nahe, minimal-invasive Techniken der Knochendurchtrennung (▶ Abschnitt 18.2.3.4) mit der retrograden Marknagelung zu kombinieren. Es bestehen folgende Möglichkeiten:

- Die kontinuierliche Femurverlängerung durch Kallusdistraktion nach Montage eines Distraktionsfixateurs (Abb. 18.31d).
- Kompression vorbestehender suprakondylärer oder diaphysärer Pseudarthrosen durch Segmenttransport mit gleichzeitigem Längengewinn diaphysär (Strecker et al. 2001).
- Korrektur geeigneter Ober- und Unterschenkeldeformitäten über einen operativen Zugang.
- Unproblematischer Verfahrenswechsel auf eine spätere Knieprothese.

Bezüglich der operationstechnischen Einzelheiten für die komplexen Korrekturen mit dem retrograden Marknagel wird auf die Literatur verwiesen (Strecker et al. 2001).

Unterschenkel proximal

Diagnostik und Planung

Hat die Analyse der Röntgen-Langbeinaufnahmen im Stehen eine tibiale Deformität ergeben, dann müssen im nächsten Schritt folgende Fragen beantwortet werden:

- Liegt ein Streckdefizit vor oder auch, klinisch allerdings meist weniger relevant, ein Beugedefizit? Kann das Streckdefizit intraartikulär reduziert oder beseitigt werden? Hier bietet sich die direkt vorgeschaltete Arthroskopie an: Ist eine Notch-Plastik und/oder eine Resektion eines blockierenden Eminentia-Osteophyten möglich?
- Wie sind die Längenverhältnisse beider Unterschenkel und beider Beine? Ist eine additive, subtraktive oder längenneutrale Korrektur anzustreben?
- Wie sind die Torsionsverhältnisse beider Unterschenkel und beider Beine? Ist ein rotatorischer Null-Durchgang in beiden Kniegelenken gegeben?
- Wie ist die patellofemorale Balance und Kongruenz? Ist die Patella medialisiert, zentriert oder lateralisiert? Wie sind die patellofemoralen Höhenverhältnisse? Ist eine supra- oder infratuberositäre Osteotomie günstiger?
- Wie stabil sind die Kollateralbänder? Liegt medial oder lateral eine höhergradige Aufklappbarkeit vor? Wenn ja, lässt sich diese im Rahmen der frontalen Achskorrektur mitbehandeln?
- Besteht eine ligamentäre Insuffizienz von Seiten der Kreuzbänder? Lässt sich diesbezüglich eine funktionelle Stabilisierung durch Veränderung des tibialen Slopes erreichen?

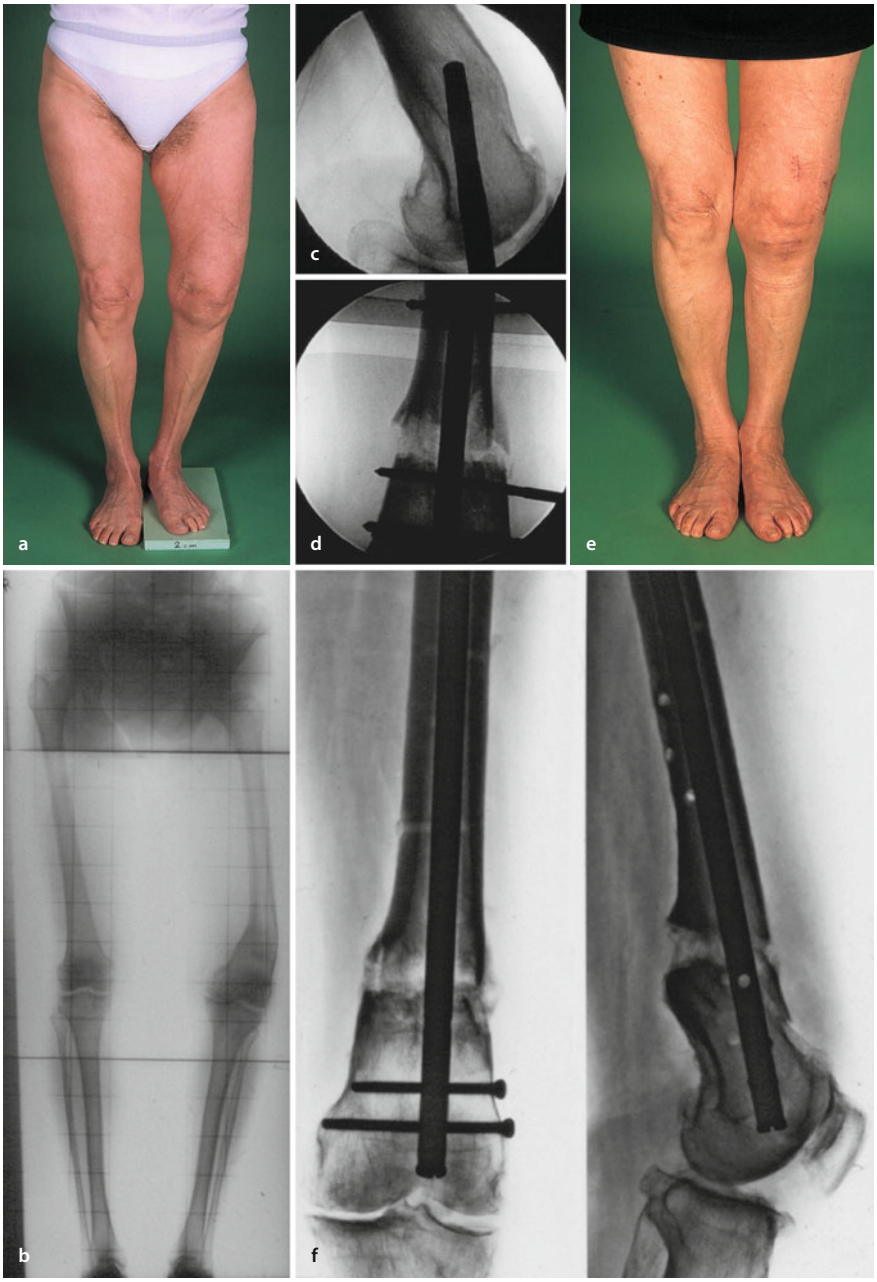


Abb. 18.31a–f 58-jährige Patientin: Polytrauma im 12. Lebensjahr u.a. mit Kniebinnentrauma ohne knöcherne Beteiligung links. **a, b** Klinisches und röntgenologisches Bild nach 2 suprakondylären Umstellungsosteotomien. Neben einer suprakondylären Komplexdeformität mit Varus(23°)-Antekurvation(10°)-Verkürzung(2,5 cm)-Außentorsionsabweichung(17°) verbleibt eine medial und retropatellar betonte Pangonarthrose. **c, d** Suprakondyläre Akutkorrektur mit 23°-Valgisierung, 15°-Extension, 10°-Innentorsion über einen langen retrograden Marknagel und kontinuierliche Kallusdistraktion mittels unilateralem Distraktionsfixateur. **e** Klinisches Bild 10 Tage nach Abschluss der Kallusdistraktion, proximaler Verriegelung des retrograden Marknagels und Demontage des Fixateur externe. **f** Röntgenkontrolle nach weiteren 6 Wochen

Ligamentäre Stabilität

Grundsätzlich wird die ligamentäre Stabilität klinisch überprüft. In der Frontalebene kann im Einzelfall eine Objektivierung der Aufklappbarkeit durch Valgus- oder Varusstressaufnahmen unter Röntgendurchleuchtung hilfreich sein.

Eine Valgisation mit gleichzeitiger Anspannung des Innenbandes kann sowohl durch eine aufklappende supra- oder infratuberositäre Osteotomie oder durch eine Domosteotomie erfolgen. In beiden Fällen muss der tibiale Innenbandansatz dargestellt werden, die Osteotomie läuft medial proximal des Innenbandansatzes aus (Galla u. Lobenhoffer 2004, Paley 2002). Durch den Einsatz der neuen winkelstabilen Plattenfixateure vom Typ Tomofix können hierbei sekundäre Korrekturverluste vermieden werden.

Varusdeformitäten des Tibiakopfs mit gleichzeitiger vorderer Knieinstabilität, etwa bei Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes, lassen sich durch eine zusätzliche Extension bei der aufklappenden Valgisation stabilisieren. Hierdurch wird der tibiale Slope reduziert, gleichzeitig kann ein moderates Streckdefizit damit ausgeglichen werden. Andererseits darf es in keinem Fall zu einem negativen, d.h. nach ventral abfallenden tibialen Slope führen.

Umgekehrt kann eine posteriore Kniegelenkinstabilität, etwa bei Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes, oder eine vorbestehende Hyperextension durch eine Erhöhung des tibialen Slope behandelt werden. In keinem Fall darf allerdings ein Streckdefizit zurückbleiben (Galla u. Lobenhoffer 2004).

Längenverhältnisse

Subtraktive Keilosteotomien gehen grundsätzlich mit einer Verkürzung einher, die der mittleren Höhe des Osteotomiespalts entspricht, meist in einer Größenordnung von 3–5 mm. Dieser minimale Höhenverlust wird im Allgemeinen durch den relativen

Längengewinn durch die Ausgradung des Unterschenkels in etwa kompensiert. Aufklappende Keilosteotomien hingegen führen zu einer echten Verlängerung. Hierbei addieren sich die gewonnene Höhe in Keilmitte und der relative Längengewinn durch die Achsausgradung. Über diese Verlängerung ist der Patient zu informieren. Bei geplanten unilateralen Korrekturen ist im Zweifelsfall die längenneutrale zuklappende Keilosteotomie zu bevorzugen, bei geplanten bilateralen Osteotomien kann der aufklappenden Variante der Vorzug gegeben werden. Zwischen beiden Operationen sollte dann ein konservativer Längenausgleich realisiert werden, etwa durch Einlage eines entsprechend hohen Fersenkissens. Domosteotomien sind grundsätzlich längenneutral. Hier ist allerdings ebenfalls die Längenveränderung durch Achsausgradung zu berücksichtigen.

Torsionsverhältnisse

Jede supratuberositäre Außentorsionskorrektur führt zu einer Erhöhung einer lateralen patellofemoralen Kompression, eine entsprechende Innentorsionskorrektur führt hier wiederum zu einer Entlastung und entspricht in ihrem Effekt letztlich einer Medialisierung der Tuberositas tibiae nach Elmslie-Trillat. Dieser Effekt lässt sich beispielsweise bei Patienten mit »inwardly pointing knee« nutzen.

Infratuberositäre Torsionskorrekturen hingegen beeinflussen das patellofemorale Gleichgewicht nicht.

Patellofemorales Gleichgewicht

Neben der klinischen Prüfung von Spiel und Zentrierung der Patella empfehlen sich im Einzelfall Patella-Défilé-Röntgenaufnahmen beidseits in 30, 60 und 90°. Von einigen Autoren werden CT-Schnitte in Knieextension bevorzugt. Unabdingbar zur Beurteilung der Patellahöhe sind lange Röntgenbilder des Kniegelenks von der Seite in etwa 30°-Beugung.

Eine Patella alta lässt sich durch eine aufklappende supratuberositäre Tibiakopfvalgisation korrigieren. Bei Patella baja sollte unbedingt infratuberositär korrigiert werden.

Bei medialisierter Patella, besonders bei bereits eingetretener patellofemoraler Knorpelschädigung, ist eine mediale Entlastung der patellofemoralen Facette durch supratuberositäre Valgisierung und/oder Außentorsionskorrektur zu erwarten. Dies gilt in Analogie dazu für die lateralisierte Patella und einen diesbezüglich positiven Effekt durch eine supratuberositäre Varisierung und/oder Innentorsionskorrektur.

Diese Kriterien und Überlegungen müssen bei jeder Tibiakopfosteotomie Berücksichtigung finden. Letztlich ist das individuelle Problem eines individuellen Patienten einer maßgeschneiderten Korrektur zuzuführen. Grundsätzlich ist allerdings dringend vor allen Korrekturen zu warnen, die mit Dehnungsschäden neurovaskulärer oder muskulärer Strukturen einhergehen können. Am Tibiakopf sind akute Varisationen, Verlängerungen und Innentorsionskorrekturen von mehr als 12–15° absolut kontraindiziert! Im Zweifelsfall ist immer einer kontinuierlichen Korrektur der Vorzug zu geben.

Osteotomietechniken

Frontale Deformitäten

Die häufigsten Korrekturen in der Frontalebene entfallen am Tibiakopf auf Varusdeformitäten. Valgisationen lassen sich grundsätzlich

- lateral durch zuklappende Keilosteotomie,
- medial durch aufklappende Osteotomie oder
- durch Dom- oder Pendelosteotomie durchführen.

Die **lateral zuklappende Tibiakopfosteotomie** ist ein sicheres und bewährtes Operationsverfahren. Vorteilhaft sind die einfache extraligamentäre Operationstechnik, die Möglichkeit einer soliden, übungsstabilen Osteosynthese und die gute Heilungstendenz supratuberositär. Mehrdimensionale Korrekturen sind von lateral her relativ unproblematisch zu realisieren. Nachteilig ist die nötige Verkürzungsosteotomie der Fibula, die allerdings nach unserer Erfahrung erst bei Valgisationen von mehr als 10° nötig wird. Diese kann prinzipiell auf verschiedenen Höhen durchgeführt werden. Uns erscheint eine Fibulaosteotomie im mittleren Drittel am sichersten (◘ Abb. 18.32).

Die **medial aufklappende Tibiakopfosteotomie** ist dank der Einführung der winkelstabilen Plattenfixateure zu einem sehr zuverlässigen und soliden Verfahren geworden (◘ Abb. 18.33). Diese Technologie hat erfreulicherweise den gelenkerhaltenden Umstellungsosteotomien bei unikompartimenteller Gonarthrose zu einer verdienten Renaissance verholfen. Nichtsdestotrotz sind alle obigen Kriterien zu berücksichtigen, einschließlich des Längengewinns durch die aufklappende Osteotomie, die Einflussmöglichkeiten auf die Spannung sowohl der Kollateral- als auch der Kreuzbänder. Auf eine zusätzliche Fibulaosteotomie kann verzichtet werden, ein eindeutiger Vorteil dieser Methode. Bei Öffnungswinkeln bis etwa 12–15° kann unseres Erachtens auf eine Auffüllung des Osteotomiespalts verzichtet werden, bei größeren Öffnungswinkeln ist das Einbringen von autogener Spongiosa unseres Erachtens empfehlenswert. Neben den üblichen Kontraindikationen, die bei allen Osteotomien zu beachten sind, ist aus unserer Sicht bei allen aufklappenden und distrahierenden Korrekturverfahren das Zigarettenrauchen zu zählen.

Die **Domosteotomie** ist längenneutral. Zur intraoperativen Kontrolle der Korrektur empfiehlt sich die Benutzung von Schanz-Schrauben als Zeiger und von Goniometern.

Sagittale Achsabweichungen

Wie bereits erwähnt, erfolgen sagittale Korrekturen vorrangig femoral. Nur bei Abweichungen des PPTW über 75–90° hinaus ist eine sagittale Tibiakopfkorrektur zu erwägen. Ein ventrales Abfallen des Tibiaplateaus mit einem PPTW >90° ist in jedem Fall zu vermeiden.

Streckdefizite sind immer mit einer patellofemoralen Hyperkompression verbunden. Intraartikuläre Ursachen sind häufig osteophytäre Anbauten an der Notch oder der ventralen Eminentia. Diese Osteophyten lassen sich arthroskopisch abtragen. Extraartikuläre Streckdefizite sind entweder kapsulär oder ossär bedingt und können ggf. durch ein dorsales Kapselrelease oder eine Extensionsosteotomie angegangen werden.

Hyperextensionen im Kniegelenk gehen tendenziell mit einer erhöhten posterioren Luxationsneigung und den damit verbundenen Risiken einher. Die Patienten beschreiben eine Giving-way-Symptomatik des Kniegelenks nach dorsal, verbunden mit einer Unsicherheit beim Stehen und Gehen (◘ Abb. 18.34, ◘ Abb. 18.35). Nur selten indiziert ein Genu recurvatum alleine eine Tibiakopfflexionsosteotomie (◘ Abb. 18.35a–f). Häufiger sind derartige Osteotomien im Rahmen einer Korrektur mehrdimensionaler kongenitaler Deformitäten integriert (◘ Abb. 18.34).

Horizontale Achsabweichungen

Translationsdeformitäten, die den gesamten Querschnitt des Tibiakopfs betreffen, sind extrem selten. Sehr viel häufiger hingegen sind patellofemorale Dysbalancen oder Inkongruenzen, verbunden mit fokalen Hyperkompressionen medial oder lateral. Neben weichteilbalancierenden Maßnahmen kann hier etwa eine Ver-

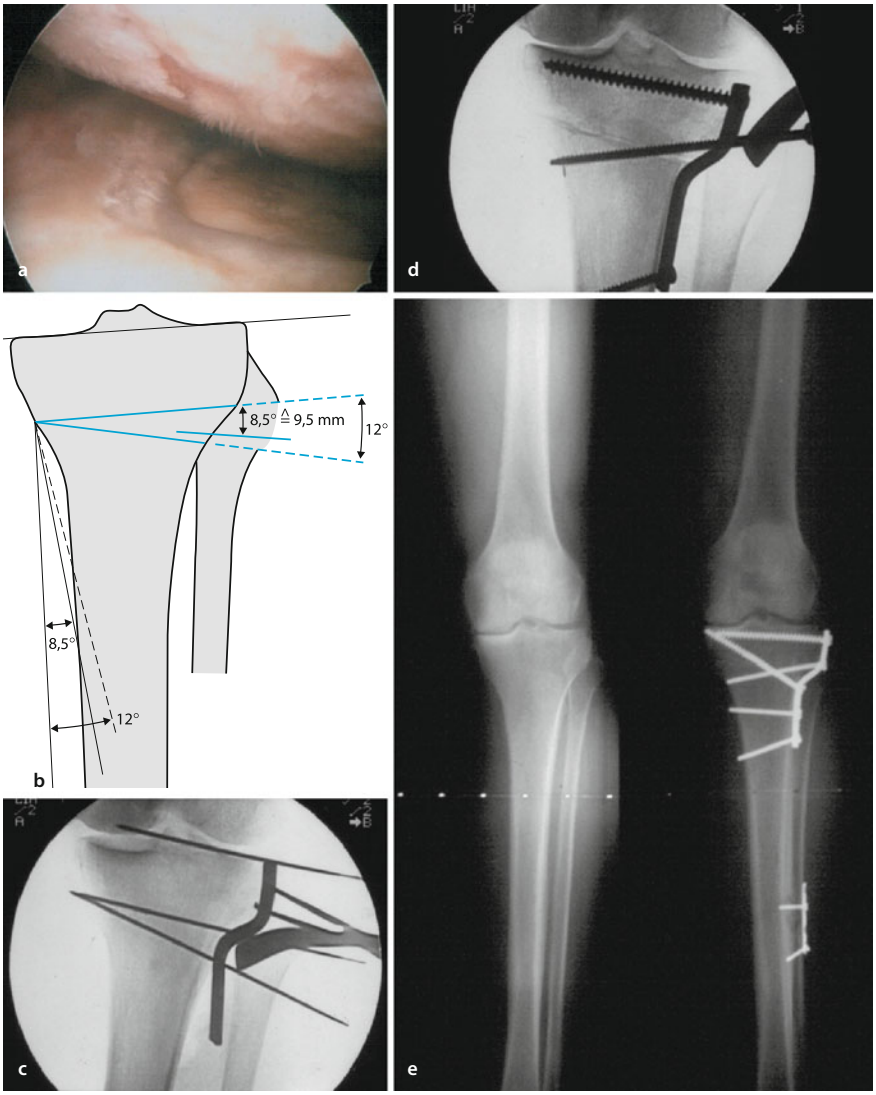


Abb. 18.32a–e 54-jähriger Patient. **a** Varusgonarthrose links mit Chondromalazie 3. bis 4. Grades femorotibial medial und Streckdefizit von 10°. **b–d** Die einzelnen Schritte der subtraktiven supratuberositären Valgisierungs(10°)-Extensions(10°)-Osteotomie folgen der Planungszeichnung. **e** Der Ausschnitt der postoperativen Langbeinaufnahme zeigt die korrekte frontale Korrektur (links vor, rechts nach Korrektur) sowie die Höhe der Fibulaosteotomie

setzung der Tuberositas tibiae nach medial in der Technik nach Elmslie-Trillat segensreich sein. Die entsprechende Ventralisierung nach Bandi hingegen scheint die erhoffte femoropatellare Druckreduktion nicht zu erbringen.

Längendifferenzen

Akute Verlängerungen am Unterschenkel, die über die additive (mediale!) valgisierende Tibiakopfosteotomie hinausgehen, sind kontraindiziert. Bei allen einzeitigen Verlängerungen droht nicht nur ein irreversibler Dehnungsschaden des N. peroneus, sondern auch ein Kompartment-Syndrom. Kontinuierliche Verlängerungen sollten diaphysär durchgeführt werden (s. unten, ▶ Abschnitt Unterschenkel diaphysär).

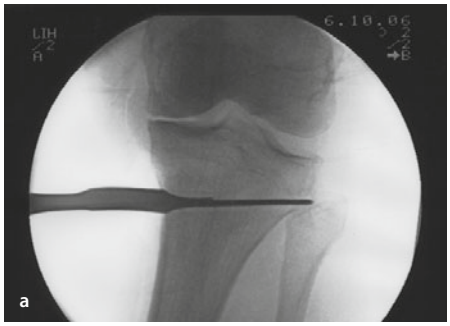
Torsionsdifferenzen

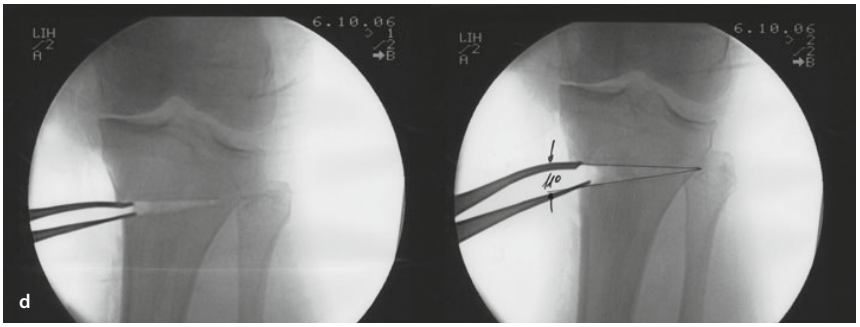
Posttraumatische Torsionsdeformitäten am proximalen Unterschenkel sind selten. Ziel ist immer eine frühe Revision mit anatomischer Rekonstruktion.

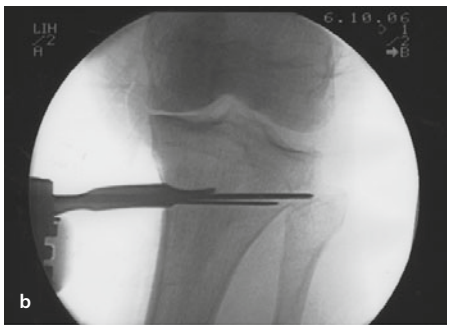
Kongenitale Torsionsdeformitäten werden hingegen regelmäßig beim Syndrom der »inwardly pointing knee« angetroffen. Hierbei kommt es zum Zusammentreffen von Coxa valga antetorta, Genua vara et recurvata, einer hohen absoluten femoralen Innentorsion und einer hohen absoluten tibialen Außentorsion. Diese Konstellation führt zu einwärts gedrehten Kniegelenken – die Patellae schauen sich an – mit Lateralisierung der häufig dys- oder hypoplastischen Patellae. Die Q-Winkel liegen dementsprechend meist über der Norm. Je nach Ausprägung des Syndroms ist eine Verbesserung der patellofemoralen Balance durch eine Medialisierung der Tuberositas tibiae zu erreichen. Einzelne Patienten profitieren indessen durch weitergehende Maßnahmen, wie etwa einer supratuberositären Valgisations-Innentorsions-Osteotomie. Neben der erwünschten Achsausgradung und Normotorsion kommt es zu einer Verbesserung der patellofemoralen Zentrierung (Abb. 18.36).

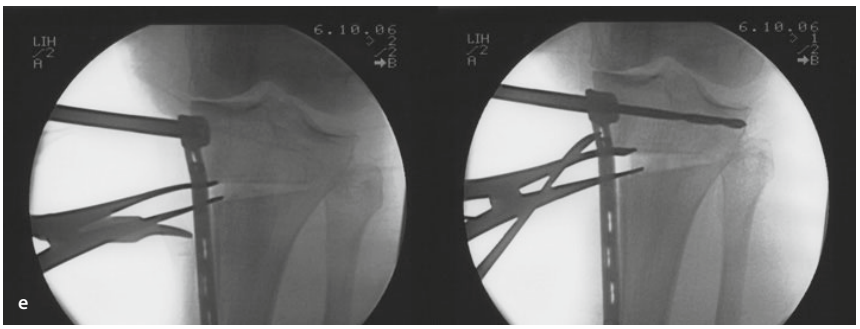
Unterschenkel diaphysär

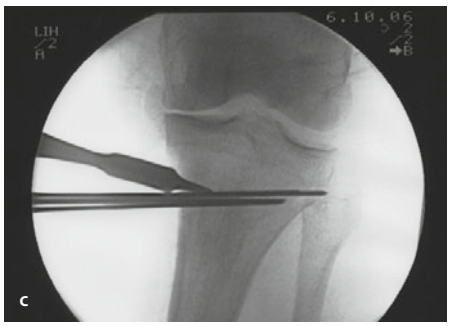
Erwartungsgemäß haben die diaphysären Deformitäten von Ober- und Unterschenkel viele Gemeinsamkeiten (▶ Abschnitt Oberschenkel diaphysär). Dies gilt für deren Ursachen, für die Techniken der Knochendurchtrennung und der bevorzugten Osteosynthese. Bei der Therapieplanung müssen aber die anatomischen Besonderheiten des Unterschenkels berücksichtigt werden.

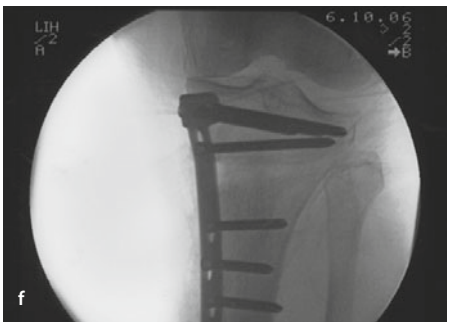












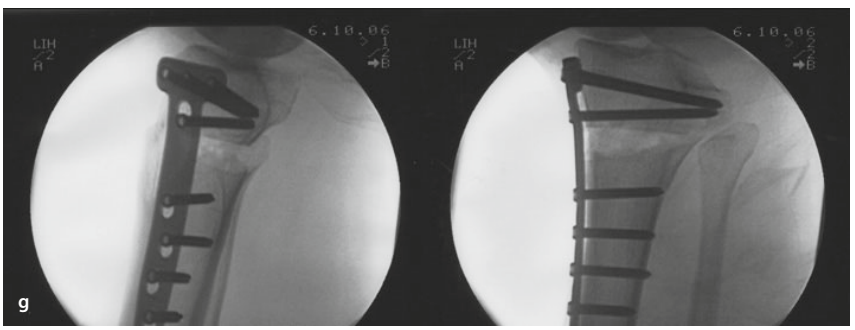


Abb. 18.33a–g Arthroskopisch gesicherte mediale femorotibiale Gonarthrose IV links. Bei femorotibialer Chondromalazie I/II im lateralen Kompartiment und erhaltenem Außenmeniskus ist die Indikation zur supratuberositär aufklappenden Tibiakopfvalgisation gegeben. **a** Über einen medialen Zugang zunächst Darstellen des Oberrandes des Pes anserinus und des Ligamentum patellae an der Tuberositas tibiae, dann Einbohren von 2 parallelen Kirschnerdrähten, nach lateral etwas ansteigend. **b** Untersägen der Kirschnerdrähte unter Erhalt einer lateralen Knochenbrücke von etwa 10 mm Dicke. Dann zweite biplanare Osteotomie dorsal der Tuberositas tibiae. Hierbei wird eine laterale Knochenbrücke belassen. **c** Mit der Mehr-Meißeltechnik allmähliches Aufweiten des a.p.-Osteotomiespalts unter Schonung der lateralen Knochenbrücke. **d** Einsetzen eines Arthrodesenspreizers an der dorsalen Tibiakortikalis und weiteres geduldiges kontinuierliches Aufweiten des Osteotomiespalts. **e** Subkutanes Untertunneln Richtung mediale Tibiadiaphyse und Einschieben der winkelstabilen Tomofix-Platte. **f** Osteosynthese unter Verwendung der winkelstabilen Kopfverriegelungsschrauben. **g** Abschließende Bildwandlerkontrolle seitlich. Hier zeigt sich ein posteriores Öffnen der Osteotomie im Sinne einer erwünschten Extension. Die schräge Projektion demonstriert gut das Implantat als Plattenfixateur mit Abstand zwischen Platte und medialer Tibiakortikalis

Abb. 18.34a–h 18-jähriger Patient. Kongenitale Unterschenkeldeformität beidseits mit Genua valga (**a, b**) et Genua recurvata (**c, d**) sowie absolut erhöhter tibialer Außentorsion von rechts 69° und links 48° (Normwert: 34°) und Beinverkürzung rechts von 1,1 cm. **e** Nach vorgeschalteter Neurolyse des N. peronaeus **f** bifokale Tibiaosteotomie links, proximal mit infratuberositärer Domosteotomie (16°-Varus, 20°-Flexion, 1 cm-Verkürzung), Fixateur-assistiert und distal mit diaphysärer Osteoklasie (10°-Varus, 10°-Innentorsion) und nachfolgender Stabilisierung mit statisch verriegeltem Marknagel. **g** Rechts nach Peroneusneurolyse monofokale infratuberositäre Varisierungs(14°)-Flexions(20°)-Innentorsions(25°)-Korrektur und Platten-Schrauben-Osteosynthese. **h** Klinisches Abschlussbild

Abb. 18.35a–f 17-jähriger Patient. **a** Überstreckbarkeit linkes Kniegelenk von 30° mit Giving-way-Symptomatik nach dorsal. **b** Bei Patella alta wird eine supratuberositäre Flexion von 20° durch sagittale Domosteotomie angestrebt. **c** Korrekturkontrolle mittels Cartier-Winkelmesser. **d** Radiologisch regelrechte tibiale Kniebasiswinkel mit regelrechtem Patellastand. **e** Klinisch seitengleiche Knieextension. **f** Das Verkippen des Tibiakopfs erfolgt mittels einer 5 mm-Schanz-Schraube als »joy-stick«

Diaphysäre Unterschenkelfrakturen werden heute beim Erwachsenen meist durch Marknagelung stabilisiert. Dementsprechend sind frontale, sagittale und longitudinale Achsabweichungen posttraumatisch mittlerweile selten anzutreffen, ebenso wie Längendifferenzen. Am häufigsten erfordern Torsionsdeformitäten nach Marknagelung eine postoperative Korrektur. Torsionsdifferenzen von mehr als 15° im Seitenvergleich treten nach etwa jeder 10. Marknagelosteosynthese des Unterschenkels auf (Strecker et al. 1996).

Bei geplanter Korrektur mit Verriegelungsmarknagel empfehlen sich als minimal-invasive Techniken für die Knochendurchtrennung vorrangig die Gigli-Osteotomie, gelegentlich auch die Bohrlochosteoklasie (Abb. 18.38). Der schlanke Weichteilmantel der anteromedialen Tibia begünstigt den Zugang für diese Techniken der Knochendurchtrennung. Von der Verwendung der Innensäge hingegen ist am Unterschenkel aufgrund des dreieckigen Querschnitts der Tibia abzuraten.

Frontale, sagittale und horizontale Achsabweichungen

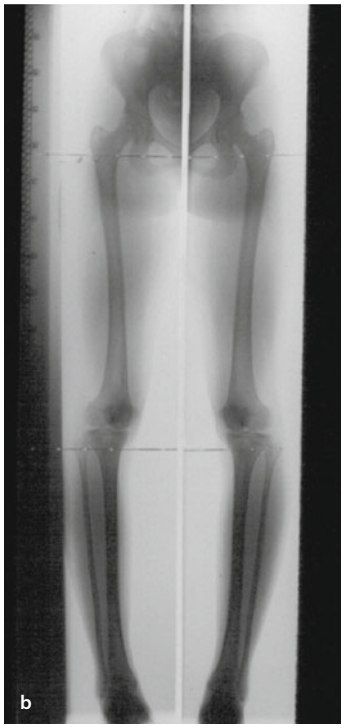
Wie auch am Femur lassen sich axiale Deformitäten an der diaphysären Tibia meist elegant und einfach durch Marknagelung ausgraden. Selbstverständlich müssen hierbei die lokalen Voraussetzungen gegeben sein (▶ Abschnitt 18.2.4, Osteosynthesetechniken). Gelegentlich schließen diaphysäre Deformitäten auf mehreren Etagen eine Marknagelung aus. Bei Achsabweichungen nach Marknagelosteosynthesen – diese liegen dann meist nahe der proximalen oder distalen Metaphyse – empfiehlt sich ebenfalls ein Verfahrenswechsel auf eine Plattenosteosynthese (Abb. 18.37).

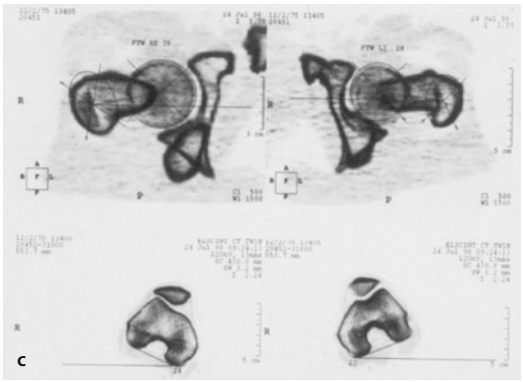
Längendifferenzen

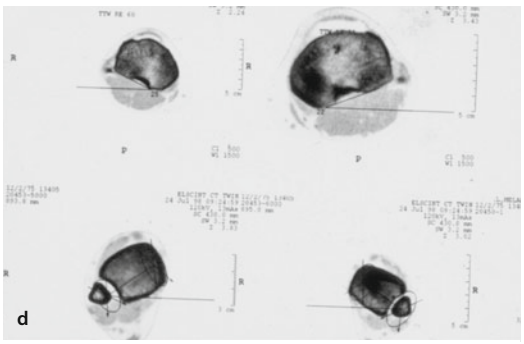
Da einzeitige Verlängerungen am Unterschenkel wegen der Gefahr von Peroneusparese und Kompartment-Syndrom kontraindiziert sind, kommen nur kontinuierliche Verlängerungstechniken an der diaphysären Tibia infrage. Grundsätzlich eignet sich die Tibia trotz der Herzog-Krümmung auch für das Einbringen von Teleskopnägeln (Baumgart et al. 1999, Guichet 1997). Andererseits erleichtert die allseitige Zugänglichkeit des Unterschenkels die Kallusdistraktion mittels Ringfixateur (Ilizarov 1992, Paley 2002, Verheyden u. Josten 1998, Abb. 18.38).

Die einzelnen Distraktionstechniken wurden bereits beschrieben (▶ Abschnitt 18.2.4). Einige Besonderheiten am Unterschenkel sind exemplarisch in Abb. 18.38 für ein kombiniertes Verfahren mit Marknagel und unilateralem Distraktionsfixateur dargestellt.

Torsionskorrekturen am Unterschenkel folgen den operativen Prinzipien am Oberschenkel. Ein biologisch schonendes Verfahren der Knochendurchtrennung ist die minimal-invasive quere Gigli-Osteotomie. Als Zeiger für das Ausmaß der Korrektur genügen am Unterschenkel Schanz-Schrauben von 2,5 oder 3 mm Durchmesser. Als besonders solides Implantat hat sich der Kompressionsmarknagel bewährt. Bei noch liegendem, jedoch torsionsinstabilem Marknagel kann die Torsionskorrektur direkt durch eine 6-Loch-Platte gesichert werden. Wegen drohender Dehnungsschäden des N. peroneus und der Kompartmentproblematik sollten länger bestehende Außentorsionsdeformitäten nicht akut am proximalen Unterschenkel nach innen korrigiert werden. Innentorsionskorrekturen sind in der distalen Unterschenkelhälfte durchzuführen oder – im Zweifelsfall – durch kontinuierliche Techniken mit Ringfixateur (Ilizarov 1992), eleganter mit Hexapoden oder Taylor-Spatial-Frame oder mit unilateralem Fixateur (Pfeil et al. 1996).







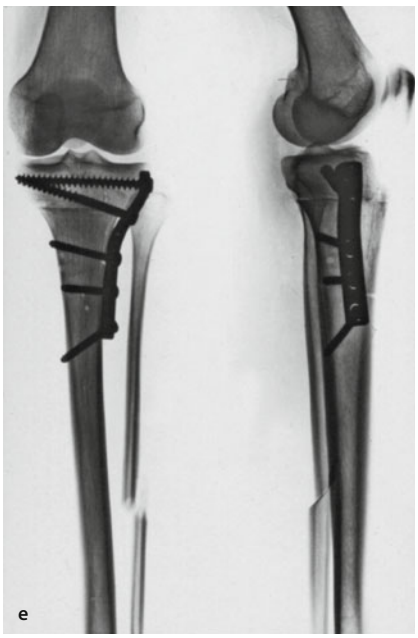


Abb. 18.36a–g 23-jährige Patientin mit »inwardly pointing knee« beidseits. **a, b** Klinisch und auf den Langbeinaufnahmen im Stehen stellen sich Genua vara und deutlich einwärts gedrehten Kniegelenke mit medialisierten Patellae beidseits gut dar. Andererseits ist auch röntgenologisch eine Fehlprojektion der Kniegelenke eklatant! Derartig fehlprojizierte Langbeinaufnahmen erlauben weder eine Analyse der Deformität noch die Planung einer Korrekturosteotomie! **c, d** In der Torsionswinkel-CT liegen die femoralen Innentorsionen (= Antetorsionen) mit –35° rechts und –29° links mäßiggradig über der Norm von –23°, die tibialen Außentorsionen allerdings liegen mit 60° rechts und 55° links weit über dem Normalwert von 34°. **e, g** Zunächst subtraktive supratuberositäre Tibiakopfvalgisations(4,5°)-Innentorsions(15°)-Korrektur links, **f, h** dann analog rechts. **i** Die Torsionskontrolle erfolgt intraoperativ unter Verwendung von Schanz-Schrauben und Goniometern aus Metall oder Plastik. Durch die supratuberositäre Innentorsion kommt es sowohl zur erwünschten Medialisierung als auch zur sanften Ventralisierung der Tuberositates tibiae (**e, g**). Die medial und retropatellar betonten Knieschmerzen waren postoperativ verschwunden

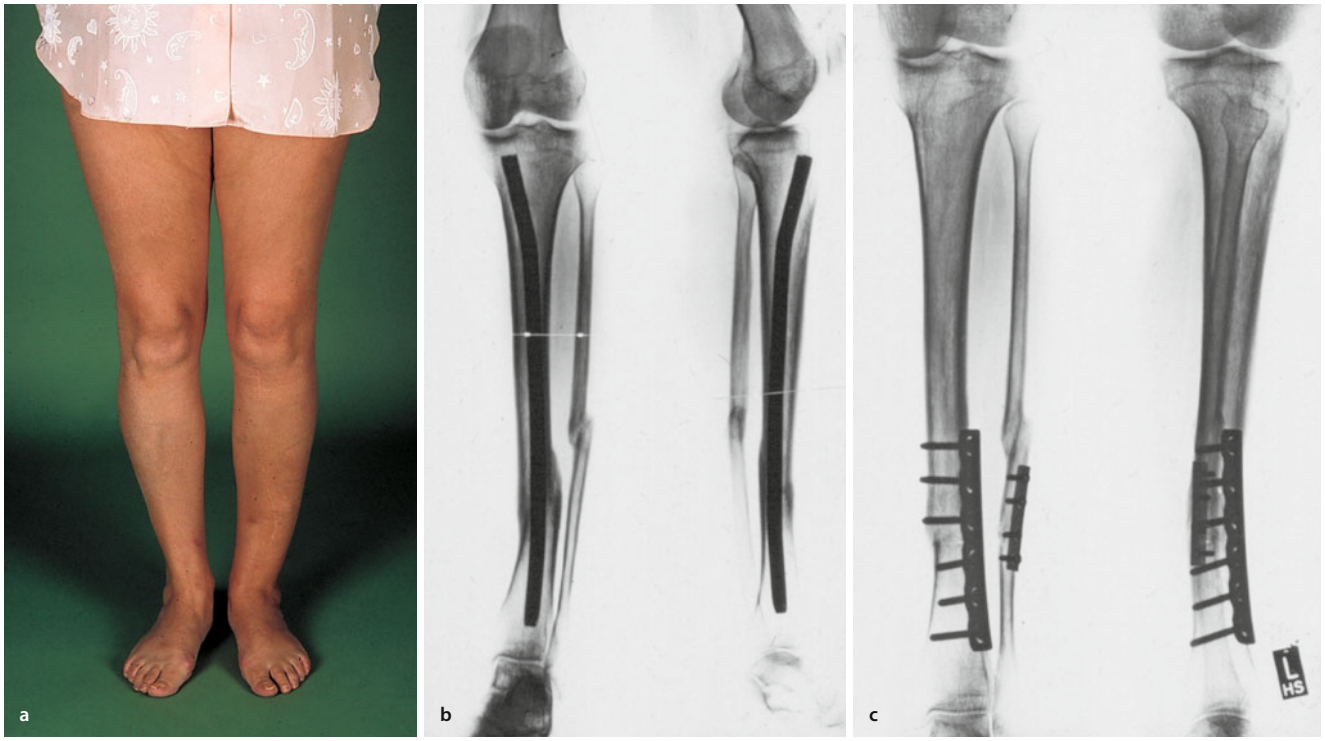


Abb. 18.37a–c 49-jährige Patientin. **a, b** Nach Marknagelosteosynthese einer Unterschenkelspiralfraktur links vom Typ AO 42-A2.2 resultiert eine Varus(10°)-Translations(0,8 cm)-Deformität mit belastungsabhängigen Schmerzen in Sprunggelenken und Fuß. Aufgrund der präformierten Markhöhle bei offensichtlich verdrehtem Marknagel erscheint eine Korrektur über eine erneute Marknagelung wenig erfolgversprechend. **c** Daher Achsausgradung durch subtraktive Valgisierung (10°) und anschließende Plattenosteosynthese

Unterschenkel distal

Die supramalleolären Unterschenkeldeformitäten folgen bezüglich Diagnostik und Therapie den genannten Regeln der Analyse der Beingeometrie und der Korrekturtechnik unter besonderer Berücksichtigung der lokalen Anatomie und Biologie. Von besonderem Interesse sind hierbei die Auswirkungen auf oberes und unteres Sprunggelenk und die Fußwurzel. Insgesamt muss die gesamte Fußstatik und -dynamik in die diagnostischen und therapeutischen Überlegungen Eingang finden. Überhaupt sollte, zur Vermeidung von Spätschäden der angrenzenden Gelenke, posttraumatischen Deformitäten nach knöchernen Verletzungen des distalen Unterschenkels und des oberen Sprunggelenks vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden (Hintermann et al. 2008, Verheyden u. Josten 1998).

Frontale Achsabweichungen

Eine ausgewogene tibiotalare Knorpelbelastung ist gegeben bei physiologischer Beinachse und regelrechtem distalem Tibiagelenkwinkel LDTW (Tab. 18.2, ▶ Abschnitt 18.2, Definitionen und Normalwerte). Da es bei Langbeinaufnahmen zu projektorischen Verzerrungen des oberen Sprunggelenks kommen kann, empfehlen sich Röntgenzielaufnahmen von oberem Sprunggelenk und distaler Unterschenkelhälfte zur Überprüfung der entsprechenden Achs- und Gelenkwinkel. Bei der Korrektur frontaler Achsabweichungen ist zu berücksichtigen, dass supramalleoläre Varusdeformitäten nur sehr begrenzt durch Pronation im unteren Sprunggelenk zu kompensieren sind. Dennoch führen Varusdeformitäten erfahrungsgemäß nur langsam zu degenerativen Veränderungen im medialen Kompartiment des oberen Sprunggelenks. Trotz mitunter erheblicher Varusabkippung des Talus innerhalb der Malleolengabel haben viele Patienten nur vergleichsweise minimale Beschwerden (Hintermann et al. 2008). Supramalleoläre Valgusdeformitäten hingegen werden schlechter toleriert, sind gehäuft begleitet von einem knöchernen Impingement zwischen lateraler Talusgelenkfläche und Fibula. Gleichzeitig kommt es zu ligamentärem Stress auf die Syndesmose und den medialen Bandapparat mit tibiotalarem Aufklappen medial. Ziel jeder frontalen Achskorrektur ist eine gleichmäßige tibiotalare Belastung der jeweiligen individuellen Knorpelreserven im medialen und lateralen Gelenkabschnitt. Im Rahmen dieser supramalleolären Achskorrekturen ist im Einzelfall die Indikation zu einer medialen oder lateralen Verschiebeosteotomie des Kalkaneus zu überprüfen mit dem Ziel einer harmonisch funktionellen Belastungsverteilung.

Sagittale Achsabweichungen

Einschränkungen der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk sind für Patienten besonders störend. Ursache sind seltener eine distale Unterschenkeldeformität, sondern weit häufiger osteophytäre Anbauten an der ventralen distalen Tibiakante und, korrespondierend, am Talushals. Diese Osteophyten sind einer arthroskopischen Resektion meist gut zugänglich. Korrekturen sagittaler Deformitäten zielen auf eine flächige tibiotalare Knorpelbedeckung und auf eine ausgewogene Funktion im oberen Sprunggelenk ab.

Horizontale Achsabweichungen

Isolierte Translationen sind sehr selten und dann meist mit anderen Pathologien oder ausgeprägten Arthrosen des oberen Sprunggelenks vergesellschaftet. In diesem Zusammenhang sei auf entsprechende neuropathologische Veränderungen hingewiesen, wie

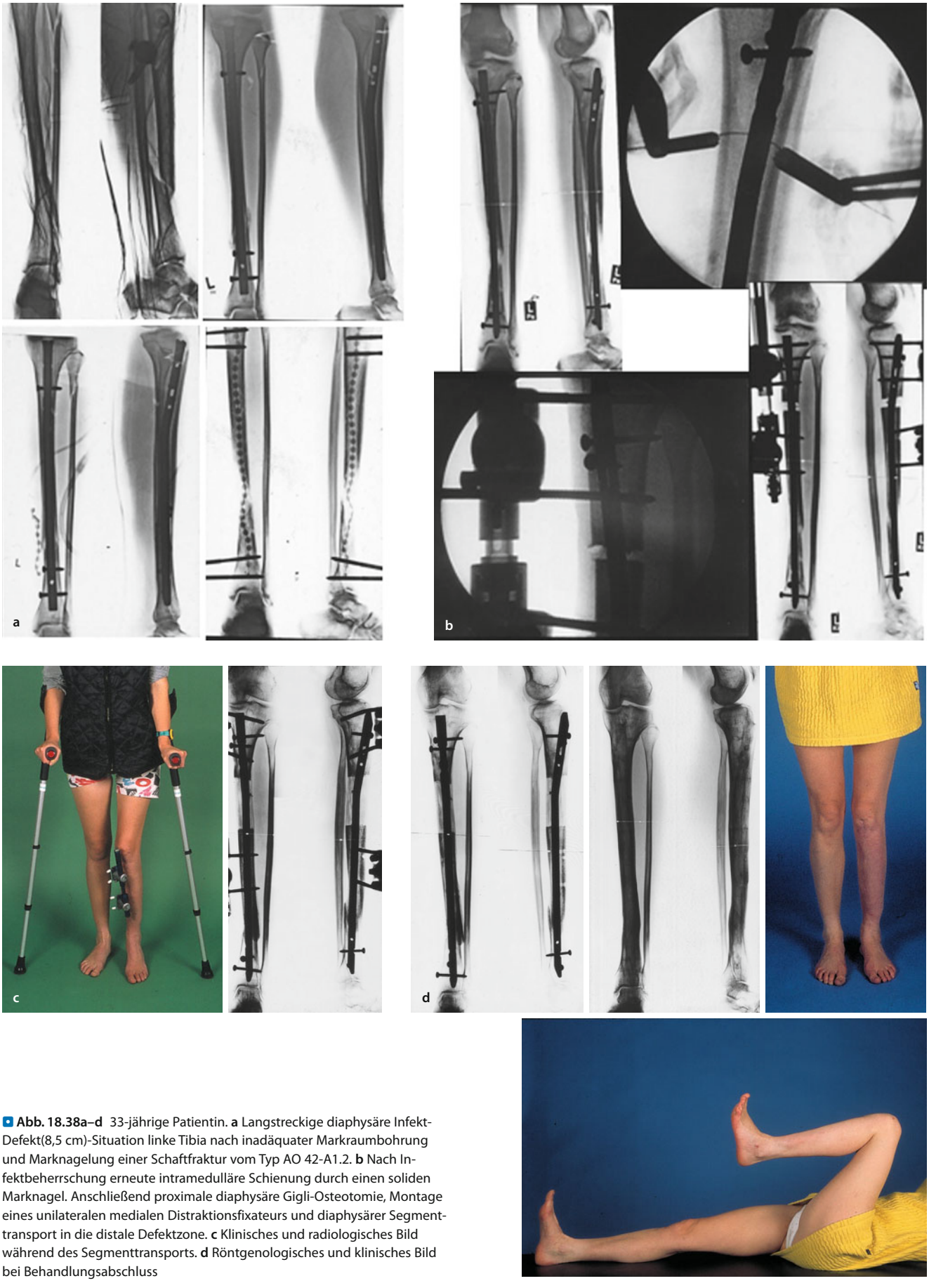


Abb. 18.38a–d 33-jährige Patientin. **a** Langstreckige diaphysäre Infekt-Defekt(8,5 cm)-Situation linke Tibia nach inadäquater Markraumbohrung und Marknagelung einer Schaftfraktur vom Typ AO 42-A1.2. **b** Nach Infektbeherrschung erneute intramedulläre Schienung durch einen soliden Marknagel. Anschließend proximale diaphysäre Gigli-Osteotomie, Montage eines unilateralen medialen Distraktionsfixateurs und diaphysärer Segmenttransport in die distale Defektzone. **c** Klinisches und radiologisches Bild während des Segmenttransports. **d** Röntgenologisches und klinisches Bild bei Behandlungsabschluss

etwa die Charcot-Marie-Tooth-Krankheit, ebenso auf postinfektiöse oder metabolische Störungen, die zu einem so genannten Charcot-Gelenk führen können.

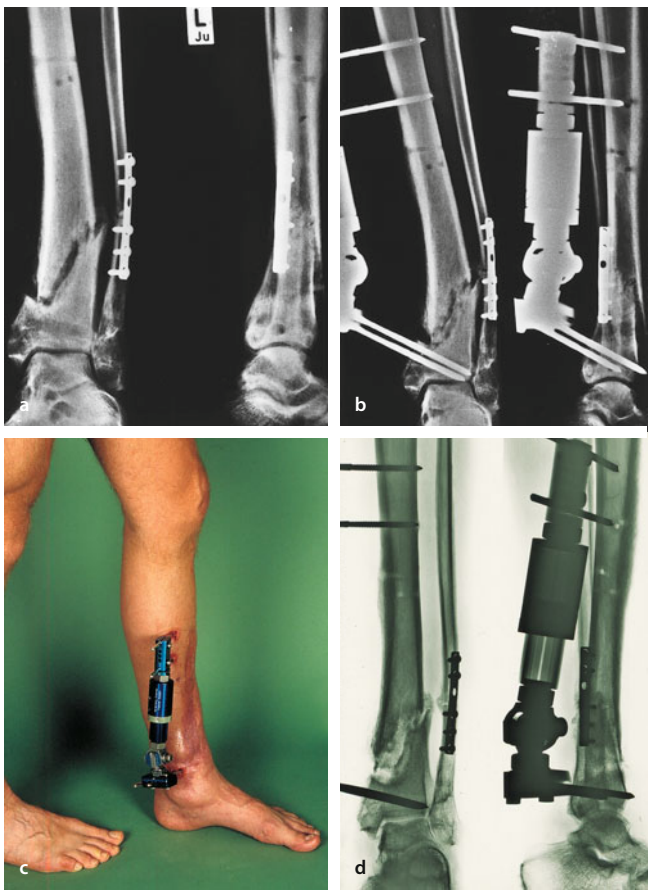
Längendifferenzen

Kurzstreckige Längendifferenzen können durch auf- oder zuklappende Keilosteotomien entsprechend den lokalen Gegebenheiten von medial oder lateral realisiert werden. Längerstreckige Verkürzungen lassen sich besser kontinuierlich diaphysär korrigieren (▶ Abschnitt 18.2.5.6, Unterschenkel diaphysär). Längerstreckige Verkürzungen mit gleichzeitigen frontalen oder sagittalen Achsabweichungen sollten mit externen Distraktionsverfahren kontinuierlich korrigiert werden (◘ Abb. 18.39).

Torsionsdeformitäten

Torsionsdeformitäten am distalen Unterschenkel sind relativ häufig im Rahmen minimal-invasiver gedeckter Osteosynthesen, sei es mittels Marknagel oder Platte. Besonders störend sind hierbei Innentorsionsdeformitäten, die nicht selten zu schmerzhaften Überlastungen des lateralen Fußrandes mit Klavusbildung etc. führen. Außentorsionsdeformitäten werden vom Patienten im Allgemeinen besser toleriert. Wenn hierbei der rotatorische Null-Durchgang im Kniegelenk nicht erreicht wird, klagen die Patienten dennoch gehäuft über Schmerzen im medialen Sprunggelenksabschnitt. Typisch ist die Aussage, dass die Ferse beim Fahrrad fahren an der Tretkurbel anstoßen würde. Ein fehlender rotatorischer Null-Durchgang indiziert unseres Erachtens eine entsprechende Korrekturosteotomie.

Eine Besonderheit stellt die nicht seltene Kombination von supramalleolärer Deformität und fortgeschrittener Arthrose im oberen Sprunggelenk dar. Bei dieser Konstellation kann die supramalleoläre Korrektur der Deformität mit einer Arthrodese des oberen Sprunggelenks kombiniert werden (▶ Abschnitt 18.2.5, Deformitäten mit Arthrose IV).



◘ **Abb. 18.39a–d** 30-jähriger Patient. **a** Supramalleoläre Varusdeformität mit Pseudarthrose nach drittgradig offener Fraktur. **b,c** Montage eines unilateralen Distraktionsfixateurs. **d** Nach initialer Kallusmassage mit abwechselnder Distraktion und Kompression der Pseudarthrose kontinuierliche Distraktion und Ausgradung der Achse mit gleichzeitiger knöcherner Ausheilung. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 b)

Multifokale Deformitäten

Kongenitale Pathologien des Bewegungsapparats sind gehäuft mit multifokalen und auch mehrdimensionalen Deformitäten vergesellschaftet, wie etwa bei Achondroplasie, Osteogenesis imperfecta, fibröser Dysplasie etc..

Posttraumatische multifokale Deformitäten sind insgesamt relativ selten, können aber bei folgenden Konstellationen auftreten:

- Nach Polytraumen
- Nach Epiphysenverletzungen
- In der Kombination präexistenter kongenitaler mit zusätzlichen posttraumatischen Deformitäten

Vor einzeitigen Korrekturen multifokaler Deformitäten an einer Extremität ist dringend zu warnen.

Korrekturen in mehreren Etagen sind grundsätzlich durch die Gefahr einer Addition von Fehlern einzelner Akutkorrekturen belastet (◘ Abb. 18.40).

Bei multifokalen Deformitäten empfehlen sich daher entweder externe kontinuierliche Korrekturverfahren (◘ Abb. 18.41) oder auch die Kombination von internen und externen Verfahren, um sekundäre Nachkorrekturen oder Feinjustierungen zu ermöglichen (◘ Abb. 18.42). Besonders anspruchsvoll ist hierbei die Korrektur nach Epiphysenverletzungen. Im Rahmen der Spontankorrektur derartiger Läsionen kommt es nicht nur zur Deformität des verletzten Gelenkpartners, sondern meist auch zur reaktiven Deformität des korrespondierenden Gelenkabschnitts. Darüber hinaus sind derartige Deformitäten nahezu immer intra- und extraartikulär angesiedelt. Die entsprechenden Korrekturen müssen daher notwendigerweise mit Translationen einhergehen (◘ Abb. 18.41b).

Deformitäten mit Arthrose IV

In seltenen Fällen sind Beindeformitäten mit höhergradigen Panarthrosen angrenzender Gelenke vergesellschaftet. Bei derartigen Konstellationen ist durch alleinige Achskorrekturen keine Beseitigung der Gelenksymptomatik zu erwarten. Andererseits ändert ein isolierter Gelenkersatz nichts an der knöchernen Deformität und der dadurch induzierten Fehlbelastung benachbarter Gelenke. In diesen Situationen kann sich daher eine Achskorrektur mit oder durch gleichzeitigen Gelenkersatz als vorteilhaft erweisen.

Hüftgelenk

Verkürzungen können im Rahmen eines Hüftgelenkersatzes in einer Größenordnung von bis zu 8 cm nach unserer Erfahrung ausgeglichen werden. Voraussetzung sind spannungsfreie Verhältnisse neurovaskulär, insbesondere der N. ischiadicus sollte bei akuten Verlängerungen von mehr als 2 cm dargestellt werden. Derartige Eingriffe sind letztlich nur über einen posterolateralen Zugang, also einem modifizierten Zugang nach Kocher-Langenbeck, zum Hüftgelenk möglich. Die Indikation zu Tenotomien, insbesondere der Adduktoren und der Hüftflektoren ist im Einzelfall zu überprüfen.

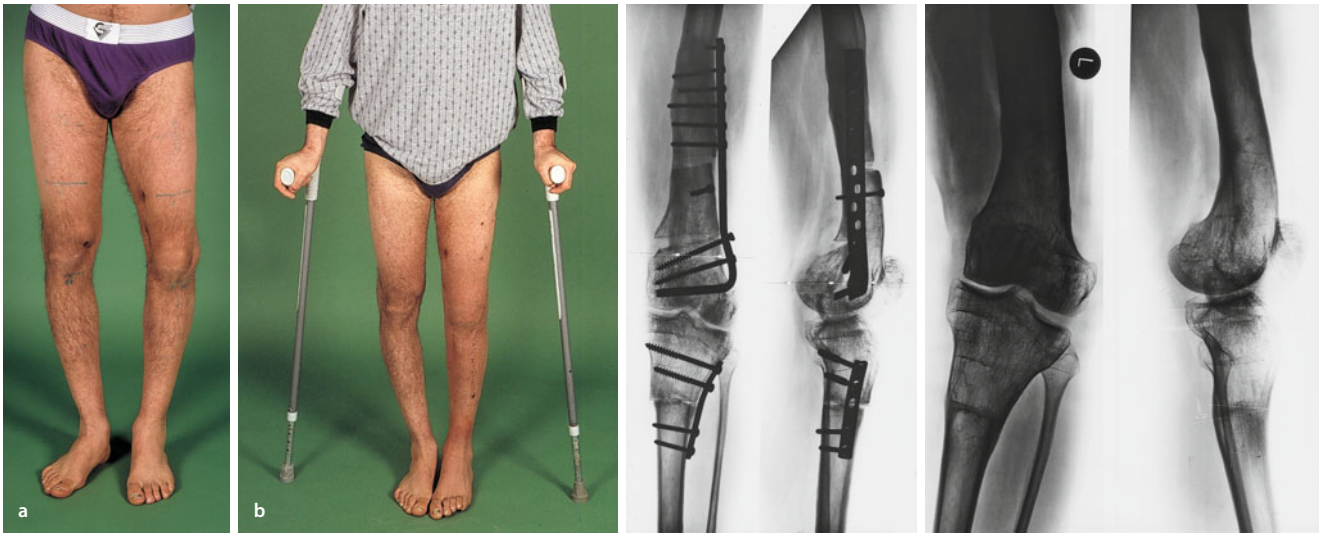


Abb. 18.40a,b 42-jähriger Patient. **a** Mehrdimensionale Deformitäten linker Ober- und Unterschenkel, Zustand nach mehrfachen Korrekturosteotomien, z.T. mittels Kallusdistraktion. **b** Klinisches radiologisches Bild nach insuffizienter treppenförmiger Korrekturosteotomie des linken distalen Femurs und ebenso insuffizienter infratuberositärer Korrektur und Plattenosteosynthese. Zum einen verbleibt nicht nur eine Varusdeformität der gesamten Beinachse, eine nach lateral abfallende schiefe Ebene des Kniegelenkspalts, sondern auch insuffiziente Osteosynthesen femoral und tibial, die jeweils zu Pseudarthrosen führten und entsprechend aufwändige Revisionseingriffe benötigten. Hier ist von der Analyse der Deformitäten, der fehlenden Planung bis zur entsprechenden Durchführung mit bifokaler Akutkorrektur, alles schief gelaufen!

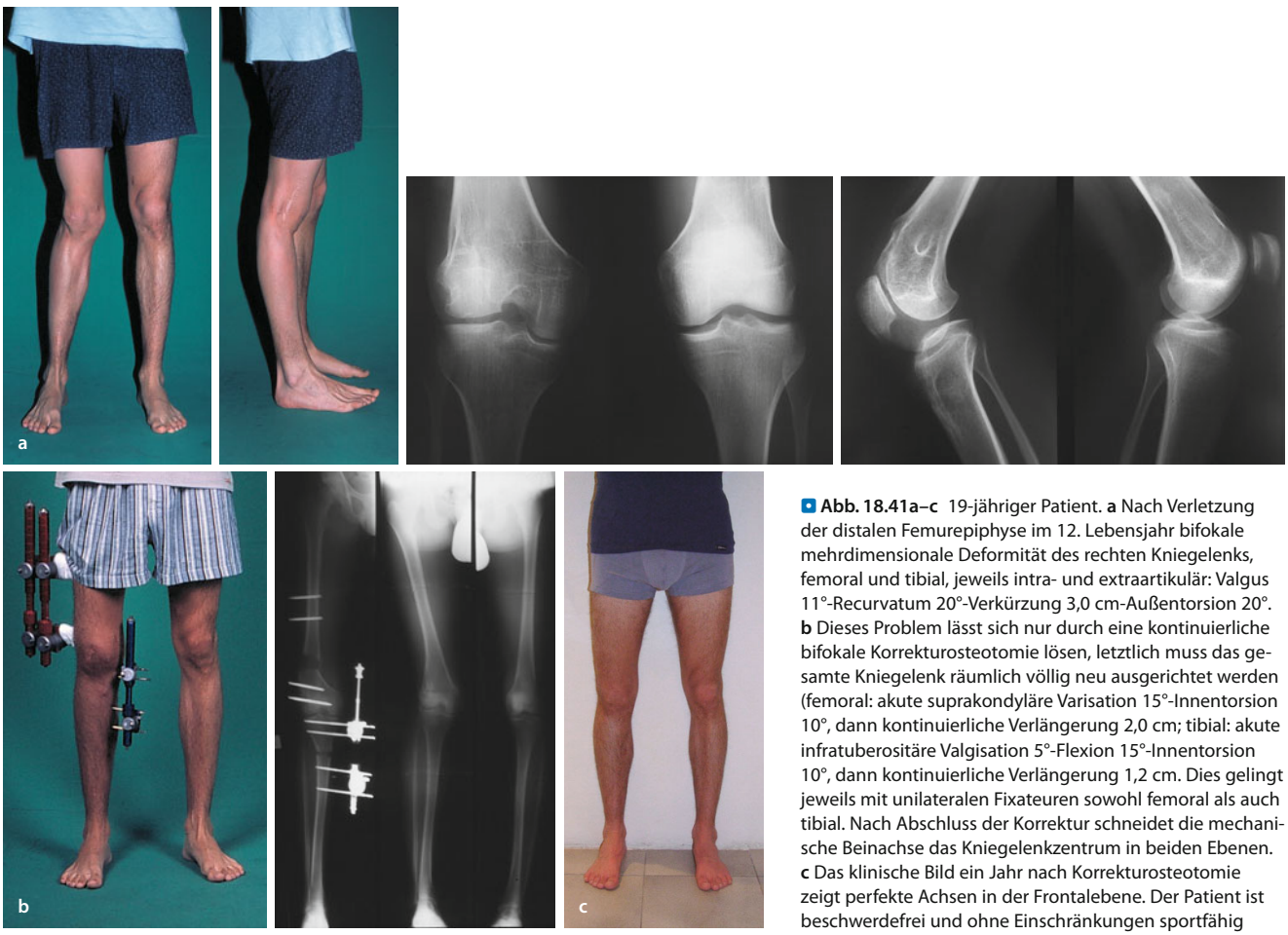


Abb. 18.41a–c 19-jähriger Patient. **a** Nach Verletzung der distalen Femurepiphyse im 12. Lebensjahr bifokale mehrdimensionale Deformität des rechten Kniegelenks, femoral und tibial, jeweils intra- und extraartikulär: Valgus 11°-Recurvatum 20°-Verkürzung 3,0 cm-Außentorsion 20°. **b** Dieses Problem lässt sich nur durch eine kontinuierliche bifokale Korrekturosteotomie lösen, letztlich muss das gesamte Kniegelenk räumlich völlig neu ausgerichtet werden (femoral: akute suprakondyläre Varisation 15°-Innentorsion 10°, dann kontinuierliche Verlängerung 2,0 cm; tibial: akute infratuberositäre Valgisation 5°-Flexion 15°-Innentorsion 10°, dann kontinuierliche Verlängerung 1,2 cm. Dies gelingt jeweils mit unilateralen Fixateuren sowohl femoral als auch tibial. Nach Abschluss der Korrektur schneidet die mechanische Beinachse das Kniegelenkzentrum in beiden Ebenen. **c** Das klinische Bild ein Jahr nach Korrekturosteotomie zeigt perfekte Achsen in der Frontalebene. Der Patient ist beschwerdefrei und ohne Einschränkungen sportfähig

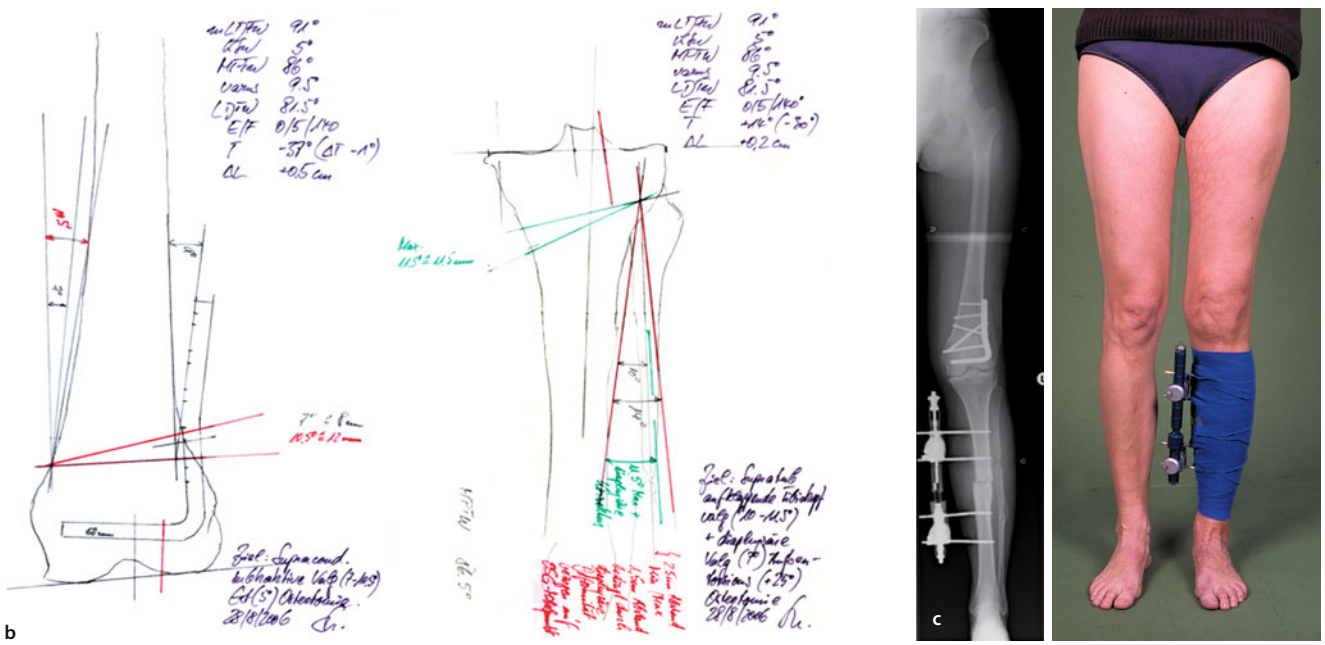
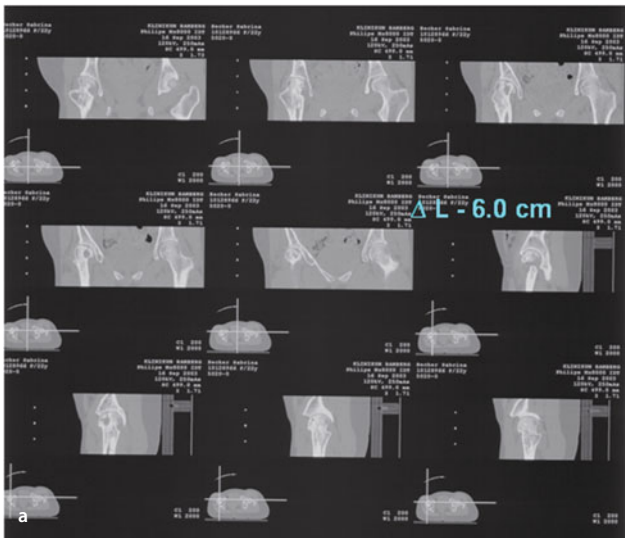
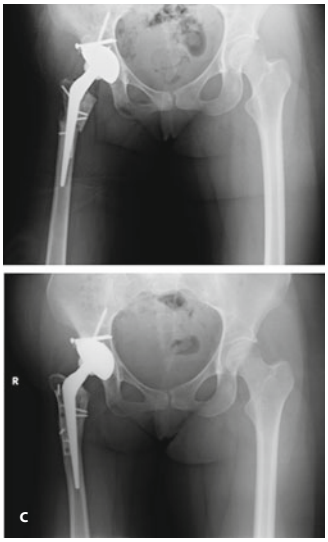
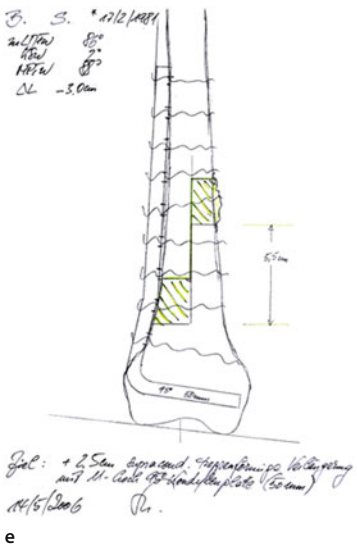


Abb. 18.42a–d 45-jährige Patientin. **a** Kombinierte kongenitale Varusdeformität linkes Knie mit gleichzeitig posttraumatischer diaphysärer Varus(9,5°)-Flexions(5°)-Innentorsions(-25°)-Deformität links crural. Neben einer ausgeprägten belastungsabhängigen medialen Gonalgie Schmerzen linker Fuß vom lateralen oberen Sprunggelenk bis zum distalen Fußrand reichend. **b** Die primäre Analyse der Beingeometrie indiziert eine suprakondyläre Valgisations-Extensions-Osteotomie sowie eine tibiale Valgisations- und Außentorsionsosteotomie. Das definitive Ausmaß der Valgisation sollte vom arthroskopisch erhobenen Knorpelstatus femorotibial medial vs. lateral abhängig gemacht werden. **c** Aufgrund der unter ◘ Abb. 18.40 ausgeführten Risiken entschließt man sich gemeinsam mit der Patientin für ein kombiniertes Vorgehen: Akute Korrektur linker suprakondylärer Femur mit anschließender akuter diaphysärer Außentorsionskorrektur (+25°) linker Unterschenkel diaphysär sowie anschließender kontinuierlicher diaphysärer Valgisation mittels unilateralem medialem Distraktionsfixateur. **d** Radiologisches und klinisches Ausheilungsbild nach Demontage des Distraktionsfixateurs







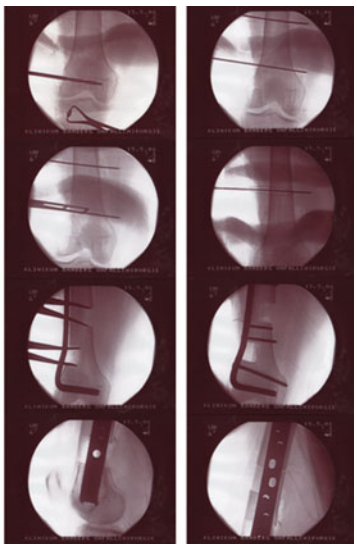


Abb. 18.43a–f 22-jährige Patientin. **a** Destruierende Koxarthrose rechts mit Valgus-Verkürzungs(6,0 cm)-Deformität proximaler Femur bei Zustand nach Resektion einer Neuroblastommetastase rechter Schenkelhals mit adjuvanter Chemotherapie im 4. Lebensjahr und intertrochantärer Valgisationsosteotomie im 7. Lebensjahr. **b** Autogene Pfannendachplastik und Implantation einer zementfreien Hüftendoprothese mit torsionsneutralem Konusschaft nach vorgeschalteter subtrochanterer Varisations-Osteotomie, stabilisiert durch eine 4-Loch-Drittelrohrplatte. **c** Adäquate knöcherne Einheilung der Endoprothesenkomponenten, ebenfalls regelrechte knöcherne Überbrückung der subtrochanteren Osteotomie. **d** Klinisch verbleibt eine Verkürzung des rechten Beins von 3,0 cm, eine darüber hinausgehende Verlängerung im Rahmen der Hüftarthroplastik war aufgrund der limitierten Mobilisierung des N. ischiadicus nicht möglich. Gut sichtbar ist auch der erhebliche Weichteildefekt nach den oben genannten Voroperationen. **e** Daher verbleibt nur ein Beinlängenausgleich durch Verkürzung der gesunden Seite – dies wurde von der Patientin jedoch abgelehnt – oder eine entsprechende einzeitige Verlängerung des betroffenen Oberschenkels distal. Die Vorgaben der Planungsskizze für eine akute treppenförmige Verlängerungsosteotomie wurden intraoperativ 1:1 umgesetzt. Die entsprechenden Halbschaftdefekte wurden mittels allogener spongiöser Knochenblöcke adäquat aufgefüllt. **f** Röntgenologisches Ausheilungsergebnis

Ebenfalls lassen sich im Rahmen eines Hüftgelenkersatzes durch die Verwendung geeigneter torsionsneutraler Prothesenschäfte, wie etwa dem Konusschaft nach Wagner, nötige Torsionskorrekturen durchführen. Ziel muss immer ein großzügiger freier rotatorischer Null-Durchgang sein (Abb. 18.43).

Kniegelenk

Aus den oben genannten Gründen (▶ Abschnitt Unterschenkel proximal) sind Achskorrekturen, insbesondere Valgisationen und Verlängerungen nur in gewissem Rahmen möglich. Dennoch sind, unter Berücksichtigung der bekannten Verfahren – dies betrifft insbesondere Dehnungsschäden neurovaskulärer und muskulärer Strukturen – durchaus erfolgversprechende komplexere Korrekturen realisierbar (Abb. 18.44a-d).

Oberes Sprunggelenk

Die Kombination von supramalleolären Deformitäten mit fortgeschrittener Arthrose im oberen Sprunggelenk ist nicht selten. Bei dieser Konstellation wird die supramalleoläre Korrektur der Deformität bevorzugt mit einer Arthrodese des oberen Sprunggelenks

Abb. 18.44a–h 77-jähriger Patient. **a–c** 53 Jahre nach Schussbruch des linken Tibiakopfs mit konsekutiver Osteitis resultiert neben einer wackelsteifen Pangonarthrose Grad IV mit einem Bewegungsumfang von 0–30–55°, eine Komplexdeformität der proximalen Tibia mit 14°-Varus- und 29°-Innentorsionsabweichung, 2,3 cm Verkürzung und 2,0 cm posteriorer Translation des Tibiaschafts. **d, e** Zunächst infratuberositäre Außentorsions(20°)-Valgisierungs(15°)-Translations(2,0 cm)-Osteotomie autogen additiv mit anschließender Implantation einer gekoppelten Knie-TEP (**f**). **g, h** Befriedigende Achsausgradung frontal und sagittal mit deutlich verbesserter Kniefunktion. (Aus: Strecker u. Keppler 2002 b)

Abb. 18.45a–f 71-jähriger Patient. **a, b** Vor etwa 30 Jahren Fraktur des linken oberen Sprunggelenks, vor 8 Monaten Fraktur des linken distalen Unterschenkels, stabilisiert mit Schraubenosteosynthese und Fixateur externe. Es verbleibt neben einer OSG-Arthrose 4. Grades eine supramalleoläre zweidimensionale Deformität (14°-Varus, 18°-Antekurvatum) mit Pseudarthrose. Supramalleoläre subtraktive Valgisierungs(16°)-Extensions(18°)-Osteotomie unter Resektion der Pseudarthrosen fibular und tibial, Anfrischen des oberen Sprunggelenkspalts mittels Bohrlochosteoklasie, intramedullärem Aufbohren per Hand (**c**) und per Stirnbohrer (**d**). **e** Eintreiben eines distalen Tibiakompressionsmarknagels. **f** Distale Verriegelung im Talus und anschließende proximale Kompression.

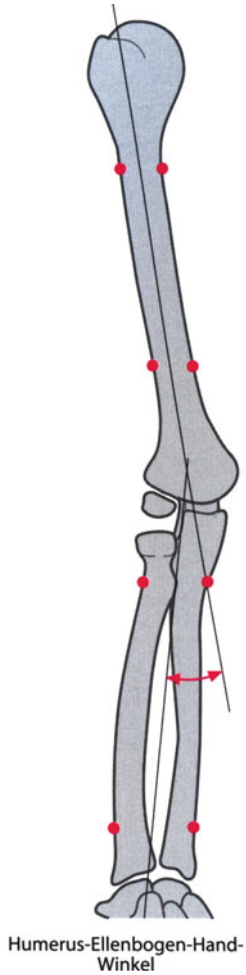


Abb. 18.46 Die Armgeometrie in der Frontalebene wird durch den Humerus-Ellenbogen-Handwinkel dargestellt

kombiniert (Abb. 18.45). Die Kombination einer ossären Korrektur mit gleichzeitigem tibiotalarem Gelenkersatz ist nach unserer Erfahrung zurückhaltend zu indizieren.

18.3 Obere Extremitäten

18.3.1 Definitionen und Normalwerte

Achsen und Gelenkwinkel

Aufgrund der völlig anders gearteten Belastung der oberen Extremitäten sind mechanische Achsverhältnisse ohne Relevanz. Daher beschränkt sich die Analyse der Achsgeometrie in der Frontalebene auf die alleinige Betrachtung der anatomischen Achsen. Diese liegt am Oberarm im Zentrum der Diaphyse, also middiaphysär. Am Unterarm wird sie durch die jeweilige radiale und ulnare Berandung von Radius und Ulna festgelegt, jeweils proximal und distal ermittelt (Abb. 18.46). Damit lässt sich der Humerus-Ellenbogen-Handwinkel ermitteln. Dieser liegt in einer Größenordnung von 15° Valgus. Weitere Methoden zur Beurteilung der frontalen Achsverhältnisse an der oberen Extremität wurden vorgeschlagen, haben sich aber letztlich für Planungen und Durchführungen von Korrekturosteotomien nicht bewährt (Abb. 18.47). Aufgrund wenig markanter anatomischer Landmarken der oberen Extremität sind diese Winkel weniger präzise und reproduzierbar. Weit wichtiger als diese unscharfen Bezugsgrößen sind an der oberen Extremität der klinische und röntgenologische intraindividuelle Seitenvergleich sowohl in der Frontal- als auch in der Sagittalebene, sowie die Ermittlung der Bewegungsumfänge von Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk.

Aus diesen Gründen wird bewusst auf eine Beschreibung der Achs- und Gelenkwinkel nach Paley verzichtet. Einige Verfahren der klinischen und bildgebenden Analyse der Beingeometrie lassen sich analog auch für Armdeformitäten in modifizierter Form anwenden. Diese werden anhand der klinischen Beispiele im Einzelfall vorgestellt.

Längen und Torsionen

Das Problem der wenig markanten anatomischen Landmarken der oberen Extremität kompromittiert auch eine präzise messtechnische Ermittlung der Torsionsverhältnisse von Ober- und Unter-

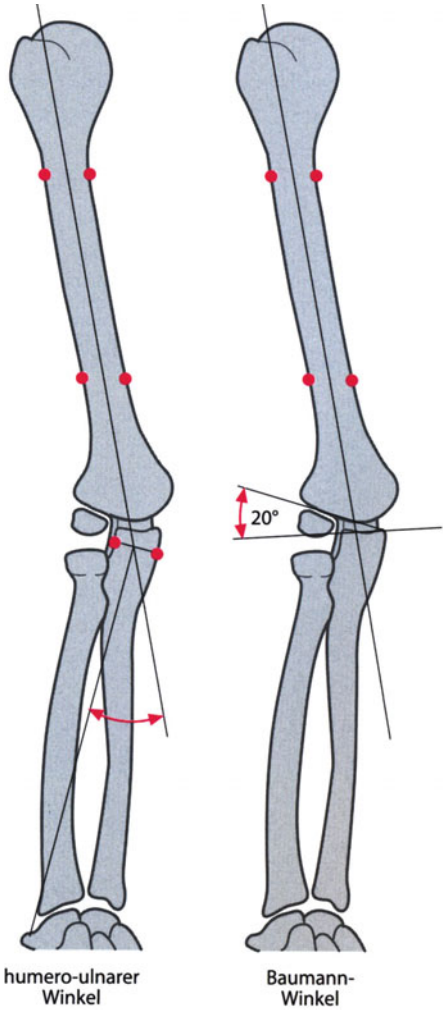


Abb. 18.47 Alternative Messmethoden, allerdings weniger genau, sind die Ermittlung des humero-ulnaren Winkels und des Baumann-Winkels

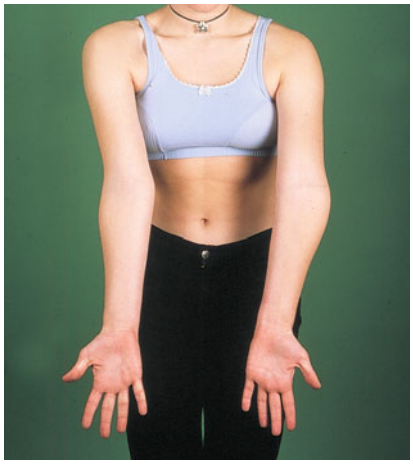


Abb. 18.48 Patientin, 15 Jahre. Posttraumatische Varusdeformität links kubital von 25° nach suprakondylärer Humerusfraktur im 8. Lebensjahr

Abb. 18.49a,b Patientin, 14 Jahre. **a** Bei seitengleicher regelrechter Flexion kubital verbleibt rechts posttraumatisch ein Streckdefizit von 45°, hier durch Innenrotation des Oberarms etwas »geschönt« bei kongenital vorbestehender Überstreckbarkeit links kubital von 20° (**b**)

arm. Aufgrund der weniger relevanten Auswirkungen bezüglich einer mechanischen Fehlbelastung der beteiligten Gelenke kann auch hier eine gewisse Großzügigkeit akzeptiert werden. Bei unilateralen Deformitäten wird die ideale Armgeometrie grundsätzlich durch die kontralaterale physiologische Extremität definiert. Bilaterale Armdeformitäten sind meist kongenital, etwa bei Achondroplasie. Hier ist zum einen die Funktion der beteiligten Gelenke entscheidend und letztlich die Gebrauchsfähigkeit des Arms. So genannte harte definierte geometrische Zielgrößen, die an der unteren Extremität eine dominante Rolle spielen, sind hier ohne Bedeutung und können vernachlässigt werden. Zusammengefasst lassen sich Längen- und Torsionswinkelbestimmungen an der oberen Extremität mit ausreichender Genauigkeit durch klinische Untersuchungen ermitteln.

18.3.2 Methodik

Klinische Untersuchung

Achsausrichtung frontal

Die Aufsicht auf den stehenden Patienten von vorne erlaubt eine Bewertung der frontalen Achsausrichtung von Ober- und Unterarm. Hierbei sind die Arme außenrotiert, die Bewegungsachsen von Ellenbogen- und Handgelenk liegen in der Frontalebene (Abb. 18.48). Wünschenswert ist eine Beurteilung sowohl in Extension als auch in Flexion des Ellenbogengelenks. Extensionsdefizite und Hyperextensionen schränken die Beurteilung der frontalen Achsenverhältnisse ein (Abb. 18.49b). In verschiedenen Gelenkstellungen ist darüber hinaus die ligamentäre Stabilität kubital zu prüfen.

Achsausrichtung sagittal

Durch seitliche Aufsicht auf den Patienten werden die sagittalen Achsen bewertet, in erster Linie durch Beurteilung der Bewegungsumfänge von Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk (Abb. 18.49). Aufgrund des Weichteilmantels am Oberarm ist eine klinische Bewertung von Achsabweichungen schwierig bis unmöglich, am Unterarm kann die dorsale ulnare Kante eine Orientierung erlauben. Eine eindeutige Ursache, inwieweit sagittale Deformitäten intra- oder extraartikulär lokalisiert sind, ist durch alleinige klinische Untersuchung kaum möglich.

Achsausrichtung horizontal

Bedingt durch den Weichteilmantel entziehen sich Translationen, also Achsabweichungen ad latus, am Oberarm meist der klinischen Analyse. Am Unterarm, insbesondere durch Palpation der Ulna, können derartige Stufen im Einzelfall erkannt werden (Abb. 18.50).

Abb. 18.50 Patientin ZS, 23 Jahre. 6 Monate nach konservativer Behandlung einer Unterarmfraktur rechts vom Typ AO 22-C2.2 verbleiben Deformitäten in allen ursprünglichen Frakturzonen. Die Umwendbeweglichkeit des Unterarms ist hochgradig eingeschränkt. Die gut tastbaren knöchernen Stufen der Translationen an Ulna und Radius induzieren schmerzhafte Weichteilirritationen.

Abb. 18.52a,b Patient LR, 37 Jahre. Bei posttraumatischer Innentorsionsdeformität des rechten Oberarms von 30° ist die Außenrotation im rechten Schultergelenk nahezu aufgehoben (**a**) bei freier Innenrotation beidseits (**b**).

Abb. 18.51 Patient TM, 15 Jahre. Nach hämatogener bakterieller Omarthritis im 1. Lebensjahr mit septischer Einschmelzung des rechten Humeruskopfs resultiert eine Verkürzung des Oberarms von 11,8 cm. Klinische Schätzung der Längendifferenz durch Aufsicht von hinten.

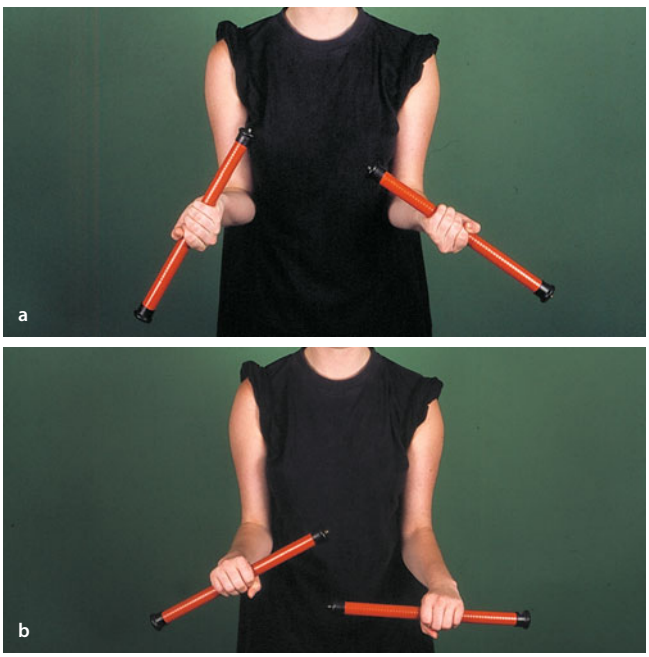


Abb. 18.53a,b Patientin RN, 20 Jahre. Posttraumatische Einschränkung von Pronation und Supination des rechten Unterarms von jeweils etwa 20°.

Längendifferenzen am Oberarm lassen sich durch Aufsicht auf den stehenden Patienten von hinten bewerten. Hierbei sind die Ellenbogengelenke 90° flektiert (Abb. 18.51). Die Längenverhältnisse der Unterarme erschließen sich ebenso einfach bei seitengleich aufgestützten, 90°-flektierten Ellbogen auf einer Tischplatte durch den Höhenvergleich der Handgelenksbeugefalten.

Torsionsdifferenzen am Oberarm werden durch den Seitenvergleich des Rotationsumfangs im Schultergelenk ermittelt. Hierbei liegen die Oberarme thorakal an. Die im Ellenbogengelenk rechtwinkelig gebeugten Unterarme dienen als Zeiger der Außen- und Innenrotation (Abb. 18.52). Dieselbe Position dient in neutraler Schulterrotation ebenfalls der Bewertung von Pronation und Supination der Unterarme (Abb. 18.53).

Radiografie

Die radiologische Beurteilung gründet sich primär auf einem Seitenvergleich interessierender Bereiche (Abb. 18.54). Grundsätzlich sind hierbei langstreckige Projektionen in der a.p.- und seitlichen Ebene zu fordern. Zur Beurteilung der Längenverhältnisse kann die Integration eines entsprechenden Maßstabes im Einzelfall von Interesse sein.

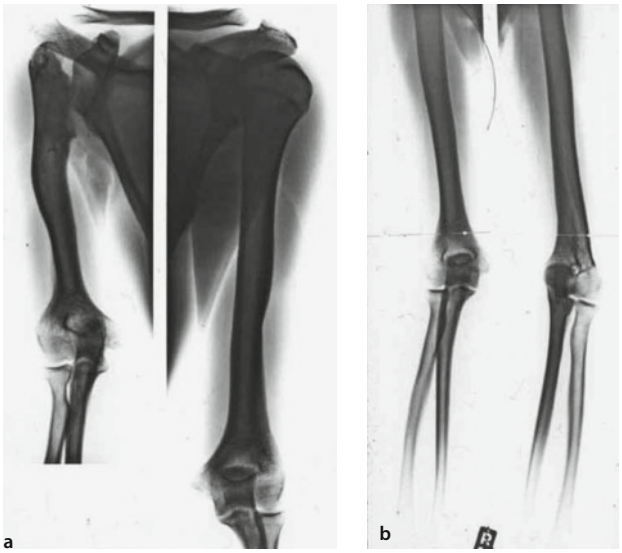


Abb. 18.54a,b Röntgenaufnahmen der Oberarme erlauben eine Bewertung der frontalen Achsen- und der Längenverhältnisse (**a**: Patient von Abb. 18.51). Ein direkter Vergleich der entsprechend projizierten Röntgenbilder links und rechts erlaubt die Ermittlung von Ort und Ausmaß frontaler Achsabweichungen (**b**: Patientin von Abb. 18.48).

Computertomografische Analyse

Während der Wert der CT für die Längen- und Torsionswinkelbestimmung der unteren Extremitäten unbestritten ist, hat die analoge Untersuchung der oberen Extremitäten keine wesentliche Bedeutung. Das Fehlen von wirklich brauchbaren anatomischen Landmarken schränken Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der CT für diese Fragestellungen ein.

Von großem Wert kann die CT allerdings bei komplexen intraartikulären Deformitäten sein. Zum einen erlauben die entsprechenden Schnittbilder und auch 3 D-Rekonstruktionen ein besseres Verständnis der Fehlstellung, zum anderen können auf der Grundlage dieser Datensätze entsprechende Wachs- oder Kunststoffmodelle angefertigt werden (Abb. 18.55). Nach entsprechender Planung lassen sich mit diesen Modellen ggf. die gewünschten Osteotomien »auf dem Trockenen« bereits durchführen. Dies erlaubt eine Optimierung von Operationstechnik und -ergebnis.

Sonografie

Die Sonografie unterliegt an den oberen Extremitäten denselben Einschränkungen wie die CT. Derzeit wird allerdings an der Definition entsprechender anatomischer Landmarken gearbeitet, um auch eine sonografische Längen- und Torsionswinkelmessung zu ermöglichen. Inwieweit sich daraus eine klinische Relevanz ergeben könnte, muss die Zukunft zeigen.

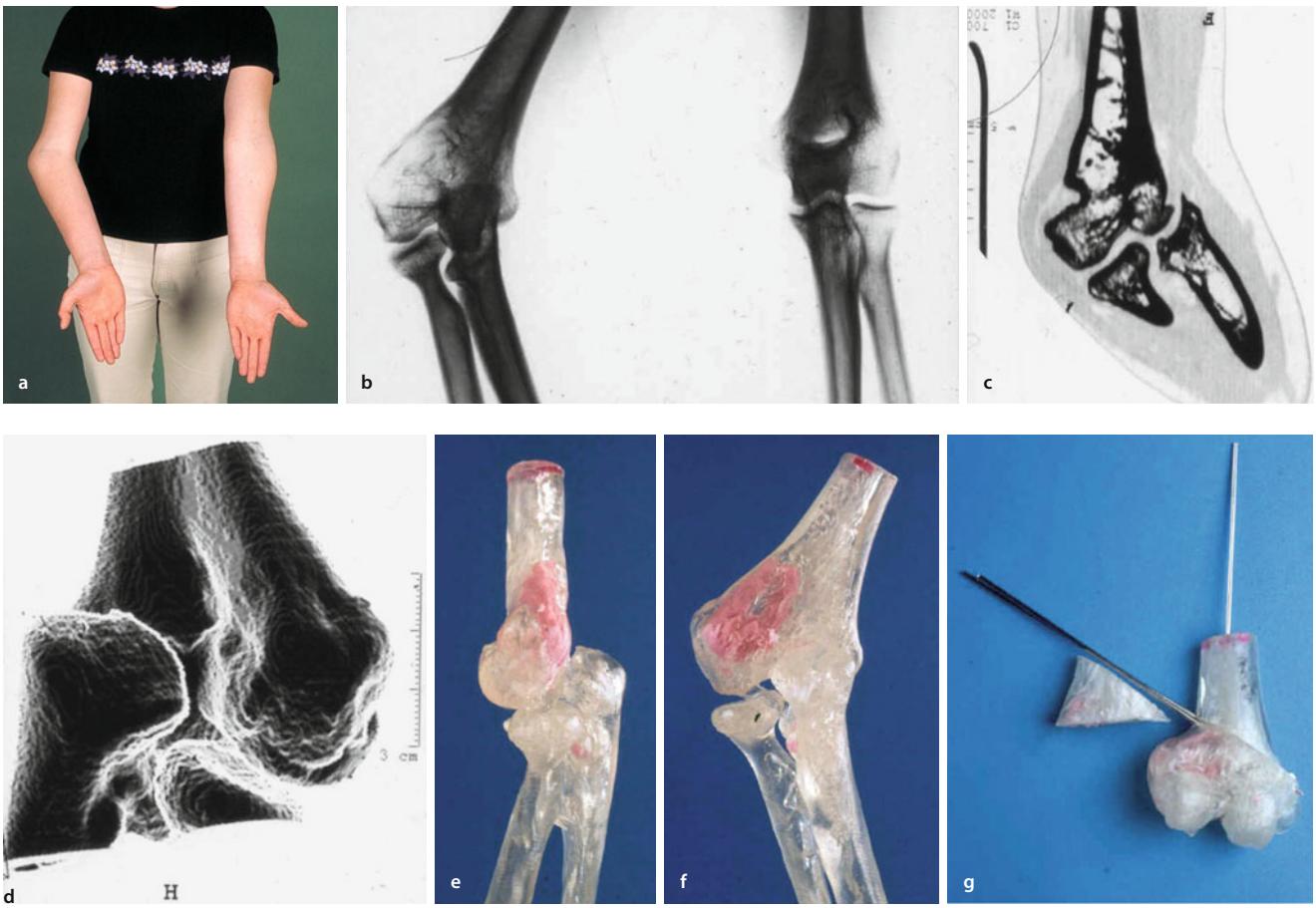


Abb. 18.55a–g Klinisch (**a**) und radiologisch (**b**) präsentiert sich im Seitenvergleich eine extraartikuläre suprakondyläre und kondyläre sowie eine intraartikuläre kubitale Komplexdeformität. Die CT liefert zusätzliche Informationen durch Schnittbilder (**c**) und 3 D-Oberflächenrekonstruktionen (**d**). Kunststoffmodelle auf CT-Basis (e, f) machen die Deformität noch anschaulicher und erlauben nach entsprechender Planung die Korrekturosteotomie am Modell (g; Patientin von Abb. 18.49).

18.3.3 Korrekturosteotomie

Indikatorische Richtgrößen

Frontale Deformitäten

Am proximalen und diaphysären Oberarm können Varusabweichungen die Schulterabduktion beeinträchtigen. Einschränkungen der Abduktion von 30° und mehr indizieren eine valgisierende Korrektur. Ein Cubitus varus geht nur höchst selten mit einer Funktionsstörung oder einer Irritation des N. ulnaris einher. In diesen seltenen Fällen ist eine suprakondyläre Valgisationsosteotomie gerechtfertigt. Ein Cubitus hypervalgus indiziert eine varisierende Korrektur bei Seitendifferenzen von mehr als 10° zur Entlastung des N. ulnaris. Am Unterarm können Achsabweichungen die Umwendbeweglichkeit einschränken. Insbesondere bei wesentlicher Störung der Pronation kann dadurch eine Korrekturosteotomie indiziert werden.

Sagittale Deformitäten

Diaphysäre Deformitäten selbst bis zu 20° können meist toleriert werden, gelenknahe Deformitäten in Abhängigkeit von der daraus resultierenden Gelenkfunktion bis etwa 10°. Entscheidender als diese absoluten geometrischen Angaben für die einzelnen Achsabweichungen sind indessen die Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeit, insbesondere von Extension und Flexion im Ellenbogen- und Handgelenk. Hierbei ist der Wunsch des Patienten nach einer Funktionsverbesserung entsprechend zu würdigen.

Horizontale Deformitäten

Nur in Ausnahmefällen indizieren Translationen entsprechende Korrektureingriffe. Dies kann bei wesentlichen funktionellen Einbußen oder kosmetischen Problemen der Fall sein (◘ Abb. 18.50).

Längendifferenzen der Arme haben überwiegend kaum relevante Auswirkungen auf den sonstigen Bewegungsapparat und sind daher meist von nachrangiger Bedeutung. Der ausdrückliche Wunsch des Patienten nach einem entsprechenden Längenausgleich aus funktionellen und/oder kosmetischen Gründen kann dennoch eine entsprechende operative Korrektur rechtfertigen (◘ Abb. 18.51, ◘ Abb. 18.59).

Torsionsdifferenzen

Sind Torsionsabweichungen von Ober- oder Unterarm Ursache von relevanten Bewegungseinschränkungen der jeweils proximal gelegenen Gelenke, so wird hierdurch eine Torsionskorrektur indiziert, insbesondere dann, wenn der rotatorische Null-Durchgang nicht mehr erreicht oder gar deutlich unterschritten wird (◘ Abb. 18.52, ◘ Abb. 18.58).

Wie auch bei Deformitäten der unteren Extremität, relativieren sich die indikatorischen Richtgrößen in ihrem jeweiligen Ausmaß bei mehrdimensionalen Deformitäten.

Planung

Aufgrund unscharfer Landmarken erreicht die geometrische Analyse von Deformitäten der oberen Extremitäten nicht die Präzision einer Analyse der Beingeometrie. Nachdem die oberen Extremitäten keiner wesentlichen Gewichtsbelastung unterliegen, resultieren keine wesentlichen Nachteile aus dieser »Unschärfe«. Neben kosmetischen Aspekten sind insbesondere funktionelle Kriterien für die Korrekturplanung wegweisend. Diese gründet sich hierbei ganz wesentlich auf den direkten Seitenvergleich (◘ Abb. 18.56). Bei komplexeren Deformitäten kann ggf. eine computertomografische Analyse hilfreich sein (◘ Abb. 18.49, ◘ Abb. 18.55).

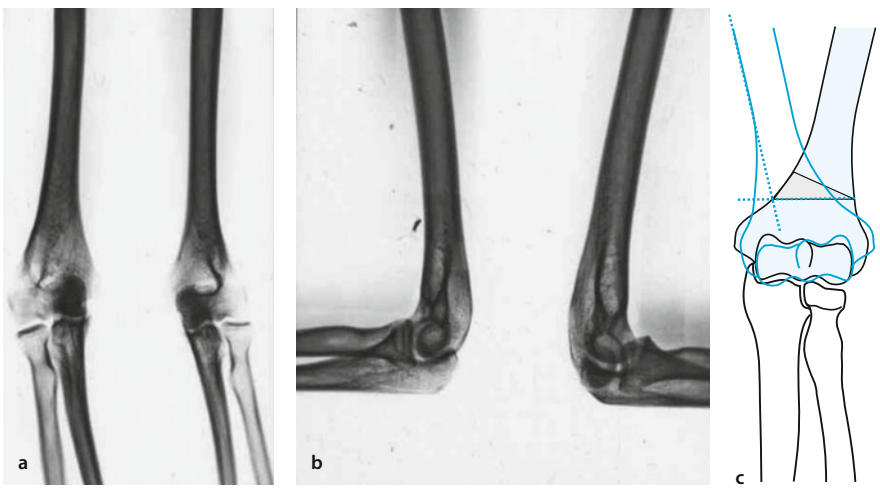
Knochendurchtrennung

Aufgrund der häufig engen Lagebeziehung zwischen neurovaskulären Strukturen und Humerus und Radius empfehlen sich offene Osteotomietechniken. Lediglich an der diaphysären Ulna bieten sich im Einzelfall gedeckte Verfahren im Sinne einer Bohrloch-Meißel-Osteoklasie bei distrahierenden Korrekturverfahren an. An der oberen Extremität dominieren quere Osteotomien sowie Keilosteotomien. Die Knochendurchtrennung erfolgt hierbei bevorzugt mittels oszillierender Säge, nur in seltenen Fällen durch Gigli-Säge, Bohrer und/oder Meißel.

Ebenso wie an der unteren Extremität sind **Akutkorrekturen** nur dann angezeigt, wenn Risiken von Dehnungsschäden und Kinking neurovaskulärer und muskulärer Strukturen ausgeschlossen sind. Einzeitige Verlängerungen sind wegen drohender Dehnungsschäden und dem Risiko eines Kompartment-Syndroms zurückhaltend zu indizieren. Lediglich am distalen Unterarm sind kurzstreckige Akutverlängerungen im Einzelfall erwägenswert. Im Zweifelsfall sind immer kontinuierliche Verfahren der Kallusdistraktion zu bevorzugen!

18.3.4 Osteosynthesetechniken

Interne Osteosyntheseverfahren bieten sich bei unkritischen Weichteil- und Knochenverhältnissen an, hier dominiert an der



◘ **Abb. 18.56a–c** Das Fehlen markanter anatomischer Landmarken macht die rein messtechnische Erfassung von Deformitäten an den oberen Extremitäten schwierig bzw. ungenau. **a, b** Die Korrekturplanung basiert daher auf einem direkten Seitenvergleich analoger Röntgenbilder. **c** Für die zeichnerische Planung dieser eindimensionalen frontalen Deformität werden die langen a.p.-Röntgenaufnahmen direkt gespiegelt übereinander gelegt. Es ergibt sich ein Cubitus varus von 25°.

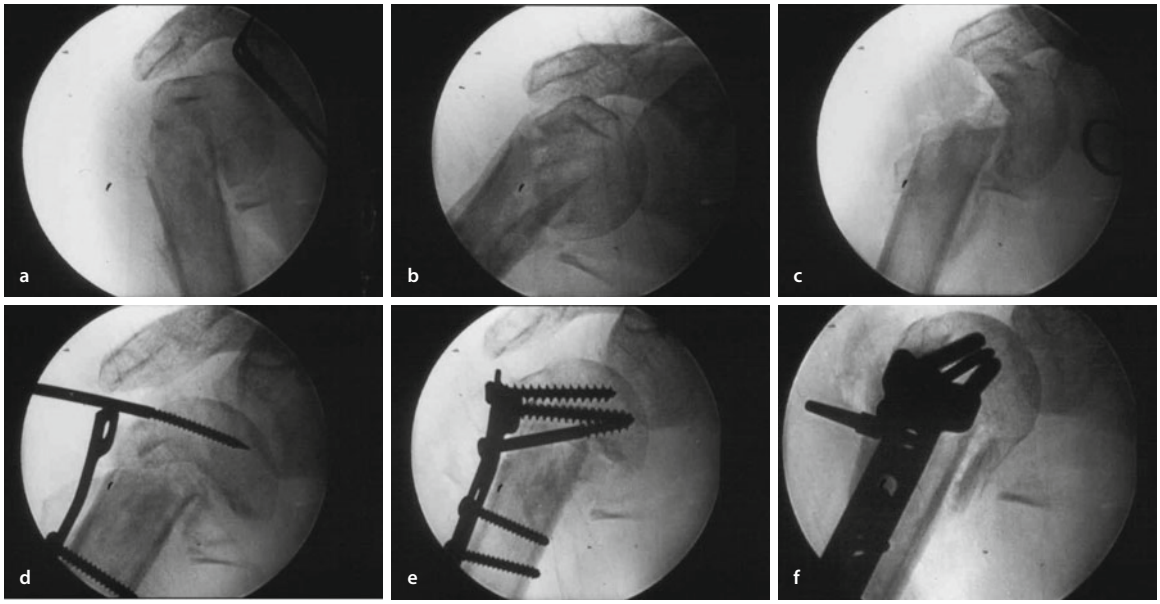


Abb. 18.57a–f **a, b** Varisierende Verkippung des Humeruskopfs nach konservativer Behandlung einer kapitalen/subkapitalen Mehrfragmentfraktur. **c, d** Subtraktive Valgisierung um 60° (**c**) unter Benutzung einer Schanz-Schraube als Joystick (**d**). **e, f** Zuggurtung durch laterale T-Plattenosteosynthese. Das Problem der Gefährdung der Humeruskopfdurchblutung durch die Korrekturosteotomie wurde mit dem Patienten ausführlich besprochen. Bewusst wurde daher auf die gleichzeitige Korrektur der bekannten Innentorsionsdeformität (Abb. 18.57) zunächst verzichtet.

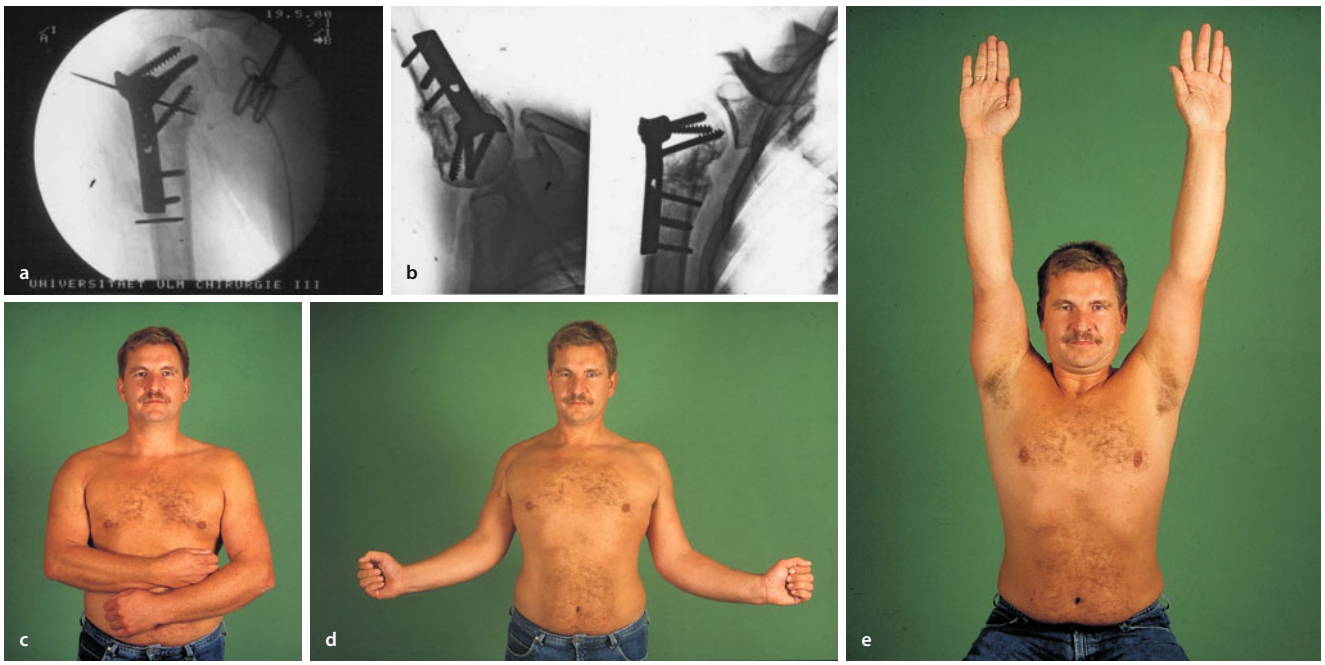


Abb. 18.58a–e Patient von Abb. 18.52 und Abb. 18.57 mit subkapitaler Innentorsionsdeformität des rechten Oberarms von 30°. **a** Nach gesicherter Vitalität des Humeruskopfs subkapitale Außentorsionsosteotomie mit der oszillierenden Säge unter Benutzung von 2,5 mm Schanz-Schrauben als Zeiger für die Torsionskontrolle. **b–e** 3 Monate postoperativ radiologisch (**b**) und klinisch (**c, d, e**) seitengleich freie Schulterbeweglichkeit.

oberen Extremität eindeutig die Plattenosteosynthese, sei es in konventioneller oder winkelstabiler Form (Abb. 18.57; Abb. 18.58).

Externe Osteosynthesen bieten einen weiteren Anwendungsbereich trotz der bekannten Einschränkungen, wie sie im Kapitel Korrekturverfahren der unteren Extremitäten (▶ Abschnitt 18.2.4) ausführlich beschrieben wurden. Kontinuierliche Knochenverlängerungen lassen sich mit unilateralen Distraktionsfixateuren im Allgemeinen problemlos realisieren (Abb. 18.59, Abb. 18.65). Diese eignen sich meist auch für die Korrektur kongenitaler Armdeformitäten. Lediglich sehr komplexe kongenitale Deformitäten, insbesondere unter Einbeziehung der Hand, lassen sich meist besser durch Ringfixateure nach Ilizarov beherrschen.

18.3.5 Spezielle Deformitäten

In Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation der Deformität, der funktionellen Beeinträchtigung, dem Alter des Patienten, der Erfahrung und den Möglichkeiten des Operateurs u.a.m. bieten sich jeweils verschiedene operative Korrekturoptionen an.

Über die oben ausgeführten Grundlagenkenntnisse hinausgehend, verlangt eine Reihe von Deformitäten zusätzliche Kenntnisse an analytischer Diagnostik und operativer Korrekturtechnik. In Abhängigkeit von der jeweiligen anatomischen Lokalisation wird im Folgenden eine Auswahl von häufigeren Deformitäten mit bewährten, angepassten Korrekturverfahren dargestellt. Diese Zusammenstellung kann nur exemplarisch sein und erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit.

Oberarm proximal

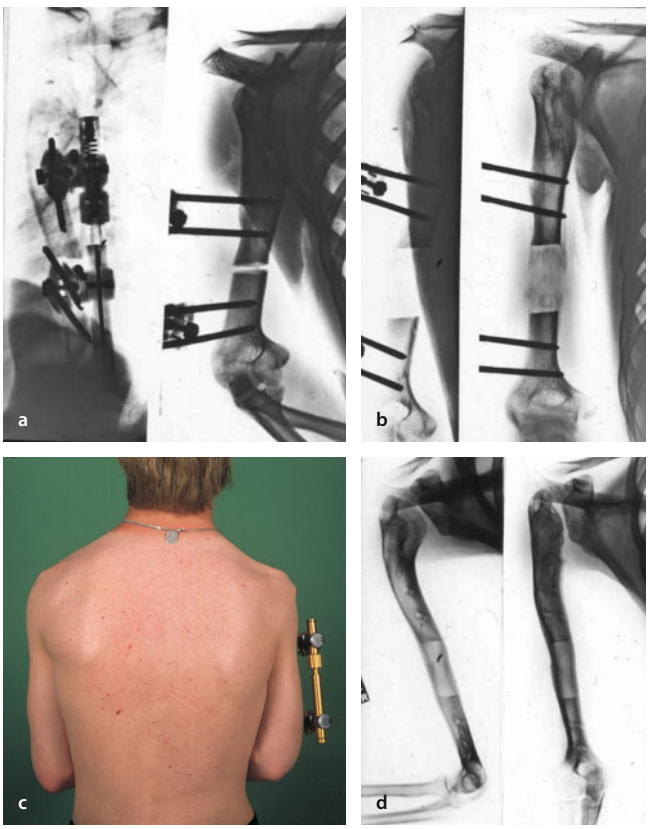
Posttraumatische Deformitäten des proximalen Humerus werden funktionell durch Schultergelenk und Schultergürtel meist gut kompensiert. Bei störender Einschränkung der Schulterbeweglichkeit ist indessen eine Korrekturosteotomie zu diskutieren. Dies betrifft insbesondere höhergradige Blockaden der Abduktion (◘ Abb. 18.57) und der Rotation (◘ Abb. 18.58).

Oberarm diaphysär

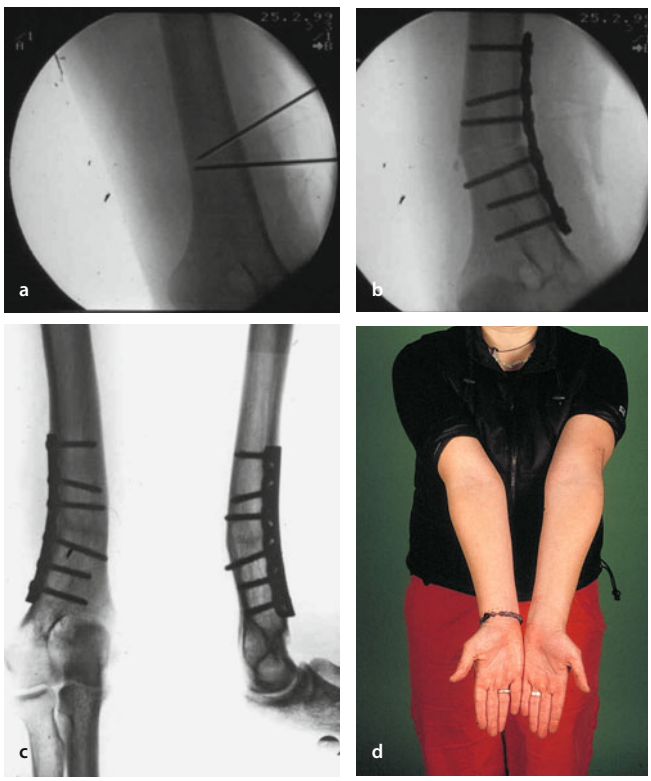
Diaphysäre Deformitäten führen nur selten zu funktionellen Beeinträchtigungen und indizieren dementsprechend in der Regel keine Korrekturoperationen. Der überzeugende und glaubhafte Wunsch des Patienten nach Korrektur kosmetisch und auch funktionell störender Deformitäten kann in Einzelfällen eine operative Maßnahme begründen (◘ Abb. 18.59).

Oberarm distal

Deformitäten des distalen Humerus als Folge epiphysärer Verletzungen und deren Behandlung sind häufiger. Meist liegen diese Deformitäten extraartikulär (◘ Abb. 18.48, ◘ Abb. 18.54b, ◘ Abb. 18.60), gelegentlich aber auch intraartikulär oder gemischt extra-/intraartikulär. Deformitäten mit intraartikulärer Komponente lassen sich erwartungsgemäß durch eine alleinige extraartikuläre Korrektur nicht vollständig ausgleichen (◘ Abb. 18.61). Ein gewisser Kompromiss ist hier zu akzeptieren und dem Patienten präoperativ zu vermitteln. Korrekturen des distalen Oberarms setzen eine besonders gewissenhafte Korrekturplanung und -durchführung voraus. Es handelt sich in der Regel um subtraktive Keilosteotomien, durchgeführt mit einer feinen oszillierenden Säge unter Verwendung von Kirschnerdrähten als Leitschiene. Hierbei ist die Erhaltung von gegenüber liegender Kortikalis mit Periost biologisch günstig – diese dienen zudem als Scharnier. Als Nachteil wird hierbei eine gewisse Translationsdeformität in Kauf genommen, die aber funktionell meist wenig Bedeutung hat (◘ Abb. 18.61). Dieses Problem lässt sich durch eine vollständige Osteotomie mit nachfolgender Translationskorrektur mildern (◘ Abb. 18.62). Bei zusätzlichen Torsionskorrekturen haben sich als Zeiger Gewinde-Kirschnerdrähte von 2,5 und 3,0 mm Durchmesser bewährt. Aufgrund der engen räumlichen Bedingungen werden von uns Plattenosteosynthesen bevorzugt. Montagen mit Fixateur externe sind jedoch bei Kindern und Jugendlichen durchaus als gute Alternative zu betrachten.



◘ **Abb. 18.59a–d** Patient von ◘ Abb. 18.51 und ◘ Abb. 18.54a. **a, b** Nach offener (N. radialis!) diaphysärer Gigli-Osteotomie und Montage eines unilateralen Distraktionsfixateurs kontinuierlicher Längengewinn von 8,5 cm durch Kallusdistraktion. **c, d** Auf einen vollständigen Längenausgleich wurde wegen zu erwartender funktioneller Störungen im Schultergelenk (Subluxation!) in Absprache mit dem jugendlichen Patienten und seinen Eltern bewusst verzichtet.



◘ **Abb. 18.60a–d** Patientin von ◘ Abb. 18.48, ◘ Abb. 18.54b. Subtraktive Valgisierungs (25°)-Flexions (15°)-Osteotomie linker distaler Humerus (**a**) und Osteosynthese mit LC-DCP (**b**). Radiologisches (**c**) und klinisches (**d**) Ergebnis.

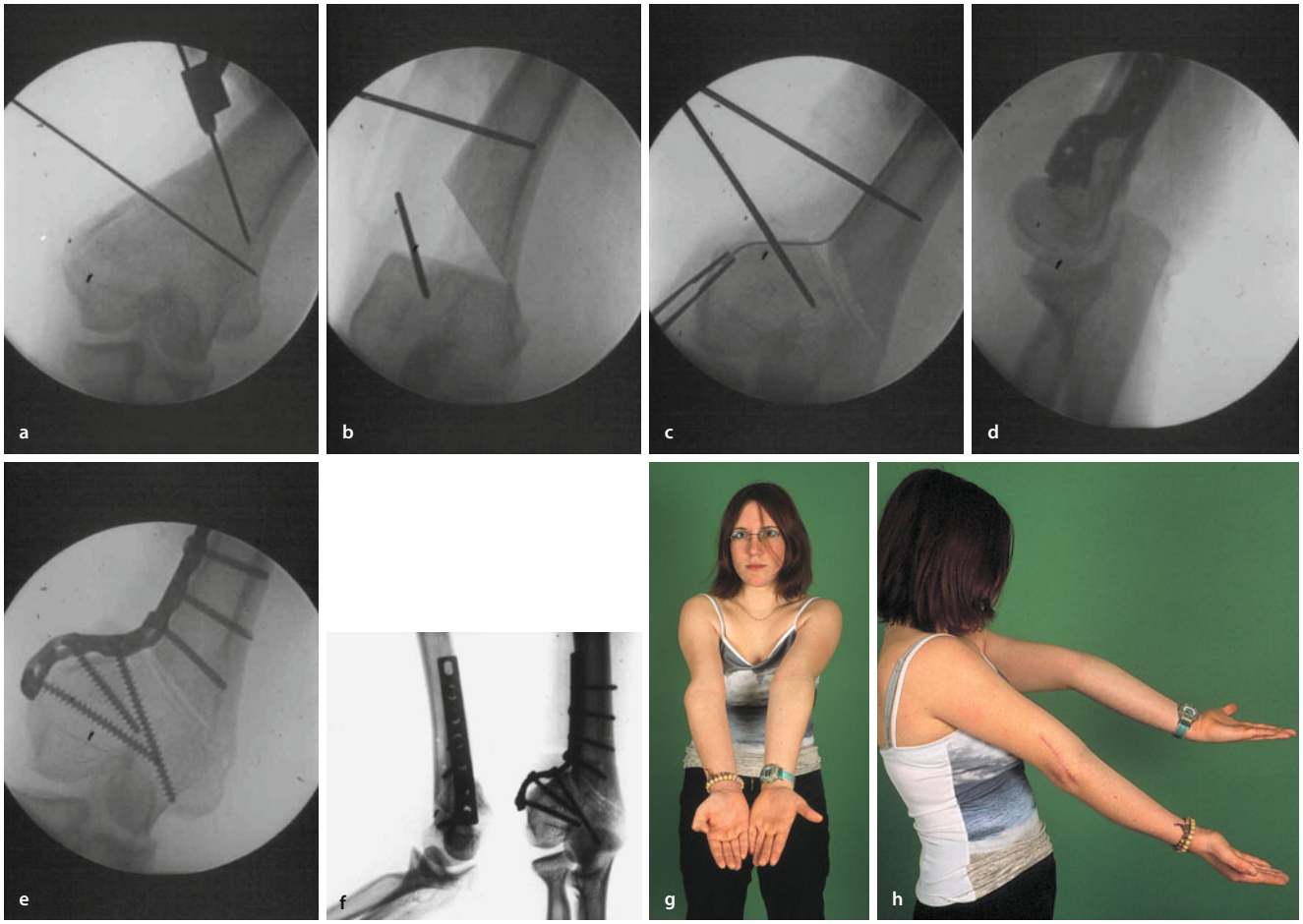


Abb. 18.61a–h Patientin von Abb. 18.49 und Abb. 18.55 mit extra- und intraartikulärer Komplexdeformität des rechten distalen Humerus von 40° Varus (Abb. 18.55a–c) und 35° Streckdefizit (Abb. 18.49) im Seitenvergleich. In Analogie zur Planung und Osteotomie am Modell (Abb. 18.55g) subtraktive suprakondyläre Osteotomie (**a, b**) unter Verwendung von Schanz-Schrauben zur Torsionskontrolle (**c**). Anmodellieren einer Kleinfragment-LC-DCP (**c, d, e, f**). Es verbleibt erwartungsgemäß eine geringfügige Restdeformität von etwa 5° Varus- (**g**) und 5°-Streckdefizit. **h** Gut sichtbar ist eine unfallunabhängige Überstreckbarkeit links kubital von 20°

Abb. 18.62 Plattenosteosynthese nach vollständiger subtraktiver Keilosteotomie (20° Valgisation-5°-Flexion-20° Außentorsion) linker distaler Humerus. Weitgehend physiologische Achsausrichtung frontal und sagittal.

Unterarm proximal

Klinisch relevante Deformitäten des proximalen Unterarms sind posttraumatisch selten. Andererseits können Fehlstellungen in Kombination mit Subluxationen oder Luxationen des Radiusköpfchens die Funktion des Ellenbogengelenks erheblich kompromittieren. Bei Erwachsenen kann die Resektion oder der endoprothetische Ersatz des Radiusköpfchens im Einzelfall indiziert sein, jedoch kaum achskorrigierende Maßnahmen. Bei Kindern sollte andererseits das Radiusköpfchen in seine anatomisch und physiologisch korrekte Position gebracht werden. Dies gelingt in der Regel nur durch distrahierende Maßnahmen des diaphysären Radius. Ziel ist eine spontane Einstellung des Radiusköpfchens während der Distraktion (Abb. 18.63).

Unterarm diaphysär

Achsabweichungen des diaphysären Unterarms stören entweder kosmetisch oder funktionell durch Beeinträchtigung der Umwendebeweglichkeit. Eine diaphysäre Achsausgradung kann hier segensreich sein (Abb. 18.64). Bei gleichzeitig vorliegendem radioulnarem Brückenkallus ist die hohe Rezidivquote der Kallusbildung bei der Indikation zur operativen Revision zu berücksichtigen. Ebenso ist das Risiko von Gefäß-Nerven-Verletzungen mit in die abwägende Betrachtung einzubeziehen.

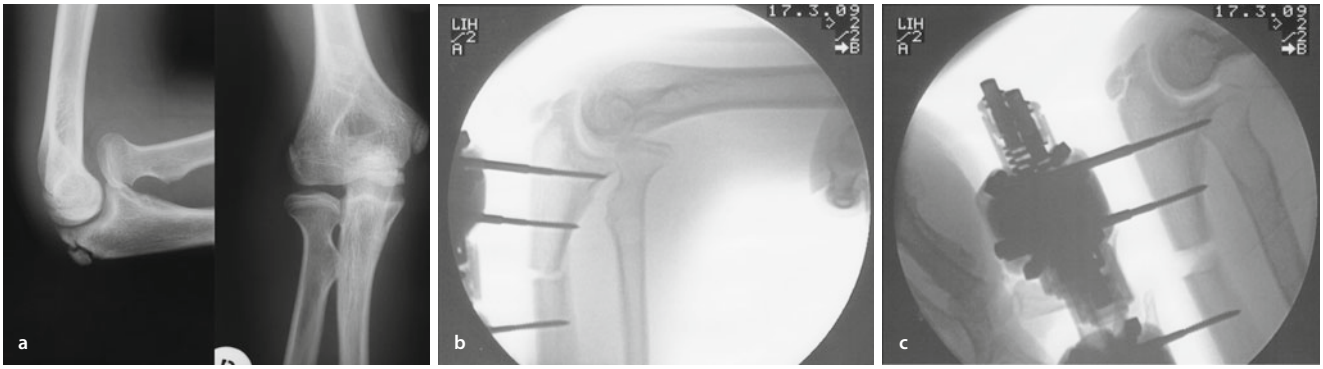


Abb. 18.63a–c **a** 15-jähriger Patient mit irreponibler ventraler Luxation des rechten Radiusköpfchens 4 Monate nach Trauma. **b** Kontinuierliche leicht flektierende Kallusdistraktion der proximalen diaphysären Ulna mittels unilateralem Distraktionsfixateur. **c** Darunter spontane Reposition des Radiusköpfchens

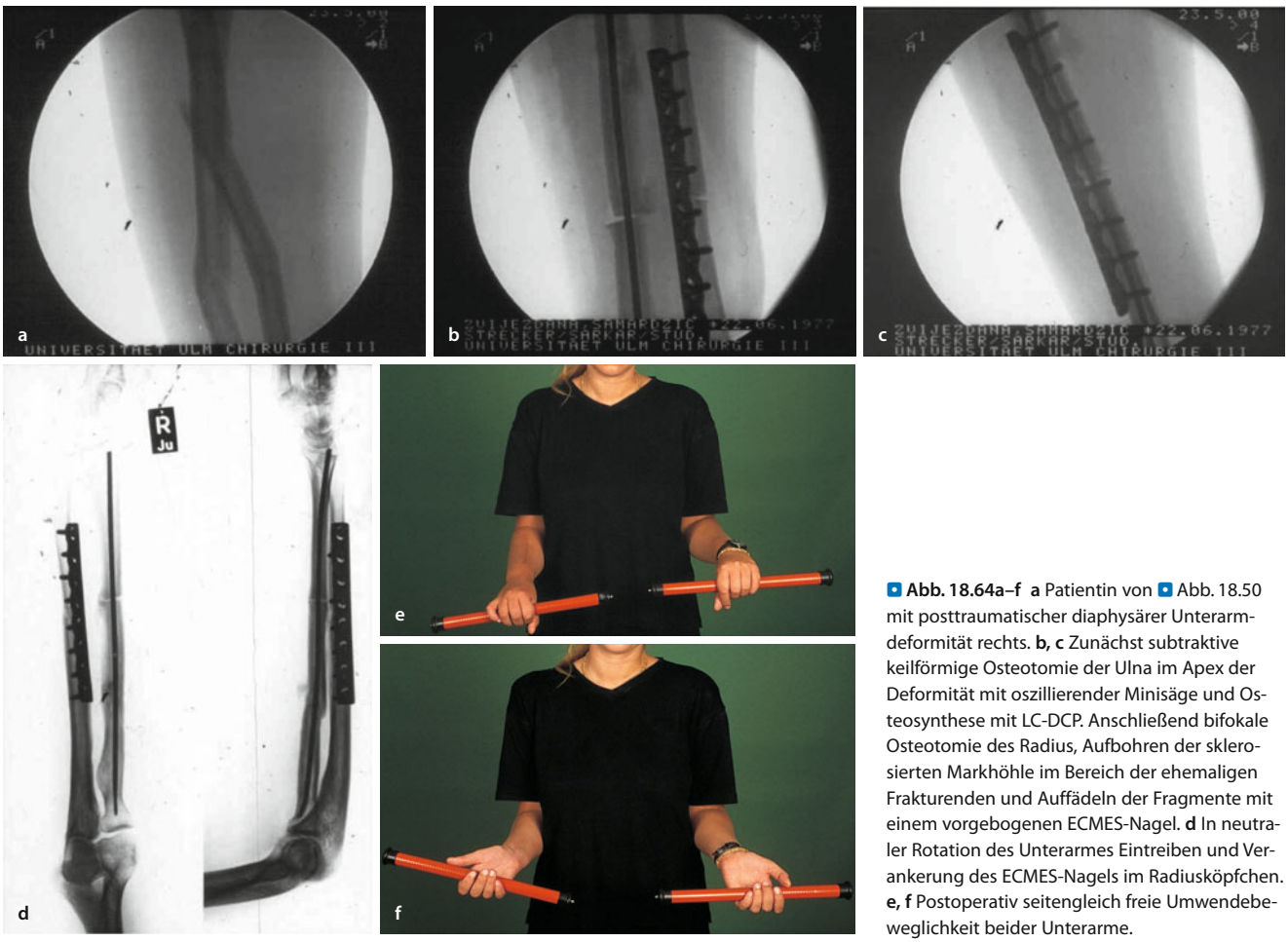


Abb. 18.64a–f **a** Patientin von Abb. 18.50 mit posttraumatischer diaphysärer Unterarmdeformität rechts. **b, c** Zunächst subtraktive keilförmige Osteotomie der Ulna im Apex der Deformität mit oszillierender Minisäge und Osteosynthese mit LC-DCP. Anschließend bifokale Osteotomie des Radius, Aufbohren der sklerosierten Markhöhle im Bereich der ehemaligen Frakturenden und Auffädeln der Fragmente mit einem vorgebogenen ECMES-Nagel. **d** In neutraler Rotation des Unterarmes Eintreiben und Verankerung des ECMES-Nagels im Radiusköpfchen. **e, f** Postoperativ seitengleich freie Umwendebeweglichkeit beider Unterarme.

Diaphysäre Deformitäten und Defekte, kongenital, posttraumatisch oder nach Tumorresektionen, lassen sich bevorzugt durch Kallusdistraktion mittels unilateralem Distraktionsfixateur kontinuierlich korrigieren und überbrücken (Abb. 18.65).

Unterarm distal

Bezüglich der relevanten Anatomie von Unterarm und Handgelenk wird auf den ▶ Abschnitt 6.1 Basiswissen, in ▶ Kap. 6, Arm, verwiesen. Individuelle anatomische Varianten sowohl der Neigungswinkel im Radiokarpalgelenk als auch im radioulnaren Längenverhältnis sind nicht selten. Hier empfiehlt sich im Einzelfall ein radiografischer Vergleich mit der gesunden Gegenseite.

Indikatorische Angaben zur Korrekturosteotomie extraartikulärer Deformitäten streuen in der Literatur zum Teil erheblich. Folgende indikatorische Richtgrößen können als Orientierung dienen:

- A.p.-Projektion: Radiale Deviation >20–30°
- Seitliche Projektion: Dorsale Deviation >10–20°
- Radiusverkürzung >3 mm

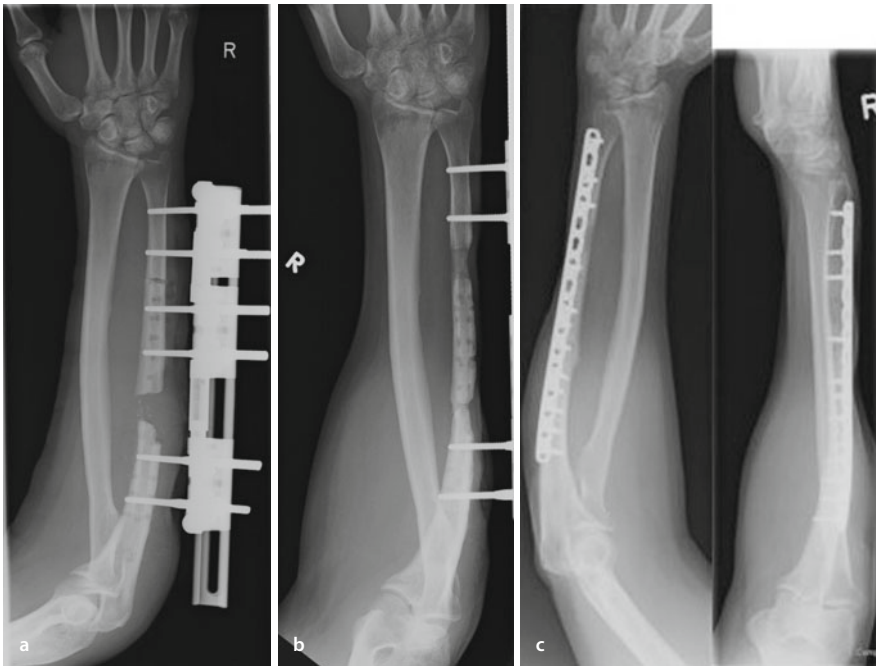


Abb. 18.65a–c 44-jähriger Patient, Polytrauma, mit u.a. schwerer Quetschverletzung mit Schaftfraktur rechter Unterarm und primären neurovaskulären Ausfällen. Nach Fasziotomien Plattenosteosynthese und Vakuumversiegelung mit konsekutiver tiefer Infekt-Defekt-Situation. **a** Nach radikalem Débridement und Infektsanierung offener diaphysärer Segmenttransport in die Defektzone mit unilateralem Distraktionsfixateur. **b, c** Adäquate Kallusbildung und Erholung der Weichteilsituation nach abgeschlossenem Segmenttransport (**b**), anschließend Verfahrenswechsel auf lange protektive Plattenosteosynthese (**c**).

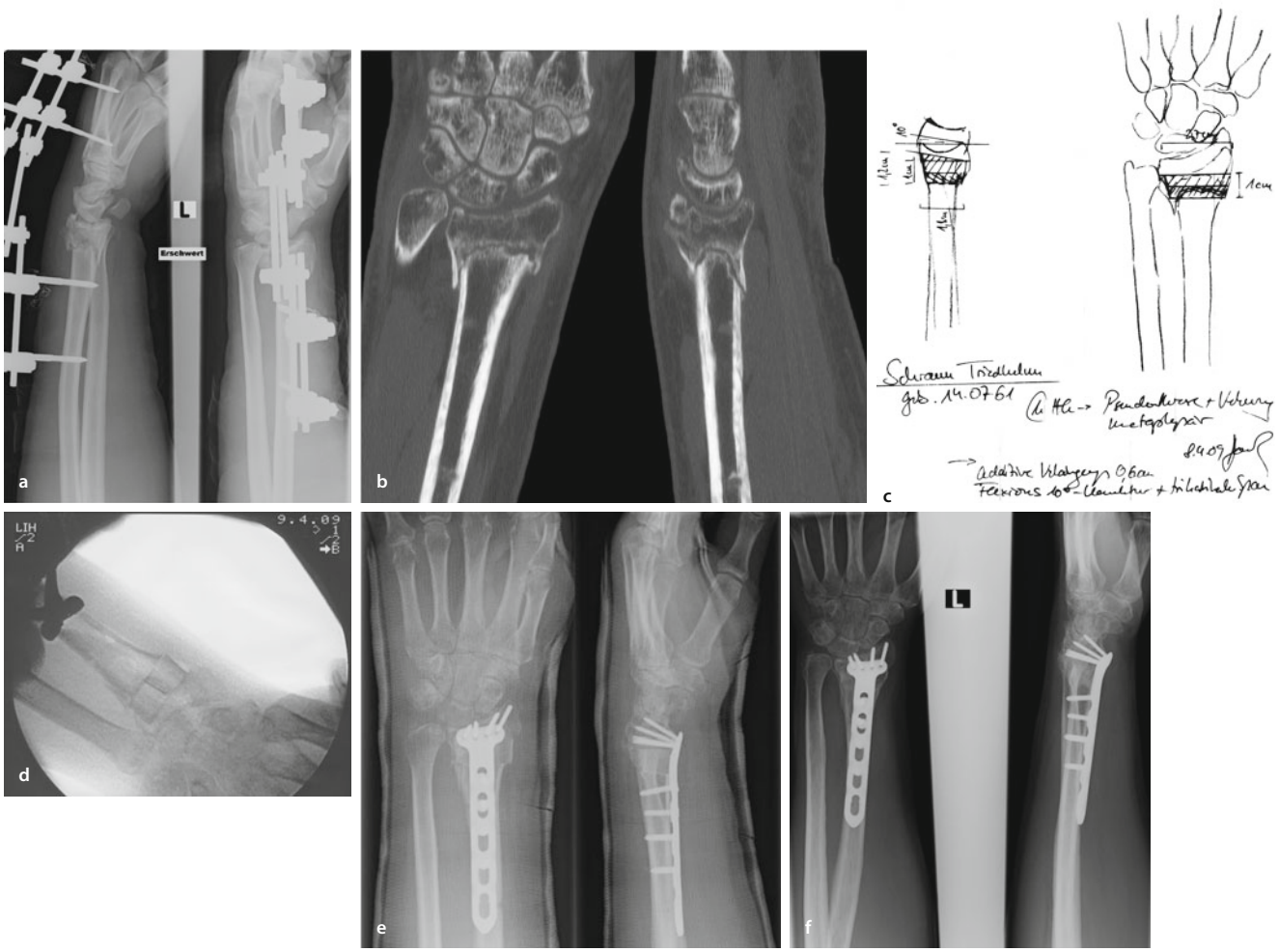


Abb. 18.66a–f 47-jähriger Patient, Polytrauma, mit u.a. distaler Unterarmtrümmerfraktur links. **a** Patient wird primär mit gelenküberbrückendem Fixateur externe stabilisiert. **b** Es resultiert sowohl eine metaphysäre Pseudarthrose als auch eine Extensions (10°)-Verkürzungs(0,6 cm)-Deformität. **c, d** Entsprechend der Planungszeichnung (**c**) wird nach sparsamer Resektion der Pseudarthrose eine akute Flexions-Verlängerungs-Korrektur mit Interposition eines doppelten trikortikalen Beckenspans (**d**) durchgeführt, mit winkelstabiler Platte retiniert. **e, f** Die postoperative Röntgenkontrolle und das Ausheilungsbild 6 Monate später.

Abb. 18.67a–c 25-jährige Patientin mit kongenitaler Komplex-Deformität linker distaler Radius. **a** Varus 20°, Extension 45°, Verkürzung 2,0 cm. Bei zusätzlicher Adaktylie II bis V rechts wird u.a. auch unter präventiven Gesichtspunkten die Indikation zur kontinuierlichen Korrektur des distalen Radius links gestellt. **b, c** Zunächst unter BV-Kontrolle und unter Schonung neurovaskulärer Strukturen und der Strecksehnen Eindrehen von Schanz-Schrauben knapp proximal der radialen Gelenkfläche (**b**) sowie diaphysär, Bohrloch-Meißel-Osteoklasie mit distrahierendem Probelauf (**c**). Nach abgeschlossener, korrigierter Kallusdistraktion des Radius verbleibt ein relevanter Ulna-Vorschub (**d**). Daher Entfernung des Distraktionsfixateurs am Radius und Verkürzungsosteotomie der Ulna stabilisiert mit Drittelrohrplatte (**e**). Radiologisches (**f**) und klinisches (**g**) Ausheilungsergebnis.

Schmerzen, funktionelle und kosmetische Aspekte können die Indikation zur Korrektur ebenso beeinflussen wie eine Sprengung des distalen Radioulnargelenks und interkarpale Instabilitäten. Intraartikuläre Deformitäten sollten zusätzlich computertomografisch analysiert werden. Bei jüngeren Patienten mit Gelenkstufen >2 mm kann eine Wiederherstellung der radialen Gelenkfläche indiziert sein.

Korrekturosteotomien sind kontraindiziert bei fortgeschrittener radiokarpaler Arthrose, schweren trophischen Störungen im Sinne eines Morbus Sudeck sowie bei höhergradiger Osteoporose. Ziel jeder Korrekturosteotomie des distalen Unterarms ist eine harmonische Anatomie und physiologische Funktion des Handgelenkes. Dies wird meist erreicht durch additive, häufig flektierende Korrekturen des distalen Radius, seltener durch Verkürzungsosteotomien der Ulna (Abb. 18.66). In Einzelfällen können beide Verfahren kombiniert werden.

Kongenitale und lang zurückliegende posttraumatische Deformitäten werden bevorzugt nicht einzeitig, sondern kontinuierlich distrahierend korrigiert. Nach ausreichender kontinuierlicher Korrektur ist die Indikation zu einem Wechsel auf ein internes stabilisierendes Verfahren zu prüfen (Abb. 18.67).

Literatur

Baumgart R, Kettler M, Zeiler C, Weiss S, Schweiberer L (1998) Indikation und Technik der Knochendurchtrennung. Chirurg 69: 1188–1196

Baumgart R, Zeiler C, Kettler M, Weiss S, Schweiberer L (1999) Der voll implantierbare Distraktionsmarknagel bei Verkürzungen, Deformitäten und Knochendefekten. Orthopäde 28: 1058–1065

Galla M, Lobenhoffer P (2004) Die öffnende valgisierende Umstellungsosteotomie der proximalen Tibia mit dem Tomofix-Plattenfixateur. Operat Orthop Traumatol 16: 397–417

Guichet JM (1997) Intramedullärer Verlängerungsnagel (Albizzia). Technik, Anwendung und Ergebnisse nach kontinuierlichen Verlängerungen von Femur und Tibia. In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1997) Posttraumatische Beindeformitäten – Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 251–264

Gürke L, Strecker W, Martinoli S (1999) Korrektur mehrdimensionaler Deformitäten durch eine einzeitige Osteotomie: Graphische Analyse und Operationstechnik. Unfallchirurg 102: 684–690

Hankemeier S, Gösling T, Pape HC, Wiebking U, Krettek C (2005) Verlängerung der unteren Extremität mit dem Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD). Operat Orthop Traumatol 170: 79–101

Hintermann B, Knupp M, Barg A (2008) Korrekturosteotomien am distalen Unterschenkel und Rückfuß. Orthopäde 37: 212–223

Hoogendoorn JM, Simmermacher RKJ, Schellekens PPA, van der Werken C (2002) Rauchen ist nachteilig für die Heilung von Knochen und Weichteilen. Unfallchirurg 105: 76–81

Hsu RWW, Himeno S, Coventry MB, Chao EYS (1990) Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee. Clin Orthop 255: 215–227

Ilizarov GA (1992) Transosseus synthesis. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Kellgren JH, Lawrence JS (1957) Radiological assessment of osteoarthrosis. Ann Rheum Dis 16: 494–502

Kempf I, Karger C, Bikhalil JA, Kempf IF (1984) L'osteótomie de retournement en arrière de la tête fémorale dans la nécrose de la tête. Rev Clin Orthop 70: 271–282

Keppler P, Strecker W, Kinzl L, Simnacher M, Claes L (1999) Die sonographische Bestimmung der Beingeometrie. Orthopäde 28: 1015–1022

Keppler P, Suger G, Kinzl L, Strecker W (2002) Korrekturen bei Asymmetrien der unteren Extremität. Chirurg 73: 982–989

Mikulicz J (1878) Über individuelle Formdifferenzen am Femur und an der Tibia des Menschen. Archiv f A u Ph, Anat Abthlg 1: 351–404

Müller ME (1984) Indikation, Lokalisation und zeichnerische Planung hüftgelenknaher Femurosteotomien bei posttraumatischen Zuständen. In: Hierholzer G, Müller KH (Hrsg) Korrekturosteotomien nach Traumen an der unteren Extremität. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 69–76

Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1977) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin Heidelberg New York

Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J (1990) The comprehensive classification of fractures of long bones. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Nerlich M, Füchtmeier B (1997) Operationstechniken zur Korrektur posttraumatischer Fehlstellungen. Eingriffe zur Positionsverbesserung der Hüftpfanne. In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg) Posttraumatische Beindeformitäten – Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 175–187

Outerbridge RE (1961) The etiology of chondromalcia patellae. J Bone Joint Surg Br 73: 927–931

Paley D (2002) Principles of deformity correction. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Paley D, Herzenberg J, Tetsworth K, Mc Kie J, Bhave A (1994) Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. Orthop Clin North Am 25: 425–465

Pauwels F (1973) Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte. Springer, Berlin Heidelberg New York

Pfeil J, Grill F, Graf R (1996) Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur, Pseudarthrosenbehandlung. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Strecker W, Suger G, Kinzl L (1996) Lokale Komplikationen der Marknagelung. Orthopäde 25: 274–291

Strecker W, Becker U, Hehl G, Keppler P, Kinzl L (1997 a) Einzeitige Korrekturosteotomien nach kniegelenknahen Frakturen – Grundlagen, Indikationen und Operationstechniken. In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1997) Posttraumatische Beindeformitäten – Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 199–214

Strecker W, Franzreb M, Kinzl L (1997 b) Die klinische Untersuchung der Beingeometrie – Vorschläge zur Untersuchungstechnik und einem standardisierten Vorgehen. In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1997) Posttraumatische Beindeformitäten – Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 9–21

Strecker W, Keppler P, Gebhard F, Kinzl L (1997 c) Length and torsion of the lower limb. J Bone Joint Surg (Br) 79: 1019–1023

Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1997 d) Posttraumatische Beindeformitäten – Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Strecker W, Keppler P, Kinzl L, Hehl G et al. (1998) Proximale Femurosteotomien zur Korrektur posttraumatischer Veränderungen. Chirurg 69: 1153–1160

Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1999) Die treppenförmige subtrochantere Verlängerungsosteotomie des Oberschenkels. Operat Orthop Traumatol 11: 1–10

Strecker W, Kinzl L, Keppler P (2001) Korrekturosteotomien des distalen Femur mit retrogradem Marknagel. Unfallchirurg 104: 973–983

Strecker W, Keppler P (2002 a) Analyse und Korrektur von Beindeformitäten, Teil 1: Analyse. Unfallchirurg 73: 811–829

Strecker W, Keppler P (2002 b) Analyse und Korrektur von Beindeformitäten, Teil 2: Korrektur: Unfallchirurg 73: 901–918

Strecker W (2006) Planerische Analyse kniegelenknaher Beinachsenabweichungen. Oper Orthop Traumatol 3: 259–272

Strecker W, Dickschas J, Harrer J, Müller M (2009) Die Arthroskopie vor kniegelenknahen Korrekturosteotomien bei unikompartimenteller Gonarthrose. Orthopäde 38: 263-268

Sugioka Y, Hotokebuchi T, Tsutsui H (1992) Transtrochanteric anterior rotational osteotomy for idiopathic and steroid induced necrosis of the femoral head: Indications and long-term results. Clin Orthop 277: 111–120

Verheyden P, Josten C (1998) Supramalleoläre Korrekturosteotomien. Chirurg 69: 1178–1187

Waidelich HA, Strecker W, Schneider E (1992) Computertomographische Torsionswinkel- und Längenmessung an der unteren Extremität. RöFo 157: 245–251

Weber M, Ganz R (2002) Die Berner periazetabuläre Osteotomie. Operat Orthop Traumatol 14: 99–121

Teil III Zusatzwissen für den Klinikalltag

19 **Klinische Untersuchungstests – 1015**
F. Müller, C. Schuster, B. Weigel

20 **Sonografie der Stütz- und Bewegungsorgane – 1045**
W. Hartung, K. Lerch

21 **Standardzugänge in der Traumatologie – 1083**
B. Weigel, H. Aebert, M. Leunig, R. Ganz, S. Rammelt, C. Schuster, H. Zwipp

22 **Chirurgisches Handwerk – 1143**
B. Weigel

23 **Begutachtung – 1175**
B. Weigel

Klinische Untersuchungstests

F. Müller, C. Schuster, B. Weigel

19.1 Wirbelsäule – 1016
19.2 Thorax – 1018
19.3 Schultergürtel – 1018
19.4 Ellenbogen – 1024
19.5 Hand – 1025
19.6 Beckengürtel – 1030
19.7 Hüftgelenk – 1032
19.8 Oberschenkel – 1034
19.9 Kniegelenk – 1034
19.10 Unterschenkel – 1042
19.11 Fuß – 1042
Literatur – 1044

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_19,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

19.1 Wirbelsäule

Rumpfvorbeugetest

Der stehende Patient wird aufgefordert, sich bei durchgestreckten Knien nach vorne zu beugen und dabei seine Hände so weit wie möglich dem Boden zu nähern. Der Abstand zwischen Fingerspitzen und Boden wird mit einem Lineal gemessen oder grob abgeschätzt (Abb. 19.1). Er dient als unspezifisches Maß für die Flexionsfähigkeit der Lendenwirbelsäule, unspezifisch deshalb, weil diese auch von der Beweglichkeit der Hüftgelenke und der Dehnbarkeit der ischiokruralen Muskulatur abhängt. Zudem kann bei der Rumpfvorbeugung auch ein Rippenbuckel als Zeichen einer Skoliose offensichtlich werden.

Schober-Zeichen

Der Untersucher markiert mit einem Stift auf der Haut des stehenden Patienten den prominenten Dornfortsatz S1 und einen zweiten Punkt exakt 10 cm kranial davon. Anschließend wird der Patient aufgefordert, den Rumpf einschließlich Halswirbelsäule so weit wie möglich nach vorne zu beugen. Beim Vorbeugen sollte sich der Abstand der beiden markierten Punkte physiologisch um 5 cm vergrößern (Abb. 19.2). Der Test spiegelt die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule wider. Er wurde erstmals 1937 von Paul Schober (1865–1943) beschrieben.

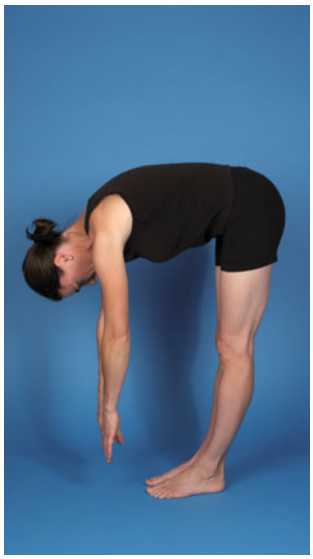


Abb. 19.1 Rumpfvorbeugetest

Abb. 19.2 Schober-Zeichen

Abb. 19.3 Lasègue-Test

Ott-Zeichen

Der Untersucher markiert mit einem Stift auf der Haut des stehenden Patienten den prominenten Dornfortsatz C7 oder T1 und einen zweiten Punkt exakt 30 cm kaudal davon. Anschließend wird der Patient aufgefordert, den Rumpf einschließlich Halswirbelsäule so weit wie möglich nach vorne zu beugen. Beim Vorbeugen sollte sich der Abstand der beiden markierten Punkte physiologisch um 2–4 cm verlängern. Der Funktionstest ist eine Orientierung für die Beweglichkeit der Brustwirbelsäule und wurde von Victor Rudolf Ott (1914–1986) beschrieben.

Lasègue-Test

In Rückenlage wird das im Kniegelenk gestreckte Bein durch den Untersucher langsam angehoben (Abb. 19.3). Normalerweise sollte in Abhängigkeit vom Alter und der Konstitution des Patienten eine Anhebung des gestreckten Beins bis zu einer Hüftbeugung von mindestens 60° und mehr möglich sein, ohne dass der Patient Schmerzen verspürt. Patienten mit akuter radikulärer Schmerzsymptomatik v.a. im Versorgungsgebiet der Nervenwurzel von L5 und S1 klagen häufig bereits schon bei 30°-Flexion über einen progressiven Schmerz. Die Patienten gleichen dann eine zunehmende Beugung des symptomatischen Beins in der Hüfte durch Anheben des Beckens aus oder sie steuern muskulär dagegen. Der Grad der Hüftbeugung bis zur initialen Schmerzangabe wird dokumentiert.

Pathomechanisch kommt es durch das Anheben des Beins zu einer Elongation und Translation der lumbosakralen Nervenwurzel bzw. des N. ischiadicus. Bei Vorliegen einer Nervenkompression z.B. durch einen akuten intraforaminalen Bandscheibenprolaps wird über die Stimulation von Rezeptoren zusätzlich eine Entzündungsreaktion ausgelöst, die dann radikuläre Schmerzen verursacht. Aufgrund einer deutlich geringeren Entzündungsreaktion bei chronischer Nervenwurzelkompression oder einer knöchernen Lumbalstenose kann der Untersuchungstest aber auch schwach positiv oder sogar negativ ausfallen. Eher langsam eintretende isolierte Schmerzen im Bereich des Oberschenkels oder der Kniekehle sind häufig auf eine verkürzte ischiokrurale Muskulatur zurückzuführen. Tumoren oder ein Piriformis-Syndrom können ebenfalls einen positiven Lasègue-Test implizieren.

Der Test wurde von Ernest-Charles Lasègue (einem der bekanntesten Psychiater Frankreichs im 19. Jahrhundert) selbst nie publiziert, sondern erst von einem seiner Schüler im Jahre 1881. In der angloamerikanischen Literatur wird dieser Test als »straight leg raising test« bezeichnet. Modifizierte Lasègue-Tests, z.B. das Anheben des gestreckten Beins in sitzender oder stehender Position des Patienten, ergeben keinen weiteren Vorteil und sind weniger aussagekräftig als der Lasègue-Test in liegender Position. Beim gekreuzten Lasègue-Test wird das asymptomatische Bein angehoben. Klagt der Patient über radikuläre Schmerzen im kontralateralen symptomatischen Bein, liegt meist ein ausgeprägter Bandscheibenprolaps vor.

Langsam einsetzende unspezifische Schmerzen im dorsalen Oberschenkelbereich oder der Kniekehle sind meist auf einen Dehnungsreiz der ischiokruralen Muskulatur zurückzuführen und werden als Pseudo-Lasègue bezeichnet.

Bragard-Test

Die Bestätigung eines positiven Lasègue-Zeichen kann durch den Test nach Bragard (nach dem Orthopäden Karl Bragard, 1890–1973) erfolgen. Hier wird das gestreckte Bein des liegenden Patienten nach

Erreichen der Schmerzgrenze wieder geringfügig bis zur Schmerzfreiheit abgesenkt und dann eine passive Dorsalextension im oberen Sprunggelenk vorgenommen (Abb. 19.4). Werden dadurch erneut radikuläre Schmerzen ausgelöst, liegt eine Nervenwurzelirritation vor. Synonym: Bragard-Gowers-Zeichen.

Differenzialtest nach Lasègue

In Rückenlage des Patienten wird das gestreckte Bein durch den Untersucher langsam bis zur Schmerzgrenze angehoben. Bei Erreichen der Schmerzgrenze wird dann lediglich das Kniegelenk gebeugt (Abb. 19.5). Liegt ein radikuläres Schmerzsyndrom vor, nimmt die radikuläre Schmerzintensität durch die Kniebeugung mit Entspannung des N. ischiadicus ab. Differenzialdiagnostisch kann durch diesen Test eine Hüftgelenkserkrankung (z.B. Koxarthrose) abgegrenzt werden, hier bleibt die Schmerzsymptomatik nach Kniebeugung unverändert bestehen.

Umgekehrter Lasègue

In Bauchlage des Patienten wird das Kniegelenk gebeugt und das Hüftgelenk gleichzeitig durch den Untersucher extendiert (Abb. 19.6). Radikuläre Schmerzen durch Zug am N. femoralis können ein Hinweis auf eine lumbale Wurzelkompression v.a. von L2, L3 und L4 sein. Differenzialdiagnostisch muss wiederum eine Hüftgelenkserkrankung oder eine Verkürzung der Oberschenkelstreckmuskulatur abgegrenzt werden. Alternativ kann das Hüftgelenk auch extendiert werden, während das Kniegelenk in Streckstellung bleibt. Dieser Test kann auch in Seitenlagerung des Patienten vorgenommen werden.

Thomson-Zeichen

In Bauchlage wird bei dorsal extendiertem Sprunggelenk lediglich das Kniegelenk gebeugt, der Oberschenkel bleibt in Ruhelage. In dieser Position wird mit der Hand des Untersuchers oberhalb der Kniekehle im Verlauf des N. ischiadicus Druck ausgeübt (Abb. 19.7). Werden hierdurch Schmerzen spontan ausgelöst oder verstärkt, liegt eine Nervenwurzelirritation v.a. im Versorgungsgebiet von L5 oder S1 vor. Bei Patienten mit Bandscheibenprolaps ist dieser Test meist positiv; allerdings können auch Missempfindungen ausgelöst werden, ohne dass eine radikuläre Irritation vorliegt. Auch hier bringen modifizierte Testveränderungen (z.B. zusätzliche Extension des Hüftgelenks und/oder stärkere Beugung des Kniegelenks über 90–120°) keinen weiteren Vorteil.

Kernig-Zeichen

Das Kernig-Zeichen gilt als positiv, wenn bei 60–90° Hüftbeugung (z.B. Sitzen am Bettrand oder bei angewinkeltem Bein im Liegen) der Unterschenkel im Kniegelenk schmerzbedingt nicht gestreckt werden kann. Es tritt z.B. bei Bandscheibenprolaps, entzündlichen oder tumorösen Wirbelsäulenprozessen, aber auch bei Meningismus auf. Wladimir Kernig (1840–1917) war Nervenarzt in St. Petersburg. Er publizierte im Jahre 1882 einen Artikel über ein Dehnungszeichen bei einer meningitischen Reizung.

Abb. 19.4 Bragard-Test

Abb. 19.6 Umgekehrter Lasègue

Abb. 19.5 Differenzialtest nach Lasègue

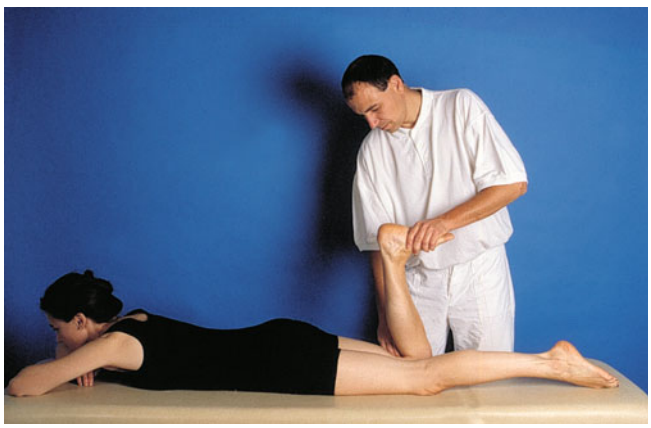


Abb. 19.7 Thomson-Test

Brudziński-Zeichen

Der Patient soll entspannt auf dem Rücken liegen. Wenn dann beim passiven Vorbeugen des Kopfs reflektorisch die Beine in den Knie- und Hüftgelenken angewinkelt werden, liegt ein positives Brudziński-Zeichen (Jozef von Brudziński 1874–1917). Mögliche Ursachen sind eine Meningitis, Enzephalitis oder Subarachnoidalblutung.

19.2 Thorax

Thoracic-outlet-Test nach Eden (Kostoklavikulartest)

Der Begriff Thoracic-Outlet-Syndrom fasst alle Kompressionssyndrome des neurovaskulären Bündels im Bereich der oberen Thoraxapertur zusammen. Den verschiedenen Kompressionsmechanismen entsprechend können in unterschiedlicher Ausprägung neurologische, arterielle oder venöse Symptome im Vordergrund stehen oder kombiniert auftreten.

Häufig ist es jedoch nicht möglich, die neurologische von der vaskulären Symptomatik zu differenzieren, da eine Verengung und Kompression im Bereich des Schultergürtels meist alle 3 Strukturen betrifft, wobei überwiegend die neurologische und viel seltener die vaskuläre Symptomatik im Vordergrund steht.

Bei dem Test nach Eden werden am stehenden oder sitzenden Patienten die Schulterblätter so weit wie möglich nach hinten geführt und die Arme nach unten gezogen (Abb. 19.8). Dieser Test weist auf ein positives Ergebnis hin, wenn sich ein Ausfall des Radialpulses und/oder das Auftreten neurologischer Symptome ergeben.

Thoracic-outlet-Test nach Roos

Bei diesem auch Elevated-arm-exercise-Test (EAST) genannten Test drückt der Patient beide Schultern so weit wie möglich nach dorsal und kaudal, gleichzeitig werden beide Arme abduziert und im Ellenbogengelenk gebeugt. Die Handflächen werden nach außen rotiert. In dieser Position sollte der Patient 3 min kräftige Faustschlussbewegungen ausführen (Abb. 19.9). Ein positives Ergebnis liegt vor, wenn typische Thoracic-outlet-Symptome auftreten, mit schneller Ermüdbarkeit und Schweregefühl des Arms, Schmerzen auf der Rückseite von Nacken und Schulter und sich entwickelnden Parästhesien in den Fingern mit Ausstrahlung in den Unterarm. Dabei kann das Hautkolorit des betroffenen Arms deutlich abblassen oder es kann sich livide verfärben. Patienten mit Thoracic-outlet-Syndrom lassen aber den Arm häufig verfrüht schmerzbedingt absinken.

19.3 Schultergürtel

Alle Funktionstests an den Extremitäten sollten im Seitenvergleich erhoben werden. Oft lassen sich nur auf diese Weise pathologische von physiologischen Befunden abgrenzen.

Fingerzeichen

Der Patient zeigt den Ort, an dem er Schmerzen verspürt, meist auf zwei Arten: Wenn der Schmerz eher oberflächlich und gut lokalisierbar ist, deutet der Patient mit dem Finger der kontralateralen Hand direkt darauf (Abb. 19.10). Meist ist dann das Akromioklavikulargelenk betroffen.

Handflächenzeichen

Liegt der Schmerz tiefer, also im Gelenk, und kann der Patient ihn nicht exakt lokalisieren, legt er die Handfläche des gesunden Arms auf das schmerzhafte Areal, um anzudeuten, in welchem Bereich er seine Beschwerden wahrnimmt (Abb. 19.11). Dieser Test ist häufig bei glenohumeralen oder subakromialen Pathologien positiv. Die Handfläche wird dann unter das Akromion auf den anterolateralen Aspekt des Schultergelenks gelegt.

Gelenkkapsel

Ein Kapselmuster gibt ein für jedes Gelenk individuelles und charakteristisches Muster an, in dem ein Gelenk typischerweise einsteift, wenn durch ein Krankheitsbild die Kapsel in ihrer Gesamtheit betroffen ist. Die Bewegungseinschränkung ist dabei von einem generierten Schmerz unabhängig. Die Bewegungsausmaße werden passiv getestet. Das Ausmaß der Einschränkung bestimmt die Ratio.

Das Glenohumeralgelenk steift bei einer degenerativen Erkrankungen folgendermaßen ein: Die Außenrotation stärker als die Abduktion und die wiederum stärker als die Innenrotation in einem Verhältnis von 3:2:1. Bei einem Kapselmuster des Glenohumeralgelenks ist die Außenrotation die am stärksten eingeschränkte Bewegung.

Abb. 19.8 Thoracic-outlet-Test nach Eden

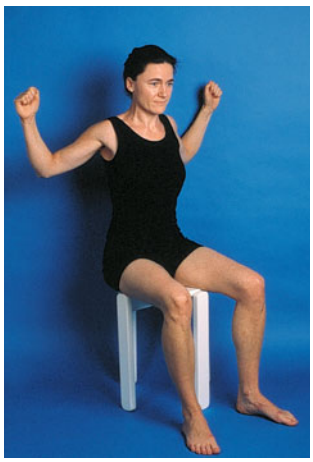


Abb. 19.9 Thoracic-outlet-Test nach Roos

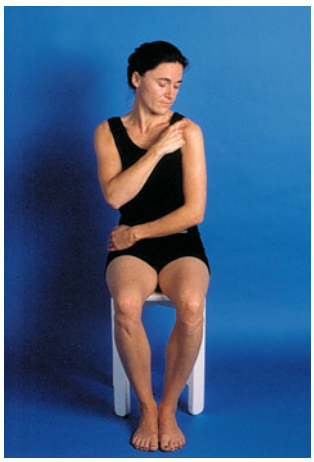


Abb. 19.10 Fingerzeichentest

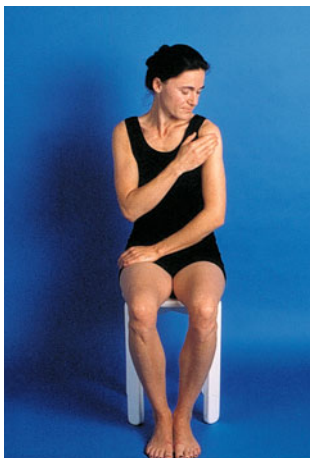


Abb. 19.11 Handflächenzeichentest

Findet man bei einem Patienten bei passiven Bewegungen im Seitenvergleich diese Bewegungseinschränkungen, dann liegt mit sehr großer Sicherheit ein Kapselmuster vor. Sind nicht alle Bewegungen eingeschränkt und nicht im oben genannten Verhältnis, liegt nicht unbedingt ein Kapselmuster vor. Ein positiver Test spricht für eine Arthrose oder Arthritis.

19.3.1 Akromioklavikulargelenk

Horizontaler Adduktionstest

Der Untersucher stützt mit einer Hand die gesunde Schulter des Patienten von dorsal, während er mit der anderen den horizontal antevertierten Arm der schmerzhaften Schulter zur Gegenseite drückt (Abb. 19.12). Der Test wird auch Cross-body-Test oder Cross-adduction-Test genannt. **Er ist positiv, wenn sich Beschwerden im Akromioklavikulargelenk provozieren lassen.** Die häufigste Ursache hierfür ist eine Arthrose dieses Gelenks. Beim modifizierten Test nach van Riet und Bell (2011) muss der Patient aus der horizontalen Adduktionsstellung heraus seinen Arm gegen den Widerstand des Untersuchers nach kranial führen.

Adduktionstest am hängenden Arm

Der Untersucher führt am stehenden Patienten den betroffenen Arm nach dorsal, zusätzlich wird eine passive Adduktion des Arms gegen den Widerstand des Patienten eingeleitet (Abb. 19.13).

19.3.2 Impingement

Der Begriff Impingement-Syndrom leitet sich aus dem Englischen to impinge ab, was anstoßen bzw. einklemmen bedeutet. Er ist der Sammelbegriff für schmerzhafte Veränderungen im subakromialen Raum, wobei zahlreiche Strukturen betroffen sein können:

- Rotatorenmanschette
- Lange Bizepssehne
- Bursa subacromiodeltoidea
- Akromion
- Ligamentum coracoacromiale
- Tuberculum minus und majus

Schmerzhafter Bogen (painful arc)

In stehender Position abduziert der Patient seinen Arm (Abb. 19.14). Der Test ist positiv, wenn etwa zwischen 50°- und 120°-Abduktion Schmerzen auftreten. Dies ist der Hauptbefund eines Impingement-Syndroms.

Impingement-Test nach Jobe

Der Untersucher fixiert von dorsal mit der einen Hand die ipsilaterale Skapula und das Korakoid. Mit der anderen dreht er den horizontal abduzierten Arm in eine Innenrotation. Dabei wird das Ellenbogengelenk 90° gebeugt, um den Unterarm als Hebel für die Innenrotation nutzen zu können (Abb. 19.15). Schmerzen im Schultergelenk deuten auf ein subkorakoidales Impingement hin.

Impingement-Test nach Hawkins und Kennedy

Der Untersucher fixiert wiederum von dorsal mit der einen Hand die ipsilaterale Skapula und das Korakoid des Patienten, mit der anderen dreht er den nun 90° antevertierten Arm in eine endgradige Innenrotation, wobei wiederum der Unterarm bei gebeugtem Ellenbogengelenk als Hebel benutzt wird (Abb. 19.16). Schmerzen im Schultergelenk deuten auf ein subakromiales Impingement hin.

Impingement-Test nach Neer

Der Untersucher steht hinter dem Patienten. Mit der einen Hand fixiert er die Skapula, mit der anderen rotiert er den Arm nach innen und adduziert ihn gleichzeitig in Nähe der Horizontalebene (Abb. 19.17). Dieser Test ist ebenfalls sehr gut geeignet, um ein Impingement-Syndrom festzustellen bzw. auszuschließen.

Impingement-Injektionstest nach Neer

Der Untersucher infiltriert ein Anästhetikum unter das Akromion in den subakromialen Raum (Abb. 19.18). Verschwindet oder bessert sich ein schmerzhafter Bogen nach der Injektion, dann spricht das für einen hier gelegenen Reizzustand, z.B. in Form einer Bursitis subacromiodeltoidea.

O'Brien Test

Der stehende Patient wird aufgefordert, den im Ellenbogen gestreckten Arm in 90°-Anteversion und 10–15° Horizontaladduktion nach vorne zu nehmen. Der Unterarm wird dann maximal proniert, sodass der Daumen nach unten gerichtet ist. Anschließend übt der Untersucher von dorsal eine von kranial nach kaudal

Abb. 19.12 Horizontaler Adduktionstest

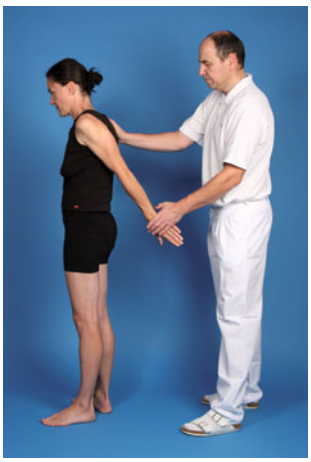


Abb. 19.13 Adduktionstest am hängenden Arm

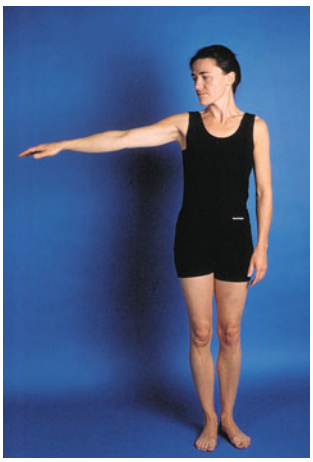


Abb. 19.14 Schmerzhafter Bogen

Abb. 19.15 Impingement-Test nach Jobe

Abb. 19.16 Impingement-Test nach Hawkins und Kennedy

Abb. 19.17 Impingement-Test nach Neer

Abb. 19.18 Impingement-Injektionstest nach Neer

gerichtete Kraft auf den Arm aus, und der Patient versucht die eingenommene Stellung des Schultergelenks bzw. des Arms zu halten (Abb. 19.19a). Die Untersuchung wird in Supinationsstellung wiederholt (Abb. 19.19b). Der Test ist positiv, wenn Schmerzen im AC-Gelenk ausgelöst werden, welche bei Neutral-0-Stellung erleichtert sind. Ein positiver Test spricht für eine Pathologie im Akromioklavikulargelenk oder SLAP-Läsion.

19.3.3 Rotatorenmanschette

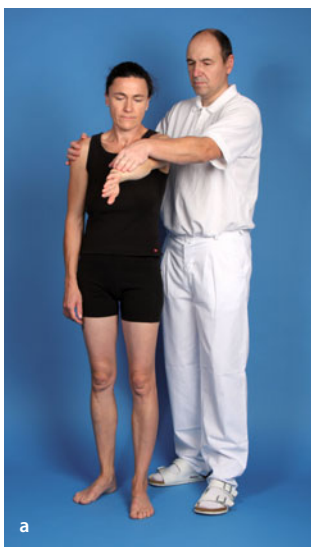
Supraspinatustest nach Jobe

Geprüft wird, ob die aktive Abduktion gegen Widerstand schmerzhaft ist. Der stehende oder sitzende Patient hält den im Ellenbogen gestreckten Arm in 45°-Abduktion, 30°-Anteversion im Schultergelenk sowie den Unterarm in Pronation (Daumen zeigt zum Boden). Anschließend wird vom Untersucher Druck von oben auf den Unterarm ausgeübt (Abb. 19.20). Ein Reizzustand oder eine Ruptur des M. supraspinatus liegt vor, wenn bereits Schmerzen während der Haltung des Arms gegen die Schwerkraft auftreten, die sich durch Druck von oben auf den Unterarm verstärken. Dass dieser Test gleichzeitig an beiden Armen durchgeführt werden kann, bietet den Vorteil eines direkten Seitenvergleichs. Beim einseitigen Vorgehen lässt sich dagegen das Ausmaß der möglichen Abduktion exakter einschätzen.

Zeigt der Daumen bei diesem Test nach unten (Pronation) erinnert die Haltung an das Ausschütten einer Kanne, woraus sich die angloamerikanische Namensgebung »empty can«-Variante ergibt (Abb. 19.20). In dieser Position sind die abduktorischen Komponenten des M. biceps brachii komplett sowie die des M. deltoideus größtenteils ausgeschaltet, wodurch eine isolierte Betrachtung der Funktion des M. supraspinatus möglich wird. Bei der »full can«-Variante wird der Unterarm leicht supiniert, sodass der Daumen nach oben zeigt. Ein positiver Test ist ein Hinweis auf eine Läsion der langen Bizepssehne.

Drop-arm-sign

Der Untersucher führt passiv den Arm des Patienten in 90- bis 120°-Abduktionsstellung (Abb. 19.21). Anschließend versucht der Patient ohne Unterstützung diese Position zu halten. Gelingt dies



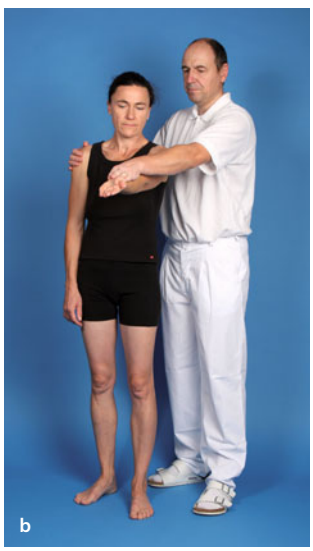


Abb. 19.19a,b O'Brien-Test

Abb. 19.20 Supraspinatustest nach Jobe

Abb. 19.21 Drop-arm-Test

Abb. 19.22 Außenrotationstest in 0°-Stellung, so genannter Starter-Test

Abb. 19.23 Außenrotationstest in 90°-Stellung nach Patte

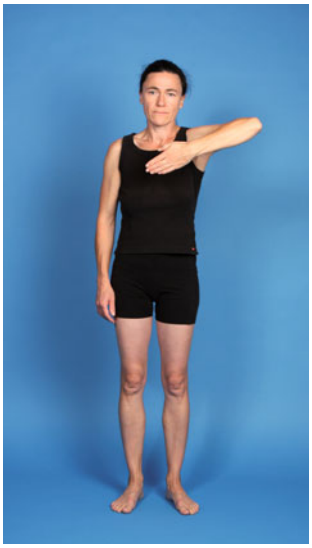


Abb. 19.24 Außenrotationstest, Horn-Blower-Zeichen, Walch-Test

nicht oder nur unter starken Schmerzen, spricht dies für einen Defekt im Bereich der Supraspinatussehne.

Außenrotationstest in 0°-Abduktion (Starter-Test)

Zur Überprüfung der Außenrotatoren (M. infraspinatus, M. teres minor, M. supraspinatus) hält der Patient den im Ellenbogengelenk um 90° gebeugten Arm am Körper und versucht, den Unterarm gegen den Widerstand des Untersuchers aktiv nach außen zu rotieren (Abb. 19.22). Schwäche und Schmerzen sprechen für eine Läsion der Außenrotatoren.

Außenrotationstest in 90°-Abduktion nach Patte

Um eine Beteiligung des M. deltoideus auszuschalten, sollte der Außenrotationstest auch in 90°-Abduktion und 30°-Anteversion (Skapulaebene) durchgeführt werden. Schmerzen oder abgeschwächte Außenrotationskraft weisen spezifisch auf eine Infraspinatus- oder Supraspinatusläsion hin (Abb. 19.23).

Außenrotationstest: Horn-Blower-Zeichen (Walch-Test)

Der Patient wird aufgefordert, seine Hand an den Mund zu führen. Muss der Patient hierbei den Ellenbogen höher nehmen als die Hand, liegen Rupturen der Mm. infraspinatus und teres minor vor, welche die Außenrotation in Abduktion verhindern (Abb. 19.24).

Innenrotationstest: Lift-off-Test nach Gerber

Geprüft wird die aktive Innenrotation gegen Widerstand. Hierzu hält der Patient den im Ellenbogen um 90° gebeugten Arm hinter dem Rücken und versucht, mit der Hand aktiv gegen den Widerstand des Untersuchers zu drücken, ohne sich dabei am Rumpf abzustützen (Abb. 19.25). Schmerzen oder Schwäche sprechen für eine Läsion des M. subscapularis.

Patienten mit Subskapularis-Insuffizienz benutzen u.U. eine Trickbewegung, um die Schwäche zu kompensieren, indem sie das Handgelenk am Rücken abstützen und flektieren.

Innenrotationstest: Innenrotations-Lag-Zeichen

Alternativ zu dem oben beschriebenen Innenrotationstest kann der Untersucher auch den Arm des Patienten passiv hinter dessen Rücken vom Rumpf weghalten. Dann wird der Patient aufgefordert, diese Position aktiv zu halten. Gelingt dies nicht und weicht der Arm zurück, spricht dies ebenfalls für eine Läsion des M. subscapularis. Generell gilt bei Lag-Tests: Der passiv in eine bestimmte Position gebrachte Arm kann aktiv nicht gehalten werden.

Abb. 19.25 Innenrotationstest, Lift-off-Test nach Gerber

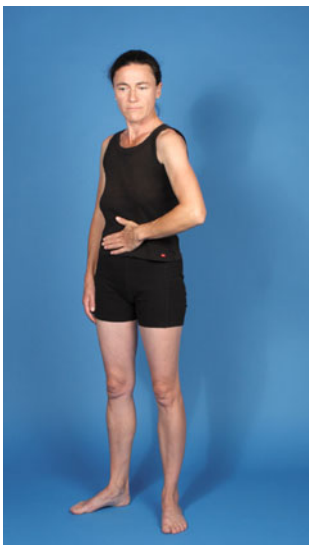


Abb. 19.26 Innenrotationstest: Napoleon-Zeichen, Belly-press-Test

Innenrotationstest: Napoleon-Zeichen (Belly-press-Test)

Der Patient drückt den im Ellenbogengelenk gebeugten Unterarm bei geradem Handgelenk gegen den Bauch und versucht, die Position des Ellenbogengelenks zu halten. Wenn bei diesem Versuch jedoch das Handgelenk abknickt und das Ellenbogengelenk nach vorne schwingt, ist dies ein Hinweis auf eine Subskapularisläsion (Abb. 19.26).

19.3.4 Lange Bizepssehne

Pathologien der langen Bizepssehne in Form einer Tendinitis oder von Pulley-Läsionen führen zu Schmerzen im Bereich des Sulcus bicipitalis am Humeruskopf. Dieser Schmerz verstärkt sich bei Außenrotation des im Ellenbogengelenk gegen Widerstand gebeugten Oberarms. Ein Grund für die Entstehung ist, dass die gespannte lange Bizepssehne eine Tendenz hat, bei kraftvollen Außenrotationen der Arme (Werfen, Kraulen) aus der von Bändern eingefassten Rinne zu luxieren, durch die sie läuft.

Yergason-Test

Der Arm des Patienten ist im Ellenbogen 90° gebeugt. Die Hand wird vom Untersucher gefasst, gleichzeitig tastet er den Sulcus intertubercularis. Der Patient versucht nun, den Unterarm gegen den Widerstand des Untersuchers aktiv zu supinieren, was zu einer Anspannung der langen Bizepssehne führt (Abb. 19.27). Der Test ist positiv, wenn die aktive Supination schmerzhaft ist. Der Test wurde von seinem Erstbeschreiber 1931 ungenau beschrieben und nicht illustriert. Dies erklärt, warum er in verschiedenen Lehrbüchern unterschiedlich erklärt und dargestellt ist. Fest steht aber, dass man damit nicht zwischen einer Tendinitis und einer manifesten Luxation differenzieren kann.

Palm-up-Test

Der Patient versucht den Arm in 90°-Abduktion, 30°-Horizontalflexion und Supination gegen den kaudal gerichteten Widerstand des Untersuchers zu halten (Abb. 19.28). Schmerzen im Sulcus intertubercularis sprechen für eine Affektion der langen Bizepssehne, sind aber auch bei Läsionen des Rotatorenintervalls positiv, wie auch bei Subakromialsyndromen. Der Schmerz sollte ventral oder entlang der langen Bizepssehne wahrgenommen werden. Bei anderen Lokalisationen ist von einem unspezifisch positiven Testergebnis auszugehen.

Schnapptest

Während die eine Hand des Untersuchers den Sulcus intertubercularis tastet, umfasst die andere den horizontal abduzierten und im Ellenbogen rechtwinklig gebeugten Arm des Patienten und führt wechselnde Rotationsbewegungen im Schultergelenk durch (Abb. 19.29). Lassen sich dadurch im Sulkus Schmerzen oder Schnappgeräusche auslösen, kann wiederum auf pathologische Veränderungen der langen Bizepssehne geschlossen werden.

19.3.5 Instabilität

Relocation-Test nach Jobe

Der Test wird am liegenden Patienten durchführt. Die Schulter wird so am Rand der Untersuchungsliege positioniert, dass der Arm frei beweglich ist, die Skapula dorsal aber noch auf der Untersuchungsliege aufliegt. Den Oberarm des Patienten stützt der Untersucher mit seinen Oberschenkel ab, damit der Patient die Schultermuskulatur entspannen kann. Zunächst wird der im Ellenbogengelenk gebeugte Arm des Patienten in Horizontalabduktionsstellung maximal außenrotiert (Abb. 19.30). Bei einer vorderen unteren Instabilität subluxiert der Humeruskopf bei endgradiger Außenrotation nach ventral, vermittelt durch den Zug der sich anspannenden Muskulatur, und der Patient bekommt Schmerzen. Nun drückt bzw. reponiert der Untersucher den Humeruskopf durch Schub nach dorsal, und der Patient wird dadurch wieder schmerzfrei. Ein positiver Test spricht für eine vordere untere Instabilität.

Apprehension-Test nach Rowe

Dieser Test ist einer der am häufigsten angewandten Tests zur Prüfung einer vorderen Schulterinstabilität. Am sitzenden, stehenden oder liegenden Patienten führt der Untersucher den betroffenen Arm in Abduktion, Hyperextension und Außenrotation, während die andere Hand die Skapula fixiert und von hinten oben Druck auf den Humeruskopf ausübt (Abb. 19.31). Der Test ist positiv, wenn eine unwillkürliche muskuläre Anspannung zur Verhinderung der Subluxation bzw. Luxation auftritt oder wenn der Patient ein Instabilitätsgefühl angibt. Das Auftreten von Schmerzen ist allein nicht positiv, da eine subakromiale Schmerzprovokation durch die Abduktion- und Außenrotation ausgelöst sein kann.

Abb. 19.27 Yergason-Test

Abb. 19.28 Palm-up-Test

Abb. 19.29 Schnapp-Test

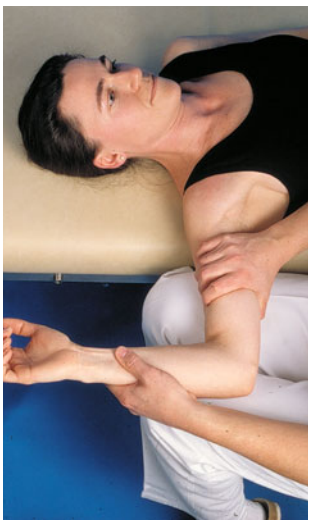


Abb. 19.30 Relocation-Test nach Jobe

Der englische Begriff apprehension wird in diesem Zusammenhang am besten mit Besorgnis oder Befürchtung übersetzt. Der Patient macht eine Ausweichbewegung und spannt aktiv muskulär gegen die Luxationsrichtung, die der Untersucher auslöst, weil er Schmerzen fürchtet, denn er kennt die Bewegungsrichtung, die Schmerzen verursacht, ganz genau und versucht sie zu vermeiden.

Reversed-relocation-Test

Der Relocation-Test kann auch als Reversed-relocation-Test durchgeführt werden. Dazu wird im Prinzip genauso vorgegangen wie oben beschrieben, mit dem Unterschied, dass von Anfang an Druck auf den Humeruskopf ausgeübt wird. Bei endgradiger Außenrotation wird dann vorsichtig dieser Schub nachgelassen und getestet, ob der Patient Schmerzen bekommt (Abb. 19.32). Wiederum spricht ein positiver Test für eine vordere untere Instabilität.

Fulcrum-Test

Beim Fulcrum-Test führt der Untersucher mit einer Hand eine Abduktions- und Außenrotationsbewegung am liegenden Patienten aus. Die andere Hand dient dabei als Widerlager unter dem proximalen Oberarm. Damit kann die Hebelwirkung verstärkt und zugleich eine vordere Subluxation provoziert werden.

Vordere Schublade nach Gerber-Ganz

Der Patient befindet sich in Rückenlage und die betroffene Schulter am Rand der Untersuchungsliege. Der Arm wird etwa 80° abduziert und kann zur Entspannung auf den Oberschenkeln des daneben sitzenden Untersuchers abgelegt werden. Der Untersucher fixiert dann mit einer Hand Korakoid und Schulterblatt und damit die Gelenkpfanne, mit der anderen den proximalen Oberarm. Nun wird getestet, ob der Humeruskopf in Relation zur Pfanne nach ventral versetzt werden kann (Abb. 19.33). Eine vorderer Instabilität liegt bei vermehrter Verschieblichkeit, Schmerzen, Krepitation oder Apprehension-Reaktion (s. Relocation-Test) des Patienten vor.

Werfer-Zeichen

Der Patient wird aufgefordert, eine Wurfbewegung auszuführen (Abb. 19.34). Der Test ist positiv, wenn dabei die dem Patienten wohlbekannten Schmerzen auftreten. Die Schmerzen resultieren aus einer Subluxation des Humeruskopfs, die allein durch die kombinierte Retroversion, Außenrotation und Abduktion entsteht, ohne dass der Untersucher dabei Widerstand geben muss. Dieser Test ist sehr sensitiv für eine vordere Instabilität.

Posteriorer Apprehension-Test

Der Patient nimmt für diesen Test die Rückenlage ein. Der Untersucher fasst den horizontal adduzierten und im Ellenbogengelenk 90° flektierten Arm des Patienten im Bereich des proximalen Unterarms und führt nun eine passive Horizontalflexion der Schulter herbei unter gleichzeitigem, nach posterior gerichtetem Schub. Mit der anderen Hand fixiert der Untersucher Korakoid und Schulterblatt (Abb. 19.35). Wiederum ist der Test bei pathologischer Verschieblichkeit, Schmerzen, Krepitation oder Apprehension-Reaktion des Patienten positiv.

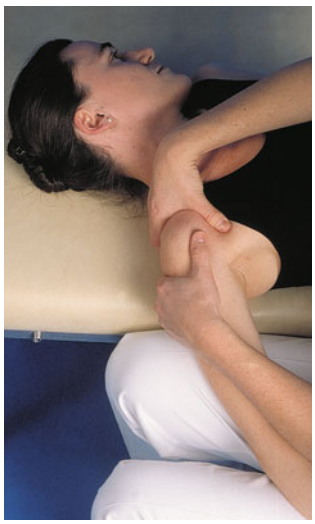


Abb. 19.33 Vordere Schublade nach Gerber-Ganz

Abb. 19.34 Werfer-Zeichen

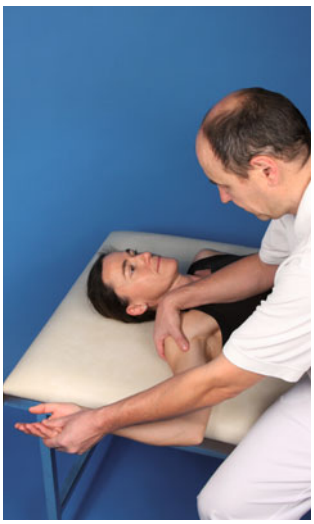


Abb. 19.31 Apprehension-Test nach Rowe

Abb. 19.32 Reversed-relocation-Test

Abb. 19.35 Posteriorer Apprehension-Test

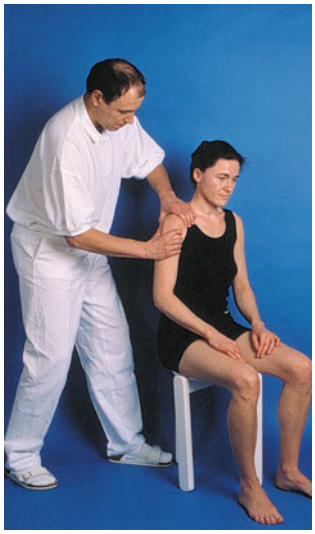


Abb. 19.36 Vordere und hintere Schublade

Abb. 19.37 Untere Schublade, Sulkus-Zeichen

Abb. 19.38 Thomson-Test

Abb. 19.39 Chair-Test

Wenn eine ausgeprägte Instabilität vorliegt und der Untersucher die Instabilitätsstests nicht vorsichtig durchführt, kann er eine Schulterluxation verursachen.

Vordere und hintere Schublade

Dieser Test wird am besten am sitzenden Patienten durchgeführt. Zur Stabilisierung der Gelenkpfanne umgreift der Untersucher von hinten mit einer Hand Korakoid und Skapula, mit der anderen den Humeruskopf und schiebt diesen nach ventral und dorsal (Abb. 19.36). Bei pathologischer Verschieblichkeit liegt eine vordere, hintere oder multidirektionale Instabilität vor.

Beim Ausführen der Schubladenbewegung ist es wichtig, den Bewegungsausschlag lotrecht zur Gelenkachse des Glenohumeralgelenks auszuführen. Dabei ist zu bedenken, dass diese Gelenkachse 30° antevertiert zur Frontalebene steht.

Untere Schublade, Sulkus-Zeichen

Der Untersucher stabilisiert hierfür von hinten mit der einen Hand die gegenüber liegende Schulter, mit der anderen zieht er die betroffene am distalen Oberarm nach unten (Abb. 19.37). Der Test ist positiv, wenn beim Tiefertreten des Oberarmkopfs eine deutliche Delle, in Form eines Sulkus, unterhalb des Akromion sichtbar oder palpierbar wird, was für eine Schulterinstabilität spricht. Der Test kann auch durch gleichzeitigen Zug an beiden Armen im direkten Seitenvergleich durchgeführt werden.

19.4 Ellenbogen

19.4.1 Epicondylitis

Epicondylitis humeri radialis

Bei der Epicondylitis humeri radialis handelt es sich um eine schmerzhafte Entzündung der Mm. extensor carpi brevis radialis und extensor digitorum communis im Bereich ihres aponeurotischen Ursprungs am lateralen Epikondylus. Alle Tests basieren auf einer Schmerzprovokation an typischer Stelle im Bereich des Epikondylus laterialis mit Ausstrahlung in den Ober- und Unterarm.

Abb. 19.40 Mill-Test

Thomson-Test

Der Patient versucht, bei maximal gestrecktem Ellenbogen gegen den Widerstand des Untersuchers eine Extension im Handgelenk durchzuführen (Abb. 19.38).

Chair-Test

Der Patient soll mit gestrecktem Ellenbogengelenk und proniertem Unterarm einen Stuhl anheben (Abb. 19.39).

Mill-Test

Supination gegen Widerstand aus leicht pronierter Stellung des Unterarms und gebeugtem Ellenbogen verursacht ebenfalls Schmerzen im Bereich des Epikondylus humeri radialis (Abb. 19.40).

Abb. 19.41 Varus- und Valgusstresstest

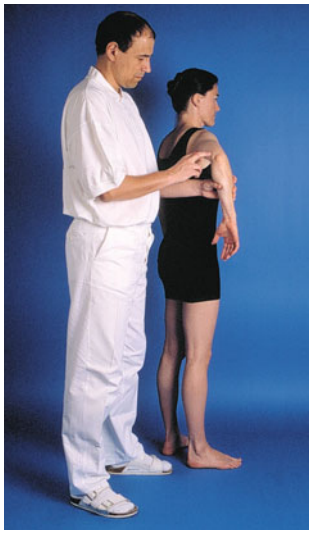


Abb. 19.42 Hoffmann-Tinel-Zeichen am Sulcus ulnaris

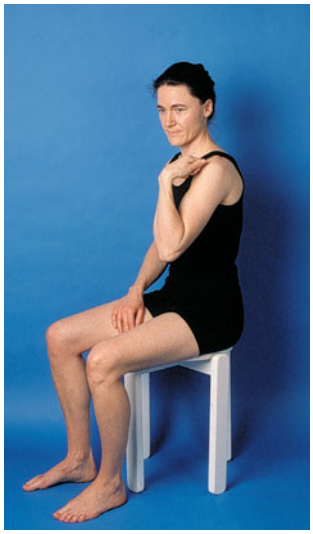


Abb. 19.43 Ellenbogenbeugetest

Abb. 19.44 Supinatorkompressionstest

Epicondylitis humeri ulnaris

Eine Epicondylitis humeri ulnaris (so genannter Golferellenbogen) mit Schmerzsymptomatik im Bereich des medialen Epikondylus wird mit ähnlichen Tests nachgewiesen wie der so genannte Tennisellenbogen, nur dass die gegenläufigen Bewegungsrichtungen untersucht werden. Typischerweise sind die Flexion des Handgelenks und die Pronation des Unterarms, jeweils gegen Widerstand getestet, schmerzhaft.

19.4.2 Instabilität

Varus- und Valgusstresstest

Der Patient hält den Arm gestreckt, während der Untersucher den Oberarm von medial stabilisiert und mit der anderen Hand durch Adduktion des Unterarms einen Varusstress auf das Ellenbogengelenk ausübt. Um einen Valgusstress zu erreichen, werden die Hände versetzt und der Oberarm thoraxwärts gedrückt, unter gleichzeitiger Abduktion des Unterarms (Abb. 19.41). Die Stabilität der medialen und lateralen Kollateralbänder lässt sich am besten im Seitenvergleich erfassen und sollte in Ellenbogenstreckung sowie in 30°-Beugung geprüft werden. Nach stattgehabter Luxation und Reposition wird auch die Stabilität in sagittaler Richtung nach dorsal und ventral untersucht, um eine potenzielle Reluxationstendenz zu erkennen.

19.4.3 Engpass-Syndrome

Hoffmann-Tinel-Zeichen am Sulcus ulnaris

Der Untersucher fasst den Arm des Patienten und klopft mit einem Finger vorsichtig auf den Sulcus ulnaris (Abb. 19.42). Lassen sich dadurch im Seitenvergleich elektrisierende Missempfindungen auslösen, spricht dies für eine Entzündung, Verletzung, narbige Verwachsung oder eine Druckschädigung des N. ulnaris in diesem Bereich.

Ellenbogenbeugetest

Das Ellenbogengelenk wird bei maximal flektiertem Ellenbogen- und Handgelenk etwa 5 min lang maximal gebeugt (Abb. 19.43). Bei pathologischen Veränderungen im Sulkus entstehen durch die Dehnung des N. ulnaris Parästhesien.

Supinatorkompressionstest

Der Untersucher tastet mit der einen Hand die Rinne des M. extensor carpi radialis unterhalb der Ellenbogenbeuge, mit der anderen setzt er der aktiven Pronation und Supination Widerstand entgegen (Abb. 19.44). Schmerzen, die sich bei Pro- und Supination verstärken, deuten auf eine Einengung des R. profundus n. radialis im Radialistunnel oder im Supinatorkanal hin. Man spricht deshalb vom Supinatorsyndrom (▶ Kap. 6, Arm). Der Radialistunnel reicht vom Epicondylus humeri radialis bis zum Abgang des R. profundus in den M. supinator, während die Strecke im M. supinator als Supinatorenkanal bezeichnet wird.

19.5 Hand

19.5.1 Instabilität der Handwurzel

Skaphoid-shift-Test nach Watson

Der Untersucher umgreift das Handgelenk des Patienten und übt mit dem Daumen Druck auf das Tuberkulum des Skaphoids von palmar aus. Gleichzeitig wird die Hand des Patienten von ulnar nach radial geführt. Dabei wandert das Skaphoid von der Extensionsstellung in die Flexionsstellung (Abb. 19.45). Im Fall einer skapholunären Bandzerreißung kommt es zu einem schmerzhaften Impingement mit der dorsalen Radiuskante. Der Patient gibt Schmerzen im dorsalseitigen skapholunären Gelenkspalt an.

Skapholunärer und lunotriquetraler Ballotement-Test

Das Skaphoid und das Lunatum werden jeweils zwischen Daumen und Zeigefinger des Untersuchers fixiert und gegeneinander rasch in dorsopalmarer Richtung verschoben, wobei man eine etwaige schmerzhafte Instabilität des skapholunären Gelenks feststellen kann (Abb. 19.46a). Dieser Test sollte immer im Seitenvergleich durchgeführt werden. Analog dazu wird mit dem lunotriquetralen Ballotement-Test eine Instabilität zwischen Lunatum und Triquetrum untersucht (Abb. 19.46b).

Shear-Test nach Kleinman

Bei gebeugtem Ellbogengelenk des Patienten fixiert der Untersucher mit dem Daumen der einen Hand das Lunatum des Patienten dorsalseitig, knapp distal der Radiuskante, und drückt mit dem Daumen der anderen Hand das Os pisiforme von palmar nach dorsal (Abb. 19.47). Schmerzen weisen auf eine lunotriquetrale Instabilität hin.

Abb. 19.45a,b Skaphoid-shift-Test nach Watson

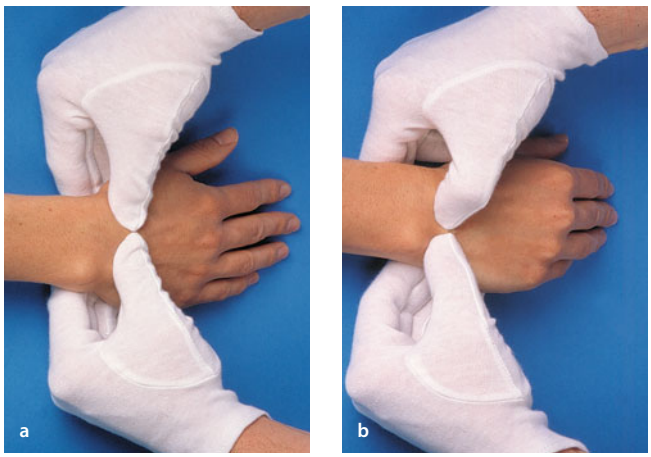


Abb. 19.46a,b Skapholunärer und lunotriquetraler Ballotement-Test

Abb. 19.47 Shear-Test nach Kleinman

19.5.2 Handfunktion

M. flexor-digitorum-superficialis-Test

Die Sehnen des M. flexor digitorum superficialis setzen an den Mittelphalangen der Finger D2–D5 an. Der Untersucher fixiert die benachbarten Finger des Patienten in Streckstellung und lässt nur den verletzten Finger frei (Abb. 19.48). Anschließend soll der Finger im Mittelgelenk gebeugt werden, was nicht gelingt, wenn die oberflächliche Beugesehne durchtrennt ist.

M. flexor-digitorum-profundus-Test

Der M. flexor digitorum profundus gehört zur tiefen Schicht der Unterarmbeuger mit Ansatz an der Basis der Endphalanx des 2.–5. Fingers. Der Untersucher fixiert das proximale Interphalangealgelenk an dem Finger, dessen Funktion überprüft werden soll. Der Patient wird nun aufgefordert, den betroffenen Finger zu beugen (Abb. 19.49). Kann das Endgelenk nicht aktiv gebeugt werden, liegt eine Läsion der tiefen Beugesehne vor. Differenzialdiagnostisch muss bei entsprechenden Gelenkveränderungen an eine arthrotische Versteifung gedacht werden.

Radialistest

Der Patient soll bei 90°-gebeugtem Ellenbogengelenk das Handgelenk strecken, was bei einer proximalen Radialislähmung nicht möglich ist (Abb. 19.50). Man spricht deshalb von der so genannten Radialis-Fallhand.

Abb. 19.48 M. flexor-digitorum-superficialis-Test

Abb. 19.49 M. flexor-digitorum-profundus-Test

Medianustests

Der Patient wird aufgefordert, den Daumen und den Kleinfinger zusammenzuführen. Dies gelingt bei einer tiefen Parese des N. medianus aufgrund des Ausfalls des M. opponens pollicis nicht (Abb. 19.51a). Bei einer hohen Medianuslähmung können je nach Anteil der Medianusinnervation der Fingerflexoren die Finger D1–D3 nicht gebeugt werden. Es resultiert die so genannte Schwurhand (Abb. 19.51b) oder, von der Seite betrachtet, eine Affenhand. Bei Lähmung des N. interosseus anterior fallen die Mm. flexor pollicis longus und flexor digitorum superficialis des Zeigefingers und z.T. auch des Mittelfingers aus, sodass ein normaler Spitzgriff nicht mehr möglich ist. Es entsteht das so genannte Interosseus-anterior-Syndrom. Mit Daumen und Zeigefinger kann dann kein Kreis mehr gebildet werden (Abb. 19.51c).

Ulnaristests

Bei einer tiefen Ulnarislähmung können der Ring- und Kleinfinger im Grundgelenk nicht gebeugt werden. Daraus resultiert eine stärkere Krallenstellung von D4 und D5 mit Beugung der Endglieder (Abb. 19.52a). Eine Krallenstellung sämtlicher Langfinger mit typischer Atrophie des Thenars und der Handbinnenmuskulatur sieht man bei einer kombinierten Medianus-ulnaris-Lähmung. Der Patient soll mit dem Spitzgriff von Daumen und Zeigefinger ein Blatt halten, während der Untersucher einen Gegenzug ausübt. Bei Ausfall oder Schwäche des vom N. ulnaris innervierten M. adductor pollicis und M. interosseus dorsalis I wird das Interphalangealgelenk des Daumens gebeugt. Man spricht vom so genannten Froment-Zeichen (Abb. 19.52b). Bei einer N.-ulnaris-Läsion können wegen des Ausfalls der Mm. interossei weder der Zeigefinger durch den Mittelfinger überkreuzt (Abb. 19.52c) noch der Zeigefinger und der Kleinfinger zusammengebracht werden (Abb. 19.52d).

19.5.3 Engpass-Syndrome

Hoffmann-Tinel-Zeichen am Handgelenk

Der Untersucher klopft in Höhe der Handgelenkbeugefalte mit seinem Mittelfinger auf den N. medianus. Dazu wird die Hand bei Neutralstellung im Handgelenk auf einer ebenen Unterlage gelagert (Abb. 19.53). Elektrisierende Missempfindungen in den vom N. medianus innervierten Fingern können auf ein Karpaltunnelsyndrom hindeuten (▶ Kap. 7, Hand).

Phalen-Zeichen

Der Patient wird aufgefordert, mit beiden Händen eine Handgelenkbeugung durchzuführen und durch Aneinanderlegen der Handrücken diese Stellung etwa 1 min lang zu halten (Abb. 19.54a). Parästhesien deuten ebenfalls auf ein Karpaltunnelsyndrom hin (▶ Kap. 7, Hand). Der Test ist, wenn z.B. ein Beugedefizit vorliegt, auch in umgekehrter Stellung bei maximaler Extension der Handgelenke durchführbar und aussagekräftig (Abb. 19.54b).

Nur wenn Schmerzen auftreten, ist der Test eindeutig positiv, denn Parästhesien allein bekommt u.U. auch ein Gesunder.

Finkelstein-Test

Der Patient macht eine Faust unter Einschluss des Daumens. Anschließend soll er das Handgelenk flektieren und ulnar abduzieren (Abb. 19.55). Schmerzen und Krepitationen in den Sehnenfächern der Mm. abductor pollicis longus und extensor pollicis brevis weisen auf eine akute oder chronische Tendovaginitis (de Quervain) hin. Differenzialdiagnostisch kommt ein so genanntes

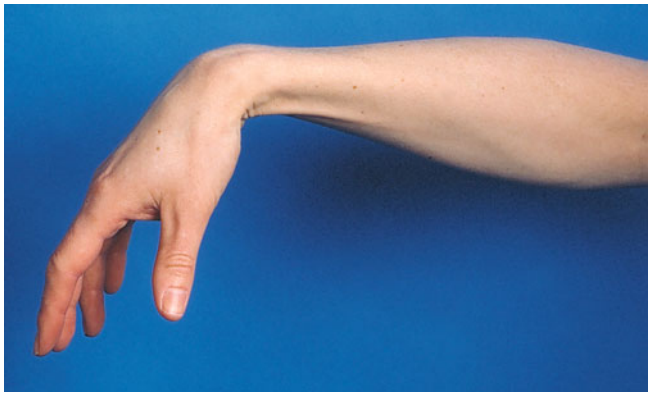
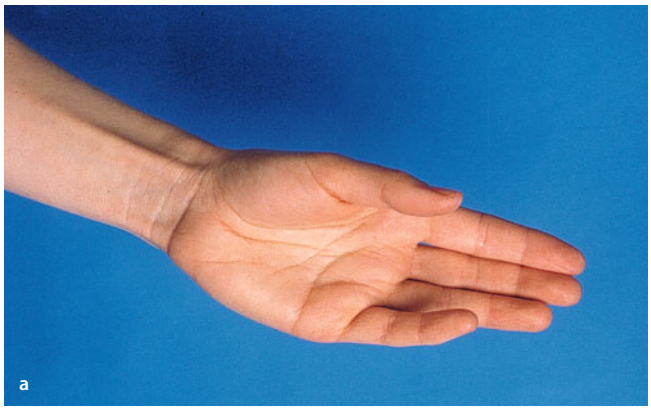
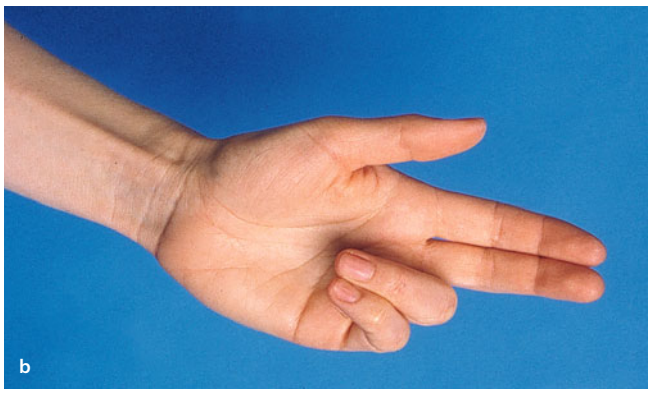


Abb. 19.50 Radialis-Fallhand





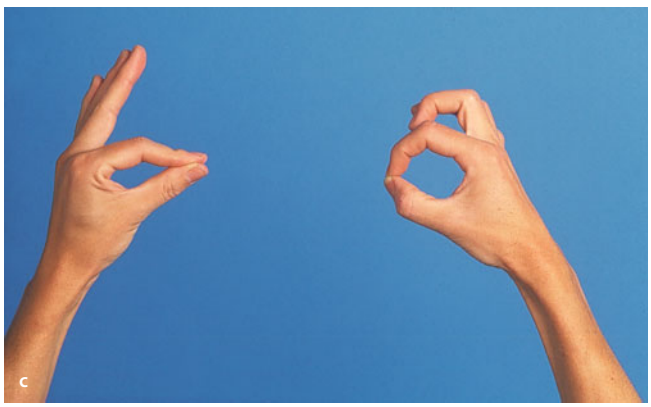
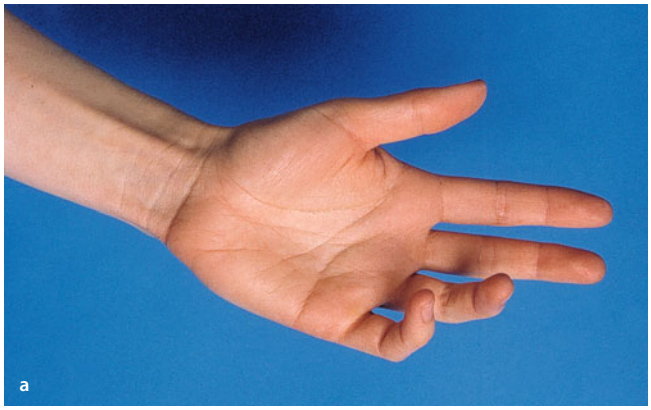
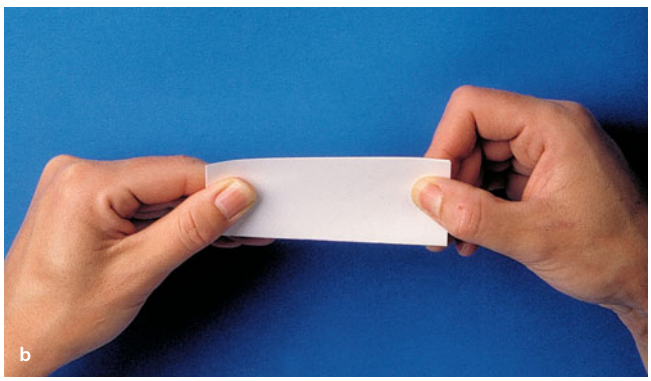
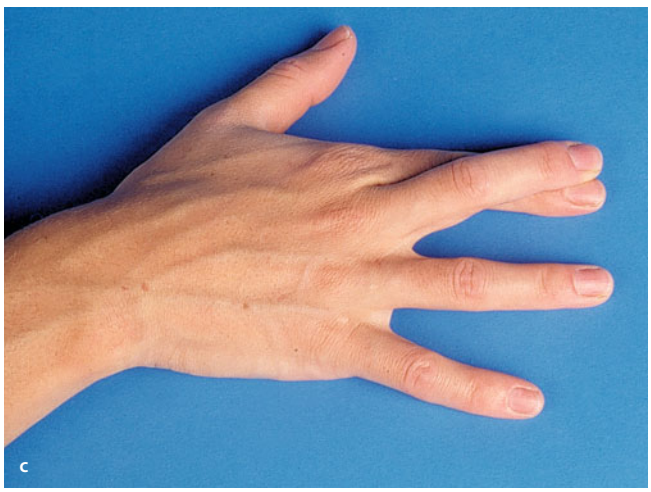


Abb. 19.51a–c Medianustest







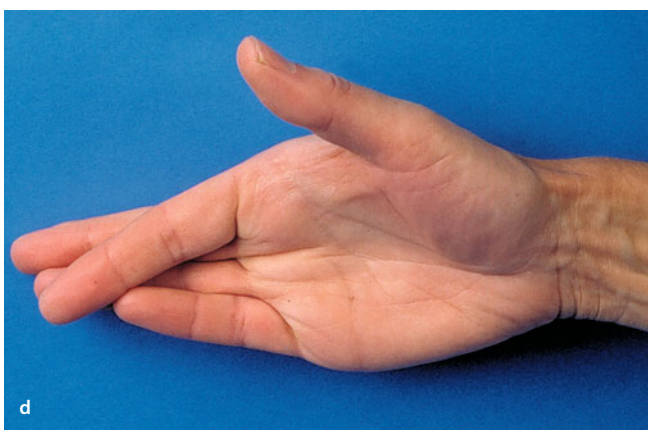


Abb. 19.52a–d Ulnaristests

Abb. 19.53 Hoffmann-Tinel-Zeichen am Handgelenk

Abb. 19.54a,b Phalen-Zeichen

Abb. 19.55 Finkelstein-Test

Abb. 19.56 Wartenberg-Syndrom

Wartenberg-Syndrom in Betracht (▶ Kap. 7, Hand). Dann liegt der Durckschmerz allerdings weiter proximal und man kann keine Krepitation palpieren.

Wartenberg-Syndrom

Unter Wartenberg-Syndrom versteht man einen Druckschmerz durch die Kompression des R. superficialis nervus radialis durch den Rand des M. brachioradialis am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel des Unterarms mit einem positiven Hoffmann-Tinel-Zeichen (Abb. 19.56).

19.5.4 Durchblutung der Hand

Allen-Test

Mit dem Allen-Test können die Durchblutungsverhältnisse an der Hand überprüft werden. Zunächst werden sowohl die A. radialis als auch die A. ulnaris gleichzeitig komprimiert (Abb. 19.57a). Daraufhin wird die Hand vom Patienten blutleer gepumpt (Abb. 19.57b), wonach die geöffnete Hand blass erscheint (Abb. 19.57c). Anschließend werden die beiden Arterien einzeln freigegeben (Abb. 19.57d,e), wodurch die Durchgängigkeit überprüft werden kann. Beide Arterien sind nacheinander in gleicher Weise zu überprüfen.

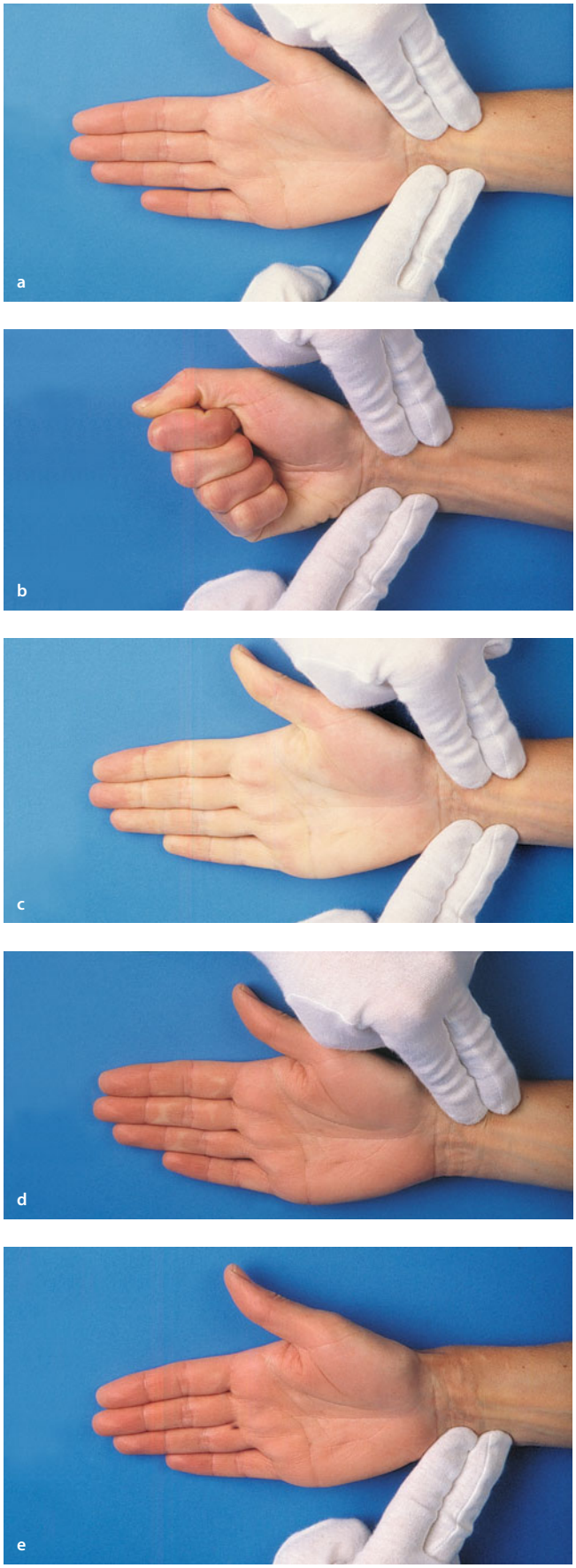


Abb. 19.57a–e Allen-Test

19.6 Beckengürtel

Vorlaufphänomen im Stehen

Die Daumen des Untersuchers palpieren beide Spinae iliacae posteriores superiores des Patienten, der mit dem Rücken zum Untersucher steht (Abb. 19.58a). Während sich der Patient mit gestreckten Kniegelenken langsam nach vorne beugt, wird die Stellung beider Spinae verfolgt. Bei freier Beweglichkeit der Iliosakralgelenke stehen die Darmbeinstacheln am Ende der Rumpfbeuge ebenso wie beim Beginn in gleicher Höhe (Abb. 19.58b). Ist eines der beiden Iliosakralgelenke versteift oder blockiert, wandert die Spina iliaca posterior superior mit dem Sakrum im Vergleich zur Gegenseite um 1–3 cm weiter nach kranial, was als Vorlaufphänomen bezeichnet wird.

Ein Beckenschiefstand durch Beinlängendifferenz muss vor dem Test durch Unterlegen von Brettchen unter das verkürzte Bein ausgeglichen werden, damit die Spinae in der Ausgangsstellung auf gleicher Höhe stehen.

Abb. 19.58a,b Vorlaufphänomen im Stehen

Vorlaufphänomen im Liegen

Der Untersucher umfasst beide distale Unterschenkel des auf dem Rücken liegenden Patienten, palpiert mit den Daumen den Unterrand der Innenknöchel und richtet die Beine so aus, dass sie gerade liegen, sodass die Innenknöchel auf gleicher Höhe stehen (Abb. 19.59a). Anschließend soll sich der Patient aufsetzen (Abb. 19.59b). Nun wird erneut die Beinlänge geprüft. Ein positiver Test liegt vor, wenn auf der Seite eines blockierten Iliosakralgelenks das Bein beim Aufrichten kürzer wird.

Iliumdrucktest

Bei Seitenlagerung des Patienten legt der Untersucher beide Hände auf das Darmbein der erkrankten Seite und übt einen axialen Druck aus (Abb. 19.60). Ein positiver Test liegt vor bei Schmerzen oder Schmerzverstärkung in den Iliosakralgelenken.

Iliosakraldehntest

Der Untersucher übt mit seinen überkreuzten und im Ellenbogen gestreckten Armen Druck auf beide Spinae iliacae anteriores superiores des auf dem Rücken liegenden Patienten aus (Abb. 19.61). Verspürt der Patient Schmerzen in der Iliosakralregion oder lässt sich der Beckenring aufklappen, spricht dies für eine Instabilität.

Abduktionsbelastungstest

Der seitlich liegende Patient winkelt das tischnahe Bein leicht ab und stabilisiert dadurch seine Lage. Dann spreizt er das andere Bein gegen den Widerstand des Untersuchers in gestreckter Stellung (Abb. 19.62). Bei irritiertem Iliosakralgelenk lassen sich mit diesem Test Schmerzen provozieren.

Kann das Bein ohne Angaben von Schmerzen nicht oder nur gering abduziert werden, spricht dies für eine Glutealinsuffizienz.

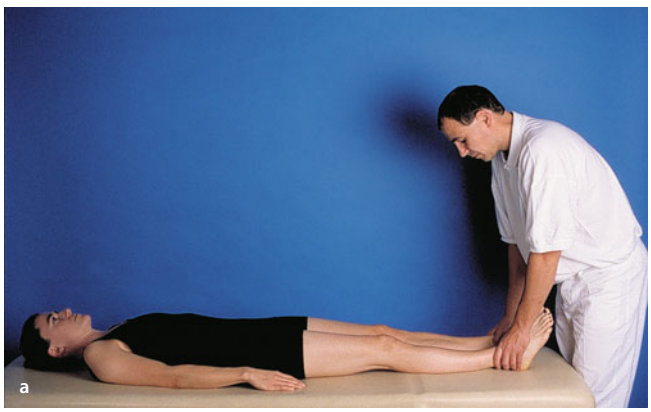


Abb. 19.59a,b Vorlaufphänomen im Liegen

Abb. 19.60 Iliumdrucktest

Ligamente des Beckenrings

Die 3 wichtigsten Bänder des Beckenrings sind die Ligamenta sacrotuberale, sacrospinale und iliolumbale. Ob eine Verkürzung dieser Strukturen vorliegt, wird in Rückenlage des Patienten geprüft. Dazu beugt der Untersucher das Bein jeweils im Knie- und Hüftgelenk maximal an und führt es zur Beurteilung der Dehnbarkeit des Ligamentum sacrotuberale zur ipsilateralen Schulter (Abb. 19.63), für das Ligamentum sacrospinale zur kontralateralen Schulter (Abb. 19.64) und für das Ligamentum iliolumbale zum kontralateralen Hüftgelenk (Abb. 19.65). Dehnungsschmerzen können für eine funktionelle Verkürzung der betroffenen Ligamente sprechen.

Gaenslen-Test

Der Patient befindet sich in Rückenlage und das zu beurteilende Iliosakralgelenk wird so gelagert, dass es über die Untersuchungsliege hinausragt. Dann beugt der Untersucher das Bein dieser Seite im Hüft- und Kniegelenk maximal, stabilisiert mit seiner freien Hand die kontralaterale Beckenschaufel des Patienten und

Abb. 19.61 Iliosakraldehntest

Abb. 19.64 Beckengürteltest Ligamentum sacrospinale

Abb. 19.62 Abduktionsbelastungstest

Abb. 19.65 Beckengürteltest Ligamentum iliolumbale

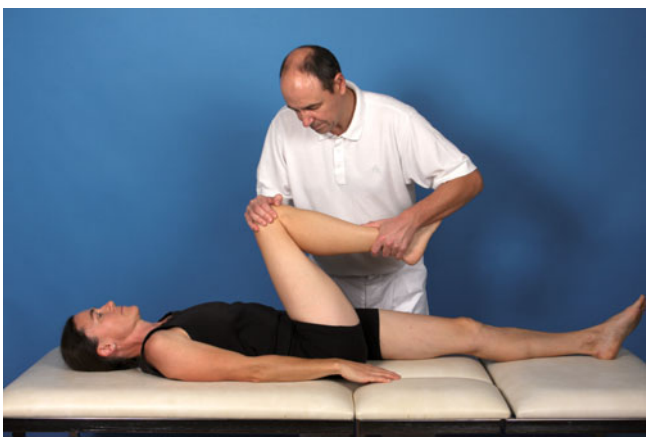


Abb. 19.63 Beckengürteltest Ligamentum sacrotuberale

Abb. 19.66 Gaenslen-Test

Abb. 19.67 Ober-Zeichen

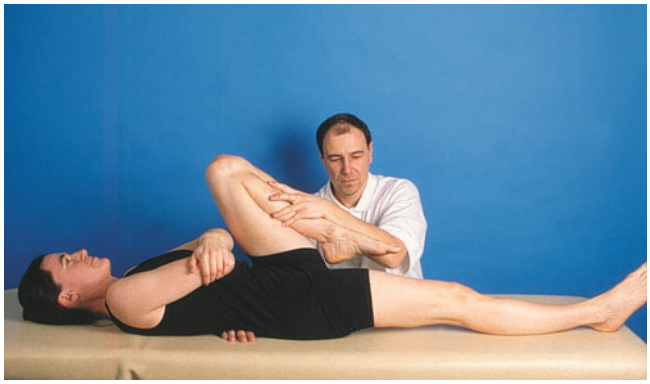


Abb. 19.68 Thomas-Handgriff

drückt mit der anderen Hand das gebeugte Kniegelenk nach dorsal. Schmerzen im Iliosakralgelenk sprechen für akute oder chronische Veränderungen (Abb. 19.66).

Ober-Zeichen

Der Patient befindet sich in stabiler Seitenlage. Der Untersucher stützt mit einer Hand das Becken von dorsal, mit der anderen Hand hält er das oben befindliche Bein bei Hüftstreckung und -abduktion. Wenn der M. tensor fasciae latae kontrakt ist, kann das Bein aus dieser Position nicht adduziert werden (Abb. 19.67).

19.7 Hüftgelenk

Kapselmuster

Ein bei passiver Bewegung auftretender Gelenkschmerz deutet darauf hin, dass dieser durch Dehnung der Kapsel entsteht. Man spricht dann vom so genannten Kapselmuster. Dagegen stammt der bei aktiver Bewegung auftretende Schmerz aus der Muskulatur und den Sehneninsertionen. Das Kapselmuster, das im Gefolge eines intraartikulären Reizzustandes, also bei Arthrose oder Arthritis, auftritt, schränkt Innenrotation, Flexion, Abduktion, Extension und Außenrotation ein.

Beim Kapselmuster des Hüftgelenks ist die Einschränkung der Innenrotation am ausgeprägtesten.

Thomas-Handgriff

Eine Beugekontraktur der Hüfte mit mehr oder weniger ausgeprägtem Streckdefizit kann durch eine vermehrte Lordosierung der Lendenwirbelsäule verschleiert werden. Dann scheint die Hüfte des auf dem Untersuchungstisch liegenden Patienten in Streckstellung zu stehen. Wird nun das kontralaterale Bein so weit gebeugt, dass die Lordose der Lendenwirbelsäule ein normales Maß erreicht, was bei einer Beckenkippung von etwa 10° nach ventral der Fall ist und durch die zwischen Untersuchungsliege und Lendenwirbelsäule geschobene Hand überprüft werden kann, dann lässt sich das wahre Ausmaß einer etwaigen Beugekontraktur einschätzen (Abb. 19.68).

Trendelenburg-Zeichen

Der Patient wird aufgefordert, das Bein der nicht betroffenen Seite unter Beugung im Knie und Hüftgelenk anzuheben (Abb. 19.69). Sinkt dabei das Becken der ipsilateralen Seite ab, spricht dies

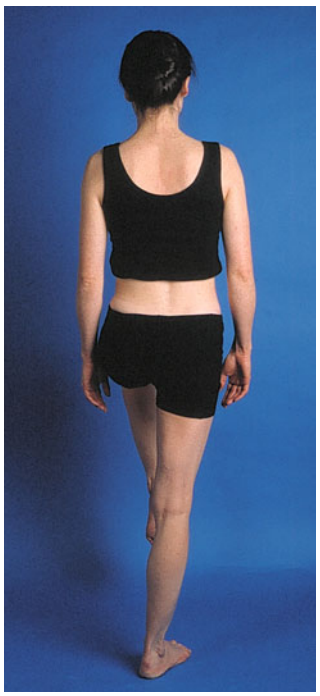


Abb. 19.69 Trendelenburg-Zeichen

dafür, dass die Mm. glutei mediales und Mm. glutei minimi kontralateral zu schwach sind, um das Becken stabilisieren und gerade halten zu können. Die Folge ist, dass das Becken in der Horizontalebene abkippt. Für dieses Abkippen können folgende Ursachen in Betracht kommen:

- Abgelöste gluteale Muskulatur (z.B. nach Hüfttotalendoprothese)
- Offset-Verlust nach sekundären Einsinken eine prothetischen Hüftschaftkomponente
- Muskelatrophie
- Epiphysiolysis capitis femoris
- Angeborene Hüftdysplasie
- Schwere Form einer Perthes-Legg-Calvè-Erkrankung

Das Trendelenburg-Zeichen ergibt sich aus einem statischen Untersuchungstest, das so genannte Duchenne-Hinken aus einem funktionell-dynamischem Bewegungsablauf.

Abb. 19.70 Drehmann-Zeichen

Abb. 19.72 Viererzeichen, Patrick-Faber-Test

Abb. 19.71 Axialer Beinstauchungsschmerz

Abb. 19.73 Impingement-Test kraniomediales Hüftgelenk

Drehmann-Zeichen

Bei diesem nach Gustav Drehmann (1869–1932) benannten Test umgreift der Untersucher mit der einen Hand die Kniekehle, mit der anderen den Fuß und beugt dann das Hüft- und Kniegelenk (Abb. 19.70). Kommt es mit zunehmender Flexion im Hüftgelenk zu einer zwangsweisen Außenrotation des Beins im Hüftgelenk, liegt eine Hüftgelenkserkrankung vor. Ein positiver Test bei Erwachsenen wird meist durch eine Koxarthrose oder Koxitis verursacht.

Ein positives Drehmann-Zeichen bei Kindern ist nahezu pathognomonisch für eine Epiphysiolysis capitis femoris.

Axialer Beinstauchungsschmerz

Das erkrankte Bein wird im Knie gebeugt und in der Hüfte außenrotiert, wobei der Außenknöchel oberhalb der Kniescheibe des anderen Beins zu liegen kommt. Der Untersucher umfasst nun Oberschenkel und Knie von oben bzw. distal und staucht das Bein axial in Richtung Hüftpfanne (Abb. 19.71). Lassen sich dadurch Schmerzen provozieren, deutet dies wiederum auf eine Hüftgelenkserkrankung hin.

Viererzeichen, Patrick-Faber-Test

Das Bein wird gelagert wie für den axialen Beinstauchungstest beschrieben. Das gebeugte Bein wird dann entweder nach außen fallen gelassen oder aktiv nach außen geführt (Abb. 19.72). Beim Gesunden erreicht das Knie bei aktiver oder passiver Abspreizbewegung fast die Unterlage. Der Test ist positiv, wenn die Außenrotation im Seitenvergleich deutlich eingeschränkt ist, meist kombiniert mit Schmerzen im Hüftgelenk und der Leiste, was für eine Koxarthrose, Koxitis oder einen Morbus Perthes spricht. Zudem können auch Schmerzen im Bereich des Iliosakralgelenks oder der Symphyse provoziert werden.

Impingement-Test nach MacDonald und Ganz

Bei einem femoroacetabulären Impingement (FAI) als Ursache für eine frühzeitige Koxarthrose kommt es zu einem knöchernen Kontakt zwischen dem gelenknahen Anteil des Femurs und der Hüftpfanne. Ursache dieser Schmerzen kann ein mechanischer Konflikt zwischen dem vorderen Pfannenrand am Becken oder dem Labrum und dem vorderen Schenkelhals sein. Grundsätzlich wird zwischen dem Pincer-FAI und dem Cam-FAI unterschieden. Beim Pincer-FAI resultiert das Impingement durch eine Retrotorsion der Hüftpfanne oder eine zu stark ausgeprägte Überdachung. Bei der Cam-Deformität ist die Taillierung des Schenkelhalses zu wenig ausgeprägt.

Am liegenden Patienten wird das Hüftgelenk zunächst bis 90° gebeugt. Anschließend wird unter weiter zunehmender Hüftbeugung eine forcierte Adduktion und Innenrotation durchgeführt. Lassen sich auf diese Weise Schmerzen provozieren, ist das ein

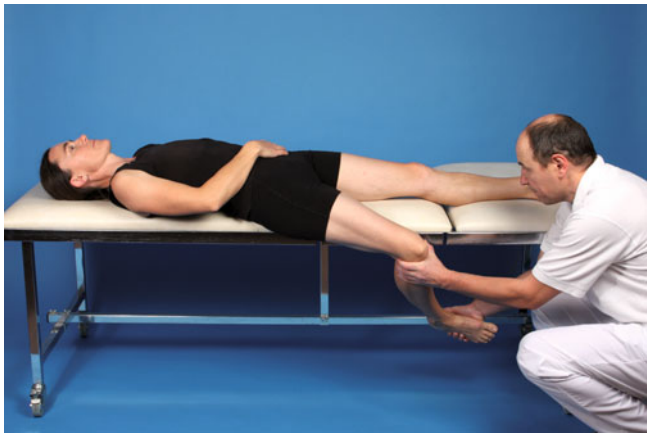


Abb. 19.74 Impingement-Test dorsokaudales Hüftgelenk

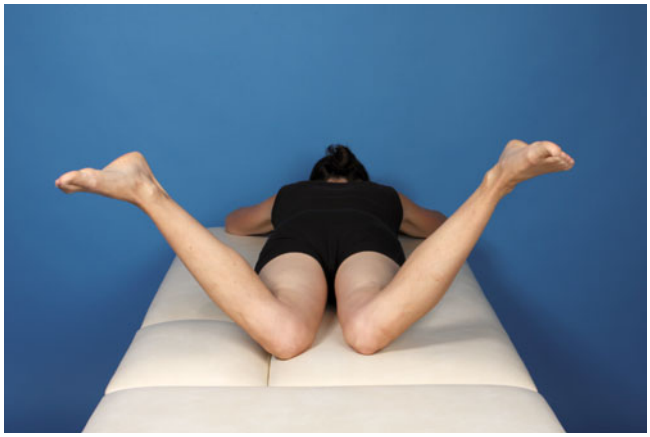


Abb. 19.75 Torsionskontrolle des Femur in Bauchlage

Hinweis auf ein kraniomediales FAI (Abb. 19.73). Zum Nachweis eines dorsokaudalen FAI wird das Hüftgelenk dagegen überstreckt und eine forcierte Abduktion und Außenrotation im Hüftgelenk durchgeführt. Dafür muss der Patient seitlich oder am Ende des Untersuchungstischs so gelagert werden, dass die Hüfte überstreckt werden kann (Abb. 19.74).

19.8 Oberschenkel

Torsionsabweichungen des Femurs, wie sie z.B. nach operativer Versorgung von Frakturen auftreten können, lassen sich gut beim am Bauch liegenden Patienten beurteilen. Die Kniegelenke soll der Patient 90° gebeugt halten und anschließend die Unterschenkel nach außen in eine maximale Innenrotation des Hüftgelenks fallen lassen (Abb. 19.75). Eine Seitendifferenz kann ein Hinweis auf eine einseitige Hüftgelenkabnutzung oder eine Abweichung der Torsion des Femurs sein. In Rückenlage des Patienten vergleicht man die Bewegungsumfänge bei der Innen- und Außenrotation des 90° gebeugten Hüftgelenks.

19.9 Kniegelenk

19.9.1 Patella

Tanzende Patella

Am liegenden Patienten wird bei gestrecktem Kniegelenk mit einer Hand der Recessus suprapatellaris ausgestrichen, mit der anderen die Patella in ihr Gleitlager gedrückt (Abb. 19.76). Wenn ein Erguss vorliegt, erkennt man dies am typischen elastischen Rebound der Patella nach oben. Man spricht dann von einer tanzenden Patella.

Zohlen-Zeichen

Am liegenden Patienten mit gestrecktem Kniegelenk wird vom Untersucher die Patella mit einer Hand nach distal geschoben oder mit beiden Daumen in diese Richtung gezogen. Daraufhin soll der Patient seinen Quadrizepsmuskulatur kraftvoll anspannen (Abb. 19.77). Durch die Anspannung des Muskels wird die Patella fest in ihr femorales Gleitlager gepresst, was schmerzhaft ist, wenn Knorpelschäden mit begleitender Synovialitis bestehen.

Abb. 19.76 Tanzende Patella

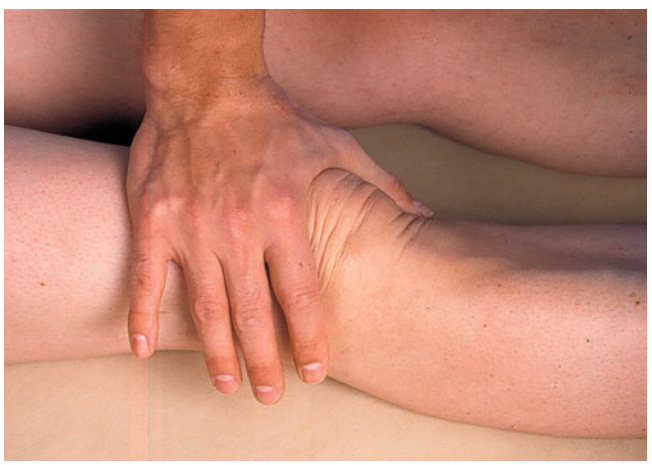


Abb. 19.77 Zohlen-Zeichen

Dieser Test kann bei peripatellären Schmerzsyndromen falsch-positiv sein. Peripatelläre Schmerzen bestehen z.B. bei Insertionstendopathien des Tractus iliotibialis, Pes anserinus oder der Quadrizeps- oder Patellarsehne. Man kann sie durch eine exakte Palpation der Schmerzpunkte abgrenzen.

Patellaverschiebetest

Die Patellamobilität kann bei gestrecktem oder leicht gebeugtem Knie geprüft werden, indem der Untersucher mit beiden Händen die Patella umfasst und nach medial und lateral verschiebt (Abb. 19.78). Eine deutlich vermehrte Verschieblichkeit der Patella weist auf einen lockeren Bandapparat oder eine Luxationstendenz hin. Bei retropatellarem Reiben kann eine Chondropathie oder Retropatellararthrose bestehen.

Patella-apprehension-Test

Der Untersucher drückt bei entspannter Oberschenkelmuskulatur und leicht gebeugtem Knie des Patienten die Patella nach lateral aus ihrem Gleitlager. Wenn eine Subluxations- oder Luxationstendenz besteht, verursacht dies dem Patienten Beschwerden, und er wird eine Abwehr- oder Ausweichbewegung machen (Abb. 19.79). Deshalb spricht man vom Apprehension-Test (s. oben).

19.9.2 Meniskus

Klinische Zeichen

Ein klinisches Zeichen einer Meniskusläsion ist der isolierte Druckschmerz, der topografisch exakt über dem medialen bzw. lateralen Gelenkspalt provoziert werden kann. Eine Streckhemmung liegt nicht immer vor, sondern erst dann, wenn ein Meniskusanteil luxiert ist, sich im Gelenkspalt verklemmt und dadurch die physiologische Roll-Gleit-Bewegung des Kniegelenks blockiert.

Abb. 19.78 Patellaverschiebetest

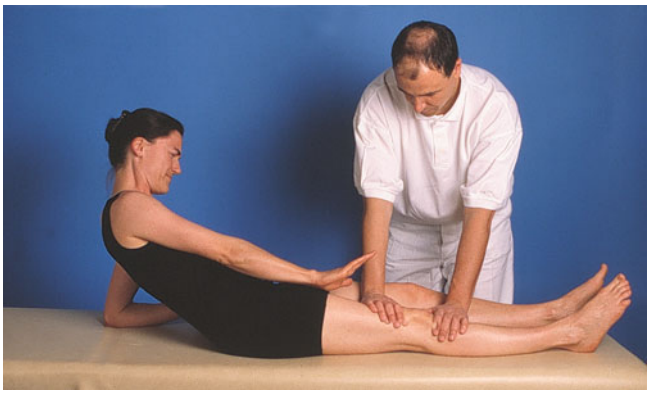


Abb. 19.79 Patella-apprehension-Test

Steinmann-I-Zeichen

Der Untersucher fasst mit einer Hand das gebeugte Knie des Patienten, mit der anderen den Unterschenkel und führt dann bei unterschiedlich stark gebeugtem Kniegelenk und möglichst entspannter Muskulatur Rotationsbewegungen am Unterschenkel durch (Abb. 19.80). Schmerzen im medialen bzw. lateralen Gelenkspalt bei plötzlicher Außenrotation bzw. Innenrotation deuten auf einen Innen- bzw. Außenmeniskusschaden hin.

Steinmann-II-Zeichen

Das Knie wird in forcierter Außenrotationsstellung des Unterschenkels aus einer Extensionsstellung heraus gebeugt (Abb. 19.81a,b). Ein medial gelegener, von ventral nach dorsal wandernder Druckschmerz spricht für eine Innenmeniskusläsion. Zur Prüfung des Außenmeniskus geht man in Innenrotation unter Palpation des äußeren Gelenkspalts analog vor (Abb. 19.81c,d).

Payr-Zeichen

Das Bein wird in Hüfte und Knie gebeugt und abduziert gelagert, sodass der Außenknöchel in der suprakondylären Region des kontralateralen Beins zu liegen kommt. Nun belastet der Untersucher das ausgelagerte Knie mit einem dosierten, bodenwärts gerichteten Druck (Abb. 19.82). Lassen sich dadurch Schmerzen im medialen Gelenkspalt provozieren, spricht dies für eine Innenmeniskusläsion. Dieser Test kann auch im Schneidersitz durchgeführt werden.

Böhler-Zeichen

Das Knie des Patienten wird wie beim Varus-/Valgusinstabilitätstest (s. unten) unter Varus- oder Valgusstress gebracht und anschließend durchbewegt (Abb. 19.83). Dadurch kann der Außen- bzw. Innenmeniskus unter Kompression und in unterschiedlicher Kniebeugung geprüft werden.

Grinding- und Apley-Test

Beim Grinding-Test fixiert der Untersucher das im Hüftgelenk gestreckte und im Kniegelenk gebeugte Bein des Patienten mit der einen Hand am Oberschenkel, mit der anderen übt er eine axiale Kompression aus (Abb. 19.84a). Verursacht die axiale Kompression Schmerzen, ist dies ein Hinweis für eine Menikusläsion. Beim Apley-Test stabilisiert der Untersucher mit seinem Knie den Oberschenkel des Patienten und zieht mit seinen Händen am Fuß. Unter

Abb. 19.80 Steinmann-I-Zeichen

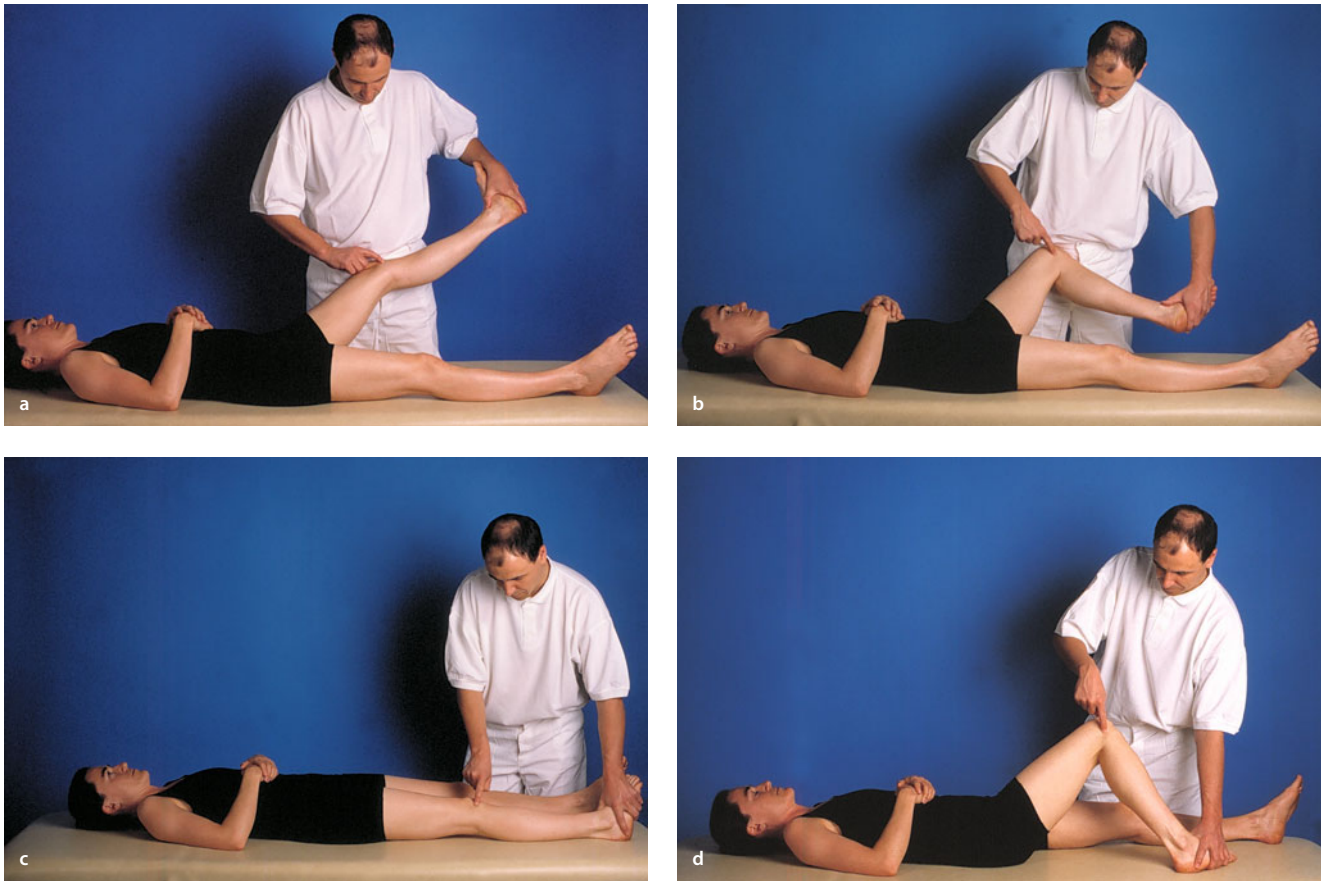


Abb. 19.81a–d Steinmann-II-Zeichen

Abb. 19.82 Payr-Zeichen

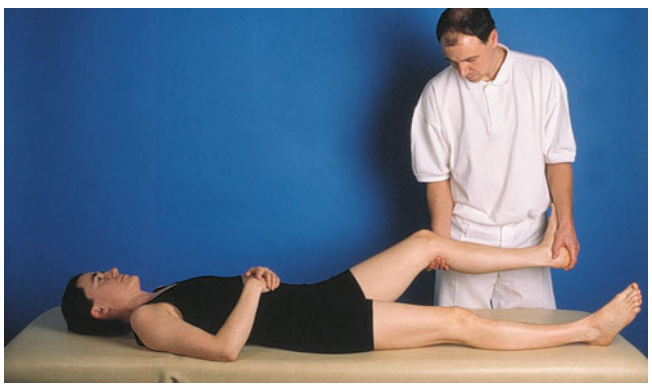


Abb. 19.83 Böhler-Zeichen

Zug werden nun in verschiedenen Beugegraden Rotationsbewegungen am Unterschenkel durchgeführt (Abb. 19.84b). Schmerzen bei axialem Zug sprechen für eine Kapsel-Band-Läsion.

Thessaly-Test

Der Untersucher hält die ausgestreckten Hände des stehenden Patienten. Der Patient steht mit dem gesamten Körpergewicht auf dem zu untersuchenden Bein, der Fuß bleibt am Boden fixiert, das kontralaterale und gesunde Bein wird angehoben. Nun wird der Patient bei am Boden fixierten Fuß im 20° gebeugten Kniegelenk nach beiden Seiten hin- und hergedreht (Abb. 19.85). Liegt ein Meniskusschaden vor, verursacht das belastete Drehen Schmerzen oder ein Schnappen im betroffenen Kniegelenk (Karachalios et al. 2005). Bei Nachweis einer vorderen Kreuzbandverletzung scheint die Durchführung und Interpretation des Tests allerdings schwierig, in einer anderen Studie musste die Untersuchung häufig abgebrochen werden, die Genauigkeit des Tests betrug dann nur 60% (Mizatolooei et al. 2010).

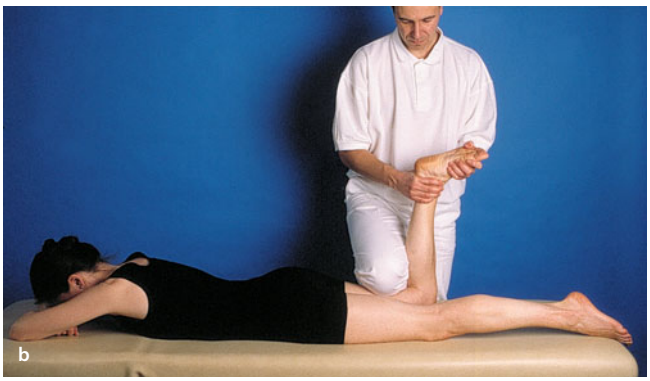


Abb. 19.84a,b Grinding-Test (**a**) und Apley-Test (**b**)

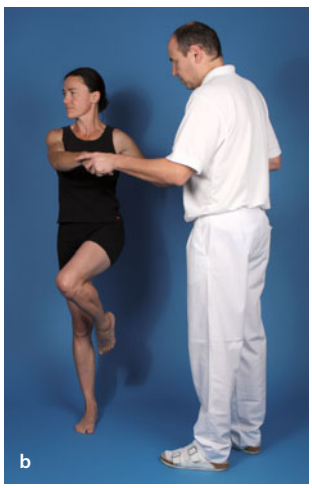
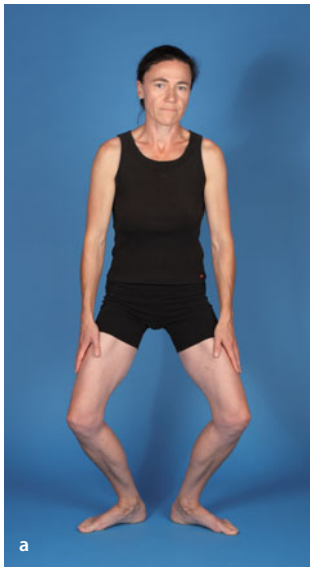


Abb. 19.85a,b Thessaly-Test

Ege's-Test

Bei diesem Test fixiert der stehende Patient zunächst seine beiden Füße in Außenrotation und nimmt dann eine zunehmende Hockstellung ein (Abb. 19.86a). Anschließend wird der Test auch in Innenrotation beider Füße durchgeführt (Abb. 19.86b). Eine Schmerzprovokation im Gelenkbereich lässt einen Meniskusschaden vermuten. Der Test soll von einer zusätzlichen vorderen Kreuzbandverletzung unabhängig sein (Akseki et al. 2004).



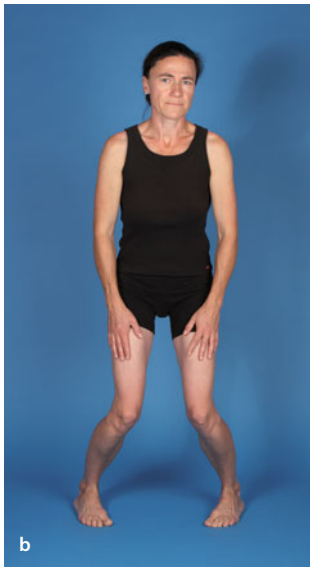


Abb. 19.86a,b Ege's-Test

Die Mensikustests nach Steinmann, Böhler und Payr sowie der Druckschmerz am Gelenkspalt sind in der Literatur wissenschaftlich bisher nicht evaluiert worden, der Thessaly-Test jedoch schon, er scheint die höchste Aussagekraft für eine Meniskusverletzung zu haben (Ockert et al. 2010).

19.9.3 Instabilität

Varus- und Valgusstresstest

In Rückenlage des Patienten umfasst der Untersucher mit der einen Hand den distalen Unterschenkel oder das Fersenbein, mit der anderen wird der distale Oberschenkel leicht angehoben. Alternativ kann der Untersucher auch den Unterschenkel des Patienten mit beiden Händen fassen und mit seinem Unterarm in Taillenhöhe einklemmen (Abb. 19.87a). Bei diesem Vorgehen kann man das Bein besser stabilisieren und das Ausmaß der Instabilität exakter erfassen. Bei schwergewichtigen Personen oder wenn der Patient schmerzbedingt gegenspannt, empfiehlt es sich, den Oberschenkel auf der Untersuchungsliege abgestützt zu lagern. Knie und Unterschenkel ragen über den Rand der Liege, anschließend kann nun besonders behutsam und ohne großen Kraftaufwand die Stabilitätsprüfung vorgenommen werden (Abb. 19.87b). Je nachdem, ob das Knie einem Varus- oder Valgusstress ausgesetzt werden soll, drückt man von medial oder lateral gegen den distalen Oberschenkel. Der Unterschenkel wird als Hebel zum Aufklappen des Kniegelenkspalts genutzt.

Zur Prüfung der Stabilität der Kollateralbänder muss das Knie 20° gebeugt und der Unterschenkel außenrotiert gehalten werden, denn nur in dieser Position sind die Kreuzbänder relaxiert und die Kollateralbänder gespannt, wodurch überhaupt erst eine mehr oder weniger isolierte Beurteilung der Kollateralbänder möglich wird. In Streckstellung sind Kreuzbänder und dorsale Kapsel gestrafft, sodass nur dann eine Aufklappbarkeit besteht, wenn diese Strukturen verletzt sind.

Das Ausmaß der Aufklappbarkeit wird in Plusgraden (+) ausgedrückt (Tab. 19.1). Die angegebenen Werte sind nicht absolut zu sehen, sondern als Anhaltswerte für das Ausmaß einer im

Tab. 19.1 Gradeinteilung der Instabilität des Kniegelenks in Abhängigkeit vom Ausmaß der im Seitenvergleich vermehrten Aufklappbarkeit oder des Schubladenausschlags

Grad	Ausmaß der Instabilität (mm)
(+)	Werte zwischen 0 und 3 mm sind in der Regel nicht pathologisch. Bei unsicherem oder knapp pathologischem Befund wird der Wert eingeklammert
+	<5
++	5–10
+++	>10

Tab. 19.2 Physiologische Aufklappbarkeit und Schubladenausschlag von Kniegelenken gesunder Probanden für Varus-/Valgusstress bzw. vorderer und hinterer Schublade. (Ermittelt von Jacobsen 1976)

Art der Belastung	Ausschlag (mm)
Mediale Aufklappbarkeit in 30°-Flexion	6–12
Laterale Aufklappbarkeit in 30°-Flexion	9–17
Vordere Schublade in 90°-Flexion	0–5
Hintere Schublade in 90°-Flexion	0–5

Tab. 19.3 Mögliche Lokalisation verletzter Kapselbandstrukturen einer im Vergleich zur unverletzten Gegenseite vermehrten Aufklappbarkeit bei Varus- oder Valgusstress in Extension oder Flexion des Kniegelenks

Stressrichtung	Graduierung	Interpretation
Valgus in Extension	+	Ruptur der dorsomedialen Kapsel
	++	Zusätzlich Innenband und hinteres Kreuzband
	+++	Zusätzlich vorderes Kreuzband
Varus in Extension	+	Ruptur der dorsolateralen Kapsel
	++	Zusätzlich Außenband und hinteres Kreuzband
	+++	Zusätzlich vorderes Kreuzband und Tractus iliotibialis
Valgus in 20°-Flexion	+, ++	Ruptur des Innenbandes
	+++	Zusätzlich Rotationsinstabilität mit Kreuzbandschaden
Varus in 20°-Flexion	+, ++	Ruptur des Außenbandes
	+++	Zusätzlich Rotationsinstabilität

Abb. 19.87a,b Varus- und Valgustest

Seitenvergleich vermehrten Aufklappbarkeit, das dem subjektiven Eindruck des Untersuchers entsprechend erhoben wird. Subjektiv ist dies deshalb, weil der Untersucher aufgrund der anatomischen Verhältnisse und der Art der Stabilitätsprüfung keine exakte Messung vornehmen kann, sondern auf seine Erfahrung und sein Gespür angewiesen ist. Man spricht von einer ein-, zwei- oder dreifach positiv vermehrten Aufklappbarkeit in Extensions- bzw. Flexionsstellung bei Varus- oder Valgusstress und kann daraus Schlüsse ziehen, welche Strukturen instabil sind. Dabei lassen sich nicht nur die Seitenbänder, sondern auch die Kreuzbänder und die dorsale Gelenkkapsel beurteilen.

Das Ausmaß einer echten oder vermeintlichen Instabilität darf nicht für sich allein, also ausschließlich für die verletzte Seite eingeschätzt werden. In die Beurteilung muss immer der Vergleich zur Gegenseite mit einfließen, denn die Stabilität der Bänder unterliegt deutlichen physiologischen Schwankungen (Tab. 19.2).

Das Ausmaß der Aufklappbarkeit ist lateral ausgeprägter als medial. Dies ist kein pathologischer Befund, sondern ein physiologischer Unterschied.

Eine Übersicht zur Interpretation der im Seitenvergleich erhobenen Befunde bei Varus- oder Valgusstress in Extension oder Flexion des Kniegelenks gibt Tab. 19.3.

Vorderer und hinterer Schubladentest

Der auf dem Rücken liegende Patient stellt seinen Fuß bei 45°-Hüft- und 90°-Kniebeugung auf die Unterlage. Der Untersucher setzt sich auf den Vorfuß des Patienten und fixiert diesen dadurch. Der Fuß kann dabei in verschiedene Rotationsstellungen – Innen-, Neutral- oder Außenrotation – gebracht werden (Abb. 19.88a). Abhängig von der eingenommenen Rotation werden verschiedene Kapselstrukturen ge- oder entspannt, bei maximaler Innenrotation z.B. die lateralen Kapsel-Band-Strukturen, bei Außenrotation die medialen. Der Untersucher palpiert mit seinen Daumenkuppen

Abb. 19.88a,b Vorderer und hinterer Schubladentest

die Femurkondylen und mit den Fingerbeeren seiner Daumen den Tibiakopf. Mit den Langfingern umgreift er den Tibiakopf von medial und lateral und zieht ihn nach ventral in eine vordere Schublade oder drückt ihn nach dorsal in eine hintere. Die palpierenden Daumenendglieder können nun den Schubladenausschlag relativ exakt erspüren.

Müller (1982) empfiehlt, den Schubladentest am sitzenden Patienten vorzunehmen, der seine Unterschenkel über den Rand der Untersuchungsliege frei hängen lässt, weil manche Patienten in dieser Position ihr Bein besser entspannen können (Abb. 19.88b).

Der Schubladentest ist bei frischer Bandverletzung für die Patienten meist sehr schmerzhaft, sodass diese reaktiv das Kniegelenk muskulär stabilisieren. Dann ist der Test nicht aussagekräftig. Er eignet sich strenggenommen nur zur Beurteilung chronischer Instabilitäten. Bei frischer Kreuzbandverletzung empfiehlt sich der Lachman-Test (s. unten).

Bei der Auswertung des Tests kommen 3 Kriterien zum Tragen:
- das Ausmaß der Translation,
- die Qualität des Anschlags am Ende dieser Translationsbewegung und
- die Rotation am Ende der Translationsbewegung.

Translation. Das Ausmaß der Translation wird wie beim Varus-/Valgustest in Plusgraden erfasst (Tab. 19.1). Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom so genannten Schubladenausschlag. Der Schubladenausschlag wird ebenfalls im Seitenvergleich gewertet.

Qualität des Anschlags. Die Qualität des Anschlags am anterioren oder posterioren Ende der Translationsbewegung wird definiert als harter oder weicher Anschlag. Ein harter vorderer bzw. hinterer Anschlag liegt bei intaktem vorderem bzw. hinterem Kreuzband vor, weil dieses am Ende der Translationsbewegung den Schubladenausschlag unvermittelt stoppt und die beiden Gelenkpartner mit einem spür- und hörbarem »Klicken« in Kontakt bringt. Ist das Kreuzband gerissen oder fehlt es, dann bekommt man einen weichen Anschlag, der durch die exponentielle Anspannung der Kapsel-Band-Strukturen vermittelt wird und die Bewegung nicht unmittelbar, sondern sukzessive abbremst.

Rotation. Die kombinierte Beurteilung des Ausmaßes der Schublade, der Qualität des Anschlags und der Rotationsstellung des Unterschenkels lässt Rückschlüsse zu, welches Kreuzband gerissen ist, oder ob sogar beide rupturiert sind, und welche weiteren Kapsel-Band-Strukturen involviert sind, denn nur in Ausnahmefällen ereignen sich isolierte Kreuzbandrisse. In der Regel liegen begleitende Rupturen an den Kapsel-Band-Strukturen vor (Kap. 10, Knie und Unterschenkel). Die Kombination der Verletzung des zentralen Stabilitätspfeilers des Kniegelenks, also der Kreuzbänder einerseits und der peripher gelegene Kapsel-Band-Schaden andererseits, führt dazu, dass man keine isolierten Translationsinstabilitäten in nur eine Richtung findet, sondern kombinierte Instabilitäten mit einer rotatorischen Komponente. Die Drehachse wird durch die noch intakten Strukturen bestimmt. Man spricht von so genannten Rotationsinstabilitäten. Nach Müller gibt es insgesamt vier solcher Rotationsinstabilitäten (Tab. 19.4).

Ein vermehrter Schubladenausschlag allein beweist noch keine Kreuzbandruptur. Dies lässt sich erst durch Beurteilung der Qualität des Anschlags näher eingrenzen. Leistungssportler, z.B. Profifußballer, die häufig kniebelastenden Bewegungsabläufen ausgesetzt sind, können überdehnte Kreuzbänder haben, die einen deutlichen Schubladenausschlag zulassen, der bis zu zweifach plus betragen kann. Trotzdem lässt sich ein harter hinterer und vorderer Anschlag untersuchen, der beweisend dafür ist, dass sich die Kreuzbänder anspannen.

Besteht auf dem Boden einer Kreuzbandruptur ein vermehrter Schubladenausschlag, dann muss zwischen einer vorderen und hinteren Schublade differenziert werden. Dies lässt sich durch den Ort des fehlenden Anschlags (s. Lachman-Test) näher eingrenzen.

Wichtig ist, an die Verwechslungsmöglichkeit einer vorderen mit einer hinteren Schublade zu denken, weil am ruhenden Bein der Schienbeinkopf der Schwerkraft folgend in entspannter Beinhaltung automatisch nach dorsal sinkt und dadurch eine vordere Schublade vortäuschen kann, obwohl in Wirklichkeit eine hintere besteht.

Lachman-Test

Der Lachman-Test, der nach dem Orthopäden John Lachman (Temple University, Philadelphia) benannt ist, eignet sich zur Untersuchung frischer und chronischer Bandinsuffizienzen. Bei etwa 20–30° gebeugtem Knie wird mit der einen Hand der entspannte distale Oberschenkel des auf dem Rücken liegenden Patienten gefasst, während man mit der anderen die proximale Tibia umgreift und nach vorne zieht (Abb. 19.89a). Bei schwergewichtigen oder muskulösen Patienten hat sich bewährt, den Oberschenkel des Patienten auf seinem eigenen, abgewinkelten Bein zu lagern, damit der Schienbeinkopf frei hängt. Dann wird mit einer Hand der Oberschenkel stabilisiert und mit der anderen der Schienbeinkopf im Wechsel nach ventral gehoben und nach dorsal geschoben

Tab. 19.4 Die 4 Rotationsinstabilitäten am Kniegelenk. (Nach Müller 1982)

Zeichen der Instabilität	Rotation des Tibiakopfs	Verletzte Struktur
Anteriore Rotationsinstabilität		
Mediale Aufklappbarkeit in Extension	Kaum	Dorsomediale Kapsel
Mediale Aufklappbarkeit in Flexion	Mäßig	Zusätzlich Innenband
Beim Lachman-Test (s. unten) fehlt der vordere Anschlag.	Deutlich	Zusätzlich vorderes Kreuzband
Das mediale Tibiaplateau rotiert deutlich nach ventral.		
Vollbild der anteromedialen Rotationsinstabilität		
Anterolaterale Rotationsinstabilität		
Laterale Aufklappbarkeit in Extension	Kaum	Tiefe Anteile des Tractus iliotibialis
Laterale Aufklappbarkeit in Flexion	Mäßig	Zusätzlich Außenband
Aufklappbarkeit in Extension. Das laterale Tibiaplateau lässt sich deutlich nach ventral rotieren.	Deutlich	Zusätzlich dosolaterale Kapsel
Vollbild der anterolateralen Rotationsinstabilität		
Posteromediale Rotationsinstabilität		
Mediale Aufklappbarkeit in Extension	Kaum	Dorsomediale Kapsel
Mediale Aufklappbarkeit in Flexion	Mäßig	Zusätzlich Innenband
Beim Lachman-Test (s. unten) fehlt der hintere Anschlag oder es besteht bei lediglich überdehntem Band eine hintere Schublade, das mediale Tibiaplateau rotiert deutlich nach dorsal. Vollbild der posteromedialen Rotationsinstabilität.	Deutlich	Zusätzlich hinteres, evtl. zusätzlich vorderes Kreuzband
Posterolaterale Rotationsinstabilität		
Laterale Aufklappbarkeit in Extension	Kaum	Dorsolaterale Kapsel
Laterale Aufklappbarkeit in Flexion	Mäßig	Zusätzlich Außenband
Beim Lachman-Test (s. unten) fehlt der hintere Anschlag.	Deutlich	Zusätzlich hinteres Kreuzband
Das laterale Tibiaplateau rotiert deutlich nach dorsal.		
Vollbild der posterolateralen Rotationsinstabilität		

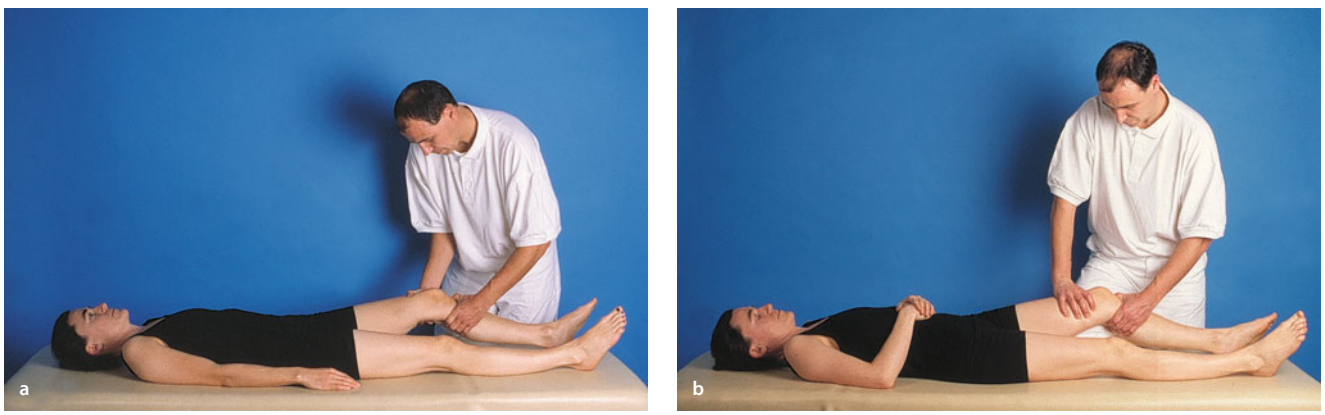


Abb. 19.89a,b Lachman-Test

(Abb. 19.89b). Bei der Beurteilung richtet man sich, wie beim Schubladentest, nach dem Ausmaß der Translation und der Qualität des Anschlags. Liegt eine im Seitenvergleich vermehrte Translation von zweifach plus oder mehr vor, kombiniert mit einem weichen Anschlag, muss von einer Kreuzbandruptur ausgegangen werden. Der Ort des weichen Anschlags lässt auf den der Kreuzbandläsion schließen (s. Schubladentest).

Aktiver Lachman-Test

Der Patient liegt am Rücken. Das zu untersuchende Bein wird im Bereich des distalen Oberschenkels auf dem Unterarm des Untersuchers gelagert. Dieser wiederum stützt seinen Arm am kontralateralen Knie des Patienten ab. Jetzt wird der Patient aufgefordert, sein Bein, abgestützt auf dem Untersucherarm, zu strecken (Abb. 19.90). Der Untersucher beobachtet dabei von der Seite die

Abb. 19.90 Aktiver Lachman-Test

Abb. 19.91a,b Dorsaler Durchhangtest, Godfrey-Test

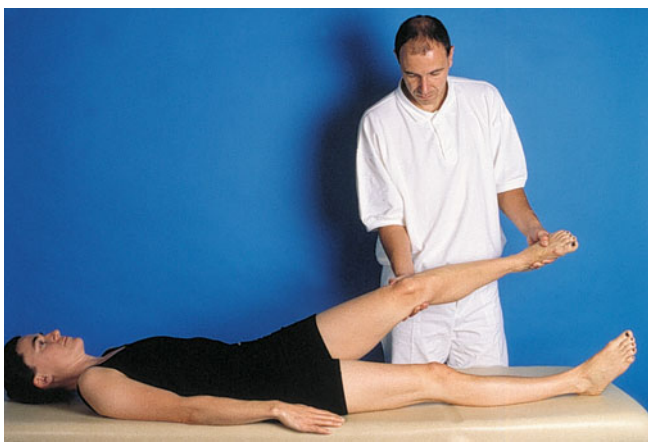


Abb. 19.92 Pivot-shift-Test

ventrale Kontur des Knies. Bei intakten Kreuzbändern wandert der Tibiakopf, während sich der Streckapparat anspannt, nur 0–3 mm nach vorne. Ist das vordere Kreuzband gerissen, beträgt dieser Weg 4–6 mm. Dieser Unterschied ergibt sich nur bei einer vermehrten hinteren Schublade und fällt im Seitenvergleich auf (s. dorsaler Durchhangtest).

Dorsaler Durchhangtest, Godfrey-Test

Der Patient liegt auf dem Rücken. Die Hüft- und Kniegelenke sind 90° gebeugt. Der Untersucher stabilisiert mit einer Hand die distalen Oberschenkel, mit der anderen hält er das Gewicht beider Unterschenkel und Füße, sodass der Patient den Streckapparat beider Beine komplett entspannen kann (Abb. 19.91a). Nun beobachtet der Untersucher von der Seite auf Kniehöhe beide Tibiakopfsilhouetten. Bei hinterer Instabilität mit Beteiligung des hinteren Kreuzbandes sinkt die Tuberositas tibiae vermehrt nach dorsal. Fordert man nun den Patienten auf, sein Bein aktiv zu strecken, zeigt sich bei Beginn der Bewegung eindrucksvoll, wie der Schienbeinkopf aus seiner hinteren Schublade heraus einen deutlichen Weg nach ventral beschreibt, bevor die eigentliche Streckung beginnt, und wie er beim anschließenden Zurückführen des Beins, dem die Entspannung des Streckapparats folgt, wieder zurücksinkt. Dieser Test dient zur Abgrenzung einer hinteren von einer vorderen Schublade. Alternativ kann der Test auch bei auf der Unterlage aufgestellten Füßen und 90°-Knieflexion durchgeführt werden (Abb. 19.91b).

Pivot-shift-Test

Der Begriff bedeutet wörtlich übersetzt »Drehpunkt-Rutsch-Zeichen«. In Rückenlage des Patienten umgreift der Untersucher mit der einen Hand den lateralen Femurkondylus, mit der anderen hält er den Unterschenkel in Innenrotations- und Abduktionsstellung. Aus einer gestreckten Stellung heraus wird das Knie langsam gebeugt (Abb. 19.92). Während der extensionsnahen Beugung muss der Tractus iliotibialis über den äußeren Aspekt des lateralen Femurkondylus gleiten. Das führt bei rupturiertem vorderem Kreuzband dazu, dass der Traktus, der in Kniestreckung vor dem lateralen Epikondylus liegt und unter allmählicher Beugung zunehmend gespannt wird, den Schienbeinkopf als Antagonist des vorderen Kreuzbandes nach ventral zieht. Wenn nun weiter gebeugt wird, gleitet der Traktus an einem kritischen Punkt, der bei etwa 30°-Kniebeugung liegt, über den äußeren Aspekt des lateralen Femurkondylus und wirkt nun als Agonist des vorderen Kreuzbandes. Dadurch wird der Schienbeinkopf in eine gelenkgerechte Stellung reponiert, was von einem spür- und hörbaren Schnappen begleitet ist, das der Patient, unabhängig davon, ob es sich um eine frische oder alte Verletzung handelt, meist als sehr unangenehm empfindet. Deshalb ist dieser Test in der Regel nur am narkotisierten Patienten aussagekräftig, weil der wache Patient instinktiv gegenspannt.

Der positive Test ist pathognomonisch für eine Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes, aber an die Intaktheit des Tractus iliotibialis gebunden.

Weicher Pivot-shift-Test

Der weiche Pivot-shift-Test ist weniger unangenehm und kann deshalb auch am wachen Patienten durchgeführt werden. Der Pa-

Abb. 19.93 Weicher Pivot-shift-Test

Abb. 19.94 Reversed Pivot-shift-Test

tient befindet sich in Rückenlage. Der Untersucher umgreift mit der einen Hand die dorsale Wadenmuskulatur, mit der anderen den Fuß und hält diesen in Neutral- oder Außenrotationsstellung. Das Hüftgelenk wird zusätzlich leicht abduziert. Aus dieser Stellung heraus werden nun bei axialem Druck auf Fuß und Unterschenkel vorsichtige Flexions-Extensions-Bewegungen im Knie durchgeführt (Abb. 19.93). Dabei tritt eine vergleichsweise sanfte Subluxation in Strecknähe auf mit Reposition bei zunehmender Beugung. Der Ausschlag der Subluxation ist deshalb sanfter, weil der Schienbeinkopf durch die Hand des Untersuchers unterstützt wird.

Um eine reflektorische Muskelanspannung durch den Patienten zu verhindern, wird vor dem eigentlichen Stresstest das Knie mehrmals geführt durchbewegt, damit sich der Patient daran gewöhnt und die Muskulatur entspannt.

Reversed Pivot-shift-Test

Zur Beurteilung einer posterolateralen Instabilität wird ein umgekehrter Pivot-shift-Test in Bauchlage des Patienten durchgeführt. Der Untersucher umfasst dabei mit der einen Hand den außenrotierten Fuß, mit der anderen in Kniegelenkhöhe die Außenseite des Unterschenkels. Unter Valgusstress wird dann das zunächst gestreckte Knie langsam gebeugt (Abb. 19.94). Liegt eine posterolaterale Instabilität vor, subluxiert der Schienbeinkopf in eine hintere Schublade, sobald der Traktus über den äußeren Aspekt des lateralen Epikondylus nach dorsal gleitet und damit zum Antagonisten

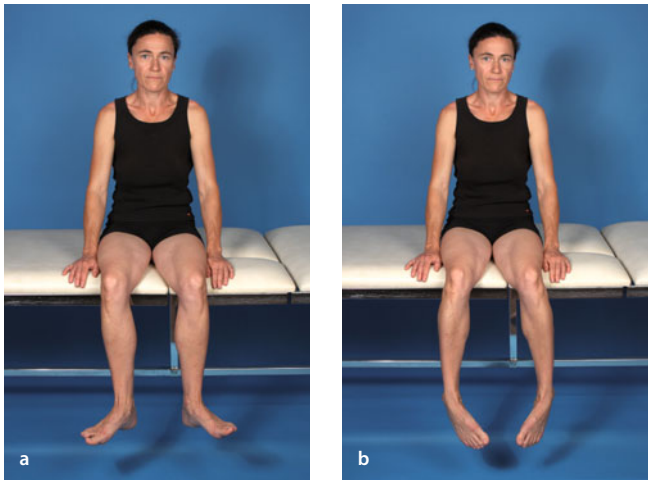


Abb. 19.95a,b Torsionskontrolle Unterschenkel

des hinteren Kreuzbandes wird. Unter nachfolgender langsamer Streckung des Kniegelenks wird extensionsnah, wiederum durch den Traktus vermittelt, der Schienbeinkopf in eine gelenkgerechte Position zurückgezogen, sobald der Traktus agonistisch wirkt.

Außenrotationstest

Die Untersuchung wird in Bauchlage durchgeführt, das Kniegelenk wird gebeugt und in 30°- und 90°-Beugung isoliert geprüft. Dabei werden beide Füße vom Untersucher jeweils nach außen rotiert und eine etwaige Abweichung im Seitenvergleich registriert. Bei isolierter Läsion der posterolateralen Gelenkstrukturen ist die Außenrotierbarkeit nur in 30°-Kniebeugung erhöht und bei zusätzlicher hinterer Kreuzbandläsion auch bei 90°.

19.10 Unterschenkel

Um Torsionsabweichungen der Tibia z.B. nach einer Osteosynthese zu erfassen, lässt man den Patienten am Bettrand sitzen, sodass die Unterschenkel frei hängen. Der Untersucher umfasst beide Sprunggelenke und führt eine Rotationsbewegung nach außen und innen durch (Abb. 19.95). Eine Seitendifferenz weist auf eine Torsionsabweichung hin. Die Prüfung kann auch beim auf dem Bauch liegenden Patienten erfolgen. Die Unterschenkel werden dann bei 90°-Kniebeugung innen- und außenrotiert und der Bewegungsausschlag mit der unverletzten Seite verglichen.

19.11 Fuß

19.11.1 Achillessehne

Thompson-Test

Der Patient lässt in Bauchlage den betroffenen Fuß über das Ende der Untersuchungsliege hinausragen, oder beugt das Kniegelenk auf 90°. Dann führt der Untersucher eine kräftige Kompression der Wadenmuskulatur durch (Abb. 19.96). Bei intakter Achillessehne überträgt sich diese Kompression auf das Erfolgsorgan, den Fuß. Wird dieser plantarflektiert, ist der Test negativ. Bei rupturierter Achillessehne überträgt sich die Wadenkompression nicht auf die Ferse. Der Test ist positiv.

Abb. 19.96 Thompson-Test

Abb. 19.97 Lateraler Sprunggelenk-Instabilitätstest

In manchen Fällen kann trotz kompletter Ruptur der Achillessehne eine geringfügige Plantarflexion ausgelöst werden. Diese Restfunktion wird durch die erhaltene Sehne des M. plantaris longus vermittelt. Sie spricht nicht gegen eine komplette Ruptur der Achillessehne.

19.11.2 Sprunggelenk

Lateraler Sprunggelenk-Instabilitätstest

Dieser Test erfasst das Ausmaß der Taluskippung bzw. der lateralen Aufklappbarkeit. Hierzu wird der distale Unterschenkel des Patienten mit der einen Hand umfasst, mit der anderen die Ferse (Abb. 19.97). Dann kippt man den Rückfuß in der Knöchelgabel und ermittelt die Aufklappbarkeit im Seitenvergleich. Es ist wichtig, die Taluskippung in leichter Spitzfußstellung von etwa 20° zu untersuchen, weil die Talusrolle, die ventral breiter wird, in Hackenfußstellung in der Knöchelgabel arretiert steht und eine vermeintliche Bandstabilität vortäuschen kann. Bei der alleinigen klinischen Prüfung kann nur zwischen vorhandener oder nicht vorhandener, vermehrter Aufklappbarkeit im Seitenvergleich unterschieden werden. Eine quantitative Einschätzung ist nur radiologisch (Kap. 12, Sprunggelenk und Fuß) oder sonografisch möglich (Kap. 20, Sonografie der Stütz- und Bewegungsorgane).

Abb. 19.98 Schubladentest des Sprunggelenks

Schubladentest des Sprunggelenks

Der Untersucher umfasst von streckseitig den distalen Unterschenkel und palpiert mit Daumen und Zeigefinger den vorderen Gelenkspalt des oberen Sprunggelenks. Mit der anderen Hand zieht er den Rückfuß aus der Knöchelgabel (Abb. 19.98). Dabei muss das obere Sprunggelenk wiederum in leichter Spitzfußstellung von etwa 20°-Plantarflexion stehen, damit die Peronealsehnen, die in Hackenfußstellung durch Umlenkung um den Außenknöchel gespannt werden, nicht eine etwaige Instabilität maskieren können. Das Ausmaß des Vorschubs wird klinisch im Seitenvergleich erfasst. Quantifizieren lässt es sich, wie die Taluskippung auch, nur radiologisch oder sonografisch.

Abb. 19.99 Stabilitätstest des Subtalargelenks

Stabilitätstest des Subtalargelenks

Im Unterschied zum lateralen Sprunggelenk-Instabilitätstest wird dieser Test nicht in Spitzfuß-, sondern in Hackenfußstellung vorgenommen. Hierbei wird die Arretierung des Talus in der Knöchelgabel genutzt, um das obere Sprunggelenk zu stabilisieren und den Bandhalt im unteren isoliert erfassen zu können. Der Untersucher fasst dazu den distalen Unterschenkel mit einer Hand, mit der anderen den Rückfuß. Dabei drückt er gleichzeitig mit seinem Unterarm den Vorfuß des Patienten nach kranial, um die Hackenfußposition zu fixieren. Nun wird die Ferse nach medial gekippt und dabei die lateralen Kapsel-Band-Strukturen des Subtalargelenks gestresst (Abb. 19.99). Auch dieser Test ist bei allei-

niger klinischer Prüfung nur im Seitenvergleich aussagekräftig. Das exakte Maß der Aufklappbarkeit kann radiologisch bestimmt werden.

Syndesmosentest nach Frick

Eine Instabilität der Knöchelgabel lässt sich klinisch erfassen, indem das obere Sprunggelenk des Patienten passiv in eine Hackenfußstellung gedrückt und gleichzeitig ein Eversionsstress ausgeübt wird (Abb. 19.100). Dadurch wird die ventral breiter werdende Talusrolle in die Knöchelgabel hinein gedreht und durch den Eversionstress zusätzlich aufgespreizt. Der Patient verspürt Schmerzen im Bereich der distalen Syndesmose.

Syndesmosenkompressionstest, Squeeze-Test

Der Untersucher drückt Fibula und Tibia in Schaftmitte des Unterschenkels aneinander (Abb. 19.101). Bei rupturierter Syndesmose verspürt der Patient Schmerzen im Bereich der Knöchelgabel.

Peronealsehnen-Luxationstest

Der Patient wird aufgefordert, in Dorsalextension, also der so genannten Skihocke, eine Außenrotation und Eversion des betroffenen Fußes durchzuführen. Kommt es hierdurch zu einer Schmerzprovokation, kann dies ein Zeichen für eine Peronealsehnensubluxation sein, eine komplette Luxation sollte gut tastbar und sichtbar sein.

Abb. 19.100 Syndesmosentest nach Frick

Abb. 19.101 Syndesmosenkompressionstest, Squeeze-Test

Literatur

Akseki D, Ozcan O, Boya H, Pinar H (2004) A new weight-bearing meniscal test and a comparison with McMurray`s test and joint line tenderness. Arthroscopy 20: 951–958

Baumgartl F, Thiemel G (1993) Untersuchung des Kniegelenks. Thieme, Stuttgart New York

Buckup K (1995) Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln. Thieme, Stuttgart New York

Frick H (1978) Zur Entstehung, Klinik, Diagnostik und Therapie der isolierten Verletzung der tibio-fibularen Syndesmose 81: 542–548

Frisch H (1998) Programmierte Untersuchung des Bewegungsapparates. Chirodiagnostik. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Habermayer P (2002) Schulterchirurgie, 3. Aufl. Urban & Fischer, München Jena

Hawkins RJ, Kennedy JC (1980) Impingement syndroms in atheltes. Am J Sports Med. 8: 151–157

Jacobsen K (1976) Stress radiographical measurement of the anteroposterior, medial and lateral stability of the knee joint. Acta Orthop Scand 47: 335–344

Karachalios T, Hantes M, Zibis AH, Zachos V, Karantanas AH, Malizos KN (2005) Diagnostic accuracy of a new clinical test (the Thessaly test) for early detection of meniscal tears. J Bone Joint Surg (Am) 87: 955–962

König DP, Bertram C, Kausch T, Rütt J (1998) Die klinische Untersuchung der Schulter. Sportverl Sportschad 12: 94–101

MacDonald SJ, Garbuz D, Ganz R (1997) Clinical evaluation of the symptomatic young adult hip. Sem Arthroplast 8: 3–9

Mizatolooei F, Yekta Z, Bayazidchi M, Ershadi S, Afshar A (2010) Validation of the Thessaly test for detecting meniscal tears in anterior cruciate deficient knees. Knee 17: 221–223

Müller W (1982) Das Knie. Springer, Berlin Heidelberg New York

O`Brien SJ, Pagnani MJ, Fealy S, Scott R (1998) The active compression test: A new and effective test for diagnosing labral tears and acromioclavicular joint abnormality. Am J Sports Med 26: 610–613

Ockert B, Haasters F, Polzer H, Grote S, Kessler MA, Mutschler W, Kanz KG (2010) Der verletzte Meniskus: Wie sicher ist die klinische Untersuchung ? Eine Metaanalyse 113: 293–299

Postacchini F (1999) Lumbar disc herniation. Springer, Wien New York

Pettitt RW, Saiulor SR, Lentell G, Tanner C, Murray SR (2008) Yergason`s Test: Discrepancies in description and implications for diagnosis biceps subluxation. 3(4): 143–147

Schober P (1937) Lendenwirbelsäule und Kreuzschmerzen. Munch Med Wochenschrift, 84: 336–338

Steinrücken H (1998) Die Differentialdiagnose des Lumbalsyndroms mit klinischen Untersuchungstechniken. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Strobel M, Stedtfeld HW, Eichorn HJ (1995) Diagnostik des Kniegelenkes. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Thompson TC, Doherty JH (1962) Spontaneous rupture of tendon of Achilles: a new clinical diagnostic test 2: 126–129

Van Riet RP, Bell SN (2011) Clinical evaluation of acromioclavicular joint pathology: Sensitivity of a new test. J Shoulder Elbow Surg 20(1): 73–76

Vleeming A, Albert HB, Östgaard CH, Stuge B, Sturesson B (2006) Evidenz für die Diagnose und Therapie von Beckengürtelschmerz – Europäische Leitlinien. Physioscience 2: 48–58

Walch G, Boulahia A, Calderone S, Robinson AHN (1998) The dropping and the hornblower`s signs in evaluation of rotator cuff teras. J Bone Joint Sur Br. 80: 624–629

Weigel B, Nerlich M (1998) Diagnostik und Therapie der Bandverletzungen des Sprunggelenks. Chirurg 69: 994–1010

Winkel D (1994) Nichtoperative Orthopädie und Manualtherapie. Fischer, Ulm Stuttgart Jena Lübeck

Sonografie der Stütz- und Bewegungsorgane

W. Hartung, K. Lerch

20.1 Basiswissen – 1046
20.2 Gelenksonografie – 1047
20.3 Weichteilsonografie – 1069
20.4 Knochenneubildung, Frakturheilung – 1077
20.5 Sonografisch gesteuerte Punktion und Injektion – 1078
20.6 Ausblick und neue Entwicklungen – 1079
Literatur – 1081

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_20,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

20.1 Basiswissen

Die Sonografie der Halte- und Bewegungsorgane nimmt in der Traumatologie einen immer größer werdenden Stellenwert ein. Verletzungen von Muskeln, Sehnen, Bändern oder Gelenken lassen sich direkt oder indirekt mit dieser Echtzeitmethode darstellen. Durch die Untersuchung in verschiedenen Schallebenen entsteht für den Untersucher ein räumlicher Eindruck. Bei nachfolgenden operativen Eingriffen sind Ausdehnung und Lagebeziehung zu benachbarten Strukturen, z.B. Blutgefäßen, bekannt. Neben Verletzungen können auch Neubildungen und Fremdkörper dargestellt werden. Eine große Hilfestellung bietet die Sonografie bei der Punktion von Flüssigkeiten oder der Entnahme von Gewebeproben mit geeigneten Stanzen. Die Nadelspitzen lassen sich sonografisch kontrolliert ins Zielgebiet lenken.

In den vergangenen 10 Jahren haben sich auf dem Gebiet der Geräteentwicklung große Fortschritte erzielen lassen. Die Bildqualität konnte entscheidend verbessert werden. Der Vorteil der Sonografie liegt in der Möglichkeit, dynamisch zu untersuchen. Außerdem erhält der Untersucher die Ergebnisse sofort, auch der Patient kann durch die Live-Demonstration der Befunde mit in die Untersuchung eingebunden werden.

In dem nun folgenden Kapitel sollen die Hauptanwendungsgebiete der Sonografie in der Traumatologie besprochen und die wesentlichen Befunde durch Bilder veranschaulicht werden. Der Normalbefund wird ausführlich dargestellt und erklärt, weil dessen Kenntnis die Voraussetzung für die Interpretation pathologischer Befunde ist. Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit Operationsbefunden oder magnetresonanztomografischen Bildern ist eine ideale Möglichkeit zu lernen.

Technik

Man verwendet bei der Untersuchung der Halte- und Bewegungsorgane heutzutage Linearschallköpfe mit Frequenzen zwischen 5,0 und 20 MHz, je nach Größe des zu untersuchenden Gelenks oder der zu untersuchenden Struktur. Vorlaufstrecken sind bei Multifrequenzschallköpfen, die sowohl im Nahfeld wie in tieferen Geweberegionen eine sehr gute Bildqualität liefern, heute nicht mehr notwendig.

Nomenklatur

Die bildliche und schriftliche Dokumentation des Untersuchungsbefundes ist obligat und dient zur Verlaufsbeurteilung. Die Befunde sollten kurz und prägnant beschrieben werden. Eine einheitliche sonografische Nomenklatur erleichtert das Verständnis. In den Legenden der Abbildungen dieses Kapitels wurden die Befunde dieser Vorgabe folgend abgefasst.

Echogenität

Man unterscheidet verschiedene Qualitäten der Echogenität voneinander:

- echofrei
- echoarm
- echogleich
- echoreich

Schallwellen werden an Grenzflächen reflektiert. Der Reflexionsgrad wird als akustische Impedanz bezeichnet. Diese wird von Wellenwiderständen im Ausbreitungsmedium (Gewebe) bestimmt. Je größer die Impedanz, umso mehr Schallenergie wird reflektiert und vom Schallkopf zur weiteren Bildverarbeitung wieder aufgenommen und desto heller bzw. echoreicher wird diese Struktur dargestellt. Die Grenzfläche an der Knochenkortikalis erscheint deshalb als weiße Linie. Tiefer kommen keine Schallwellen mehr an, es entsteht ein Schallschatten. Flüssigkeit erscheint immer echofrei oder echoarm, weil die Schallwellen in diesem Medium wegen fehlender Grenzflächen sehr gut weitergeleitet werden. Zwischen diesen Extremen existieren je nach Schallleitung in den unterschiedlichen Geweben zahlreiche Graustufen.

Binnenstruktur

Man unterscheidet zwischen **homogener** oder **inhomogener** Binnenstruktur. Die Zusammensetzung des untersuchten Areals entscheidet über das Reflexmuster. Wechseln Dichte und Reflexverhalten des Mediums auf engem Raum, so entsteht ein inhomogenes Bild. Flüssigkeitsgefüllte Hohlräume erscheinen wegen des einheitlichen Reflexverhaltens homogen.

Abgrenzbarkeit

Hier werden die Adjektive **scharf** und **unscharf** verwendet. Grenzen Gewebe mit stark unterschiedlichem Reflexverhalten direkt aneinander an, so kommt die Trennschicht scharf begrenzt zur Darstellung (z.B. Kalkspange in der Muskulatur). Je fließender der Übergang zwischen 2 Strukturen mit verschiedenem Schallleitungsverhalten ist, desto unschärfer abgegrenzt erscheinen sie.

Abbildungsstandards

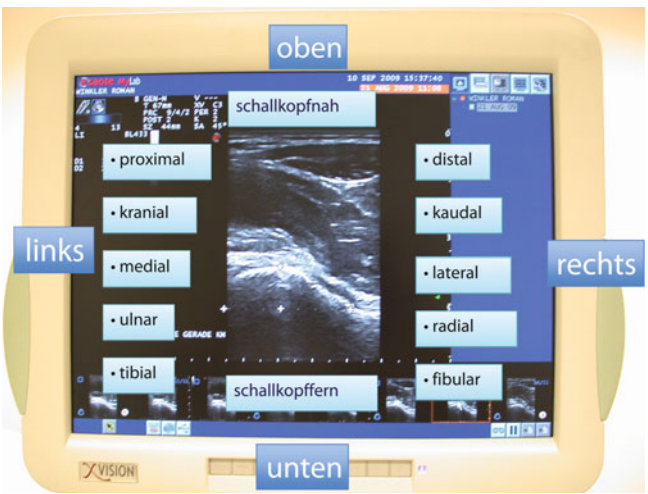
Position des Schallkopfs

Der Schallkopf sollte folgendermaßen positioniert werden (◘ Abb. 20.1):

- Auf der linken Bildseite wird proximal, kranial, medial, ulnar und tibial abgebildet,
- auf der rechten Bildseite distal, kaudal, lateral, radial und fibular,
- am Oberrand des Monitors kommen die oberflächlich liegenden Strukturen zur Darstellung,
- am Unterrand die in der Tiefe gelegenen.

Die in der Übersicht genannte Definition bezieht sich immer auf die Neutralstellung der Gelenke.

Bei der Fotodokumentation von sonografischen Befunden sollten in der Regel Standardschnitte eingestellt sein. Diese Standardebenen sind v.a. eine Hilfestellung beim Erlernen der Arthrosonografie. Natürlich ist die Untersuchung eines Gelenks ein



◘ **Abb. 20.1** Abbildungsstandard

dynamischer Prozess mit fließenden Übergängen von Standardebene zu Standardebene. Mit zunehmender Übung wird man beim Untersuchungsgang diese Positionen variieren. Wegen der besseren Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit sollten die Befunde jedoch möglichst in den Grundschnitten dokumentiert werden.

Vorgehen

Der Untersuchungsgang ist standardisiert, um die jeweilige Region möglichst lückenlos in allen Schallebenen abzubilden. Eine klinische Untersuchung ergänzt die Sonografie und hilft bei der Interpretation der sonografischen Befunde. Das Untersuchungsergebnis wird als kurzer Befundbericht dokumentiert, wobei der Text beschreibend und so konkret wie möglich sein sollte. Der Untersucher soll jedoch nicht versuchen, immer eine eindeutige Diagnose anhand des sonografischen Befundes abzuleiten. Auch das Aufführen der denkbaren Differenzial- und Ausschlussdiagnosen hilft weiter.

Beurteilungskriterien

Um Auffälligkeiten in der Sonomorphologie als pathologisch werten zu können, sollten folgende Kriterien erfüllt sein:

- der Befund soll reproduzierbar sein,
- er sollte in 2 Ebenen darstellbar sein,
- es besteht ein Unterschied im Vergleich zur gesunden Seite.

Die Vorteile der Sonografie des Bewegungsapparats sind in der Übersicht aufgeführt.

Vorteile der Sonografie des Bewegungsapparats

Die **Real-time-Bildgebung** ermöglicht dem Untersucher die sofortige Interpretation seines Befundes, sodass er unverzüglich weitere Schritte einleiten kann.

Die Möglichkeit der **dynamischen Untersuchung** erleichtert das Darstellen pathologischer Befunde, da durch entsprechende Bewegungsmuster ein Dehnungs- bzw. Kompressionsstress auf die zu untersuchenden Gewebe ausgeübt werden kann. Das Gleiten von Muskeln oder Sehnen in Relation zu knöchernen Strukturen wird sichtbar. Bei Rupturen vergrößert sich z.B. die Distanz zwischen den Enden.

- Für Patienten und Untersucher entsteht keine Strahlenbelastung.
- Die notwendige Patienten-Compliance ist gering. Es handelt sich um geführte Bewegungen.
- Bei diesem Bed-side-Verfahren kann das Untersuchungsgerät zum Patienten gebracht werden, was v.a. bei intensivmedizinisch betreuten Patienten günstig ist.
- Untersuchungen sind beliebig oft wiederholbar; somit eignet sich die Untersuchung hervorragend für Befundkontrollen und Beurteilung des Heilverlaufs.
- Die Geräte sind heute in jedem Krankenhaus und in vielen Arztpraxen verfügbar.

20.2 Gelenksonografie

20.2.1 Glenohumeralgelenk

Standardebenen und Normalbefunde

Die Standardschnitte werden bei jeder Untersuchung eingestellt. Für besondere Fragestellungen werden Spezialschnitte gebraucht. Die Untersuchung erfolgt dynamisch mit Bewegungsausschlägen zwischen der maximalen Innen- und Außenrotation bzw. Ab- und Adduktion eines Extremitätenabschnitts. Die betroffenen Strukturen gleiten dann unter dem Schallfenster bei gleicher Schallkopfposition vorbei und können beurteilt werden. Eine Unterteilung der Standardebenen unter Berücksichtigung der Gelenkstellung wie sie bei anderen Autoren beschrieben ist, wird beim eigenen Vorgehen nicht zugrunde gelegt.

Grundschnitte

Das Glenohumeralgelenk wird von ventral, lateral und dorsal untersucht. Der Patient sitzt auf einem Hocker vor dem Sonografiegerät mit Blick zum Monitor. Der Untersucher steht hinter ihm. Eine Hand unterfasst den Unterarm des Patienten bei gebeugtem Ellenbogengelenk. Bewegungen können auf diese Weise passiv geführt oder aktiv ausgeführt werden.

Vorderer Schrägschnitt

Beim vorderen Schrägschnitt I (korakoakromialer Schnitt) ist der Schallkopf auf einer gedachten Linie zwischen Korakoid und ventralem Akromion ausgerichtet. Der Untersucher tastet mit dem Zeigefinger die ventrolaterale Begrenzung des Akromions, der Mittelfinger palpiert den Processus coracoideus oder umgekehrt. Der Schallkopf wird mit der anderen Hand daran angelegt. Die Untersuchung erfolgt in Neutralstellung, maximaler Außen- und Innenrotation (Abb. 20.2).

Indikation: Rotatorenmanschettendefekt, intramuskuläre Verkalkung, Bursitis.

Vorderer Schrägschnitt II

Der Schallkopf wird nun um 90° gedreht und steht jetzt senkrecht zur oben genannten Position, liegt also zwischen Zeige- und Mittelfinger der tastenden Hand. Es wird wieder dynamisch untersucht. Die kraniale Begrenzung bildet das Akromion. Diese Schnittebene II ist weniger aussagekräftig als der vordere Schrägschnitt I und dient als Ergänzung in der zweiten Ebene (Abb. 20.3).

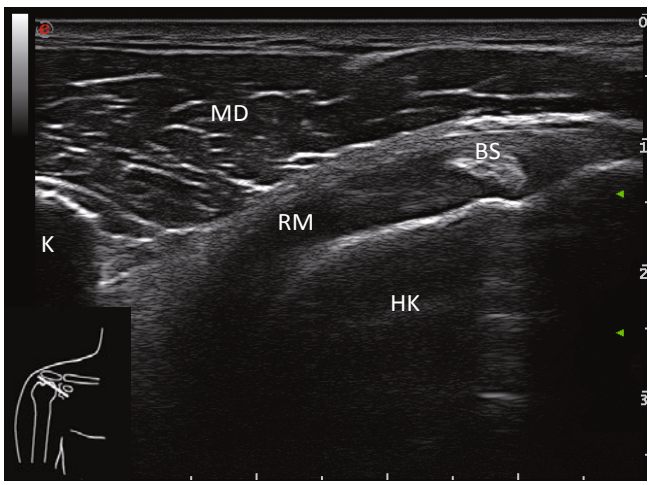


Abb. 20.2 Normalbefund vorderer Schrägschnitt I. Medial kommt der halbkreisförmige, echogene Reflex des Korakoids (K) zur Darstellung, lateral der Humeruskopf (HK). Die Rotatorenmanschette (RM) umhüllt als homogene Reifstruktur den Humeruskopf. Die Bizepssehne (BS) wird quer getroffen, sie hat ihren Sulkus bereits verlassen und zieht frei durch das Gelenk. Die darüber liegende Muskelschicht bildet der kräftige M. deltoideus (MD). Bei langsamer Außenrotation wird der M. subscapularis unterhalb des Korakoids hervorgezogen und wickelt sich um den Humeruskopf. Unten links: Glenohumeralgelenk, Schallkopfposition vorderer Schrägschnitt I

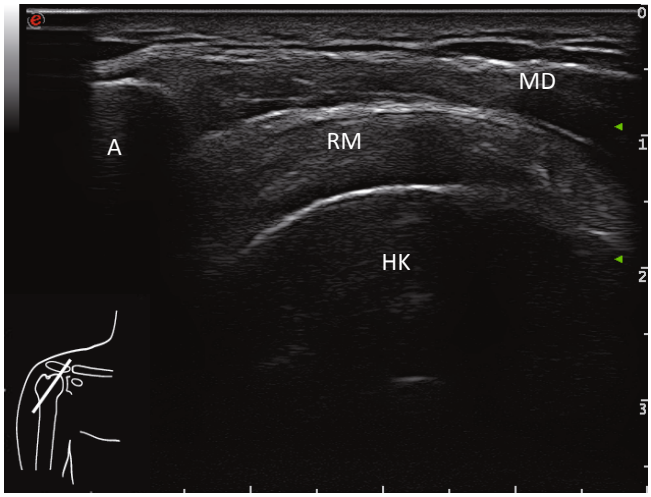


Abb. 20.3 Normalbefund vorderer Schrägschnitt II. Kranial, also am linken Bildrand, liegt der knöcherne Reflex des Akromions (A), von dessen ventraler Begrenzung der M. deltoideus (MD) entspringt. Zwischen Humeruskopf (HK) und Akromion stellt sich die Rotatorenmanschette (RM) dar. Unten links: Glenohumeralgelenk, Schallkopfposition vorderer Schrägschnitt II (90° versetzt)

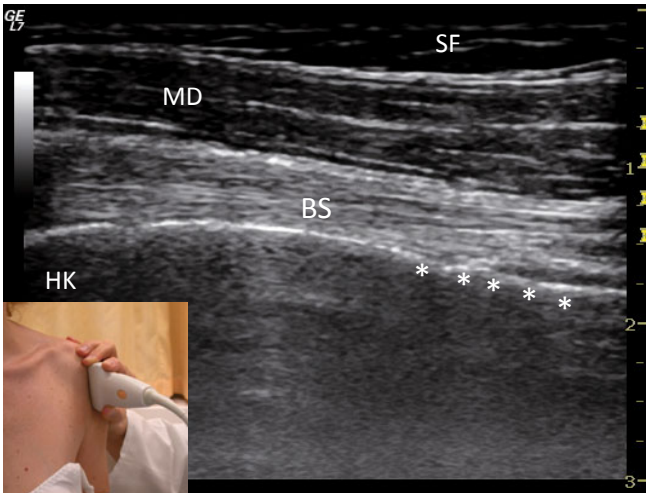


Abb. 20.4 Normalbefund vorderer Längsschnitt. Als tiefste, echogene, strichförmige Struktur stellt sich der knöcherne Boden des Sulcus bicipitalis (***) dar, der kranial in den Humeruskopf (HK) übergeht. Darüber liegt die echogene, längsgefiederte, parallel- und scharf begrenzte Bizepssehne (BS). Zur Oberfläche hin schließen sich M. deltoideus (MD) und subkutanes Fettgewebe (SF) an. Unten links: Schallkopfposition vorderer Längsschnitt, ventral longitudinal

Indikation: Rotatorenmanschettendefekt, intramuskuläre Verkalkung, Bursitis.

Vorderer Längsschnitt

Der nächste Grundschnitt im ventralen Kompartiment ist der vordere Längsschnitt (ventral longitudinal), der parallel zur langen Bizepssehne verläuft. Der Schallkopf wird zwischen den Tuberkula am Oberarmkopf aufgesetzt und so lange quer verschoben, bis die Tuberkula verschwunden sind und sich die lange Bizepssehne in Längsrichtung darstellt. Die Auflagefläche des Schallkopfs sollte parallel zur Sehne verlaufen. Dazu muss dieser distal etwas eingedrückt werden. Nur so werden die jetzt in 90° zur Sehne auftreffenden Schallwellen zum Empfänger reflektiert und die Sehne erscheint echogen mit Längsfiederung als Binnenstruktur (Abb. 20.4).

Indikation: Bizepssehnenruptur, Tendosynovitis der Bizepssehne.

Vorderer Transversalschnitt

Auch zu dieser Schnittebene wird die Senkrechte gebildet; somit gelangt man zum vorderen Transversalschnitt (auch Sulkusschnitt genannt). Hierbei wird der Schallkopf quer zur langen Bizepssehne auf Höhe der Tuberkula aufgesetzt. Damit kommt der Sulcus bicipitalis sehr gut zur Darstellung. Auch hierbei sei nochmals daran erinnert, diese Untersuchung dynamisch mit maximaler Innen- und Außenrotation durchzuführen. Beim Glenohumeralgelenk wird die maximale Innenrotation durch den Schürzengriff erreicht (Abb. 20.5).

Indikation: Bizepssehnenruptur, Tendosynovitis der Bizepssehne, Erguss im Recessus bicipitalis, Beurteilung des Sulcus bicipitalis, Verletzung der »Pulley«.

Lateraler Längsschnitt

Bei der Beurteilung des lateralen Kompartiments wird der Schallkopf in Längsrichtung lateral aufgesetzt, die kraniale Begrenzung bildet die Akromionecke. Man erhält so den lateralen Längsschnitt.

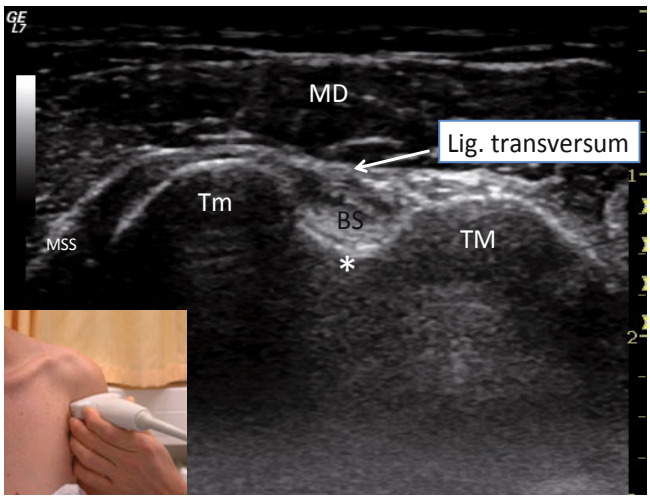


Abb. 20.5 Normalbefund vorderer Transversalschnitt. Die tiefe Begrenzung bildet der wellige Reflex der Humeruskopfkortikalis mit dem Sulcus bicipitalis (*). Darin liegt die echoreiche, quer getroffene Bizepssehne (BS). Die mediale Erhöhung (links) ist das Tuberculum minus (Tm), an dem die Sehne des M. subscapularis (MSS) ansetzt. Lateral liegt das Tuberculum majus (TM). Über den Sulcus hinweg zieht das Ligamentum transversum. Zur Oberfläche hin grenzen der M. deltoideus (MD) und das subkutane Fettgewebe an. Unten links: Schallkopfposition vorderer Transversalschnitt, ventral transversal

Bei Abduktion des Arms gleitet der M. supraspinatus unter das Akromion. Auch dazu sollte die senkrechte Abbildung eingestellt werden, die jedoch weniger aussagekräftig ist (Abb. 20.6).

Indikation: Rotatorenmanschettenruptur (Sehne des M. supraspinatus), intramuskuläre Verkalkung, subakromiales Impingement, Bursitis subdeltoidea.

Durch Parallelverschiebung des Schallkopfs nach medial kann man das AC-Gelenk darstellen.

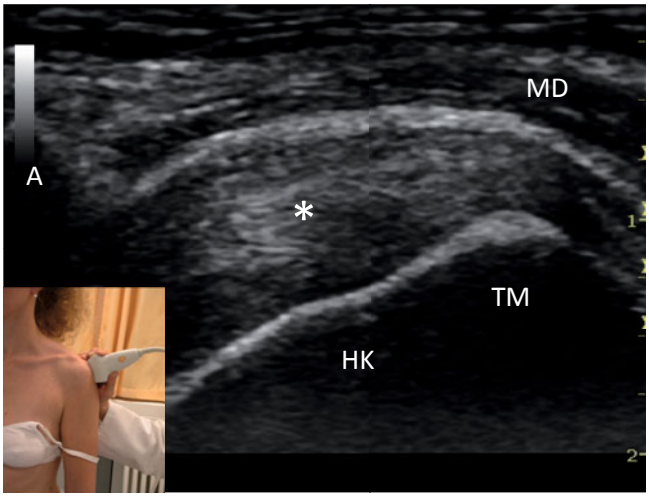


Abb. 20.6 Normalbefund lateraler Längsschnitt. Lateral stellt sich die Humeruskopfkortikalis (HK) mit der Erhebung des Tuberculum majus (TM) dar. Medial liegt oberflächlich der echogene Kortikalisreflex der Akromionecke (A). Zwischen diesen beiden Kortikalisreflexen wird als dreieckförmige Struktur der M. supraspinatus (*) abgebildet, der eine rabenschnabelartige Form aufweist und dessen flächige Sehne am Tuberculum majus ansetzt. Bei Abduktion des Arms gleitet der Muskel nach subakromial und verschwindet ganz, wenn das Tuberculum majus die laterale Akromionecke erreicht. Dem M. supraspinatus liegt der M. deltoideus (MD) auf. Manchmal trennt die mit wenig Flüssigkeit gefüllte Bursa subdeltoidea, die als echoarmes dünnes Band dazwischen liegt, beide Muskeln. Unten links: Schallkopfposition lateraler Längsschnitt, lateral longitudinal

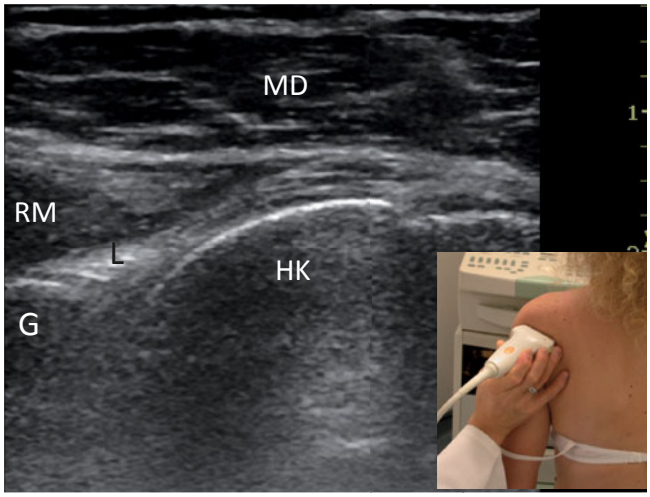


Abb. 20.7 Normalbefund hinterer Transversalschnitt. Medial stellt sich der knöcherne Glenoidrand (G) als sichelförmiger, echogener Reflex dar, lateral die halbkreisförmige knöcherne Humeruskopfkortikalis (HK). Bei Oberarmrotation bleibt der Knochenreflex des Glenoids unverändert stehen, der Humeruskopf dreht sich. Die Bewegung vereinfacht die Differenzierung der unterschiedlichen Strukturen. Am Glenoid setzt die Basis eines echogenen spitzwinkligen Dreiecks an, das hintere Labrum glenoidale (L). Die Rotationsbewegungen des Humeruskopfs bewirken geringe Ausschläge der Spitze dieses Dreiecks, ohne dass sich die Basis vom Reflex des Glenoidrandes abhebt. Bei Innenrotation wickelt sich der kaudale Anteil des M. infraspinatus (RM) um den Humeruskopf. Unten rechts: Schallkopfposition hinterer Transversalschnitt, dorsal transversal

Transversal- und Longitudinalschnitt

Das dorsale Kompartiment sollte ebenfalls durch einen Transversal- und Longitudinalschnitt dargestellt werden. Der Daumen des Untersuchers palpiert die Spina scapulae, der Zeigefinger den dorsolateralen Akromionrand. Der Schallkopf wird mit der anderen Hand parallel zu den tastenden Fingern kaudal der Spina scapulae aufgesetzt (Transversalschnitt). Das dorsale Labrum glenoidale kann gut eingesehen werden (Abb. 20.7).

Indikation: Hill-Sachs-Delle, hinterer Labrumdefekt, Gelenkerguss, Synovitis.

Spezialschnitte

Die im Folgenden aufgeführten Spezialschnitte kommen bei besonderen Fragestellungen zur Anwendung.

Axillärer Schnitt

Der Patient liegt auf dem Rücken auf einer Untersuchungsliege, der Untersucher sitzt rechts neben ihm. Der Patient nimmt den Arm nach oben, der Untersucher setzt den Schallkopf in der Axilla längsverlaufend zum Humerusschaft zwischen M. trapezius und M. pectoralis auf. So erhält man den axillaren Schnitt. Dieser eignet sich besonders zum Nachweis von Gelenkergüssen (Abb. 20.8).

Indikation: Gelenkerguss, ventrodorsaler Labrumdefekt. Synovitis

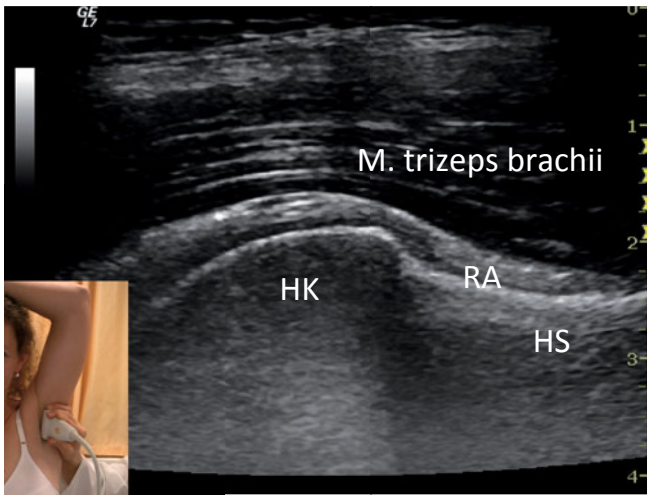


Abb. 20.8 Normalbefund axillarer Schnitt. Der geschwungene echogene Kortikalisreflex von Humeruskopf (HK) und -schaft (HS) bildet die Begrenzung in der Tiefe. Die Umschlagfalte der Gelenkkapsel im Recessus axillaris (RA) ahmt die Kortikaliskontur nach. Subkapital hängt die Gelenkkapsel durch und nähert sich tangential der Diaphyse. Unten links: Schallkopfposition axillarer Schnitt

Glenoidschnitt

Das ventrale Labrum glenoidale wird beim Glenoidschnitt dargestellt, wobei es in der Regel nicht sofort nach Aufsetzen des Schallkopfs zur Darstellung kommt. Der Schallkopf wird transversal unterhalb des Korakoids aufgesetzt und pektoralseitig etwas eingedrückt, um die antevertierte Glenoidfläche im rechten Winkel anzuschallen. Durch minimale Rotationsbewegungen des Oberarms kann der knöcherne Glenoidrand abgegrenzt werden, der bei der Bewegung lagekonstant bleibt. Diesem kleinen bogigen Reflex haftet die Basis eines spitzwinkligen Dreiecks an, welches dem Labrum glenoidale entspricht (Abb. 20.9, Abb. 20.10).

Indikation: Labrumdefekt (Bankart-Läsion).

Abb. 20.10 veranschaulicht die mögliche Eindringtiefe des Ultraschalls im Vergleich zur MRT. Binnenstrukturen können mit der Sonografie aufgrund knöcherner Überlagerungen nicht dargestellt werden. In das schematisiert dargestellte Schallfenster können benachbarte, im Bereich der Eindringtiefe gelegene Strukturen jedoch durch Bewegung der Schulter verlagert und somit ebenfalls beurteilt werden.

Wie bereits erwähnt, entstehen bei einem dynamischen Untersuchungsgang der Schulter durch langsames Parallelverschieben und Durchschwenken mit dem Schallkopf unzählig verschiedene Schnittebenen. Auf diese Weise erhält der geschulte Untersucher einen räumlichen Eindruck.

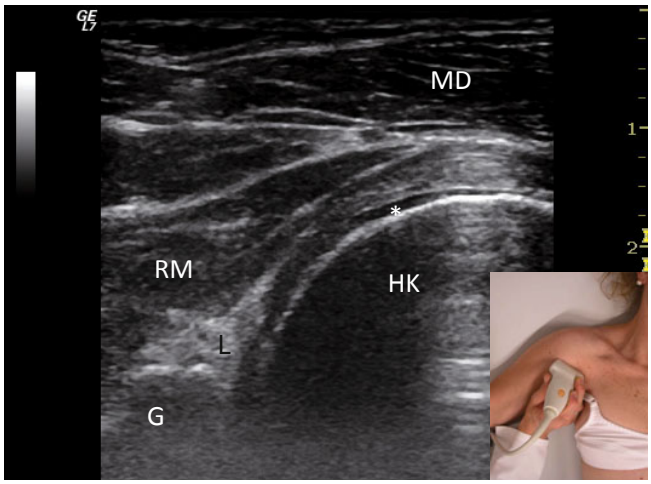


Abb. 20.9 Normalbefund Glenoidschnitt. Leicht zu identifizieren ist die Kontur des Humeruskopfs (HK). Medial davon stellt sich tiefer gelegen ein echogener Reflex dar, der bei Drehbewegungen des Kopfs lagekonstant bleibt und dem knöchernen Glenoidrand (G) entspricht. Dazu muss der Schallkopf in den M. pectoralis eingedrückt werden. Dieser Struktur haftet die Basis des scharf begrenzten, echogenen, dreieckförmigen Labrum glenoidale (L) an. Bei Außenrotation spannt sich die vordere Gelenkkapsel sichtbar an. Das Labrum hebt sich jedoch nicht vom Glenoid ab (RM: M. subscapularis als Teil der Rotatorenmanschette, MD: M. deltoideus). Bei hochfrequenten Schallköpfen ergibt sich eine gute Abgrenzbarkeit des Knorpelreflexes (*).Unten links: Schallkopfposition Glenoidschnitt

Pathologische Befunde

Bei der Abklärung des häufigen Symptoms Schulterschmerz sollte folgende **diagnostische Reihenfolge** eingehalten werden:

- Anamnese mit klinischer Untersuchung
- Sonografische Untersuchung
- Konventionelles Röntgen in 2 Ebenen, ggf. ergänzt durch Spezialaufnahmen
- CT bzw. MRT als Ergänzung

Auch bietet die Sonografie bei Verletzungen der Schulterregion eine ideale Ergänzung zur klinischen Untersuchung und sollte direkt im Anschluss an diese erfolgen (Grechenig et al. 2002).

Die im Folgenden genannten Erkrankungen bzw. Verletzungen des Gelenks lassen sich sonografisch darstellen.

Rotatorenmanschettenruptur

Es muss zwischen einer chronischen Vorschädigung und einem akuten Trauma unterschieden werden.

Bei der **chronischen Vorschädigung** ist die gesamte Rotatorenmanschette atrophisch ausgedünnt. Die Kortikalis weist degenerative Veränderungen, z.B. in Form exophytärer Anbauten auf. Häufig liegt konsekutiv ein Humeruskopfhochstand vor, der im lateralen Längsschnitt dargestellt werden kann. Exophytäre Anbauten an der lateralen Akromionecke zerreiben die darunter liegende Sehne, bis sie zerreißt (Abb. 20.11).

Bei einem **akuten Trauma** führt ein adäquater Unfallmechanismus zum Riss der nicht vorgeschädigten Rotatorenmanschette normaler Dicke. Diese Form der Schulterverletzung wird häufig übersehen, obwohl eine operative Therapiemöglichkeit mit Naht des betroffenen Muskels besteht. Bei schmerzhafter, posttraumatischer Bewegungseinschränkung reicht die Röntgendiagnostik alleine nicht aus, da dadurch nur der Frakturausschluss gelingt. Der Defekt im Bereich der Rotatorenmanschette kann sonografisch sehr gut beurteilt werden und zeigt eine bis zu 100%ige Korrelation zu intraoperativen Befunden (Ferri et al. 2005). Metaanalysen zeigen, dass die Sonografie dem MRT in der Detektion von Rotatorenmanschettenrupturen nicht unterlegen ist (de Jesus et al. 2009) (Übersicht).

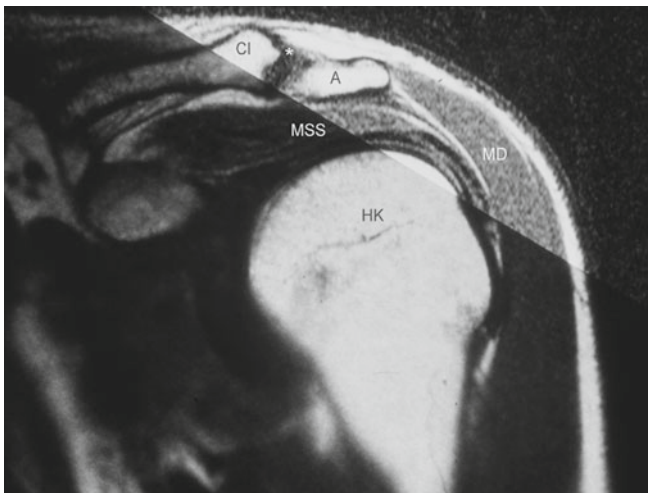


Abb. 20.10 MRT Glenohumeralgelenk. Frontaler Schnitt, Eindringtiefe der Sonografie (HK: Humeruskopf, A: Akromion, CI: laterale Klavikula, MD: M. deltoideus, MSS: M. supraspinatus, * Akromioklavikulargelenk)

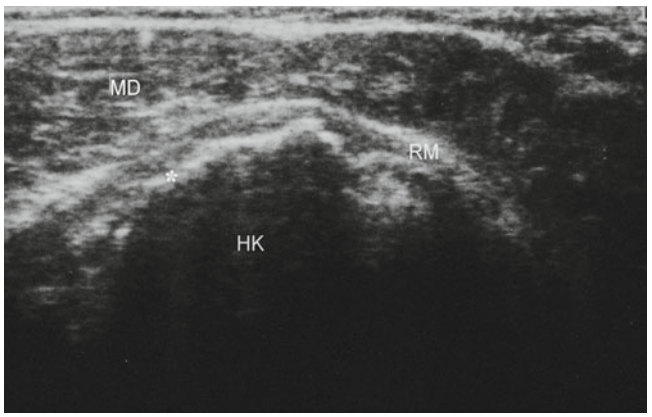


Abb. 20.11 Vorderer Schrägschnitt I, ausgedünnte Rotatorenmanschette bei Degeneration. Die Rotatorenmanschette (RM) ist bei Atrophie deutlich verschmälert, jedoch in ihrer Kontinuität erhalten. Die Humeruskopfkortikalis (*) stellt sich nicht als glatt begrenzte echogene Linie dar, sondern erscheint aufgrund exophytärer Anbauten ungleichmäßig. Der M. deltoideus (MD) ist von normalem Kaliber (HK: Humeruskopf)

Sonografische Zeichen für eine Rotatorenmanschettenruptur

Sichere Zeichen:

- Fehlende Rotatorenmanschette
- Die parallele Reifstruktur der Rotatorenmanschette ist an einer Stelle vollständig unterbrochen, hier liegt der M. deltoideus dem Humeruskopf direkt auf. Dieser Befund ist oft Folge von großflächigen Rotatorenmanschettendefekten bei chronischer Vorschädigung (Abb. 20.12).

▼

Zunehmende Dehiszenz der Rupturenden unter Bewegungsstress:

- Unterbrechung der Reifstruktur (Abb. 20.13)
- Stufenbildung durch Kalibersprung

Unsichere Zeichen:

- Veränderung der Muskelbinnenstruktur
- Delle als Folge der Ausdünnung (Abb. 20.14)
- Begleiterscheinungen wie Hämatombildung oder Hämarthros bei frischen Verletzungen (Abb. 20.15)

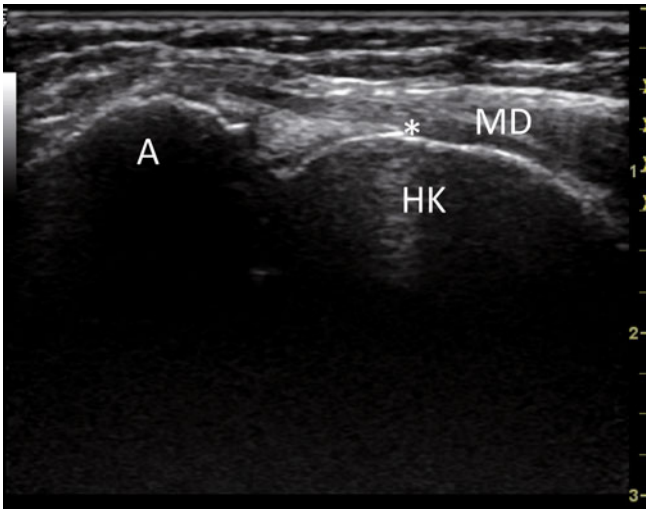


Abb. 20.12 Lateraler Längsschnitt, Ruptur der Rotatorenmanschette, fehlende Rotatorenmanschette. Der M. deltoideus (MD) liegt der Humeruskopfkortikalis stellenweise direkt auf (*), A: Acromion. Ausgeprägter Hochstand des Humeruskopfs (HK) durch das Fehlen des M. supraspinatus

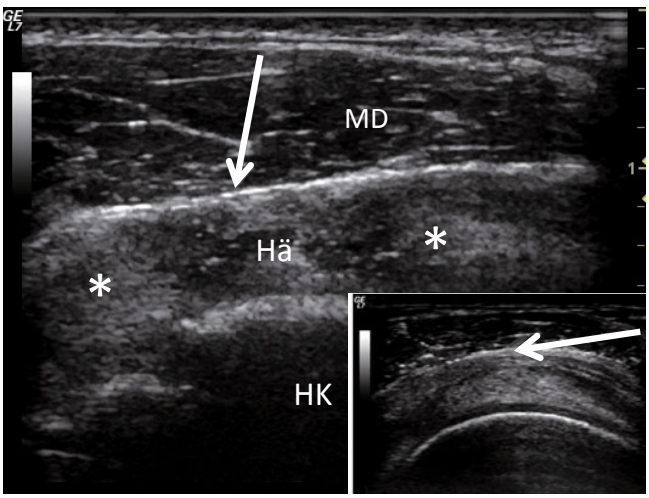
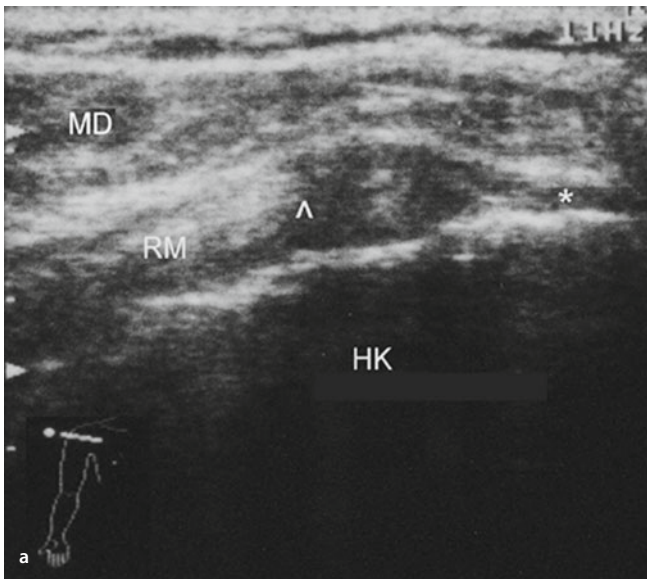


Abb. 20.13 Korakoakromialer Schnitt, traumatische Ruptur des M. supraspinatus. Zwischen den Rupturenden (*) zeigt sich ein echoarmes Hämatom (Hä). Auffällig ist ein Verlust der Konvexität der Radreifenstruktur (Pfeile), vgl. kleines Bild unten rechts (Normalbefund). Bei der dynamischen Untersuchung kommt es zu einem Auseinanderweichen der Rupturenden. Humeruskopf (HK), M. deltoideus (MD)



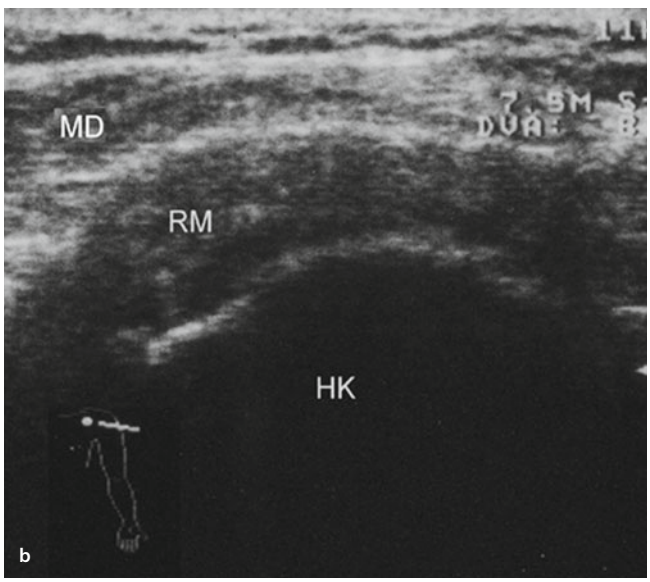


Abb. 20.14a,b Seitenvergleich im vorderen Schrägschnitt. **a** Das obere Bild zeigt das echogene Rupturende des M. supraspinatus (^) sowie lateral davon eine Delle (*) als Folge der Ausdünnung der Rotatorenmanschette (RM). In diesem Bereich sind noch Anteile der Rotatorenmanschette erhalten. Die dazwischen liegende Zone weist eine inhomogene Binnenstruktur auf. **b** Das untere Bild zeigt eine kräftige Rotatorenmanschette, die als homogene Reifstruktur dem Humeruskopf anliegt. (MD: M. deltoideus, HK: Humeruskopf)

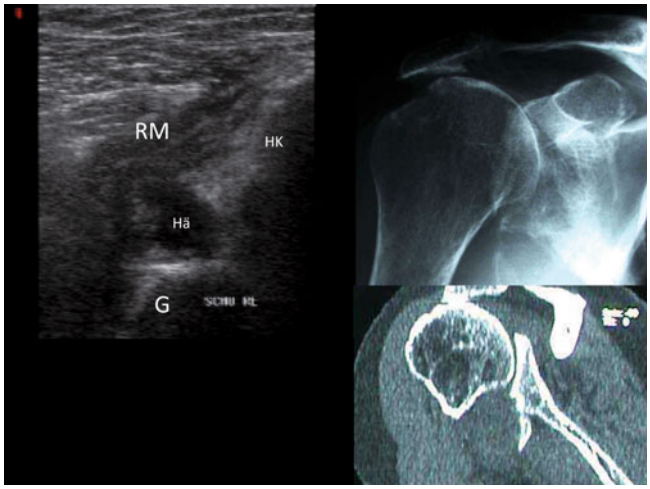


Abb. 20.15 Glenoidschnitt, Abriss des Labrum glenoidale. Durch Außenrotation des Humeruskopfs (HK) wird über die Gelenkkapsel Zug auf das Labrum glenoidale ausgeübt. In diesem Fall ist das Labrum basisnah komplett knöchern ausgerissen. Es kommt zum Abkippen des Labrums gegenüber dem knöchernen Glenoidrand (G). An der ehemaligen Labrumbasis findet sich ein echoarmes Hämatom (Hä), rechts die zugehörigen Röntgen- bzw. CT-Bilder

Bankart-Läsion

Sonografische Zeichen einer Bankart-Läsion

Sichere Zeichen:

- Basisnahe Dehiszenz des Labrum glenoidale bei der dynamischen Untersuchung
- Pathologischer Grenzflächenreflex durch echogene Doppelkontur von knöchernem Glenoidrand und der Basis des abgehobenen Labrum glenoidale (Abb. 20.15)

Unsichere Zeichen:

- Veränderung der Binnenstruktur im Bereich der Basis des Labrums
- Dehiszenz im Labrumspitzenbereich

Sonografische Zeichen einer Bankart-Läsion zeigt die Übersicht. Begleiterscheinungen bei Bankart-Läsion sind:

- Hämarthros
- Kapseldehnung bzw. -zerreißung
- Hämatombildung
- Hill-Sachs-Läsion

Hill-Sachs-Läsion

Dabei handelt es sich um eine Kortikalisunterbrechung bzw. einen Krater am kraniodorsalen Humeruskopf bei leichter Innenrotation.

Dieser Befund darf nicht mit dem Collum anatomicum verwechselt werden. Der Unterschied wird nach Einstellung der 2. Ebene deutlich. Die Hill-Sachs-Läsion bleibt kraterförmig, das Collum anatomicum verstreicht.

Intramuskuläre Verkalkungen

Bei intramuskulären Verkalkungen findet sich ein echogenes, sichelförmiges Binnenecho in der Rotatorenmanschette:

- mit dorsaler Schallauslöschung (sicheres Zeichen),
- ohne dorsale Schallauslöschung (unsicheres Zeichen).

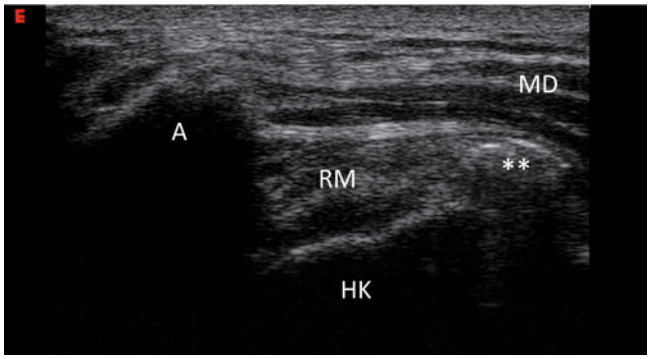


Abb. 20.16 Lateraler Längsschnitt, intramuskuläre Verkalkung mit Schallschatten. Im Bereich des M. supraspinatus (RM) liegt eine echogene Spange (*...*) mit dorsaler Schallauslöschung. Dadurch ist die Kontur der Humeruskopfkortikalis unterbrochen. Ursache für diese intramuskuläre Kalkeinlagerung ist ein chronisches Impingement-Syndrom mit Irritation des Muskels in diesem Bereich durch die Akromionecke (A). Humeruskopf (HK), M. deltoideus (MD)

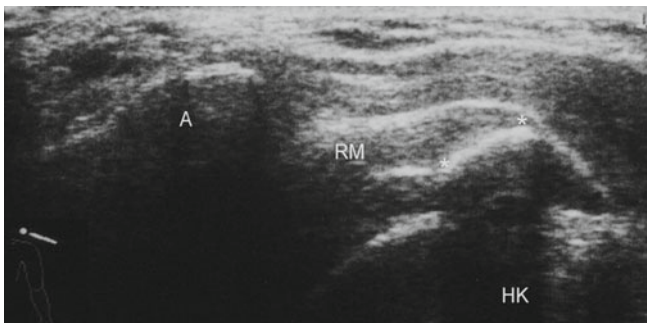


Abb. 20.17 Lateraler Längsschnitt, Ausriss des Tuberculum majus. Die echogene sichelförmige Spange (* *) entspricht einer Knochenschuppe vom Tuberculum majus. Die Sehne des M. supraspinatus (RM) setzt daran an. Es besteht ein Schallschatten mit Auslöschung von Anteilen des Humeruskopfs (HK) (A: Akromion)

Die Konsistenz der Verkalkungen kann sehr unterschiedlich sein und reicht von cremig über grieselig bis hin zur festen Kalkspange. Davon hängen auch das Reflexverhalten und die Sonomorphologie ab.

Normalerweise sind die Ablagerungen sonografisch nachweisbar, bevor sie auf der Röntgenaufnahme sichtbar werden (Abb. 20.16, Abb. 20.17).

Impingement-Syndrom

Klinisch lässt sich der schmerzhafte Bogen bei Armabduktion provozieren. Häufig liegt ein Druckschmerz im Bereich der Akromionecke vor. Durch den Hochstand des Humeruskopfs oder durch exophytäre Anbauten am Akromion wird der subakromiale Raum eingeengt.

Im lateralen Längsschnitt steht bei ausgeprägten Befunden der Oberrand der Humeruskopfkortikalis bzw. die kraniale Spitze des Tuberculum majus auf Höhe des Akromions. Bei Abduktion des Arms schiebt sich der M. supraspinatus an der Akromionecke auf und gleitet nicht glatt unter das Akromiondach. Bei sehr ausgeprägtem Hochstand des Humeruskopfs schlägt das Tuberculum bei ca. 60°-Abduktion an der Akromionecke an. Intramuskuläre Verkalkungen der Rotatorenmanschette und eine Bursitis sub-

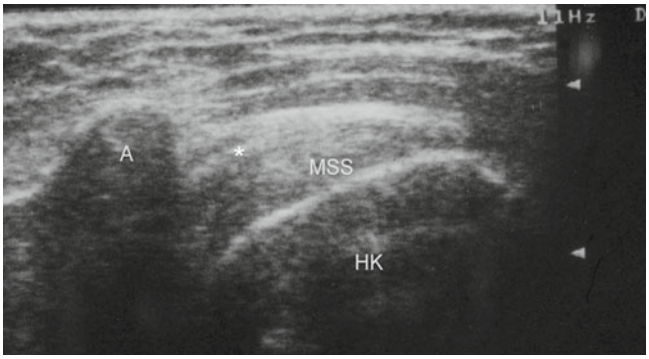


Abb. 20.18 Lateraler Längsschnitt, Hochstand des Humeruskopfs bei Impingement-Syndrom. Der M. supraspinatus (MSS) kommt in diesem Schnittbild rabenschnabelartig zur Darstellung. Bei Abduktion des Arms verursacht die subakromiale Enge ein Aufschieben des Muskels an der Akromionecke (A). Der Abstand zwischen Humeruskopf (HK) und Akromionecke ist durch den Humeruskopfhochstand verringert. Von der sichelförmigen Bursa subacromialis (*) kommen wegen der knöchernen Überlagerung durch das Akromion nur die lateralen Anteile vermehrt flüssigkeitsgefüllt und damit echoarm zur Darstellung

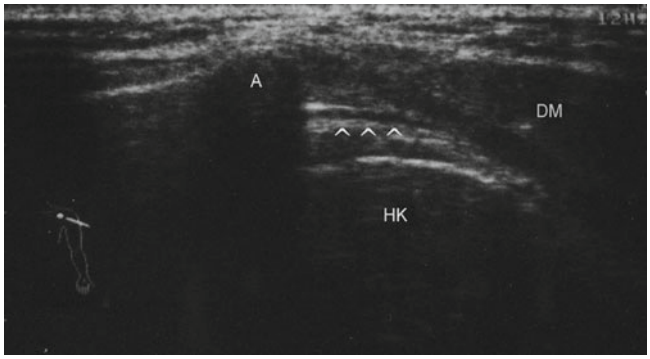


Abb. 20.19 Lateraler Längsschnitt bei Bursitis subacromialis. Die Bursa subacromialis ist vermehrt flüssigkeitsgefüllt und kommt echoarm-sichelförmig (^^^) zur Darstellung. Der Patient hatte klinisch ein Impingement-Syndrom. (A: Akromion, DM: M. deltoideus, HK: Humeruskopf)

acromialis können beim chronischen Verlauf begleitend vorliegen (Abb. 20.18). Die dynamische Untersuchung erlaubt eine direkte Darstellung der Beziehung zwischen dem Akromion, dem Humeruskopf und den dazwischen liegenden Weichteilen während der Abduktion. So erhält man wertvolle Hinweise bezüglich der Ätiologie des Impingement-Syndroms (»outlet vs. non outlet«) (Bureau et al. 2006).

Bursitis subdeltoidea/subacromialis

Eine Bursa ist immer etwas flüssigkeitsgefüllt, um als Gleitschicht wirken zu können. Sonografisch stellt sich dieser Normalbefund gelegentlich als echoarmer Strich zwischen den echogenen Faszienbändern des M. deltoideus und der Rotatorenmanschette dar. Die Flüssigkeitszunahme im Falle der Entzündung bewirkt eine Volumenzunahme der echoarmen Bursa bis hin zu einer sichelförmigen Struktur.

Falls sich mit dem Schallkopf ein direkter Druck auf die darunter liegende Struktur ausüben lässt, weicht die Flüssigkeit zur Seite aus. Die Bursa ist komprimierbar (Abb. 20.19).

Ruptur der langen Bizepssehne

Im vorderen Transversalschnitt kommt eine echofreie, ovaläre Zone im Bereich des Sulcus intertubercularis zur Darstellung, die der leeren Sehnenscheide entspricht. Im Längsschnitt können ggf. die Rupturenden abgebildet werden, deren Abstand sich unter Anspannung des M. biceps vergrößert. Durch das umliegende Hämatom und die Einblutung in die Sehnenscheide bei frischen Rupturen wird die Darstellbarkeit erleichtert, da die Flüssigkeit als Schallfenster wirkt und die Sehnenkonturen besser abgrenzbar sind.

Tendosynovitis der Bizepssehne

Im vorderen Transversalschnitt bildet sich die Flüssigkeit innerhalb der Sehnenscheide als echoarmer Haloring um das echogene Sehnengewebe ab. Im Längsschnitt hüllt ein echofreies Band die lange Bizepssehne ober- und unterhalb ein.

Beim Längsschnitt ist darauf zu achten, dass die Bizepssehne orthograd (im 90°-Winkel) angeschallt wird. Das heißt, die Schallkopfposition sollte parallel zum Verlauf der Bizepssehne ausgerichtet sein, damit die ausgesandten Schallwellen vom Sehnengewebe reflektiert und für die Bildverarbeitung vom Schallkopf wieder aufgenommen werden können. Der Schallkopf muss dazu distal etwas ins Gewebe gedrückt werden. Bei schräg auftreffenden Schallwellen entsteht ein echoärmeres Bild, da Schallwellen am Schallkopf vorbei reflektiert werden. Eine Sehnenruptur könnte so vorgetäuscht werden (Abb. 20.20, Abb. 20.21).

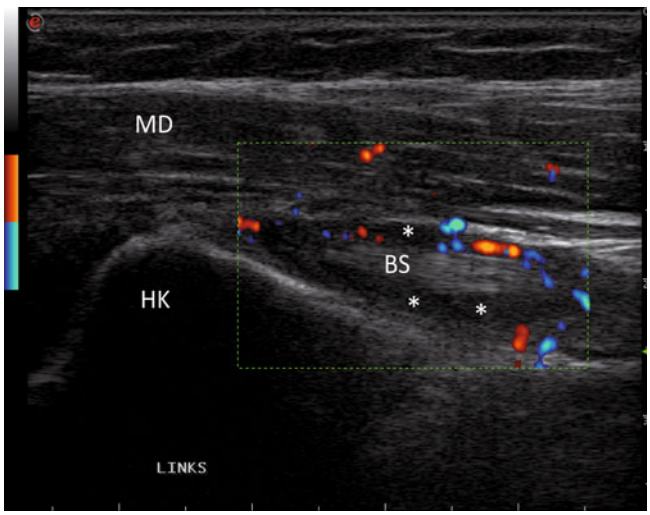


Abb. 20.20 Vorderer Längsschnitt, Tendosynovitis der langen Bizepssehne (BS). Echoarme Umsäumung der Bizepssehne (*). Im Powerdoppler zeigt sich zudem die Hypervaskularisation der Sehnenscheide. (MD: M. deltoideus, HK: Humeruskopf)

Schulterinstabilität

Die Instabilität der Schulter wird durch die klinische Untersuchung nachgewiesen. Die Sonografie hat dabei einen geringeren Stellenwert und visualisiert den vorliegenden Befund. Ausmaß und Richtung pathologischer Translationsbewegungen zwischen Humeruskopf und Glenoid können sonografisch am besten im hinteren Transversalschnitt erfasst werden. Der Patient sitzt vor dem Untersucher auf einem Stuhl. Der Schallkopf wird horizontal unterhalb der Spina scapulae angelegt. Humeruskopf und hintere Glenoidanteile werden eingestellt. Mit der freien Hand hält der Untersucher den Humeruskopf im Zangengriff und übt

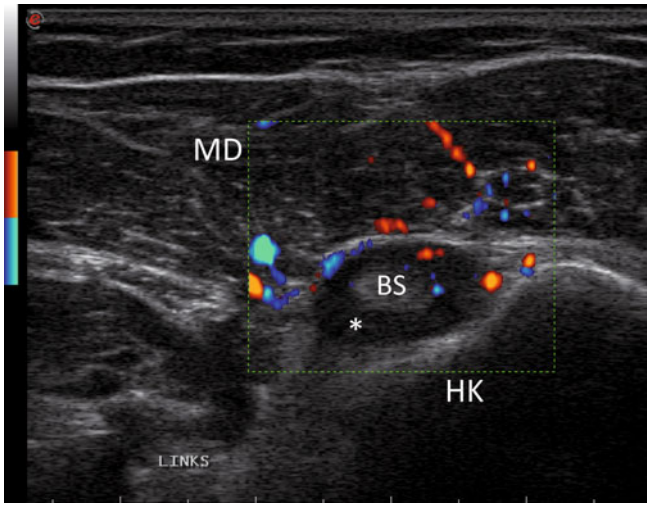


Abb. 20.21 Vorderer Transversalschnitt, Tendosynovitis der Bizepssehne. Die Bizepssehne (BS) wird von einem echoarmen Halo (*) umgeben, bedingt durch die flüssigkeitsgefüllte Sehnenscheide, deren Begrenzung als echogene Linie gut sichtbar ist. Der Sulcus bicipitalis ist bei diesem weit distal gelegenen Schnitt nur noch angedeutet sichtbar (HK: Humeruskopf, MD: M. deltoideus)

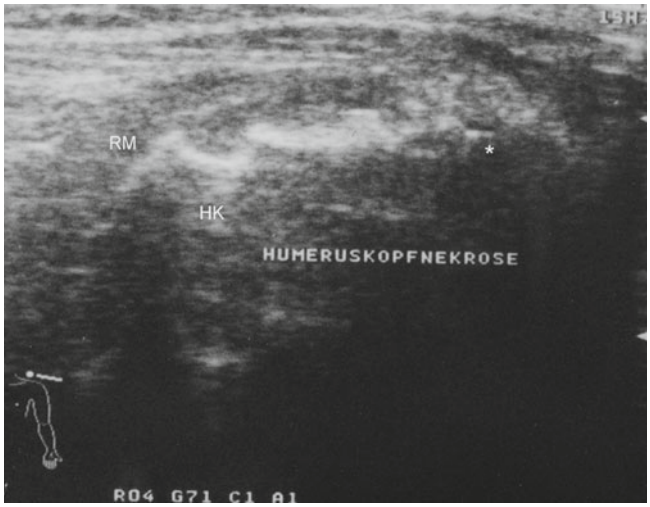


Abb. 20.22 Hoher lateraler Längsschnitt, Humeruskopfnekrose, 25-jährige Patientin. Die Humeruskopfkontur ist eingebrochen und entrundet. Die Kortikalis erscheint zackig und teilweise schollig zerfallen (*, HK: Humeruskopf, RM: Rotatorenmanschette)

Druck nach ventral und dorsal aus. Die Scherbewegungen des Humeruskopfs gegenüber dem Glenoidrand werden auf diese Weise sichtbar.

Freie Gelenkflüssigkeit

Das Schultergelenk füllt sich bei einem Hämarthros, Empyem oder einem Reizerguss mit freier Flüssigkeit auf. Bei kleinen Mengen können diese am besten im axialen Schnitt (Abb. 20.8) und im hinteren Transversalschnitt in Außenrotation dargestellt werden (Schmidt et al. 2008) (Abb. 20.7). Die Gelenkkapsel wölbt sich im Bereich der Umschlagsfalte konvex vor, der darunter liegende echofreie Raum entspricht der intraartikulären Flüssigkeit. Bei ausgeprägten Befunden kann die Flüssigkeit auch in den ventralen Schnittebenen dargestellt werden. Es zeigt sich dann eine echofreie, scharf begrenzte, komprimierbare Zone um den Humeruskopf und unter der Rotatorenmanschette.

Exophytäre Anbauten im Bereich der Humeruskopfkortikalis sind gut darstellbar. Diese erscheint dann nicht mehr strichförmig echogen, sondern schollig und teilweise unterbrochen. Begleitend liegen häufig Reizergüsse vor (Abb. 20.22).

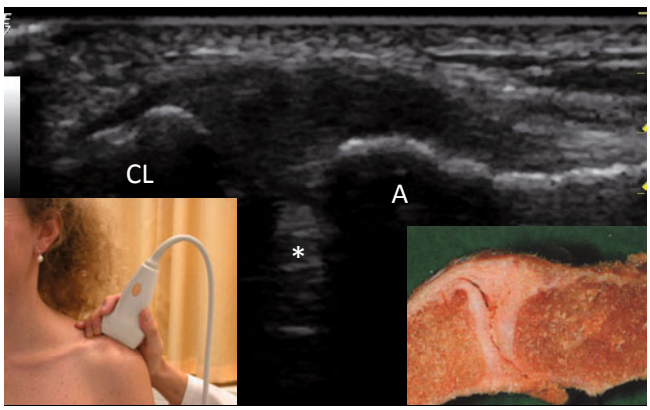


Abb. 20.23 Normalbefund Längsschnitt Akromioklavikulargelenk. Das laterale Klavikulaende (CL) steht auf gleichem Niveau wie das Akromion (A). Dazwischen liegt das Akromioklavikulargelenk (*), die Gelenkflächen weisen keine degenerativen Veränderungen auf. Unten links: Schallkopfposition Längsschnitt Akromioklavikulargelenk. Unten rechts anatomisches Präparat Schnittebene

20.2.2 Akromioklavikulargelenk und Klavikula

Standardebenen und Normalbefund

Das Akromioklavikulargelenk (AC-Gelenk) wird nur von einer dünnen Weichteilschicht bedeckt und ist gut tastbar. Wegen der oberflächlichen Lage verwenden wir einen hochfrequenten 7,5–15 MHz-Linearschallkopf. Es gibt nur 2 Schnittebenen, **längsverlaufend** zur Klavikulaachse und senkrecht bzw. **quer** dazu.

Längsschnitt

Im Längsschnitt sind die scharf begrenzten Enden der artikulierenden Knochen gut darzustellen. Der Discus interarticularis ist ca. 0,5–1,0 cm breit, stellt sich echoarm dar und unterbricht die echogene Linie des im Normalfall auf einem Niveau liegenden Kortikalisreflexes von Klavikula und Akromion. Aufgrund der fehlenden Schallabschwächung im Diskusbereich erscheint das tiefer gelegene Gewebe echogener (Abb. 20.23).

Indikation: Schultereckgelenksprengung, Akromioklavikulargelenkarthrose, Synovitis, Diszitis.

Querschnitt

Die zweite Ebene, der Querschnitt, ist weniger aussagekräftig. Das Gelenk wird von medial nach lateral abgefahren. Die Kortikalis stellt sich ovalär, scharf begrenzt dar. Über dem Diskus liegt unter der Subkutis ein echoarmer Raum.

Pathologische Befunde

Verletzungen des Akromioklavikulargelenks gehen häufig mit Bandrupturen einher. Der laterale Hochstand des schmerzhaft federn-

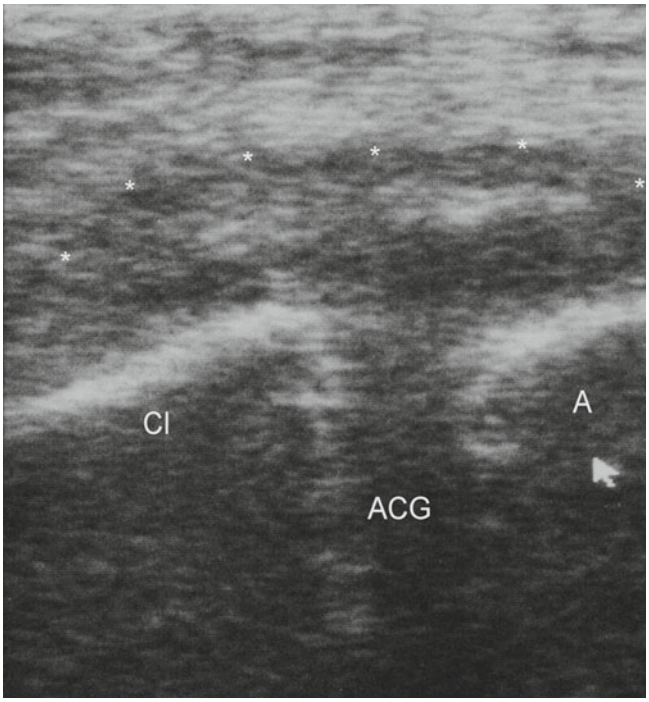


Abb. 20.24 Längsschnitt Akromioklavikulargelenk (ACG), Schultereckgelenksprengung Typ Rockwood II. Die laterale Klavikula (Cl) ist um ca. eine halbe Schaftbreite gegenüber dem Akromion (A) verschoben. Druck auf das laterale Klavikulaende löst einerseits Schmerz aus, andererseits wird eine Reposition des federnden Endes erreicht. Zusätzlich liegt eine Einblutung in das Gelenk vor, was zur Vorwölbung der Gelenkkapsel führt (*****)

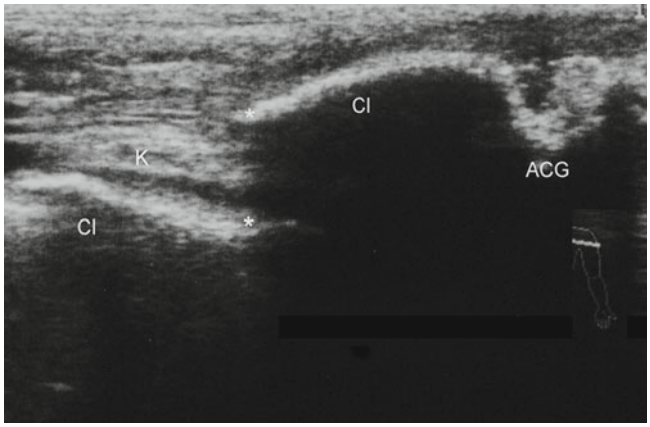


Abb. 20.25 Längsschnitt über der Klavikula, hypertrophe Pseudarthrose, Ausgangsbefund. Deutlich sichtbar ist die Stufenbildung (* *) zwischen den Frakturenden der Klavikula (Cl). Kallus (K) und Narbengewebe lassen sich darstellen. Nebenbefundlich besteht eine Arthrose im Bereich des Akromioklavikulargelenks (ACG)

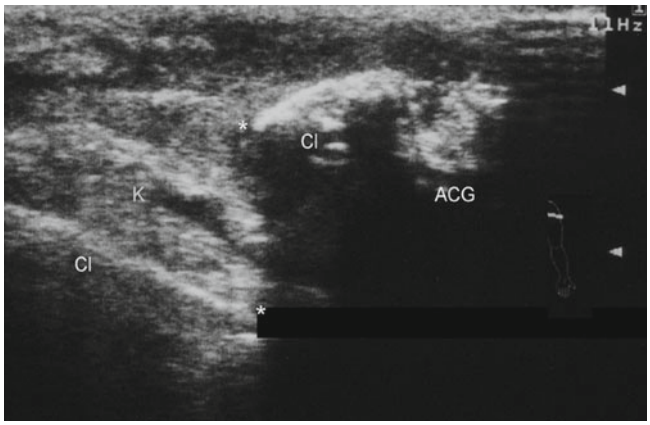


Abb. 20.26 Längsschnitt über der Klavikula, Pseudarthrose, Druck auf das mediale Klavikulaende. Beim Vergleich mit Abb. 20.25 ist die abnorme Beweglichkeit der Klavikulaenden (Cl) mit Vergrößerung der Distanz (* *) sichtbar (ACK: Akromioklavikulargelenk, K: Kallus)

den Klavikulaendes wird klinisch diagnostiziert. Zur Einteilung der Verletzungsschwere eignet sich eine seitenvergleichende Röntgenaufnahme mit axialem Zug am Arm oder die Sonografie.

Verletzung des Akromioklavikulargelenks

Bekannt sind die Einteilungen nach Tossy und nach Rockwood (▶ Kap. 5, Schulter). Die Stufenbildung durch Hochstand des lateralen Klavikulaendes gegenüber dem Akromion kann im Längsschnitt problemlos dargestellt werden, wenn eine gute Ankopplung erreicht wird. Mit einer Hand hält der Untersucher den Schallkopf, mit dem Zeigefinger der anderen Hand übt er Druck auf das laterale Klavikulaende aus. Dadurch werden abnorme Beweglichkeit und das Ausmaß des Hochstandes sichtbar. Auch eine abnorme Beweglichkeit in der Horizontalebene kann in der 2. Ebene ausgemessen werden. Eine Stadieneinteilung nach Tossy oder Rockwood ist somit auch sonografisch möglich. Auf die zu diesem Zweck durchgeführte Stressröntgenaufnahme kann dann verzichtet werden (Abb. 20.24).

Die Beteiligung des Delta- und Trapeziusmuskel und deren gemeinsamer Faszie bei höhergradigen Verletzungen des AC-Gelenks ist sonografisch gut darstellbar. Die radiologisch nicht immer einfach zu treffende Unterscheidung zwischen den einzelnen Verletzungstypen des AC-Gelenks und die damit verbundene Therapieentscheidung wird erleichtert (Heers u. Hedtmann 2002).

Akromioklavikulargelenkarthrose

Der Gelenkspalt wird durch exophytäre Anbauten verschmälert. Die normalerweise glatt begrenzte Kortikalis weist je nach Ausmaß des Befundes mehr oder weniger starke Unregelmäßigkeiten auf. Ein begleitender Reizerguss stellt sich als echofreie Vorwölbung der Gelenkkapsel dar.

Pseudarthrose der Klavikula

Die Möglichkeit der dynamischen Untersuchung lässt sich für die Beurteilung des Heilungsverlaufs nach Fraktur sehr gut nutzen. Druck auf die ehemaligen Frakturenden zeigt, ob eine abnorme Beweglichkeit vorliegt. Außerdem ist Kallus sichtbar, bevor der radiologische Nachweis gelingt (Abb. 20.25, Abb. 20.26).

20.2.3 Sternoklavikulargelenk

Für Standardebenen, Normalbefund und Interpretation pathologischer Befunde (Verletzung, Arthrose und Ergussbildung) gelten die gleichen Grundsätze wie beim Akromioklavikulargelenk (Abb. 20.27). Die Untersuchung wird in Rückenlage durchgeführt.

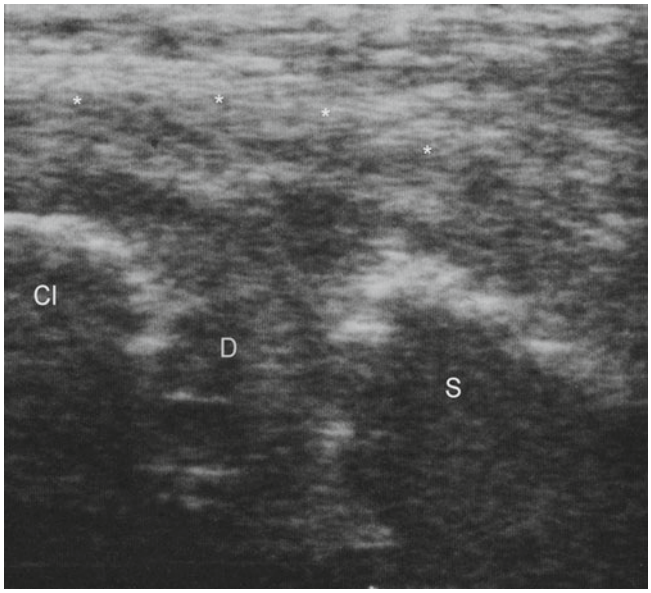


Abb. 20.27 Diszitis des Sternoklavikulargelenks mit Ergussbildung. Die Gelenkflächen von medialer Klavikula (Cl) und Sternum (S) sind durch die chronische Entzündung unregelmäßig begrenzt. Der Discus interarticularis (D) ist vom umliegenden, inhomogenen Gewebe nicht abgrenzbar. Die Gelenkkapsel wölbt sich bei Ergussbildung konvex vor (***)

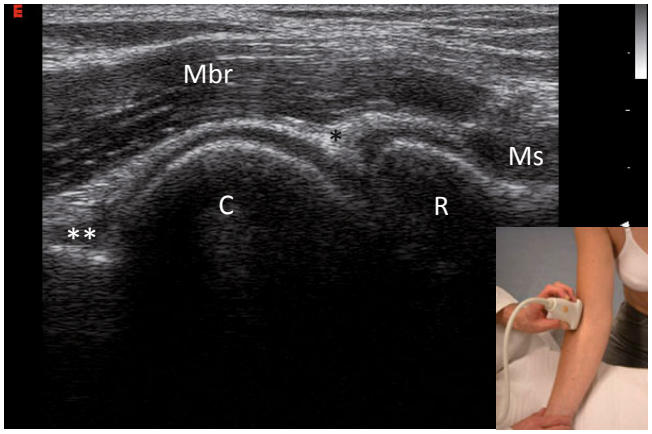


Abb. 20.28 Normalbefund ventraler Längsschnitt, radial. Die Articulatio humeroradialis mit Capitulum humeri (C) und abgerundetem Radiuskopf (R) ist gut einsehbar. Der die Kortikalis umgebende echoarme Saum entspricht dem knorpeligen Überzug. Die Gelenkkapsel (*) stellt sich echoreich dar. Als Leitmuskel zieht der M. brachioradialis (Mbr) über das Gelenk. Der zwischen Radius und Ulna liegende M. supinator (Ms) ist quer getroffen. Links kommt die Fossa radii zur Darstellung (**) Unten rechts: Schallkopfposition ventraler Längsschnitt, radial

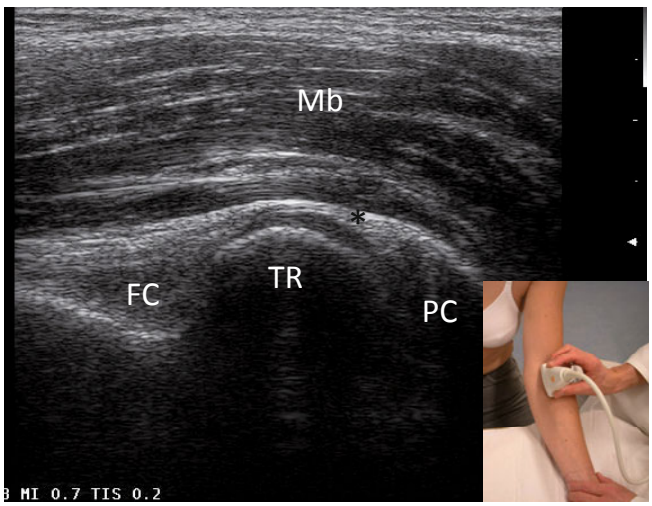


Abb. 20.29 Normalbefund ventraler Längsschnitt, ulnar. Die Articulatio humeroulnaris mit Trochlea (Tr) und Fossa coronoidea (Fc) und dem spitz ausgezogenen Processus coronoideus der Ulna (Pc). Der M. brachialis (Mb) ist der längs angeschnittene Leitmuskel oberhalb der Gelenkkapsel (*). Unten rechts: Schallkopfposition ventraler Längsschnitt, ulnar

20.2.4 Ellenbogengelenk

Die Gelenke des Ellenbogens können sonografisch gut untersucht werden, da die knöchernen Strukturen oberflächennah liegen. Die Untersuchung wird am sitzenden Patienten mit einem Linearschallkopf (7,5–15 MHz) durchgeführt.

Standardebenen und Normalbefund

Das Ellenbogengelenk wird ventral und dorsal im Längs- und Querschnitt dargestellt. Berücksichtigt werden muss dabei die Besonderheit, dass beim Ellenbogen 3 Gelenke funktionell zusammenwirken. Durch Parallelverschieben des Schallkopfs in den Hauptschnittebenen sind alle Gelenkabschnitte sicher zu beurteilen.

Bei gestrecktem Arm werden von ventral das Humeroulnar- und -radialgelenk abgebildet. Dorsal ist bei 90° gebeugtem Arm das Humeroulnargelenk mit der Fossa olecrani einsehbar.

Ventraler Längsschnitt

Der ventrale Längsschnitt kann radial und ulnar ausgeführt werden. Der Schallkopf wird bei gestrecktem Arm in Verlängerung der Oberarmachse aufgesetzt und das Gelenk durch Parallelverschieben untersucht. Das Radiusköpfchen stellt sich im Vergleich zur spitz auslaufenden Ulna abgerundet dar. Bei Pro- und Supination des Unterarms sind die Drehbewegungen des Radiuskopfes sichtbar. Pathologische Befunde, z.B. knöcherne Absprengungen oder Frakturen, können auf diese Weise in das Schallfenster hineingedreht werden. Bei Flexion schiebt sich der Radiuskopf über das bogenförmig abgebildete Capitulum humeri. Leitmuskel ist der M. brachioradialis, der breitbasig nach distal zieht (Abb. 20.28).

Indikation: Gelenkerguss, Radiuskopfläsion bzw. -luxation, freier Gelenkkörper.

Der Längsschnitt über dem Humeroulnargelenk orientiert sich an der halbrunden, überknorpelten Trochlea humeri und an dem bogenförmig über das Gelenk ziehenden M. brachialis. Kranial der Trochlea liegt die Fossa coronoidea. Die proximale Ulna langstreckig darzustellen, ist nur bedingt möglich, da die Knochenkontur in diesem Schnitt durch den abfallenden Processus coronoideus schräg zum Schallkopf verläuft. Meist sieht man nur einen kurzstreckigen Reflex, der dem spitz zulaufenden Processus entspricht (Abb. 20.29).

Ventraler Querschnitt

Beim ventralen Querschnitt wird der Schallkopf vom distalen Humerus nach distal über das Gelenk geschoben. Die Trochlea stellt sich mit dem Capitulum humeri in der Form einer geschweiften Klammer dar. Der Knorpel überzieht an dieser Stelle als echofrei-

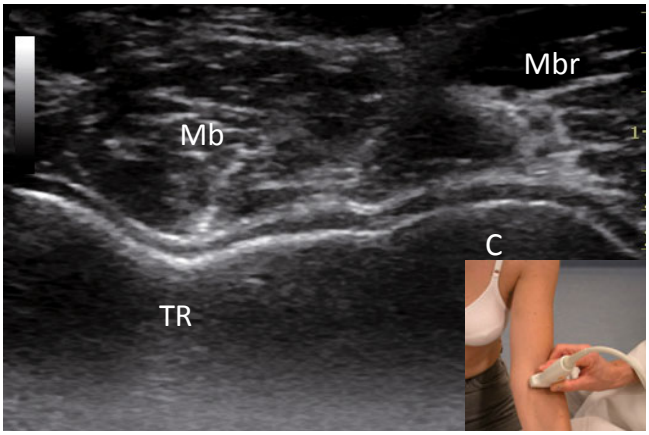


Abb. 20.30 Normalbefund ventraler Querschnitt des distalen Humerus. Der Reflex an der Grenzfläche der Kortikalis stellt sich in diesem Schnitt als geschweifte Klammer dar. Der mediale Anteil wird von der Trochlea (Tr) gebildet, der laterale, bogenförmige vom Capitulum humeri (C). Der quer angeschnittene M. brachialis (Mb) zieht als Leitmuskel ventral über das Gelenk, radialseitig liegt der M. brachioradialis (Mbr). Unten rechts: Schallkopfposition ventraler Querschnitt des distalen Humerus

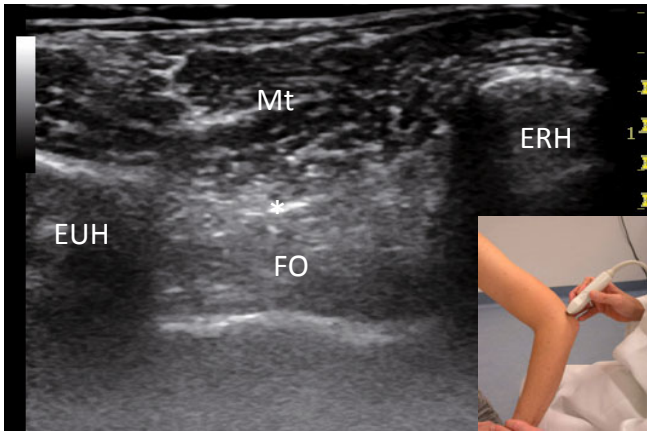


Abb. 20.32 Normalbefund dorsaler Querschnitt. Die Fossa olecrani (FO) stellt sich U-förmig dar und wird beidseits von den Epikondylen (EUH, ERH) begrenzt. Die Gelenkkapsel (*) überspannt die Fossa. Quer getroffen ist der abgeflachte, sehnige Ansatz des M. triceps brachii (Mt). Unten rechts: Schallkopfposition dorsaler Querschnitt

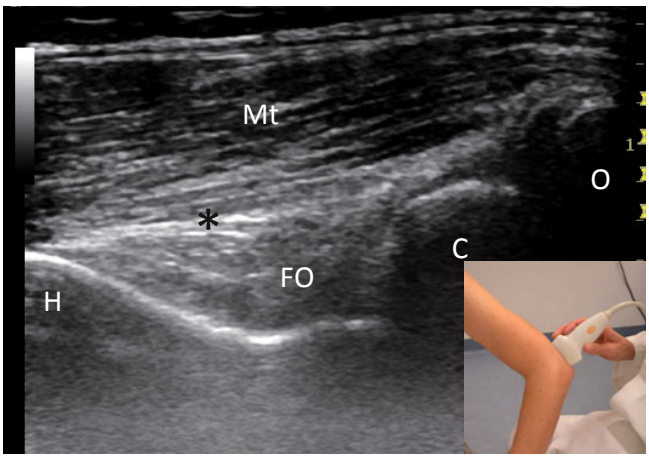


Abb. 20.31 Normalbefund dorsaler Längsschnitt. Kranial stellt sich die Kortikalis des Humerus (H) als echogene Linie dar, die in eine Vertiefung übergeht, die Fossa olecrani (FO). Die Gelenkkapsel (*) überspannt die Fossa. Am Olekranon (O) setzt der M. triceps brachii (Mt) an. Medial vom Olekranon kommt das Kapitulum (C) von dorsal zur Darstellung. Bei Streckung des Arms verdrängt die Olekranonspitze das Fettgewebe aus der Fossa. Unten rechts: Schallkopfposition dorsaler Längsschnitt

er Saum den Knochen. Die Mm. brachioradialis und brachialis werden quer angeschnitten. Weiter distal kommen als halbrunder Knochenreflex Ulna und Radius ins Bild (Abb. 20.30).

Indikation: Läsion des Radiuskopfes, osteochondrale Defekte, Gelenkerguss, freier Gelenkkörper.

Bei der Untersuchung von dorsal ist der Arm 70–90° gebeugt. Am besten stützt sich der sitzende Patient nach hinten mit der Hand auf der Liege ab. Dadurch gibt das Olekranon die Fossa frei.

Dorsaler Längsschnitt

Der dorsale Längsschnitt stellt die Humerusschaftkortikalis als parallel verlaufende echoreiche Linie dar. Diese fällt durch die Fossa olecrani wannenförmig ab. Das geführte Strecken des Arms zeigt die Verlagerung des Olekranons in die Fossa. Die echoreiche Sehne des M. triceps brachii inseriert an der Olekranonspitze (Abb. 20.31).

Dorsaler Querschnitt

Beim dorsalen Querschnitt wird der distale Humerus auf Höhe der Fossa olecrani quer eingestellt, die U-förmig zur Darstellung kommt. Das Ellenbogengelenk ist 45° gebeugt. Angrenzend liegen die Epikondylen. Darüber ist der M. triceps brachii quer angeschnitten (Abb. 20.32).

Pathologische Befunde

Hauptindikationen für die Arthrosonografie sind intraartikuläre Veränderungen wie Gelenkerguss, Destruktionen der Kortikalis, kindliche Frakturen und Dislokationen. Extraartikulär können Verletzungen der umgebenden Sehnen und Muskeln und Entzündungen der Schleimbeutel gut dargestellt werden. Auf diese Weise erhält der Untersucher wichtige ergänzende Informationen zur konventionellen Röntgendiagnostik.

Die im Folgenden genannten Verletzungen bzw. Erkrankungen stellen Indikationen für eine sonografische Untersuchung dar.

Gelenkerguss/Hämarthros

Zur Klärung, ob eine intraartikuläre Flüssigkeitsansammlung vorliegt, ist die Sonografie Methode der Wahl. Ursache kann ein entzündlich bedingter Gelenkerguss oder die Einblutung nach einem Trauma sein.

Die Flüssigkeit hebt die Gelenkkapsel vom Knochen ab und stellt sich echoarm bis echofrei, scharf begrenzt zwischen der echoreichen Gelenkkapsel und der Kortikalis dar. Die Flüssigkeit lässt sich mit dem Schallkopf komprimieren. Am anschaulichsten ist der Befund im ventralen Längsschnitt. Durch die Schallverstärkung kommt die echoreiche Kontur der Kortikalis noch besser zur Darstellung. Eine Punktion ist dorsolateral über dem radialseitigen Sulcus gefahrlos möglich, da hier kein Gefäß-Nerven-Bündel verläuft. Der Erguss kann in diesem Bereich als Fluktuation getastet werden.

Gelenkzysten

Gelenkzysten am Ellenbogengelenk entstehen bei chronisch entzündlichen Prozessen und entsprechen der Baker-Zyste am Kniegelenk. Die flüssigkeitsgefüllte Ausstülpung der Gelenkhaut ist echofrei und scharf begrenzt. Im Unterschied zu einer Bursa kann die stielförmige Verbindung zum Gelenk nachgewiesen werden.

Bursitis olecrani

Bei der Bursitis olecrani liegt zwischen dem Olekranon und der Subkutis eine sichel- bis spindelförmige, echofreie, scharf begrenzte Struktur. Bei chronischen oder schweren Verläufen kann die Binnenstruktur inhomogen und echogener sein. Manchmal erscheint der Raum durch Fibrinfäden gekammert. Die Flüssigkeit weicht auf Druck zur Seite. Die Bursa ist komprimierbar. Deshalb darf der Untersucher beim Nachweis von geringen Flüssigkeitsmengen den Schallkopf nur leicht auflegen. Eine normale Bursa olecrani stellt sich sonografisch nicht dar.

Radiuskopfluxation

Gerade in der Kindertraumatologie bietet die Sonografie gute diagnostische Möglichkeiten (Grechenig, Clement et al. 2002). Frakturen oder Dislokationen im Bereich noch kartilaginärer Strukturen werden auf der konventionellen Röntgenaufnahme nicht direkt abgebildet, im Seitenvergleich fallen Achsabweichungen oder Dehiszenzen auf. Sonografisch kommt der Knorpel echoarm zur Darstellung und ist scharf begrenzt.

Eine Luxation des Radiuskopfes ist sonografisch im Seitenvergleich gut diagnostizierbar. Es besteht eine Inkongruenz zwischen dem Capitulum humeri und dem Caput radii. Auf der asymptomatischen Gegenseite artikulieren die Gelenkflächen (◘ Abb. 20.33, ◘ Abb. 20.34). Bei nicht dislozierten Radiuskopffrakturen ist immer auch ein Hämarthros zu erwarten. Bei Fehlen sonografischer Zeichen einer intraartikulären Volumenzunahme kann auf weitere kostenintensive Schnittbildverfahren verzichtet werden (Kessler et al. 2002).

Ruptur der distalen Bizepssehne

Die distale Bizepssehne kann sonografisch bis zum Ansatz an der Tuberositas radii verfolgt werden. Auch das breit einstrahlende, echoreiche Faszienblatt der Aponeurosis M. bicipitis unterhalb der Subkutis kann vom umliegenden Gewebe differenziert werden. Die Diagnose einer Bizepssehnenruptur wird in erster Linie klinisch gestellt. Sonografisch sind die auseinander gewichenen Rupturenden schwierig darstellbar. Das Sehnenfach ist jedoch leer (▶ Abschnitt 20.3.2, Sehnen). Begleitend bildet sich ein Hämatom aus. Auch isolierte Rupturen der Aponeurosis bei erhaltener distaler Bizepssehne können sonografisch diagnostiziert werden. Es gibt Fälle, bei denen nach entsprechendem Trauma eine Diskrepanz zwischen klinischem Befund und der MRT besteht. Die Möglichkeit der dynamischen Untersuchung durch die Sonografie bietet dann Vorteile.

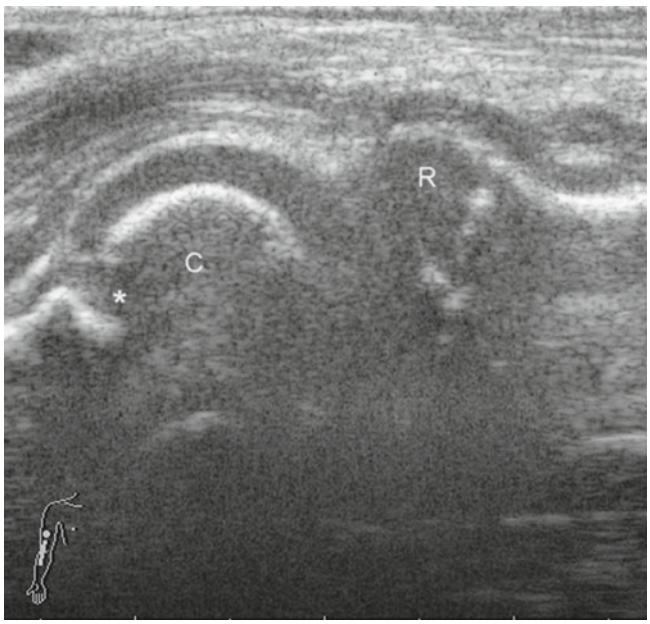
Freier Gelenkkörper

Freie Gelenkkörper können bei günstiger Lage sonografisch erkannt werden und stellen sich als mobiler, bogenförmiger, echoreicher Reflex mit dorsaler Schallauslöschung dar. Der Gelenkbinnenraum ist jedoch nur unzureichend beurteilbar, weshalb nur ein positiver Befund gewertet werden kann. Das Diagnostikum der Wahl ist die MRT.

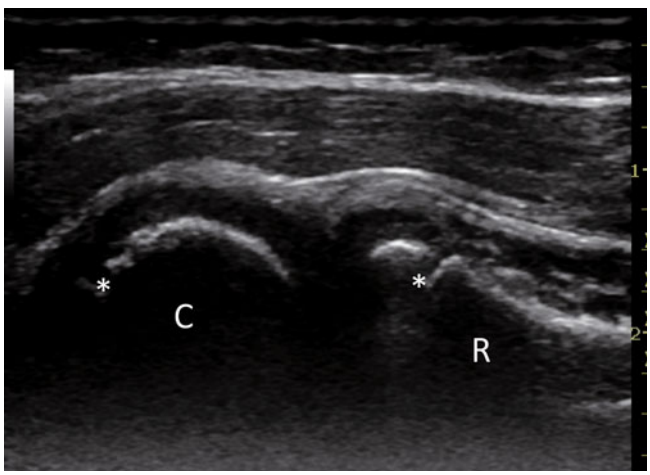
Lediglich in seltenen Fällen, bei denen magnetisierbare Fremdkörper nachgewiesen werden sollen, kann die MRT nicht eingesetzt werden. Bei einer Patientin mit Schrotschussverletzung beispielsweise war das Röntgenübersichtsbild übersät mit Kugeln. Sonografisch ließ sich ein Projektil im Humeroradialgelenk nachweisen.

Kubitalarthrose

Die normalerweise glatt begrenzte Kortikalis weist durch die exophytären Anbauten deutliche Unregelmäßigkeiten auf. Der Gelenkspalt ist verschmälert. Die Knochenkontur ist wegen der oberflächlichen Lage sonografisch sehr gut darstellbar. Exophyten, Vernarbungen im Bereich der Fossae olecrani et coronoidea oder im Bereich der ventralen Kapsel können als Ursache für eine Be-



◘ **Abb. 20.33** Normalbefund eines ventralen Längsschnitts bei einem 5-jährigen Kind. Der Radiuskopf (R) wird durch eine echogene Linie begrenzt. Der gelenknahe echoarme Anteil ist noch knorpelig ausgebildet. Die Kontur des Radiuskopf ist zu erkennen. Das Capitulum humeri (C) stellt sich bogenförmig echogen dar. Die Einkerbung (*) entspricht der Wachstumsfuge. Die Gelenkflächen sind mit einer dicken, echoarmen Knorpelschicht überzogen



◘ **Abb. 20.34** Normalbefund eines ventralen Längsschnitts bei einem 11-jährigen Kind. Im Gegensatz zu ◘ Abb. 20.33 ist die Knochenbildung weiter fortgeschritten. Der knorpelige Anteil des Radiuskopfs (R) ist kleiner. Die Wachstumsfugen (*) sind gut zu sehen. Das Capitulum humeri (C) wird von einer dicken Knorpelschicht überzogen

wegungseinschränkung sonografisch erkannt werden. Bei der Kubitalarthrose finden sich Ergüsse häufig in der Fossa olecrani, bei einer Arthritis hingegen werden die Ergüsse gewöhnlich in allen Gelenkkompartimenten gefunden.

20.2.5 Hüftgelenk

Standardebenen und Normalbefund

Das Hüftgelenk wird von einem dicken Weichteilmantel umgeben. Deshalb ist es palpatorisch schlecht zugänglich. Umso wertvoller ist die sonografische Untersuchung. Zur Anwendung kommen 3 Schnittebenen (Konermann et al. 2000).

Vorderer Schrägschnitt

Der vordere Schrägschnitt verläuft parallel zum darunter liegenden Schenkelhals. Der Schallkopf wird zwischen Trochanter major und der Mitte des Leistenbandes aufgesetzt. Dieser Schnitt ist sehr aussagekräftig (◘ Abb. 20.35).

Indikation: Gelenkerguss, Koxitis, Epiphyseolysis capitis femoris, Morbus Perthes, Apophysenausriss, freier Gelenkkörper.

Vorderer Transversalschnitt

Beim vorderen Transversalschnitt wird der Schallkopf auf einer gedachten Linie zwischen Trochanter major und Symphyse aufgesetzt. Als Leitstruktur kommt die ventrale Zirkumferenz des Femurkopfs zur Darstellung (◘ Abb. 20.36).

Lateraler Längsschnitt

Der laterale Längsschnitt verläuft in Richtung der Femurschaftachse, der Schallkopf wird über der Spitze des Trochanter major aufgesetzt (◘ Abb. 20.37).

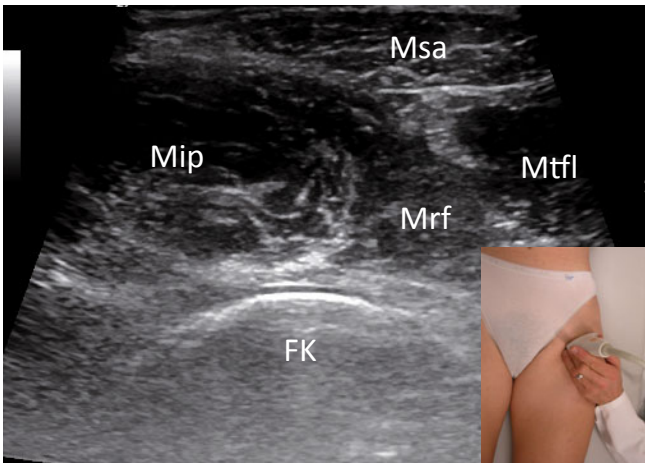
Pathologische Befunde

Freie Gelenkflüssigkeit (Erguss, Hämarthros, Empyem)

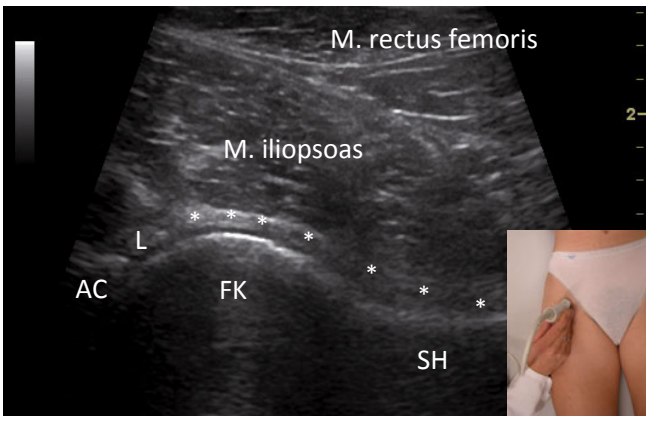
Der Hüftgelenkerguss ist aufgrund des dicken umliegenden Weichteilmantels palpatorisch nicht diagnostizierbar. Die Gelenkkapsel hüllt ventralseitig den gesamten Schenkelhals ein und reicht vom Pfannenrand bis zur Linea intertrochanterica. Beim Hüftgelenkerguss wölbt sich die Gelenkkapsel echoarm bzw. echofrei im vorderen Schrägschnitt konvex vor. Die Punktion bzw. intraartikuläre Injektion in das Hüftgelenk kann sonografisch gut gesteuert und verfolgt werden. Die Punktionstechnik wird in ▶ Abschnitt 20.5 (Sonografisch gesteuerte Punktion und Injektion) erläutert. Falls eine intraartikuläre Injektion vorgenommen wird, gibt die sonografische Kontrolle Gewissheit, dass das Medikament tatsächlich an die gewünschte Lokalisation gespritzt wird. Die Gelenkkapsel füllt sich während der Injektion auf und wölbt sich vor. Gleichzeitig kann man eine Schlierenbildung und ggf. kleinste Luftbläschen erkennen (◘ Abb. 20.38, ◘ Abb. 20.39, ◘ Abb. 20.40).

Koxitis

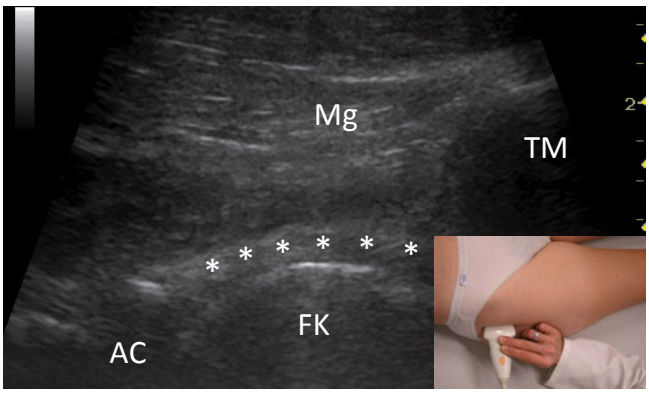
Die Sonografie ist bei dieser Erkrankung ein wichtiges Diagnostikum. Der begleitende Reizerguss und die im Seitenvergleich sichtbare Verdickung der Gelenkkapsel lassen sich nachweisen.



◘ **Abb. 20.36** Normalbefund vorderer Transversalschnitt. Die Femurkopfkortikalis (Fk) stellt sich als halbrunde, echoreiche Linie dar. Der M. iliopsoas zieht medialseitig über das Gelenk (Mip). Lateral stellen sich der M. rectus femoris (Mrf), der M. tensor fasciae (Mtfl) und ventral der M. sartorius (Msa) dar. Unten rechts: Schallkopfposition vorderer Transversalschnitt



◘ **Abb. 20.35** Normalbefund vorderer Schrägschnitt. In der Tiefe stellen sich als echogener knöcherner Reflex der Schenkelhals (SH) und die ventrale Femurkopfzirkumferenz (FK) dar. Medial kommen der knöcherne Acetabulumerker (AC) und das Labrum (L) ins Bild. Die ventrale Hüftgelenkkapsel (***) reicht vom Acetabulumrand bis in den Bereich der Linea intertrochanterica. Darüber liegen M. rectus femoris und M. iliopsoas. Unten rechts: Schallkopfposition vorderer Schrägschnitt



◘ **Abb. 20.37** Normalbefund lateraler Längsschnitt. Als knöcherne Reflexe stellen sich in der Tiefe kranial der Pfannenerker (AC) und die sichelförmige Femurkopfkontur (FK) dar. Der oberflächennah liegende, distale knöcherne Reflex entspricht dem Trochanter major (TM), an dessen Spitze der M. gluteus medius (Mg) ansetzt. Der Schenkelhals liegt im Schallschatten der kranial überstehenden Trochanterspitze. Über dem Hüftkopf spannt sich die Gelenkkapsel (*). Die Bursa trochanterica kommt im Normalfall nicht zur Darstellung. Unten rechts: Schallkopfposition lateraler Längsschnitt

Bursitis trochanterica

Über dem knöchernen Reflex des Trochanter major zeigt sich im lateralen Längsschnitt eine sichelförmige, scharf begrenzte, komprimierbare und druckschmerzhafte Struktur. Der Untersucher kann entweder durch das Anpressen des Schallkopfs Druck auf die darunter liegenden Strukturen ausüben oder, gezielter, punktförmig mit dem Zeigefinger der freien Hand, den er direkt an die Begrenzung des Schallkopfs anlegt. In der Regel schließen sich eine Punktion und die Injektion von Lokalanästhetika und Glukokortikoiden an.

Apophysenausriss

Im jugendlichen Alter treten Apophysenabrisse auf. Im Bereich des Beckens ist am häufigsten der Ursprung des M. rectus femoris an der Spina iliaca anterior inferior betroffen. Die abgerissene Knochenschuppe lässt sich sonografisch als bogenförmiger, echogener Reflex mit Schallschatten darstellen. Bei der dynamischen Untersuchung und beim Anspannen der Streckmuskulatur am Oberschenkel ist die Knochenschuppe mobil, die Distanz zum Ansatzbereich

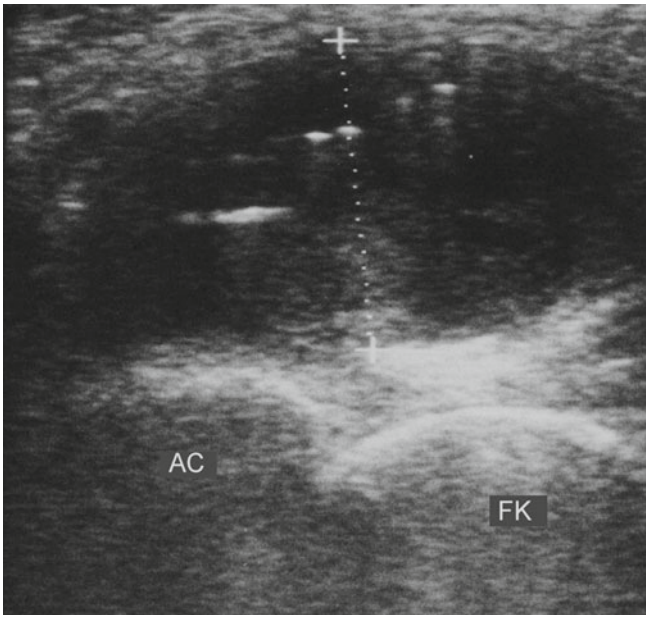


Abb. 20.40 Hüftgelenkempyem mit septischer Bursitis ileopectinea. Die Bursa wölbt sich aufgrund der intraartikulären Entzündung stark vor (+...+). Die intraartikuläre Flüssigkeit zeigt ein inhomogenes Binnenecho mit kleinen echogenen Reflexen, die abzesstypisch sind und Lufteinschlüssen entsprechen. (AC: Acetabulumrand, FK: Femurkopf)

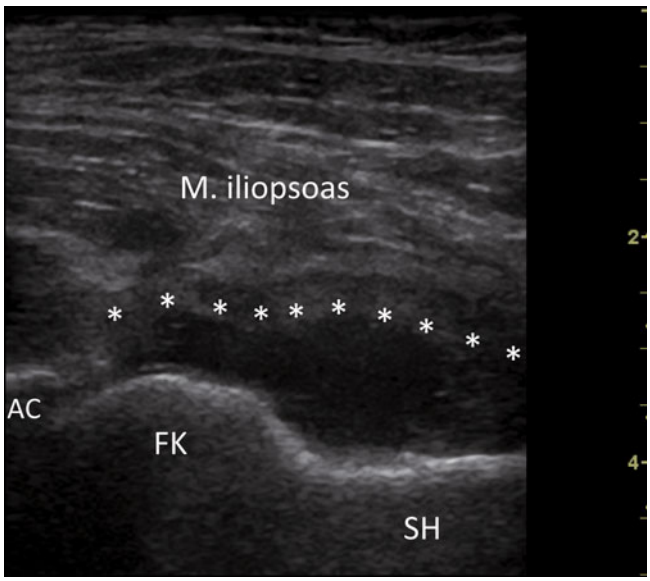


Abb. 20.38 Hüftgelenkerguss. Die Gelenkkapsel (***) wölbt sich aufgrund des Ergusses konvex vor. Die intraartikuläre Flüssigkeitsansammlung bewirkt eine Schallverstärkung, weshalb die dahinter liegende Femurkopf- und Schenkelhalskortikalis (FK, SH) echoreicher zur Darstellung kommt (AC: Acetabulumrand)

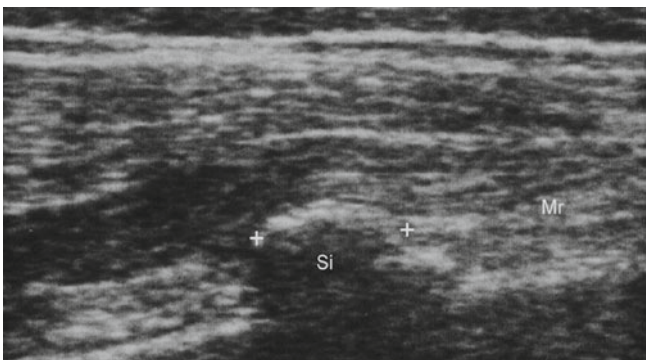


Abb. 20.41 Apophysenausriss, Spina iliaca anterior inferior eines 14-jährigen Jungen. Die bogenförmige Knochenschuppe (+ +) entspricht der Spina iliaca anterior inferior (Si), die aus dem Kortikalisverbund des Os ilium herausgelöst ist. Der Ursprung des M. rectus femoris (Mr) ist gut sichtbar

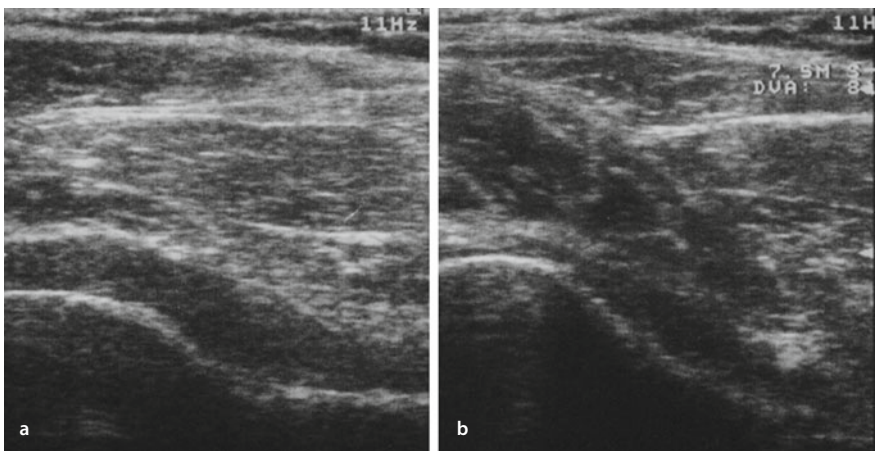


Abb. 20.39a,b Gegenüberstellung Normalbefund und Hüftgelenkserguss. **a** Auf der linken Bildhälfte wölbt sich die Gelenkkapsel im Vergleich zur Gegenseite (**b**) durch den Erguss deutlich vor. In **b** besitzt die intraartikuläre Flüssigkeit eine inhomogene Binnenstruktur mit kleinen echogenen Reflexen, die abszesstypisch sind und Lufteinschlüssen entsprechen. Der Zelldetritus knochennah kommt echogen zur Darstellung

vergrößert sich. Die Einblutung in der betroffenen Region ist ein weiteres Indiz (Abb. 20.41, Abb. 20.42).

Osteochondrosis dissecans/freier Gelenkkörper

Der Nachweis freier Gelenkkörper gelingt sonografisch sehr selten, da diese in der Regel im Gelenkbinnenraum liegen und von knöchernen Strukturen überlagert werden. Sichtbar ist der begleitende Reizerguss. Das Diagnostikum der Wahl ist die MRT.

Frakturnachweis

Zum Frakturnachweis proximaler Oberschenkel- oder Schenkelhalsfrakturen bleibt das konventionelle Röntgen die Bildgebung der ersten Wahl, jedoch können begleitende Weichteilschäden (Hämatome, Muskelverletzungen) sehr gut dargestellt werden (Abb. 20.43). So eignet sich die Sonografie zur posttraumatischen Verlaufskontrolle von Hämatomen, Seromen etc. (Clement et al. 2002).

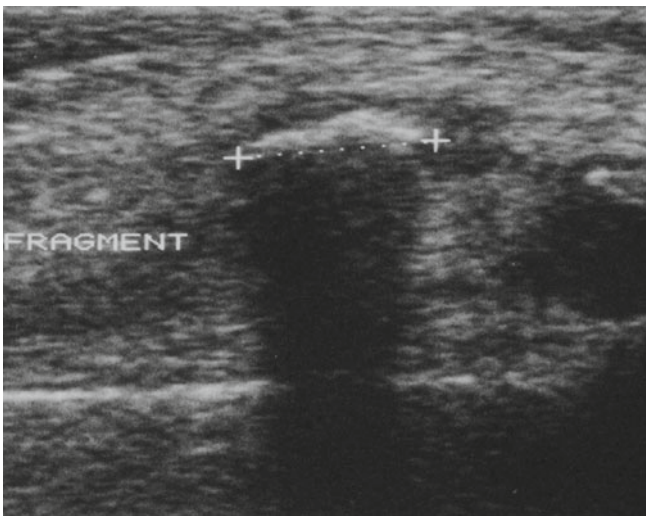


Abb. 20.42 Apophysenausriss, Spina iliaca anterior inferior, Anhebeversuch des gestreckten Beins. Durch die dadurch ausgelöste Kontraktion des M. rectus femoris kommt es zu einer Dehiszenz der Knochenschuppe (+ +). Die Kortikalisunterbrechung entspricht nicht der Defektzone (diese liegt weiter kranial), sondern wird durch den Schallschatten hervorgerufen

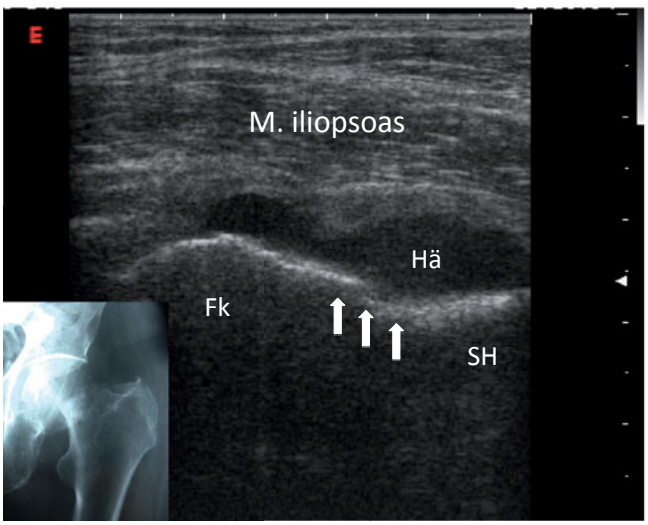


Abb. 20.43 Schenkelhalsfraktur. Patientin mit rheumatoider Arthritis, Osteoporose und starken Leistenschmerzen ohne adäquates Trauma. Sonografische Frakturdiagnose: Abgeflacht erscheinender Femurkopf (Fk), Stufenbildung (Pfeile) am Schenkelhals und Hämatom (Hä)

20.2.6 Kniegelenk

Als man vor über 25 Jahren begann, die Sonografie auch für die Untersuchung von Gelenken einzusetzen, wurde zunächst vermutet, dass v.a. das Kniegelenk eine Domäne dieser Untersuchung werden würde, insbesondere hinsichtlich Kreuzband- und Meniskusverletzungen. Der Kniebinnenraum ist jedoch aufgrund der engen Schallfenster, die durch die knöchernen Grenzen vorgegeben sind, nur bedingt einsehbar. Deshalb ist die MRT dem Ultraschall bei diesen Fragestellungen weit überlegen. Bei frischen Traumen mit Ausbildung eines Hämarthros ist die Beweglichkeit des Gelenks schmerz- und ergussbedingt so eingeschränkt, dass die für die sonografische Untersuchung notwendigen Positionen nicht immer eingenommen werden können. Lediglich die muskulären und sehnigen Hüllstrukturen, die oberflächlich liegen, sind sonografisch gut beurteilbar.

Standardebenen und Normalbefund

Die Untersuchung erfolgt dynamisch am liegenden Patienten in Rücken- oder Bauchlage. Zur Vereinfachung wird das Kniegelenk in ein vorderes, hinteres und seitliches Kompartiment unterteilt. Die Untersuchung beginnt mit den ventralen Längs- und Querschnitten.

Suprapatellarer Längsschnitt

Beim suprapatellaren Längsschnitt wird der Schallkopf proximal des oberen Patellapols aufgesetzt, dessen knöcherne Struktur am rechten Bildrand gerade noch sichtbar sein sollte (Abb. 20.44).

Indikation: Gelenkerguss, Sehnenverletzungen, freier Gelenkkörper.

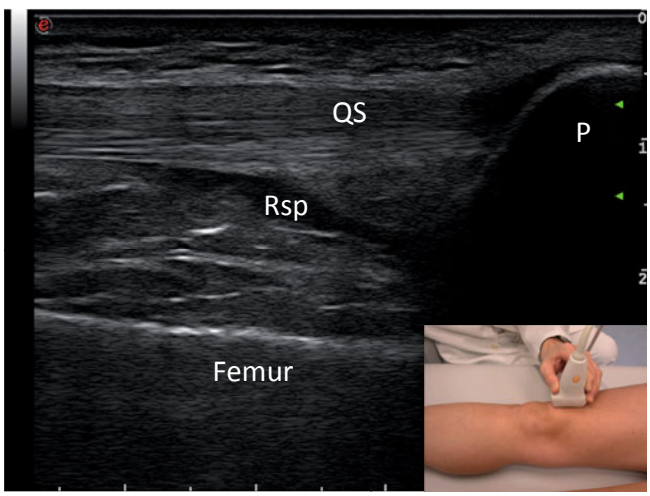


Abb. 20.44 Suprapatellarer Längsschnitt. Der Kortikalisreflex des Femurschafts bildet als echogene Linie in der Tiefe die Begrenzung. Am rechten Bildrand liegt der bogenförmige Reflex des oberen Patellapols (P). Die längsgeschnittene Quadrizepssehne (QS) setzt sich nach proximal als echogenes Band fort. Im Insertionsbereich am oberen Patellapol ist sie fächerförmig und erscheint wegen der ansteigenden, nicht schallkopfparallelen Verlaufsrichtung echoärmer. Der Recessus suprapatellaris (Rsp) erscheint als echoarmes, spitzwinkliges Dreieck. Das Anspannen der Quadrizepsmuskulatur erleichtert die Darstellung. Unten rechts: Schallkopfposition suprapatellar längs

Die Quadrizepssehne wird im Längsverlauf dargestellt und kann durch Anspannen des Muskels noch besser vom umliegenden Gewebe differenziert werden. Proximal und lateral des oberen Patellapols kommt der Recessus suprapatellaris oft nur bei angespannter Streckmuskulatur als echofreie Sichel zur Darstellung. Der Schallkopf darf dabei nur mit wenig Druck aufgelegt werden.

Suprapatellarer Querschnitt

Durch Drehen des Schallkopfs um 90° erhält man den suprapatellaren Querschnitt. Das Kniegelenk wird zunächst in Streckstellung untersucht. Zur Darstellung des femoropatellaren Gleitlagers muss das Kniegelenk ca. 45° gebeugt und der Schallkopf am oberen Patellarand nach distal gekippt werden. Dadurch wird das femoropatellare Gleitlager tangential angeschallt. Die Patellarückfläche liegt im Schallschatten und kann nicht eingesehen werden (Abb. 20.45, Abb. 20.46).

Indikation: Gelenkerguss, Ruptur der Quadrizepssehne, Beurteilung des femoropatellaren Gleitlagers (Dysplasie, exophytäre Anbauten).

Infrapatellarer Längsschnitt

Der infrapatellare Längsschnitt liegt im Verlauf des Ligamentum patellae zwischen unterem Patellapol und Tuberositas tibiae. Man erhält einen guten Einblick durch den Hoffa-Fettkörper in den Gelenkspalt (Abb. 20.47, Abb. 20.48).

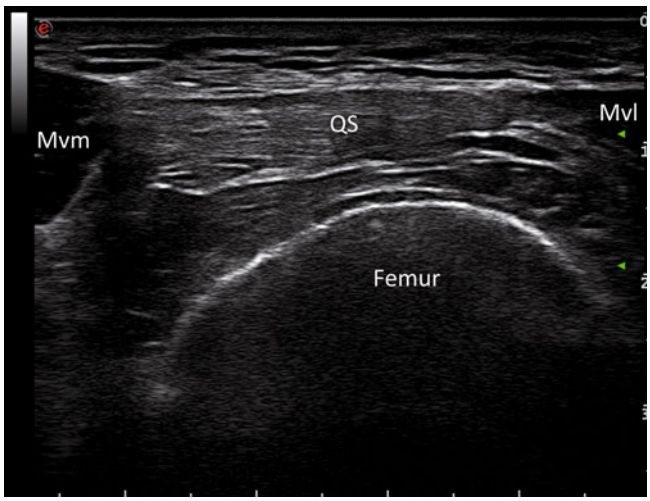


Abb. 20.45 Normalbefund suprapatellarer Querschnitt. Die quer getroffene Femurkortikalis stellt sich echogen, bogenförmig dar. Zwischen dem M. vastus medialis (Mvm) und M. lateralis (Mvl) liegt ovalär die Quadrizepssehne (QS)

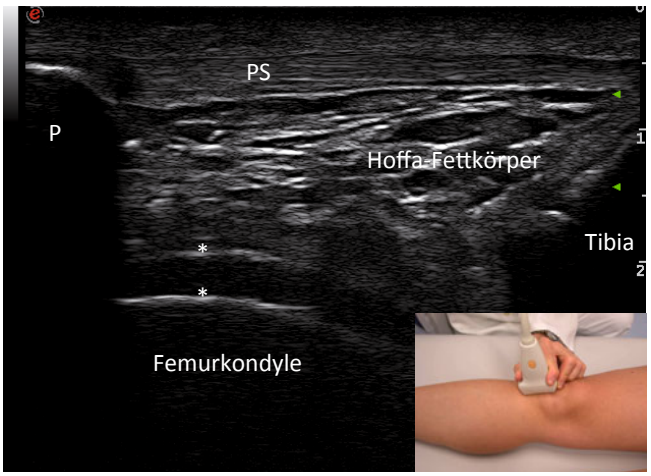


Abb. 20.47 Normalbefund infrapatellarer Längsschnitt. Zwischen dem am linken Bildrand sichtbaren unteren Patellapol (P) und der nicht mehr dargestellten Tuberositas tibiae spannt sich die Patellarsehne (PS) als echogenes, längsgefiedertes Band. Darunter liegt der Hoffa-Fettkörper. Der Gelenkspalt wird proximal begrenzt durch die gebogene Struktur des Femurkondylus und distal durch das schräg nach dorsal abfallende Tibiaplateau. Der Femurkondylus ist mit Knorpel überzogen, der als parallel verlaufendes, echoarmes Band (* *) der Kortikalis aufliegt. Unten rechts: Schallkopfposition infrapatellarer Längsschnitt

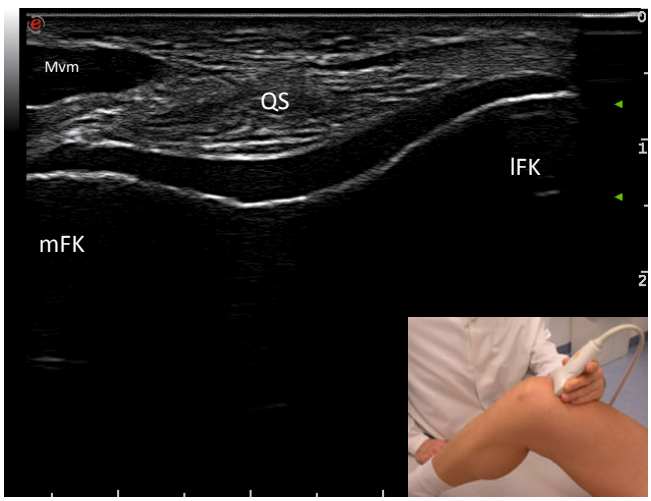


Abb. 20.46 Normalbefund femoropatellares Gleitlager. Das femorale Gleitlager verläuft bogenförmig geschweift und wird beidseits durch die Femurkondylen (mFK, lFK) begrenzt. Bei der ovalären Struktur in der Mitte handelt es sich um die quer getroffene Quadrizepssehne (QS). Am linken oberen Bildrand ist der M. vastus medialis (Mvm) gerade noch angeschnitten. Unten rechs: Schallkopfposition suprapatellarer, tangentialer Querschnitt (femoropatellares Gleitlager)

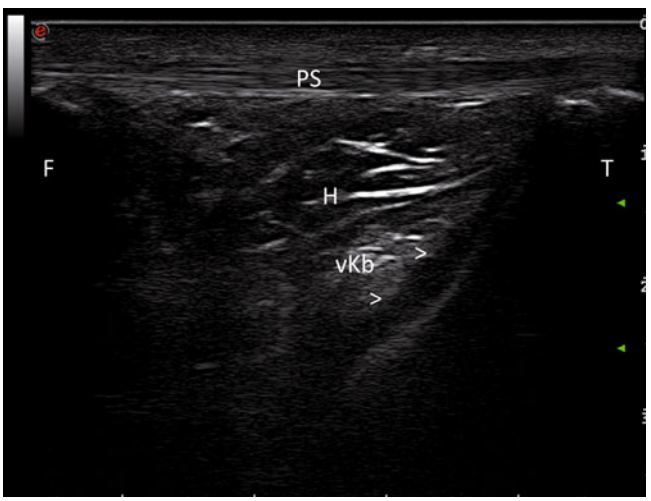


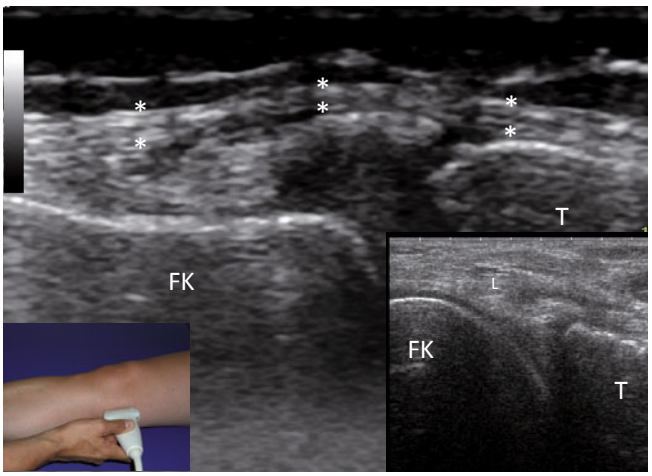
Abb. 20.48 Infrapatellarer Längsschnitt. Das Knie ist maximal gebeugt, der Unterschenkel ca. 20° innenrotiert. Vom ventralen Tibiaplateau (T) entspringt das vordere Kreuzband (vKb, >), das als echoarmes, gestrecktes Band schräg in die Tiefe verläuft (F: Femurkondylus, H: Hoffa-Fettkörper, PS: Patellasehne)

Indikation: Ruptur oder Tendinose der Patellarsehne, Patellaspitzensyndrom, Bursitis infrapatellaris.

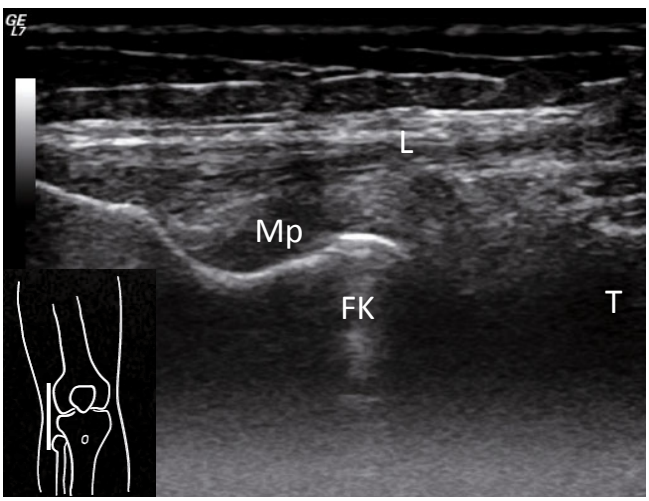
Medialer und lateraler Längsschnitt

Der mediale und laterale Längsschnitt orientiert sich am Verlauf der Kollateralbänder, die in diesem Schnitt gut einsehbar sind. Im lateralen Längsschnitt ist die knöcherne Struktur des Fibulaköpfchens sichtbar, an dem das laterale Kollateralband ansetzt. Es hat im Gegensatz zum Innenband keine Verbindung zum Meniskus, zieht frei zum Epicondylus lateralis des Femurs und ist gut abgrenzbar. Die intermediären Anteile der Menisken kommen im Bereich des Gelenkspalts teilweise zur Darstellung. Bei Knieflexion bis ca. 60° können die vorderen Meniskusabschnitte besser eingestellt werden. Die Beurteilung der Menisken ist jedoch auch für den erfahrenen Untersucher schwierig. Zur alleinigen Meniskusdiagnostik sind »Curved-finger-tip-Schallköpfe« mit kleiner Auflagefläche und einem sektorförmigen Bild besser geeignet (◘ Abb. 20.49, ◘ Abb. 20.50).

Indikation: Verletzung des Ligamentum collaterale laterale, Meniskusläsion der Pars intermedia, Meniskusganglion.



◘ **Abb. 20.49** Normalbefund medialer Längsschnitt. Knöcherne, Referenzstrukturen sind der Tibiakopf (T) und der Femurkondylus (FK). Das Ligamentum collaterale mediale (* *) überbrückt als echogenes, längsgefiedertes Band Tibiakopf und Femurepikondylus und grenzt direkt an das Subkutangewebe an. Auf Höhe des Gelenkspalts ist es fest mit der Pars intermedia des Innenmeniskus verwachsen. Das kleine Bild zeigt keilförmig, echoreich den Innenmeniskus zwischen Femurkondylus (FK) und Tibiakopf (T). Das Innenband (L) strahlt in den Meniskus ein. Unten links: Schallkopfposition medialer Längsschnitt



◘ **Abb. 20.50** Normalbefund lateraler Längsschnitt. Der Femurepikondylus (FK) und der Tibiakopf (T) bilden die knöchernen Leitstrukturen. In der Fossa am lateralen Kondylus entspringt die Sehne des M. popliteus (Mp). Das Ligamentum collaterale laterale zieht horizontal über Femurkondylus und Tibia hinweg. Das Fibulaköpfchen ist nicht mehr abgebildet. Unten links: Schallkopfposition lateraler Längsschnitt

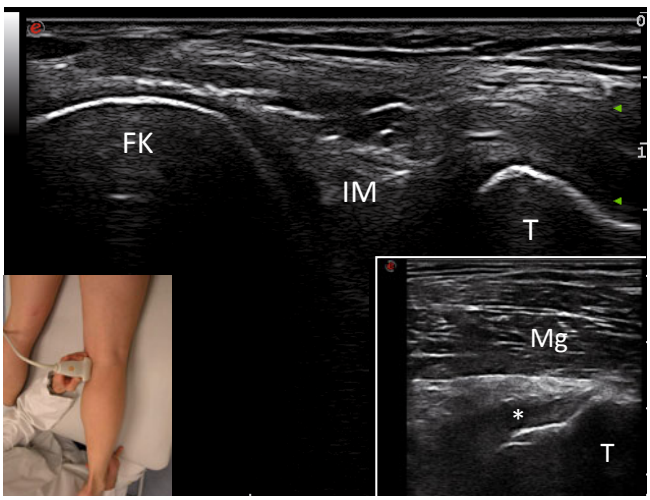
Dorsaler Längsschnitt

Das dorsale Kompartiment wird in Bauchlage bei gestrecktem Knie untersucht. Der Schallkopf wird beim dorsalen Längsschnitt von medial durch Parallelverschiebung nach lateral geführt. Zwischen Femurkondylus und Tibia liegt die echogene, dreieckförmige Struktur des Innenmeniskushinterhorns, das gut beurteilt werden kann. Die dynamische Untersuchung des Meniskus unter sonografischer Kontrolle erfolgt durch Beugung und Streckung im Kniegelenk sowie durch Rotation. Von distal zieht der mediale Kopf des M. gastrocnemius zum Femurkondylus (◘ Abb. 20.51).

Indikation: Baker-Zyste, Sehnenganglion, Ruptur des hinteren Kreuzbandes, Meniskusläsion im Hinterhornbereich.

Dorsaler Querschnitt

Der dorsale Querschnitt verläuft parallel zur Kniegelenkebene auf Höhe der Femurkondylen. Das Kniegelenk wird zur Entspannung der Poplitealregion ca. 10° gebeugt. U-förmig stellt sich die Fossa intercondylaris dar, medial und lateral begrenzt durch die bogenförmigen Femurkondylen. Die Poplitealgefäße sind im Querschnitt sichtbar. In der Tiefe der Fossa entspringt an der Innenfläche des lateralen Femurkondylus das vordere Kreuzband. Um die Ursprungsregion besser anschallen zu können, wird entweder das Bein im Hüftgelenk nach innen gedreht oder einfach der Schallkopf nach medial rotiert (ca. 20°), sodass die Schallwellen in einem



◘ **Abb. 20.51** Normalbefund dorsaler Längsschnitt. Proximal bildet der halbrunde Kortikalisreflex des Femurkondylus (FK) und distal die schräg in die Tiefe abfallende Hinterkante des Tibiaplateaus (T) die Begrenzung. Das echoreiche, keilförmige Hinterhorn des Innenmeniskus (IM) liegt dazwischen. Verschiebt man den Schallkopf parallel nach lateral, stellt sich der tibiale Ansatz des hinteren Kreuzbandes dar (kleiner Bildausschnitt). Das hintere Kreuzband wird schräg angeschallt und erscheint echoarm. Könnte man den Schallkopf parallel zum Verlauf aufsetzen, würde sich das Band echoreich und längsgefiedert darstellen. Diese Strukturen werden überspannt vom Caput mediale des M. gastrocnemius (Mg). Unten links: Schallkopfposition dorsaler Längsschnitt

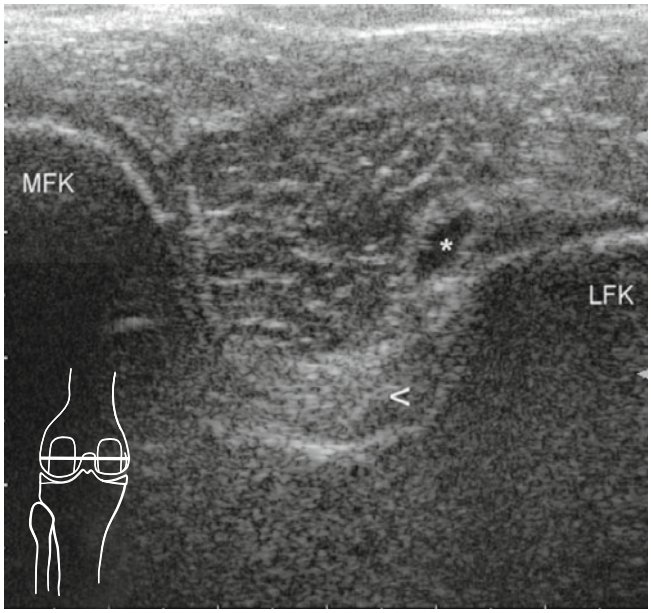


Abb. 20.52 Normalbefund dorsaler Querschnitt. U-förmige Fossa intercondylaris mit angrenzenden bogenförmigen Femurkondylen (MFK, LFK) In der Tiefe ist der Ursprung des vorderen Kreuzbandes (<) quer angeschnitten. (* Poplitealgefäß). Unten links: Schallkopfposition dorsaler Querschnitt

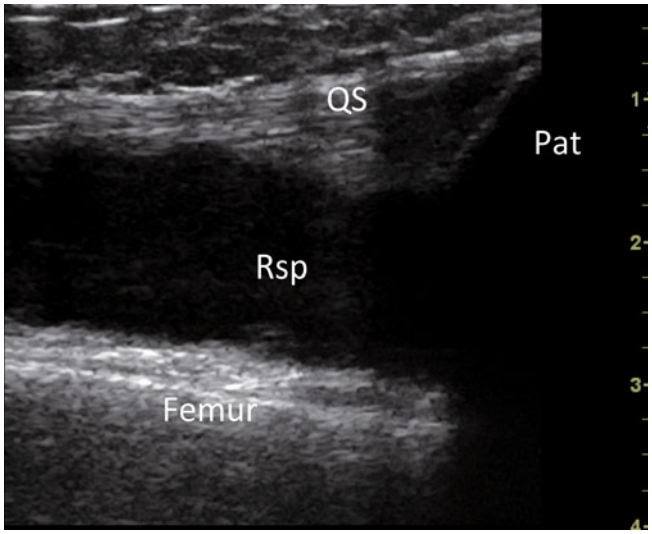


Abb. 20.53 Suprapatellarer Längsschnitt: Gelenkerguss bei Hämarthros. Der Recessus suprapatellaris (Rsp) stellt sich aufgrund der intraartikulären Einblutung vergrößert und echoarm dar. Durch Erhöhung des Schallkopfdrucks lässt sich die Flüssigkeit komprimieren. Rechtsseitig sind der obere Patellapol (Pat) und die Quadrizepssehne (QS) angeschnitten. Bei ausgeprägteren Befunden ist der Recessus suprapatellaris bikonvex und prallelastisch

steileren Winkel auf der Innenfläche des lateralen Femurkondylus auftreffen (Abb. 20.52).

Indikation: Ruptur des vorderen Kreuzbandes.

Pathologische Befunde

Folgende Verletzungen bzw. Erkrankungen stellen eine Indikation für die sonografische Untersuchung dar.

Freie Gelenkflüssigkeit (Erguss, Hämarthros, Empyem)

Im ventralen, suprapatellaren Längsschnitt stellt sich im Bereich des Recessus suprapatellaris eine komprimierbare, echofreie Zone dar. Kleine Ergussmengen können sonografisch nachgewiesen werden, bevor sie klinisch manifest werden. Der Schallkopf darf dann nur leicht aufgelegt werden, um den Erguss nicht auszudrücken. Mit der freien Hand kann der Untersucher das Kniegelenk so komprimieren, dass sich die Flüssigkeit im oberen Recessus ansammelt. Bei chronischen Reizzuständen sind oft flottierende Fibrinfäden sichtbar (Abb. 20.53).

Baker-Zyste

Es handelt sich um eine scharf begrenzte, runde bis ovale, echofreie Zyste im Bereich der Kniekehle mit einer stielförmigen Verbindung zum Kniebinnenraum. Häufig liegt ein Zufallsbefund vor. Gelegentlich schnürt die Gastrocnemiussehne größere Zysten sanduhrförmig ein.

Mit der sonografischen Untersuchung lässt sich die Lagebeziehung zu den Poplitealgefäßen und den Muskelansätzen festlegen. Ebenso wichtig ist die Darstellung der Verbindung zum Kniebinnenraum (Stiel), die oft in der Nähe der Meniskushinterhörner gelegen ist. Bei der operativen Therapie erleichtern diese Informationen die Präparation. Idealerweise hat der Operateur die Untersuchung präoperativ selbst durchgeführt (Abb. 20.54, Abb. 20.55).

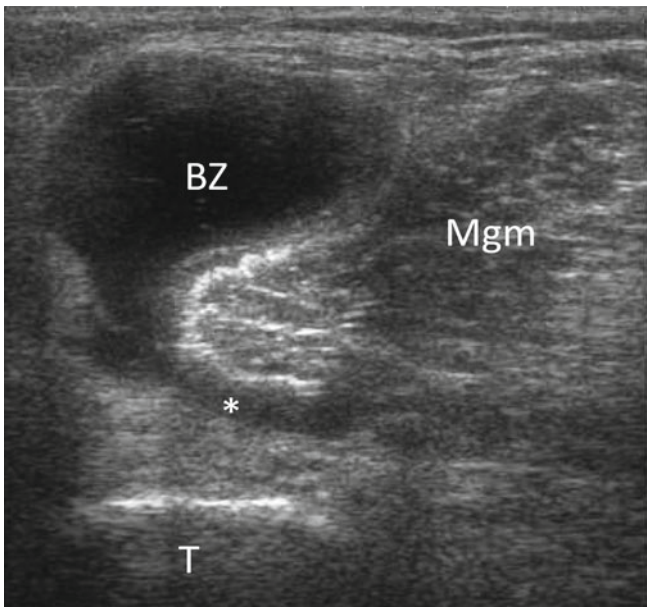


Abb. 20.54 Dorsaler Querschnitt einer Baker-Zyste. Medial sieht man die echoarme Raumforderung (BZ), die sich dem medialen Gastrocnemius anlegt. In dieser Einstellung lässt sich die Verbindung zum Kniebinnenraum (*) sehr gut darstellen.

Bursitis prae-/infrapatellaris

Eine nicht entzündlich vergrößerte Bursa enthält nur wenig Flüssigkeit und ist sonografisch nicht darstellbar. Bei pathologischer Größenzunahme lässt sie sich aber als scharf begrenzte, echofreie, halbmond- bis spindelförmige, komprimierbare Struktur mit dorsaler Schallverstärkung nachweisen.

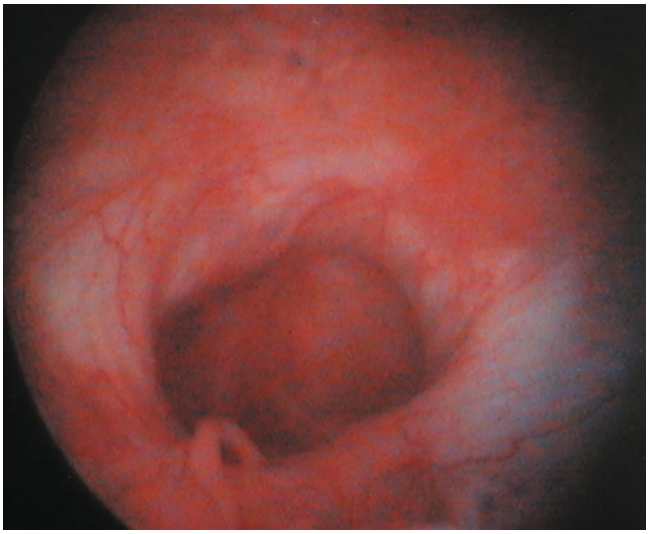


Abb. 20.55 Endoskopisches Bild einer Baker-Zyste. Das zentrale Loch entspricht der stielförmigen Verbindung der Zyste mit dem Kniebinnenraum. Die Synovia ist normal vaskularisiert

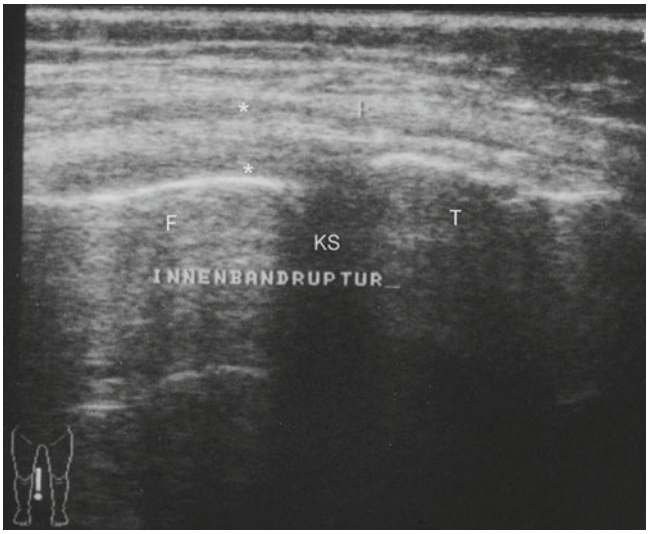


Abb. 20.56 Medialer Längsschnitt: Ruptur des medialen Kollateralbandes. Das Ligamentum collaterale mediale ist mit dem Innenmeniskus fest verwachsen und liegt normalerweise als echogener Strang der Kortikalis auf. Der echoarme Randsaum (* *) entspricht einer Einblutung um das längsgefiederte Band. Valgusstress bewirkte im vorliegenden Fall eine deutliche Vergrößerung des medialen Kniegelenkspalts (KS, F: Femur, T: Tibia)

Kollateralbandläsion

Die Kollateralbänder sind im medialen und lateralen Longitudinalschnitt gut sichtbar. Durch die Einblutung nach dem Trauma kommt es zu einer echoarmen Auftreibung des Kollateralbandes. Nicht immer gelingt der direkte Nachweis der Rupturenden. Umliegend bildet sich ein echoarmes Hämatom aus, die sehnigen Strukturen sind deshalb noch besser abgrenzbar. Bei Verdacht auf eine Kollateralbandruptur sollte die sonografische Untersuchung in Varus- bzw. Valgusstress durchgeführt werden. Eine abnorme Aufklappbarkeit ist an der Größenzunahme des Gelenkspalts unter Stress zu erkennen (Abb. 20.56).

Femoropatellares Gleitlager

Aus der ventralen, suprapatellar-transversalen Position heraus wird der Schallkopf um 45° nach kranial verkippt. Das Kniegelenk liegt dabei in 45°-Beugung. Als Leitstruktur dient die Facies patellaris des Femurkondylus, die wie eine geschweifte Klammer zur Darstellung kommt. Die Knorpelschicht ist echoarm. Zur Messung der Knorpeldicke ist die Sonografie wenig geeignet, da die Schicht oft tangential angeschallt wird und standardisierte Positionen nicht existieren. Überdies ist die Patellarückfläche wegen der knöchernen Überlagerung sonografisch nicht beurteilbar. Die Gelenkkongruenz mit Lagebeziehung zwischen Patella und Gleitlager ist gut zu bestimmen. Das Knie sollte während der Untersuchung zwischen 45 und 90° flektiert werden, um ein Abweichen der Patella bei zunehmender Kniebeugung sichtbar zu machen.

Meniskus

Die Sonografie ist zur Diagnosesicherung nicht das bildgebende Verfahren der ersten Wahl. Die Spezifität der Meniskussonografie wird in Studien zwischen 20% und 95% angegeben bei einer Sensitivität zwischen 60% und 100%, daher ist der sichere Ausschluss einer Meniskusläsion sonografisch nicht möglich (Casser 2002, Azzoni u. Cabitza 2002, Najafi et al. 2006, Park et al. 2008). Die Meniskusdarstellung gelingt zufriedenstellend nur im Hinterhornbereich, da hier durch die Konvexität der Femurkondylen der Gelenkspalt weiter ist.

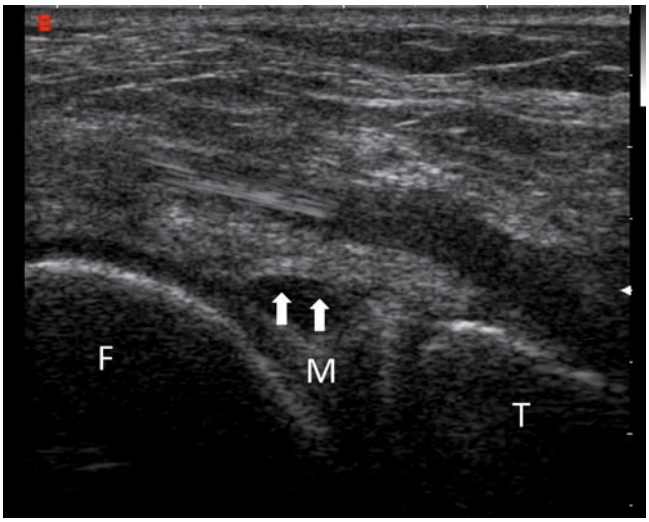


Abb. 20.57 Dorsaler Längsschnitt: Abriss des Außenmeniskushinterhorns. Das echogene, dreieckförmige Außenmeniskushinterhorn (M) ist an der Basis abgerissen (^^). Die echofreie Zone entspricht der Dehiszenz zwischen Ansatz und abgelöstem Meniskus. Der Femurkondylus (F) ist von einer Schicht echoarmen Knorpels bedeckt

Der intakte Meniskus bildet sich sonografisch als glatt begrenztes, homogen-echogenes Dreieck ab. Das Hinterhorn wird in Bauchlage mit geringer Knieflexion untersucht. Die Intermediärregion und das Vorderhorn stellt man sich im Längsschnitt bei hängendem, 90°-gebeugten Knie ein. Durch Valgus- und Varusstress ist eine dynamische Untersuchung möglich. Als verwertbares Kriterium bei einem Einriss liegt ein reproduzierbarer Grenzflächenreflex aufgrund des Impedanzsprungs im Rissbereich vor. Bei Hinterhornabrissen fehlt das sonografische Korrelat des Meniskusgewebes. Bei der dynamischen Untersuchung kann in manchen Fällen die Dehiszenz sichtbar gemacht werden (Abb. 20.57).

Kreuzbänder

Die Darstellung des vorderen und hinteren Kreuzbandes ist wegen der knöchernen Überlagerung nur abschnittsweise möglich. Die sonografische Beurteilung der Kreuzbänder ist deshalb sehr schwierig. Falsch-negative Befunde sind häufig. Nur ein eindeutig positiver Befund darf gewertet werden. Bei frischen Traumen mit Ausbildung eines Hämarthros kann das Knie für eine Untersuchung von ventral nicht weit genug, d.h. nicht maximal, gebeugt werden. Die Darstellung der Ansatzregionen gelingt auch bei Bewegungsschmerzen von dorsal. Das hintere Kreuzband inseriert an der hinteren, oberen Tibiakante (Längsschnitt). Der Ursprung des vorderen Kreuzbandes liegt in der Fossa intercondylaris (Querschnitt) an der Facies medialis. Die echoarme Auftreibung des Ursprungsgebiets ist Folge von Einblutung und Auffaserung. Das begleitende Hämarthros erleichtert die Darstellung der sehnigen Strukturen, weil es als echoarmes, homogenes Schallfenster wirkt. Die dynamische Untersuchung erfolgt durch Transversalbewegungen des Tibiakopfs wie beim Lachman-Test (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Sonografische Stabilitätsprüfungen sind aufgrund von Ankopplungsproblemen und der Gefahr des Verrutschens bzw. Verkippens des Schallkopfs problematisch.

Freie Gelenkkörper

Die Darstellung eines freien Gelenkkörpers im Bereich des Kniebinnenraums ist eine Rarität und entspricht einem Zufallsbefund. Durch die Sonografie kann nur ein kleiner Anteil des Gelenks eingesehen werden. Untersuchungsmethode der Wahl ist die MRT, die ggf. auch den dazugehörigen Knorpel-Knochen-Defekt abbildet.

Exophytäre Anbauten

Veränderungen der Knochenkortikalis lassen sich sonografisch gut darstellen. Bei exophytären Anbauten erhält der Untersucher einen Eindruck über das Ausmaß der Degeneration und die Weite des Gelenkspalts. Auch lagekonstante Fremdkörper lassen sich im Gegensatz zu freien Gelenkkörpern gut abbilden, wenn sie nicht durch andere echogene Strukturen überlagert werden (◘ Abb. 20.58).

20.2.7 Kleine Gelenke

Handgelenk

Durch das hervorragende Auflösungsvermögen der hochfrequenten Schallköpfe können heute auch kleinere Gelenke und Bandstrukturen sehr gut beurteilt werden. Der technische Fortschritt führte zu einer sinnvollen Ausweitung der Anwendungsindikationen. Da die zu untersuchenden Strukturen unmittelbar unter der Haut liegen, kommen Linearschallköpfe mit einer Frequenz zwischen 10 und 20 MHz zur Anwendung.

Standardebenen und Normalbefund

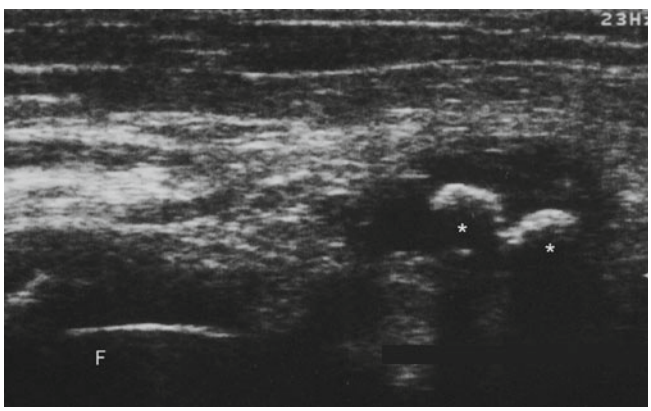
Der Patient sitzt dem Untersucher gegenüber und legt seine Hände auf die Untersuchungsliege oder die eigenen Oberschenkel.

Die Hand wird dorsal und palmar im Längs- und Querschnitt untersucht, wobei durch Parallelverschieben des Schallkopfs die ganze Region unter kontinuierlicher Betrachtung untersucht wird. Bei speziellen Fragestellungen müssen individuelle Schnitte gelegt werden. Die Darstellung des Karpaltunnels gelingt im Querschnitt bei leichter Überstreckung des Handgelenks.

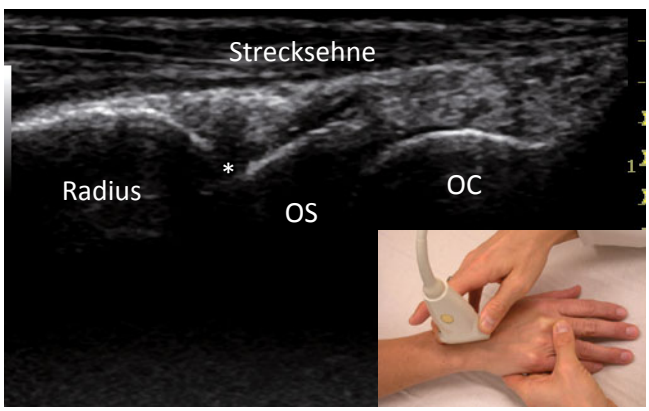
Dorsaler und volarer Längsschnitt

Im dorsalen und im volaren Längsschnitt dient der Radius als knöcherne Leitstruktur. Von der proximalen Handwurzelreihe stellen sich nach distal anschließend das Os scaphoideum und das Os trapezoideum dar. Der Schallkopf wird parallel zur Ulna hin verschoben. Die Handwurzelknochen lassen sich voneinander abgrenzen. Die Bandstrukturen zwischen den einzelnen Handwurzelknochen sind heute mit hochfrequenten Linearschallköpfen darstellbar (Jacobson et al. 2002, Butry et al. 2005), die klinische Relevanz ist derzeit allerdings noch nicht geklärt. Gut zur Darstellung kommen die von Sehnenscheiden umgebenen Strecksehnen. Der vom Radius zum Processus styloideus ulnae ziehende Discus articularis (TFCC) kann sonografisch nur eingeschränkt beurteilt werden (Pesquer et al. 2009) (◘ Abb. 20.59, ◘ Abb. 20.60, ◘ Abb. 20.61, ◘ Abb. 20.62).

Indikation: Tendovaginitis, Sehnenrupturen, Gelenkerguss, Hämatome, Ganglien, Lokalisation von Fremdkörpern, Gichttophi, gesteuerte Punktion.



◘ **Abb. 20.58** Dorsaler Längsschnitt: Serom um überstehenden Knochenzement nach Knie-Totalendoprothese. Das distale Femur (F) wird teilweise von der Endoprothese überzogen. Der metallische Reflex unterscheidet sich deutlich von der Knochenkortikalis. Er erscheint echogener und dünner und wirkt dadurch härter. Im Bereich des dorsalen Tibiaplateaus, das nicht abgebildet ist, sind 2 echogene Halbkugeln (* *) sichtbar, die überstehendem Knochenzement entsprechen. Die umliegende echofreie Zone entspricht einem Serom, das sich durch den mechanischen Reiz ausgebildet hat



◘ **Abb. 20.59** Normalbefund dorsaler Längsschnitt. Als Leitstruktur dient die echogene Kortikalis des distalen Radiusendes. Das Os scaphoideum (OS) liegt radial und proximal in der Handwurzelreihe. Auch das in diesem Schnitt nicht dargestellte Os lunatum artikuliert mit der Radiusbasis. Distal kommt als halbrunder, echogener Reflex das Os capitatum (OC) zur Darstellung. Die Articulatio radiocarpea ist mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Die längsgefiederte Strecksehne lässt sich gut abgrenzen. Unten rechts: Schallkopfposition dorsaler Längsschnitt

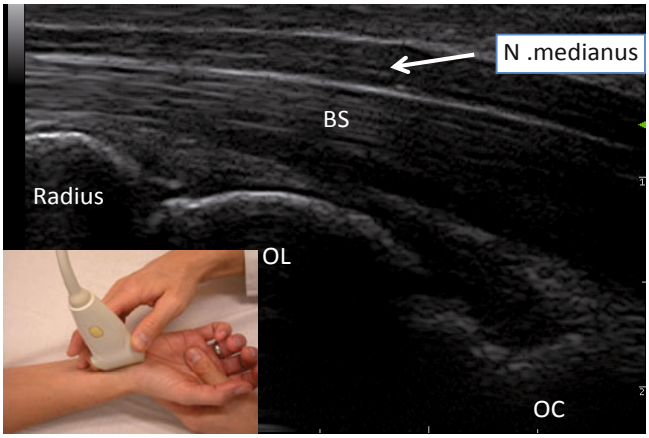


Abb. 20.60 Normalbefund volarer Längsschnitt radialseitig. Os lunatum (OL), Os capitatum (OC), Beugesehnen (BS). Unten links Schallkopfposition

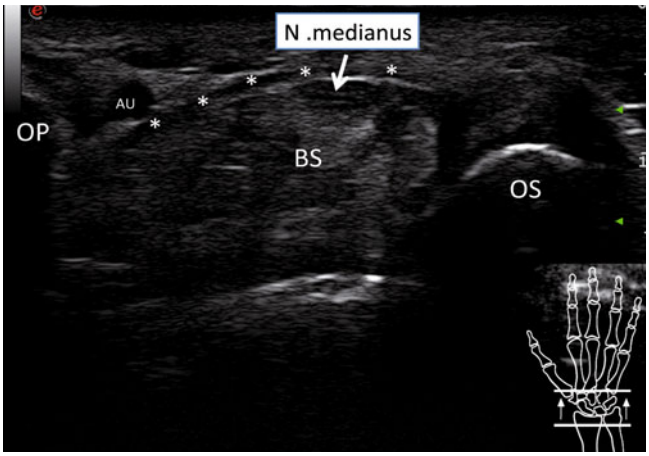


Abb. 20.61 Normalbefund volarer Querschnitt auf Höhe des Karpaltunnels. Das Os pisiforme (OP) und das Os scaphoideum (OS) bilden in dieser Schnittebene die knöcherne Begrenzung des Karpaltunnels. Die Beugesehnen (BS) verlaufen gebündelt unter dem Retinaculum flexorum, das sich je nach Anschallwinkel echoarm oder echogen darstellt (***). Der N. medianus ist im Querschnitt ovalär, echoarm und liegt zwischen den Flexorsehnen unterhalb des Retinakulum. Die A. ulnaris (AU) ist gut sichtbar. Unten rechts: Schallkopfposition Querschnitt

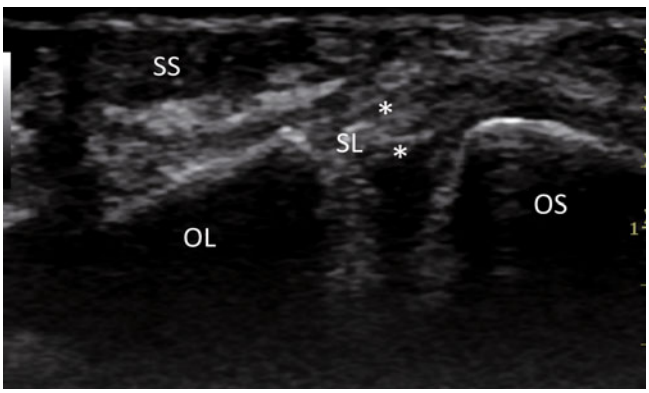


Abb. 20.62 Normalbefund dorsaler Querschnitt auf Höhe der proximalen Handwurzelreihe zwischen Os scaphoideum (OS) und Os lunatum (OL). Zwischen den Handwurzelknochen ist das SL Band (SL **) abzugrenzen. Im linken oberen Bildrand stellt sich das 4. Strecksehnenfach (SS) dar

Pathologische Befunde

Gelenkerguss

Die meisten Handgelenkerkrankungen verursachen einen Gelenkerguss. Auch kleine Ergussmengen können im volaren oder dorsalen Längsschnitt dargestellt werden. Die Gelenkkapsel wölbt sich echoarm bis echofrei und konvex zwischen dem distalem Radiusende und den Handwurzelknochen vor.

Tendosynovitis

Streck- und Beugesehnen sind von einer Sehnenscheide umgeben. Eine Flüssigkeitsansammlung zwischen Sehne und Hüllgewebe führt im Querschnitt zur Ausbildung eines echofreien Rings (Halo) um das echogene Sehnengewebe. Im Längsschnitt verläuft beidseits parallel zur Sehne ein echofreies Band (Abb. 20.63).

Ganglion

Das Ganglion ist eine Aussackung der Gelenkkapsel, die mit dem Gelenkspalt in Verbindung steht. Als Sehnenscheidenganglion hat es Beziehung zur Sehnenscheide. Da die Handwurzelknochen untereinander eine Vielzahl von Gelenkverbindungen besitzen, können sich Ganglien an jeder Lokalisation ausbilden. Sie sind prall-elastisch, scharf begrenzt, wenig komprimierbar und in Abhängigkeit von der Konsistenz des Inhalts echoarm bis echofrei.

Fremdkörper

Nicht alle Fremdkörper sind röntgendicht. Holz, Glas und Kunststoff verursachen an ihrer Oberfläche eine Reflexion der Ultraschallwellen und sind somit sonografisch darstellbar, was das Auffinden erleichtert. Der Grenzflächenreflex erscheint als echogene Linie mit dorsaler Schallauslöschung, bei Metall findet sich ein so genannter Kometenschweifartefakt.

Karpaltunnelsyndrom

Der N. medianus lässt sich sonografisch darstellen und der Karpaltunnel gut abgrenzen. Die Kompression beim Karpaltunnelsyndrom wird u.a. durch eine Verdickung des Retinaculum flexorum verursacht. Diese lässt sich im Seitenvergleich nachweisen. Distal

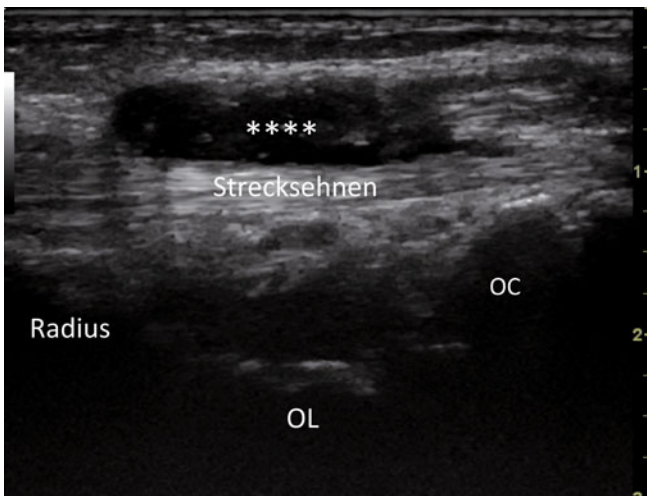


Abb. 20.63 Septische Tendosynovitis der Strecksehnen bei immunsupprimierter Patientin. Dorsaler Längsschnitt über dem 4. Strecksehnenfach. Os lunatum (OL), Os capitatum (OC) und echoarme Auftreibung der Sehnenscheide

der Kompression kommt es zu einer Schwellung des Nervs, was zu einer Vergrößerung der Querschnittfläche und zu einer Reduktion der faszikulären Echotextur führt. Aber auch seltenere Ursachen wie Tendosynovitiden der Fingerbeuger bei rheumatischen Erkrankungen, Tumoren oder posttraumatische Hämatome können zu einer Kompression führen und sind sonografisch sichtbar. Bei fortgeschrittener Erkrankung fällt im Seitenvergleich eine Atrophie der Thenarmuskulatur auf.

Die Sensitivität der sonografischen Untersuchung wird in Studien mit 89–98% angegeben, bei einer Spezifität von 65–83% (Ziswiler et al. 2005, Wong et al. 2004, Wong et al. 2002). Allerdings dient die Sonografie beim Karpaltunnelsyndrom in der klinischen Routine v.a. zum Ausschluss der oben genannten sekundären Ursachen. Das klassische Karpaltunnelsyndrom wird durch die typische Anamnese, klinische Untersuchung und Messung der Nervenleitgeschwindigkeit diagnostiziert.

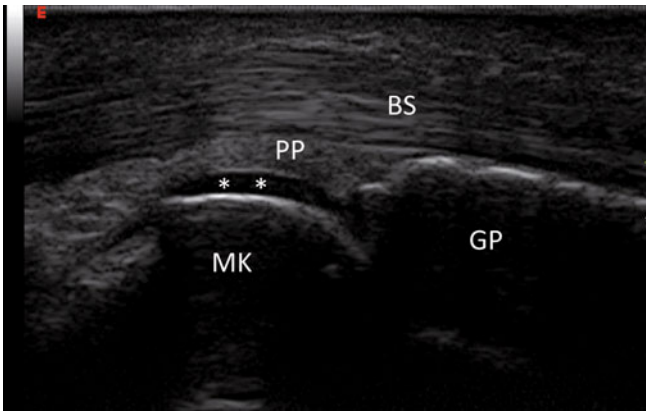


Abb. 20.64 Palmarer Längsschnitt, Normalbefund: Metakarpophalangealgelenk mit Metacarpalköpfchen (MK), Basis der Grundphalange (GP), Beugesehnen (BS) und palmarer Platte (PP). »Knorpelreflex« (**)

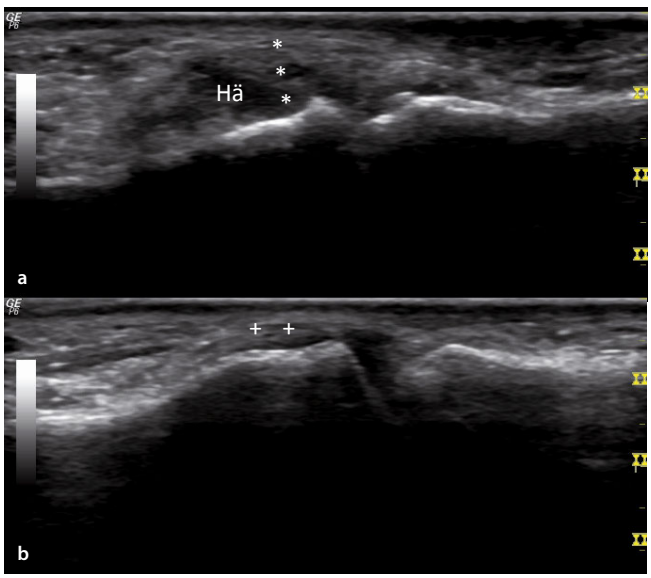


Abb. 20.65a,b Skidaumen. **a** Deutliche Verbreiterung des ulnaren Kollateralbandes (**) nach typischem Verletzungsmuster mit echoarmen Hämatom (Hä). In der dynamischen Untersuchung deutliche Aufklappbarkeit. **b** Normalbefund der Gegenseite, regelrechte echogene Darstellung des Bandes (++)

Finger- und Zehengelenke

Normalbefund

Finger und Zehen werden längs und quer geschallt unter Verwendung von hochfrequenten (10–20 MHz) Linearschallköpfen. Die Interphalangealgelenke sind sehr gut einsehbar, die Gelenkkapsel sowie Sehnen stellen sich dar (Abb. 20.64). Bei großzügiger Verwendung von Kontaktgel kann aufgrund der verbesserten Schallkopftechnik mit der Möglichkeit der oberflächennahen Fokussierung auf eine Vorlaufstrecke verzichtet werden. Die Gelenkstabilität wird unter Aufklappstress geprüft (z.B. Skidaumen; Abb. 20.65).

Pathologische Befunde

Gelenkerguss

Im Seitenvergleich sind auch kleine Ergussmengen nachweisbar. Die Gelenkkapsel wölbt sich vermehrt vor. Der Gelenkspalt und das Ausmaß exophytärer Anbauten können mitbeurteilt werden (Abb. 20.66).

Degenerative Veränderungen

Die Weite des Gelenkspalts und das Ausmaß exophytärer Anbauten können sonografisch beurteilt werden. Paraartikuläre Harnsäureablagerungen, Gichttophi, stellen sich echogen, polygonal begrenzt und nur teilweise mit Schallschatten dar (Abb. 20.67, Abb. 20.68).

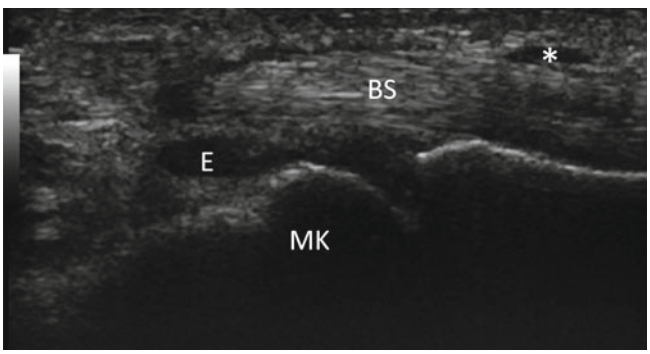


Abb. 20.66 Gelenkerguss (E) MCP Gelenk: echoarme Kapseldistension mit Abhebung der palmaren Platte. Köpfchen des Metacarpale III. Nebenbefund: kleines Ringbandganglion (*)

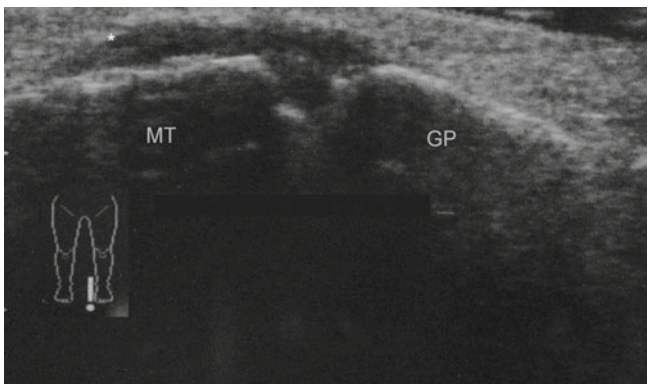


Abb. 20.67 Längsschnitt Großzehengrundgelenk, chronischer Gelenkerguss nach axialer Stauchung, 22-jährige Patientin. Im Bereich des Großzehengrundgelenks wölbt sich die Gelenkkapsel (*) deutlich vor. Die Gelenkflüssigkeit weist Binnenreflexe auf. Endoskopisch war das Gelenk durch Synovialzottenhypertrophie ausgefüllt. (GP: Grundphalanx, MT: Os metatarsale I)

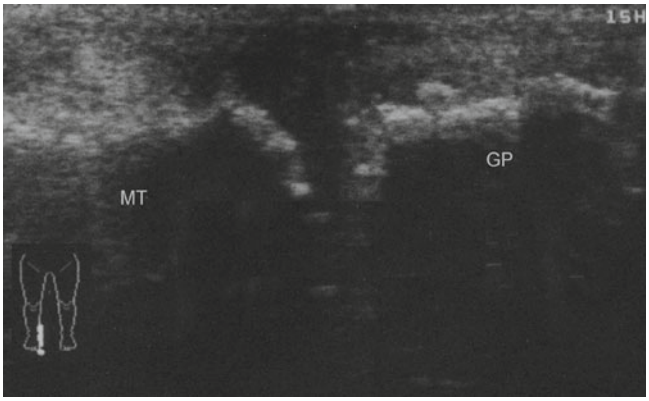


Abb. 20.68 Längsschnitt: Großzehengrundgelenk, Arthrose. Das Großzehengrundgelenk weist deutliche exophytäre Anbauten auf. Zusätzlich besteht ein Gelenkerguss (GP: Grundphalanx, MT: Os metatarsale)

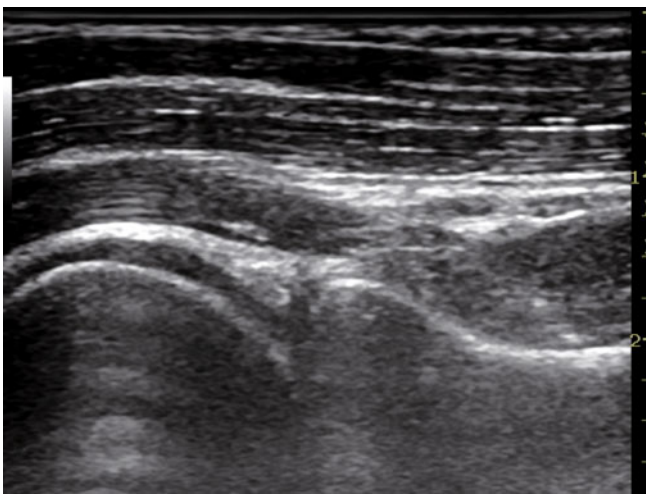


Abb. 20.69 Muskel längs, Normalbefund. Die abgebildeten Muskeln sind durch eine echoreiche Faszie voneinander abzugrenzen. Als Binnenstruktur zeigt sich die typische Längsfiederung

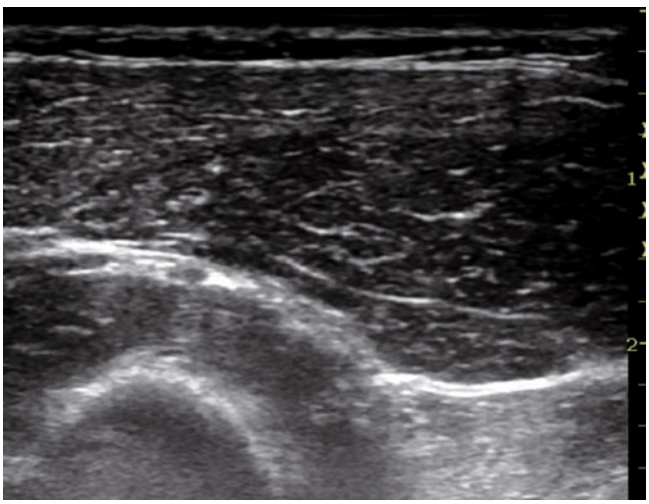


Abb. 20.70 Muskel quer, Normalbefund. Punkt-Komma-Struktur durch quer getroffene echoarme Muskelfasern und echoreichen Septen. Auch im Querschnitt sind die einzelnen Muskeln durch die echoreiche Faszie gut voneinander abzugrenzen

Bandinstabilität

Eine Ruptur des ulnaren Kollateralbandes des Daumengrundgelenks kann direkt und indirekt sonografisch nachgewiesen werden. Die resultierende Instabilität mit vermehrter Aufklappbarkeit nach radial ist sichtbar. Das rupturierte Band ist echoarm aufgetrieben unter Verlust der typischen gefiederten Echotextur (Abb. 20.65a). Bei kleinen knöchernen Ausrissen stellt sich die Kortikalisschuppe als echogener Reflex dar. Der Schallkopf wird in Längsrichtung ulnarseitig neben der gut zu tastenden Sehne des M. extensor pollicis longus aufgesetzt.

20.3 Weichteilsonografie

Bei der Untersuchung der Weichteile spielt die Sonografie wegen der hohen Bildqualität, der in der Regel guten Zugänglichkeit der Befunde und der Möglichkeit der dynamischen Untersuchung eine entscheidende Rolle und kommt weit verbreitet zum Einsatz. Pathologische Befunde lassen sich durch diese Bildgebung vorselektieren.

Die MRT hat eine höhere Sensitivität beim Nachweis von ödematösen, lipomatösen oder fibrösen Gewebeveränderungen und erlaubt eine bessere Weichteildifferenzierung.

In der Regel liegen die zu untersuchenden Zonen innerhalb der Eindringtiefe der Ultraschallwellen. Es kommen je nach Lage des Befundes Linearschallköpfe mit einer Frequenz zwischen 5 und 15 MHz zur Anwendung (je oberflächlicher, desto hochfrequenter). Die gewonnenen Informationen dienen zur Artdiagnose, Behandlungsplanung und ggf. zur Verlaufskontrolle und sind eng an den klinischen Befund gekoppelt.

Als **Indikationen** für eine Weichteilsonografie sind zu nennen:
- Chronische Schmerzzustände
- Trauma
- Neubildungen, Gewebevermehrung (▶ Abschnitt 20.3.6)
- Lokalisation von Fremdkörpern (▶ Abschnitt 20.3.4)
- Sonografisch gesteuerte Biopsie (▶ Abschnitt 20.3.5)
- Verlaufskontrolle

Auf folgende **Kriterien** ist dabei besonders zu achten:
- Lokalisation, Ausdehnung
- Lagebeziehung zu umliegenden Strukturen
- Abgrenzbarkeit, Verschieblichkeit
- Binnenstruktur (Echohomogenität)
- Vaskularisation

20.3.1 Muskeln

Standardebenen und Normalbefund

Der gesunde Skelettmuskel erscheint echoarm. Er wird durch die echoreiche, bindegewebige Muskelfaszie scharf begrenzt. Deshalb können einzelne Muskeln sonografisch gut voneinander und vom umgebenden Gewebe differenziert werden.

Der Skelettmuskel wird längs und quer zu seiner Verlaufsrichtung abgebildet. Das zu untersuchende Gewebe soll wegen der besseren Bildgebung senkrecht angeschallt werden. Der Auflagedruck des Schallkopfs muss gerade so hoch sein, dass eine gute Ankopplung an die Haut erreicht wird. Ein zu großer Anpressdruck kann Befunde verzerren oder unsichtbar machen, z.B. bei kleinen Flüssigkeitsansammlungen.

Das sonografische Bild des Muskels zeigt ein typisches Binnenecho mit einer fächerförmigen, echoreichen Längsstreifung (Abb. 20.69, Abb. 20.70).

Im Transversalschnitt findet sich eine Punkt-Komma-Struktur (Abb. 20.70).

Bei gezielten, meist gutachterlichen Fragestellungen können die korrespondierenden Muskeln im Seitenvergleich sonografisch vermessen werden. Das Ausmaß einer vom Patienten geschilderten Inaktivität kann exakter überprüft und dokumentiert werden, als es mit einer Umfangsmessung möglich wäre.

Pathologische Befunde

Muskelverletzungen

Sie stellen eine Domäne der Myosonografie dar und lassen sich in verschiedene Schweregrade einteilen.

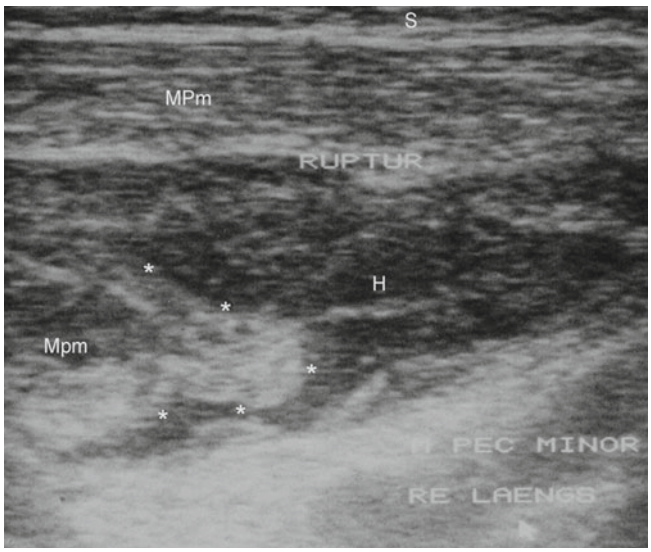


Abb. 20.71 Muskelriss M. pectoralis minor. Sichtbar ist das Rupturende (***) des wellig retrahierten M. pectoralis minor (Mpm). Die Defektzone ist echoarm ohne Fiederung als Folge des entstandenen Hämatoms (H). Der M. pectoralis major (MPm) verläuft mit der typischen Längsfiederung über den Defekt hinweg (S: Subkutis)

Distraktionstraumata mit Dehnung oder Zerrung eines Muskels hinterlassen keine sonografisch darstellbaren Folgen.

Muskelteilrupturen oder **Muskelfaserrisse** sind häufig nur am begleitend vorliegenden, intramuskulären Hämatom zu erkennen (Weaver et al. 2005). Dann ist die Längsfiederung bzw. Punkt-Komma-Struktur durch die Einblutung mit einer scharf begrenzten, echoarmen oder -freien, druckschmerzhaften Zone unterbrochen. Der direkte Nachweis der Enden der zerrissenen Faserbündel gelingt nur bei ausgeprägten Teilrupturen. Ältere Hämatome sind inhomogen und nach Organisation echoreich.

Bei **Muskelrupturen** ist die Kontinuitätsunterbrechung sichtbar. In der Regel gelingt die Darstellung der Rupturzonen. Begleitend ist ein ausgeprägtes Hämatom zu erwarten. Der beste Zeitpunkt für die Ultraschalluntersuchung nach Muskeltrauma ist zwischen 2 und 48 h, da sich vorher das Hämatom noch formiert und sich nach 48 h evtl. schon im Gewebe verteilt hat (Peetrons 2002). Gerade bei gedeckten Weichteiltraumen mit Muskelquetschung wird das gesamte Ausmaß der Verletzung erst sonografisch sichtbar (Abb. 20.71).

Bei einem **Kompartment-Syndrom** droht die Muskelnekrose. Die Drucksteigerung bewirkt eine Zunahme des Muskeldurchmessers mit diffus erhöhter Echogenität im Seitenvergleich. Bei Teilnekrosen ist eine fleckige Marmorierung mit teils echoreichen, teils echoarmen Arealen darstellbar. Die Binnenstruktur erscheint zunehmend verwaschen und die Muskelfiederung ist nicht mehr zu erkennen (Abb. 20.72). Bei vollständiger Muskelnekrose kommt es zu einer kompletten Aufhebung der intramuskulären Strukturen.

Muskelverkalkungen

Sie können als Folge von Hämatomen oder chronischen Entzündungen auftreten. Die sonografische Sensitivität ist höher als die radiologische. Eine Prädilektionsstelle ist die Rotatorenmanschette beim chronischen Impingement-Syndrom. Die Kalkablagerung erscheint als echogene, scharf begrenzte Spange. Der Reflex ist mit dem der Kortikalis vergleichbar. In Abhängigkeit von Größe und Dichte des Kalkdepots kommt es zur Ausbildung eines Schallschattens mit dorsaler Schallauslöschung.

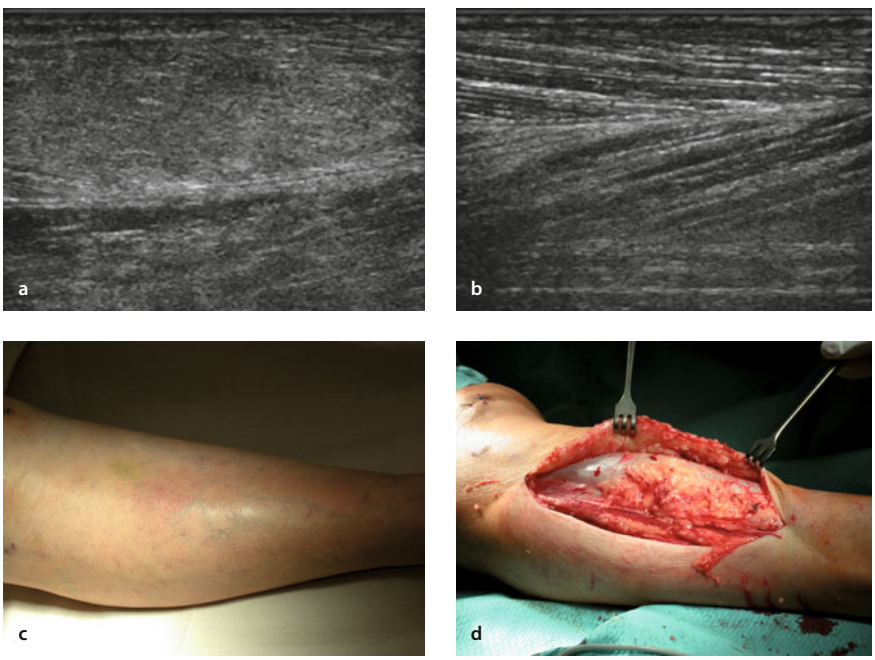


Abb. 20.72a–d Kompartment-Syndrom mit Nekrose des M. tibialis anterior. Im Seitenvergleich zeigt sich auf der betroffenen Seite eine echogene verwaschene Echotextur (**a**), im Gegensatz dazu stellt sich auf der Gegenseite der Muskel mit normaler Fiederung dar (**b**). Klinischer Befund (**c**) und Operationssitus (**d**) mit nektrotischer Schwellung des Muskelbauchs

20.3.2 Sehnen

Standardebenen und Normalbefund

Die Sonografie eignet sich hervorragend zur Darstellung von Sehnen und deren Pathologien (Bianchi et al. 2003, Robinson 2009). Zur Untersuchung benötigt man hochfrequente Linearschallköpfe (10–20 MHz). Die Sehne sollte parallel zur Auflagefläche verlaufen, da dann bei einem Anschallwinkel von 90° die Schallwellen optimal reflektiert werden und eine homogene Echostruktur vorliegt. Sektorschallköpfe sind ungeeignet, weil die unterschiedlichen Anschallwinkel die Sehnenbinnenstruktur verzerren würden.

Die Lagerung des Patienten richtet sich nach der zu untersuchenden Region. Die Bewegung der angrenzenden Gelenke sollte problemlos möglich sein, um die Sehne dynamisch untersuchen zu können. Die Sehne wird im Längs- und Querschnitt dargestellt. Longitudinal stellt sie sich als echoreiches, scharf begrenztes Band mit fibrillärem Muster dar (Martinoli et al. 2002). Sie ist ohne Schwierigkeit vom umliegenden Gewebe abgrenzbar. Je nach Flüssigkeitsgehalt der Sehnenscheide ist ein echoarmer Randsaum sichtbar. Das Peritendineum externum verläuft als echogener Streifen parallel dazu. Im Querschnitt ist die Sehne rund bis oval mit einem punktierten Binnenmuster (Abb. 20.73).

Pathologische Befunde

Nach Sehnenrupturen lassen sich die Stümpfe direkt darstellen (Bianchi et al. 2006). Durch Streckung und Beugung des benachbarten Gelenks verändert sich die Strecke zwischen den Rupturenden. Durch Zug nimmt die Dehiszenz zwischen den Rupturenden zu, was sonografisch gut vermessen werden kann. Für die Bildgebung ist das umliegende Hämatom sehr günstig, da es als homogenes Schallfenster verstärkend wirkt und sich der Kontrast zwischen echogenen Sehnenanteilen und echoarmer Flüssigkeit erhöht.

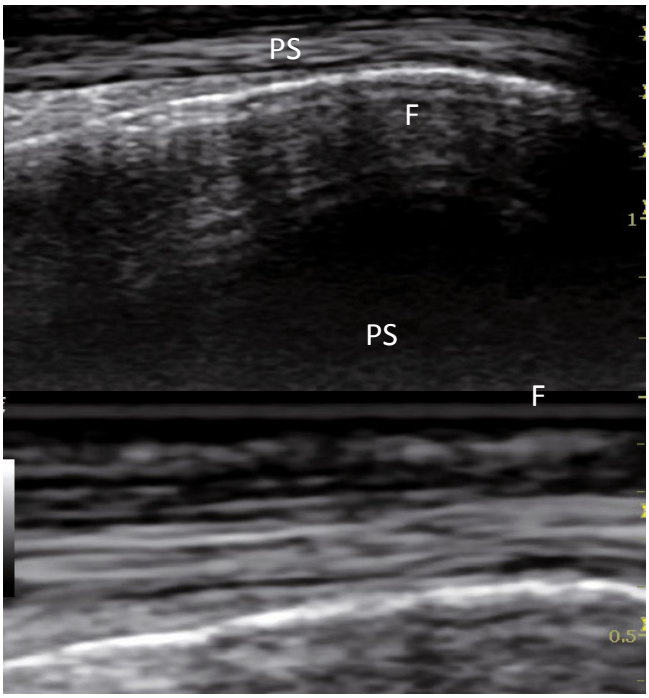


Abb. 20.73 Längsschnitt dorsal der Außenknöchelspitze. Oberflächennah verläuft die längsgestreifte Peronealsehne (PS), deren Verlauf gut zu verfolgen ist, F: Fibulaspitze. Rechts unten Vergrößerung mit noch deutlicherer Darstellung der Faserverlaufs

Tendovaginitis

Bei der Entzündung der Sehnenscheide kommt es zu einer Exsudatbildung mit Flüssigkeitsansammlung innerhalb der Sehnenhüllschicht. Sonografisch sieht man einen echofreien Randsaum um das echogene Sehnengewebe. Im Querschnitt wird der echofreie Ring als Halophänomen bezeichnet (Abb. 20.73, Abb. 20.74; Abb. 20.63).

Sehnenluxationen

Den Richtungswechsel einer Sehne um ein Hypomochlion sowie den Verlauf einer luxierten Sehne kann man sonografisch gut verfolgen.

Patellar- und Quadrizepssehnenrupturen

Patellar- und Quadrizepssehnenrupturen sind sonografisch gut beurteilbar (Bianchi et al. 2006), sodass neben der klinischen Untersuchung keine weitere Schnittbilddiagnostik für die Stellung der Operationsindikation notwendig ist (Abb. 20.75, Abb. 20.76).

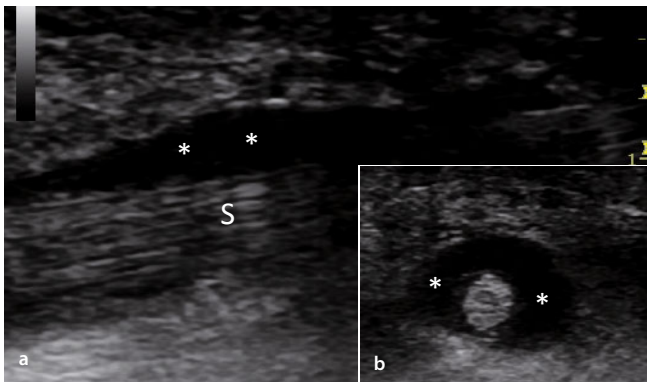


Abb. 20.74a,b **a** Längsschnitt Daumenballen, bakterielle Tendovaginitis längs, Sehne des M. flexor pollicis longus. Die längsgefiederte Sehne (S) besitzt durch die vermehrte Flüssigkeitsansammlung innerhalb der Sehnenscheide einen echoarmen Randsaum (*). Die Sehne kommt dadurch noch besser zur Darstellung. **b** Querschnitt typische echoarme Umsäumung der Sehne (*), so genanntes Halo-Zeichen

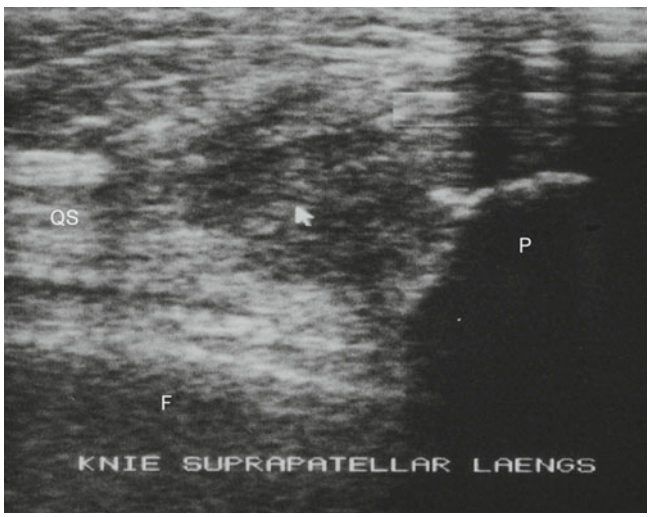


Abb. 20.75 Suprapatellarer Längsschnitt einer Quadrizepssehnenruptur. Das proximale Rupturende der Quadrizepssehne (QS) ist deutlich sichtbar. Der obere Patellapol (P) stellt sich als bogenförmiger Kortikalisreflex dar. Der Pfeil zeigt auf das Hämatom im Rupturbereich. Beim Versuch, das gestreckte Bein anzuheben, vergrößert sich die Distanz des Rupturendes zur Patella (F: Femur)

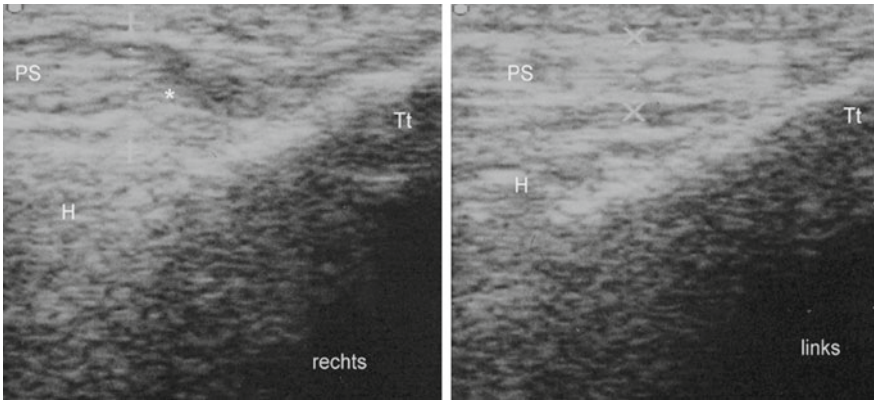


Abb. 20.76 Infrapatellarer Längsschnitt einer Patellarsehnenruptur. Im Seitenvergleich ist auf der linken Bildhälfte (**a**) das Rupturende (*) der Patellarsehne (PS) sichtbar. **b** Die Sehne strahlt auf der unverletzten Seite als paralleles Band mit Längsfiederung in die Tuberositas tibiae (Tt) ein (H: Hoffa-Fettkörper)

Achillessehne

Standardebenen und Normalbefund

Für Verletzungen und Reizzustände der Achillessehne ist der Ultraschall die Bildgebung der ersten Wahl. Die Sehne wird lediglich von der Haut und einer dünnen Schicht Subkutis bedeckt. Sie besitzt keine Sehnenscheide, sondern ein Peritendineum. Die Sonografie eignet sich besonders zur Beurteilung des oft lang andauernden Heilungsverlaufs nach einer Ruptur. Die Sonomorphologie hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Therapieform und die physiotherapeutische Nachbehandlung.

Der Patient liegt auf dem Bauch und die Füße sollen über das Ende der Untersuchungsliege hinausragen. Dadurch bleibt die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk frei. Die Sehne wird längs und quer angeschallt (Abb. 20.77, Abb. 20.78).

Indikation: Achillessehnenruptur, Achillodynie, Bursitis subachillea, Haglund-Exostose.

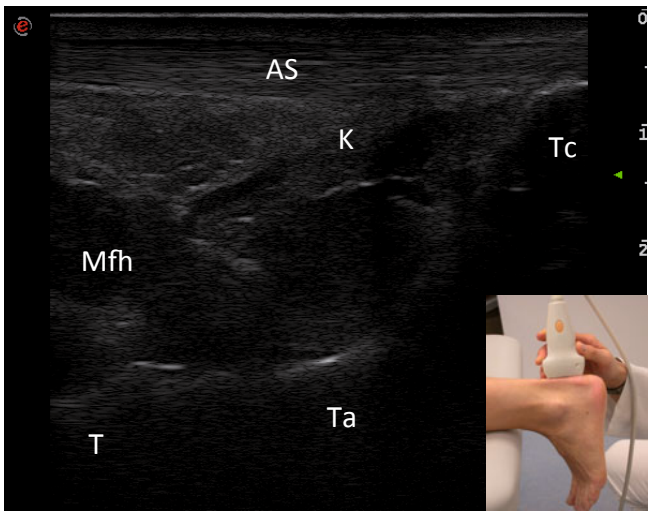


Abb. 20.77 Normalbefund im Längsschnitt. Die Achillessehne (AS) verläuft als echogenes, längsgefiedertes Band unmittelbar unterhalb der dünnen Subkutis, also sehr oberflächennah. Sie ist von echoarmen Peritendineum umgeben (*) Distal strahlt die Sehne fächerförmig in den Tuber calcanei (Tc) ein, dessen Kortikalis sich bogenförmig darstellt. Als Kager-Dreieck (K) bezeichnet man die mit Fettgewebe angefüllte Lücke proximal des Kalkaneus unterhalb der Sehne. Die Tibiahinterkante (T) bricht auf Höhe des oberen Sprunggelenks ab. Etwas tiefer gelegen kommen Kortikalisreflexe des Talus (Ta) zur Darstellung (Mfh: M. flexor hallucis). Unten rechts: Schallkopfposition im Längsschnitt

Pathologische Befunde

Verlaufskontrolle

Die Diagnose einer Achillessehnenruptur wird klinisch und anhand der typischen Anamnese gestellt und mittels Ultraschalluntersuchung gesichert. Außerdem kann die Sonografie bei der Auswahl der geeigneten Behandlung und zur Verlaufskontrolle eingesetzt werden (Miquel et al. 2009).

Die echogene, fischzugartige, parallele Längsfiederung der Sehne weist eine Kontinuitätsunterbrechung auf. Die prädisponierte Rupturstelle liegt ca. 4 cm proximal des Ansatzes am Kalkaneus. Die Rupturzone ist sehr inhomogen mit echoarmen und -reichen Bezirken. Diese Binnenstruktur wird hervorgerufen durch Einblutungen zwischen zahlreichen Sehnenfaseranteilen, die im Rupturhämatom eingebettet sind. Die Rupturenden sind in der Regel stark ausgefranst und teilweise noch miteinander verflochten. Die Sehnenstümpfe erscheinen dadurch aufgetrieben. Durch die Einblutung kommt die gesamte Rupturzone, die sich über 2–4 cm erstrecken kann, spindelförmig zur Darstellung. Erst die sehr vorsichtige, dynamische Untersuchung zeigt das ganze Verletzungsausmaß. Das obere Sprunggelenk wird mit geringem Bewegungsausschlag passiv bewegt und dadurch Zug am distalen Sehnenstumpf ausgelöst, der sich nicht im proximalen Sehnenanteil fortsetzt. Nach operativer Versorgung mit Durchflechtungsnähten ist das Nahtmaterial im Sehnengewebe über Monate sonografisch als echoreiche Linien oder Punkte sichtbar (Abb. 20.79, Abb. 20.80, Abb. 20.81, Abb. 20.82, Abb. 20.83).

Tendinitis, Peritendinitis

Klinisch besteht eine Achillodynie mit Schmerzen im Ansatzbereich der Achillessehne. Oberhalb des maximalen Druckschmerzes sieht man sonografisch im Seitenvergleich eine Zunahme des Sehnendurchmessers in beiden Schnittebenen. Bei einer Peritendinitis wird das scharf begrenzte Sehnengewebe zusätzlich von einem schmalen echoarmen Saum eingehüllt als Folge der Flüssigkeitsansammlung. Die Sehnenbinnenstruktur mit der typischen Längsfiederung wirkt im betroffenen Bezirk verwaschen. Degenerative Veränderungen des Sehnengewebes sind die Ursache dafür. Häufig liegt bereits eine chronische Schädigung vor mit rezidivierend abgelaufenen Reparaturvorgängen. Dann finden sich zentral vereinzelt echoarme Bezirke als Folge von kleinen Nekrosen neben echogenen Regionen nach narbiger Regeneration. Der degenerativ veränderte Sehnenanteil wirkt inhomogen.

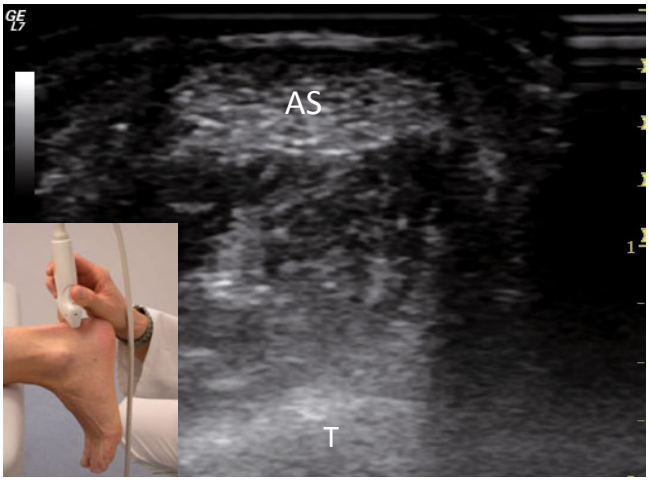


Abb. 20.78 Normalbefund im Querschnitt. Die Achillessehne (AS) stellt sich ovalär unmittelbar unter dar Haut dar. Das Subkutangewebe ist sehr dünn. Der Kortikalisreflex in der Tiefe wird von der Tibiahinterkante (T) hervorgerufen. Unten links: Schallkopfposition im Querschnitt

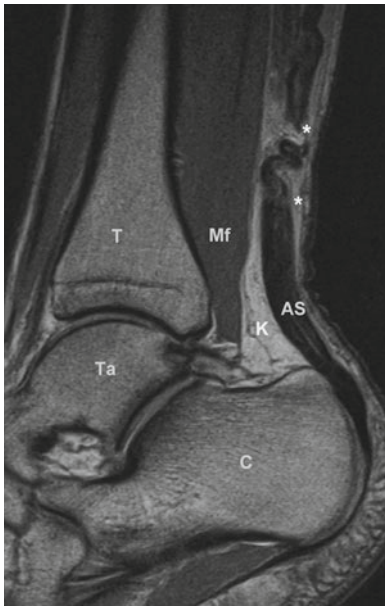


Abb. 20.80 MRT einer Achillessehnenruptur. Die Rupturenden sind durch Sterne (* *) markiert. Der dazwischen liegende Anteil entspricht geschlängelten Sehnenfasern, welche die Dehiszenz scheinbar überbrücken. Es besteht jedoch keine Kontinuität (AS: Achillessehne, C: Kalkaneus, K: Kager-Dreieck, Mf: M. flexor hallucis, Ta: Talus, T: Tibia)

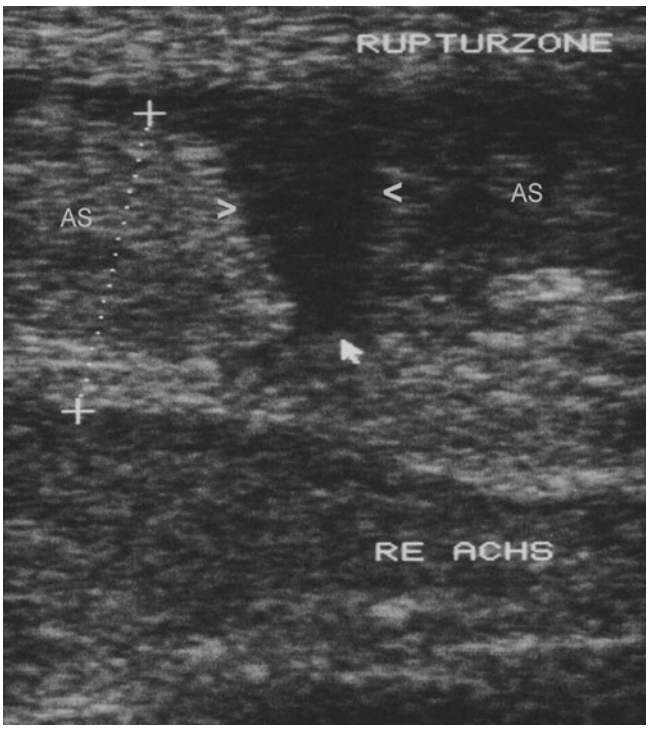


Abb. 20.79 Längsschnitt, frische Achillessehnenruptur. Die Rupturenden (> <) sind gut sichtbar. Es besteht nur eine geringe Dehiszenz. Die echofreie Zone um den proximalen Sehnenstumpf entspricht einer Einblutung (AS: Achillessehne)

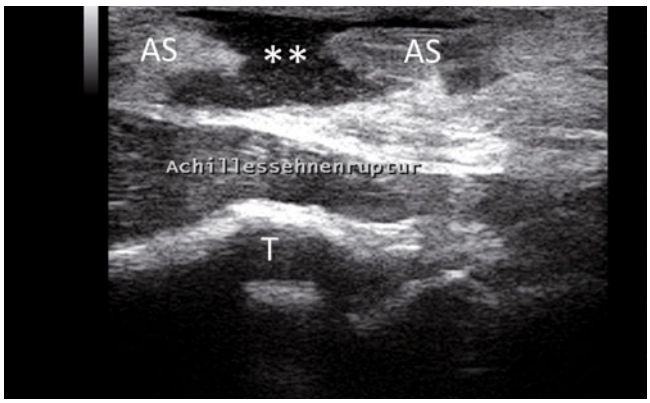


Abb. 20.81 Längsschnitt über der Achillessehne mit dehiszenter Rupturstelle. Im Längsschnitt zeigt sich bei Neutralstellung des oberen Sprunggelenks eine echoarme Defektzone (* *) im Bereich der Achillessehne (AS), die einem Hämatom entspricht. In der Tiefe ist der knöcherne Reflex der Tibia (T) sichtbar

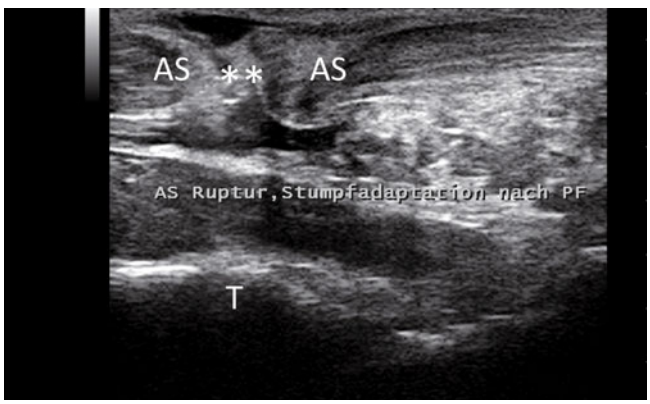


Abb. 20.82 Längsschnitt über der Achillessehne mit angenäherten Rupturenden bei 20°-Plantarflexion. Derselbe Patient wie in Abb. 20.81. Jetzt in 20°-Plantarflexion haben sich die Rupturenden deutlich angenähert. Die Rupturzone (* *) erscheint inhomogen aufgrund der Einblutung und der ausgefransten Rupturenden (AS Achillessehne, T Tibia)

Bursitis subachillea

Der Ansatz der Achillessehne am Kalkaneus ist fächerförmig. Da aus diesem Grund nicht alle Schallwellen orthograd auftreffen, erscheint dieser Bezirk echoärmer als das proximale Sehnengewebe. Bei Reizzuständen des Schleimbeutels ist zwischen Sehnenansatz und Kortikalis des Fersenbeins die scharf begrenzte, ovaläre, echofreie Bursa vom umliegenden Gewebe abgrenzbar. Als Ursache

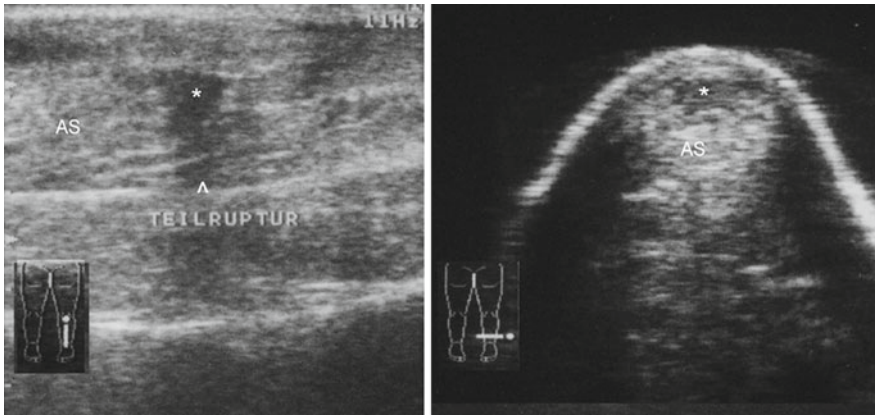


Abb. 20.83 Längs- und Querschnitt der Achillessehne mit Teilruptur. Deutlich sichtbar ist die echoarme Konturunterbrechung der Sehne (*). Es liegt keine größere Dehiszenz vor. Die dynamische Untersuchung mit geringem Bewegungsausmaß zeigt, dass die in der Tiefe gelegenen Sehnenanteile (^) in ihrer Kontinuität erhalten sind. Bei Dorsalextension wird die Bewegung nach proximal fortgeleitet. Bei einer kompletten Ruptur würde es zu einer Zunahme der Dehiszenz ohne Mitbewegung des proximalen Sehnenanteils kommen

eines derartigen Reizzustandes kann ein Fersensporn vorliegen, der als exophytäre Ausziehung der echogenen, linienförmigen Kortikalisoberfläche sonografisch ebenfalls sichtbar ist.

20.3.3 Bänder

Der Untersucher kann eine Ruptur der Außenbänder oder Innenbänder des oberen Sprunggelenks mit umliegender Einblutung entweder direkt nachweisen oder die entstandene Instabilität indirekt durch eine sonografische Stabilitätstestung belegen (Milz et al. 1999) (Abb. 20.84, Abb. 20.85, Abb. 20.86). Auch Rupturen kleinster Bänder lassen sich oft indirekt nachweisen, z.B. eine Ringbandruptur am Finger durch die Abhebung der Beugesehnen (Abb. 20.87).

20.3.4 Fremdkörper

Traumen führen manchmal zur Einsprengung von Fremdkörpern, die nicht immer röntgendicht sind. Bei der Entfernung stellt dann der Bildwandler keine Hilfe dar. Holz, Glas und Plastikmaterialien sind sonografisch anhand des Grenzflächenreflexes darstellbar. Das Auffinden nichttastbarer Fremdkörper kann sehr schwierig sein. Intraoperativ können Fasszangen unter Schonung von Begleitstrukturen sonografisch an den Fremdkörper herangeführt werden. Form, Lage und Größe der Fremdkörper sind gut abschätzbar. Auch metallische Gegenstände wie Nadeln lassen sich unter Vermeidung einer Strahlenexposition aufspüren (Abb. 20.88).

20.3.5 Abszesse

Abszesse können überall im Gewebe entstehen. Wegweisend sind die klinischen Merkmale der Entzündung mit den bekannten Kardinalsymptomen. Bei sehr tiefer Lage oder besonderen Begleitumständen (z.B. Einnahme von Glukokortikoiden, Immunsuppression) können klinische Zeichen auch vollständig fehlen. Sonografisch lassen sich die als Raumforderung imponierenden Abszesse mit ihrem echoreichen Randwall (Abszessmembran) gut darstellen.

Abszesse lassen sich wie alle flüssigkeitsgefüllten Räume komprimieren. Im Gegensatz zu Seromen sind sie nicht echofrei.

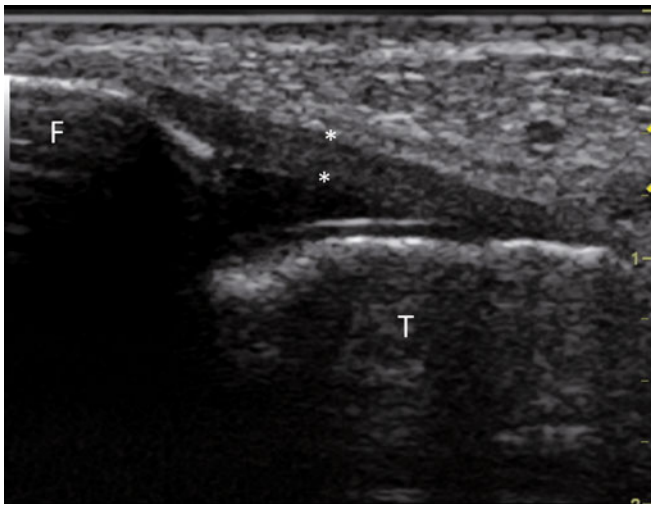


Abb. 20.84 Längsschnitt über Außenknöchel im Verlauf des Ligamentum fibulotalare anterius. Zwischen Fibulaspitze (F) und Lateralfläche des Talus (T) verläuft geradlinig und echoarm das Ligamentum fibulotalare anterius (* *)

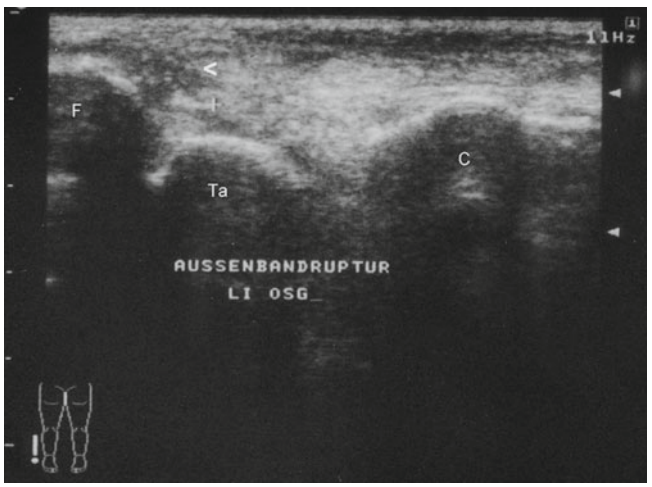


Abb. 20.85 Längsschnitt über Außenknöchel bei Außenbandruptur. Im Bereich der Fibulaspitze (F) stellt sich als Folge einer Einblutung ein echoarmer Bezirk dar (<), der die echoreiche Bandstruktur unterbricht (Ta: Talus, C: Kalkaneus)

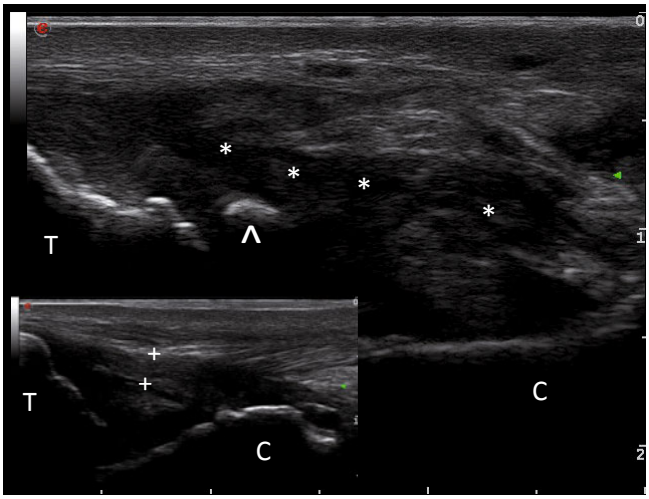


Abb. 20.86 Längsschnitt über dem Ligamentum tibiocalcaneare. Zustand nach Pronationstrauma 1 Woche zuvor. Die Kontinuität des Bandes ist unterbrochen. Es findet sich eine echoinhomogene Auftreibung des rupturierten Bandes (**). An der Tibiakante zeigt sich ein sichelförmiger echogener Reflex (^). Hierbei handelt es sich um ein Knochenfragment. Tibia (T), Kalkaneus (C). Kleines Bild links unten: Intaktes Ligamentum tibiocalcaneare (++) der Gegenseite

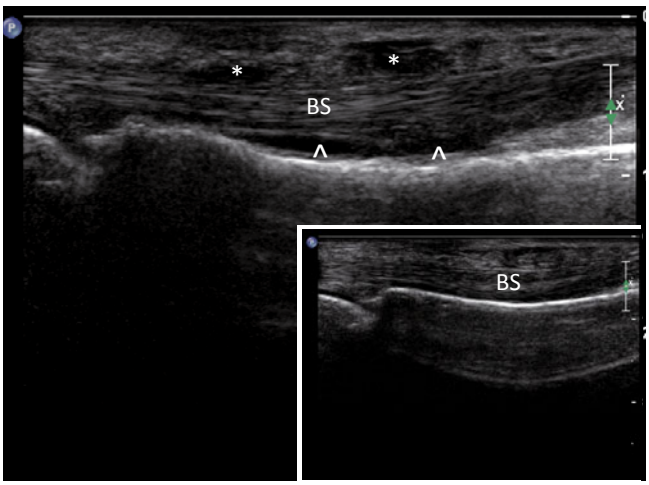


Abb. 20.87 Ringbandruptur A2 bei einem Kletterer: Durch die Ruptur des Ringbandes kommt es zu einer Abhebung (^^) der Beugesehnen (BS) vom Periost, so genanntes »bow stringing". Zudem findet sich ein echoarmes Hämatom (**). Das kleine Bild rechts unten zeigt ein intaktes Band, hierdurch liegen die Beugesehnen dem Knochen direkt an

Ihre Binnenstruktur ist inhomogen, echoarm. Pathognomonische Binnenechos finden sich in Form kleinster strichförmiger, echogener Reflexe, verursacht durch Luftbläschen. Man spricht von Schneegestöber. Ältere Abszesse können septiert sein; Fibrinfäden imponieren sonografisch als fluktuierende echoreiche Linien. Die Abszessmembran ist echogen und scharf begrenzt. Bei Entzündungsreaktion des angrenzenden Gewebes mit Ödembildung und fehlender Abszessmembran ist die Begrenzung unscharf. Die Punktion mit nachfolgender Keimdifferenzierung ist zur endgültigen Diagnosesicherung notwendig (Abb. 20.89, Abb. 20.90, Abb. 20.91).

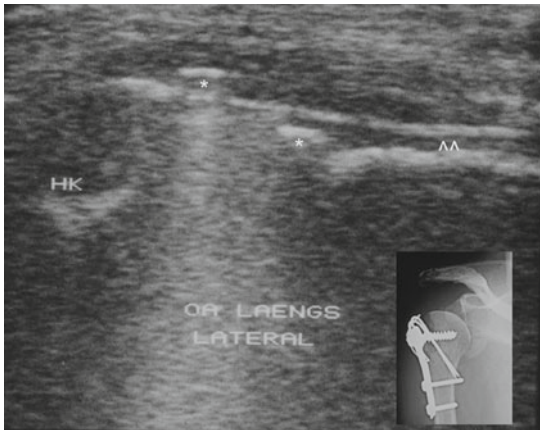


Abb. 20.88 Lateraler Längsschnitt proximaler Oberarm, Infekt am Plattenlager. Als »Fremdkörper« sind stellvertretend 2 Schraubenköpfe (* *) und die Platte (^^) sichtbar. Im Gegensatz zur Kortikalis ist der Reflex echogener und härter. Die Platte weist einen unscharf begrenzten, echoärmeren Randsaum auf. Ursache dafür ist ein vom Plattenlager ausgehender Infekt mit Weichteilentzündung (HK Humeruskopf). Unten rechts: Röntgenaufnahme

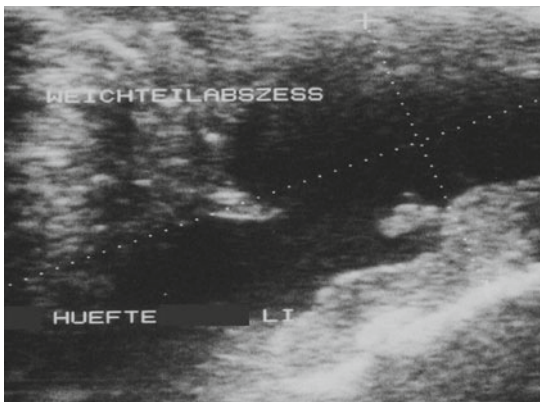


Abb. 20.89 Vorderer Querschnitt linke Hüfte mit Weichteilabszess bei Zustand nach Empyem. Inhomogener, unscharf begrenzter Bezirk, der zentral als Folge der Flüssigkeitsansammlung (Pus) echofrei erscheint. Teilweise echoreiche Reflexe durch Fibrin und Detritus

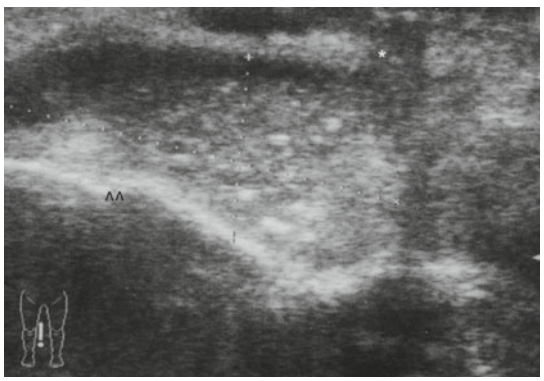


Abb. 20.90 Lateraler Längsschnitt oberes Sprunggelenk, Weichteilabszess nach Infektpseudarthrose. Abgesetzter Detritus und Lufteinschlüsse verursachen strichförmige, kleine Reflexe (Schneegestöber). Der Abszess dehnt sich über eine schmale Brücke (*) in die Subkutis aus. Oberflächennah überwiegen flüssige Anteile, und der Abszessinhalt stellt sich echoärmer dar. In der Tiefe ist die Kortikalis (^^) der medialen Tibia die Begrenzung

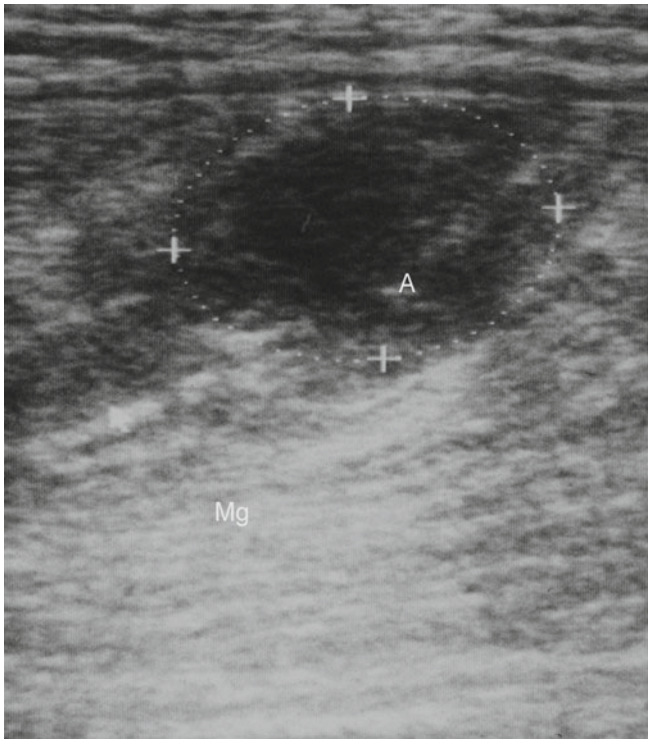


Abb. 20.91 Dorsaler Längsschnitt Wade, intramuskulärer Abszess bei Zustand nach Herztransplantation. Echoarmer, unscharf begrenzter und intramuskulär gelegener Abszess (A) von 2 cm Durchmesser. Die sonografisch gesteuerte Punktion erbrachte den Nachweis von Eiter (Mg: M. gastrocnemius)

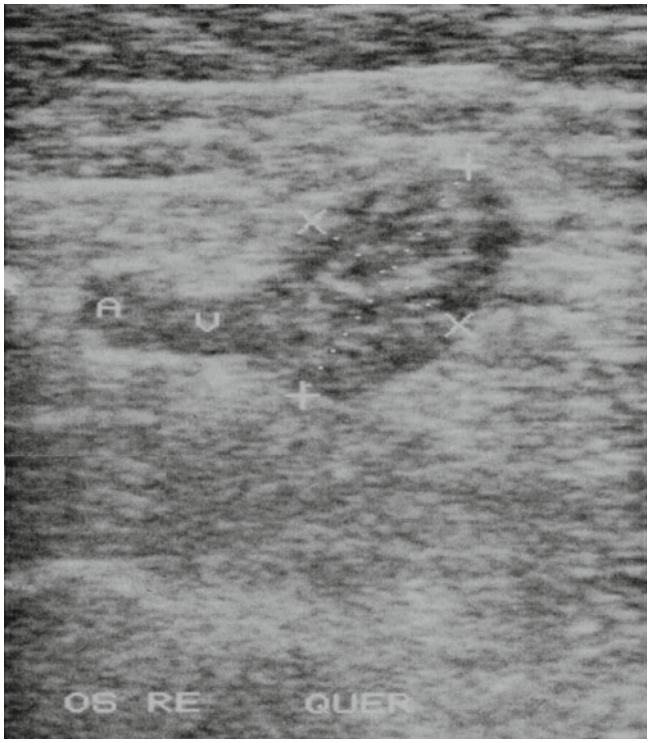


Abb. 20.92 Querschnitt Oberschenkel anteromedial, intramuskulär gelegener, gefäßnaher, benigner Weichteiltumor. Scharf begrenzter, homogener ovalärer Tumor im Bereich des M. vastus medialis, der an die V. femoralis superficialis (V) direkt angrenzt. Es wurde wegen der Gefahr der Gefäßverletzung keine Stanzbiopsie entnommen, sondern der Tumor exstirpiert. Es handelte sich histologisch um eine unspezifische Myositis (A. und V. femoralis superficialis)

20.3.6 Gewebeneubildungen

Beim Vorliegen eines Weichteiltumors gibt es viele Fragestellungen, die sich sonografisch gut und schnell beantworten lassen:

- Lokalisation, Größe
- Lagebeziehung zu benachbarten Strukturen
- Abgrenzbarkeit zum umliegenden Gewebe (scharf oder unscharf, verdrängend oder infiltrierend)
- Binnenstruktur (Echohomogenität)
- Verlaufskontrolle
- Gesteuerte Biopsie

Mit sonografischer Hilfe lässt sich die Größe eines Tumors problemlos bestimmen, ebenso dessen Lage (z.B. intramuskulär, subkutan etc.; Abb. 20.92, Abb. 20.93). Für die operative Planung ist es wichtig zu wissen, welche Strukturen direkt angrenzen. Wächst der Tumor verdrängend, ist er scharf begrenzt oder infiltriert er das umliegende Gewebe? Ist die Binnenstruktur homogen, zystisch oder solide oder lassen zentrale echoarme Bezirke Rückschlüsse auf Nekrosen zu? Sonografische Kriterien für Malignität sind in der Übersicht dargestellt.

Sonografische Kriterien für Malignität

- Unscharfe Begrenzung
- Infiltration ins benachbarte Gewebe
- Inhomogene Binnenstruktur
- Echoarme bzw. echofreie zentrale Regionen als Folge von Nekrosen
- Vergrößerte regionäre Lymphknoten

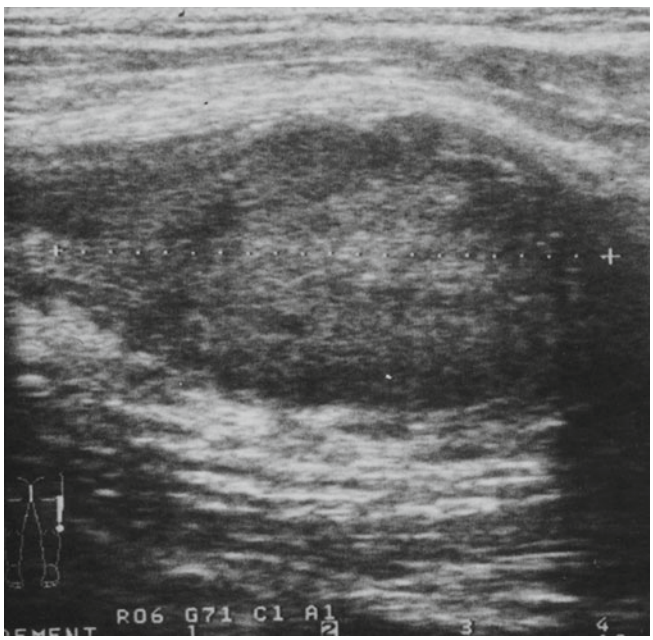
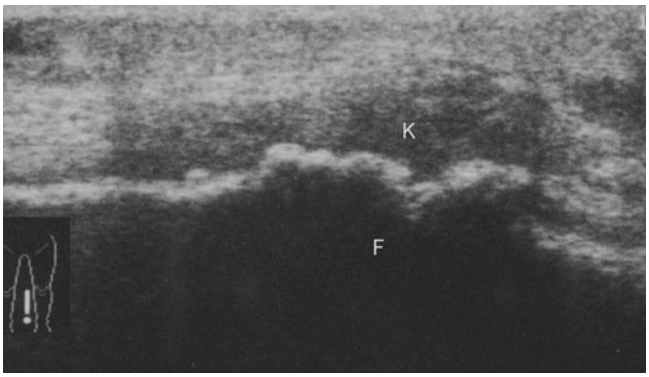


Abb. 20.93 Längsschnitt Oberschenkel, intramuskulär gelegener, maligner Weichteiltumor. Die Muskelfasern werden durch den scharf begrenzten Tumor verdrängt und spindelförmig auseinandergedrückt. Als Malignitätskriterium weist der Tumor eine inhomogene Binnenstruktur mit echoarmen Nekrosebezirken auf. Es handelte sich histologisch um ein Fibrosarkom

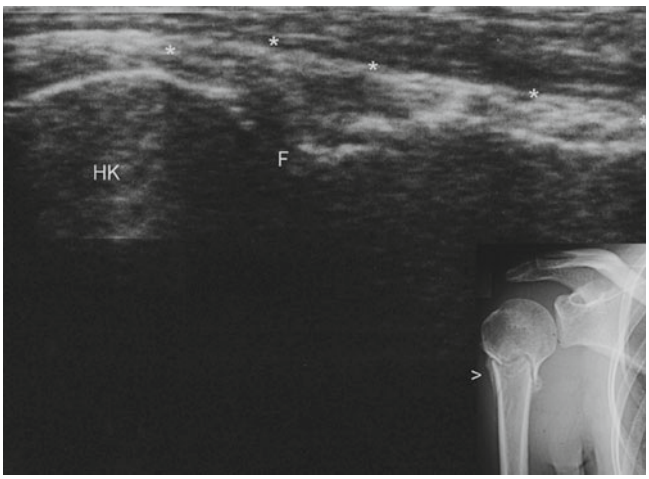
20.4 Knochenneubildung, Frakturheilung

Kallus wird auf einer konventionellen Röntgenaufnahme erst sichtbar, wenn ein Mindestmaß an Kalzifizierung bei der Ossifikation des knorpeligen Kallus eingetreten ist. Die Sonografie vermeidet eine unnötige Strahlenbelastung und zeigt den Kallus bereits, bevor die Darstellung auf der konventionellen Röntgenaufnahme gelingt. Durch die Möglichkeit der dynamischen Untersuchung mit Biegestress und die Bestimmung der Kallusdicke lässt sich die Heilungstendenz einer Fraktur oder Pseudarthrose sonografisch beurteilen. Der echoarme, homogene und glatt begrenzte Kallus überbrückt die Frakturzone großflächig (◘ Abb. 20.94, ◘ Abb. 20.95, ◘ Abb. 20.96). Auch bei so genannten Stressfrakturen findet sich sonografisch oft eine kleine Stufenbildung mit echoarmem oder ohne echoarmes Hämatom (◘ Abb. 20.97).

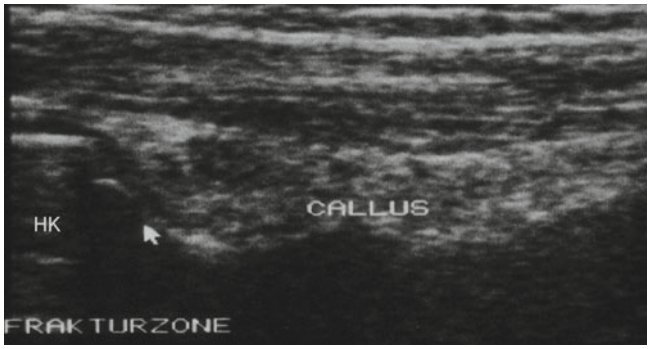
Bei der Kallusdistraktion zur Verlängerung von Röhrenknochen können die erreichte Dehiszenz der Knochenenden exakt ausgemessen und die dazwischen liegende Kallusbrücke dargestellt werden. Probleme wie Osteonekrose mit unzureichender Kallusbildung werden so frühzeitig erkannt (◘ Abb. 20.98).



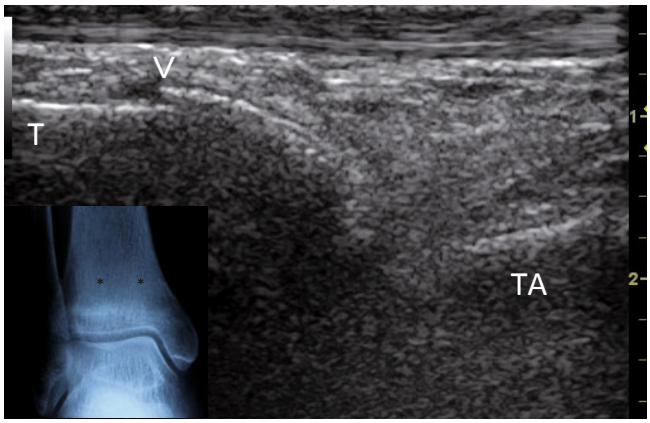
◘ **Abb. 20.94** Lateraler Längsschnitt 4 Wochen nach Unterschenkelfraktur. Echoarme, überschießende Kallusbildung (K), Konturunterbrechung der Kortikalis im ehemaligen Frakturbereich (F)



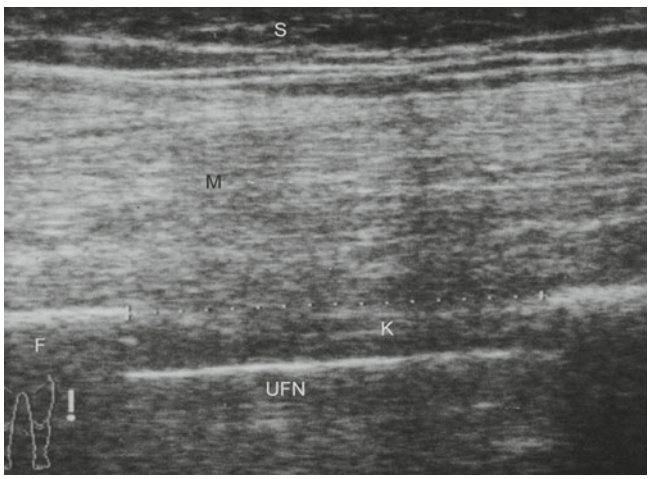
◘ **Abb. 20.95** Lateraler Längsschnitt Oberarm, 6 Wochen nach subkapitaler Humerusfraktur. Die Kortikalis ist im Bereich der ehemaligen Frakturzone (F) unterbrochen. Diese Region wird großflächig durch aufgelagerten Kallus (***) überbrückt. Auf dem Röntgenbild (unten rechts) ist die korrespondierende Zone mit einem Pfeil (>) gekennzeichnet. Biegestress löste keine abnorme Beweglichkeit aus (HK: Humeruskopf)



◘ **Abb. 20.96** Lateraler Längsschnitt Oberarmkopf, 10 Wochen nach subkapitaler Humerusfraktur. Gleiche Schallkopfposition und Fraktur wie bei ◘ Abb. 21.93. Der Kallus ist wegen der zunehmenden Kalzifizierung echogener (HK: Humeruskopf)



◘ **Abb. 20.97** Osteoporotische Ermüdungsfraktur der Tibia bei einer Patientin mit rheumatoider Arthritis: Es zeigt sich eine Konturunterbrechung des »Periostreflexes« mit kleiner Stufenbildung (^) an der Tibia. Tibia (T), Talus (TA). Links unten: Das korrespondierende Röntgenbild zeigt die Fraktur als Aufhellungslinie (**)



◘ **Abb. 20.98** Lateraler Längsschnitt Oberschenkel, Segmenttransport und Kallusdistraktion über liegendem Marknagel. Der weichere Kortikalisreflex des Femur (F) ist über eine größere Distanz unterbrochen (.....), der Defekt wird von Kallus (K) ausgefüllt. In der Tiefe ist der harte metallische Reflex des Femurmarknagels (UFN) sichtbar. Die bereits erreichte Distraktion kann ausgemessen werden (M: M. vastus lateralis, S: Subkutis)

20.5 Sonografisch gesteuerte Punktion und Injektion

20.5.1 Indikation

Weichteilprozesse und Flüssigkeitsansammlungen können durch die modernen bildgebenden Verfahren wie Sonografie, CT oder MRT dargestellt werden. Um die Dignität dieser Befunde klären zu können, ist häufig eine gezielte Probengewinnung mit zytologischer oder histologischer Aufarbeitung notwendig. Sonografisch ist dies sofort und ohne großen Aufwand möglich, wenn Befunde oberflächennah liegen und gut zugänglich sind. Normalerweise kann jeder sonografisch darstellbare Befund auch punktiert werden. Die Sonografie ist dann die Methode der Wahl. Neben der Probengewinnung dient die sonografisch gesteuerte Punktion auch der gezielten Injektion von Medikamenten.

Bei tiefer gelegenen Prozessen oder Überlagerung durch schallundurchlässige Strukturen ist die CT überlegen. Als Beispiel seien Psoasabszesse oder wirbelsäulennahe Punktionen genannt. Die magnetresonanztomografisch gesteuerte Punktion ist technisch aufwändig und geräteabhängig.

Die Punktion von **umschriebenen Flüssigkeitsansammlungen** lässt meistens bereits makroskopisch die Unterscheidung zwischen einem Serom, Hämatom oder Abszess zu. Das gewonnene Material wird zur weiteren Diagnostik zytologisch, mikrobiologisch oder histologisch aufgearbeitet. Eine große klinische Relevanz liegt vor bei Gelenkergüssen, postoperativen oder posttraumatischen Flüssigkeitsansammlungen und bei chronischen Reizzuständen, z.B. einer Bursitis. Bei der sonografisch gesteuerten Punktion wird die Nadelspitze unter Sicht ins Ziel gelenkt. Korrekturen der Stichrichtung sind so möglich. Gelenkergüsse können häufig klinisch diagnostiziert werden (z.B. Kniegelenk). Für die Punktion ist dann keine weitere Hilfe notwendig. Bei kleinen Ergussmengen (Sprunggelenk) oder bei Gelenken mit einem dicken Weichteilmantel (Hüftgelenk) ist die sonografische Führung der Punktionsnadel sinnvoll.

Postoperativ auftretende Flüssigkeitsansammlungen im Sinne von Seromen oder Hämatomen können aus therapeutischen Gründen entlastet werden. Zum einen wird durch die Druckentlastung eine Besserung der Schmerzsymptomatik und des Bewegungsumfangs erreicht, andererseits verhindert man einen Flüssigkeitsaustritt über die Wunde, was dazu beiträgt, Infektionen über Keimbrücken zu vermeiden. Bei zunehmendem Druck sucht sich die Flüssigkeit den Weg des geringsten Widerstandes, also den der ehemaligen Inzision. Bei bereits eingetretener Sekretion kann sich nach der Punktion die Wunde verschließen. Klinische Studien haben gezeigt, dass der Einsatz dieses Verfahrens in der Endoprothetik geringere Infektionsraten zur Folge hat. In der Praxis richtet sich die Punktionsfrequenz nach der Flüssigkeitsmenge, der Klinik und dem Verlauf.

Als Faustregel gilt: Je geringer der Abstand zur Oberfläche ist, desto niedriger ist auch die »Punktionsschwelle« einer Flüssigkeitsansammlung.

Solide Weichteilstrukturen werden zur Gewinnung einer Probe mit dicklumigen Schneidebiopsiekanülen angestochen. Die Sonografie erhöht die Trefferquote erheblich. Da die Nadel als echogener Reflex auf ihrem Weg verfolgt werden kann, wird die Probe dann entnommen, wenn die Spitze im Randbereich des Tumors liegt. Zentral liegen häufig nur noch Nekrosen vor, die keine eindeutige histologische Artbestimmung zulassen.

Die **sonografisch gesteuerte Infiltration** erhöht die Trefferquote und das therapeutische Ansprechen ebenfalls (Chen et al. 2006, Naredo et al. 2003, Naredo et al. 2004). Die Instillation von Lokalanästhetika oder Glukokortikoiden führt zu einer Schmerzlinderung und zum Abklingen der Entzündungssymptomatik. Bedingung ist jedoch, dass das Medikament an die richtige Stelle gespritzt wird. Das klingt logisch, ist jedoch in der Praxis bei tiefer gelegenen oder kleinen Prozessen nicht immer einfach (z.B. Bursa subacromialis).

20.5.2 Technik

Man unterscheidet eine ultraschallgezielte von einer sonografisch gesteuerten Punktion. Der Patient ist über das Vorgehen und die Risiken (Blutung, Nachblutung, Verletzung von Begleitstrukturen wie Nerven und Gefäße, Infektion) aufzuklären und muss seine Zustimmung geben.

Bei der **gezielten Punktion** ist entweder ein spezieller Schallkopf mit Loch für die Kanüle oder eine Zusatzzielausrüstung für einen konventionellen Schallkopf notwendig. Bei diesem Verfahren ist die Punktion unter ständiger Führung und Kontrolle der Biopsienadel möglich.

Bei der **sonografisch gesteuerten Punktion** wird die Tiefe des zu punktierenden Objekts bestimmt und dadurch auch der Eintrittswinkel der Punktionskanüle, die freihand sonografisch kontrolliert geführt wird. Unter Verwendung eines konventionellen Schallkopfs wird die Punktionsstelle nach der Darstellung des Ziels in 2 Ebenen an der Hautoberfläche markiert. Auf nahegelegene neurovasukläre Strukturen wird dabei geachtet. In der Regel wird die Untersuchung im Liegen durchgeführt. Steriles Arbeiten versteht sich von selbst.

Die zu punktierende Region wird großflächig desinfiziert, ebenso der Schallkopf. Eine Lokalanästhesie der Haut und des darunter liegenden Gewebes wird bei dicklumigen Punktions- oder Biopsienadeln durchgeführt. Bei Verwendung dünner Nadeln kann auf eine Lokalanästhesie verzichtet werden. Das Abdecken erfolgt mit einem sterilen Lochtuch. Sterile Handschuhe, Mundschutz und Haube sollen getragen werden. Als Kontaktmedium dient Desinfektionslösung. Ultraschallgel kommt nicht zur Anwendung. Die Kunststoffoberfläche des Schallkopfs wird von den handelsüblichen Desinfektionslösungen nicht angegriffen.

Der Schallkopf wird ca. 3 cm neben der Hautmarkierung aufgesetzt und die zu punktierende Struktur dargestellt. Die Kanüle wird bei dieser **Transversaltechnik** im markierten Hautbereich eingestochen und vorgeschoben, dass die Spitze in der Tiefe ihr Ziel trifft. Die Verkippung des Schallkopfs sollte idealerweise mit der Punktionsnadel die Seiten eines gleichschenkligen Dreiecks bilden, wobei die Spitze dieses gedachten Dreiecks im Ziel zu liegen kommt. Beim Vorschieben der Nadelspitze stellt sich diese als punktförmiger echogener Reflex mit Schallschatten dar. Scherbewegungen des umliegenden Gewebes sind sichtbar. Oszillierende Bewegungen mit der Nadel erleichtern das Auffinden. Auf diese Weise kann die Nadel unter Sicht ins Ziel gelenkt werden (Abb. 20.99).

Die Kanüle kann jedoch auch in Längsrichtung (**Longitudinaltechnik**) abgebildet werden. Sie wird in Verlängerung der Auflagefläche eingestochen und parallel zur Schallebene ins Bild geschoben. Sie kommt als echogener Strich zur Darstellung. Das Ende entspricht der Nadelspitze (Abb. 20.100).

Ein steriler Pflasterverband beendet die Punktion. Nachblutungen können durch lokalen Druck vermieden oder beherrscht werden. Bei Schneidebiopsien entsteht in der Tiefe ein größerer Defekt, Hämatome können entstehen. Aus diesem Grund muss bei diesen Patienten nach 1–2 h eine **sonografische Kontrolle** erfolgen. Bei Gerinnungsproblemen sollten vor der Punktion die Gerinnungsparameter laborchemisch kontrolliert werden.

Bei der Punktion von soliden Weichteilformationen ist der Eintrittspunkt genau festzulegen, damit im Falle der Malignität der Punktionsweg bei der evtl. folgenden Operation mit exzidiert werden kann. Über eine kleine Hautinzision kann fächerförmig die Punktion mehrfach wiederholt werden. Zentral weisen maligne Tumoren oft Nekrosen auf, weshalb die Punktion im Randbereich angestrebt werden sollte.

Bei einer Koxitis mit Hüftgelenkerguss oder einer Bursitis bedeutet die Aspiration von Exsudat, dass die Nadelspitze im Ziel ist. Bei der Injektion zeigen sonografisch darstellbare Schlieren und kleine Luftblasen an, dass das Medikament an der richtigen Stelle eingebracht wurde. Zudem dehnt sich aufgrund der Flüssigkeitszunahme die Gelenkkapsel oder Bursamembran aus.

Bei der Punktion des Hüftgelenks sticht man mit einer langen Kanüle lateral der Femoralgefäße über der Mitte des Schenkelhalses ein und führt sie unter sonografischer Sicht senkrecht nach unten. In 5–7 cm Tiefe bekommt man Knochenkontakt mit dem Schenkelhals, und die Nadelspitze liegt intraartikulär. Es ist schwieriger und komplikationsreicher, das Gelenk im Bereich des Femurkopfs zu punktieren.

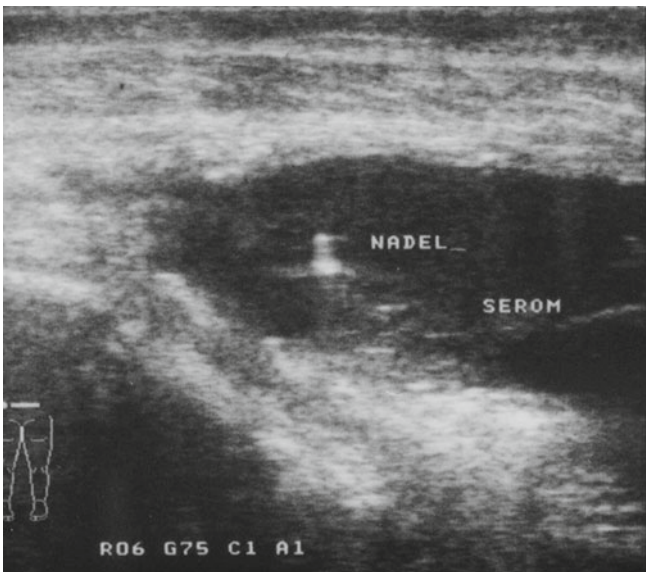


Abb. 20.99 Sonografisch gesteuerte Punktion, Schallkopfposition quer zur Nadel (Transversaltechnik), Glutealregion. Harter, punktförmiger Reflex durch die quer getroffene Nadel im nahezu echofreien Serom. Bewegungen mit der Nadel erleichtert das Aufsuchen im Gewebe

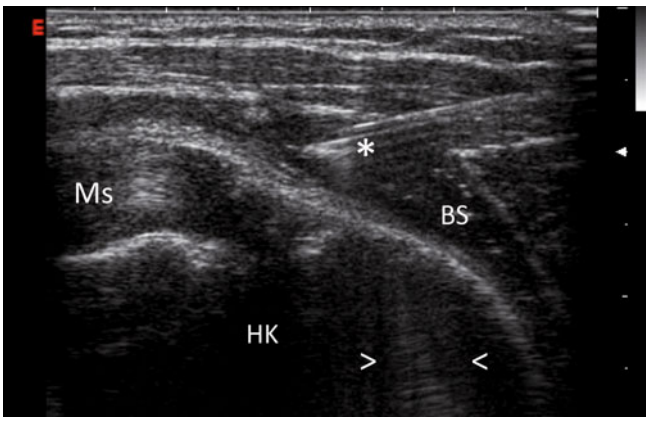


Abb. 20.100 Sonografisch gesteuerte Punktion, Schallkopfposition längs zur Nadel (Longitudinaltechnik), vorderer Schrägschnitt I Schulter. Die Nadel (*) ist als echoreicher Strich sichtbar und verursacht zarte Reverberationsartefakte (><). Die Nadelspitze liegt in der Bursa subdeltoidea (BS). M. subscapularis (Ms), Humeruskopf (HK)

20.6 Ausblick und neue Entwicklungen

20.6.1 Intraoperative Myelonsonografie

Die Feststellung der genauen Lokalisation einer tumorösen Spinalkanaleinengung und die Beurteilung des Ausmaßes der erreichten Myelondekompression bei traumatischer oder tumoröser Einengung des Spinalkanals stellt den Operateur immer wieder vor Schwierigkeiten. Die Sonografie steht bereits intraoperativ als Diagnostikum für diese Fragestellung zur Verfügung und liefert teilweise therapieentscheidende Informationen. Die Darstellung mit dem Bildwandler kann bei Überlagerung durch einen dicken Weichteilmantel oder knöcherne Strukturen unmöglich sein. Intraspinal gelegene Knochenfragmente stellen sich radiologisch nicht immer dar. Voraussetzung für die sonografische Bildgebung ist ein vorhandenes Schallfenster, z.B. durch Hemilaminektomie. Die Wirbelkörperhinterkante lässt sich gut darstellen und beurteilen. Bei einer tumorösen Spinalkanaleinengung ist die Entlastung des Myelons durch Hemilaminektomie bzw. Laminektomie oft ein wesentlicher, notwendiger Therapieschritt. Sonografisch können auch die ventralen Abschnitte des Spinalkanals dargestellt werden, Tumorgewebe lässt sich gut vom pulsierenden Myelon differenzieren. Durch die Verwendung eines Curved-Schallkopfs (6,5-MHz-»finger-tip«-Schallkopf) kann auch der angrenzende Myelonabschnitt kranial und kaudal des Operationsgebiets mitbeurteilt werden. Die Sonografie zeigt, ob noch ein Rest- oder Zweittumor vorhanden ist und ob die Operation zu einer Myelondekompression geführt hat (Abb. 20.101, Abb. 20.102, Abb. 20.103, Abb. 20.104).

Abb. 20.101 Situs bei dorsalem Zugang zur Wirbelsäule, 6,5 MHz-Schallkopf (»finger-tip«). Das Operationsgebiet ist mit Spülflüssigkeit angefüllt, der Schallkopf wird in die Flüssigkeit eingetaucht, ohne das Myelon zu komprimieren. Der Untersucher erreicht dadurch eine gute Ankopplung

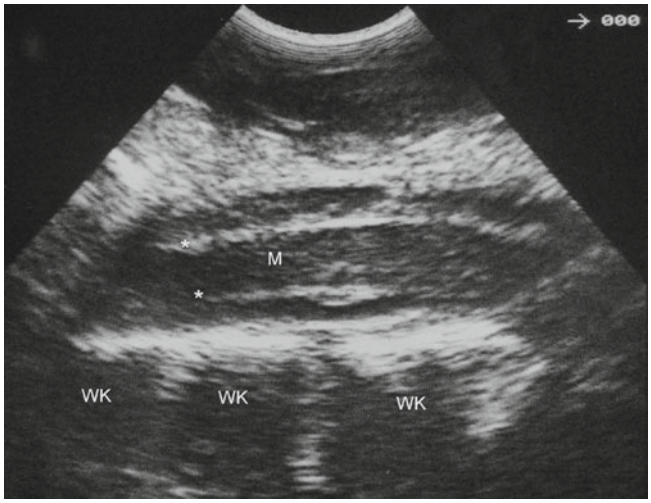


Abb. 20.102 Intraoperativer Längsschnitt des Myelons. Das Myelon (M) liegt als echoarmes Band zwischen der echoreichen Begrenzung der Dura (* *). Im bewegten Bild pulsiert das Myelon. Das Myelon ist im Spinalkanal in Fettgewebe eingebettet, das sich echoarm darstellt. In der Tiefe sind 3 Wirbelkörper (WK) mit den dazwischen liegenden Bandscheibenräumen sichtbar

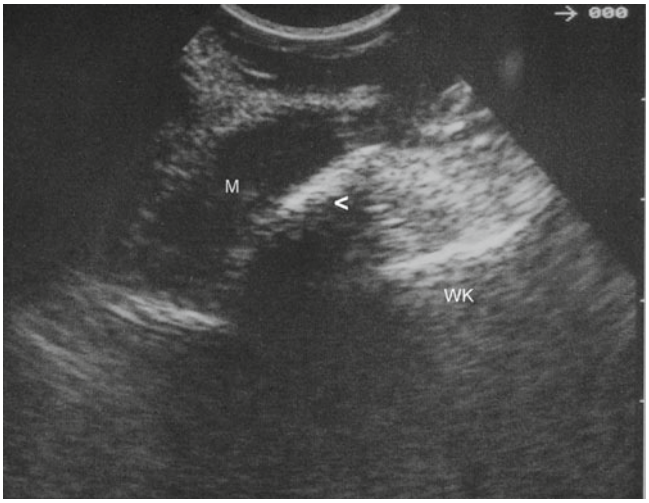


Abb. 20.104 Intraoperativer Längsschnitt des Myelons mit Kompression durch ein Knochenfragment. Das Myelon (M) wird durch ein Knochenfragment (<) im Spinalkanal hochgradig komprimiert und nach dorsal verlagert. Es verläuft bogenförmig um die echoreiche, schallschattenbildende Schuppe (WK: Wirbelkörper)

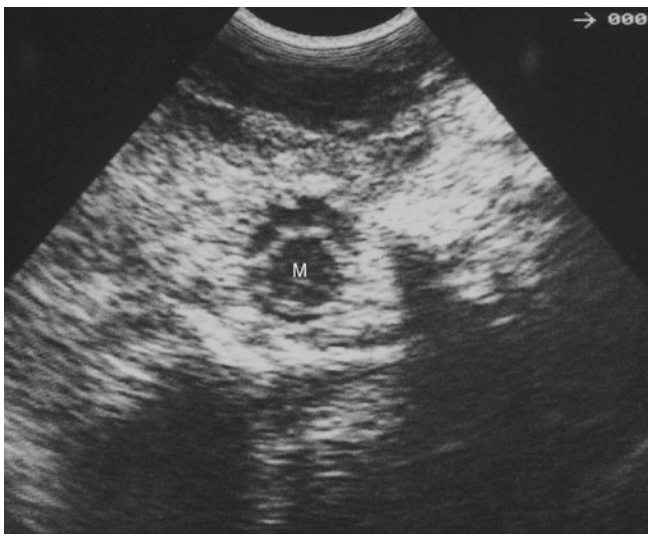


Abb. 20.103 Intraoperativer Querschnitt des Myelons. Kreisrund und von echoreicher Dura begrenzt stellt sich das Myelon (M) im Querschnitt dar

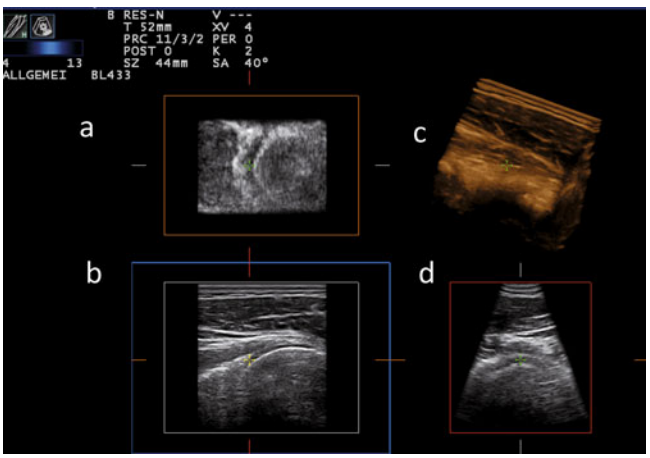


Abb. 20.105a–d 3 D-Darstellung des Glenohumeralgelenks. **a, b, d** gleichzeitige Darstellung des Gelenks in 3 zueinander senkrecht stehenden Ebenen. **c** Volumenblock, der nachträglich bearbeitet und in alle Richtungen gedreht werden kann. Somit entsteht eine räumliche Darstellung der untersuchten Struktur

20.6.2 3 D-Sonografie/Elastografie/ Fusion Imaging

Durch die Entwicklung neuartiger 3 D-Schallköpfe, die viele parallele Schnittbilder in einem definierten Volumen erfassen, können Objekte in allen Ebenen des Raums dargestellt werden (Abb. 20.105). Das ständige Ändern des Betrachtungswinkels erweckt für den Untersucher einen räumlichen Eindruck. Wichtiger ist jedoch, dass analog dem CT oder MRT in beliebigen Ebenen Schnittbilder errechnet werden können. Die Daten werden gespeichert, und die Bildinformation steht dem Untersucher in der Regel nach wenigen Sekunden oder sogar in Echtzeit (so genannte 4 D-Sonografie) zur Verfügung. In der Arthrosonografie konnte sich das Verfahren bisher noch nicht etablieren. Allerdings gibt es erste Publikationen, die von einem Nutzen der 3 D-Sonografie bei der Darstellung von Rotatorenmanschettendefekten berichten (Kang et al. 2009). Da die Kortikalis alle Schallwellen reflektiert, entstehen in der Regel halbreliefartige Bilder, die dem Untersucher zusätzlich zur 2 D-Sonografie keine weiteren Informationen liefern.

Veränderungen im Bereich der Weichteile lassen sich jedoch mit der 3 D-Sonografie gut darstellen. Das Ausmaß von Verletzungen und die Grenzen von Tumoren lassen sich besser bestimmen und durch präzise Volumenkalkulation exakt ausmessen. Die Kombination mit einem Farbduplex liefert wichtige Informationen zur Gefäßversorgung von Tumoren oder Entzündungsprozessen. Intraoperativ wird sich die 3 D-Sonografie deshalb durchsetzen, weil dem Operateur diese wichtigen Zusatzinformationen sofort zur Verfügung stehen.

Die Real-time-Sonoelastografie stellt eine neue ultraschallbasierte Technik dar, die eine Beurteilung der Gewebeelastizität ermöglicht (Frey 2003). Klinische Anwendung findet dieses Verfahren v.a. in der Tumordiagnostik der Mamma und der Schilddrüse sowie des Pankreas (Itoh et al. 2006, Uchida et al. 2009, Lyshchik et al. 2005). Neueste Studien im Bereich der Bewegungsorgane untersuchen die Elastizitätseigenschaften von gesunden und pathologisch veränderten Sehnen und zeigen erste vielversprechende Ergebnisse (De Zordo et al. 2009, De Zordo, Lill et al. 2009).

Die »Fusion Imaging« Technik kombiniert Ultraschallbilder mit CT- oder MRT-Befunden und schafft somit ganz neue Möglichkeiten zur Beurteilung von Weichteilläsionen und zu deren navigierter Intervention. Dieses Verfahren wird derzeit v.a. im Bereich der Lebersonografie angewendet (Jung et al. 2009). Ein Nutzen im Bereich der Bewegungsorgane ist durchaus denkbar, muss aber durch Studien erst belegt werden.

Literatur

Azzoni R, Cabitza P (2002) Is there a role for sonography in the diagnosis of tears of the knee menisci? J Clin Ultrasound 30: 472–476

Bianchi S, Martinoli C, Abdelwahab IF (2005) Ultrasound of tendon tears. Part 1: General considerations and upper extremity. Skeletal Radiol 34: 500–512

Bianchi S, Poletti PA, Martinoli C, Abdelwahab IF (2006) Ultrasound appearance of tendon tears. Part 2: Lower extremity and myotendinous tears. Skeletal Radiol 35: 63–77

Boutry N, Lapegue F, Masi L, Claret A, Demondion X, Cotten A (2005) Ultrasonographic evaluation of normal extrinsic and intrinsic carpal ligaments: Preliminary experience. Skeletal Radiol 34: 513–521

Bureau NJ, Beauchamp M, Cardinal E, Brassard P (2006) Dynamic sonography evaluation of shoulder impingement syndrome. AJR Am J Roentgenol 187: 216–220

Casser HR (2002) [ultrasound diagnosis of the meniscus]. Orthopade 31: 308–310

Chen MJ, Lew HL, Hsu TC (2006) Ultrasound-guided shoulder injections in the treatment of subacromial bursitis. Am J Phys Med Rehabil 85: 31–35

Clement H, Grechenig W, Mayr J, Peicha G (2002) [ultrasound diagnosis in hip trauma]. Orthopade 31: 295–299

de Jesus JO, Parker L, Frangos AJ, Nazarian LN (2009) Accuracy of mri, mr arthrography, and ultrasound in the diagnosis of rotator cuff tears: A meta-analysis. AJR Am J Roentgenol 192: 1701–1707

De Zordo T, Fink C, Feuchtner GM, Smekal V, Reindl M, Klauser AS (2009) Real-time sonoelastography findings in healthy achilles tendons. AJR Am J Roentgenol 193: W134–138

De Zordo T, Lill SR, Fink C, et al. (2009. Real-time sonoelastography of lateral epicondylitis: Comparison of findings between patients and healthy volunteers. AJR Am J Roentgenol 193: 180–185

Ferri M, Finlay K, Popowich T, Stamp G, Schuringa P, Friedman L (2005) Sonography of full-thickness supraspinatus tears: Comparison of patient positioning technique with surgical correlation. AJR Am J Roentgenol 184: 180–184

Frey H (2003) [realtime elastography. A new ultrasound procedure for the reconstruction of tissue elasticity]. Radiologe 43: 850–855

Grechenig W, Clement H, Fankhauser F, Mayr J, Fellinger M, Peicha G (2002) [ultrasound diagnosis in shoulder trauma]. Orthopade 31: 250–254

Grechenig W, Clement HG, Schatz B, Tesch NP (2002. [ultrasound diagnosis in trauma: Elbow and hand]. Orthopade 31: 271–277

Heers G, Hedtmann A (2002) [ultrasound diagnosis of the acromioclavicular joint]. Orthopade 31: 255–261

Itoh A, Ueno E, Tohno E, et al. (2006) Breast disease: Clinical application of us elastography for diagnosis. Radiology 239: 341–350

Jacobson JA, Oh E, Propeck T, Jebson PJ, Jamadar DA, Hayes CW (2002) Sonography of the scapholunate ligament in four cadaveric wrists: Correlation with mr arthrography and anatomy. AJR Am J Roentgenol 179: 523–527

Jung EM, Schreyer AG, Schacherer D, et al. (2009) New real-time image fusion technique for characterization of tumor vascularisation and tumor perfusion of liver tumors with contrast-enhanced ultrasound, spiral ct or MRI: First results. Clin Hemorheol Microcirc 43: 57–69

Kang CH, Kim SS, Kim JH, et al. (2009) Supraspinatus tendon tears: Comparison of 3d us and MR arthrography with surgical correlation. Skeletal Radiol 38(11): 1063–1069

Kessler T, Winkler H, Weiss C, Konermann W, Gruber G (2002) [ultrasound diagnosis of the elbow joint in fracture of the head of the radius]. Orthopade 31: 268–270

Konermann W, Gruber G, Gaa J (2000) [standardized sonographic examination of the hip joint]. Ultraschall Med 21: 137–141

Lyshchik A, Higashi T, Asato R, et al. (2005) Thyroid gland tumor diagnosis at us elastography. Radiology 237: 202–211

Martinoli C, Bianchi S, Dahmane M, Pugliese F, Bianchi-Zamorani MP, Valle M (2002) Ultrasound of tendons and nerves. Eur Radiol 12: 44–55

Milz P, Milz S, Steinborn M, Mittlmeier T, Reiser M (1999) [13-mhc high frequency ultrasound of the lateral ligaments of the ankle joint and the anterior tibia-fibular ligament. Comparison and results of mri in 64 patients]. Radiologe 39: 34–40

Miquel A, Molina V, Phan C, Lesavre A, Menu Y (2009) [ultrasound of the achilles tendon after percutaneous repair]. J Radiol 90: 305-309

Najafi J, Bagheri S, Lahiji FA (2006) The value of sonography with micro convex probes in diagnosing meniscal tears compared with arthroscopy. J Ultrasound Med 25: 593–597

Naredo E, Cabero F, Beneyto P, et al. (2004) A randomized comparative study of short term response to blind injection versus sonographic-guided injection of local corticosteroids in patients with painful shoulder. J Rheumatol 31: 308–314

Naredo E, Iagnocco A, Valesini G, Uson J, Beneyto P, Crespo M (2003) Ultrasonographic study of painful shoulder. Ann Rheum Dis 62: 1026–1027

Park GY, Kim JM, Lee SM, Lee MY (2008) The value of ultrasonography in the detection of meniscal tears diagnosed by magnetic resonance imaging. Am J Phys Med Rehabil 87: 14–20

Peetrons P (2002) Ultrasound of muscles. Eur Radiol 12: 35–43

Pesquer L, Scepi M, Bihan M, et al. (2009) Normal ultrasound anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist: A study on cadavers and on healthy subjects. J Clin Ultrasound 37: 194–198

Robinson P (2009) Sonography of common tendon injuries. AJR Am J Roentgenol 193: 607–618

Schmidt WA, Schicke B, Krause A (2008) [which ultrasound scan is the best to detect glenohumeral joint effusions?]. Ultraschall Med 29(5): 250–255

Uchida H, Hirooka Y, Itoh A, et al. (2009) Feasibility of tissue elastography using transcutaneous ultrasonography for the diagnosis of pancreatic diseases. Pancreas 38: 17–22

Weaver JS, Jacobson JA, Jamadar DA, Theisen SE, Ebrahim F, Kalume-Brigido M (2005) Sonographic findings of pectoralis major tears with surgical, clinical, and magnetic resonance imaging correlation in 6 patients. J Ultrasound Med 24: 25-31

Wong SM, Griffith JF, Hui AC, Lo SK, Fu M, Wong KS (2004) Carpal tunnel syndrome: Diagnostic usefulness of sonography. Radiology 232: 93–99

Wong SM, Griffith JF, Hui AC, Tang A, Wong KS (2002) Discriminatory sonographic criteria for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. Arthritis Rheum 46: 1914–1921

Ziswiler HR, Reichenbach S, Vogelin E, Bachmann LM, Villiger PM, Juni P (2005) Diagnostic value of sonography in patients with suspected carpal tunnel syndrome: A prospective study. Arthritis Rheum 52: 304–311

Standardzugänge in der Traumatologie

B. Weigel, H. Aebert, M. Leunig, R. Ganz, S. Rammelt, C. Schuster, H. Zwipp

21.1 Basiswissen – 1084
21.2 Kopf und Hals – 1085
21.3 Thorax – 1086
21.4 Abdomen – 1089
21.5 Wirbelsäule – 1091
21.6 Schulter – 1101
21.7 Arm – 1106
21.8 Hand – 1114
21.9 Becken – 1117
21.10 Hüfte und Oberschenkel – 1125
21.11 Knie und Unterschenkel – 1131
21.12 Sprunggelenk und Fuß – 1134
Literatur – 1142

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_21,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

21.1 Basiswissen

B. Weigel

21.1.1 Häufige Lagerungsarten

Rückenlagerung

Auf den Operationstisch wird eine Gelmatte gelegt, um Druckstellen vorzubeugen. Falls intraoperativ geröntgt werden muss, kommt unter die Gelmatte eine Bleischutzmatte für das Becken. Die Schutzmatte wird während der Operation vor dem Körper mit Klettverschlüssen geschlossen. Der Kopf wird auf ein kleines Schaumstoffkissen oder einem Gelring gelagert. Hüft- und Kniegelenke werden leicht angebeugt und die Fersen entlastet durch Unterlegen von Schaumstoffrollen im Bereich der Kniekehlen und Achillessehnen. Wenigstens ein Arm des Patienten wird für intravenöse Zugänge auf einer Armstütze ausgelagert. Man verwendet dafür den Arm auf der dem Operateur abgewandten Seite. Der andere Arm wird am Körper angelagert. Rasiert werden nur stark behaarte Körperregionen. Die Neutralelektrode wird dort aufgeklebt, wo sie breitflächig haften kann, also an den Flanken oder Oberschenkeln. Dabei soll der Stromfluss nicht über die Herzachse geleitet werden. Wegen der Gefahr von Kriechströmen darf der Patient nirgendwo Kontakt mit Metallteilen des Tischs oder von Stützen bekommen und er darf nicht im Nassen liegen. Deshalb werden bei der Hautdesinfektion Tücher unterlegt, die überschüssiges Desinfektionsmittel aufsaugen können und nach dem Abwaschen wieder entfernt werden (◘ Abb. 21.1).

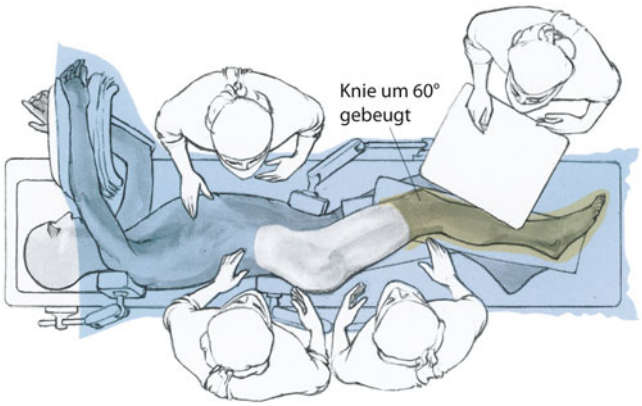
Seitenlagerung

Bei der Seitenlagerung verwendet man Seitenstützen, um den Patienten zuverlässig zu stabilisieren. Für diesen Zweck kann zusätzlich eine Vakuummatratze eingesetzt werden, wie sie im Rettungswesen benutzt wird. Allerdings beeinträchtigt die Vakuummatratze durch Überlagerungen die Bildqualität beim Röntgen. Dies ist im Becken- und Wirbelsäulenbereich nachteilig, denn hier ist eine gute Auflösung besonders wichtig und die Beurteilbarkeit ohnehin durch Organe und benachbarte Skelettanteile beeinträchtigt. Wenn ausschließlich Seitenstützen benutzt werden, wird ebenfalls eine Gelmatte unterlegt. Bei der Vakuummatratze genügt ein Baumwolltuch.

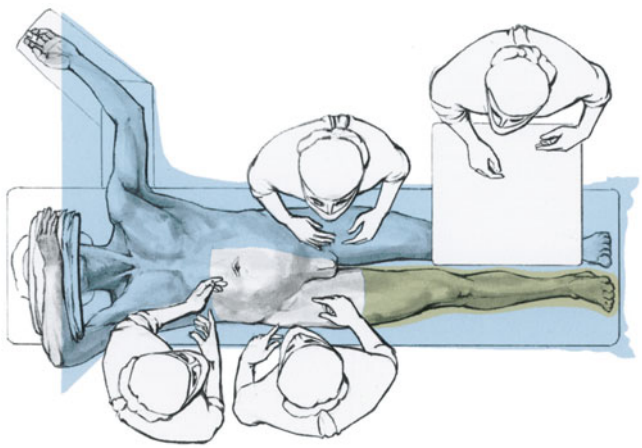
Der Kopf kommt auf ein ausreichend hohes würfelförmiges Schaumstoffkissen zu liegen, sodass die Halswirbelsäule nicht geknickt wird. Die Schulter wird, soweit möglich, vor den Körper gezogen, damit der Armplexus keinen Druckschaden erleidet. Der gleichseitige Arm wird auf einer Stütze ausgelagert, der gegenseitige über dem Kopf oder auf einer Beinschale vor dem Körper. Die Seitenstützen werden zwischen den Schulterblättern, am Sakrum und der Symphyse positioniert und ausreichend gepolstert, z.B. mit kleinen Gelkissen, die in Baumwolltücher eingehüllt werden. Zur zusätzlichen Stabilisierung wird das unten liegende Bein des Patienten in Hüfte und Knie gebeugt und das oben liegende gestreckt. Bei Verwendung der Vakuummatratze wird der Patient in der Seitenlage gehalten, bis die Matratze anmodelliert und entlüftet ist. Das Konstrukt wird zusätzlich mit Seitenstützen abgesichert. Auch hier muss man darauf achten, dass die Schulter vor den Körper gezogen zu liegen kommt (◘ Abb. 21.2).

Bauchlagerung

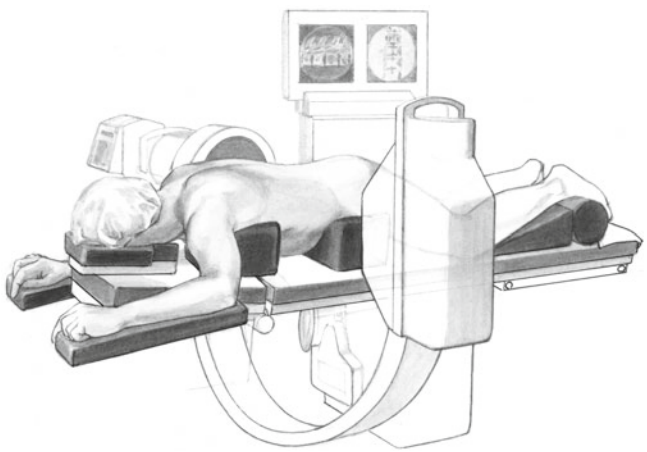
Der bereits narkotisierte Patient wird von mehreren Helfern en bloc gedreht und auf voluminösen Schaumstoffkissen oder Rollen auf den Bauch gelegt. Eines der Kissen wird dem Thorax und eines dem Becken unterlegt. Auf diese Weise bleibt der Bauchraum frei, sodass der Patient ohne PEEP-Erhöhung beatmet werden kann. Die Stirn liegt auf einem Schaumstoff- oder Gelkissen auf. Die Arme werden auf gepolsterten Seitenstützen gelagert; dabei muss man darauf achten,



◘ **Abb. 21.2** Seitenlagerung für einen dorsalen Zugang zum Acetabulum (nach Kocher-Langenbeck). (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998)



◘ **Abb. 21.1** Rückenlagerung für einen ilioinguinalen Zugang. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998)



◘ **Abb. 21.3** Bauchlagerung für einen dorsalen Zugang zur Brust- und Lendenwirbelsäule. (Aus: Blauth et al. 1998)

dass der Sulcus ulnaris nicht komprimiert wird. Die Tischoberfläche ist wiederum mit einer Gelmatte abgedeckt. Auf diese Weise sind auch die Knie gut gepolstert. Die Füße werden durch Unterpolsterung der Sprunggelenke mit Hilfe einer Schaumstoffrolle entlastet und in eine physiologische Neutralstellung gebracht (Abb. 21.3).

Strandstuhllagerung

Wiederum wird eine Gelmatte unterlegt. Der Operationstisch, auf dem der Patient sich zunächst in normaler Rückenlage befindet, wird für die Strandstuhlposition in Hüftgelenkshöhe des Patienten V-förmig geknickt und das Fußteil gesondert in Kniegelenkshöhe abgeklappt. Dabei stellt man den Oberkörper des Patienten etwa 60° und die Oberschenkel etwa 15° an, während die Unterschenkel etwa 30° abfallend gelagert werden. Auf diese Weise rutscht der Patient nicht vom Tisch, obwohl der Oberkörper stark angestellt ist, denn er sitzt stabil in einer Kuhle, vergleichbar einem Strandstuhl. Der Kopf wird auf einer Stütze oder dem Kopfteil des Tischs mit breiten Heftpflasterstreifen fixiert, damit er beim Manipulieren am Arm nicht unbemerkt von seiner Unterlage gezogen wird. Der Arm der Seite, die operiert werden soll, wird frei beweglich abgedeckt. Dazu wird die Haut desinfiziert und an der Hand ein steriler Handschuh übergestreift, der mit einem Tape fixiert wird. Dann wird er auf einer steril abgedeckten Armstütze abgelegt (Abb. 21.4).

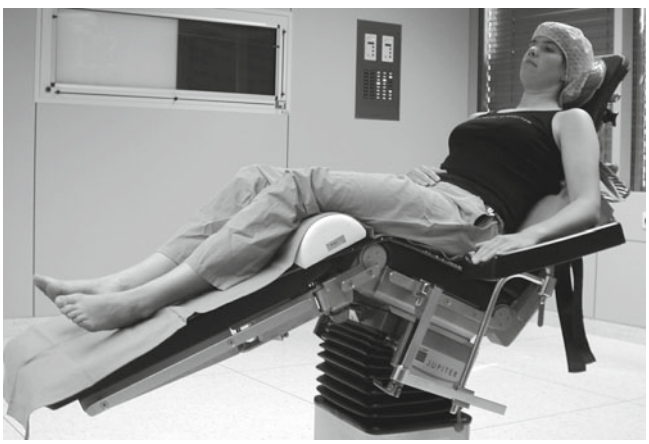


Abb. 21.4 Strandstuhllagerung für einen Zugang im Bereich der Schulter

Abb. 21.5 Lagerung zur Arthroskopie am Kniegelenk

Lagerung für eine Kniegelenkarthroskopie

Der Patient wird wie bei der Rückenlagerung auf den Operationstisch gelegt. Dann werden die beiden Beinplatten des Tischs um 100° abgeklappt und der Patient soweit nach unten gezogen, dass die Kniegelenke die Tischkante überragen, aber die Oberschenkel noch ausreichend aufliegen. Auf der Seite, auf der arthroskopiert werden soll, wird am gepolsterten Oberschenkel eine Blutsperremanschette angelegt und dieser anschließend in einem Beinhalter fixiert. Dabei wird die Hüfte zur Prophylaxe einer Überdehnung des N. femoralis etwa 10° gebeugt. Aus dem gleichen Grund wird eine Polsterrolle oder ein Keilkissen am Oberschenkel der Gegenseite angebracht. Die Beine werden zudem gespreizt gelagert, um Platz zu gewinnen (Abb. 21.5).

21.2 Kopf und Hals

Bei Eingriffen, die auf die Haut beschränkt bleiben, z.B. die Entfernung kleiner Hauttumoren, Narbenkorrekturen, Biopsien, oberflächliche Eiterherde und Ähnliches, wird entlang der Spaltlinien der Haut geschnitten. Sind jedoch größere Tiefen erforderlich, geht man nach den unten beschriebenen speziellen Zugangswegen vor (Abb. 21.6).

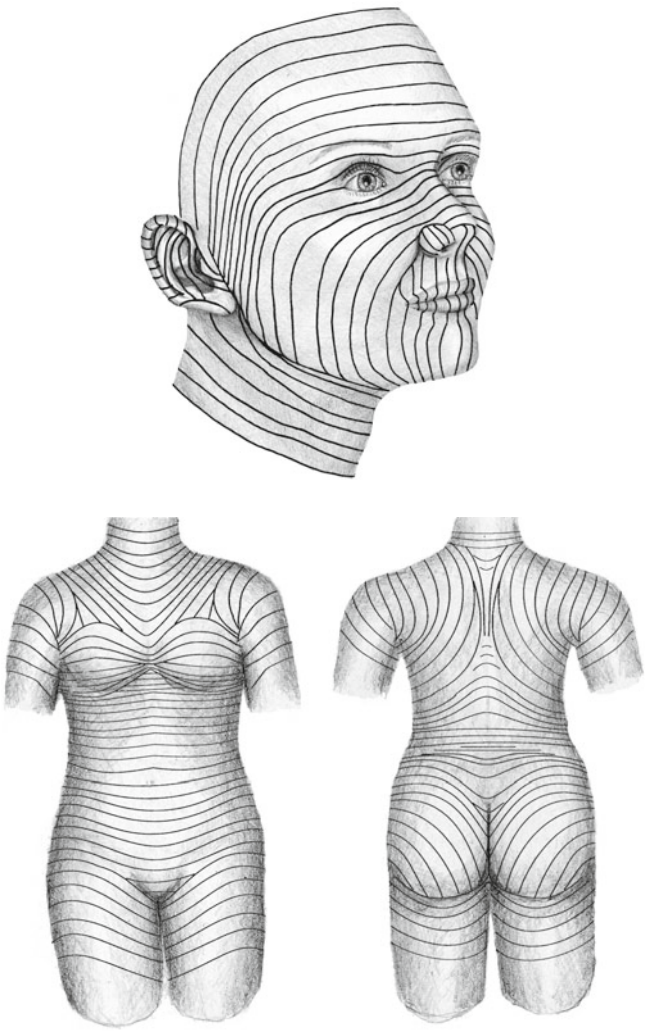


Abb. 21.6 Spaltlinien der Haut. (Aus: Vogt 2011)

21.3 Thorax

H. Aebert

21.3.1 Minithorakotomie

Dieser Beitrag stammt aus dem ▶ Kap. 2, Thorax; dort findet sich der komplette Text.

Indikationen

Legen einer Thoraxdrainage bei Pneumo-, Hämato- oder Serothorax.

Vorbereitung

Die Drainage kann in Rücken- oder Seitenlage gelegt werden. Für Patient und Operateur am günstigsten ist eine partielle Seitenlage mit Anheben der betroffenen Thoraxseite um ca. 40°, z.B. durch Unterlegen von Kissen. Polytraumatisierte Patienten werden in der Regel in Rückenlage versorgt. Das abgewaschene Zugangsgebiet wird mit sterilen Klebetüchern abgedeckt, am besten mit einem Lochtuch. Der ipsilaterale Arm wird in Seitenlage 90° antevertiert, in partieller Seitenlage kann der Arm dorsal des Zugangsgebiets gelagert werden. In Rückenlage kann der gleichseitige um 180° abduziert oder über dem Kopf gelagert werden, damit unbehindert gearbeitet werden kann.

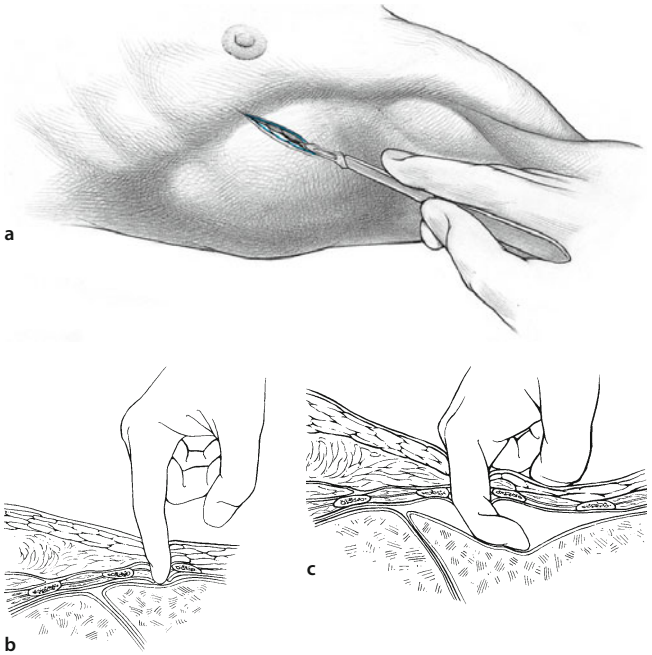


Abb. 21.7a–c Minithorakotomie. **a** Anlegen des Hautschnitts. **b** Atraumatisches Eröffnen der Pleura parietalis. **c** Intrakavitäre Palpation. (Aus: Pinter et al. 2000)

Zugang

In der mittleren Axillarlinie wird im 4. Interkostalraum, der in der Regel der Mamillenhöhe entspricht, beim wachen Patienten eine Lokalanästhesie gesetzt. Diese soll bis unmittelbar zur Pleura reichen, die sehr schmerzempfindlich ist. Dazu tastet man mit der Kanüle den Oberrand der 5. Rippe, schiebt diese anschließend noch weitere 3–4 mm vor und injiziert hier und am Periost selbst nach vorangegangener Aspiration ein Lokalanästhetikumdepot von 2–3 ml.

Der Hautschnitt soll etwa 4 cm lang, bei schlanken Patienten etwas kürzer sein. Er wird waagerecht über der darunter liegenden Rippe angelegt. Die Subkutis wird scharf bis zur Muskelfaszie durchtrennt. Die oberflächliche und die Interkostalmuskulatur am Rippenoberrand werden dann mit einer kräftigen Schere durch wiederholtes Spreizen schräg nach oben stumpf auseinander gedrängt. Zwischendurch palpiert man die geschaffene Wundhöhle mit einem Finger zur besseren Orientierung. Die Pleura wird immer mit dem Finger und nicht mit dem Trokar durchstoßen. So werden Verletzungen der inneren Organe vermieden. Gleichzeitig gibt der tastende Finger Aufschluss darüber, ob etwa ein Pneumothorax vorhanden ist oder bei begleitender Zwerchfellruptur Leber, Milz oder Darm prolabiert sind. Mit der anderen Hand wird nun entlang dem in situ verbliebenen Finger die großlumige Drainage, die möglichst 28 Charr dick sein soll, vorgeschoben (Abb. 21.7).

Wundverschluss

Die Fixation der Drainage erfolgt durch eine kräftige Naht, beispielsweise mit einem 1er Mersilenefaden. Die Naht wird am besten V-förmig um die Drainageeintrittsstelle am ventralen Wundrand gestochen. So lässt sich der beste Luftabschluss erreichen, der zur Vermeidung eines Hautemphysems notwendig ist. Der Rest der Wunde wird mit kräftigen und tief greifenden Einzelknopfrückstichnähten verschlossen. Abschließend legt man noch eine tief greifende, weit gestochene und nach kaudal offene U-Naht um die Drainage. Sie dient dem späteren Verschluss des Drainagekanals nach Entfernung der Drainage.

Gefahren

Fehllage der Drainage, Luftleck mit Hautemphysem.

21.3.2 Sternotomie

Indikationen

Die Sternotomie ist der Zugang der Wahl bei Verletzungen des Herzens. Lediglich die Hinterwand des linken Ventrikels, die Aorta descendens, der distale Aortenbogen und der linke Lungenhilus sind über diesen Zugang nur bedingt erreichbar.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage mit Überstrecken des Nackens.

Zugang

Die Sternotomie beginnt 1–2 Querfinger distal des Jugulums und wird mittig bis knapp unter die Xyphoidspitze geführt. Während im oberen Wundwinkel das Ligamentum interclaviculare elektrisch durchtrennt wird, werden gleichzeitig die retrosternalen Strukturen mit dem palpierenden Finger weggehalten. Dann wird die Bauchwandfaszie über dem Xyphoid so weit inzidiert, dass man mit dem Finger unter die Brustbeinspitze gelangen kann. Mit diesem oder einer geschlossenen Schere werden nun unmittelbar hinter dem Brustbein die pleuralen Strukturen stumpf abgeschoben, das knorpelige Xyphoid mit der Schere eingeschnitten und anschließend mit dem Elektrokauter die Schnittführung für die Stichsäge mittig markiert. Beim Aufsägen muss darauf geachtet werden, dass der Fuß der Säge immer engen Kontakt zur Rückfläche des Sternums behält. Falls keine Stichsäge verfügbar ist, kann auch mit

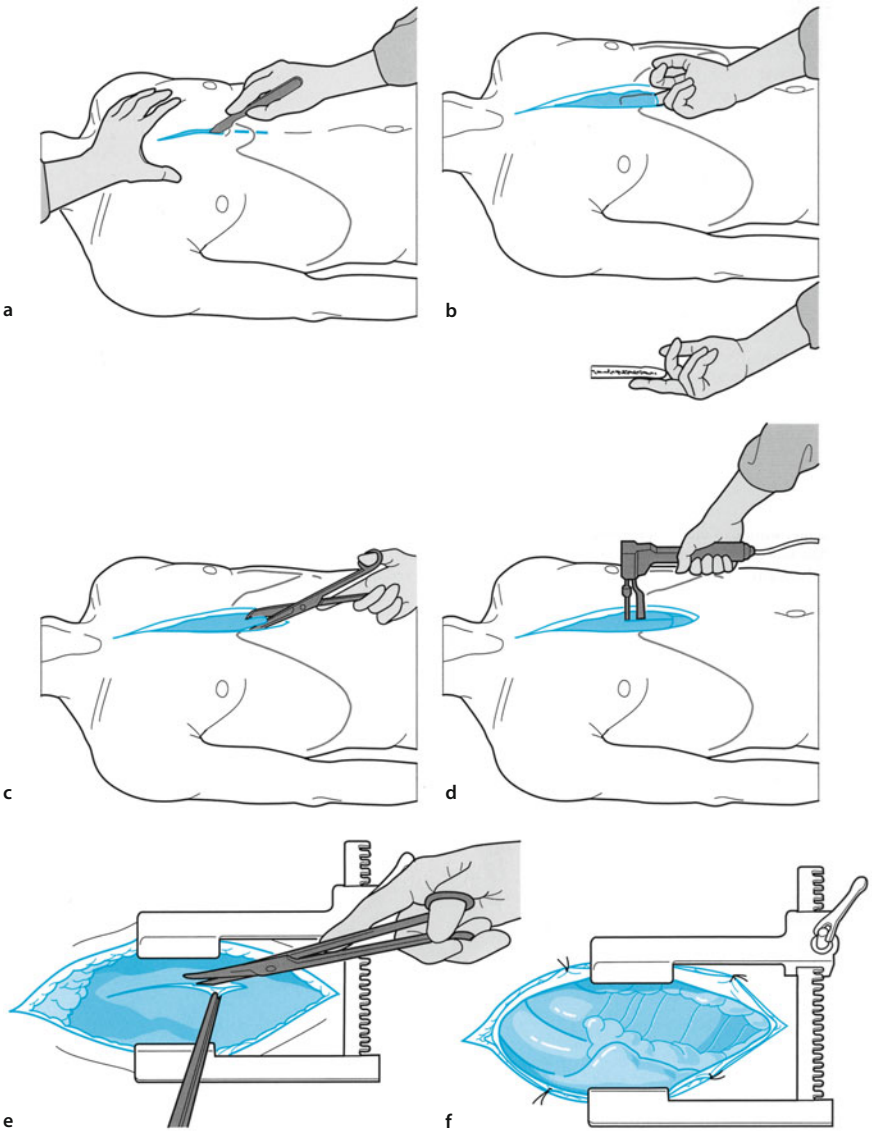


Abb. 21.8a–f Mediane Sternotomie. **a** Hautinzision. **b** Unterfahren des Xyphoids und Abdrängen der Pleura. **c** Spalten des Xyphoids. **d** Durchtrennung des Sternums mit der Stichsäge. **e** Längsinzision des Perikards. **f** Situs nach Hochnähen des Perikards und Einsetzen des Sperrers. (Aus: Hetzer u. Zipfel 2000)

einem Meißel oder der oszillierenden Säge vorgegangen werden. Beim Einsatz der oszillierenden Säge wird zunächst nur die ventrale Kortikalis auf der gesamten Brustbeinlänge durchtrennt und anschließend die dorsale, unter Stoppen der Beatmung. Das Sägen erfolgt tastend, bis der Widerstand nach Durchtrennen der dorsalen Kortikalis nachlässt. Die Blutung aus dem Knochenmark der beiden Sternumhälften kann mit Knochenwachs oder Kollagenschwämmen gestillt werden, das Periost und die hier enthaltenen Gefäße werden mit dem Elektrokauter koaguliert.

Anschließend setzt man einen Spreizer ein und öffnet den Brustkorb. Das Perikard wird durch Abschieben des mediastinalen Fettgewebes zwischen den beiden Pleuren freigelegt. Das Fettgewebe kann nach sicherer Identifizierung der V. anonyma im oberen Mediastinum durchtrennt werden. Das Perikard wird in der Mitte vor dem rechten Ventrikel mit der Schere eröffnet, wenn es mit einer Pinzette von der Ventrikelwand abgehoben wird. Der Schnitt kann nach kranial und kaudal Y-förmig erweitert und mit Haltenähten an das prästernale Gewebe hochgenäht werden. Dadurch verbessert sich die Sicht (Abb. 21.8).

Bei einer **Herzbeuteltamponade** ist der Herzbeutel düster rot und prall gespannt, die Kontraktion des Herzens ist kaum wahrnehmbar. In diesem Fall lässt sich der Herzbeutel allenfalls mit einer chirurgischen Pinzette fassen. Alternativ setzt man einen oder zwei Haltenähte, mit denen das Perikard angehoben wird bzw. eröffnet das Perikard vorsichtig mit dem Skalpell. Dabei ist nicht sicher, ob man auf das Hämatom trifft und dieses entlastet, denn es gibt auch exzentrische Tamponaden der Gegenseite, bei denen der Ventrikel direkt unter das diesseitige Perikard gepresst wird. Bei Entlastung der Tamponade entstehen eine schwallartige Blutung und gleichzeitig ein dramatischer Blutdruckanstieg. Daher sollte die initiale Eröffnung zunächst kurzstreckig erfolgen. Anschließend fällt der Druck durch die vermehrte Blutung wieder ab. Die blutende Stelle am Herzen muss solange digital komprimiert werden, bis der Kreislauf stabilisiert ist. Am Vorhof kann die Läsion auch partiell ausgeklemmt oder mit einem Ballon eines eingeführten Blasenkatheters temporär abgedichtet werden. Als Notbehelf für die kurzfristige Entlastung des Ventrikels während dessen Naht klemmen Hetzer u. Zipfel (2000) die beiden Vv. cavae kurzfristig ab oder komprimieren sie digital. Spätestens dann, wenn die Herzfrequenz als Ausdruck der zunehmenden myokardialen Ischämie abzufallen beginnt, wird die Drosselung der Blutzufuhr aufgehoben (Abb. 21.9).

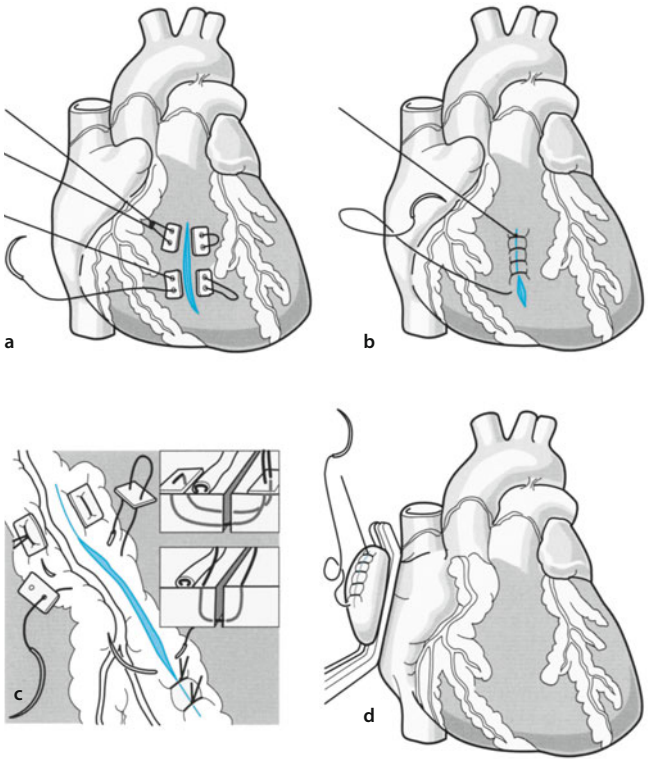


Abb. 21.9a–d Nahttechniken bei Herzverletzungen. **a** Mit Teflonfilz oder autologem Perikard unterlegte U-Nähte. **b** Fortlaufende Naht am Ventrikel. **c** Nahttechnik in der Nähe einer Koronararterie. **d** Fortlaufende Naht am rechten Vorhof nach Ausklemmen. (Aus: Hetzer u. Zipfel 2000)

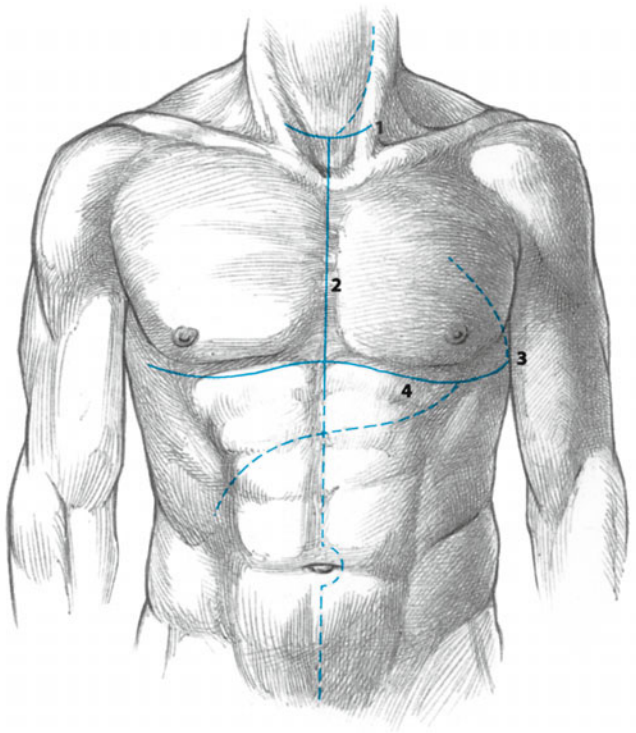


Abb. 21.10 Die verschiedenen Zugangswege am Thorax auf einem Blick: *1* Kocher-Krageninzision zur Trachea, *2* mediane longitudinale Sternotomie mit Verlängerungsmöglichkeit nach zervikal und kaudal zur medianen Laparotomie, *3* posterolaterale und *4* anterolaterale Thorakotomie können bei Bedarf in eine quere Oberbauchlaparotomie erweitert werden. (Aus: Pinter et al. 2000)

Wundverschluss

Das Perikard darf nicht genäht werden, da anderenfalls erneut die Tamponade droht. In das Mediastinum wird zu beiden Seiten je eine Drainage gelegt und epigastrisch ausgeleitet. Die Sternotomie wird mit Drahtcerclagen verschlossen. Diese werden entweder ring- oder achterförmig gestochen, ohne so weit auszugreifen, dass die Aa. mammariae verletzt werden. Die verdrillten Drahtenden werden unter dem Fazienniveau versenkt.

Gefahren

Beim Wundverschluss können die Aa. mammariae verletzt werden. Eine Pseudarthrose kann sich bilden, wenn die Drähte nicht ausreichende Stabilität vermitteln. Zu fest verdrillte Drahtcerclagen können im Knochen durchschneiden oder beim Anziehen reißen.

21.3.3 Laterale Thorakotomie

Indikationen

Verletzungen im Bereich von Trachea, Ösophagus, Lungen oder bei Aortenruptur.

Vorbereitung

Die anterolaterale Thorakotomie kann bei Zeitnot wie bei thorakaler Massenblutung oder zur offenen Herzmassage auch ohne strenge Seitenlagerung etwa in der Notaufnahme ausgeführt werden. Dazu wird bei dem in Rückenlage befindlichen Patienten die zu eröffnende Thoraxhälfte durch Unterlegen von Keilen oder Kissen unter Becken und Thorax angehoben und der Arm im Schultergelenk entweder retrovertiert oder wie bei der Seitenlagerung über dem Kopf gelagert.

Zugang

Der Hautschnitt beginnt bei der anterolateralen Form etwa 3 cm lateral des Sternumrandes, bei der posterolateralen Form etwa im gleichen Abstand lateral der Mamille. Vor allem bei Frauen wird aus kosmetischen Gründen darauf geachtet, dass die Inzision in der Submammärfalte zu liegen kommt. Dann wird der Schnitt nach kranial und dorsal zur Axilla bis in Höhe der Schulterblattspitze weiter geführt. Bei der posterolateralen Form biegt man dann nach dorsal um und umschneidet die Schulterblattspitze in einem Abstand von etwa 2 cm. Anschließend wird der Schnitt wieder schräg nach kranial geführt, entlang des dorsalen Schulterblattrandes. Je höher in den Thorax eingegangen werden soll, desto weiter nach kranial muss die Inzision fortgesetzt werden (Abb. 21.10).

Der M. latissimus dorsi wird mit der Hand unterfahren und mit dem elektrischen Messer unter separater Koagulation von Gefäßstümpfen durchtrennt, wobei diese zwischen den Fingern komprimiert werden. Die Durchtrennung soll möglichst weit kaudal erfolgen, um die von kranial kommende vaskuläre und nervale Versorgung zu schonen. Dorsal wird dann der Rand des M. serratus anterior aufgesucht. Dieser Muskel wird von hier aus nach ventral unterfahren und aus denselben Gründen und mit derselben Technik ebenfalls möglichst weit kaudal durchtrennt. Der Mindestabstand zum Ansatz am Schulterblatt sollte 2 cm betragen, um beim Wundverschluss eine sichere Naht zu ermöglichen. Ventral wird der M. serratus anterior jedoch vorläufig nicht auf voller Länge der Hautinzision, sondern nur bis zu seinen kostalen Ansät-

Tab. 21.1 Orientierung über die geeignete Thorakotomiehöhe

Struktur	Thorakotomiehöhe
Trachea	Immer von rechts vom 4. Interkostalraum
Aorta	Immer von links (außer bei Situs inversus) vom 4. Interkostalraum
Lungenoberlappen	4. Interkostalraum
Unklare Diagnose	5. Interkostalraum
Lungenhilus	5. Interkostalraum
Zwerchfell	6. oder 7. Interkostalraum

zen durchtrennt. Die ventral gelegenen Muskelanteile werden erst nach Aufsuchen und Eingehen im entsprechenden Interkostalraum abgesetzt, indem die kostalen Muskelansätze mit dem Raspatorium von der entsprechenden Rippe abgeschoben werden.

Zur Identifikation der einzelnen Rippen werden diese nach Anheben und stumpfem Unterminieren des Schulterblatts von kranial her kommend abgezählt. Bei der Orientierung muss man sich vergegenwärtigen, dass die 1. Rippe nicht zu tasten und der Abstand von der 2. zur 3. Rippe größer als bei den übrigen Interkostalräumen ist.

Das Periost wird in der Mitte mit dem elektrischen Messer inzidiert und mit einem breiten Raspatorium zusammen mit den ventral noch anhaftenden Fasern des M. serratus anterior nach kranial abgeschoben. Die Blutstillung erfolgt am besten und schnellsten mit der elektrischen Kugel. Anschließend werden ebenfalls mit dem Raspatorium die Interkostalmuskelfasern vom Oberrand der Rippe abgeschoben, wobei die Pleura möglichst noch nicht eröffnet werden sollte. In der Regel wird zu diesem Zeitpunkt eine erneute Blutstillung durchgeführt. Das Eingehen in den Thorax erfolgt im mittleren Wundanteil auf der Rippenrückseite und damit im Bett der Rippe durch Inzision mit der Schere unter kurzer Unterbrechung der Beatmung bzw. Übergang auf eine isolierte Beatmung der kontralateralen Lunge. Die Inzision wird mit dem elekrischen Messer nach Unterfahren der Pleura mit dem Finger nach ventral und dorsal erweitert. Es kann auch das Rippenperiost primär nach kaudal abgeschoben und der Interkostalraum am Unterrand der Rippe eröffnet werden, was ergonomisch günstiger und schneller ist. Bei diesem Vorgehen müssen aber häufiger die Interkostalgefäße durch Ligatur versorgt werden. Ein geeigneter Spreizer mit stumpfen, gebogenen Valven wird eingeführt. Dann werden die Rippen langsam, am besten mit kurzen Pausen, auseinandergespreizt (Tab. 21.1).

Wundverschluss

Vor dem Wundverschluss werden in der Regel zwei großlumige (32 Charr) Thoraxdrainagen über separate seitliche Stichinzisionen eingebracht. Eine davon soll ventral liegen, im Bereich der Pleurakuppel zur Drainage von Luft, und eine dorsokaudal, zur Drainage von Blut und Wundsekret. Es empfiehlt sich, die Drainagen bei entferntem Thoraxspreizer zu platzieren, um die sich sonst ergebende Dislokation der Spitze beim Thoraxverschluss zu vermeiden. Die Drainagen werden mit kräftigen Nähten gesichert, z.B. mit 1er Mersilenefäden, und zusätzlich wird eine U-Naht aus demselben Material zum Verschluss der Öffnung beim Ziehen vorgelegt. Der eröffnete Interkostalraum wird durch resorbierbare U-Nähte verschlossen, z.B. mit 2er Vicryl. Die Nähte werden kranial durch die Lefze aus Periost bzw. Interkostalmuskulatur und kaudal im benachbarten Interkostalraum parallel zum Rippenverlauf allschichtig durch die Muskulatur und Faszie mit Ausnahme der Pleura gestochen. Bei älteren Patienten mit starrem Thorax können nach Resektion einer Rippe oder bei weitem Klaffen des eröffneten Interkostalraums 2–3 Perikostalnähte sinnvoll sein, die um die beiden benachbarten Rippen gestochen werden. Danach ist sorgfältig nach verletzten Interkostalgefäßen zu suchen. Alle diese Nähte werden vorgelegt und dann die Abknickung des Tischs aufgehoben. Anschließend werden die Rippen mit einem Approximator einander angenähert oder alternativ durch Anziehen der Perikostalnähte.

Auf die übrigen Nähte darf v.a. bei älteren Patienten oder bei ausgedehntem Trauma der Thoraxwand mit leicht zerreißlichen Gewebeverhältnissen nicht zu viel Spannung gebracht werden, da die Interkostalmuskeln nur ein begrenztes Nahtwiderlager bieten. Wenn die Nähte nicht halten, kann eine Thoraxwandhernie entstehen.

Bei Rippenfrakturen werden die der Inzision anliegenden kleineren Fragmente entfernt. Einzelne Frakturen können durch weit um die Rippe gestochene Achtertournähte geschient werden. Durch die damit verbundene relative Stabilisierung werden die Schmerzen abgeschwächt.

Die großen Thoraxwandmuskeln werden unter Einschluss der Faszien schichtweise mit 2er Vicryl fortlaufend adaptiert. Nach fortlaufender Subkutannaht erfolgt der Hautverschluss.

Gefahren

Beim zu raschen Spreizen der Rippen brechen diese v.a. bei älteren Patienten regelmäßig. Bei Eröffnung der Pleurahöhle können bisher tamponierte Blutungen plötzlich massiv zunehmen, daher müssen spätestens zu diesem Zeitpunkt die Möglichkeit zur adäquaten Volumen- oder Blutgabe durch die Anästhesie gegeben sein und dem Chirurgen ausreichende Absaugmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Ein Nachteil der posterolateralen Thorakotomie ist die Durchtrennung großer Muskelmassen insbesondere des M. latissimus dorsi, was postoperativ zu vermehrten Schmerzen mit entsprechender Einschränkung von Atmung und der Elevation des Arms führt. Weiterhin neigt der dorsale Wundanteil, v.a. bei langen Intubations- und damit Immobilisationszeiten, zu druckbedingten Wundheilungsstörungen. Alternativ kann die anterolaterale Thorakotomie gewählt werden, bei der der M. latissimus dorsi weitgehend geschont wird. Bei Bedarf ist die Erweiterung zur posterolateralen Thorakotomie immer noch möglich.

21.4 Abdomen

B. Weigel

21.4.1 Mediane Ober- und Unterbauchlaparotomie

Indikationen

Akute Blutungen und Perforationen parenchymatöser Organe und von Hohlorganen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Das Abdomen wird weiträumig abgedeckt, um sich über die Topografie orientieren und je nach Bedarf allerorts Drainagen ausleiten zu können. Bei Patienten mit Verletzungen im Rumpfbereich müssen ggf. auch Thoraxdrainagen gelegt werden. Überdies sollten beide Leisten für das Legen

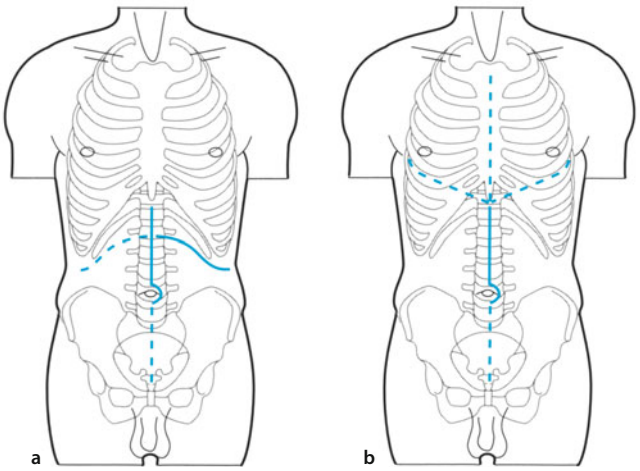


Abb. 21.11 Standardzugänge zum Abdomen mit abdominellen (**a**) und thorakalen (**b**) Erweiterungsmöglichkeiten. (Aus: Pichlmayr et al. 2000)

großlumiger Katheter frei zugänglich sein, evtl. auch zur passageren Aortenokklusion mittels Ballonkatheter (Ertel u. Trentz 1996).

Zugang

In der Mittellinie zwischen Xyphoid und Nabel wird der Oberbauch zwischen den beiden Mm. recti abdominis durch die Linea alba hindurch eröffnet. Entleert sich Blut aus dem Bauchraum, sucht man alle 4 Quadranten nach der Blutungsquelle ab. Begonnen wird dabei mit der Milzloge, weil diese statistisch am häufigsten betroffen ist. Beim Nachweis einer Blutung wird diese zunächst mit Tüchern tamponiert oder der Milzhilus abgeklemmt und dann die übrigen Quadranten gegen den Uhrzeigersinn inspiziert, denn der Milz folgen in der Häufigkeit der Blutungsquellen Leber, Mesenterium und Retroperitoneum. Die Verletzung mit der größten aktiven Blutung sollte natürlich als erste versorgt werden (Abb. 21.11).

Bei der Inspektion des linken oberen Quadranten wird nicht nur die Milz beurteilt, sondern auch der linke Leberlappen, das Zwerchfell, die linke Niere und das Pankreas. Durch Zug am Magen nach rechts und ventral wird der Milzhilus sichtbar. Das Zwerchfell wird nach Rissen abgetastet. Nach Mobilisation der Milz lässt sich auch die Niere palpieren. Nach Eröffnung der Bursa omentalis kann das Pankreas inspiziert und untersucht werden.

Im rechten oberen Quadranten werden Leber, Gallenblase, Zwerchfell, die großen Gefäße, Magenausgang und Duodenum inspiziert. Bei Verdacht auf eine retroperitoneale Verletzung kann das Peritoneum im Bereich der viszeroparietalen Umschlagfalte neben dem Duodenum eröffnet und dieser Bereich aufgespreizt werden, dann können die rechte Niere und die V. cava eingesehen werden.

Bei der Inspektion in den beiden unteren Quadranten wird der gesamte Dünn- und Dickdarm vom Treitz-Band bis zum Rektum auf mögliche Verletzungen hin untersucht und das Retroperitoneum mitbeurteilt.

21.4.2 Erweiterte mediane Unterbauchlaparotomie

Falls sich herausstellt, dass die Blutungsquelle oder Perforationsstelle über die mediane Oberbauchlaparotomie alleine nicht darstellbar ist, wird erweitert. Dazu umschneidet man den Nabel und eröffnet anschließend den Unterbauch ebenfalls mittig zwischen der Rektusmuskulatur.

21.4.3 Erweiterte quere Oberbauchlaparotomie

Bei Verletzungen der Milz oder Leber kann die Oberbauchlaparotomie bei Bedarf nach links bzw. rechts erweitert werden. Beim Anlegen des Querschnitts sollte ein rechter Winkel zum Medianschnitt eingehalten werden, damit kein spitzwinkeliges Bauchdeckensegment entsteht, weil sich dann Durchblutungsstörungen im Bereich des Bauchdeckenzipfels einstellen können. Schon die Durchtrennung des Rektus allein ergibt einen deutlich besseren Überblick. Bei Bedarf kann man die quere Erweiterung aber weit nach lateral durchführen. Das geht am einfachsten, wenn der Operateur die Bauchdecke mit Zeige- und Mittelfinger hebt und dazwischen mit dem Skalpell oder Elektrokauter unter laufender Blutstillung schneidet.

Eine isolierte quere Oberbauchlaparotomie bietet für die Akutsituation zu wenig Überblick und empfiehlt sich daher nur, wenn von vornherein klar ist, dass ausschließlich die Milz oder das Pankreas verletzt sind.

21.4.4 Thorakale Erweiterungen

Bei thorakalen Begleitverletzungen kann die mediane Laparotomie zur Sternotomie erweitert werden (s. oben). Alternativ lässt sich der Zugang auch schräg nach rechts oder links kranial gerichtet durch den jeweiligen Rippenbogen vergrößern. Man spaltet dazu den knorpeligen Rippenbogen mit einer kräftigen Schere. Das Zwerchfell wird dabei zirkulär, nahe seinem Ansatz am knöchernen Thorax abgetrennt, um seine nervale Versorgung nicht zu tangieren.

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt schichtweise mit Naht des Peritoneums, der Faszie, ggf. der Muskulatur, der Subkutis und der Haut oder auch allschichtig plus gesonderter Hautnaht. Ob man dafür eine fortlaufende Nahttechnik wählt oder Einzelknopfnähte bevorzugt, liegt im Ermessen des Operateurs bzw. der jeweiligen chirurgischen Schule. Beide Verfahren sind üblich.

Gefahren

Bei zu spitzem Winkel des Erweiterungsschnitts droht eine Wundrandnekrose. Falls die Bauchdecken nicht sorgfältig verschlossen werden, können sich eine Narbenhernie oder ein Platzbauch entwickeln.

21.4.5 Flankenschnitt

Indikationen

Bei isolierter unilateraler Nierenruptur ohne massive Blutung und ohne Anhalt für weitere intrabdominelle Verletzungen kann die Exploration über einen extraperitonealen Flankenschnitt im 11. Interkostalraum erfolgen. Dieser Zugang ist aber auch die Alternative zum ventralen Vorgehen bei ausgedehntem, die Übersicht stark beeinträchtigendem retroperitonealem Hämatom.

Vorbereitung

Der Patient wird in Seitenlage gebracht und abgestützt, der Arm antevertiert vor dem Körper ausgelagert und der Operationstisch konvex gekrümmt, um die verletzte Seite zu exponieren.

Zugang

Die Haut wird im 11. Interkostalraum parallel zum Verlauf der 12. Rippe eröffnet. Die Mm. latissimus dorsi und serratus posterior werden entlang der Oberkante der 12. Rippe inzidiert. Nach Spal-

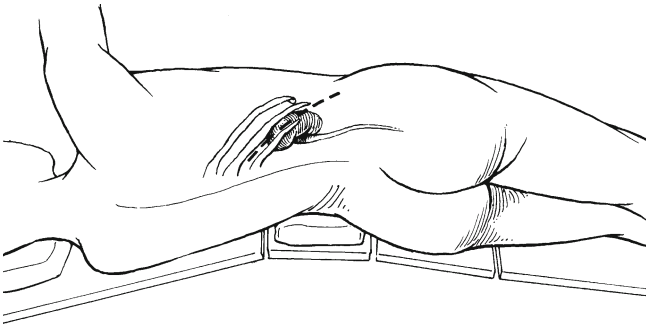


Abb. 21.12 Lagerung und Schnittführung beim Flankenschnitt. (Aus: Thon u. Jonas 2000)

tung der Fascia lumbodorsalis werden die Mm. obliquus externus und internus und der M. transversus abdominis durchtrennt und das Peritoneum nach ventral abgeschoben. Nach Durchtrennung der Interkostalmuskulatur wird die Umschlagfalte der Pleura abgeschoben. Nach Inzision der Bandverbindung zwischen Rippe und Querfortsatz lässt sich der Situs gut aufspreizen. Das Nierenfett wird sichtbar. Bei stärkerer Blutung wird die Gerota-Kapsel eröffnet, um an den Nierenhilus gelangen und ihn abklemmen zu können (Abb. 21.12).

Wundverschluss

Eine Drainage ohne Sog wird retroperitoneal eingelegt. Anschließend erfolgt ein schichtweiser Wundverschluss. Der Zwischenrippenraum wird wie bei einer lateralen Thorakotomie versorgt (s. oben) und mit resorbierbaren U-Nähten verschlossen. Die Nähte werden kranial durch die Lefze aus Periost bzw. Interkostalmuskulatur und kaudal im benachbarten Interkostalraum parallel zum Rippenverlauf allschichtig durch die Muskulatur und Faszie mit Ausnahme der Pleura gestochen. Man kann auch Perikostalnähte um die beiden benachbarten Rippen stechen. Dabei muss der Faden, der unter die 12. Rippe zu liegen kommt, unmittelbar entlang der Kortikalis gestochen und durchgezogen werden.

Gefahren

Beim Zugang kann die Pleura parietalis unbemerkt eröffnet und beim Wundverschluss der begleitende Interkostalnerv mit gefasst werden.

21.5 Wirbelsäule

B. Weigel

Die Zugänge im Bereich der Wirbelsäule sind mit den Empfehlungen von Blauth abgeglichen, die im Werk von Tscherne u. Blauth (1998) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, enthalten sind.

21.5.1 Halswirbelsäule

Transoraler Zugang zu Atlas und Axis

Indikationen

Pseudarthrose des Dens axis, Tumoren, Osteomyelitis, Os odontoideum (Instabilität durch ausbleibende Verknöcherung zwischen Dens und 2. Halswirbelkörper).

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage gebracht, der Kopf in einer Schale fixiert. Die Halswirbelsäule wird überstreckt durch Unterlegen eines Kissens unter die Schulterblätter. Der Operateur steht am Kopfende. Eine vorherige Tracheotomie für den Tubus kann das Vorgehen unter Umständen erleichtern, man hat aber auch bei seitlich liegendem endonasalem Tubus ausreichend Platz. Ein Mundsperrer mit Zungenplatte wird eingesetzt. Statt mit einem Haken kann der weiche Gaumen auch mit einem Gummischlauch hochgezügelt werden, der durch die Nase eingeführt und durch den Mund ausgeleitet wird.

Zugang

In die hintere Pharynxwand wird eine 5–6 cm lange Inzision in der Mittellinie zwischen Tuberculum anterius atlantis bis zum 2. oder 3. Halswirbelkörper gelegt. Der M. longus colli wird längs gespalten. Mit dem Raspatorium werden die Weichteile vom Atlasbogen und dem 2., ggf. auch dem 3. Halswirbelkörper von der Mittellinie aus nach beiden Seiten abgeschoben. Wegen der Gefahr, die A. vertebralis zu verletzen, können der Atlas nur bis maximal 2 cm und der 2. und 3. Halswirbelkörper nur bis maximal 1 cm zu jeder Seite dargestellt werden (Abb. 21.13).

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt zweischichtig mit resorbierbaren Einzelknopfnähten.

Gefahren

Eine Verletzung der A. vertebralis ist möglich. Das Grundproblem ist, dass in bakteriell besiedeltem Gebiet operiert wird und deshalb ein hohes Infektionsrisiko besteht. Dieser Gefahr kann durch eine adäquate Schleimhautdesinfektion sowie eine systemische und lokale Antibiotikaprophylaxe begegnet werden.

Ventraler Zugang C1–T2

Indikationen

Frakturen, diskoligamentäre Instabilität, degenerative Veränderungen, Tumoren, Spondylitis und Spondylodiszitis.

Vorbereitung

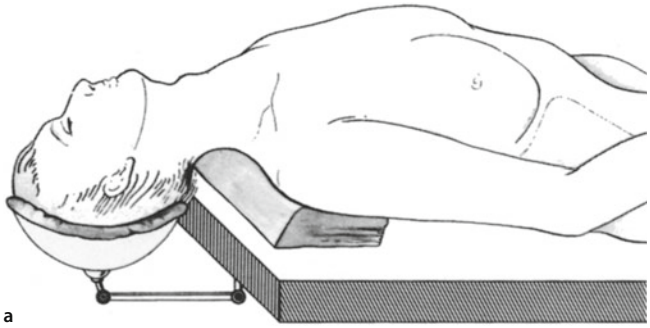
Der Patient wird auf dem Rücken gelagert. Unter die Schulterblätter kann ein Kissen gelegt werden. Der Kopf wird in einer Schale mit breitem Pflaster zirkulär fixiert oder in einem Halo-Fixateur-Bügel eingespannt. Die Halswirbelsäule wird in lordotischer Krümmung überstreckt eingestellt. Die Lagerung erfolgt bereits unter seitlicher Bildwandlerkontrolle. Damit der Strahlengang nicht eingeschränkt wird, werden die Schultern mit breiten Heftpflasterstreifen nach kaudal gezogen und am Tisch fixiert. Den Tisch kopfwärts leicht hoch zu kippen, verbessert zwar den venösen Abfluss und verringert die Blutungsneigung, erhöht aber auch die Luftemboliegefahr. Eine geringe Kopftieflagerung hält zudem als permanenter Gegenzug die kaudal gerichtete Redressierung der Schultern aufrecht. Die Region zwischen Kinnspitze bis zur Symphyse wird desinfiziert und abgedeckt, um für eine Knochenentnahme ungehindert an den Beckenkamm zu kommen.

Zugang

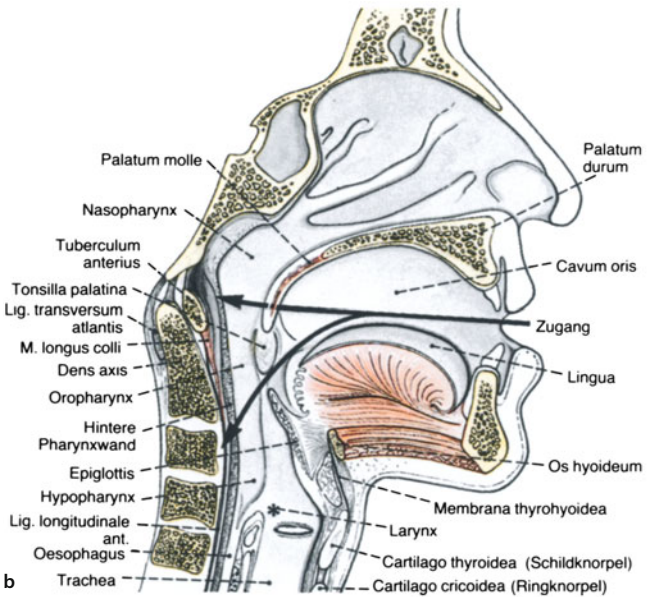
Linkshänder gehen generell von links vor. Rechtshänder sollten dagegen nur Läsionen bis in Höhe von C6 von der für sie einfacher handhabbaren rechten Seite angehen. Tiefer gelegene Instabilitäten sollten wegen der unterschiedlichen Abgangshöhe des N. recurrens auf der rechten Seite von links operiert werden, denn hier

ist die Gefahr einer Rekurrensschädigung viel geringer (s. unten, Gefahren). Wenn nur bis zu 2 Segmente dargestellt werden müssen, reicht eine wenige Zentimeter kurze, quere Inzision entlang der Hautspaltlinien (Abb. 21.14a) aus. Sollen mehrere Segmente erreicht werden, wird eine Längsinzision über dem ventralen Rand des M. sternocleidomastoideus auf einer gedachten Linie zwischen Kieferwinkel und dem Brustbein gelegt. Der Zugang kreuzt aber die Hautspaltlinien und ist kosmetisch weniger günstig als der quere.

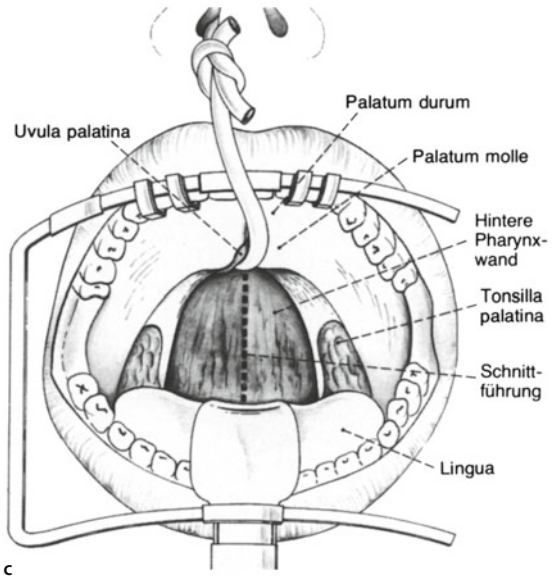
Zur Höhenlokalisation können anatomische Landmarken oder, was einfacher und sicherer ist, der Bildwandler verwendet werden. Das Platysma kann in Schnitt- oder Längsrichtung gespalten werden. Es in Längsrichtung zu eröffnen, bietet den Vorteil, dass



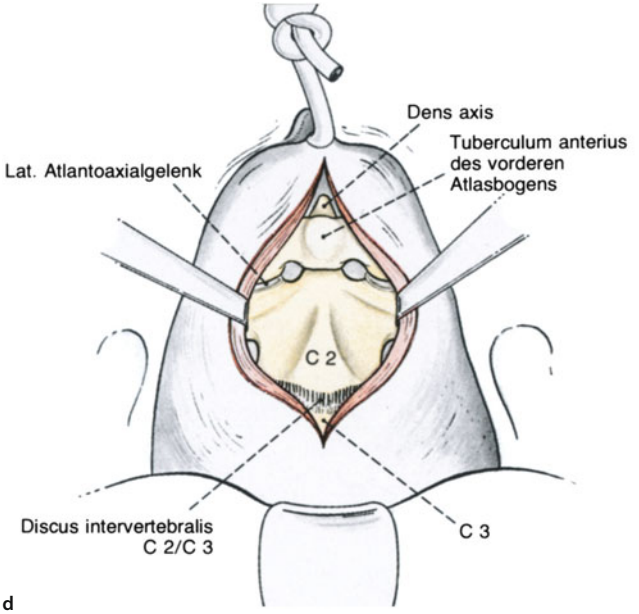
a



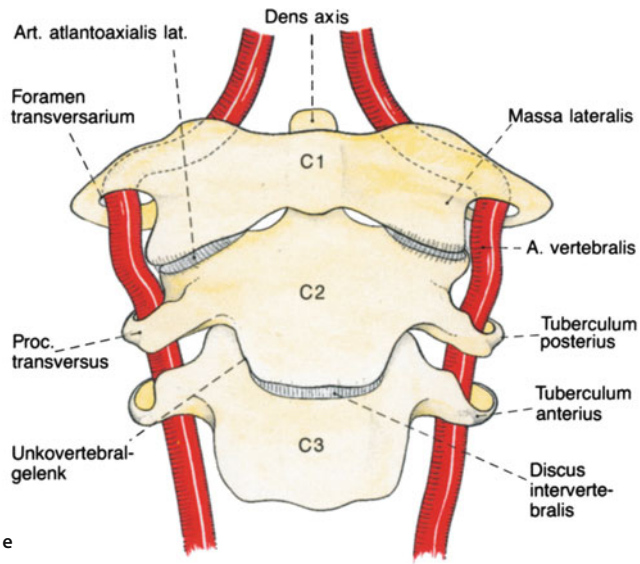
b



c



d



e

Abb. 21.13a–e Transoraler Zugang zu Atlas und Axis. (Aus: Torklus 1992)

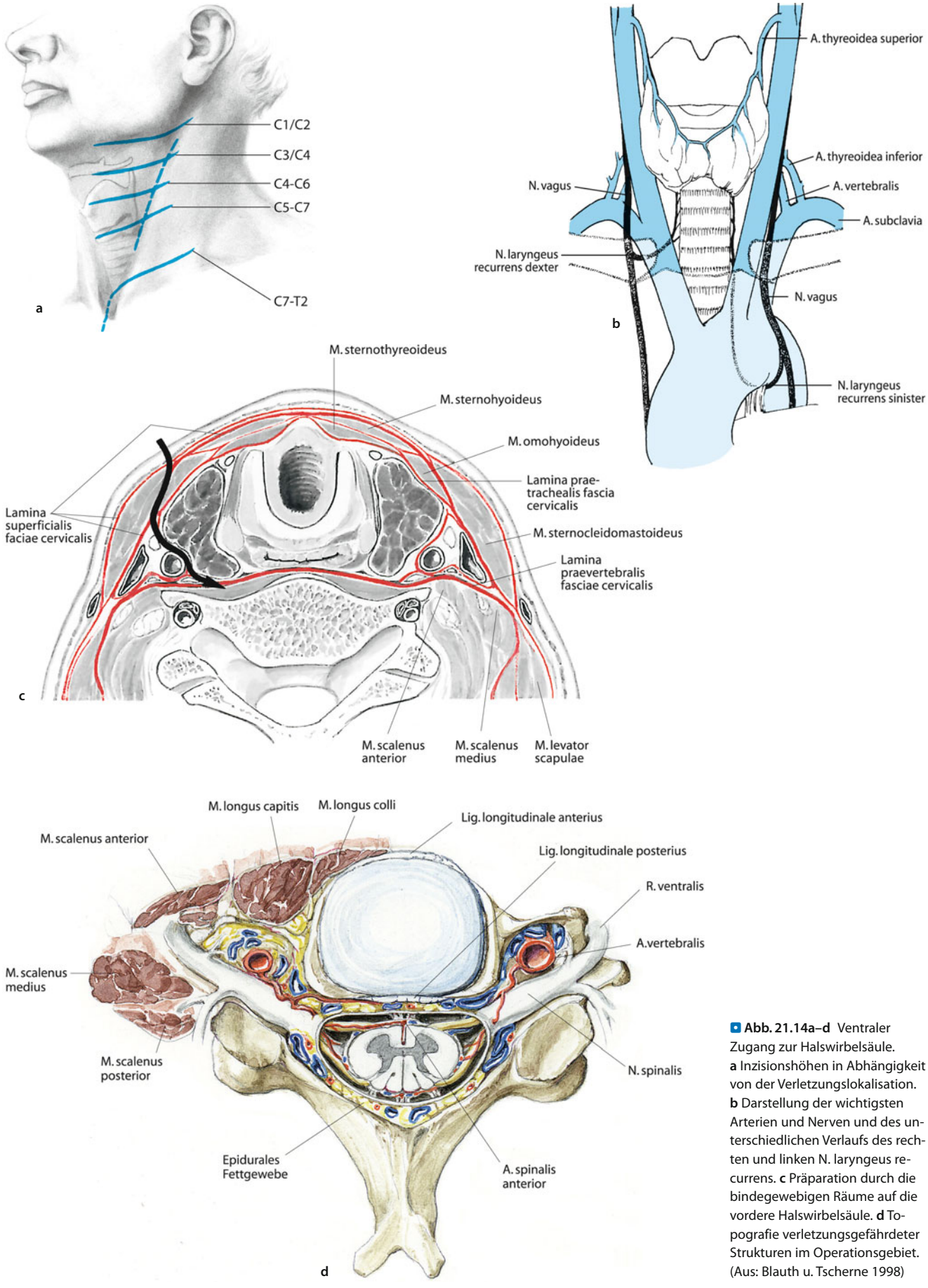


Abb. 21.14a–d Ventraler Zugang zur Halswirbelsäule. **a** Inzisionshöhen in Abhängigkeit von der Verletzungslokalisation. **b** Darstellung der wichtigsten Arterien und Nerven und des unterschiedlichen Verlaufs des rechten und linken N. laryngeus recurrens. **c** Präparation durch die bindegewebigen Räume auf die vordere Halswirbelsäule. **d** Topografie verletzungsgefährdeter Strukturen im Operationsgebiet. (Aus: Blauth u. Tscherne 1998)

es weniger stark mit der Narbe verwächst. Die Halsfaszie wird in Längsrichtung am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus durchtrennt. Wenn der M. omohyoideus stört, kann man ihn zwischen Ligaturen absetzen. Blauth u. Tscherne (1998) empfehlen aber, ihn an den Rändern zu mobilisieren und nach oben und unten beiseite zu halten. Durch Palpation des Karotispulses kann man sich über die Lage dieser wichtigen Leitstruktur orientieren und anschließend den M. sternocleidomastoideus und die großen Halsgefäße nach lateral abhalten, dabei darf nicht zu viel Hakendruck auf die A. carotis ausgeübt werden. Schilddrüse, Trachea und Larynx werden dagegen nach medial gehalten. Zwischen diesen Strukturen spannt sich jetzt die Fascia colli mediana. Sie wird stumpf oder scharf, je nach Gewebebeschaffenheit eröffnet. Durch stumpfe Präparation mit dem Finger oder einem Stieltupfer gelangt man auf die Fascia colli profunda. Darunter liegen die beiden Mm. longus colli, die der vorderen Halswirbelsäule direkt aufliegen. Nun kann die Halsfaszie gespalten werden.

Meist ist das verletzte Segment gut an der Einblutung und dem rupturierten vorderen Längsband erkennbar. Die korrekte Höhenlokalisation wird mit dem Bildwandler kontrolliert. Zur Darstellung von C3 und C2 muss die A. thyreoidea superior, für T1 und T2 die A. thyreoidea inferior ligiert werden. In dem Bereich, in dem anschließend eine Osteosyntheseplatte eingebracht werden soll, muss laut Blauth u. Tscherne (1998) das vordere Längsband türflügelartig inzidiert und zu beiden Seiten abgeschoben werden. Die unverletzten benachbarten Zwischenwirbelräume sollen dabei nicht beschädigt werden. Zum Aufhalten des Situs können Hohmann-Hebel, Langenbeck-Haken oder Selbsthalter verwendet werden.

Wundverschluss

Eine Redon-Drainage wird eingelegt. Falls der M. omohyoideus beim Zugang durchtrennt wurde, muss er beim Wundverschluss wieder genäht werden, sonst kann es zu Schluckstörungen kommen. Daneben werden nur das Platysma und die Haut adaptiert, letztere durch Intrakutannaht.

Gefahren

Der Stimmbandnerv verläuft auf der rechten Seite unter der A. subclavia und zieht schräg über die Wirbelkörpervorderseite zur Furche zwischen Trachea und Ösophagus (Abb. 21.14b). Meist verläuft er unter, manchmal aber auch über der A. thyreoidea inferior, dann besteht beim ventralen Zugang eine besonders hohe Verletzungsgefahr. Auf der linken Seite zieht er dagegen unter dem Aortenbogen zum zervikothorakalen Übergang. Daher ist auf dieser Seite eine Verletzung viel unwahrscheinlicher. Bei der Präparation auf die vordere Halswirbelsäule muss darauf geachtet werden, dass man nicht versehentlich den Rachenraum oder Ösophagus eröffnet, denn diese Strukturen sind vulnerabel und im Situs unter Umständen nur schwer erkennbar (Abb. 21.14c). Deshalb sollte bei der Präparation nur in kleinen Schritten unter strenger Wahrung der Schichten vorgegangen werden. Die Trachea kann durch den einliegenden Tubus differenziert werden, und im Ösophagus sollte aus den gleichen Gründen immer eine Magensonde liegen. Besteht der Verdacht auf eine derartige Verletzung, muss eine Kontrastmitteldarstellung zum Ausschluss oder Nachweis einer Fistel durchgeführt werden.

Bei Abschieben der lateral angrenzenden Muskulatur vom vorderen Längsband darf man nicht zu weit nach lateral und zu tief in die Muskulatur geraten, sonst kann der hier verlaufende Truncus sympathicus verletzt werden (Abb. 21.14d). Aber auch das parasympathische Nervengeflecht ist gefährdet, denn nach ventralen Zugängen zur oberen Halswirbelsäule werden vereinzelt Horner-Syndrome beobachtet. Beim Zugang zum zervikothorakalen Übergang, der ja von links erfolgen sollte, muss auf die Einmündung des Ductus thoracicus in die V. subclavia geachtet werden. Bei der Präparation empfiehlt sich, immer wieder den Karotispuls zu palpieren, um nicht versehentlich zu weit nach lateral zu geraten. Beim Einsatz von Hohmann-Hebeln kann die A. vertebralis verletzt werden. Postoperative Blutungen im Halsbereich können durch Kompression der Trachea zu einer lebensbedrohlichen Atemnot führen. Entsprechend schnell und konsequent muss bei den ersten Anzeichen dafür mit Eröffnung der Wunde, Intubation oder Tracheotomie reagiert werden.

Dorsaler Zugang C1–T1

Indikationen

Frakturen und Luxationen, Laminektomie, Diskusprolaps.

Vorbereitung

Der Patient wird in Bauchlage gebracht und der Kopf anteflektiert eingestellt, damit sich das Operationsgebiet entfaltet. Wenn hingegen okzipitozervikal fusioniert werden soll, muss bereits bei der Lagerung die gewünschte Kopfposition eingestellt werden. Wenn der Tisch kopfwärts leicht angehoben wird, kommt es intraoperativ zu geringeren Blutungen. Damit man ungehindert seitlich röntgen kann, werden die Schultern mit Heftplasterstreifen nach kaudal gezügelt.

Zugang

Je nach Höhenlokalisation geht man in der Mittellinie zwischen der Protuberantia occipitalis externa des Hinterhaupts und dem prominenten Dornfortsatz des 7. Halswirbels ein. Die Faszie und das Ligamentum nuchae werden bis auf die Dornfortsätze längs gespal-

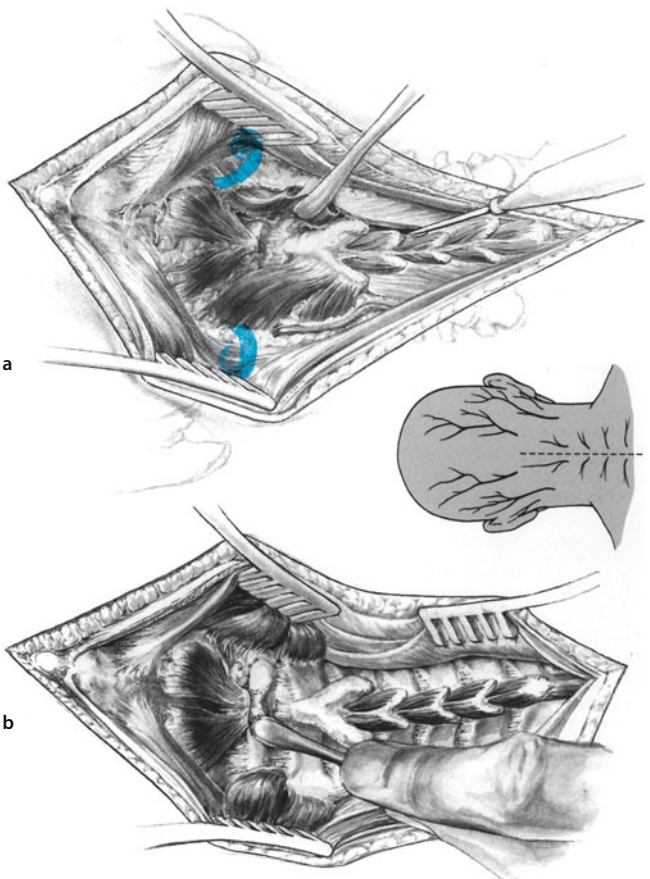


Abb. 21.15a,b Dorsaler Zugang zur Halswirbelsäule. (Aus: Blauth 1998)

ten. Die Halsmuskulatur schiebt man mit einem breiten Cobb-Raspatorium zu beiden Seiten ab. Mit dem breiten Raspatorium gerät man nicht zwischen die Wirbelbögen. Man kann zum Ablösen der Muskulatur auch den Elektrokauter benutzen. Zur Exposition der knöchernen Strukturen wird ein Spreizer eingesetzt (Abb. 21.15).

Wundverschluss

Muskulatur und Ligamentum nuchae werden adaptiert und Redon-Drainagen subfaszial und subkutan eingelegt.

Gefahren

Durch das Hochkippen des Kopfendes des Tischs besteht die prinzipielle Möglichkeit einer Luftembolie. Bei zu weiter Präparation nach lateral in Höhe des 1. und 2. Wirbelbogens können die A. vertebralis oder der N. suboccipitalis oder occipitalis verletzt werden. Bei chronischer Polyarthritis kann der hintere Atlasbogen sehr dünn sein und bei zu starkem Andruck durch das Raspatorium brechen. Bei Wirbelbogenfrakturen ist das knöcherne Widerlager zum Abschieben der Muskulatur nicht mehr intakt. Dies muss bei der Präparation bedacht werden.

21.5.2 Brust- und Lendenwirbelsäule

Dorsaler Zugang T1–L5

Indikationen

Frakturen und Luxationen, Tumoren, Stenosen, Diskusprolaps.

Vorbereitung

Der Patient wird auf Rollen in Bauchlage gelagert. Das Operationsgebiet wird möglichst großzügig abgedeckt, um ausreichend Platz zur Ausleitung von Drainagen zu haben und um an den dorsalen Beckenkamm zur Knochenentnahme gelangen zu können. Der Bildwandler wird seitlich eingestellt.

Zugang

Über den Dornfortsätzen des darzustellenden Wirbelsäulenabschnitts wird ein Längsschnitt gelegt. Die Fascia thoracolumbalis löst man mit dem Skalpell oder Elektrokauter beidseits der Dornfortsatzreihe ab. Bei Kindern und Jugendlichen inzidiert man die knorpeligen Dornfortsatzapophysen und Ligamenta interspinalia und schiebt sie dann subperiostal ab. Die autochtone Rückenmuskulatur wird anschließend beidseits der Dornfortsätze über den Wirbelbögen mit dem breiten Raspatorium mobilisiert. Die verbleibenden sehnigen Muskelansätze werden gesondert am besten mit dem Elektrokauter knochennah mobilisiert. Dabei tamponiert man jeweils auf der Seite, an der gerade nicht gearbeitet wird, die Blutung mit aufgerollten Kompressen. Die Höhenlokalisation erfolgt im seitlichen Strahlengang des Bildverstärkers (Abb. 21.16).

Bei Bedarf muss der Spinalkanal über eine Laminektomie dekomprimiert werden. Die dorsale Dekompression sollte grundsätzlich nicht am Ort der größten Stenose, sondern proximal oder distal davon begonnen werden (Blauth et al. 1998). Dazu wird die Lamina stückweise mit einer Stanze abgetragen. Das Vorgehen wird erleichtert, wenn der Knochen zuvor mit einer Kugelfräse ausgedünnt wird.

Im Bereich der Cauda equina können die einzelnen Nervenfasern vorsichtig beiseite gehalten und prolabierte Hinterkantenfragmente mit dem Rongeur entfernt oder mit einem gebogenen oder L-förmigen Stößel reponiert werden. Bei diesem Schritt der Operation muss die verletzte Etage jedoch bereits durch eine einseitige Instrumentierung aufgedehnt sein. Oberhalb der Kauda ist ein solches Vorgehen kontraindiziert, weil das Rückenmark nicht zur Seite gehalten werden kann, ohne es zu schädigen.

Wundverschluss

Subfaszial wird auf beiden Seiten der Dornfortsatzreihe je eine Redon-Drainage eingelegt. Dann vernäht man die beiden Faszienblätter mit kräftigen einzelnen Nähten. Die Nähte werden im Faszienstreifen verankert, der sich mit dem Ligamentum interspinosum über die Dornfortsatzreihe spannt und beim Eröffnen des Zugangs stehen gelassen wurde.

Gefahren

Wenn zum Abschieben der Muskulatur ein zu schmales Instrument benutzt wird, besteht die Gefahr, in einen interlaminären Raum hinein abzurutschen, und wenn die Laminae frakturiert sind, können bei der Präparation Fragmente in den Spinalkanal verlagert werden. Bei nicht schonender Präparation der Muskulatur werden sie gequetscht, können nachbluten und denerviert werden.

Kostotransversektomie

Indikationen

Es handelt sich um eine Erweiterung des dorsalen Zugangs, die bei seitlicher oder ventraler Kompression des Rückenmarks durch Tumoren oder Frakturen Anwendung findet. Bei schlechtem Allgemeinzustand ist die Kostotransversektomie die weniger belastende Alternative zur Thorakotomie.

Vorbereitung

Die Vorbereitung ist identisch mit der beim dorsalen Zugang T1–L5 (s. oben).

Zugang

Der Hautschnitt wird L-, T- oder S-förmig angelegt. Man geht wie beim dorsalen Zugang auf die Wirbelsäule ein und erweitert den Schnitt anschließend zur Seite. Beim Schaffen der seitlichen Weichteillappen muss man darauf achten, sie subfaszial vom knöchernen Thorax abzupräparieren, um ihre Durchblutung nicht zu gefährden. Zunächst werden die Rippe im Bereich der Engstelle und die kranial davon gelegene reseziert. Bei Bedarf können bis zu 3 Rippen reseziert werden. Man inzidiert dafür das Periost, hülst die Rippe anschließend mit dem Raspatorium aus und osteotomiert sie etwa 8 cm lateral des Querfortsatzes. Das Ligamentum costotransversale wird dorsokranial durchtrennt und anschließend die Rippe exartikuliert. Nun können die Seitenflächen der Wirbelkörper dargestellt und die segmentalen Gefäße koaguliert oder ligiert werden. Anschließend kann man bedarfsadaptiert Querfortsatz, Pedikel, seitliche Anteile des Wirbelbogens und den Wirbelkörper selbst schrittweise entfernen. Zur Stabilisierung der Etage werden ein Fixateur interne eingesetzt und ggf. Rippenspäne oder ein trikortikaler Beckenkammspan in die angrenzenden Wirbelkörperendplatten eingefalzt (Blauth et al. 1998; Abb. 21.17).

Es gibt auch eine Modifikation ohne Rippenresektion zur Biopsie oder alleinigen Dekompression des Rückenmarks. Dabei wird das Kostotransversalgelenk eröffnet und der Querfortsatz mit dem lateralen Viertel der Lamina entfernt. Bei Bedarf kann die Laminektomie erweitert werden.

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt wie für den dorsalen Zugang beschrieben. Eine Thoraxdrainage ist nur dann erforderlich, wenn die Lunge verletzt wurde und eine Luftfistel besteht. Die myokutanen Lappen werden mehrschichtig miteinander vernäht.

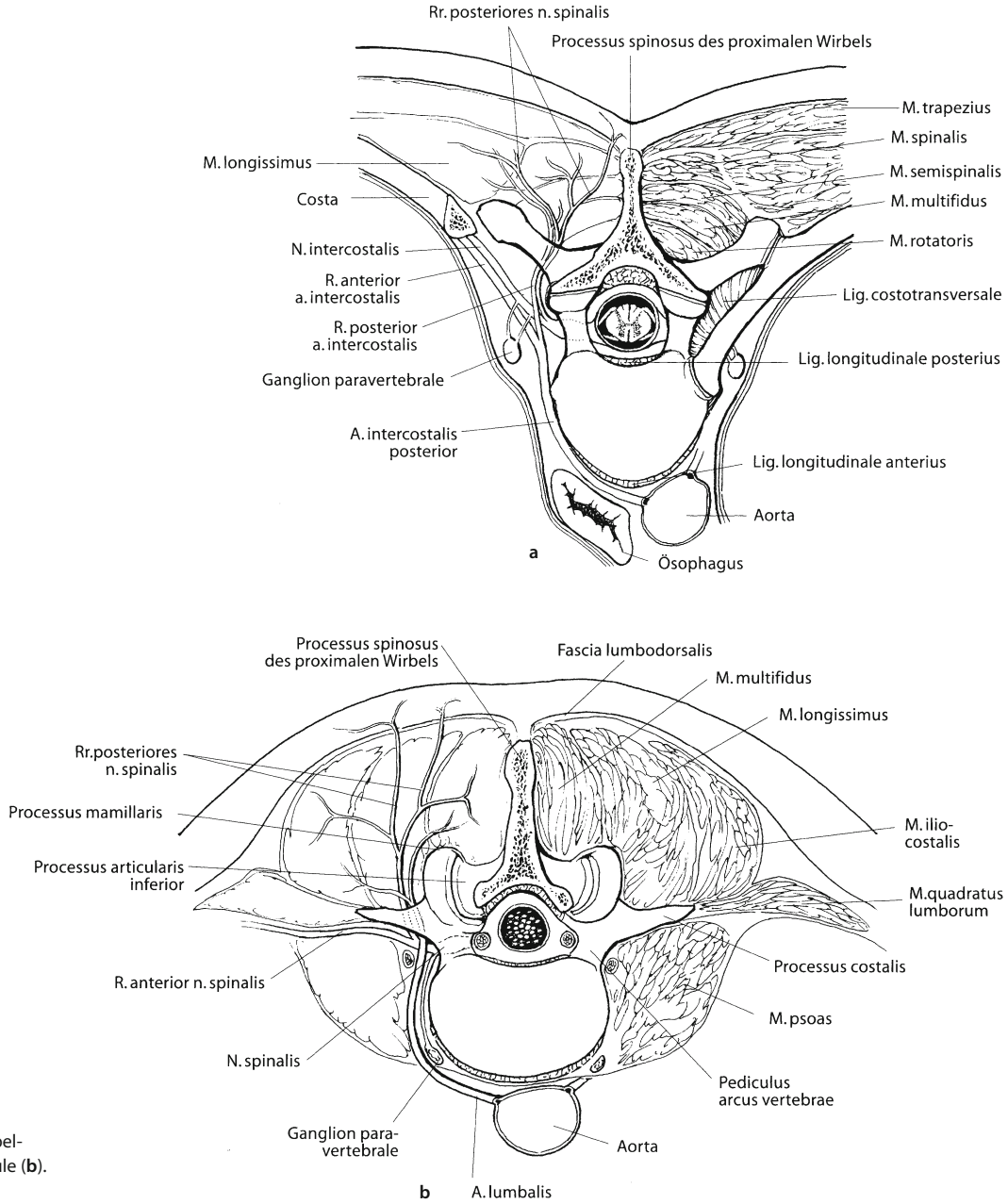


Abb. 21.16a,b
Dorsaler Zugang zur Brustwirbelsäule (**a**) und Lendenwirbelsäule (**b**). (Aus: Blauth et al. 1998)

Gefahren

Neben den oben beschriebenen Gefahren für das dorsale Vorgehen allgemein, birgt die Kostotransversektomie das Risiko des Hämatopneumothorax.

Transthorakaler Zugang von rechts T4–T10

Indikationen

Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis.

Vorbereitung

Der Patient kann in Rücken- oder Linksseitenlage operiert werden. Wenn die Rückenlage verwendet wird, empfiehlt es sich, den Thorax mit einem Schaumstoffkissen zu unterpolstern, um zum Tischrand einen Abstand zu bekommen, der es erlaubt, den Rand der Abdeckung dorsal der hinteren Axillarlinie zu verlagern. Gegebenenfalls wird ein Doppellumentubus verwendet, um intraoperativ einen Lungenflügel kollabieren lassen zu können. Der auf der Zugangsseite liegende Arm wird vor dem Körper oder über dem Kopf gelagert.

Zugang

Bei höher liegenden Prozessen geht man von rechts vor, weil hier das Herz nicht stört, bei tiefer liegenden von links, um der Leber auszuweichen. Die Schnittführung liegt im 4., 5. oder 6. Interkostalraum, abhängig von der Höhe des Operationsgebiets. Allgemein ist es einfacher, kaudal gelegene Wirbelkörper zu erreichen als kranial gelegene, deshalb empfiehlt es sich im Zweifelsfall, etwas höher einzugehen. Dies hängt mit den schräg nach kaudal abfallenden Rippen zusammen. Man muss deshalb 2 Etagen höher eingehen als der Ort der Läsion liegt. Bei der Orientierung werden die Rippen von kaudal nach kranial gezählt. Die Skapulaspitze

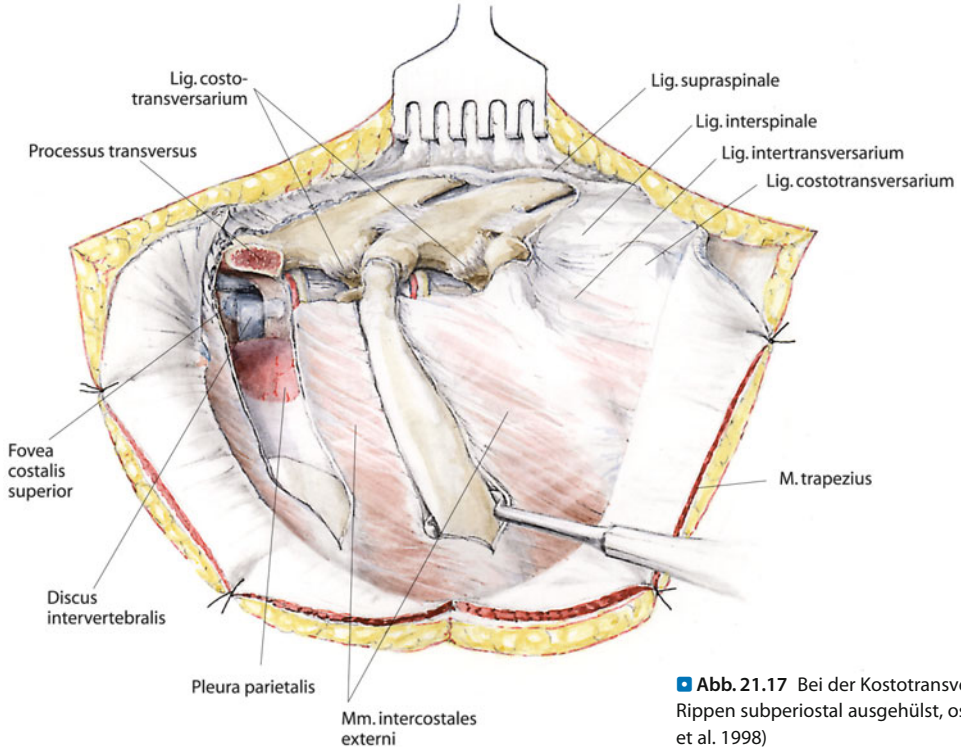


Abb. 21.17 Bei der Kostotransversektomie werden eine oder mehrere Rippen subperiostal ausgehülst, osteotomiert und exartikuliert. (Aus: Blauth et al. 1998)

kann auch zur Höhenabschätzung herangezogen werden. Sie liegt in der Regel in Höhe der 5. Rippe. Laut Blauth et al. (1998) ist der kranialste Einstieg über den 4. Interkostalraum möglich. Darüber lässt sich der 4. Brustwirbelkörper noch instrumentieren und der 5. dekomprimieren. Verletzungen und Tumoren, die unterhalb des 9. Brustwirbelkörpers liegen, gehen die Autoren über einen linksseitigen Zugang (s. unten) an. Läsionen von T2–T4 müssen über einen zervikosternalen Zugang mit Osteotomie des proximalen Klavikulaendes und eines Teils des Manubrium sterni oder eine Sternotomie angegangen werden (Abb. 21.18).

Der Schnitt beginnt dorsokranial am Rand des M. latissimus dorsi, verläuft entlang des gewählten Interkostalraums nach ventrokaudal bis zum Niveau der Knorpel-Knochen-Grenze der Rippen. Bei weiblichen Patienten sollte man den Schnitt aus kosmetischen Gründen nach Möglichkeit in die Submammärfalte legen. Nach Durchtrennung der Subkutis kann man ggf. den M. latissimus dorsi nach dorsal verdrängen oder kerben, um mehr Platz zu gewinnen. Dann wird die Interkostalmuskulatur mit dem Diathermiemesser entlang des Oberrandes einer Rippe durchtrennt, denn am Unterrand verläuft der Interkostalnerv mit Begleitgefäßen.

Damit die Pleura visceralis nicht verletzt wird, unterfährt man die Muskulatur zuvor mit einer nicht leitenden Rinne. Alternativ kann man auch subperiostal eingehen unter Ausschälung einer Rippe aus ihrem periostalen Überzug. Dazu wird das Periost auf der Rippe inzidiert und dann am Oberrand und anschließend an der Unterfläche mit dem Raspatorium abgeschoben. Wenn eine Rippe reseziert werden soll, wird sie zuvor komplett deperiostiert.

Nach Eröffnung des Thorax wird dieser mit einem Spreizer schrittweise aufgedehnt. Der ipsilaterale Lungenflügel wird nun entbläht und kann anschließend mit einem langen Leberhaken nach kranial beiseite gehalten werden. Dann wird die von der Pleura parietalis überzogene Brustwirbelsäule sichtbar.

Die Höhenlokalisation erfolgt durch Einstechen eines K-Drahts in einem Bandscheibenraum und anschließender Kontrolle mittels

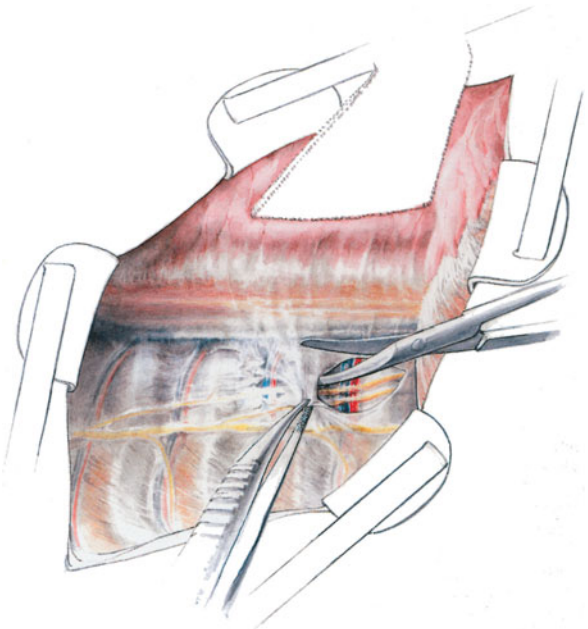


Abb. 21.18 Transthorakaler Zugang zur Brustwirbelsäule mit Einschneiden der Pleura parietalis. (Aus: Blauth et al. 1998)

Bildverstärker. Die Diszi sind gut indentifizierbar, weil sie sich vorwölben. Nach Spalten der Pleura parietalis können dann in den konvexen Abschnitten zwischen den Bandscheiben die quer verlaufenden segmentalen Gefäße ligiert oder koaguliert werden. Blauth et al. (1998) weisen darauf hin, dass die Unterbindung der Gefäße möglichst aortennah erfolgen soll, damit die dorsal vorhandenen Anastomosen nicht unterbrochen werden, und die Gefahr geringer bleibt, den sympathischen Grenzstrang zu verletzen.

Wundverschluss

Es kann der Versuch unternommen werden, die Pleura parietalis über der Brustwirbelsäule zu adaptieren. Falls aber eine erhöhte Nahtspannung besteht, wird darauf verzichtet, die Lunge gebläht und der Thorax mit 2 Bülau-Drainagen (28 Charr) versehen; eine soll ventral, die andere dorsal zu liegen kommen. Die Rippen werden durch dicke resorbierbare Einzelknopfnähte der Stärke 2, die zunächst vorgelegt werden, einander angenähert. Beim Legen der Nähte muss man darauf achten, dass am Unterrand der Rippe nicht das Gefäßnervenbündel mitgefasst wird. Deshalb muss man ganz knochennah um die Rippe herum stechen. Zudem empfiehlt es sich, die Interkostalmuskulatur mit der Naht zu unterfahren, dann bleibt sie als Deckschicht oben auf und kann nach Annäherung der Rippen auf dem verbliebenen Ansatz der Interkostalmuskulatur am Oberrand der kaudalen Rippe aufgesteppt werden. Vor dem Zusammenführen der Rippen kann man versuchen, die Pleura fortlaufend zu nähen. Die Rippen brauchen nur angenähert zu werden und müssen nicht aneinander zu liegen kommen. Eine Redon-Drainage wird subfaszial und eine weitere evtl. subkutan eingelegt.

Gefahren

Das Gefäß-Nerven-Bündel verläuft jeweils am Unterrand der Rippen. Es ist sowohl beim Zugang als auch beim Wundverschluss gefährdet. Parasternal muss auf die A. thoracica interna geachtet werden.

Tiefe, laterale Thorakotomie von links T10–L2

Indikationen

Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rechtsseitenlage gebracht. Das rechte Bein wird im Hüft- und Kniegelenk leicht gebeugt und das linke gestreckt gelagert. Sakrum und Symphyse werden seitlich gestützt. Der thorakolumbale Übergang kann, muss aber nicht, durch konvexes Knicken des Tischs etwas entfaltet werden. Bei der späteren Instrumentierung darf dieser Umstand jedoch nicht vergessen werden und muss vor einer geplanten Stabilisierung aufgehoben werden.

Zugang

Über der 10. Rippe wird ein schräger Flankenschnitt von Höhe der hinteren Axillarlinie bis zum Rippenbogen geschaffen. Im dorsalen Wundwinkel muss der M. latissimus dorsi, im ventralen der M. obliquus abdominis externus gekerbt werden. Am Oberrand der 10. Rippe geht man ein, wie es für den transthorakalen Zugang von rechts (s. oben) beschrieben wurde. Die Lunge wird nach kranial und das Zwerchfell nach kaudal abgehalten. Nach Längsspaltung der Pleura parietalis erreicht man den thorakolumbalen Übergang. Die Eröffnung der Pleura kann in den Zwerchfellschenkel und den Ursprung des M. psoas hinein nach distal verlängert werden. Dadurch gelangt man bis zur oberen Hälfte des 2. Lendenwirbelkörpers. Zur Höhenlokalisation dienen wieder der Bildwandler und die von innen gut tastbare 12. Rippe (Abb. 21.19).

Wundverschluss

Vor dem Wundverschluss wird eine Thoraxdrainage gelegt. Pleura und Diaphragma werden fortlaufend genäht. Alles Weitere entspricht dem Vorgehen beim transthorakalen Zugang von rechts (s. oben).

Thorakolumbophrenotomie T12–L3

Indikationen

Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis.

Vorbereitung

Der Eingriff kann in Seiten- oder Rückenlage des Patienten vorgenommen werden.

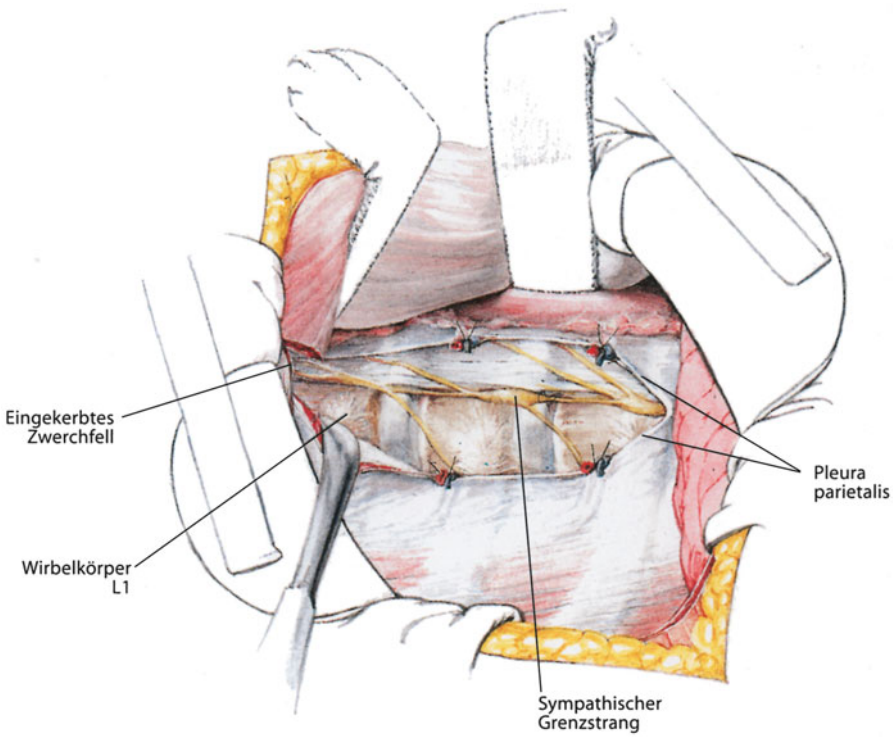


Abb. 21.19 Laterale Thorakotomie von links zum thorakolumbalen Übergang. (Aus: Blauth et al. 1998)

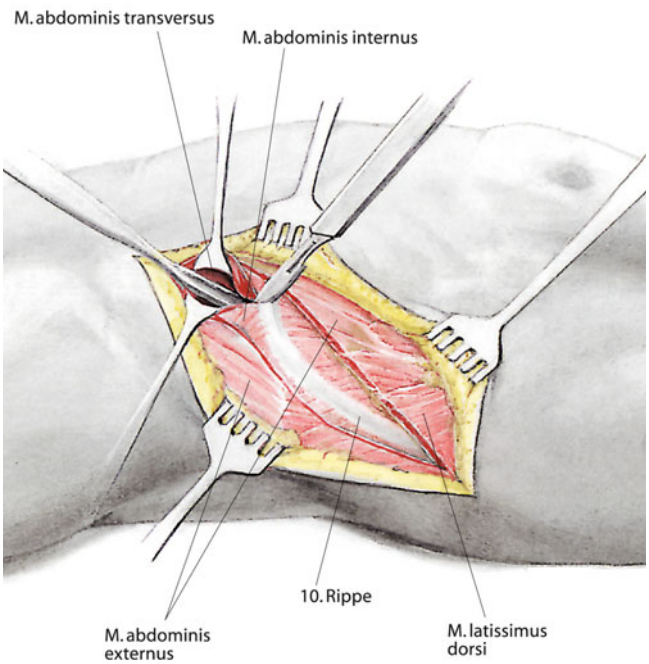
Zugang

Der Hautschnitt wird über der 10. Rippe gelegt, wie bei der tiefen, lateralen Thorakotomie, und 3 cm nach ventral verlängert. Die drei abdominalen Muskelschichten der Mm. obliquus externus et internus und transversus abdominis werden nacheinander unterfahren und durchtrennt. Je weiter man nach ventral gelangt, umso schwerer wird es, Muskulatur und Peritoneum zu separieren, weil die Schichten dünn und relativ fest miteinander verklebt sind. Deshalb werden die einzelnen Schichten am besten von dorsal her gespalten und hier der Retroperitonealraum dargestellt. Danach wird das Peritoneum von der Unterfläche des Zwerchfells abgelöst. Der bereits über einer Rippe gespaltene M. obliquus externus abdominis wird beiseite gehalten, dann das Periost der gewählten Rippe gespalten, die Rippe aus dem Periostschlauch herausgelöst und durch diese Schicht eingegangen.

Das Herauslösen der Rippe aus ihrem periostalen Überzug wird mit dem Raspatorium vorgenommen. Dabei berücksichtigt man den Faserverlauf der ansetzenden Muskulatur und schiebt am Oberrand der Rippe die ansetzende Muskulatur von dorsal nach ventral ab, am Unterrand von ventral nach dorsal. Nun wird der Thorax eröffnet, indem man die Pleura entlang des gewählten Rippenbetts spaltet. Dann wird das Zwerchfell etwa 2 cm vom Rippenansatz entfernt, randständig bogenförmig durchtrennt. Zuvor werden Markierungsnähte für den späteren Wundverschluss gesetzt. Sie dienen zur Orientierung. Das auf der Wirbelsäule liegende retroperitoneale Gewebe wird wiederum längs inzidiert und nach ventral bzw. dorsal abgeschoben. Anschließend können die segmentalen Gefäße ligiert bzw. koaguliert werden (◘ Abb. 21.20).

Wundverschluss

Der Zugang wird schichtweise verschlossen. Eine Thoraxdrainage wird eingelegt, der Zwerchfellansatz genäht und der Retroperitonealraum mit einer Redon-Drainage versorgt.



◘ **Abb. 21.20** Thorakolumbophrenotomie. (Aus Blauth et al. 1998)

Gefahren

Das Zwerchfell darf nicht radiär inzidiert werden, sonst unterbricht man seine Innervation. Bei der Präparation der Bauchmuskulatur kann es leicht passieren, dass der Peritonealsack versehentlich eröffnet wird. In diesem Fall sollte diese Stelle möglichst sofort mit einem resorbierbaren atraumatischen Faden der Stärke 4/0 versorgt werden, denn würde man bis zum Wundverschluss mit der Versorgung warten, bräuchte man unnötig Zeit und Konzentration, um sie wieder aufzufinden. Bei der Präparation an der Wirbelsäule muss beim Abschieben der Hüllstrukturen auf den Grenzstrang und den Ductus thoracicus geachtet werden, denn diese Strukturen können dabei leicht verletzt werden.

Linksseitige Lumbotomie L2–L5

Indikationen

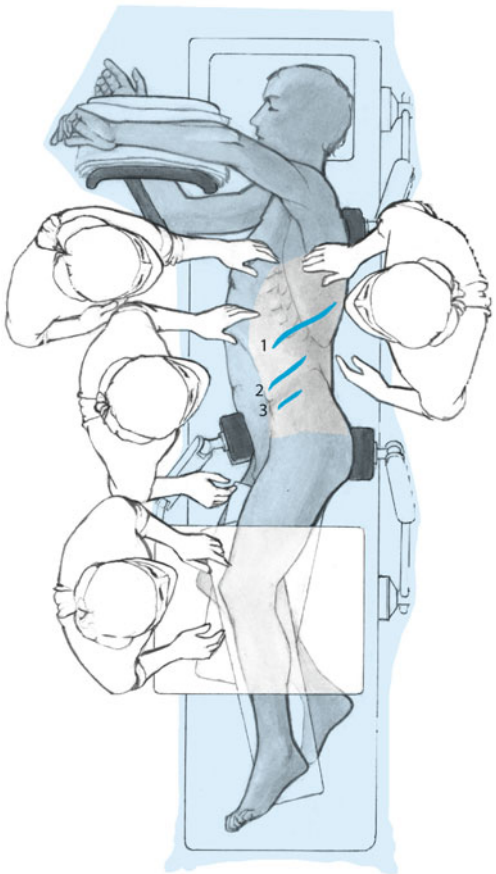
Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis.

Vorbereitung

Der Eingriff kann in Rückenlage oder Rechtsseitenlage des Patienten durchgeführt werden. Der Tisch wird zur besseren Exposition des Operationsgebiets konvex abgeklappt.

Zugang

Man setzt einen schrägen Flankenschnitt in Verlängerung der Richtung der 12. Rippe, um die segmentalen Nerven nicht zu kreuzen. Der Schnitt beginnt an der hinteren Axillarlinie und endet am



◘ **Abb. 21.21** Rechtsseitenlage für *1* die tiefe laterale Thorakotomie, *2* die linksseitige Lumbotomie und *3* die Knochenentnahme aus dem vorderen Beckenkamm. (Aus: Blauth et al. 1998)

Rand der Rektusscheide. Die Bauchmuskulatur wird so präpariert, wie es oben im Abschnitt »Thorakolumbophrenotomie« beschrieben wurde. Im Retroperitonealraum trifft man auf die Lendenwirbelsäule. Der M. quadratus lumborum und der M. psoas bedecken sie. Am Vorderrand des M. psoas geht man auf die Wirbelsäule zu. Die Aorta kann mit gummibewehrten K-Drähten abgehalten werden, die in die Wirbelkörper eingebohrt werden. Die etwas erhabenen Bezirke der Wirbelsäule entsprechen den Diszi, die konkaven Abschnitte den Wirbelkörpern, wobei in der Tiefe der Konkavität die segmentalen Gefäße verlaufen (◘ Abb. 21.21).

Wundverschluss

Naht der einzelnen Schichten unter Einlage von Redon-Drainagen.

Gefahren

In der Nähe der Rektusscheide kann bei der Separation der einzelnen Schichten das Peritoneum leicht einreißen. Auf dem M. quadratus lumborum und dem M. psoas verlaufen die Nn. intercostalis XII, iliohypogastricus, ilioinguinalis und cutaneus femoris lateralis. Über den 5. Lendenwirbelkörper zieht die V. iliaca communis. All dies muss bei der Präparation berücksichtigt und entsprechend vorsichtig vorgegangen werden.

Pararektaler, retroperitonealer Zugang L4–S1

Indikationen

Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis und als Alternative zum transperitonealen Zugang mit den Vorteilen, dass die Bauchmuskulatur geschont wird, keine intraabdominellen Verwachsungen drohen und das Nervengeflecht um den Ductus deferens weniger gefährdet ist.

Vorbereitung

Rückenlagerung mit leicht angestellten Beinen zur Entspannung der Bauchdecken.

Zugang

Es kann auf beiden Seiten des Rektusrandes zwischen Nabel und Symphyse eingegangen werden. Auf der linken Seite muss die V. iliaca communis weniger weit mobilisiert werden. Nach Durchtrennung der Rektusscheide eröffnet man den Raum zwischen der seitlichen Bauchwand und dem Peritonealsack durch stumpfe Präparation. Entlang dem M. quadratus lumborum und M. psoas erreicht man die großen Gefäße, den Ureter und den Plexus hypogastricus superior. Die neurovaskulären Strukturen werden in ihrer bindegewebigen Hülle gelassen und mit einem Gummizügel angeschlungen. Oberhalb und lateral der Bifurkation erreicht man das Segment L4/L5, unterhalb davon L5/S1 (◘ Abb. 21.22).

Wundverschluss

Der Zugang wird schichtweise unter Einlage von Drainagen verschlossen.

Gefahren

Die großen Gefäße, die begleitenden Nervengeflechte und der Ureter können verletzt werden.

Transperitonealer Zugang L4–S1

Indikationen

Als Ergänzung zum endoskopischen Vorgehen bei Frakturen, Tumoren, Spondylitis und -diszitis und als Alternative zum retroperitonealen Zugang mit den Vorteilen der besseren Übersicht, insbesondere bei adipösen Patienten.

Vorbereitung

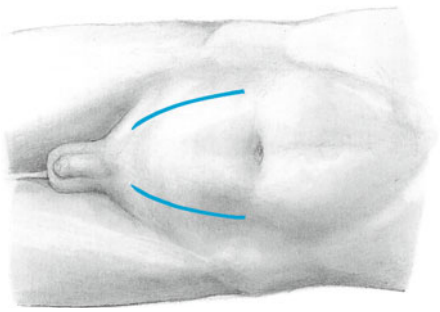
Der Patient sollte präoperativ abgeführt werden. Er wird in Rückenlage gelagert. Unter die Lendenwirbelsäule kommt eine weiche Schaumstoffrolle zu liegen. Der Operationstisch wird zusätzlich in diesem Bereich etwas abgeklappt, um das Promontorium zu exponieren. Eine gleichzeitige Kopftieflage verschiebt die Darmschlingen nach kranial. Aus Gründen der besseren Übersicht im Operationssitus wird ein Katheter in die Blase gelegt, damit sie kollabiert.

Zugang

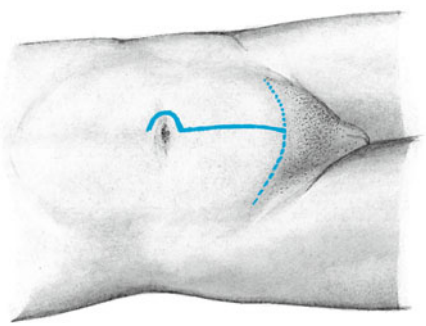
Der Medianschnitt beginnt etwa 2 cm oberhalb des Nabels und reicht bis knapp oberhalb des Schambeins. Zwischen den beiden Rektusbäuchen werden die Linea alba und das Peritoneum durchtrennt. Unterhalb des Nabels ist der Einstieg einfacher, weil sich die beiden Rektusmuskeln hier am besten separieren lassen. Weiter distal überlappen sie sich gelegentlich. Alternativ kann in Höhe der Verbindungslinie zwischen beiden Spinae iliacae anteriores superiores oder auch etwas unterhalb davon im Bereich einer Bauchfalte der quer verlaufende Pfannenstielschnitt angelegt werden. In diesem Fall müssen die beiden Mm. recti abdomini beidseits von den vorderen Schambeinästen abgetrennt werden. Nach Eröffnung des Bauchraums werden die Dünndarmschlingen in feuchte Tücher gepackt und nach kranial verlagert. Bei der Inzision des posterioren Peritonealblatts muss auf den sympathischen Grenzstrang geachtet werden. Das Segment L5/S1 kann wiederum unterhalb der Aortenbifurkation und zwischen den Iliakalvenen dargestellt werden. Das Segment L4/L5 erreicht man zwischen Aorta und V. cava (◘ Abb. 21.23).

Wundverschluss

Der Zugang wird in üblicher Weise unter Einlage von Drainagen verschlossen.



◘ **Abb. 21.22** Pararektaler, retroperitonealer Zugang L4 bis S1. (Aus: Blauth et al. 1998)



◘ **Abb. 21.23** Transperitonealer Zugang L4 bis S1. (Aus: Blauth et al. 1998)

Gefahren

Wenn der Patient voroperiert ist, können Verwachsungen im Unterbauch vorliegen. Die V. iliaca communis zieht meist über den Diskus L5/S1. Sie kann gerade in Kopftieflage kaum gefüllt sein und als bloßes bindegewebiges Band anmuten, das dann leicht verletzt werden kann. Überdies geht von ihr häufig dorsal eine segmentale Vene ab, die leicht einreißt, wenn man das Hauptgefäß beiseite hält. Deshalb ist es ratsam, diese Venen zunächst darzustellen. Am lumbosakralen Übergang sollen prävertebrale bzw. präsakrale Blutungen nicht elektrokoaguliert, sondern komprimiert und ligiert werden, um den Plexus hypogastricus superior nicht zu schädigen; ansonsten drohen Impotenz und retrograde Ejakulation. Deshalb sollte dieser Zugang nur dann verwendet werden, wenn es keine Alternative gibt.

21.6 Schulter

B. Weigel

21.6.1 Schultergürtel

Klavikula

Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen.

Vorbereitung

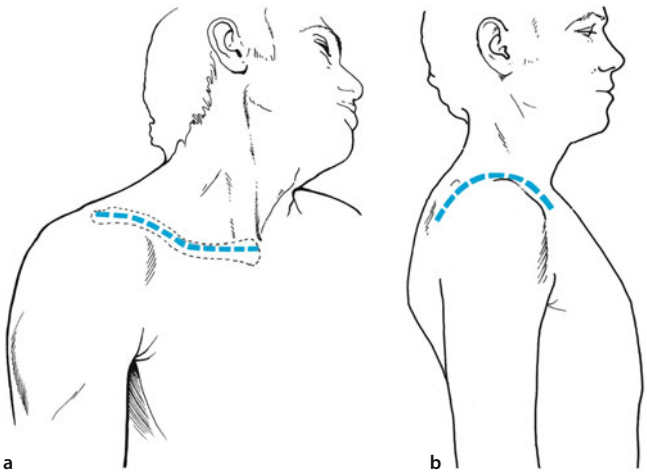
Strandstuhllagerung.

Zugang

Man kann supraklavikulär über einen parallel zur Klavikula verlaufenden Hautschnitt oder lotrecht dazu in Form eines so genannten Säbelhiebschnitts eingehen. Soweit dies überhaupt erforderlich sein sollte, werden Muskelansätze möglichst en bloc abpräpariert, damit sie später wieder stabil reinseriert werden können (◘ Abb. 21.24).

Wundverschluss

Wenn ausreichend Platz vorhanden ist, kann eine Redon-Drainage eingelegt werden. Abgelöste Muskulatur wird reinseriert und die Wunde schichtweise verschlossen.



◘ **Abb. 21.24a,b** Zugänge zur Klavikula von supraklavikulär (**a**) oder als Säbelhiebschnitt (**b**). (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Gefahren

Das Ablösen der Muskulatur muss so sparsam wie möglich erfolgen, weil es die Durchblutung der Klavikula beeinträchtigen kann. Auch bei der offenen Reposition soll die Klavikula so wenig wie möglich, am besten jedoch überhaupt nicht deperiostiert werden, sonst wird die Entwicklung einer Pseudarthrose begünstigt, die im Bereich der Klavikula nicht selten auftritt. Unter dem medialen Anteil des Schlüsselbeins verläuft die V. subclavia. Darauf und auf die Pleurahöhle muss beim Bohren von Schraubenlöchern geachtet werden. Der Wundverschluss muss im Bereich des Schultergürtels recht dicht sein, denn die Weichteildeckung ist hier relativ dünn und bei instabilen Nahtverhältnissen bilden sich rasch Infektionen.

Sternoklavikulargelenk

Indikationen

Luxationen.

Vorbereitung

Der Patient wird in Strandstuhl- oder Rückenlagerung gebracht. Die obere Brustwirbelsäule unterpolstert man mit einer relativ festen Schaumstoffhalbrolle oder mehreren gefalteten Tüchern. Insbesondere dann, wenn eine etwaige Luxation in Operationsbereitschaft zunächst geschlossen reponiert werden soll, muss dieses Hypomochlion relativ unnachgiebig sein.

Zugang

Man legt einen bogenförmigen oder geraden, etwa 4 cm langen Schnitt über das Sternoklavikulargelenk. Unmittelbar nach Durchtrennung von Haut, Subkutis und Faszie stößt man auf die rupturierte Gelenkkapsel. Das mediale Klavikulaende artikuliert nur im Bereich seiner kaudalen Zirkumferenz mit dem kraniolateralen Eck des Sternums. Nach Ausspülen des Hämatoms aus dem Gelenkraum lassen sich Fehlstellung und Reposition der Gelenkpartner beurteilen. Dabei kann man sich auch an der intakten Gegenseite entweder durch Schnitterweiterung oder Palpation orientieren (◘ Abb. 21.25).

Wundverschluss

Nach Naht der Gelenkkapsel mit einzelnen kräftigen resorbierbaren Nähten und zusätzlicher Augmentation wird eine Redon-Drainage eingelegt und die Wunde schichtweise verschlossen.

Gefahren

Hinter dem Sternoklavikulargelenk liegt das Mediastinum mit den herznahen Gefäßen, sie sind bei der Anlage einer Drahtcerclage oder resorbierbaren Augmentation gefährdet.

Akromioklavikulargelenk

Indikationen

Akromioklavikulargelenkluxationen und -arthrosen, laterale Klavikulafrakturen.

Vorbereitung

Strandstuhllagerung.

Zugang

Der Zugang kann bogenförmig oder gerade über dem Vorderrand des Akromions und dem lateralen Klavikulaende geführt werden. Kosmetisch günstiger ist der Säbelhiebschnitt, den man lateral der Spitze des Korakoids enden lässt. Die Erweiterungsmöglichkeiten und die Übersicht sind bei der horizontalen Schnittführung besser; aber für die meisten Indikationen reicht der Säbelhiebzugang

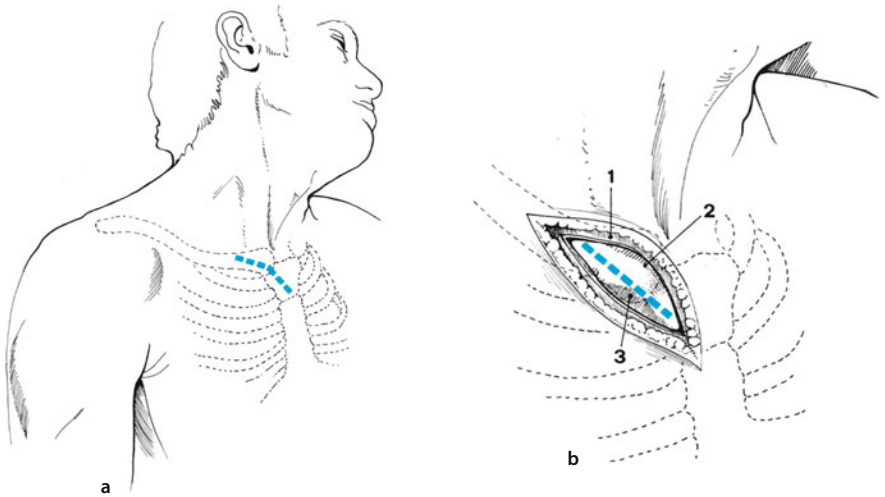


Abb. 21.25a,b Zugang zum Sternoklavikulargelenk. *1* Platysma, *2* M. sternocleidomastoideus, *3* M. pectoralis major. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

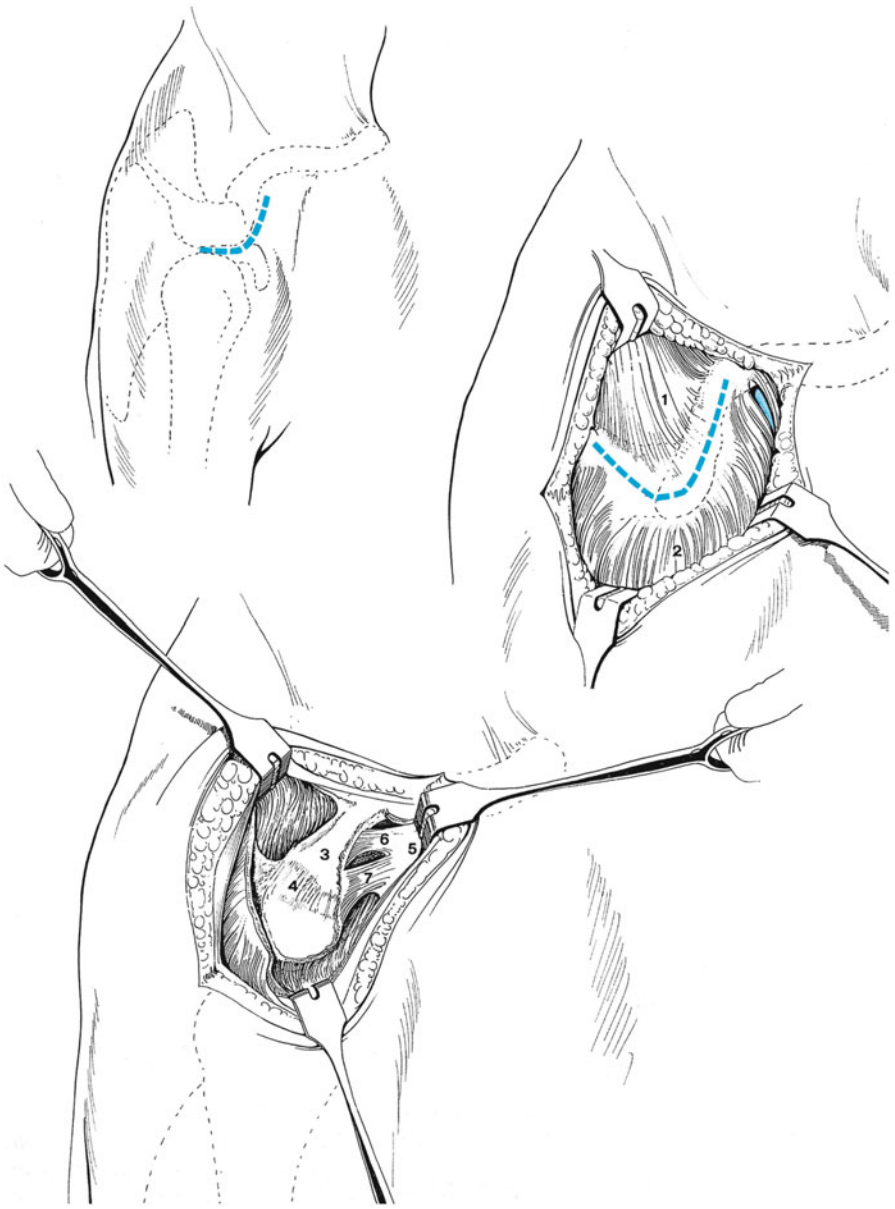


Abb. 21.26 Zugang zum Akromioklavikulargelenk. *1* M. trapezius, *2* M. deltoideus, *3* laterale Klavikula, *4* Akromioklavikulargelenk, *5* Processus coracoideus, *6* Ligamentum conoideum, *7* Ligamentum trapezoideum. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

vollkommen aus. Für die subakromiale Dekompression und die laterale Klavikularesektion werden Pars acromialis und clavicularis des Deltamuskels subperiostal abgelöst. Dies lässt sich am besten mit der feinen Nadel des Elektrokauters erreichen (Abb. 21.26).

Wundverschluss

Die Gelenkkapsel und abgelöste Muskelansätze werden mit einzelnen kräftigen resorbierbaren Nähten adaptiert. Subperiostal gelöste Muskelansätze sollten transossär refixiert werden. Die dafür nötigen Bohrkanäle schafft man am besten mit einem 2 mm starken K-Draht, denn dieser lässt sich auch gebogen drehen, während dünne Bohrer schon bei der kleinsten Verwindung brechen können (und das Bergen einer abgebrochenen Bohrerspitze aus dem Akromion kann zur Geduldsprobe ausarten). Eine Redon-Drainage wird eingelegt und dann werden Subkutis und Haut genäht.

Gefahren

Beim Ablösen des Deltamuskels vom Vorderrand des Akromions blutet es regelmäßig recht heftig aus einem Ast der A. thoracoacromialis. Die Blutung muss gezielt koaguliert werden. Beim Unterfahren des Korakoids mit einem Deschamps zum Durchziehen einer resorbierbaren Kordel kann der N. musculocutaneus unbemerkt mitgefasst werden, wenn man nicht in unmittelbarer Nähe zum Knochen bleibt.

21.6.2 Schultergelenk

Ventraler Zugang

Indikationen

Frakturen, Luxationen, Impingement-Syndrom, Rotatorenmanschettenrupturen, Bankart-Läsion.

Vorbereitung

Strandstuhllagerung.

Zugang

Der Schnitt beginnt unmittelbar lateral der Korakoidspitze und wird in Richtung des Faserverlaufs des Deltamuskels im Sulcus deltoideopectoralis nach distal geführt. Die Muskulatur wird durch stumpfes Auseinanderspreizen der Muskelfasern etwa 1 cm lateral der V. cephalica gespalten. Auf der Rückseite des Muskels liegt die

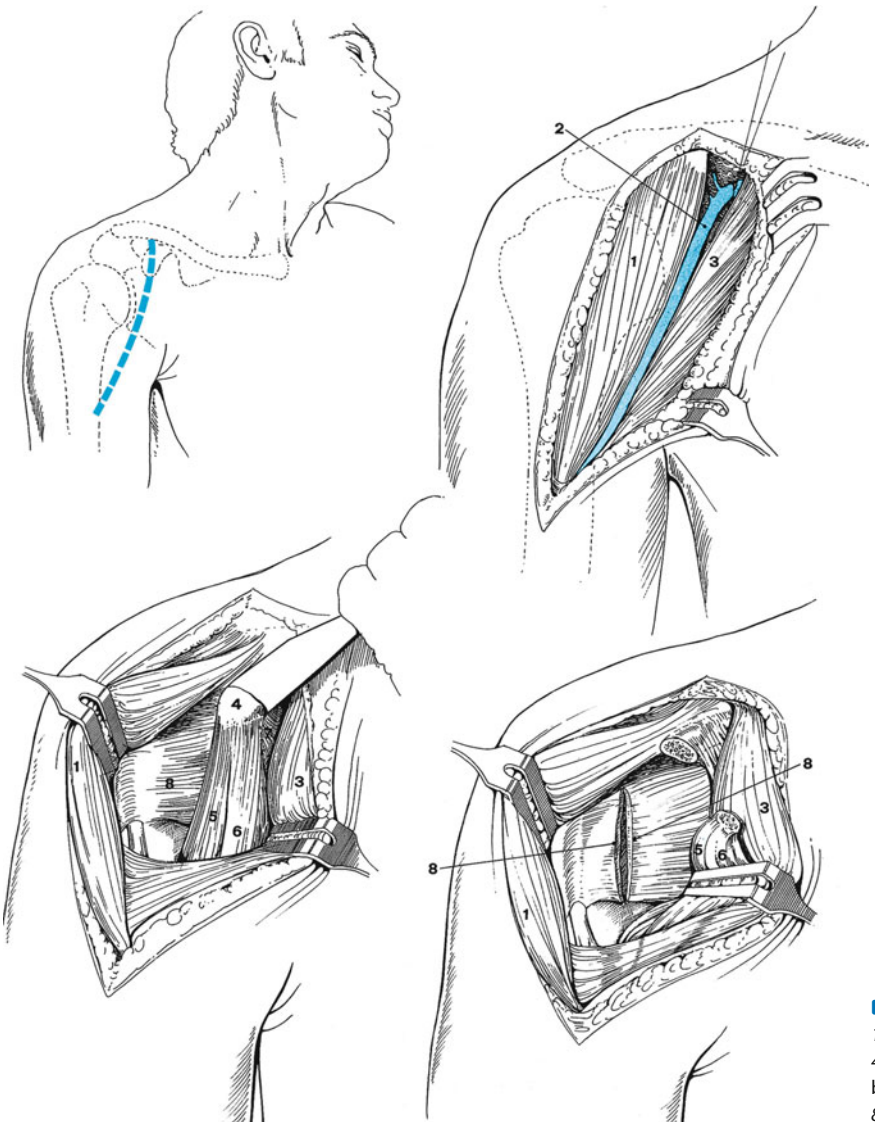


Abb. 21.27 Ventraler Zugang zum Schultergelenk. *1* M. deltoideus, *2* V. cephalica, *3* M. pectoralis major, *4* Processus coracoideus, *5* Caput breve M. biceps brachii, *6* M. coracobrachialis, *7* M. pectoralis minor, *8* M. subscapularis. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Bursa subdeltoidea, in deren Schicht der Humeruskopf und der proximale Schaft mobilisiert werden. Durch Rotation des Arms kann der Gelenkkapselanteil, der eröffnet oder versorgt werden soll, in das geschaffene Weichteilfenster gedreht werden. Zur Orientierung dient der Sulcus bicipitalis, der zwischen den beiden Tuberkula liegt und gut zu tasten ist. Durch Unterfahren mit Hohmann-Hebeln wird der proximale Humerus exponiert. Durch Rotation bzw. Retroversion des Arms werden weite Teile der Rotatorenmanschette gut zugänglich (◘ Abb. 21.27).

Der Zugang lässt sich nach kranial erweitern, indem man mit der Schnittführung oberhalb des Akromioklavikulargelenks beginnt und medial die laterale Drittelgrenze der Klavikula kreuzt. Die Pars clavicularis des Deltamuskels kann subperiostal von der Klavikula abgelöst, die Korakoidspitze osteotomiert oder der gemeinsame Sehnenursprung des M. coracobrachialis und des Caput breve M. bicipitis mobilisiert werden. Um zur ventralen Gelenkkapsel zu gelangen, muss die Sehne des M. subscapularis zwischen Haltefäden durchtrennt werden. Zur Erweiterung nach distal werden der Ansatz des Deltamuskels am Humerus und die Sehne des M. pectoralis major ggf. ebenfalls zwischen Haltefäden ansatznah gekerbt.

Nach Spaltung der Sehne des M. subscapularis gelangt man auf die ventrale Kapsel. Die Schicht zwischen Sehne einerseits und Gelenkkapsel andererseits kann relativ adhärent sein. Es empfiehlt sich, diese vor Eröffnung des Gelenks zu präparieren, um sie beim späteren Wundverschluss besser identifizieren zu können. Das ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die ventrale Kapsel elongiert ist und im Rahmen der von Rockwood beschriebenen Operationstechnik durch Doppelung gestrafft werden soll (▶ Kap. 5, Schulter). Die Gelenkkapsel wird parallel zum Labrum glenoidale eröffnet. Zur Darstellung der Gelenkpfanne wird ein speziell gebogener Humerusretraktor auf den Hinterrand des Glenoids gesetzt und der Humeruskopf beiseite gehebelt.

Wundverschluss

Die für eine ausreichende Exposition durchtrennten oder abgelösten Strukturen werden genäht. Die Subskapularissehne wird mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial Stoß auf Stoß genäht und nur bei erweiterter Kapsel und entsprechender Instabilität durch eine Doppelung verkürzt. Subperiostal abgelöste Muskeln werden transossär refixiert und die Korakoidspitze verschraubt oder mit einer Zuggurtung stabilisiert. Die einzelnen Schichten werden mit Redon-Drainagen versehen.

Gefahren

Wenn man 1 cm lateral der V. cephalica durch den Deltamuskel eingeht, wird die Vene nicht verletzt. Beim Exponieren des proximalen Humerus mit Hohmann-Hebeln, kann der N. axillaris durch Druck geschädigt werden. Der Muskelzug wird verringert durch Abduktion und Außenrotation des Arms. Wenn die Sehne des M. subscapularis nicht zwischen Haltefäden durchtrennt wird, retrahiert sich der Muskel unter Umständen so weit nach medial, das man ihn beim Wundverschluss nicht mehr findet. Der N. musculocutaneus tritt proximal in den M. coracobrachialis an dessen Unterfläche ein, durchbohrt ihn und verläuft weiter zwischen dem kurzem Bizepskopf und dem M. brachialis. Wenn die beiden Muskeln abgelöst und nach distal weggehalten werden, kann der Nerv leicht überdehnt werden.

Transdeltoidaler Zugang

Indikationen

Abrissfrakturen im Bereich des Tuberculum majus, proximale Humerusfrakturen, die mit einem Verriegelungsnagel versorgt werden können, Rotatorenmanschettenläsionen, Impingement-Syndrom.

Vorbereitung

Strandstuhllagerung.

Zugang

Beim kurzen Zugang beginnt der Hautschnitt am Vorderrand des Akromions und führt im Faserverlauf etwa 4 cm weit in die Pars acromialis des Deltamuskels. Am Rand des Akromions beginnt man, den Muskel stumpf auseinander zu drängen und gelangt in die Bursa subdeltoidea. Die Muskelfasern dürfen nur bis etwa 4 cm weit vom Akromionrand entfernt auseinander gespreizt werden, weil knapp unterhalb davon der N. axillaris quer verläuft. Der Zugang reicht jedoch aus, um Abrissfrakturen des Tuberculum majus und Defekte der Rotatorenmanschette gut versorgen oder einen Verriegelungsnagel antegrad einzubringen zu können (◘ Abb. 21.28).

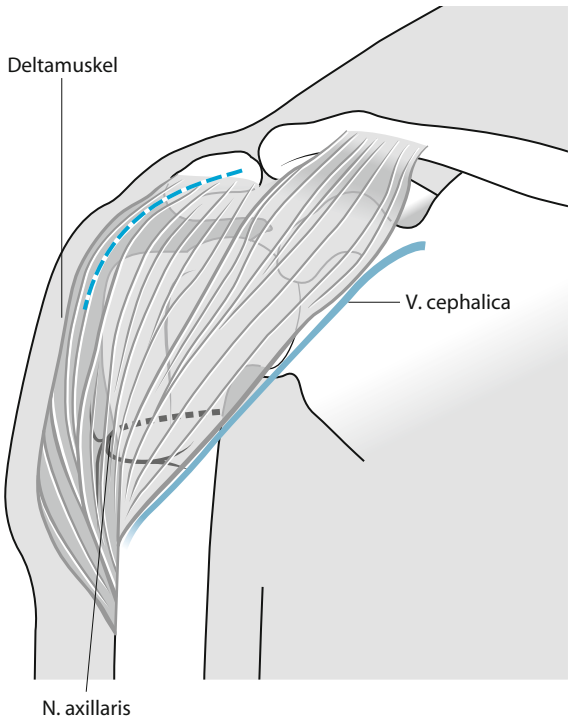
Bei ausgedehnten Rotatorenmanschettendefekten und geplanter Akromioplastik beginnt der Hautschnitt in Höhe des Akromioklavikulargelenks und zieht entlang der Vorderkante des Akromions in gerader Verlängerung wiederum nur bis zu 4 cm weit in den Deltamuskel. Der Deltamuskel und das Ligamentum coracoacromiale werden vom Vorderrand des Akromions subperiostal abgelöst, um für den späteren Wundverschluss eine stabile Schicht zur Refixation zu haben.

Wundverschluss

Die Wunde wird mit Drainagen versorgt, der subperiostal abgelöste Deltamuskel ggf. transossär refixiert bzw. mit einzelnen Nähten adaptiert und Subkutis sowie Haut genäht.

Gefahren

Der N. axillaris tritt am dorsalen Rand des Deltamuskels ein und verläuft an seiner Unterfläche nach ventral. Werden die Muskelfasern zu weit distal des Akromions separiert, kann der Hauptstamm dieses



◘ **Abb. 21.28** Transdeltoidaler Zugang. Schnittführung am Vorderrand des Akromions und Lagebeziehung des N. axillaris sowie Schnittführung im Faserverlauf des Deltamuskels

Nervs verletzt werden. Beim Durchtrennen des Ansatzes des Ligamentum coracoacromiale am Vorderrand des Akrominons blutet es immer heftig aus einem begleitenden Ast der A. thoracoacromialis.

Dorsaler Zugang

Indikationen

Luxationsfrakturen, Verletzungen der dorsalen Gelenkkapsel.

Vorbereitung

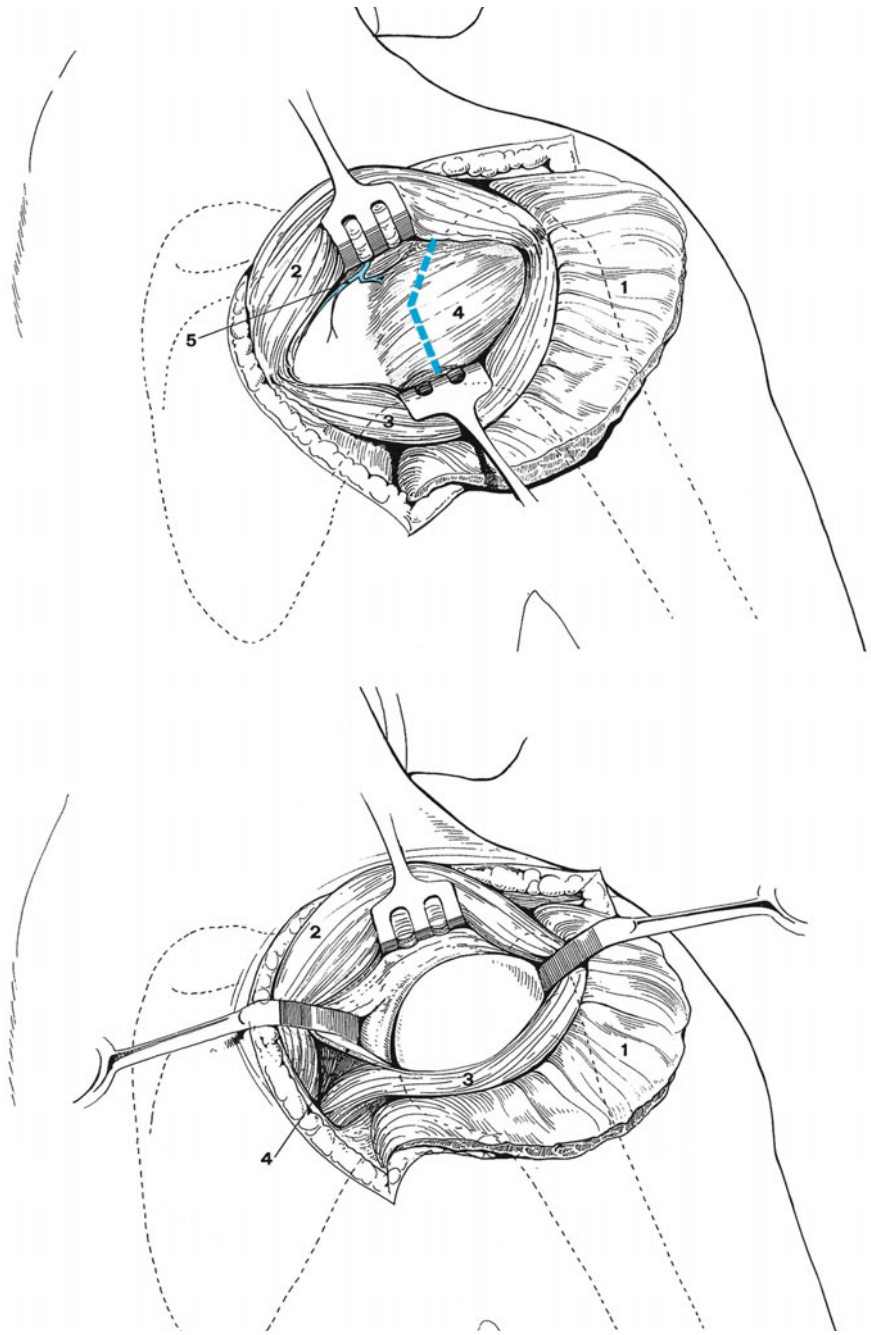
Seiten- oder Bauchlage.

Zugang

Der Zugang beginnt etwa 2 cm medial des Angulus acromialis, das ist der gut tastbare Übergang der Spina scapulae zum Akromion, und wird nach kaudal über den Hinterrand des Glenoids gelegt. Auf dem Weg zur dorsalen Gelenkkapsel werden die Deltamuskelfasern, ohne diese von der Spina scapulae zu lösen, in Faserrichtung auseinander gespreizt oder vom Unterrand der Spina scapulae subperiostal abgelöst. Zwischen M. infraspinatus und teres minor geht man auf die Gelenkkapsel ein. Bei Bedarf können die beiden Strukturen teilweise vom Tuberculum majus abgelöst werden. Man bewegt sich bei diesem Vorgehen zwischen den beiden vulnerablen Strukturen N. suprascapularis und N. axillaris. Die Gelenkkapsel wird parallel zum Glenoidrand eröffnet (◘ Abb. 21.29).

Wundverschluss

Eine elongierte Gelenkkapsel wird durch Doppelung verschlossen, um einer dorsalen Instabilität entgegenzuwirken. Abgelöste Rotatorenmanschettenanteile und Deltamuskulatur werden reinseriert und alle Wundschichten drainiert.



◘ **Abb. 21.29** Dorsaler Zugang zum Schultergelenk. *1* M. deltoideus, *2* M. infraspinatus, *3* M. teres minor, *4* Gelenkkapsel, *5* N. suprascapularis. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Gefahren

Der N. suprascapularis verläuft aus dem Plexus brachialis durch die Incisura scapulae zu den Mm. supra- und infraspinatus. Er ist bei der Präparation im oberen Glenoidbereich gefährdet. Im kaudalen Zugangsbereich muss auf den N. axillaris an der Unterseite des Deltamuskels geachtet werden.

Lateraler Zugang

Indikationen

Glenoidfraktur, Skapulahalsfraktur.

Vorbereitung

Bauchlage.

Zugang

Dieser Zugang ist wenig bekannt. Wiedemann (2004) empfiehlt ihn für die Versorgung von Skapulahalsfrakturen, weil er überraschend einfach, wenig traumatisierend und gut geeignet ist, die Margo lateralis und den unteren Teil des Glenoids darzustellen. Der Patient befindet sich in Bauchlage. Der Arm ist 90° abduziert und frei beweglich abgedeckt. Die Hautinzision erfolgt in der Mitte der Margo lateralis und parallel zu den Rippen wie bei einer hohen Thorakotomie. Zwischen den Mm. infraspinatus und teres minor stößt man auf die Margo lateralis scapulae. Diese kann man durch vorsichtiges Mobilisieren des Deltamuskels nach kranial darstellen. Dabei muss man auf den N. axillaris achten. Wenn man den M. teres minor nach lateral weghält, gelangt man auf den langen Trizepskopf, der am Unterrand der Pfanne entspringt, Von hier aus kann der hintere Recessus axillaris dargestellt und eröffnet werden, um den dorsoinferioren Teil des Glenoids einsehen zu können (◘ Abb. 21.30).

Wundverschluss

Falls die Gelenkkapsel eröffnet wurde, wird sie wieder verschlossen. In die Muskelloge wird eine Redondrainage eingelegt.

Gefahren

Der N. axillaris ist bei der Feilegung des Schulterblattrandes und des Glenoids gefährdet.

21.7 Arm

B. Weigel

21.7.1 Humerus

Anteriorer Zugang zum Humerus

Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen.

Vorbereitung

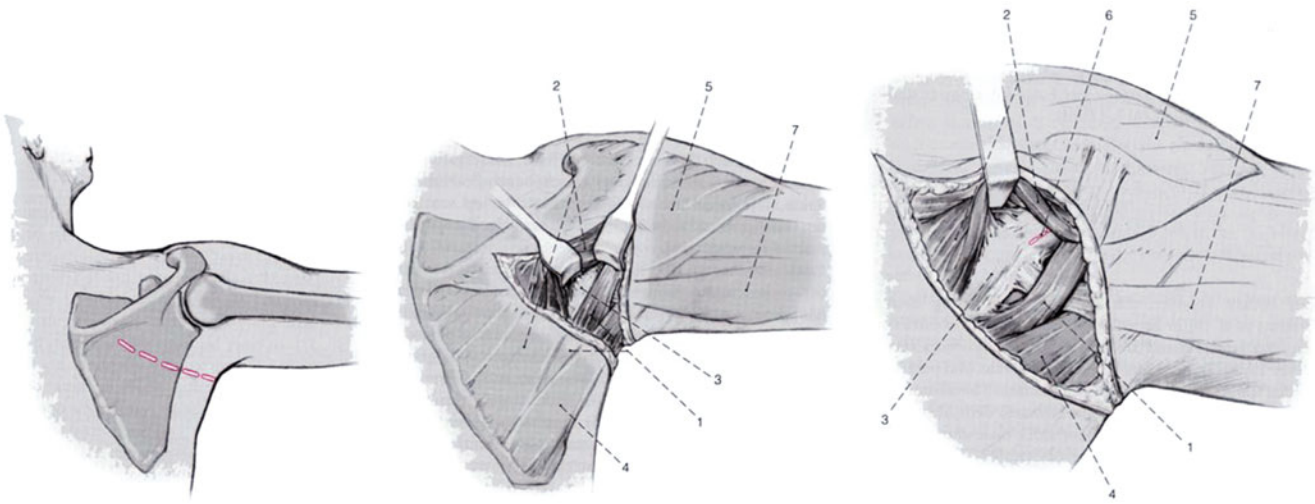
Der Patient wird in Rückenlage gebracht und der Arm auf einem Armtisch oder einer Stütze gelagert.

Zugang

Man orientiert sich an der medialen Begrenzung des Deltamuskels und schneidet von hier aus nach distal entlang der lateralen Begrenzung des M. biceps, bei Bedarf bis in Höhe der Ellenbeuge. Das kraniale Vorgehen entspricht dem beim ventralen Zugang zum Schultergelenk (s. oben). Bei unübersichtlichen Verhältnissen kann es ratsam sein, die Sehne des M. pectoralis zwischen Haltefäden zu spalten. Der M. deltoideus wird nach lateral, der M. biceps zusammen mit der V. cephalica nach medial gehalten. Nun kann der M. brachialis im Faserverlauf bis auf den Knochen gespalten werden, wobei das Ellenbogengelenk angebeugt wird, um den Muskel zu entspannen. Man geht dabei etwas lateral der Mittellinie ein, den Versorgungsgebieten von N. radialis und N. musculocutaneus entsprechend. N. radialis und die laterale Hälfte des M. brachialis kommen lateral, A. brachialis, N. musculocutaneus und N. medianus medial zu liegen. Eine Osteosyntheseplatte lässt sich am besten lateral anlegen (◘ Abb. 21.31).

Wundverschluss

Der Ansatz des Deltamuskels wird reinseriert, die Sehne des M. pectoralis genäht. Redon-Drainagen werden in die Muskellogen gelegt und Subkutis sowie Haut verschlossen.



◘ **Abb. 21.30** Lateraler Zugang zur Margo lateralis der Skapula und dem unteren Teil des Glenoids. links: Hautschnitt. Mitte: Zwischen M. teres minor (*1*) und M. infraspinatus (*2*) wird die Margo lateralis (*3*) der Skapula dargestellt; M. teres major (*4*), M. deltoideus (*5*). Rechts: Die Margo lateralis wird nach kranial verfolgt und der M. deltoideus etwas angehoben, wobei der Verlauf des N. axillaris beachtet werden muss. Die Kapsel (*6*) wird von dorsoinferior inzidiert; M. triceps longus (*7*). (Aus: Wiedemann 2004)

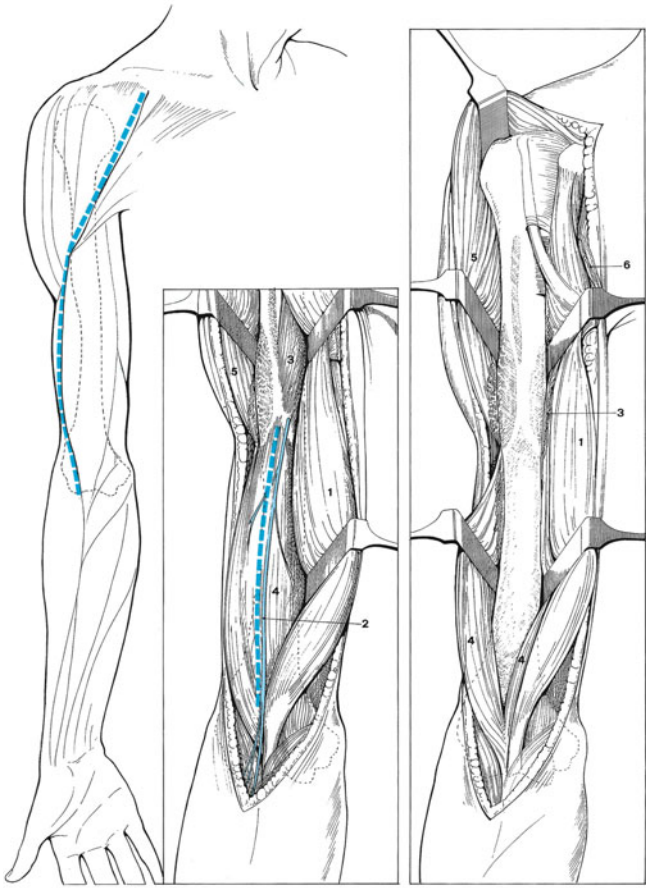


Abb. 21.31 Anteriorer Zugang zum Humerus. *1* M. biceps brachii, *2* N. musculocutaneus, *3* M. coracobrachialis, *4* M. brachialis, *5* M. deltoideus, *6* Pektoralissehne. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

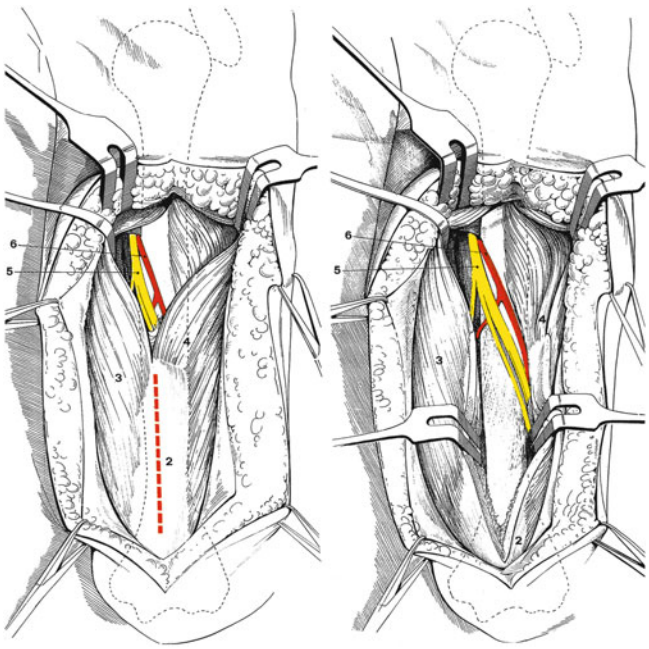


Abb. 21.32 Dorsaler Zugang zum Humerus. *2* Trizepssehne, *3* Caput longum, *4* Caput laterale, *5* N. radialis, *6* A. profunda brachii. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Gefahren

Im distalen Wundwinkel verläuft der N. cutaneus antebrachii lateralis, der dem N. musculocutaneus entspringt. Lateral am Humerus unterhalb des Ansatzes des Deltamuskels muss beim Einsatz von Hohmann-Hebeln bedacht werden, dass hier der N. radialis von der Rückseite des Humerusschafts kommt.

Dorsaler Zugang zum Humerus

Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen, Läsion des N. radialis.

Vorbereitung

Der Patient wird in Bauchlage gebracht. Der Oberarm wird abduziert über einem kurzen Armtisch gelagert, sodass der Unterarm bei 90°-Beugung im Ellenbogengelenk frei herabhängen kann. Man kann den Arm aber auch adduziert und gestreckt lagern, was den Vorteil hat, dass Streckmuskulatur und Nerven spannungsfrei liegen.

Zugang

Die Schnittführung beginnt am Unterrand des M. deltoideus und reicht ggf. bis zum Olekranon. Im kranialen Wundwinkel wird die Faszie zwischen dem Caput longum und laterale des M. triceps inzidiert; dann drängt man von hier aus die beiden Muskelbäuche stumpf auseinander. Weiter distal davon beginnt der Spiegel der Trizepssehne, der unterfahren und scharf längs durchtrennt wird. Nun kann das von proximal-medial nach distal-lateral ziehende Gefäß-Nerven-Bündel mit N. radialis und A. und V. profunda brachii aufgesucht und angeschlungen werden. Dazu löst man distal das Caput laterale des M. triceps vorsichtig vom Septum intermusculare ab. In diesem Bereich tritt der Nerv am Hiatus durch das Septum. Von hier aus kann man das Gefäß-Nerven-Bündel nach proximal entwickeln. Nach sicherer Identifikation des Nervs kann der auf dem Humerus liegende Trizepsanteil, das Caput mediale, gespalten werden. Dabei muss man auf die medial und lateral verlaufenden seitlichen Nervenäste aus dem N. radialis achten (Abb. 21.32).

Wundverschluss

Die gespaltene Muskulatur kann mit einzelnen Nähten locker adaptiert werden. Den Sehnenspiegel des Trizeps näht man hingegen stabil. In die Muskellogen werden Drainagen eingelegt und Subkutis sowie Haut geschlossen.

Gefahren

N. radialis und N. ulnaris können durch Hakendruck und der N. radialis bei der Präparation geschädigt werden.

21.7.2 Ellenbogengelenk

Ventraler Zugang zum Ellenbogengelenk

Indikationen

Processus-coronoideus-Abriss bzw. ventrale Kapselinstabilität, Ruptur der distalen Bizepssehne.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einem Armtisch ausgelagert.

Zugang

S-förmiger Hautschnitt von proximal-lateral nach distal-medial. Quer verlaufende Venen, die den Zugang versperren, werden unterbunden. Dann wird der N. cutaneus antebrachii aus dem N. mus-

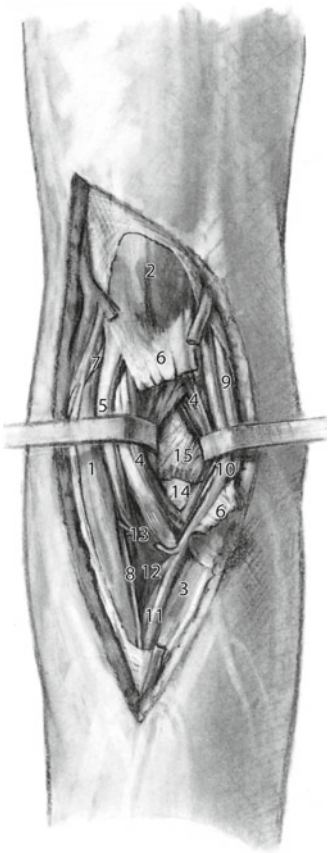


Abb. 21.33 Ventraler Zugang zum Ellenbogengelenk. *1* M. brachioradialis, *2* M. biceps brachii, *3* M. pronator teres, *4* M. brachialis, *5* M. biceps brachii, *6* Lacertus fibrosus, *7* N. cutaneus antebrachii lateralis, *8* N. radialis R. superficialis, *9* N. medianus, *10* A. brachialis, *11* A. radialis, *12* A. ulnaris, *13* A. recurrens radialis, *14* Processus coronoideus ulnae, *15* Gelenkkapsel. (Aus: Rüedi et al. 1984)

culocutaneus dargestellt, um ihn sicher schonen zu können. Anschließend wird die Faszie zwischen den Mm. brachioradialis und brachialis gespalten. Zwischen beiden Muskeln gelangt man auf den N. radialis und dessen Aufzweigungen. Im medialen Wundwinkel liegen A. und V. recurrens radialis, die unterbunden werden. Zwischen Unterarmbeugern und -streckern kann bei supiniertem Unterarm der Ansatz der distalen Bizepssehne an der Tuberositas radii dargestellt werden. Soll das Gelenk eröffnet werden, wird ebenfalls bei supiniertem Unterarm der M. supinator möglichst weit ulnar abgelöst, um den R. profundus n. radialis nicht zu verletzen, und nach radial beiseite gehalten. Dann kann die Gelenkkapsel längs gespalten werden (Abb. 21.33). Die Präparation in Kapselnähe wird vereinfacht, wenn man die beugeseitigen Strukturen durch Anbeugen im Ellenbogengelenk entspannt.

Wundverschluss

Die Gelenkkapsel wird dicht genäht. Die Muskellogen werden drainiert und Subkutis sowie Haut adaptiert.

Gefahren

Der N. cutaneus antebrachii und der R. profundus n. radialis sind gefährdet sowie A. brachialis und N. medianus.

Radialer Zugang zum Ellenbogengelenk

Indikationen

Radiushals- oder -kopffrakturen, Abriss des Epicondylus radialis humeri, Kapsel-Band-Rupturen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einem Armtisch ausgelagert.

Zugang

Der Schnitt beginnt knapp kranial des Epicondylus radialis in der Furche zwischen den Mm. triceps und brachioradialis, zieht über die Spitze des Epikondylus und biegt über den hinteren Rand des Radiuskopfs in Längsrichtung des Unterarms ab. Er endet etwa 3–4 cm distal des Gelenkspalts. Um den Radiuskopf räumlich orten zu können, tastet man diesen zwischen Daumen und Zeigefinger der einen Hand, während man mit der anderen Hand den Unterarm des Patienten hin- und herdreht. Anschließend wird die Streckermuskulatur zwischen den Mm. anconeus und extensor carpi ulnaris vom Epicondylus radialis bis zum Hinterrand des Radiuskopfs gespalten. Bei diesem Zugang besteht ein ausreichender Sicherheitsabstand zum N. radialis. Nach Spaltung des Ligamentum anulare und der lateralen Gelenkkapsel lassen sich der Radiuskopf und der dorsale Gelenkabschnitt gut einsehen. Gegebenenfalls können das radiale Kollateralband und die angrenzenden Muskelurspünge subperiostal nach ventral und dorsal scharf vom Epikondylus abgelöst werden. Distal kann der Radiushals dargestellt werden. Zur Darstellung der Fossa olecrani geht man hinter dem Hauptzügel des radialen Kollateralbandes ein, der im Verbund mit dem Epikondylus belassen bleibt (Abb. 21.34).

Wundverschluss

Bei Bedarf wird eine Redon-Drainage intraartikulär platziert. Das Ligamentum anulare wird mit einem nichtresorbierbaren monofilen atraumatischen Faden beispielsweise der Stärke 0 genäht. Es wird Stoß auf Stoß adaptiert, damit es durch die Naht nicht gerafft wird. Die kranial gelegene Gelenkkapsel wird ebenfalls genäht. Anschließend versorgt man die längs gespaltenen Muskelursprünge. Nach Einlegen einer subkutanen Drainage werden Subkutis und Haut versorgt.

Gefahren

Die Muskulatur kann nur bis maximal handbreit proximal des Epikondylus abgelöst werden, ohne den N. radialis zu gefährden. Aus demselben Grund sollte distal beim Zugehen auf den Radiuskopf möglichst dorsal und knochennah präpariert werden.

Ulnarer Zugang zum Ellenbogengelenk

Indikationen

Abriss des Epicondylus ulnaris humeri, Kollateralbandriss, Sulcus-ulnaris-Syndrom.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einem Armtisch ausgelagert.

Zugang

Vom Epicondylus ulnaris aus wird einige Zentimeter nach proximal und distal ein gerader oder leicht gebogener Hautschnitt gesetzt. Zunächst muss der N. ulnaris dargestellt werden, um ihn sicher schonen zu können. Dabei muss insbesondere bei schlanken Personen vorsichtig vorgegangen werden, da der Nerv unmittelbar unter dem Hautfaszienniveau liegt. Die Faszie, die ihn bedeckt, wird zunächst suprakondylär, dorsal des Septum intermusculare gespalten. Dort wird der Nerv freigelegt, angeschlungen und nach distal aus seinem Sulkus mobilisiert, indem man die sich segelartig anspannende Aponeurose zwischen dem humeralen und ulnaren Ursprung des M. flexor carpi ulnaris in Längsrichtung spaltet. Dabei muss man auf die den M. flexor carpi ulnaris versorgenden Äste achten. Ein sensibler Ast, der im Bereich des Sulkus zur Gelenkkapsel zieht, kann geopfert werden. Nach Darstellung des Nervs wird der sehnige Ursprung der Beugemuskulatur vom Epicondylus ulnaris durch Längsinzision und

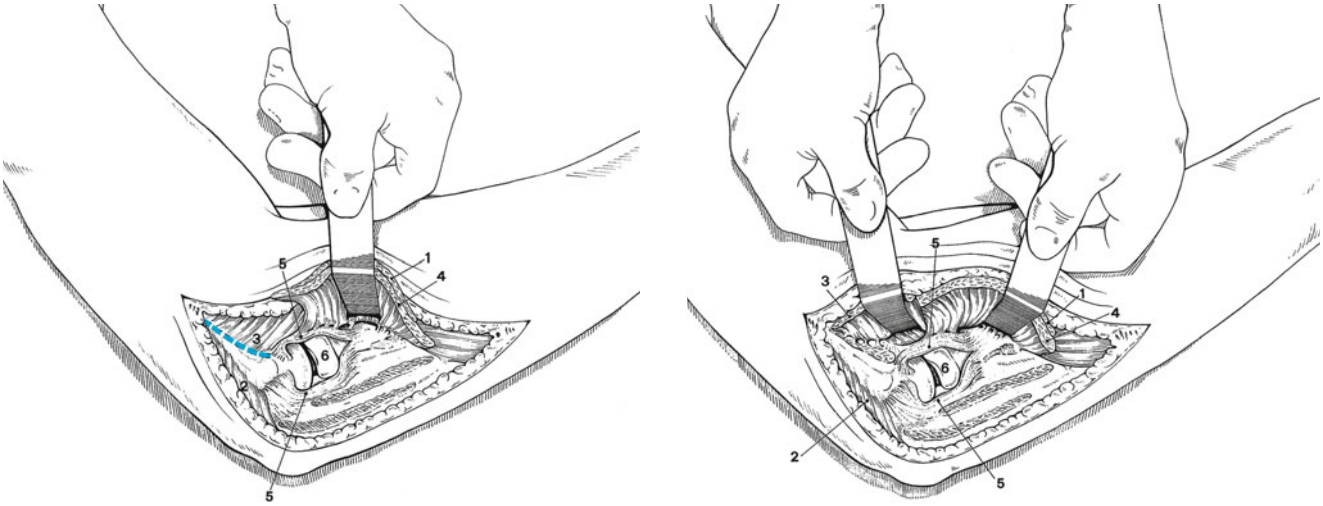


Abb. 21.34 Radialer Zugang zum Ellenbogengelenk. *1* M. anconeus, *2* M. triceps brachii, *3* M. brachioradialis, *4* M. supinator, *5* Gelenkkapsel, *6* Radiuskopf. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

subperiostales Ablösen mobilisiert. Dies kann jedoch auch durch Abmeißeln des knöchernen Ursprungs oder bloßes Kerben der Aponeurose geschehen. Dann wird die Gelenkkapsel beugeseitig subperiostal abgehoben. Einen noch größeren Überblick erhält man durch Kerbung des ulnaren Kollateralbandes. Nach proximal kann der Zugang durch subperiostales Ablösen der Mm. brachialis und triceps erweitert werden (Abb. 21.35).

Wundverschluss

Die abgelösten Kapsel-Band-Strukturen werden stabil, ggf. transossär refixiert. Gelenkraum und Muskellogen werden drainiert und Subkutis sowie Haut genäht.

Gefahren

Beim Zugang ist der N. ulnaris gefährdet. Bei der ventralen Mobilisierung der Kapsel kann der N. medianus durch Hakendruck geschädigt werden. Wenn der abgelöste Beugerursprung zu weit nach distal mobilisiert wird, können motorische Fasern abreißen.

Dorsaler Zugang zum Ellenbogengelenk

Indikationen

Frakturen des distalen Humerus, Olekranonfrakturen, Ellenbogengelenkluxationen.

Vorbereitung

Bei Frakturen des distalen Humerus wird der Patient in Bauchlage gebracht. Der Oberarm wird abduziert über einem kurzen Armtisch gelagert, sodass der Unterarm bei 90°-Beugung im Ellenbogengelenk frei herabhängt. Bei einfachen Olekranonfrakturen kann der Patient auch in Rückenlage mit vor dem Brustkorb gelagertem Arm versorgt werden.

Zugang

Wenn lediglich eine Olekranonfraktur zu versorgen ist, genügt ein kleiner Zugang in Längsrichtung über dem Bruchbereich, wobei der Ellenhaken radial umschnitten wird, damit beim späteren Abstützen auf dem Ellenbogen nicht der Narbenbereich belastet wird. Wenn der distale Humerus dargestellt werden soll, wählt man den

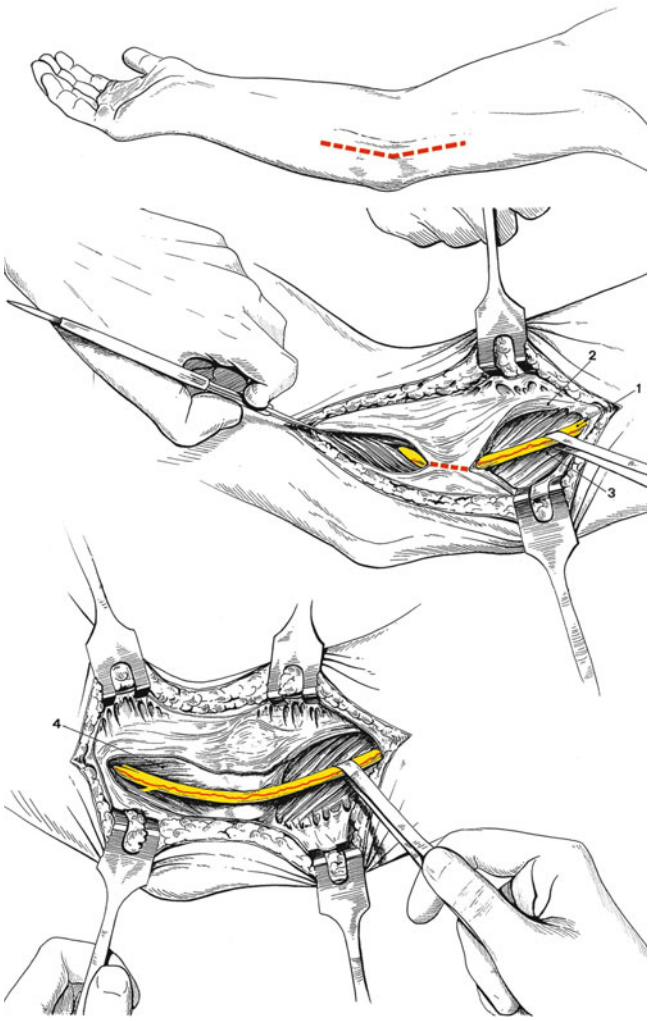


Abb. 21.35 Ulnarer Zugang zum Ellenbogengelenk. *1* N. ulnaris, *2* Septum intermusculare, *3* M. triceps brachii, *4* M. flexor carpi ulnaris. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

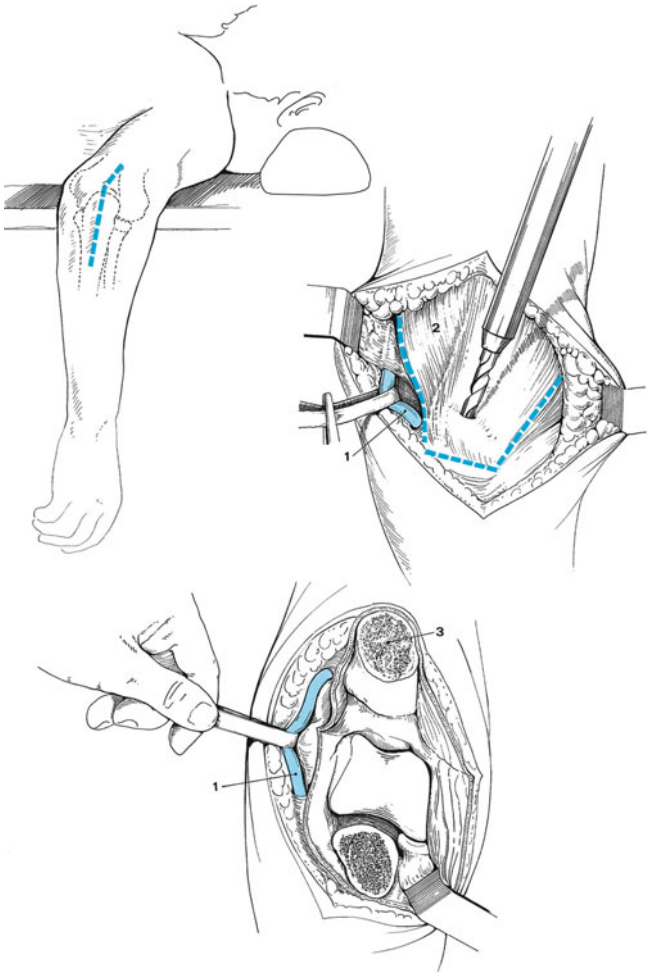


Abb. 21.36 Dorsaler Zugang zum Ellenbogengelenk. *1* N. ulnaris, *2* M. triceps brachii, *3* Olekranonosteotomie. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Zugang größer. Man setzt einen geraden Schnitt, der 10 cm proximal des Olekranons beginnt und fast ebenso weit entlang der dorsalen Kante der Ulna nach distal reicht. Die Olekranonspitze wird radial umschnitten, damit die Narbe nicht auf der mehr belasteten ulnaren Seite zu liegen kommt. Dann präpariert man auf epifaszialem Niveau einen Weichteillappen bis zum Sulcus ulnaris und stellt den N. ulnaris dar, wie es für den ulnaren Zugang beschrieben wurde (s. oben). Anschließend wird das Gelenk eröffnet.

Um einen guten Überblick über die Gelenkflächen zu bekommen, wird die Trizepssehne V-förmig gespalten oder das Olekranon osteotomiert. Wenn ein relativ begrenzter Einblick ausreicht, genügt es, die Sehne radial und ulnar im Bereich ihres Übergangs zur angrenzenden Muskulatur längst zu spalten (Abb. 21.36).

Anderenfalls wird die Sehne V-förmig durchtrennt. Die Spitze des V soll etwa 8 cm oberhalb des Olekranons zu liegen kommen. Der Sehnen-Muskel-Lappen wird mit einer Haltenaht angeschlungen und nach distal soweit von den angrenzenden Muskeln abgelöst, dass etwa 2 cm der Olekranonspitze sichtbar werden. Die Basis des Sehnenlappens soll dabei möglichst breit werden, damit eine ausreichende Durchblutung gewährleistet ist.

Die Osteotomie des Olekranons kann auf die Fälle beschränkt werden, in denen die gesamte Trochlea einsehbar sein muss. Die Basis des Olekranons wird dann ebenfalls V-förmig osteotomiert, um die spätere Reposition zu erleichtern. Das V wird mit der oszillierenden Säge vorgeschnitten und das letzte Viertel der Knochendicke mit dem Meißel osteotomiert, um im Bereich der Gelenkfläche beim nachfolgenden Wundverschluss eine anatomische Reposition zu erhalten.

Wenn der proximale Ulnaschaft und der Radiuskopf dargestellt werden müssen, löst man den M. anconeus von der Ulna ab und kann den Schnitt entlang von deren radialer Kante nach distal verlängern. Bei Bedarf können das Ligamentum anulare und der M. supinator bei proniertem Unterarm zusätzlich inzidiert werden. Der Zugang lässt sich nach proximal durch Längsspaltung des Trizeps einfach erweitern (s. dorsaler Zugang zum Humerus).

Wundverschluss

Der Gelenkraum und die Muskellogen werden drainiert. Die inzidierte Kapsel, der M. anconeus, das Ligamentum anulare und die Trizepssehne werden genäht. Ein osteotomierter Ellenhaken wird mittels Zuggurtung refixiert. Die Zuggurtung kann aus 2 parallelen K-Drähten oder einer 6,5er Spongiosazugschraube bestehen, jeweils mit streckseitig, in Achtertour gelegter Cerclage.

Gefahren

Der N. ulnaris ist gefährdet und muss deshalb dargestellt werden. Um den N. radialis sicher zu schonen, wird der M. supinator bei Bedarf möglichst dorsal und knochennah bei proniertem Unterarm abgelöst. Nach V-förmiger Spaltung der Trizepssehne kann der Sehnenlappen nekrotisch werden. Nach Osteotomie des Olekranons kann sich eine Pseudarthrose bilden.

21.7.3 Radius

Volarer Zugang zum Radius

Indikationen

Frakturen und Pseudarthrosen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Abhängig vom Ort des Geschehens wird eine entsprechend dimensionierte Schnittlänge im Verlauf einer gedachten Linie zwischen Epicondylus radialis und Processus styloideus radii gewählt. Der Unterarm ist dabei supiniert. Nach Spalten des Subkutangewebes wird zunächst der N. cutaneus antebrachii aufgesucht, der auf dem M. brachioradialis nach distal zieht, um ihn sicher schonen zu können. Dann geht man zwischen M. brachioradialis und den Unterarmbeugern ein. Auf der Unterseite des M. brachioradialis verläuft der R. superficialis des N. radialis. In der Tiefe kommt nun die A. radialis mit begleitenden Venen zur Darstellung. Die Muskeln werden weiter auseinander gedrängt und die nach radial abgehenden Äste der A. und V. radialis ligiert. Der R. superficialis wird nach radial, die Gefäße werden nach ulnar verlagert.

Den proximalen Schaftanteil kann man gefahrlos darstellen, wenn man bei supiniertem Unterarm den M. supinator subperiostal vom ulnaren Rand des Radius ablöst, denn der R. profundus verläuft in diesem Muskel. Zum mittleren Schaftanteil geht man zwischen M. brachioradialis und M. flexor carpi radialis stumpf in die Tiefe. Die Mm. pronator teres und flexor digitorum superficialis werden bei leicht proniertem Unteram von radial nach ulnar, ebenfalls subperiostal abgeschoben.

Der distale Schaftanteil kann durch Abschieben, wiederum von radial, des M. pronator quadratus und flexor pollicis longus

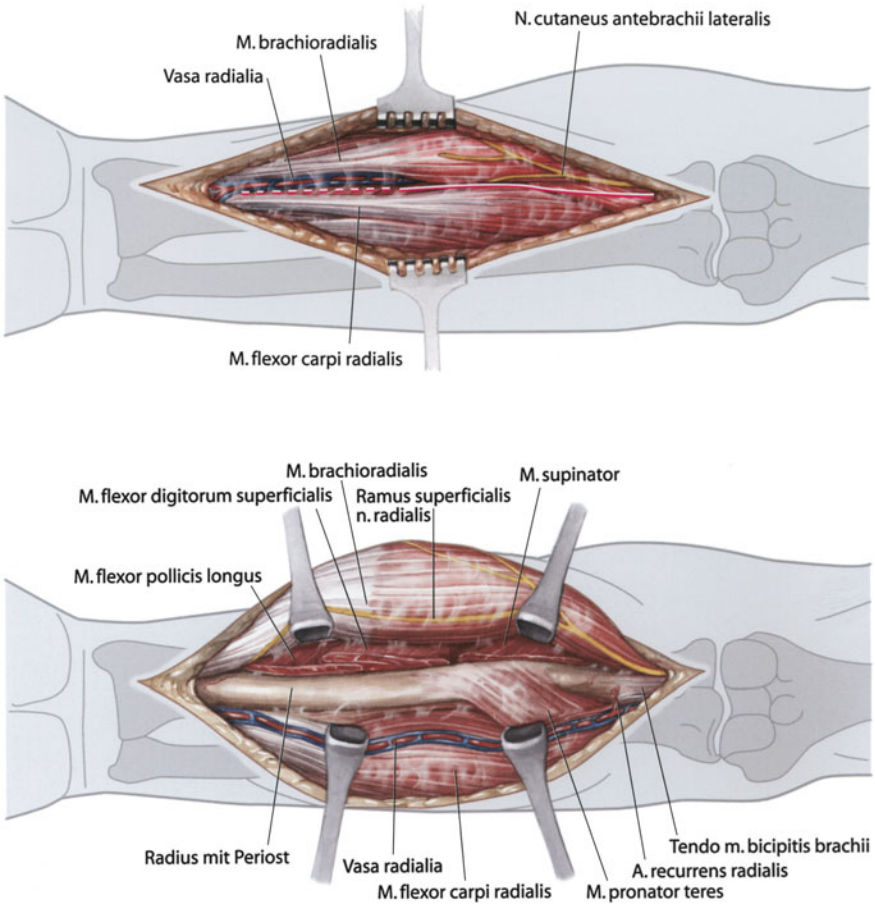


Abb. 21.37 Volarer Zugang zum Radius. (Aus: Oestern 2001)

dargestellt werden, dabei muss man sich den Verlauf der A. radialis vergegenwärtigen. Zur Montage von Osteosyntheseplatten müssen die Sehnen der Mm. abductor pollicis longus und extensor pollicis brevis, die den Radiusschaft an distaler Viertelgrenze kreuzen, angeschlungen werden, um die Platte darunter durchschieben und festschrauben zu können (Abb. 21.37).

Wundverschluss

Knochennah abgelöste Muskeln werden, soweit möglich, reinseriert und die Muskellogen drainiert. Bei frischen Verletzungen soll die Faszie nicht genäht werden, weil dadurch ein Kompartment-Syndrom provoziert werden kann. Lediglich Subkutis und Haut werden adaptiert.

Gefahren

Da der N. radialis durch Hakendruck gefährdet ist, empfiehlt es sich, am proximalen Schaft keine Hohmann-Hebel zu verwenden. Auch der R. superficialis an der Unterseite des M. brachioradialis kann durch Hakendruck geschädigt oder bei der Präparation direkt verletzt werden. Eine Verletzung der A. radialis ist insbesondere proximal möglich. Um dies zu vermeiden, stellt man sich die Arterie am besten im Bereich der distalen Bizepssehne dar, an dem die Arterie ulnar vorbei zieht.

Volarer Zugang zur Radiusbasis

Indikationen

Frakturen und Korrekturosteotomie fehlverheilter Brüche.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Ulnar der Sehne des M. flexor carpi radialis wird ein gerader, etwa 8 cm langer Schnitt gesetzt. Durch das Sehnenfach wird auf den M. pronator quadratus präpariert, dieser an der radialen Kante der Radiusbasis inzidiert und nach ulnar abgeschoben. Der Zugang kann, wie oben für den volaren Zugang zum Radius beschrieben, nach proximal erweitert werden. Bei einer etwaigen Erweiterung nach distal soll die Handgelenkbeugefalte nicht gerade durchtrennt werden, sondern Z-förmig (Abb. 21.38, vgl. Abb. 21.42).

Wundverschluss

Der M. pronator quadratus sollte möglichst refixiert werden, was aber insbesondere nach Positionieren einer Platte erschwert sein kann. Außerdem ist die Gefahr groß, dass bei dem Versuch, radial ein suffizientes Nahtlager zu stechen, die A. radialis verletzt wird. Wenn die Refixierung nicht gelingt, wird der Muskel lediglich über die Platte gelegt, eine Drainage positioniert und nach proximal ausgeleitet sowie Subkutis und Haut adaptiert.

Gefahren

Wenn die distale Handgelenkbeugefalte gerade durchschnitten wird, droht eine narbige Verkürzung. Um den N. medianus und den Ast, der den Thenar versorgt, sicher schonen zu können, muss

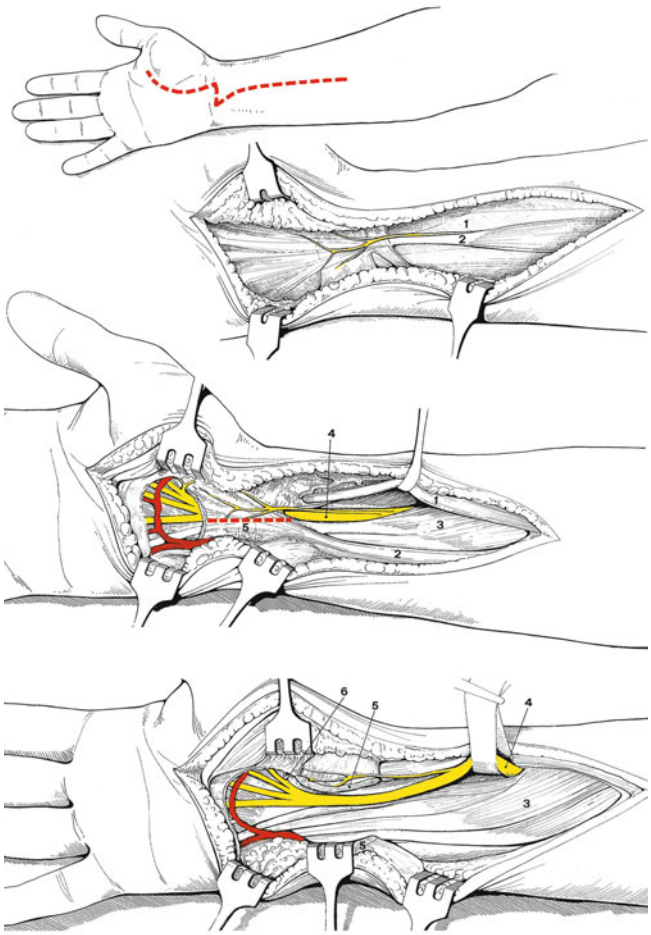


Abb. 21.38 Volarer Zugang zur Radiusbasis. Nicht die gesamte dargestellte Schnittlänge wird ausgenutzt, sondern jeweils nur der benötigte Abschnitt. Die distale Handgelenkbeugefalte wird Z-förmig überbrückt (vgl. Abb. 21.41), damit keine narbige Striktur entstehen kann. *1* M. flexor carpi radialis, *2* M. palmaris longus, *3* M. flexor digitorum superficialis, *4* N. medianus, *5* Ligamentum carpi transversum, *6* Nebenast des N. medianus zur Thenarmuskulatur. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

ulnar der Sehne des M. flexor carpi radialis eingegangen werden. Bei der Ablösung des M. pronator quadratus darf man nicht zu weit nach radial präparieren, denn dort verläuft die A. radialis. Ohne Blutsperre zu operieren, hat den Vorteil, die Arterie gut tasten zu können. Wird hingegen in Blutsperre operiert, kann sie im Zweifelsfall kurz geöffnet werden, um den Verlauf der Arterie palpatorisch orten zu können. Wenn das Karpaltunnel gespalten werden muss, darf dies nicht in Verlängerung des volaren Zugangs zur Radiusbasis erfolgen, sondern nur über einen gesonderten Zugang nach ulnar versetzt und nach Z-förmiger Überbrückung der Handgelenksbeugefalte, sonst ist der Thenarast des N. medianus gefährdet (▶ 21.8.1 Palmarer Zugang zum Handgelenk)

Dorsaler Zugang zum Radius

Indikationen

Frakturen und Pseudarthrosen im mittleren und distalen Schaftdrittel.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Abhängig vom Ort des Geschehens wird eine entsprechend dimensionierte Schnittlänge auf einer gedachten Linie zwischen Epicondylus radialis und dorsaler distaler Radiusbasis gewählt. Nach Spalten der Unterarmfaszie wird zwischen M. extensor digitorum communis und dem M. extensor carpi radialis brevis eingegangen. Die den distalen Schaft kreuzenden Mm. abductor pollicis longus und extensor pollicis brevis werden unterfahren und angeschlungen, damit sie bei Bedarf nach proximal und distal beiseite gehalten werden können. Falls der proximale Schaftanteil mit dargestellt werden muss, wird, wie für den volaren Zugang beschrieben, der M. supinator vom ulnaren Rand des Schafts in Supinationsstellung des Unterarms streng subperiostal abgeschoben.

Da man bei diesem Zugang dem tiefen Radialisast wesentlich näher ist als beim volaren Vorgehen, empfiehlt es sich, den R. profundus des N. radialis freizulegen, um ihn sicher schonen zu können. Dazu wird der Nervenast zunächst an seinem Durchtrittspunkt zwischen dem oberflächlichen und tiefen Kopf des M. supinator dargestellt und anschließend nach proximal verfolgt. Dieses Vorgehen ist auch deshalb günstig, weil in einem Viertel der Fälle der R. superficialis direkt auf dem Periost liegt und beim subperiostalen Abschieben des M. supinator verletzt werden kann (Abb. 21.39).

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt so, wie es oben für den volaren Zugang zum Radius beschrieben wurde.

Gefahren

Eine Verletzung des R. profundus des N. radialis kann durch Freilegung des Nervs vermieden werden. Wenn der Zugang nicht zum Speichengriffel, sondern zur dorsalen Mitte der Radiusbasis zieht, ist die Gefahr geringer, den oberflächlichen Ast des N. radialis zu verletzen. Bei der Präparation des distalen Endes des Radiusschafts kann die Sehne des M. extensor pollicis longus geschädigt werden.

Dorsaler Zugang zur Radiusbasis

Indikationen

Frakturen und Korrekturosteotomie fehlverheilter Brüche, Luxationen im Handwurzelbereich, Sehnenrupturen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Über der Radiusbasis wird ein gerader Schnitt gesetzt und der R. superficialis n. radialis und evtl. auch der R. dorsalis n. ulnaris identifiziert. Das Retinaculum extensorum wird inzidiert. Nun liegen die 6 Strecksehnenfächer frei. Im Einzelnen handelt es sich um die Sehnen folgender Muskeln:

1. Mm. abductor pollicis longus und extensor pollicis brevis
2. Mm. extensores carpi radiales
3. M. extensor pollicis longus
4. Mm. extensor indicis und extensor digitorum
5. M. extensor digiti minimi
6. M. extensor carpi ulnaris

Zwischen dem 1. und 2. Strecksehnenfach gelangt man auf die Radiusbasis, zwischen dem 2. und 3. auf die Gelenkkapsel, zu welcher der N. interosseus posterior zieht. Das Gelenk kann breit eröffnet werden, indem man eine T-förmige Inzision anlegt. Der

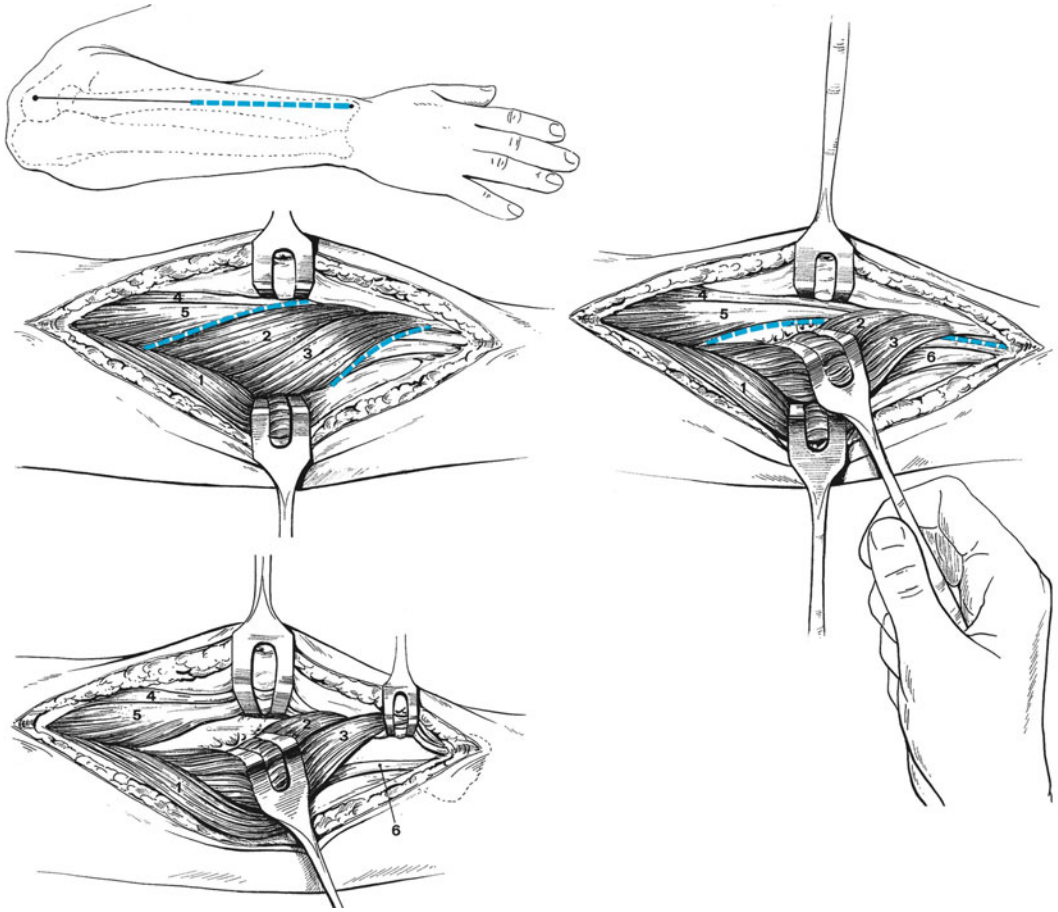


Abb. 21.39 Dorsaler Zugang zum Radius. *1* M. extensor digitorum, *2* M. abductor pollicis longus, *3* M. extensor pollicis brevis, *4* M. extensor carpi ulnaris longus, *5* M. extensor carpi ulnaris brevis, *6* M. extensor pollicis longus. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

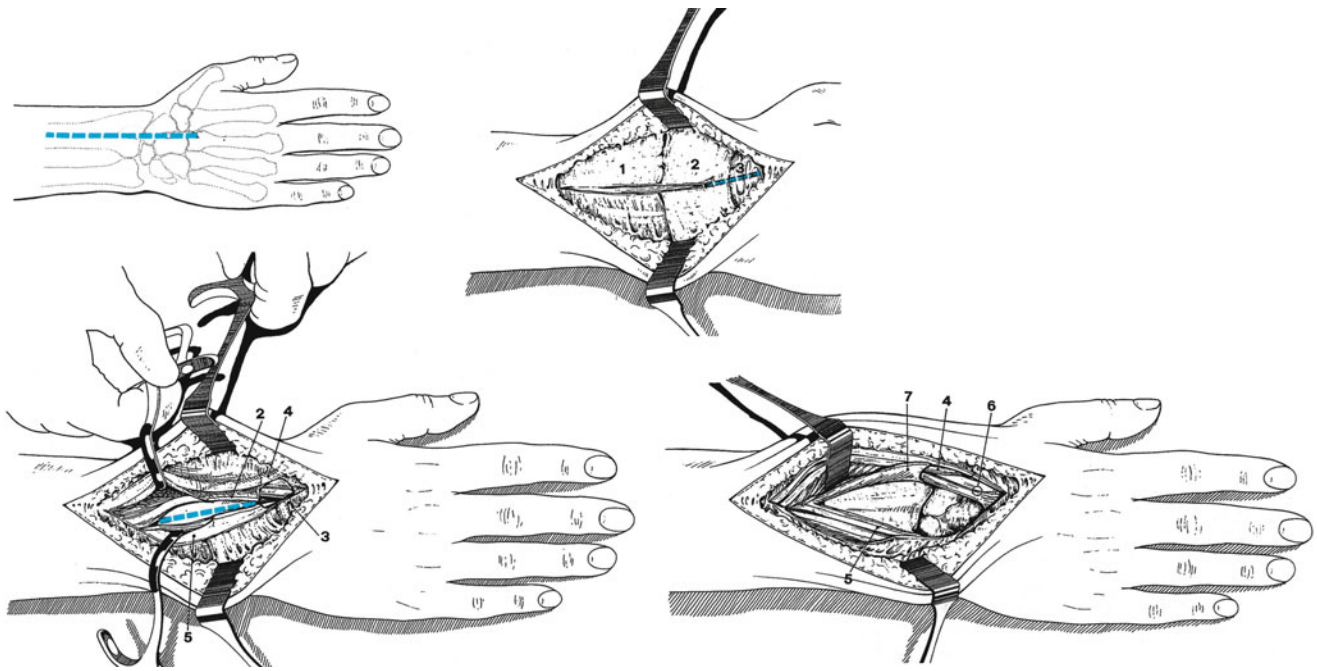


Abb. 21.40 Dorsaler Zugang zur Radiusbasis. *1* Fascia antebrachii, *2* Ligamentum carpidorsale, *3* Aponeurosis dorsalis, *4* M. extensor pollicis longus, *5* M. extensor digitorum, *6* Mm. extensores carpi radiales, *7* Periost. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

lange Schenkel verläuft über der Radiusbasis, der kurze quer über Gelenkspaltniveau. Gelenkkapsel und Periost werden nach beiden Seiten mobilisiert, um einen ausreichenden Einblick in das Gelenk zu erhalten (Abb. 21.40).

Wundverschluss

Die Gelenkkapsel bzw. das Periost und das Retinaculum extensorum werden genäht, der Situs drainiert und Subkutis sowie Haut adaptiert.

Gefahren

Der R. superficialis n. radialis und der R. dorsalis n. ulnaris sind gefährdet sowie die Strecksehnen im Zugangsbereich.

21.7.4 Ulna

Dorsaler Zugang zur Ulna

Indikationen

Frakturen und Pseudarthrosen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

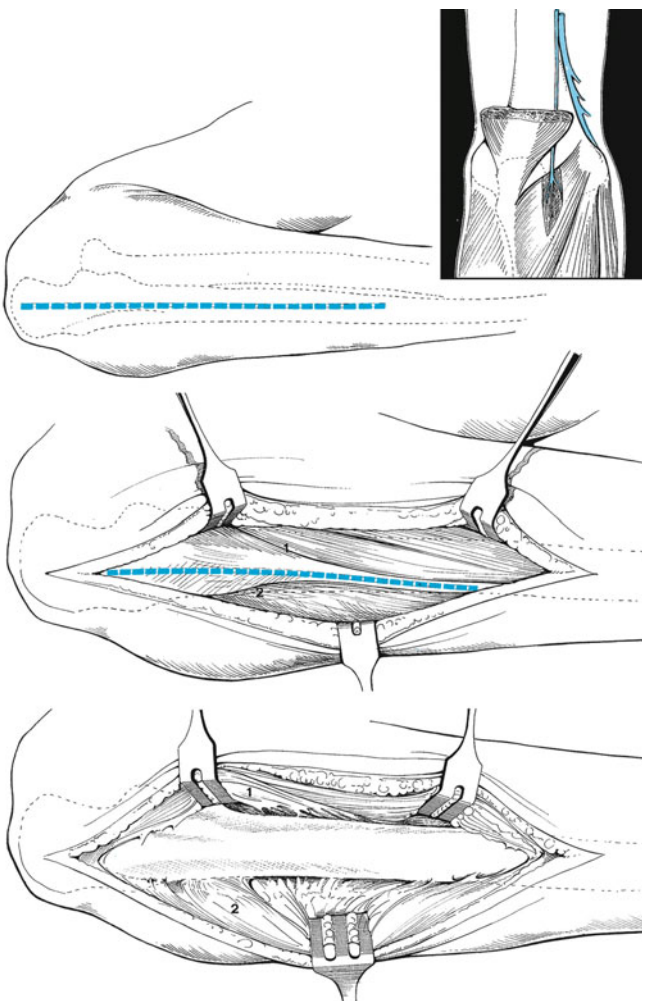


Abb. 21.41 Dorsaler Zugang zur Ulna. *1* M. extensor carpi ulnaris, *2* M. flexor carpi ulnaris. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Zugang

Je nach Lokalisation der Verletzung wird eine entsprechend dimensionierte Schnittlänge entlang der dorsalen Kante der Elle zwischen Olekranon und Processus styloideus ulnae gewählt. Die Muskulatur wird nur soweit abgeschoben, dass die Platte streckseitig angelagert werden kann (Abb. 21.41).

Wundverschluss

Bei frischen Verletzungen bleibt die Faszie offen. Eine Redon-Drainage wird subkutan eingelegt. Subkutis und Haut werden adaptiert.

Gefahren

Beugeseitig verlaufen im M. flexor carpi ulnaris A. und N. ulnaris. Distal muss auf den R. dorsalis n. ulnaris geachtet werden.

21.8 Hand

C. Schuster

21.8.1 Handgelenk, Handwurzel

Palmarer Zugang zum Handgelenk

Indikationen

Frakturen und Luxationen im Handwurzelbereich, Karpaltunnelsyndrom.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Zur Darstellung der Handwurzel geht man proximal zwischen den Sehnen von M. flexor carpi ulnaris und palmaris longus ein, folgt kurzstreckig dem Verlauf der distalen Handgelenkbeugefalte (Rascetta) nach radial und führt den Schnitt in der Linea vitalis weiter. Zur bloßen Spaltung des Karpaldachs reicht dem erfahrenen Operateur auch ein etwa 2 cm langer Zugang im Bereich der Linea vitalis, der über dem 3. Mittelhandstrahl liegt. Zur Exposition der Handwurzel wird der gesamte Schnittverlauf ausgenutzt. Die Beugesehnen der Langfinger werden nach ulnar, die Beugesehne des Daumens samt N. medianus nach radial gehalten. Die Gelenkkapsel wird über einen geraden Schnitt eröffnet. Kapsel-Band-Strukturen werden mit Haltefäden armiert und scharf subperiostal abgelöst (Abb. 21.38).

Wundverschluss

Die eröffnete Kapsel wird genäht, das gespaltene Karpaldach jedoch immer offen gelassen. Eine Redon-Drainage wird in den Situs eingelegt, Subkutis und Haut werden genäht.

Gefahren

Die Handgelenkbeugefalten dürfen wegen möglicher Narbenkontrakturen nicht gerade, sondern nur Z- oder S-förmig gekreuzt werden. Bei radialer Schnittführung kann der R. palmaris n. mediani verletzt werden, deshalb sollte grundsätzlich nur ulnar eingegangen werden. Bei unzureichender Sicht am distalen Rand des Tunneldachs sind ebenfalls Nerven und Gefäße in Gefahr. Der N. medianus kann durch Hakendruck bei der Darstellung der Handwurzel geschädigt werden.

Palmarer Zugang zur Guyon-Loge

Indikationen

Kompressionssyndrom des N. ulnaris.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Radial des Os pisiforme wird ein bajonettförmiger Hautschnitt gesetzt. Dann spaltet man die Unterarmfaszie proximal und sucht A. und N. ulnaris auf. Anschließend werden distal davon die Fasern zwischen Palmaraponeurose und Hypothenar, das Ligamentum carpi volare, gespalten und die Aufzweigung des N. ulnaris in oberflächlichen und tiefen Ast dargestellt. Der tiefe Ast zieht in den M. opponens digiti quinti, der über dem Verlauf des Nervs eingekerbt wird (Abb. 21.42).

Wundverschluss

Das Logendach bleibt offen, der Situs wird drainiert und Subkutis sowie Haut werden genäht.

Gefahren

Die genannten neurovaskulären Strukturen sind bei der Präparation gefährdet.

Palmarer Zugang zum Skaphoid

Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen, Luxationen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Knapp radial und palmar der Sehne des M. flexor carpi radialis wird ein kurzer gerader Zugang bis etwa 3 cm proximal des Tuberkulum vom Skaphoid geschaffen, um dann distal leicht bogenförmig nach radial umzubiegen. Radial oder ulnar der Sehne des M. flexor carpi radialis geht man ein, kerbt den proximalen Rand des Retinaculum flexorum und hält die Fingerbeuger und den N. medianus nach ulnar beiseite. Die Gelenkkapsel wird in Längsrichtung gespalten (Abb. 21.43).

Es sind auch Zugänge durch die Tabatière oder von radiodorsal beschrieben. In der Tabatière geht man zwischen langem und kurzem Daumenstrecker ein, wobei der Mittelpunkt des Hautschnitts über das Tuberculum ossis scaphoidei gelegt wird. Oder es wird ein bogenförmiger Schnitt von der Tabatière aus quer nach dorsal in die Nähe des radialen Handgelenkspalts weitergeführt, das Retinaculum extensorum gespalten und zwischen kurzem und langem Daumenstrecker auf das Skaphoid präpariert. Nachteile beider Zugänge sind, dass sensible Hautäste leicht verletzt werden können und die A. radialis die Zugangsebene kreuzt. Überdies hat man beim palmaren Zugang die beste Arbeitsrichtung insbesondere für die Schraubenosteosynthese, weil das Skaphoid in der Handwurzel ja nicht nur nach radial, sondern auch nach palmar gekippt steht.

Wundverschluss

Naht der Kapsel und der Haut.

Gefahren

Gefährdete Strukturen sind die A. radialis und der N. medianus.

Dorsale Zugänge zur Metakarpale-I-Basis

Indikationen

Bennett-, Rolando- und Winterstein-Fraktur.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Über der Basis des 1. Mittelhandknochens wird am radialen Rand der Tabatière ein kurzer Längsschnitt gesetzt und ein zusätzlicher zweiter Schnitt am ulnaren Rand. Dadurch wird die so genannte Bennett-Ecke besser zugänglich und die Reposition erleichtert. Nach Darstellung des subkutanen radialen Nervenasts wird die

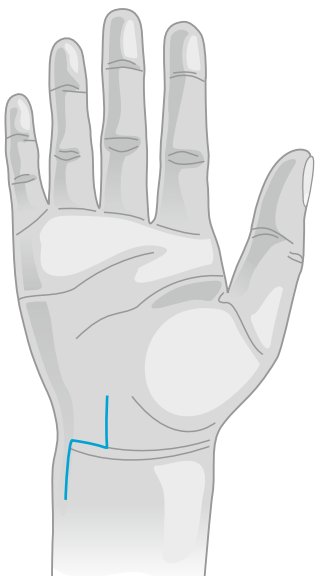


Abb. 21.42 Palmarer Zugang zur Guyon-Loge

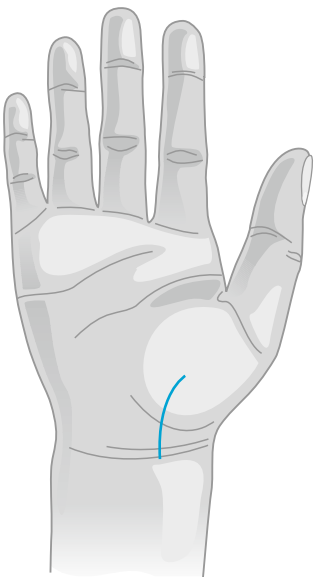


Abb. 21.43 Palmarer Zugang zum Skaphoid

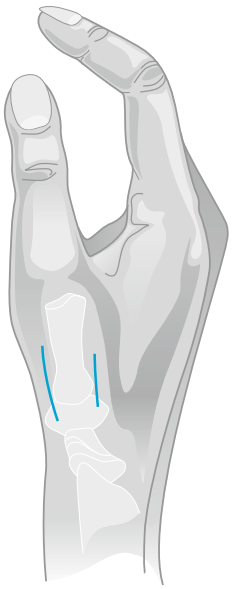


Abb. 21.44 Dorsale Zugänge zur Metakarpale-I-Basis

Muskulatur vom 1. Mittelhandknochen abgeschoben und das Gelenk eröffnet (Abb. 21.44).

Wundverschluss

Naht der Gelenkkapsel und der Haut.

Gefahren

Die streckseitig verlaufenden sensiblen Hautäste sind gefährdet.

21.8.2 Hohlhand und Finger

Dorsoulnarer Zugang zum Daumengrundgelenk

Indikation

Ruptur des ulnaren Kollateralbandes.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Der Hautschnitt wird dorsoulnar um das Grundgelenk herumgeführt und der im Subkutangewebe dorsoulnar verlaufende Ast des Ramus superficialis n. radialis identifiziert. Die Aponeurose des M. adductor pollicis, die zur Grundgliedbasis zieht, liegt über dem Kollateralband. Sie muss parallel zur Daumenachse zwischen Haltefäden durchtrennt werden (Abb. 21.45).

Wundverschluss

Beim Wundverschluss wird die Adduktoraponeurose wieder vereinigt, eine dünne Drainage eingelegt und die Haut genäht.

Gefahren

Der dorsoulnar verlaufende Nervenast ist gefährdet.

Palmare Zugänge

Zur Schnittführung bei palmaren Zugängen im Bereich der Hohlhand und der Finger (Abb. 21.46).

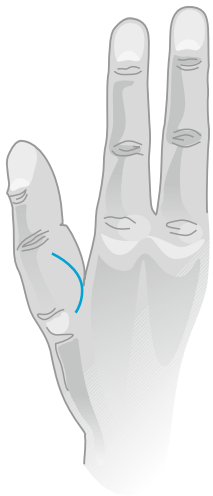


Abb. 21.45 Dorsoulnarer Zugang zum Daumengrundgelenk

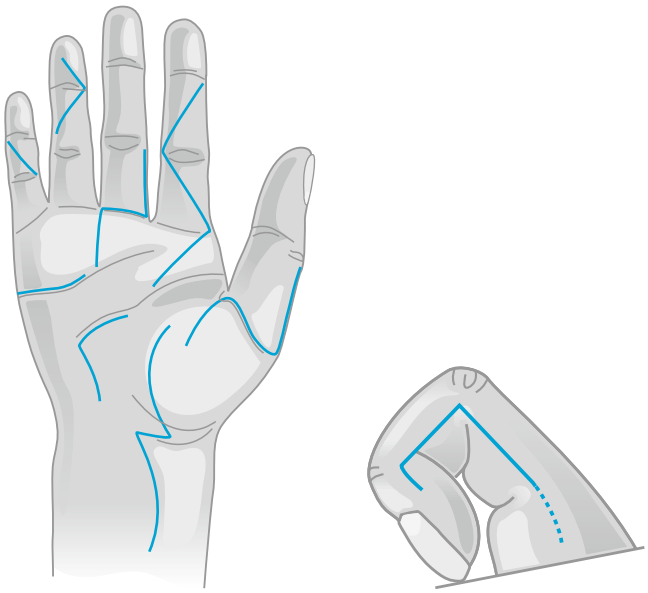


Abb. 21.46 Palmare Schnittführungen im Bereich der Hand

Indikationen

Beugesehnenverletzungen, Nervenverletzungen, Entzündungen wie Phlegmone (oder Infektionen).

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Hautschnitte werden nach Möglichkeit in den Verlauf der Spannungslinien gelegt. Dadurch entstehen kosmetisch unauffällige Narben und spätere Kontrakturen werden vermieden. Müssen Beugefalten im Bereich der Hohlhand oder Finger gekreuzt werden, sollte man nie senkrecht schneiden, sondern sie Z-förmig überqueren. Die Schnittecken legt man jeweils in das Ende einer Beugefalte. Die Hohlhand kann, wenn es durch eine Verletzung vorgegeben ist, ggf. sogar Y-förmig eröffnet werden, weil die Ge-

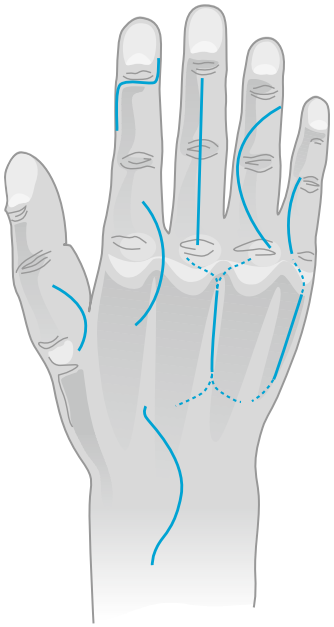


Abb. 21.47 Dorsale Zugänge zu Hohlhand und Fingern

fäßversorgung von der Peripherie her erfolgt und deshalb nicht zwangsläufig Nekrosen entstehen müssen.

Wundverschluss

An der Hand kann generell auf Subkutannähte verzichtet werden. Nach der Hautnaht werden Gummilaschen zur Drainage eingelegt.

Gefahren

Verletzungen der palmaren Gefäß-Nerven-Bündel sind möglich. An den Ecken der Schnittführung muss auf die jeweiligen palmaren Gefäß-Nerven-Bündel geachtet werden. Bei der Präparation in die Tiefe soll das subkutane Fettgewebe in Verbindung zur Oberhaut bleiben, anderenfalls wäre die Durchblutung gefährdet.

Dorsale Zugänge

Indikationen

Frakturen, Strecksehnenverletzungen, Infektionen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Arm wird auf einen Tisch ausgelagert.

Zugang

Wiederum werden die Spannungslinien der Haut berücksichtigt. Die möglichen Schnittführungen zu den Metakarpalia und den Fingern sind in Abb. 21.47 zusammengefasst. Der Streckapparat wird längs gespalten. Alternativ kann auch neben dem Streckapparat zu beiden Seiten zwischen den Seitenzügeln eingegangen werden.

Wundverschluss

Beim Wundverschluss muss der Streckapparat stabil adaptiert werden.

Gefahren

Verletzungen der dorsalen oberflächlichen Nerven sind denkbar. Wenn der Mittelzügel zu weit am Ansatz an der Mittelgliedbasis abgelöst wird, kann dies später zu einem Streckdefizit führen.

21.9 Becken

B. Weigel

Die Zugänge im Bereich des Beckens wurden mit den Empfehlungen von Pohlemann abgeglichen, die im Werk von Tscherne u. Pohlemann (1998) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, enthalten sind.

21.9.1 Beckenring

Pfannenstielschnitt zur Symphyse

Indikationen

Symphysensprengung.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der Tisch wird leicht geknickt, um die Symphyse zu exponieren.

Zugang

Etwa 1–2 cm oberhalb der oberen Schambeinäste wird ein querer Hautschnitt gesetzt. Dann werden ggf. die beiden Funiculi spermatici dargestellt und zur Seite gehalten. Die Rektusscheide und die beiden Mm. recti werden quer durchtrennt. Dabei belässt man einen schmalen Saum an der Symphyse für die spätere Refixation. Durch Kerben der äußeren Öffnung des Leistenkanals gewinnt man im Bedarfsfall mehr Platz, weil sich das Samenstrangkonvolut weiter lateralisieren lässt (Abb. 21.48).

Wundverschluss

Die abgetrennten Bauchmuskeln müssen stabil reinseriert und ein erweiterter Leistenkanal wieder verengt werden. Der retrosymphysäre Raum, die Muskellogen und der subkutane Raum werden drainiert, Faszie, Subkutis und Haut genäht.

Gefahren

Die Funiculi spermatici können verletzt werden und bei insuffizientem Wundverschluss oder vorzeitiger Überlastung der Bauchdecken Narbenhernien auftreten.

Ilioinguinaler Zugang zum Acetabulum (nach Letournel)

Indikationen

Frakturen des vorderen Beckenrings und des Acetabulums.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Es ist wichtig, das Bein der verletzten Seite beweglich abzudecken, um bei bestimmten Phasen der Operation den M. iliopsoas sowie Gefäße und Nerven entspannen zu können. Intraoperativ müssen Bildwandlerkontrollen in Ala- und Obturator- sowie Inlet- und Outlet-Projektion möglich sein. Obligat wird ein transurethraler Blasenkatheter gelegt.

Zugang

Die Inzision beginnt am hinteren Anteil des Darmbeinkamms und wird über die Spina iliaca anterior superior bogenförmig in der Leistenbeuge bis fingerbreit oberhalb der Symphyse geführt. Sie kann bei Bedarf zur Gegenseite verlängert werden. Ausreichend weit dorsal zu beginnen, ist wichtig, um einen guten Einblick ins kleine Becken zu gewinnen (Abb. 21.49a).

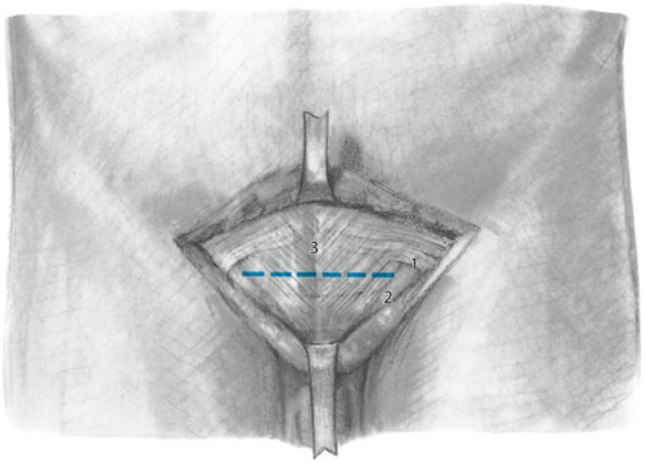


Abb. 21.48 Symphyse. *1* Mm. recti abdominis, *2* Crista pubica, *3* Spatium präperitoneale. (Aus: Rüedi et al. 1984)

Insgesamt werden nun 4 Zugangsfenster geschaffen. Das erste liegt kranial in der Fossa iliaca, der Innenseite der Darmbeinschaufel, kaudal wird es vom M. iliopsoas und dem N. femoralis begrenzt. Das zweite Fenster befindet sich zwischen M. iliopsoas sowie dem N. femoralis einerseits und den Leistengefäßen andererseits. Das dritte Fenster liegt zwischen den Leistengefäßen und dem Ductus deferens (bzw. dem Ligamentum teres uteri) und das vierte zwischen Ductus deferens und dem Rand der Rektusscheide.

Um diese 4 Fenster eröffnen zu können, wird zunächst die Externusaponeurose über dem Darmbeinkamm durchtrennt, und zwar lateral des knöchernen Randes. In der Leistenbeuge wird die Externusaponeurose 1 cm oberhalb des Leistenbands parallel dazu bis zum Rektusscheidenrand hinüber gespalten. Dabei muss man auf den N. cutaneus femoris lateralis achten. Er zieht vor der Spina iliaca anterior superior unterhalb des Ursprungs des Leistenbandes nach distal. Für das erste Fenster wird an der Innenseite der Darmbeinschaufel die Präparation subperiostal fortgesetzt. Der M. iliacus wird bis zur Linea terminalis abgeschoben (Abb. 21.49b). Anschließend wird die Fossa zur Blutstillung temporär mit feuchten Bauchtüchern oder Rollen tamponiert. Nun wird die Bauchmuskulatur vom Leistenband abpräpariert und das Samenstrangkonvolut dargestellt und angeschlungen bzw. das Ligamentum teres uteri mobilisiert. Am günstigsten für die spätere Refixation ist es, den gemeinsamen Ansatz der Bauchmuskulatur, bestehend aus den Mm. obliquus internus abdominis und transversus abdominis sowie der Fascia transversalis, zusammen mit einem 1 mm schmalen Streifen Leistenbandanteil scharf abzulösen (Abb. 21.49c). Lateral wird der N. cutaneus femoris lateralis dargestellt, der sehr variabel verlaufen kann, bis zu 4 cm von der Spina entfernt (Pohlemann u. Tscherne 1998).

Damit der M. iliopsoas ausreichend mobilisierbar wird, ist es wichtig, den verstärkten, medial gelegenen Anteil der Fascia iliaca, den Arcus iliopectineus, der sich zwischen den Leistengefäßen und dem M. iliopsoas aufspannt, und die Faszie auf der Rückseite des Muskels zu spalten (Abb. 21.49d,e). Anschließend wird er zusammen mit dem N. femoralis und dem N. cutaneus femoris lateralis angeschlungen. Es fällt leichter, die beiden Strukturen zu unterfahren, wenn insbesondere bei diesem Schritt der Operation das Bein angestellt und in der Hüfte gebeugt wird, denn dadurch entspannt sich der Muskel.

Dann werden medial die Femoralgefäße durch stumpfe Präparation vorsichtig mobilisiert. Dabei soll die Gefäßscheide nicht eröffnet werden, weil sich darin zahlreiche Lymphgefäße befinden. Orientieren kann man sich am Puls der A. femoralis. Wenn das Gefäßbündel mobilisiert ist, wird es ebenfalls digital unterfahren und bleibt medial direkt am Rand der Rektusscheide, um möglichst keine Lymphgefäße zu zerreißen. Hier befinden sich unter Umständen Anastomosen zwischen der A. iliaca externa und der A. obturatoria. Sie können bei diesem Schritt der Operation einreißen und heftig bluten. Man sollte sie deshalb vor dem Anschlingen der Gefäßscheide zwischen Ligaturen durchtrennen.

Zum Anschlingen des Samenstrangkonvoluts wird ein Gummiband, für die kräftigeren Strukturen zwischen den äußeren 3 Fenstern ein Stoffband verwendet, das von einem Bauchtuch abgeschnitten werden kann. Das Stoffband ist ausreichend fest, um damit beim Öffnen der verschiedenen Fenster dosierten Zug ausüben zu können. Der Zugang kann zur Symphyse hin erweitert werden, wie es oben beim Pfannenstielschnitt beschrieben wurde. Pohlemann u. Tescherne (1998) empfehlen aber, nach Möglichkeit lediglich den Hautschnitt zu erweitern, ohne den Rektus abzulösen, denn eine Platte kann meist durch Verziehen des Muskels nach medial bzw. lateral nach Spaltung der Linea alba am Schambeinast fixiert werden.

Wundverschluss

In die Fossa und das kleine Becken wird jeweils eine Redon-Drainage eingelegt. Der Wundverschluss erfolgt schichtweise mit Naht der en bloc abgelösten Bauchwandmuskulatur an die untere Portion des Leistenbandes und anschließender Naht der Externusaponeurose an die obere Portion und weiter kranial an den Beckenkamm. Bei der Rekonstruktion der Leiste darf der Leistenkanal nicht zu sehr eingeengt werden, damit es keinen venösen Rückstau im Hoden gibt. Andererseits darf der Leistenkanal aber auch nicht zu weit bleiben, sonst droht eine Narbenhernie. Beim Wundverschluss muss darauf geachtet werden, dass der N. cutaneus femoris lateralis und der N. inguinalis, der entlang des Samenstrangs verläuft, nicht versehentlich mitgefasst werden. Eine weitere Drainage wird subkutan eingelegt. Dann werden Subkutis und Haut adaptiert.

Gefahren

Der N. cutaneus femoris lateralis ist gefährdet, aber allerdings oft nicht zu schonen, wenn die Strukturen in der Leiste bei Osteosynthesen großräumig mobilisiert werden müssen. Darüber müssen die Patienten vorher aufgeklärt werden. Falls der N. cutaneus femoris lateralis oder auch der N. inguinalis versehentlich mit einer Naht gefasst und stranguliert wird, kann dies zu erheblichen postoperativen Beschwerden führen. Bei der Tamponierung der Fossa iliaca empfiehlt es sich, Bauchtücher zu verwenden, denn die viel weniger voluminösen Kompressen können, wenn sie blutdurchtränkt sind, in der Tiefe der Wundhöhle beim späteren Wundverschluss leicht übersehen werden. Blutung aus der so genannten »Corona mortis«, einer Anastomose zwischen A. epigastrica inferior und A. obturatoria bzw. begleitender Venen können hämodynamisch wirksam werden. Wenn die Leistengefäße bei der Präparation skelettiert werden, drohen Lymphabflussstörungen im ipsilateralen Bein. Insbesondere bei Revisionseingriffen kann die Darstellung einer vernarbten V. femoralis und ggf. deren Blutstillung sehr schwierig sein.

Dorsaler Zugang zum Acetabulum (nach Kocher-Langenbeck)

Indikationen

Acetabulumfrakturen und Luxationen, Koxarthrose, Hüftkopfnekrose.

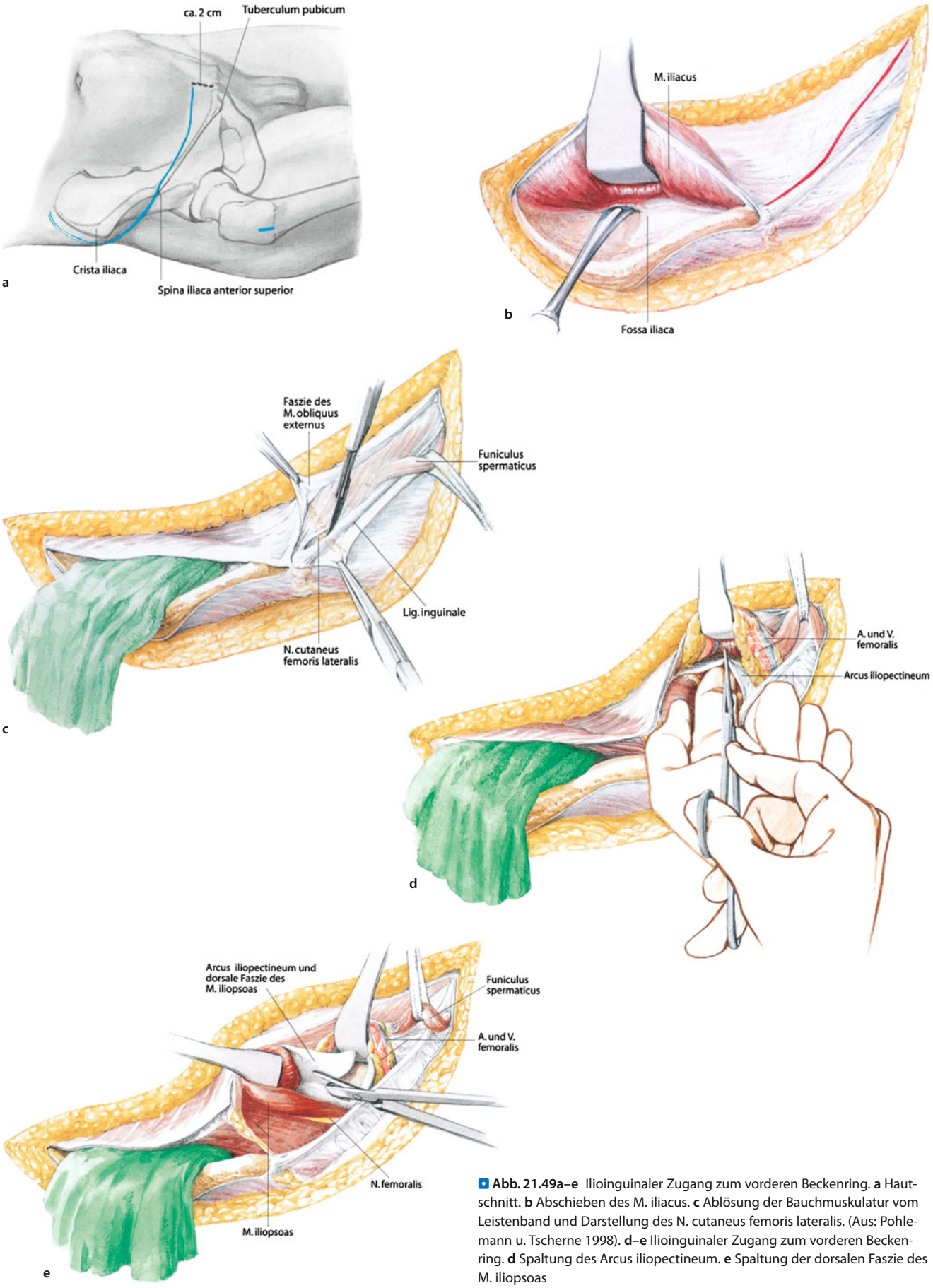


Abb. 21.49a–e Ilioinguinaler Zugang zum vorderen Beckenring. **a** Hautschnitt. **b** Abschieben des M. iliacus. **c** Ablösung der Bauchmuskulatur vom Leistenband und Darstellung des N. cutaneus femoris lateralis. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998). **d–e** Ilioinguinaler Zugang zum vorderen Beckenring. **d** Spaltung des Arcus iliopectineum. **e** Spaltung der dorsalen Faszie des M. iliopsoas

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Seitenlage (Abb. 21.2). Das ipsilaterale Bein wird frei beweglich abgedeckt. Es wird in 45°-Hüft- und 90°-Kniebeugung gelagert, um den N. ischiadicus maximal zu entspannen. Gegebenenfalls wird eine Schanz-Schraube mit Handgriff in den Schenkelhals eingebracht, um den Hüftkopf besser manipulieren zu können. Alternativ kann auch in Bauchlage des Patienten unter Einsatz des Extensionstischs vorgegangen werden. Dann wird ein Steinmann-Nagel suprakondylär eingebracht und das Knie zur Entlastung des Ischiasnervs 60° gebeugt gelagert.

Zugang

Der Schnitt beginnt 6 cm distal der Spina iliaca posterior superior, zieht bogenförmig zum Trochanter major und von hier in Richtung Femurachse weiter nach distal (Abb. 21.50a). Die Faszie wird in Schnittrichtung eröffnet. Durch Spreizen der glutealen Muskelfasern in ihrer Verlaufsrichtung gelangt man in die Tiefe. Im oberen Wundwinkel liegen A. glutea superior und N. gluteus superior, die geschont werden sollen. Distal wird der Tractus iliotibialis in seinem dorsalen Anteil gespalten. Nun sind die Außenrotatoren der Hüfte und der N. ischiadicus zugänglich. Der Nerv wird identifiziert und evtl. mit einem Gummibändchen angeschlungen. Man sucht ihn auf dem M. quadratus femoris, der leicht zu erkennen ist, weil seine Fasern lotrecht zur Femurachse zum Trochanter ziehen.

Bei Innenrotation im Hüftgelenk werden nun, ausgehend vom Oberrand des M. quadratus femoris, die Außenrotatoren mit der Holzrinne unterfahren und mit dem Diathermiemesser zwischen Haltefäden durchtrennt. Dabei soll ein ausreichender Saum zur Reinsertion verbleiben. Es handelt sich dabei, von kaudal nach kranial aufgezählt, um die Mm. gemellus inferior, obturatorius internus, gemellus superior und piriformis. Die Muskeln werden nicht zu ansatznah durchtrennt, sondern 1–1,5 cm vom Trochanterhinterrand entfernt, um die Äste der A. circumflexa femoris medialis nicht zu gefährden. Der M. piriformis wird nach Darstellung seiner Sehne gesondert durchtrennt, weil er mit dem N. ischiadicus verflochten sein kann. Bei Bedarf kann der M. quadratus femoris gekerbt werden.

Die Außenrotatoren werden en bloc von der Gelenkkapsel nach dorsal abgeschoben. Dabei gelangt man in die Bursa obturatoria, in die ein Hohmann-Hebel eingesetzt wird. Der Ischiasnerv

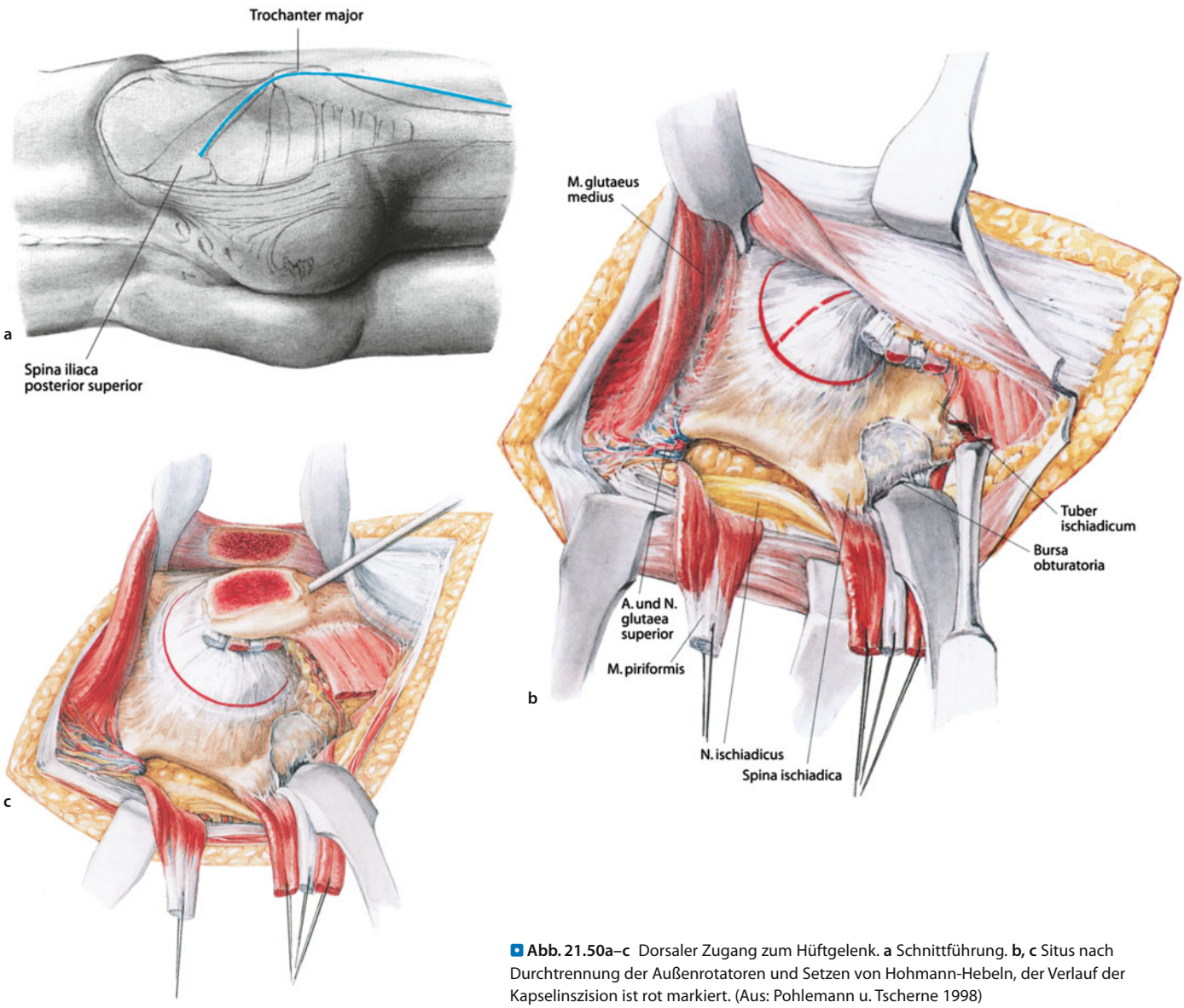


Abb. 21.50a–c Dorsaler Zugang zum Hüftgelenk. **a** Schnittführung. **b, c** Situs nach Durchtrennung der Außenrotatoren und Setzen von Hohmann-Hebeln, der Verlauf der Kapselinszision ist rot markiert. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998)

ist dabei durch die abgeschobenen Außenrotatoren gepolstert. Die Hinterwand des Acetabulums, das Os innominatum, wird durch vorsichtiges, subperiostales Abschieben der glutealen Muskulatur sichtbar. Der Einblick lässt sich verbessern, indem durch Abduktion des Beins und Streckung der Hüfte die Muskulatur entspannt wird. Zur Entlastung des Assistenten kann eine große Tuchrolle zwischen die Oberschenkel gelegt werden. Dann wird kranioventral des Gelenks ein spitzer Hohmann-Hebel in die äußere Kortikalis eingeschlagen oder in einem eigens dafür angelegten Bohrloch eingehakt (◘ Abb. 21.50b).

Distal wird das Tuber ischiadicum dargestellt, denn hier werden später die distalen Schrauben der Plattenosteosynthese verankert. Dabei erfolgt die Präparation sehr knochennah, weil der N. ischiadicus hier mit dem Knochenvorsprung in bindegewebiger Beziehung steht. Die Gelenkkapsel wird T-förmig eröffnet. In 90°-Hüftbeugung kann durch maximale Innenrotation des Beins der Hüftkopf subluxiert werden. Eine komplette Luxation ist nur möglich durch Erweiterung des Zugangs in Form einer bigastrischen Osteotomie des Trochanter major, dem so genannten »Trochanterflip« nach Mercati (◘ Abb. 21.50c). Dadurch bleibt der Verbund zwischen den glutealen Abduktoren und dem M. vastus lateralis erhalten. Diese Zugangserweiterung ermöglicht eine gute Übersicht auf die vordere Wand des Acetabulums und nach Subluxation des Hüftkopfs einen kompletten Einblick in das Gelenk.

Wundverschluss

Nach Adaptation der Gelenkkapsel werden die Außenrotatoren genäht und der Situs ausreichend mit Drainagen bestückt. Bei Adaptation der Außenrotatoren werden die bereits vorgelegten Haltenähte verwendet. Beim Knüpfen der Nähte wird das Bein außenrotiert gehalten, damit die Nahtspannung gering ist. Nach erfolgter bigastrischer Trochanterosteotomie ist eine Refixation mit 2 Kleinfragmentschrauben ausreichend, da die für eine zeitgerechte Heilung erforderliche Stabilität im Wesentlichen durch den Anpressdruck der unverletzten Muskelkette herrührt. Nach Einlage einer subkutanen Redon-Drainage werden Subkutis und Haut genäht.

Gefahren

Ein Dehnungs- oder Druckschaden des N. ischiadicus ist möglich. Deshalb sollte ein präoperativer Ausgangsbefund erhoben und dokumentiert werden. Eine Blutung aus der A. glutea superior kann unter Umständen schwer zu stillen sein, wenn sich der Stumpf in die Muskulatur retrahiert. Eine Verletzung des N. gluteus superior kann zu einer funktionell bedeutsamen Lähmung der glutealen Muskulatur führen. Deshalb darf der Zugang auch nicht bis zur Crista iliaca verlängert, sondern diese nur über einen gesonderten Zugang dargestellt werden. Wenn Äste der A. circumflexa femoris medialis verletzt werden, kann dies die Durchblutung des Hüftkopfs beeinträchtigen. Bei der Luxation des Hüftkopfs ist laut Pohlemann u. Tscherne (1998) sorgfältig darauf zu achten, dass die im Bereich des Ansatzes des M. obturatorius externus in die Hüftgelenkkapsel einstrahlenden Gefäßäste nicht verletzt werden, um die Hüftkopfdurchblutung nicht zu gefährden.

Chirurgische Hüftluxation nach Ganz

M. Leunig und R. Ganz

Indikationen

Die chirurgische Hüftluxation nach Ganz (2001) erlaubt die präzise Behandlung intra- und extraartikulärer Hüftpathologien unter Kontrolle und Schutz der Durchblutung zum Femurkopf. Er ist prinzipiell auch zur Primär- und Revisionsendoprothetik geeignet. In der Behandlung der Frakturen von Hinterwand und hinterem Pfeiler erlaubt der Zugang eine verbesserte Übersicht, optimale Schonung der Muskulatur und Kontrolle der Hüftkopfdurchblutung.

Vorbereitung

Der Patient wird in Seitenlage gelagert. Das zu operierende Bein wird beweglich abgedeckt. Ein steriler (Tisch-)Sack wird auf der gegenüber liegenden Längsseite des Operationstischs angebracht zur Aufnahme des Beins während der Hüftluxation. Die Trochanterregion muss gut zugänglich sein. Unter anderem werden eine oszillierende Säge mit einem 50 mm langen und 20 mm breiten Sägeblatt sowie leicht gebogene Meißel der Breiten 5, 10 und 15 mm sowie eine gebogene Parametrium-Schere für die Durchtrennung des Lig. capitis femoris bereit gelegt.

Zugang

Wir benutzen heute routinemäßig einen geraden lateralen Hautschnitt von ca. 20–25 cm Länge, nachdem als Folge des früher verwendeten Kocher-Langenbeck-Schnitts gelegentlich und v.a. bei dickem Fettgewebsmantel kosmetisch störende Konturvorwölbungen dorsal und gegen das distale Inzisionsende hin entstanden sind, die sich auch mit Fettgewebsabsaugungen nicht optimal beheben ließen. Je nach Fettgewebsdicke muss der Schnitt entsprechend länger sein. Die Faszieninzision reicht höher als das obere Hautschnittende (Gibson 1950, Henry 1927). Ohne Spaltung des M. gluteus maximus ergibt sie eine dem Kocher-Langenbeck-Zugang überlegene Übersicht der Strukturen dorsal und kranial des Hüftgelenks einschließlich N. ischiadicus.

Der vordere Rand des M. gluteus maximus wird durch die Lage der Vasa perforantia angezeigt, die durch geringfügige epifasziale Unterminierung des Fettgewebes nach ventral-kranial dargestellt werden können. Die Inzision der Fascia lata folgt diesen Perforansgefäßen. Dabei wird die Zwischenfaszie, die dem M. gluteus medius aufliegt, mit inzidiert und sukzessive zusammen mit der Masse des M. gluteus maximus nach dorsal abgedrängt. Dadurch bleiben Durchblutung und Innervation auch der ventralen Anteile des M. gluteus maximus erhalten (Nork 2005).

Bei der Darstellung der interglutealen Lücke helfen eine volle Streckung der Hüfte und die gepolsterte Lagerung des Fußes auf dem beigezogenen Instrumententisch, wobei die Hüfte so weit wie möglich innenrotiert wird. Als nächster Schritt wird das Gleitgewebe über den Trochanter major nahe dessen dorsaler Kante inzidiert und nach ventral gehalten. Mit diesem Schritt werden das Tuberculum innominatum bzw. die Ursprungsleiste des M. vastus lateralis sichtbar bzw. gut palpierbar. Mit vorsichtiger und nur oberflächlicher Darstellung des trochanter-nahen Unterrandes des M. gluteus medius lässt sich die dorsokraniale Spitze des Trochanter mit ihrer Sehneneinstrahlung des M. gluteus medius einsehen und palpieren (◘ Abb. 21.51a).

Die digastrische Trochanterosteotomie (Ganz 2003, Mercati 1972) wird in der Regel mit der oszillierenden Säge durchgeführt und zwar so, dass distal der sehnige Ursprung des M. vastus lateralis unterfahren wird und proximal eine 2 mm dicke Schicht einstrahlender Fasern des M. gluteus medius an der Spitze des stabilen Trochanters verbleibt. Dadurch erhöht sich die Sicherheit, dass der Großteil der darunter liegenden Sehne des M. piriformis am stabilen Trochanter verbleibt. Heute wird häufig eine so genannte Stufenosteotomie durchgeführt, welche die Reposition und Stabilität des osteotomierten Fragments deutlich verbessert (◘ Abb. 21.51b).

Genau genommen ist diese Osteotomie nicht digastrisch, sondern trigastrisch, weil die lange Sehne des M. gluteus minimus ventral ebenfalls noch am Trochanterfragment inseriert.

Die weitere Dissektion zur Darstellung der Gelenkkapsel findet zwischen Piriformissehne und M. gluteus minimus statt. Dieses Intervall bietet die größte Sicherheit, die Blutzufuhr zum Hüftkopf zu schonen. Darüber hinaus kann so auch die konstante Anastomose zwischen A. glutea inferior und Ramus profundus der A. circumflexa medialis am besten geschützt werden. Diese Anastomose verläuft am Unterrand der Piriformissehne und ist grundsätzlich von Bedeutung, weil sie bei Verletzung des Ramus profundus die Durchblutung des Hüftkopfs allein gewährleisten kann (Gautier 2000, ◘ Abb. 21.51c). Eine weitere Anstomose mit der A. glutea inferior verläuft am Unterrand des Triceps coxae (Mm. gemellus superior, obturator internus und gemellus inferior), die in etwa 20% der Hüften ein deutlich dickeres Kaliber aufweist als der Ramus profundus und dann für die Hüftkopfdurchblutung entscheidend ist (Kalhor 2011). Die Trochanterosteotomie wird umso schwieriger, je ausgeprägter die Außenrotationsfehlstellung und je voluminöser der subkutane Fettgewebsmantel sind. Im Extremfall kann es sogar vorteilhaft sein, die digastrische Osteotomie nicht mit der Säge, sondern mit geraden und gebogenen Meißeln von dorsal distal her durchzuführen. Das Trochanterfragment sollte in der Regel nicht dicker als 1,5 cm sein.

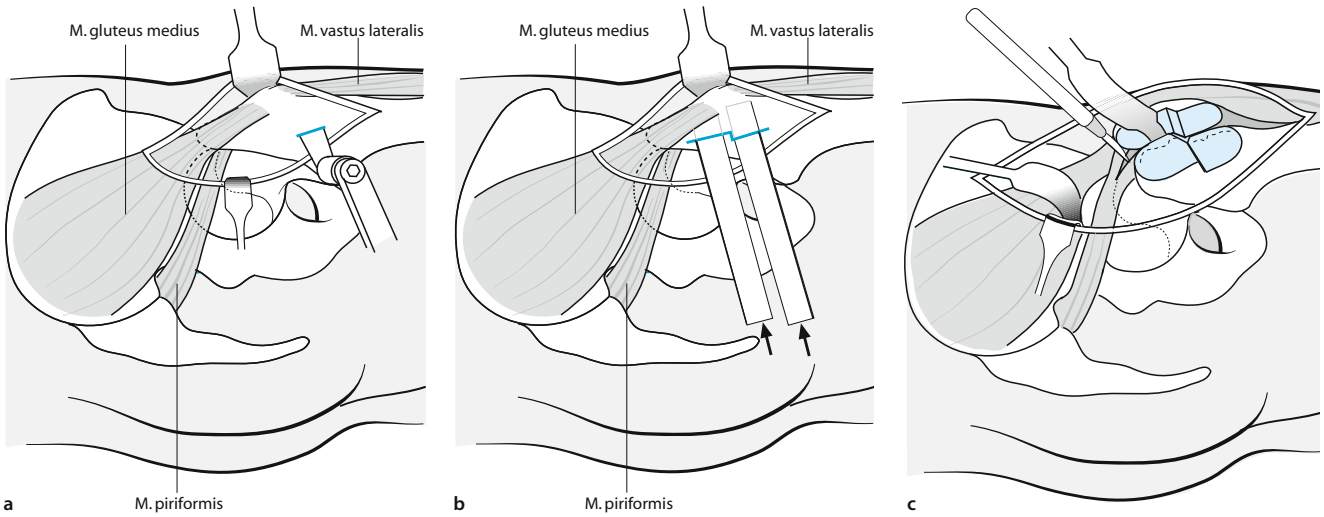
Bei einer zu oberflächlichen Trochanterosteotomie kann die Refixierung Probleme machen, weil das relativ dünne Fragment brechen kann. Bei einer zu tiefen Trochanterosteotomie haftet die Sehne des M. piriformis in toto am mobilen Trochanterfragment. Dadurch kann es zu mangelnder Mobilisierung des Trochanterfragments sowie zu einer Gefährdung des Ramus profundus der A. circumflexa medialis mit der Gefahr einer Kopfnekrose kommen.

Mit einem in die Osteotomie eingeführten 8-mm-Hohmann-Hebel wird der mobile Trochanter nach ventral und kranial aufgeklappt. Schrittweise werden zunächst die Ursprungsfasern des M. vastus lateralis dorsal am Femur bis auf mittlere Höhe der Sehne des M. gluteus maximus gelöst. Proximal werden die noch am stabilen Trochanteranteil verbleibenden Sehneneinstrahlungen des M. gluteus medius durchtrennt. Danach kann das Trochanterfragment weiter nach ventral aufgekippt werden, insbesondere nachdem in Außenrotation und Flexion in der Hüfte die anterolaterale Partie des M. vastus lateralis und intermedius subperiostal vom Femur abgelöst ist.

Nach Ablösen der restlichen Sehnenanteile des M. gluteus medius vom stabilen Trochanter zeigt sich kranial davon ein Fettgewebe, dessen Dissektion die Sehne des M. piriformis als weißen Strang erkennen lässt. Allfällige, am mobilen Trochanterfragment verbliebene Fasern der Sehne werden knochennah durchtrennt, wonach das Trochanterfragment noch mobiler wird. Mit Abduktion und weiterer Außenrotation wird die Sehne des M. piriformis entspannt, was die Darstellung der Lücke zum Unterrand des M. gluteus minimus erleichtert. Durch schrittweises Ablösen des M. gluteus minimus von der Kapsel nach dorsal, kranial sowie nach ventral wird die Kapsel bis über den Pfannenrand dargestellt. Alle Außenrotatoren bleiben vorerst am stabilen Trochanter haften.

Es folgt eine Z-förmige Kapsulotomie, die mit ihrer schenkelhalsaxialen Komponente nahe an der anterokranialen Ecke des stabilen Trochanters beginnt. Zur Vermeidung einer Verletzung von Retinakulum, Knorpel oder Labrum wird sie nach proximal von innen nach außen durchgeführt. Es folgen der ventrale Kapsulotomieschenkel, der nahe an der Schenkelhalsbasis beginnt und in Richtung des ventrokaudalen Acetabulumrandes zielt, sowie der dorsale Einschnitt am Knochen entlang dem Pfannenrand. Ein 8-mm-Hohmann-Haken wird supraacetabulär unter dem Kapselrand, aber über dem Labrum in den Knochen geschlagen und hält die Weichteile zurück. Ein Langenbeck-Haken kann hierzu auch genügen. Anschließend kann eine Überprüfung der epiphysären Durchblutung durchgeführt werden, sei es mit einem 2-mm-Bohrloch, aus dem es bluten soll (Gill 1998), sei es mit einer LDF-Sonde (Nötzli 2002) oder einer Hirndrucksonde.

Danach sollte die Luxation des Hüftkopfs erfolgen, wozu das Bein in Außenrotation, Adduktion und Flexion gebracht und der Unterschenkel in den sterilen Sack gesteckt werden. Während dieses Manövers subluxiert der Kopf; mit einem Einzinkerhaken, der medial um das Calcar femoris greift, kann nachgeholfen werden.



◘ **Abb. 21.51a–c** **a** Für die Trochanterosteotomie wird das gesamte Bein (und somit auch die Hüfte) in Innenrotation gebracht, sodass die hintere Begrenzung des Trochanters gut sichtbar wird, wobei die Innenrotierbarkeit bei Coxarthrose merklich eingeschränkt sein kann. Die Trochanterosteotomie verläuft von der posterosuperioren Ecke des Trochanters zum Tuberculum innominatum, dem Ansatz des M. vastus lateralis. Einige Fasern des M. gluteus medius verbleiben am stabilen Trochanter. Die Dicke des Fragments sollte abhängig von der Größe des Trochanters zwischen 10–15 mm liegen. **b** Muss der Trochanter nicht distalisiert werden, empfiehlt sich eine so genannte »Stufenosteotomie« des Trochanters, welche die Reposition und die Stabilität der Refixation des Trochanters deutlich verbessert. Die Höhe der Stufe beträgt 3–5 mm. Zusätzlich wird eine ventrale Kante gebrochen, sodass sogar eine triplanare Osteotomie entsteht. Die Richtung der Osteotomiefläche verläuft parallel zum innenrotierten Unterschenkel. **c** Wenn die Osteotomie korrekt durchgeführt wurde, dann ist diese trigastrisch mit Fasern des M. gluteus medius und minimus sowie dem M. vastus lateralis. Die Fasern des M. piriformis sollten größtenteils noch am stabilen Trochanterfragment verbleiben

Bei der kompletten Luxation wird das Ligamentum capitis femoris mit einer gebogenen Parametriumschere durchtrennt.

Mit Manipulationen am Bein durch den gegenüber stehenden Assistenten und durch spezielle Hebel am vorderen Pfannenrand sowie in der Incisura acetabuli werden 360° der Pfanne einsehbar. Werden die Hebel entfernt und das Knie abgesenkt, lässt sich der Femurkopf aus der Wunde anheben, was im Zusammenspiel mit Rotation des Beins ca. drei Viertel der Kopfzirkumferenz einsehbar macht. Sobald der Knorpel exponiert ist, sollte er durch ständiges Berieseln mit physiologischer Kochsalzlösung vor dem Austrocknen geschützt werden. Knorpel- und Labrumschädigungen am Acetabulum werden dokumentiert.

Für intrakapsuläre Osteotomien, wie relative Schenkelhalsverlängerung, subkapitale Reorientierung, Schenkelhalsosteotomie und Hüftkopfosteotomie ist eine zusätzliche subperiostale Darstellung des Schenkelhalses notwendig (Ganz et al. 2009).

21.9.2 Knochenentnahme am Beckenkamm

B. Weigel

Ventraler Zugang

Indikationen

Knochenentnahme.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage.

Zugang

Über dem Beckenkamm wird ein kurzer, wenige Zentimeter langer Schnitt zwischen der Crista iliaca und der Spina iliaca anterior superior gesetzt. Der Zugang muss eindeutig lateral des Ursprungs des Leistenbandes liegen, dann ist gewährleistet, dass der N. cutaneus femoris lateralis nicht verletzt wird, denn dieser verläuft unter dem Leistenband nach peripher (Abb. 21.52a). Abhängig davon, welcher Form das Transplantat bekommen soll, wird folgendermaßen vorgegangen:

Benötigt man lediglich spongiöse Zellen, dann genügt ein perkutanes Vorgehen. Über eine Stichinzision wird der Beckenkamm mit einem Pfriem eröffnet. Anschließend geht man mit einem dünnlumigen Metallsaugeransatz zwischen die beiden Kortikalisschalen der Beckenschaufel ein und saugt die Spongiosa, die über einen Filter in einem zwischengeschaltenen Behältnis aufgefangen wird, ab (Abb. 21.52b). Auf diese schonende Weise können bis zu 10 ml Spongiosa gewonnen werden. Die Perforation der Kortikalis wird mit einem konisch geformten Stück eines Kollagenschwamms abgedichtet, dann blutet es weniger nach.

Werden hingegen kompakte Spongiosachips benötigt, schneidet man bis auf das Periost, legt einen ausreichend großen Aspekt des Beckenkamms auf epiperiostalem Niveau frei und meißelt einen etwa 1×1 cm großen Kortikalisdeckel ab. An 3 Seiten des Deckels wird zuvor das Periost bis auf den Knochen inzidiert. Am medialen Rand des Beckenkamms lässt man eine breite Periostbrücke stehen. Sie hält den Kortikalisdeckel scharnierartig und erhöht die Stabilität beim späteren Wundverschluss (Abb. 21.52c). Wenn der Deckel aufgeklappt ist, entnimmt man

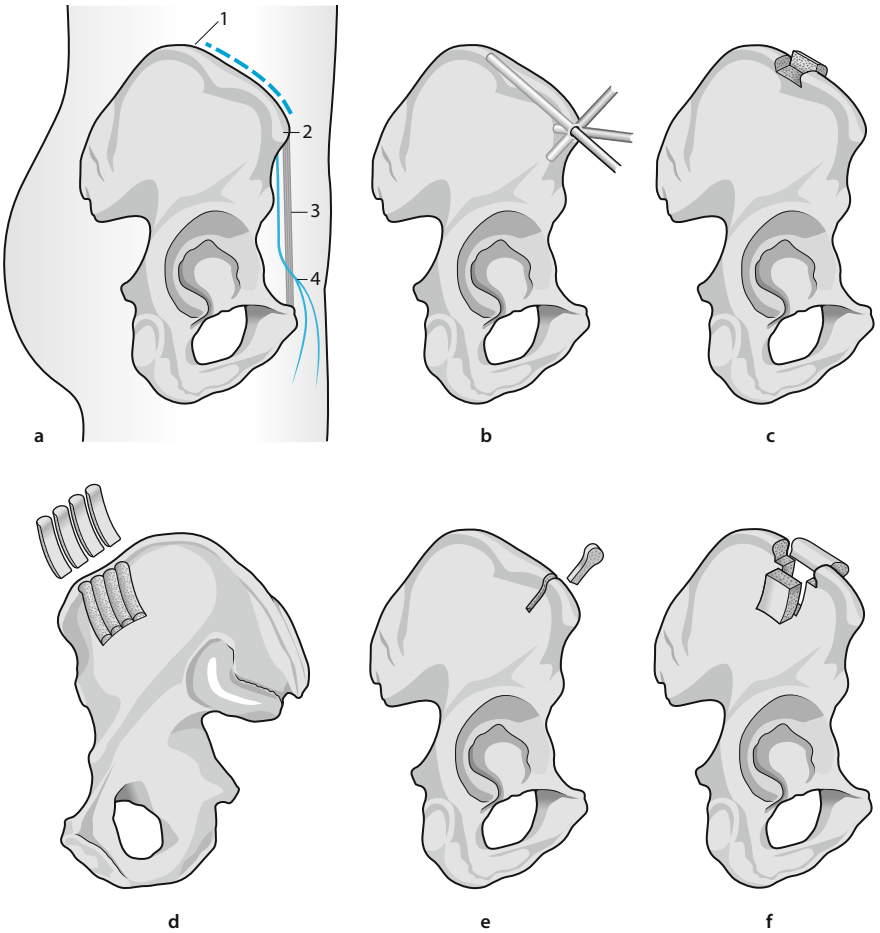


Abb. 21.52a–e Ventraler Zugang zum Beckenkamm. **a** Schnittführung. *1* Crista iliaca, *2* Spina iliaca anterior superior, *3* Ligamentum inguinale, *4* N. cutaneus femoris lateralis. **b** Eingehen mit dem Sauger zur Gewinnung spongiöser Zellen. Insbesondere in der Nähe der Crista iliaca ist der Raum zwischen lateraler und medialer Kortikalis relativ weit, sodass man tief in die Darmbeinschaufel vordringen kann. **c** Heben eines Kortikalisdeckels mit medial belassenem »Periostscharnier« zur Entnahme von Spongiosachips. **d** Entnahme kortikospongiöser Späne von der Innenseite des Beckenkamms mit einem Hohlmeißel. **e** Entnahme eines schmalen trikortikalen Blocks. **f** Entnahme eines größeren bikortikalen Spans unter Belassung eines Beckenkammdeckels zur Defektüberbrückung

mit einem mittelgroßen scharfen Löffel, der zwischen beide Kortikales passt, Spongiosachips.

Kortikospongiöse Späne werden mit einem Hohlmeißel von der Innenseite des Beckenkamms gehoben (Abb. 21.52d). Dazu legt man diesen Bereich zuvor subperiostal frei.

Um einen trikortikalen Block zu gewinnen, wird hingegen die Externusaponeurose samt Periost in einer Schicht längsgespalten und der Beckenkamm subperiostal unter Abschieben der Muskulatur zu beiden Seiten freigelegt, damit man für den späteren Wundverschluss stabile Nahtlager bekommt. Die Muskulatur wird anschließend mit Hohmann-Hebeln abgehalten und ein trikortikaler Block der benötigten Größe mit einer oszillierenden Säge entnommen (Abb. 21.52e). Wenn der erste Schnitt mit der Säge gesetzt ist, schiebt man ein lediges Sägeblatt in den geschaffenen Schlitz. Das Sägeblatt zeigt die Schnittrichtung und dient der Orientierung beim Setzen des zweiten Sägeschnitts.

Wenn größere Transplantate gebraucht werden, empfiehlt es sich, so vorzugehen, dass beim Wundverschluss der Defekt mit einem stabilen Beckenkammdeckel überbrückten werden kann. Dazu wird die Crista iliaca nicht freipräpariert. Lediglich die Glutäen werden vom lateralen Aspekt der Beckenschaufel subperiostal abgelöst und anschließend der Beckenkammdeckel gehoben. Dabei muss eingeplant werden, dass beidseits eine ausreichend dimensionierte Auflagefläche stehen bleibt, um bei der späteren Defektdeckung ein stabiles Lager für den Beckenkammanteil zu haben. Dann kann ein bikortikaler Span der gewünschten Größe entnommen werden (Abb. 21.52f).

Alternative Techniken für die Entnahme größerer Knochenanteile sind, den entstandenen Defekt am Beckenkamm mit einer Drittelrohrplatte zu überbrücken oder die Crista ganz unversehrt zu lassen und lateral an der Beckenschaufel einen kastenförmigen Knochenblock zu entnehmen. Dabei muss beachtet werden, den Block etwas konisch zu schneiden, sonst lässt er sich nicht aus seinem Lager heben.

Wundverschluss

Die Entnahmedefekte werden zur Blutstillung fest mit Kollagenvliesen austamponiert. Eine Redon-Drainage wird subfaszial und evtl. eine weitere subkutan eingelegt. Entscheidend für die Reduktion postoperativer Schmerzen ist, die durchtrennte Bauchdeckenaponeurose sehr stabil in sich zu vernähen. Je stabiler die Naht, umso geringer sind die Beschwerden des Patienten bei der späteren Mobilisierung. Man verwendet für die Adaptation resorbierbare Einzelknopfnähte der Stärke 1. Die Subkutis wird ggf. zweischichtig versorgt und die Haut ebenfalls mit einzelnen Nähten möglichst »wasserdicht« verschlossen, weil die Weichteildeckung an dieser Körperstelle besonders dünn ist und sich Serome leicht einen Weg zur Hautoberfläche bahnen können.

Gefahren

Eine Nachblutung droht, wenn die Blutung aus dem Knochen nicht mit Kollagenvlies tamponiert wird. Ausgeprägte postoperative Schmerzen im Beckenkammbereich bei der Mobilisation des Patienten oder Wundheilungsstörungen sind Zeichen für eine insuffiziente Naht der Bauchdeckenaponeurose.

Dorsaler Zugang

Indikationen

Knochenentnahme.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Bauchlage.

Zugang

Es wird ein etwa 8 cm langer schräger Schnitt von mediokranial nach laterokaudal geschaffen. Faszie und Periost werden T-förmig gespalten. Der Querbalken des T kommt dabei auf dem Beckenkamm zu liegen. In diesem Bereich löst man die ansetzende Glutealmuskulatur en bloc, also Faszie und Periost in einer Schicht vom Rand der Crista ab, um ein gutes Nahtlager für den späteren Wundverschluss zu schaffen. Anschließend werden die Glutäen auf beiden Seiten subperiostal mobilisiert, sodass eine ausreichend große Knochenfläche am dorsalen Aspekt der Beckenschaufel frei wird. Mit einem Meißel hebt man nun einen Kortikalisdeckel. Dann können mit einem scharfen Löffel Spongiosachips entnommen werden. Größere Mengen Spongiosa lassen sich ohne großen Kraft- und Zeitaufwand mit der kleinsten Hüftpfannenraffelfräse gewinnen und kortikospongiöse Späne mit einem Hohlmeißel. Werden besonders große monokortikale Späne gebraucht, schneidet man die Kanten eines kastenförmigen Stücks Beckenkamm mit einem breiten Meißel oder der oszillierenden Säge in der äußeren Kortikalis vor und hebelt es anschließend ebenfalls mit einem Meißel aus seinem Bett, ohne die gegenüber liegende Kortikalis zu verletzen (Abb. 21.53).

Wundverschluss

Beim Wundverschluss ist es genauso wie beim ventralen Vorgehen entscheidend wichtig, das Entnahmelager fest mit Kollagenschwämmen auszutamponieren, um einer Nachblutung entgegenzuwirken und die Faszie möglichst stabil zu reinserieren. Für die suffiziente Tamponade benötigt man meist mehrere Schwämme. Die stabile Reinsertion wird mit resorbierbaren Fäden der Stärke 1 durchgeführt. Die Nähte werden am besten transossär mit einer scharfen Nadel oder nach Vorbohren mit einem 2er K-Draht verankert. Auf das tamponierte Entnahmelager wird eine Redon-Drainage gelegt, dann wird die längs gespaltene Faszie genäht, ein subkutanes Redon eingelegt, die Subkutis je nach Schichtdicke ggf. zweischichtig genäht und die Haut adaptiert.

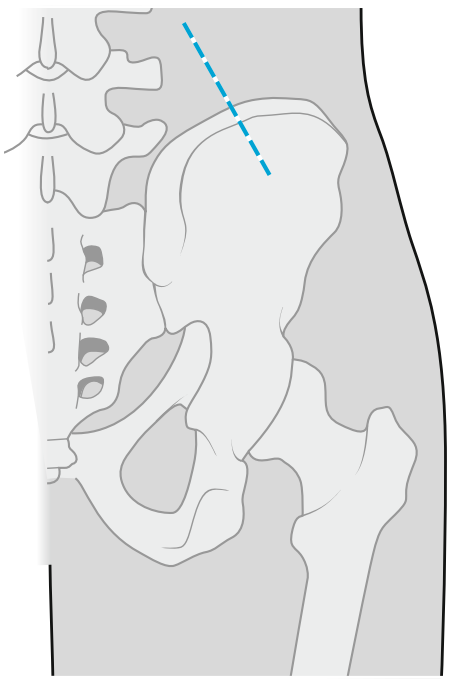


Abb. 21.53 Dorsaler Zugang zum Beckenkamm

Gefahren

Die schräge Schnittführung von mediokranial nach laterokaudal hat gegenüber der konventionellen queren Schnittführung entlang der Crista den Vorteil, dass er weniger Schmerzen verursacht, die Narbe kosmetisch günstiger heilt, die Muskulatur besser geschont wird und keine Hautnerven gekreuzt werden. Wenn das Entnahmelager nicht ausreichend tamponiert wird, droht eine Nachblutung und wenn die Muskulatur im Ursprungsbereich an der Crista iliaca nicht stabil refixiert wird, kann sich eine funktionell und kosmetisch ungünstige muskuläre Delle bilden.

21.10 Hüfte und Oberschenkel

B. Weigel

21.10.1 Hüftgelenk

Minimal-invasiver, anterolateraler Zugang nach Röttinger

Indikationen

Endoprothetik, Oberflächenersatz, Revisionen.

Vorbemerkung

Das Intervall zwischen dem M. tensor fasciae latae einerseits und den Mm. gluteus medius und minimus andererseits wird seit jeher für die Hüftendoprothetik als Zugangsweg benutzt (Watson-Jones, Bauer). Die Präparation verläuft in ausreichendem Abstand von Gefäßen und Nerven und ist zunächst auch schonend, weil sie eine Muskellücke nutzt. Spätestens aber beim Einbringen des Prothesenstiels ist beim am Rücken liegenden Patienten der Muskelansatz der Hüftabduktoren im Weg und muss teilweise vom Knochen abgelöst und später wieder reinseriert werden. Röttinger (2006) hat dieses Problem gelöst, indem er seine Patienten in Seitenlage unter Verwendung besonderer Instrumente operiert. Die jeweils erforderliche Relaxierung der Hüftabduktoren für eine ungehinderte Pfannen- und Schaftexposition erreicht er durch spezielle, wechselnde Beinpositionen. Die Muskel- und Sehnenansätze am Trochanter major bleiben vollständig erhalten. Dies korreliert mit geringeren Blutverlusten, wenigeren postoperativen Beschwerden, einer rascheren Rehabilitation und Wiedererlangung der Mobilität.

Beschränkungen der Anwendbarkeit des Zugangs hinsichtlich des Körpergewichts des Patienten, seiner individuellen Knochendichte, etwaiger Voroperationen oder Fehlstellungen bestehen nicht.

Vorbereitung

Der Hautschnitt ist beim normalgewichtigen Patienten nur zwischen 6 und 9 cm lang. Dieser Umstand stellt hohe Anforderungen an das Instrumentarium. Kleine Zugänge verursachen einen erhöhten Gewebedruck unter den Haken, insbesondere an deren Kanten. Deshalb bedarf es spezieller Hebel mit abgerundetem Design und in verschiedenen Größen. Die Kleinheit des Zugangs lässt ein direktes, geradliniges Auffräsen der Pfanne und Aufraspeln des Schafts nicht zu. Deshalb braucht man für diese Arbeitsschritte wiederum spezielle Instrumente, die bajonettförmig modifiziert sind (Abb. 21.54a).

Der Patient wird in Seitenlage gebracht. An der Symphyse und am Kreuzbein wird jeweils eine Seitenstütze angebracht, damit

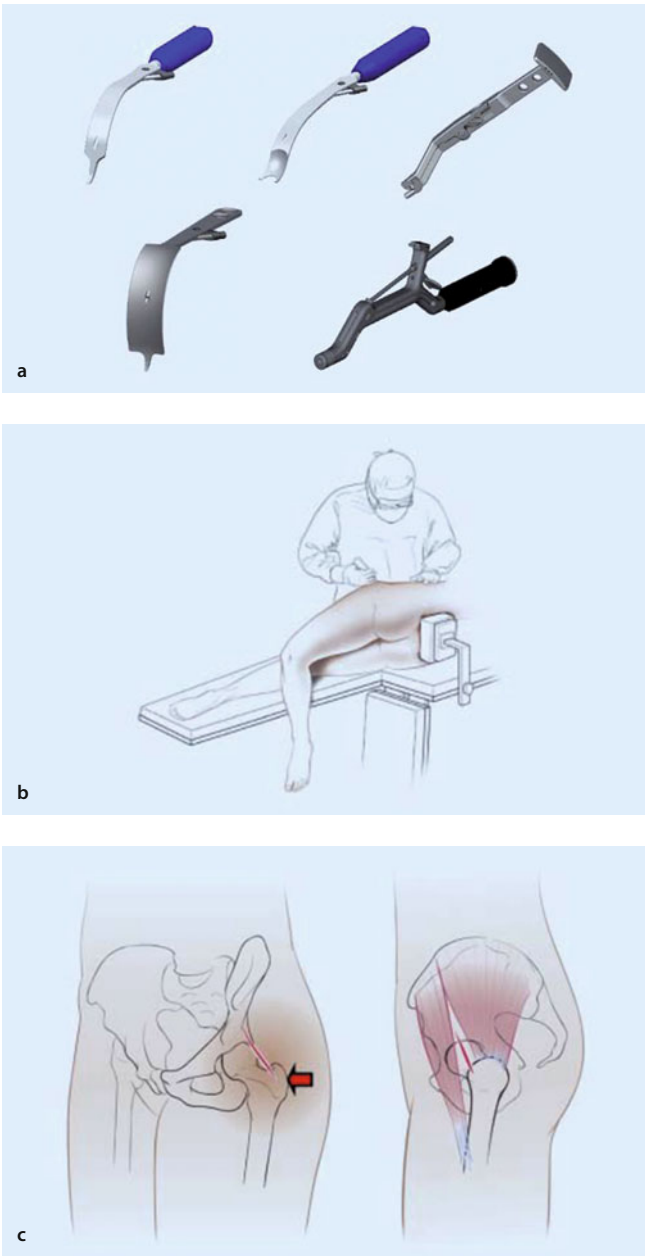


Abb. 21.54a–d Minimal-invasiver anterolateraler Zugang zu Hüfte nach Röttinger. **a** Modifizierte Instrumente zur Schonung der Weichteile mit der Option Kaltlicht in den Situs einzustrahlen. **b** Der Tisch wird einseitig abgeklappt, um das Bein ungehindert auslagern zu können. **c** Der Hautschnitt liegt über dem freien Muskelintervall und verläuft in Richtung Septum intermusculare. **d** Fuß und Unterschenkel werden bei vollständig außenrotiertem Bein und 90° gebeugtem Knie in einem Beutel steril bewahrt. (Aus: Röttinger 2006)

der Patient stabil liegt. Eine zusätzliche Stütze kann an der Brustwirbelsäulenkyphose angebracht werden. Der Arm wird auf einer Armstütze vor dem Körper fixiert. Röttinger (2006) empfiehlt ein Vakuumkissen zur zusätzlichen Stabilisierung. Die gleichbleibende Position des Patienten während der gesamten Operation ist für die Orientierung des Operateurs und für eine exakte Implantatpositionierung unabdingbar. Das Bein wird während der Operation bedarfsweise in der Hüfte überstreckt, adduziert und um 90° außenrotiert. Damit dies unbehindert möglich ist, muss dasjenige Fußteil des Operationstischs abgeklappt oder demontiert werden, das diesem Manöver im Weg steht (◘ Abb. 21.54b). Die Arbeit des Assistenten wird erleichtern, indem man am kontralateralen Fußteil des Operationstischs einen Beinhalter befestigt, auf dem das zu operierende Bein bei Bedarf in leichter Abduktion und Hüftbeugung abgelegt werden kann. Dabei empfiehlt sich, die Halteschale so einzustellen, dass sie das Knie und den proximalen Unterschenkel abstützt, denn wenn weiter distal steht, liegt das Bein nicht mehr stabil und tendiert dazu, in Knie und Hüfte abzuknicken.

Zugang

Beim Hautschnitt liegt das Bein leicht abduziert auf der Beinschale. Der Schnitt verläuft über dem Septum intermusculare zwischen M. gluteus medius und M. tensor fasciae latae. Als anatomische Landmarken dienen die anteriore Spitze des Trochanter major und die Spina iliaca anterior superior. Die Faszie wird in gleicher Richtung durchtrennt (◘ Abb. 21.54c). Der Unterrand des M. gluteus medius ist kranial mit dem dorsalen Rand des M. tensor fasciae latae aponeurotisch verbunden, während distal in Trochanterhöhe ein dreieckiges Intervall besteht, das nach ventral hin vom M. vastus intermedius begrenzt wird und mit lockerem Binde- oder Fettgewebe gefüllt ist. In diesem Intervall kann man in der Tiefe den Schenkelhals tasten und einen Knochen-Hebel nach dorsal und einen zweiten nach ventral setzen. Durch Spreizen der Hebel trennen sich die Muskeln im Verlauf des Septum intermusculare anatomisch sauber von einander und die Hüftgelenkkapsel wird sichtbar.

Nun wird die anterolaterale Hüftgelenkkapsel reseziert. Dazu wird das Bein, das seit Beginn der Operation in leichter Abduktion lag, zusätzlich außenrotiert. Anschließend wird die Kapsel inzidiert – ob H-, C-, Z- oder T-förmig, ist beliebig. Auf jeden Fall muss sie weiträumig vom Labrum bis zum Ansatz der glutealen Sehnen der Trochanterspitze entfernt werden, sonst hat man nicht genug Platz für die nun folgende Osteotomie. Nach der Kapselresektion werden die Knochen-Hebel zwischen Kapsel und Schenkelhals umgesetzt. Dann wird das Knie gebeugt und das Bein bei hängendem Unterschenkel außenrotiert, soweit es die arthrotisch eingeschränkte Hüftbeweglichkeit zulässt.

Die Osteotomie selbst muss als Doppelosteotomie ausgeführt werden, damit man eine etwa 2,5 cm dicke Scheibe aus dem Schenkelhals herausnehmen kann. Nur so bekommt man ausreichend Platz für die Extraktion des Hüftkopfs, denn die gluteale Muskulatur soll ja vollständig an der Trochanterspitze integriert bleiben. Durch den vollständig erhaltenen Muskelzug würde man bei nur einfacher Osteotomie keinen Spielraum gewinnen, um den Hüftkopf extrahieren zu können. Die Sägeschnitte werden mit einem schmalen, etwa 1 cm breiten Sägeblatt ausgeführt, damit man innerhalb der seitlichen Begrenzung durch die Knochen-Hebel sägen kann. Die Hebel schützen die Muskulatur. Bereits ein kurzer Kontakt mit der oszillierenden Kante des Sägeblatts kann Defekte in das Muskelgewebe reißen.

Die erste Osteotomie erfolgt, wie bereits oben erwähnt, bei abduziertem und außenrotiertem Bein. Der Sägeschnitt verläuft transkapital pararallel der subkapitalen Taille des Hüftkopfs unter Berücksichtigung der Pfanneneingangsebene und somit nach distal gekippt, damit der Acetabulumrand nicht angesägt wird. Nach der Osteotomie lässt sich das Bein in eine vollständige 90°-Außenrotationsposition drehen. Der Schenkelhals wird mit einem Cobb-Raspatorium aus dem Situs nach oben gehebelt. Dadurch wird er besser sichtbar und der Operateur kann die Schenkelhalsbasis erkennen, wo der zweite Sägeschnitt gesetzt wird. Bei diesem zweiten Schnitt muss der Oberschenkel vom Assistenten angehoben werden, sodass er parallel zum Boden ausgerichtet ist. Gleichzeitig wird er 90° außenrotiert, bei ebenfalls 90° gebeugtem Knie.

Damit der steril eingepackte Fuß bei diesem Manöver nicht zu weit in Bodennähe gerät, wo seine Abdeckung unter Umständen unsteril werden könnte, wird er in einen sterilen Sack versenkt. Dieser Sack kann z.B. ein Tischbezug sein, der am Kittel des Assistenten ähnlich einem Kängurubeutel befestigt wird (◘ Abb. 21.54d).

Jetzt kann sich der Operateur an den knöchernen Achsen und der Schenkelhalsbasis orientieren und die korrekte Osteotomieebene ermitteln. Diese zieht durch den tiefsten Punkt der Fossa trochanterica, dem so genannten Schenkelhalssattel. Nach der Osteotomie, die wiederum zum Schutz der Muskulatur zwischen Knochen-Hebeln ausgeführt wird, kann man die herausgeschnittene Knochenscheibe entnehmen. Anschließend hat man ausreichend Platz, um den Hüftkopf einfach und schnell mit einem großen Cobb-Raspatorium aus der Pfanne zu hebeln. Das Vorgehen wird erleichtert, wenn man mit dem Raspatorium den Ursprung des Ligamentum capitis femoris vom Pfannengrund abschiebt.

Für die Darstellung des Acetabulums wird das Bein wieder leicht abduziert und gestreckt auf der Beinschale gelagert. Mit 3 speziell gerundeten Hebeln wird die Pfanne exponiert. Die Hebel werden am Pfannenrand subkapsulär eingesetzt, einer ventrokaudal, einer dorsokaudal und der dritte kranial. Dann werden Labrumreste und Osteophyten entfernt. Anschließend wird das Acetabulum schrittweise aufgefräst. Spezielle Raspeln mit Taillierung ermöglichen es, diese gewebeschonend einzubringen. Der Zugang bietet eine hervorragende Übersicht über die gesamte Pfanne, sodass etwaig erforderliche rekonstruktive Maßnahmen im Pfannendach- oder -bodenbereich problemlos durchgeführt werden können.

Für die Aufbereitung des Femurschafts wird das Bein wieder 90° außenrotiert, im Knie gebeugt, der Fuß in den »Kängurusack« gesteckt und das Hüftgelenk überstreckt. Mit 2 Knochen-Hebeln wird das proximale Femur exponiert. Ein Hebel wird am Kalkar eingesetzt, der andere direkt hinter die Trochanter-major-Spitze zum Abhalten der Hüftabduktoren. Wenn die Eingangsebene noch nicht richtig zugänglich ist, wird ein Kapselrelease am superioren und dorsalen Schenkelhals durchgeführt. Die Formraspeln werden mit einem bajonettförmigen Handgriff versehen, der ein Aufraspeln des Schafts ohne Hautkontakt ermöglicht.

Wundverschluss

Insgesamt werden 2 Redon-Drainagen eingelegt, die eine intraartikulär und die andere subkutan. Die Faszie wird mit einzelnen Nähten adaptiert und die Subkutis je nach Schichtdicke ggf. auch mehrschichtig genäht. Dann folgt die Hautnaht.

Gefahren

Der Zugang sieht in der Hand des Geübten einfach aus, ist aber schwierig zu erlernen. Man muss in den einzelnen Phasen der Operation die jeweils erforderliche Lagerung des Beins berück-

sichtigen. Ein typischer Anfangsfehler ist, dass man zu weit kranial auf das Gelenk eingeht. Die Osteotomieebene richtig zu treffen, ist ebenfalls schwierig, weil man aufgrund der Seitenlage des Patienten die räumliche Orientierung neu erlernen muss. Bei der Osteotomie kann man in den Pfannenrand geraten. Wenn die Knochenscheibe, die man aus dem Schenkelhals sägt, zu klein ist, kann die Pfannenpräparation erschwert oder aufgrund von Platzmangel sogar unmöglich sein. Wenn sie zu groß wird, kann der Trochanter beschädigt werden. Beim Kapselrelease muss man den Schenkelhals bis zur Basis zirkulär freilegen, sonst wird das proximale Femur nicht mobil genug und man kann den Schaft nicht aufbereiten, ohne die Weichteile zu quetschen.

Typisch für den Zugang ist die Abrissfraktur des dorsalen Anteils des Trochanter major, die in einem mehr als 1000 Patienten großen Kollektiv von Röttinger (2006) in 34 Fällen auftrat. Laut Röttinger handelt es sich aber nur um einen knöchernen Kapselausriss, nicht um einen muskulären, weshalb nicht mit sekundären Dislokationen oder muskulären Insuffizienzen zu rechnen ist und weshalb das Fragment nicht fixiert zu werden braucht. Durch ein erweitertes Kapselrelease kann man dieser typischen Komplikation vorbeugen.

Frühinfekte traten 2-mal, Beinvenenthrombosen 4-mal und Embolien ebenfalls nur 2-mal auf. Nennenswerte Beinlängendifferenzen wurden bisher nicht beobachtet, und es ereigneten sich nur 2 Luxationen aufgrund fehlpositionierter Pfannen in der Anfangsphase. Diese positiven Ergebnisse rühren daher, dass die gluteale Muskulatur vollständig erhalten bleibt, denn die muskuläre Vorspannung gibt die korrekte Beinlänge vor und verhindert (bei korrekter Pfannenposition) Luxationen zuverlässig. Röttinger (2006) hat mittlerweile so viel Erfahrung mit seinem Zugang, dass er sowohl auf einen Cell-Saver als auch auf Drainagen verzichtet. Da die Abduktoren komplett geschont werden, rechnet er mit besseren Langzeitergebnissen, was jedoch bisher nicht bewiesen ist.

Transglutealer Zugang zum Hüftgelenk (nach Bauer/alpenländischer Zugang)

Indikationen

Koxarthrosen, hüftgelenknahe Frakturen.

Vorbereitung

Der Eingriff kann in Seiten- oder Rückenlage des Patienten ausgeführt werden. Vorteil der Seitenlage ist, dass man beim Operieren weniger Kraft zum Abhalten der Weichteile aufwenden muss und, von der Arbeitsrichtung her gesehen, entspannter operieren kann. In Rückenlage kann man dagegen besser röntgen sowie die Position der Hüftpfanne und die Beinlänge im Seitenvergleich einfacher beurteilen. Das ipsilaterale Bein wird frei beweglich abgedeckt. Bei der Operation soll das Bein in der Hüfte leicht gebeugt sein, damit die Weichteile ventral der Hüftgelenkkapsel entspannt sind. Dies gelingt in Seitenlage bereits durch bloße Lagerung, während in Rückenlage dafür eine voluminöse Tuchrolle unter das Knie gelegt wird.

Zugang

Es wird ein gerader Zugang über den Trochanter major gelegt und etwa handbreit proximal der Spitze des Trochanters begonnen und handbreit distal davon geendet. Im Rahmen der Endoprothetik empfiehlt es sich, den Zugang proximal etwas nach dorsal abzubiegen, um einen günstigeren Eingangswinkel für den Prothesenstiel zu bekommen. Die Fascia lata wird in Schnittrichtung gespalten. Dann werden die Mm. gluteus medius, minimus und vastus lateralis im Faserverlauf etwa einen Querfinger vor dem Scheitelpunkt der lateralen Zirkumferrenz des Trochantermassivs gespalten. Dabei wird das tendoperiostale Gewebe zwischen M. gluteus medius und M. vastus lateralis von der Vorderseite des Trochanter major in einer Schicht, am besten mit dem Diathermiemesser, direkt vom Knochen subperiostal abgelöst, um ein stabiles Nahtlager für den späteren Wundverschluss zu erhalten (Abb. 21.55). Der Faszienperiostlappen wird bis zum lateralen Ansatz der Hüftgelenkkapsel gelöst und kann ab hier auf der Vorderfläche der Kapsel bis zum Pfannenrand stumpf weiter mobilisiert werden. Die Präparation wird durch die Lagerung in leichter Hüftbeugung deutlich erleichtert. Nun kann ein spitzer Hohmann-Hebel hinter dem oberen Rand des aufsteigenden Schambeinasts eingesetzt werden. Dabei muss man direkt auf der Kapsel bleiben, um die ventral gelegenen Mm. tensor fasciae latae und rectus femoris sowie N. femoralis, Leistengefäße und die Psoassehne nicht zu verletzen. Der Hüftkopf kann durch Adduktion und Außenrotation des Beins luxiert werden.

Bei der Endoprothetik wird die ventrale Kapsel türflügelartig eröffnet und ggf. reseziert, bis der Schenkelhals mit runden Hohmann-Hebeln umfahren werden kann. Dazu muss das Bein außenrotiert werden, sonst ist der Winkel für die Hebel zu schräg. Nun besteht ein ausreichender Überblick für die Osteotomie des Schenkelhalses. Die Osteotomieebene verläuft knapp oberhalb der

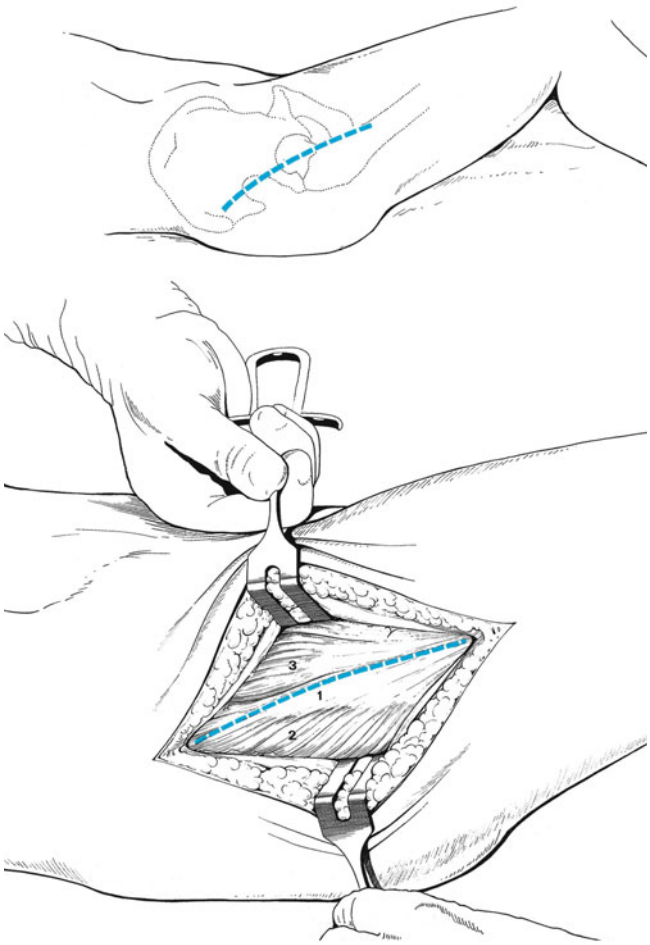


Abb. 21.55 Transglutealer Zugang zum Hüftgelenk. *1* Trochanter major, *2* M. gluteus maximus, *3* M. gluteus medius. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Spitze des Trochanter major im 45°-Winkel nach mediokaudal zur Femurachse. Dabei wird eine Antetorsion von 10° berücksichtigt. Anschließend wird der Hüftkopf mit dem Hüftkopfauszieher, einem korkenzieherartigen Instrument, extrahiert – evtl. unter zusätzlichem Einsatz eines Luxationshebels, der eine ähnliche Form wie ein Schuhlöffel hat. Falls die Hüftpfanne ersetzt werden soll, wird die verbliebene Kapsel entlang des Pfannenrandes reseziert. Dazu exponiert man das Acetabulum mit insgesamt 3 oder 4 Hebeln. Ein schmal-spitzer Hohmann-Hebel wird oberhalb des kranialen Pfannenrandes eingeschlagen, der Obturatorhaken mit seinem schwalbenschwanzartigem Ende stützt sich am ventrokaudalen, der Müller-Haken am dorsalen Pfannenrand ab. Man kann aber auch allein mit breit- oder schmal-spitzen Hohmann-Hebeln arbeiten. Sie sind schlanker als der Obturator- und der Müller-Haken, lassen sich wesentlich schonender einsetzen und vermitteln einen ähnlich guten Überblick.

Die Hüftpfanne ist nun breit exponiert, sodass sie mit Raffelfräsen schrittweise für die spätere Aufnahme der Pfannenkomponente aufbereitet werden kann.

Für die Implantation eines Prothesenstiels muss der Femurschaft folgendermaßen exponiert werden: Man setzt einen breitspitzen Hohmann-Hebel hinter den Trochanter major, um den Tractus iliotibialis nach dorsal abzulenken und führt dann erst, nach Setzen dieses Hakens, das Bein über das der kontralateralen Seite und rotiert es dabei gleichzeitig um 90° nach außen. Ein weiterer breit-spitzer Hohmann-Hebel wird hinter den Trochanter minor, ein dritter Hebel bei Bedarf von kranial hinter den Trochanter major eingesetzt. Auf diese Weise wird die Eingangsebene für die Schaftraspeln breit exponiert. Die vulnerablen Muskelfasern werden vor der rauen Oberfläche der Raspeln geschützt. Bei der räumlichen Einstellung der Formraspeln im Femurschaft orientiert man sich an der Position des Unterschenkels. Die Raspelebene liegt medial lotrecht zur Sagittalebene des Unterschenkels zusätzlich des Antetorsionswinkels, den der Operateur in Abhängigkeit von den anatomischen Verhältnissen und dem Pfannenwinkel etwa in einem 10°-Winkel einstellt.

Wundverschluss

Insgesamt werden 3 Redon-Drainagen eingelegt, eine intraartikulär, eine subfaszial und eine subkutan. Alle Redon-Draingen ventral des Zugangs in der Nähe der Leistenbeuge auszuleiten, hat den Vorteil, dass nach dem Ziehen der Drainagen die Sekretion gegen die Schwerkraft läuft und schneller spontan sistiert. Allerdings muss man sich beim Ausleiten der Drainagen den Verlauf der Leistengefäße vergegenwärtigen, um sie nicht zu verletzen. Nun werden die Glutäen mit einzelnen Nähten adaptiert. Im Bereich des tendoperiostalen Gewebes am Trochanter major besteht ein sehr stabiles Nahtlager. In dieser Phase der Operation ist es hilfreich, das Bein etwas abduziert und innenrotiert zu lagern bzw. vom Assistenten halten zu lassen, dann liegt weniger Spannung auf den Nähten und die Adaptation insbesondere auch der angrenzenden muskulären Anteile mit ihrem zerreißlicherem Nahtlager ist weniger problematisch. Nach Einlage einer subfaszialen Drainage erfolgt die fortlaufende Naht des Tractus iliotibialis ebenfalls in Abduktion, aber bei Neutral- oder leichter Außenrotation des Beins. Dann wird die subkutane Redon-Drainage eingelegt und die Subkutis ggf. mehrschichtig vernäht. In Neutralstellung des Beins verschiebt sich die dorsale Wundlefze immer gegenüber der ventralen nach proximal. Bei der Naht kann diese Verschiebung leicht unbemerkt fixiert werden. Die Verschiebung kann ausgeglichen werden, indem das Bein für diese Phase des Wundverschlusses über dem kontralateralen gekreuzt gelagert wird. Dadurch werden eine leichte Beugung in der Hüfte und eine Adduktion erreicht. Der Assistent sorgt überdies für eine Innenrotation. Auf diese Weise spannen sich beide Wundlefzen gleichmäßig an und ihre Parallelverschiebung wird aufgehoben. Zuletzt wird die Haut mit Einzelknopfnähten adaptiert.

Gefahren

Bei der Exposition der ventralen Gelenkkapsel können die Mm. tensor fasciae latae und rectus femoris sowie N. femoralis, Leistengefäße und die Psoassehne verletzt werden. Wenn der N. femoralis überdehnt wird, kann eine Parese der Oberschenkelstrecker resultieren. Die Parese hat zwar eine gute Prognose, kann aber 1 Jahr bestehen bleiben. In dieser Zeit sind die Patienten deutlich beeinträchtigt und u.a. auf eine Gehhilfe angewiesen. Der Gefahr des Dehnungsschadens wirkt eine leichte Hüftbeugung durch Lagerung des Knies auf einer Tuchrolle entgegen. Bei ausgeprägter Osteoporose kann bei der Exposition des Femurs zur Aufnahme des Prothesenstiels der Femurschaft brechen. In solchen Fällen empfiehlt es sich, das Bein nur 45° nach außen zu rotieren und dies beim Einbringen des Prothesenstiels zu berücksichtigen, indem die Prothese im 45°-Winkel plus 10° Antetorsion, zwischen der Horizontal- und Vertikalebene eingestellt, eingebracht wird.

Anterolateraler Zugang zum Hüftgelenk (nach Watson-Jones)

Indikationen

Hüftgelenknahe Frakturen, Hämatome oder Empyeme des Hüftgelenks, mit Einschränkung Koxarthrosen.

Vorbereitung

Der Eingriff kann wiederum in Seiten- oder Rückenlage des Patienten ausgeführt werden. Das ipsilaterale Bein wird frei beweglich abgedeckt. Bei der Operation soll das Bein in der Hüfte leicht gebeugt sein. Vor- und Nachteile des jeweiligen Vorgehens sind im ▶ Abschnitt 21.10.1.2, Transglutealer Zugang zum Hüftgelenk (◘ Abb. 21.55), dargestellt.

Zugang

Der Zugang unterscheidet sich nur wenig vom transglutealen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass nicht durch, sondern ventral der glutealen Muskulatur auf die Hüftgelenkkapsel eingegangen wird. Dadurch bleibt der gesamte Verbund der glutealen Muskulatur belassen. Der Zugang eignet sich zur Reposition von Frakturen und Entlastung von Hämatomen oder Emphyemen des Hüftgelenks. Für die Endoprothetik ist er weniger geeignet, denn beim Aufbereiten des Femurköchers für Geradschäfte versperren die glutealen Muskeln meist den Weg derart, dass sie nicht ohne sie zu kerben beiseite gehalten werden können (◘ Abb. 21.56). Allerdings empfiehlt sich dieser Zugang für das Einsetzen schenkelhalssparender Prothesenmodelle oder kurvierter Schäfte, für die man die Glutäen nicht abzulösen braucht.

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt – abgesehen von der Naht des tendoperiostalen Lappens – wie beim transglutealen Vorgehen.

Gefahren

Gekerbte Muskulatur zu nähen ist weitaus problematischer als einen in Längsrichtung gespaltenen und subperiostal mobilisierten tendoperiostalen Lappen wie er beim transglutealen Vorgehen geschaffen wird. Das bloße muskuläre Nahtlager reißt leicht aus und kann Glutealinsuffizienzen zur Folge haben.

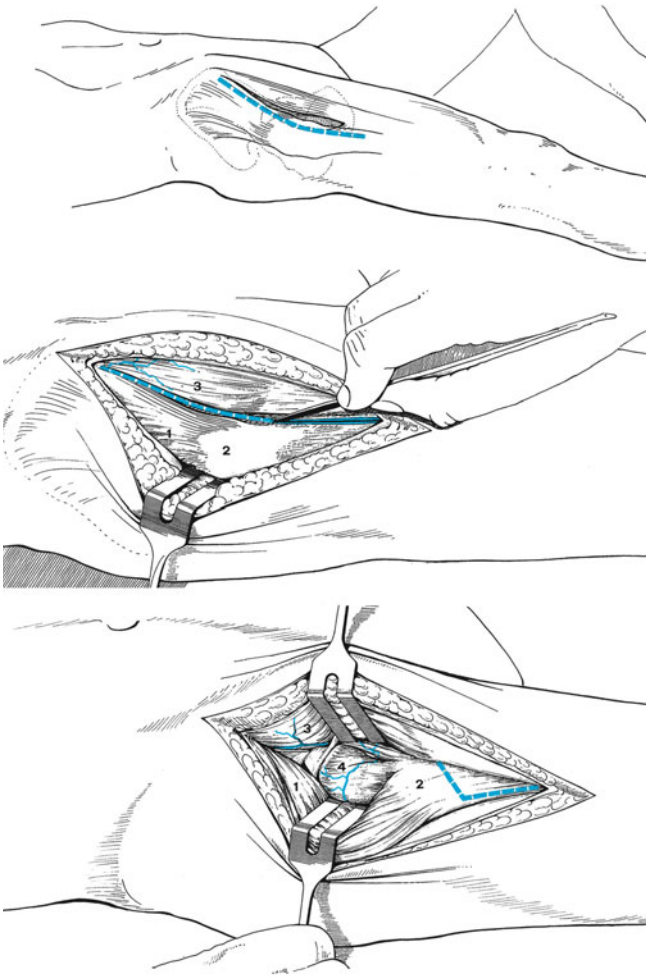


Abb. 21.56 Anterolateraler Zugang zum Hüftgelenk (nach Watson-Jones). *1* M. gluteus medius, *2* Trochanter major, *3* M. tensor fasciae latae, 4 Gelenkkapsel. (Hinweis: Die Zeichnung berücksichtigt nicht, dass das Bein auf der Seite, die operiert wird, in Hüfte und Knie leicht gebeugt werden muss). (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Iliofemoraler Zugang zum Hüftgelenk (nach Smith-Petersen)

Indikationen

Acetabulumfrakturen (über den iliofemoralen Zugang), Hüftkopffrakturen (über die Variante nach Smith-Petersen).

Vorbereitung

Der Eingriff erfolgt in Rückenlage des Patienten bei frei beweglich abgedecktem Bein, wie oben für die beiden anderen Zugänge zum Hüftgelenk beschrieben.

Zugang

Sowohl die Innenseite der Darmbeinschaufel kann dargestellt werden als auch die Außenseite. Letztere Variante ist diejenige nach Smith-Petersen. Acetabulumfrakturen werden von innen, Hüftkopffrakturen von außen angegangen. Der Schnitt beginnt weit lateral über der Crista iliaca und folgt ihr bis zur Spina iliaca anterior superior. Dort macht er einen scharfen Knick nach distal, wo er auf einer gedachten Linie zwischen den tastbaren Muskelbäuchen der Mm. tensor fasciae latae und sartorius bzw. rectus femoris etwa 15 cm weitergeführt wird. Die Externusaponeurose wird am lateralen Rand der Crista inzidiert. Um zum Acetabulum zu gelangen, wird die Innenseite der Darmbeinschaufel subperiostal freigelegt wie es oben beim iliofemoralen Zugang zum Acetabulum beschrieben ist. Dann wird die Faszie über dem Innenrand des M. tensor fasciae latae gespalten, um den N. cutaneus femoris lateralis in der Faszienscheide des M. sartorius nicht zu verletzen. Man mobilisiert den Tensor von der medialen Faszienwand, identifiziert in der Tiefe den sehnigen Ansatz des M. rectus femoris, durchtrennt die Faszie hier nochmals scharf und zieht den Tensor nach lateral.

Hier verläuft quer ein Gefäßbündel der A. und V. circumflexa femoris lateralis, das unterfahren und ligiert wird. Die Pars reflecta des M. rectus femoris kann nun von der Hüftgelenkkapsel gelöst werden. Anschließend wird der Ursprung des Leistenbandes und des M. sartorius an der Spina iliaca anterior superior unterfahren und osteotomiert. Zur Rotationssicherung der späteren Schraubenfixierung wird die Osteotomie rechtwinklig angelegt. Das dafür notwendige Bohrloch wird bereits vor dem Ablösen des knöchernen Ursprungs geschaffen. Leistenband und M. sartorius können nun nach medial beiseite gehalten werden, und der Zugang zur Gelenkkapsel sowie der vorderen Wand bzw. dem vorderen Pfeiler des Acetabulums ist frei (Abb. 21.57).

Für eine optimale Exposition des Hüftgelenks geht man distal vor, wie oben beschrieben. Proximal wird aber die Außenseite der Darmbeinschaufel freigelegt, wie von Smith-Petersen angegeben. Dazu werden die Glutäen mobilisiert. Die Hüftgelenkkapsel wird T-förmig oder türflügelartig zwischen Haltenähten eröffnet. Eine noch bessere Exposition ist durch die Ablösung des Adduktorenursprungs möglich.

Wundverschluss

Der Wundverschluss erfolgt wiederum unter Einlage einer gelenknahen, subfaszialen und subkutanen Drainage. Gegebenenfalls wird die Hüftegelenkkapsel genäht, abgelöste Muskelursprünge refixiert, die Externusaponeurose stabil am Beckenkamm adaptiert und der Situs schichtweise verschlossen, wie es für die anderen Zugänge zum Hüftgelenk beschrieben wurde.

Gefahren

Der N. cutaneus femoris lateralis kann verletzt werden. Aus hüftgelenknahen Arterien kann es stark bluten. Bei insuffizienter Refixation abgelöster Muskelursprünge können anhaltende postoperative Beschwerden verbleiben. Bei weitgehender Ablösung der Adduktoren drohen heterotope Ossifikationen.

21.10.2 Femur

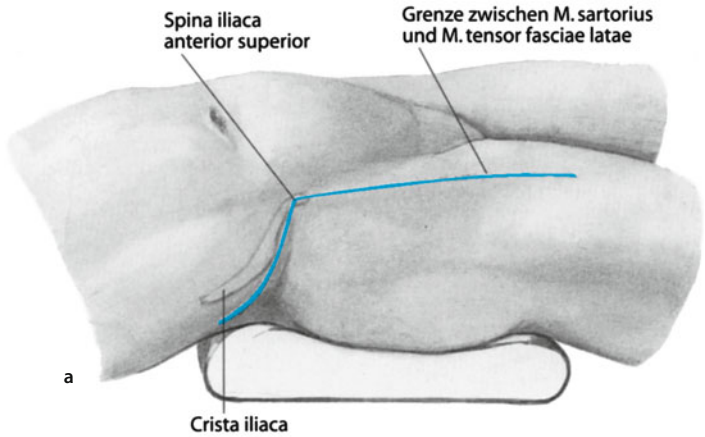
Lateraler Zugang

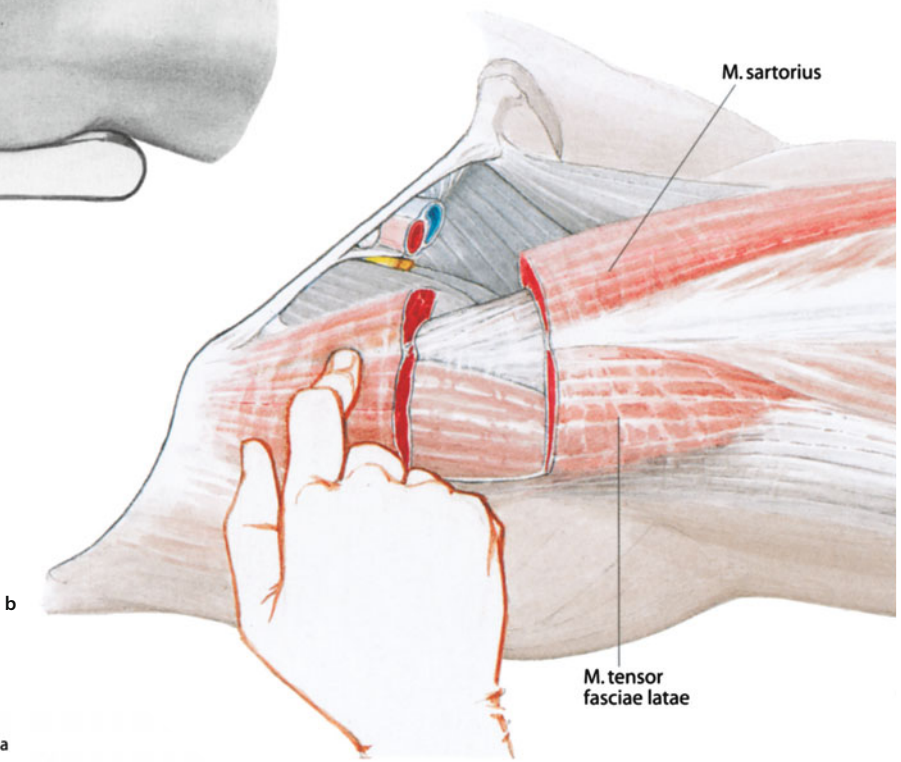
Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen, angeborene und erworbene Fehlstellungen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage oder Seitenlage. Häufig wird der Extensionstisch eingesetzt, es kann aber auch ein Normaltisch verwendet werden. Dann wird in Rückenlage das ipsilaterale Knie auf einer Rolle gelagert, sodass eine leichte Hüft- und Kniebeugung resultiert, was die Muskulatur entspannt. In Seitenlage wird das Bein ebenfalls angebeugt und über dem gestreckten Bein der Gegenseite gelagert.





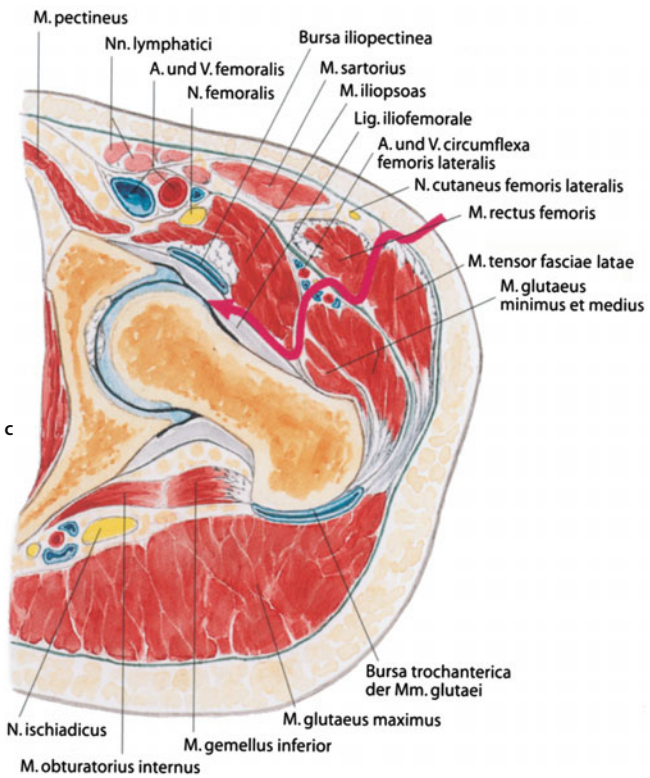


Abb. 21.57a–d Iliofemoraler Zugang zum Hüftgelenk. **a** Schnittführung. **b** Die Präparation zum Acetabulum erfolgt distal in der Faszienhülle des M. tensor fasciae latae. (Aus: Pohlemann u. Tscherne 1998). **c** Darstellung des Wegs durch die anteriore Muskulatur am Femur im distalen Zugangsbereich

Zugang

Man wählt einen ausreichend dimensionierten Abschnitt auf einer gedachten Linie zwischen Trochanter major und Epicondylus lateralis femoris, spaltet die Subkutis möglichst in einer Schicht und anschließend den Tractus iliotibialis. Dann wird der M. vastus lateralis dorsal auf dem Septum intermusculare laterale stumpf mobilisiert und so der Femurschaft erreicht. Mit der Exposition des Schafts wird distal begonnen. Dazu setzt man zunächst einen runden Hohmann-Hebel auf das Femur und mobilisiert den Muskel schrittweise nach proximal. Knochennah verlaufen zirkulär Gefäße, die das Septum intermusculare laterale perforieren (Vasa perforantia). Aus ihnen kann es erheblich bluten. Man sollte sie koagulieren oder ligieren, bevor die Muskulatur ganz von Septum und Knochen abgeschoben wird, weil sich direkt im Septumniveau abgescherte Gefäßstümpfe hinter das Septum retrahieren können und dann nur noch mit größerem Aufwand für eine definitive Blutstillung zu erreichen sind.

Nun lassen sich auch weiter proximal Hohmann-Hebel einsetzen, um das Femur weiter zu exponieren. Proximal kann der M. vastus lateralis bei Bedarf ursprungsnah mit dem Diathermiemesser L-förmig bis auf das Periost inzidiert werden. Meist ist aber diese Kerbung nicht nötig. Um das distale Femur im kondylären Bereich darzustellen, wird der Hautschnitt bis knapp proximal des Tuberculum Gerdyi, dem Ansatz des Traktus am Tibiakopf, geführt. Die A. und V. genus superior lateralis werden bei Bedarf ligiert. Die Präparation zum Knochen erfolgt wie oben beschrieben (Abb. 21.58).

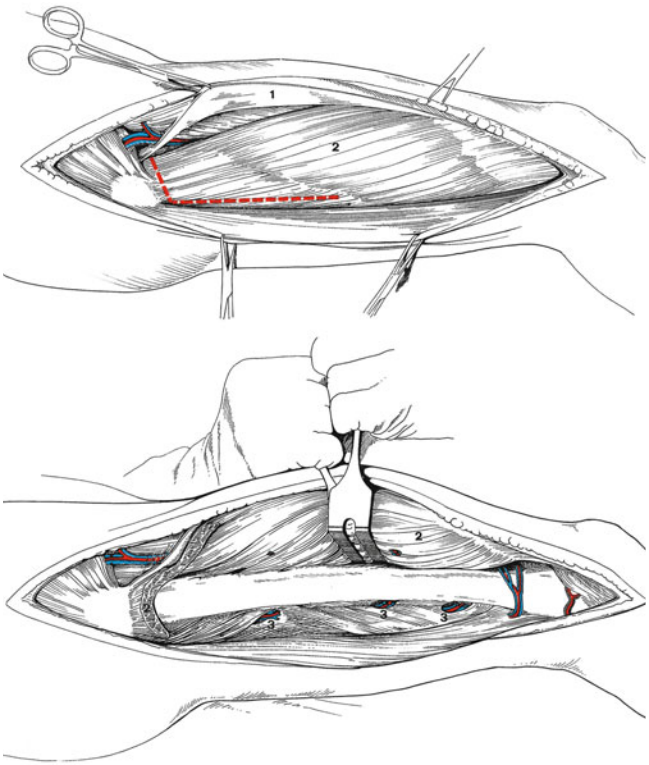


Abb. 21.58 Lateraler Zugang zum Femur. *1* Fascia lata, *2* M. vastus lateralis, *3* Aa. perforantes. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Wundverschluss

Bei kurzen Zugängen genügen eine subfasziale und eine subkutane Redon-Drainage, bei langstreckigen werden gelegentlich auch zwei benötigt. Der Tractus iliotibialis wird stabil vernäht, evtl. auch in Form einer fortlaufenden Naht. Die Subkutis wird ggf. zweischichtig adaptiert, die Haut mit Einzelknopfnähten.

Gefahren

Falls sich ein Gefäßstumpf unter das Septum musculare laterale retrahiert hat und eine anhaltende Blutung besteht, kann das Septum von der Linea aspera gelöst werden, um den Gefäßstumpf zu erreichen. Eine ausgedehnte Deperiostierung der Kortikalis birgt die Gefahr der Wundheilungsstörung.

21.11 Knie und Unterschenkel

B. Weigel

21.11.1 Kniegelenk

Streckseitiger Zugang zum Kniegelenk

Indikationen

Patella- oder Tibiakopffrakturen, Endoprothetik, Infektionen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Ipsilaterales Gesäß und Knie werden unterpolstert.

Zugang

Der Zugang beginnt wenige Zentimeter proximal des oberen Patellapols und reicht bis zur Tuberositas tibiae. Die Weichteildeckung der Patella kann medial oder lateral umschnitten oder senkrecht durchtrennt werden. Je nach Indikation genügen unter Umständen auch Teilabschnitte des Zugangs. Der gerade Zugang schont die arterielle Versorgung der Haut, die von beiden Seiten her erfolgt, am besten. Außerdem hat er den Vorteil, dass er für Operationen, die im Lauf des weiteren Lebens des Patienten notwendig werden sollten, wieder genutzt werden kann.

Der sensible Hautast, der R. infrapatellaris n. sapheni, der in Höhe der Tuberositas tibiae auf epifaszialem Niveau von medial nach lateral verläuft, ist gefährdet. Man sollte ihn identifizieren und nach Möglichkeit schonen, indem man die subkutane Schicht im distalen Wundwinkel en bloc nach kaudal schiebt oder den Nerv anschlingt, um ihn bedarfsweise nach kranial oder kaudal weghalten zu können.

Ein breiter Einblick in das Gelenk wird erreicht, indem man die Quadrizepssehne längs spaltet, die Patella unter Belassung eines ausreichend dimensionierten Saums für die spätere Reinsertion medial umschneidet, sie später bei gestrecktem Knie nach lateral luxiert und anschließend das Knie anbeugt. Dazu muss nicht nur die Quadrizepssehne, sondern auch der obere Recessus ausreichend weit gespalten und die Patellarsehne medial an der Tuberositas tibiae randständig mobilisiert werden. Bei der Umschneidung der Patella sollte am Übergang der Quadrizepssehne zum oberen Patellarand und am unteren Patellarand zur Patellasehne der Schnitt rund, nicht eckig geführt werden. Das erschwert zwar die isometrisch richtige Zuordnung der Retinakulumränder beim späteren Wundverschluss etwas, aber durch den S-förmigen Verlauf der Schnittführung verteilen sich die Zuglasten gleichmäßiger auf die Retinakula und die Gefahr von Nahtinsuffizienzen wird verringert (Abb. 21.59).

Wundverschluss

Eine Redon-Drainage wird ins Gelenk und eine subkutan eingebracht. Der Streckapparat wird möglichst stabil rekonstruiert. Dabei geht man so vor, dass die ersten Nähte am oberen und unteren Patellapol bei leicht gebeugtem Knie gelegt werden. Durch die Kniebeugung geraten die Weichteillefzen unter Spannung. Dies wirkt einer vertikalen Verschiebungen der Streckapparathälften, die zu einer Bewegungseinschränkung führen würden, entgegen. Die Naht der Subkutis erfolgt ggf. zweischichtig. Die Haut wird mit Einzelknopfnähten adaptiert.

Gefahren

Sensibilitätsstörungen ventrolateral über dem Tibiakopf drohen bei Verletzung des R. infrapatellaris n. sapheni. Der gerade Schnittverlauf und die laterale Umschneidung der Patella haben den Vorteil, dass zu diesem Nerven, der häufig verletzt wird, ein größerer Abstand besteht. Am Kniegelenk und distal davon ist es in Hinblick auf eine ungestörte Wundheilung besonders wichtig, strikt unterhalb der subkutanen Faszie und nicht etwa zwischen Subkutis und Haut zu präparieren, sonst drohen Wundrandnekrosen.

Dorsaler Zugang zum Kniegelenk

Indikationen

Knöchern ausgerissenes hinteres Kreuzband, Baker-Zyste, Tibiakopffrakturen.

Vorbereitung

Der Patient befindet sich in Bauchlage. Das Sprunggelenk wird auf einer Rolle gelagert, um das Knie leicht anzubeugen. Dadurch entspannen sich die zu präparierenden Strukturen.

Zugang

Wegen potenzieller Narbenkontrakturen wird in der Kniekehle kein Längsschnitt, sondern ein Bajonett- oder geschwungener diagonaler Schnitt von kraniolateral nach kaudomedial oder spiegelverkehrt angelegt. Die Faszie wird medial der V. saphena parva bzw. des N. cutaneus surae medialis gespalten und dann die V. poplitea sowie die Nn. tibialis und peroneus dargestellt, um sie sicher schonen zu können. Meist braucht der mediale bzw. laterale Kopf des M. gastrocnemius nicht durchtrennt zu werden. Falls dies aus Platzgründen doch einmal nötig sein sollte, wird dies ursprungsnah zwischen Haltefäden getan.

Um ins Gelenk zu gelangen, muss das Ligamentum popliteum obliquum, das die dorsale Kapsel verstärkt, neben dem medialen Kondylus längs gespalten oder die Kapsel samt verstärkendem Band türflügelartig eröffnet werden. Bei der Lokalisation des Gelenkspaltniveaus können Fehler unterlaufen. So kann die Absenkung kranial der gut tastbaren Kondylen für den Gelenkspalt gehalten werden. In Wirklichkeit liegt er kaudal davon. Dies lässt sich am besten palpatorisch unter gleichzeitigem Beugen und Strecken des Kniegelenks eruieren. Eine gute Orientierung geben die Patellaspitze, die auf Gelenkspaltniveau endet, und der Fibulakopf, der einen Querfinger distal davon beginnt (Abb. 21.60).

Wundverschluss

Nach Einlage einer intraartikulären Drainage werden die Kapsel und ein evtl. ursprungsnah durchtrennter Gastrocnemiuskopf stabil genäht. Bevor nun der Wundverschluss fortgesetzt wird, sollte die Blutsperre aufgehoben werden, um eine Läsion poplitealer Gefäße, aus denen es heftig bluten kann, rechtzeitig zu erkennen. Anschließend wird in die Kniekehle eine Redon-Drainage eingelegt und Subkutis sowie Haut mit einzelnen Nähten versorgt. Um keine Vertikalverschiebung der Wundlefzen zu bekommen, empfiehlt es sich, erst die beiden Ecken der Schnittführung im Subkutanniveau aneinander zu nähen.

Gefahren

Der N. cutaneus surae medialis aus dem N. tibialis ist gefährdet. Dieser sensible Hautast zieht entlang der V. saphena parva nach distal, wo er epifaszial verläuft. Proximal der Mündung der V. saphena parva in die tiefe Vene liegt er subfaszial. Die Gastrocnemiusköpfe werden etwa 7 cm distal ihres Ursprungs nerval versorgt. Bei ausgedehnter Präparation in diesem Bereich sollten diese Äste dargestellt werden, um sie sicher schonen zu können.

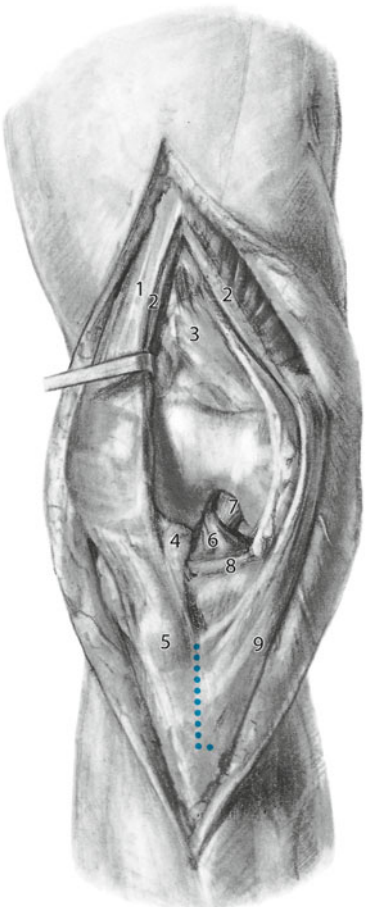


Abb. 21.59 Streckseitiger Zugang zum Kniegelenk. *1* M. quadriceps femoris, *2* M. vastus medialis, *3* Recessus suprapatellaris, *4* Corpus adiposum infrapatellare genus (Hoffa), *5* Tuberositas tibiae, *6* Ligamentum cruciatum anterius, *7* Ligamentum cruciatum posterius, *8* Meniscus medialis cornu anterius, *9* Pes anserinus. (Aus: Rüedi et al. 1984)

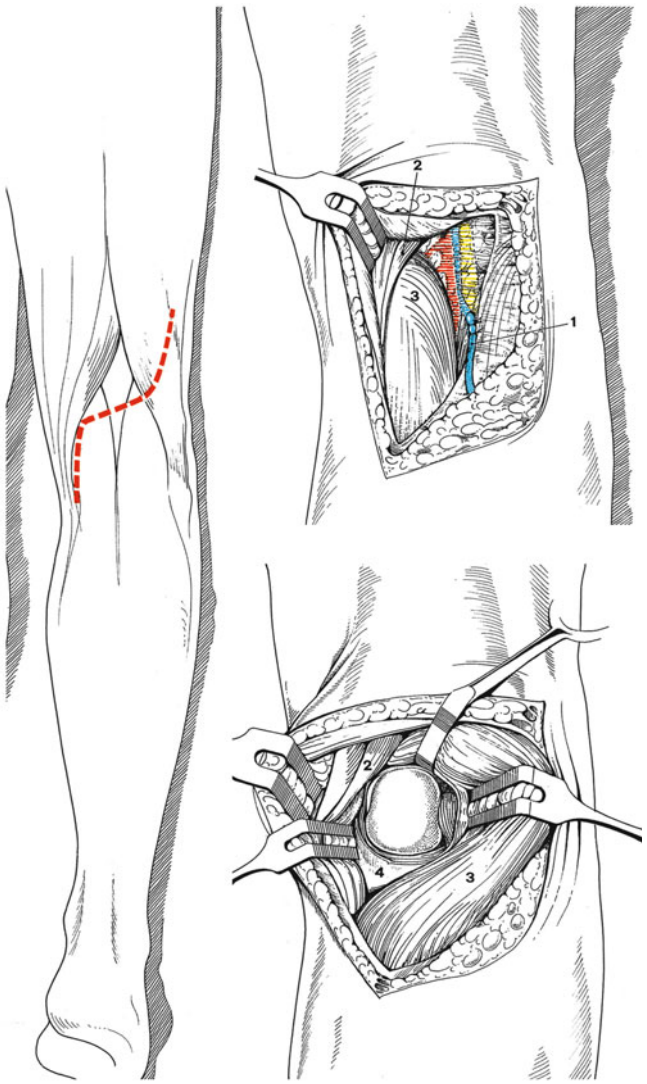


Abb. 21.60 Dorsaler Zugang zum Kniegelenk. *1* V. saphena parva, *2* M. semimembranosus, *3* M. gastrocnemius, *4* Gelenkkapsel. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

21.11.2 Unterschenkel

Lateraler (und medialer) Zugang zum Tibiakopf

Indikationen

Frakturen, angeborene oder erworbene Fehlstellungen.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage und das Knie auf einer voluminösen Rolle gelagert. Das ipsilaterale Gesäß wird unterpolstert.

Zugang

Beim Vorgehen von lateral beginnt der Hautschnitt in Höhe der Kniescheibe, verläuft parapatellar zur vorderen Tibiakante und endet knapp lateral und distal der Tuberositas tibiae. Der Tractus iliotibialis wird bis zum Tuberculum Gerdyi neben dem Rand der Patella längs gespalten und von hier aus die Unterschenkelfaszie nach distal inzidiert. Der M. tibialis anterior und der Ansatz des Traktus am Tuberculum Gerdyi werden so weit wie nötig subperiostal mobilisiert. Die Gelenkkapsel wird in Schnittrichtung eröffnet. Um besseren Einblick auf die Gelenkfläche zu bekommen, kann man den Außenmeniskus an seinem Unterrand temporär quer ablösen. Dabei soll ein ausreichend großer Randsaum am Tibiakopf für die spätere Refixation stehen bleiben. Der Zugang kann nach proximal und distal beliebig erweitert werden, sodass bei Bedarf auch der mediale Aspekt des Tibiakopfs erreicht werden kann, indem man Haut und Subkutis unter der subkutanen Faszie, also streng epifaszial, en bloc über die Patella hinweg mobilisiert und nach medial abhält. Gegebenenfalls kann der Pes anserinus unter Mitnahme seines knöchernen Ansatzes für die spätere stabile Refixation abgelöst werden (◘ Abb. 21.61).

Das Vorgehen von medial unterscheidet sich nicht wesentlich. Meist werden medial nur wenige Zentimeter kurze Zugänge verwendet, weil die voluminöseren Implantate wegen der besseren Weichteildeckung bevorzugt lateral eingebracht werden. Die Schnittrichtung verläuft spiegelverkehrt zur lateralen. Der Pes anserinus wird ggf. wie oben beschrieben mobilisiert.

Wundverschluss

Redon-Drainagen werden intraartikulär, subfaszial und subkutan eingelegt, abgelöste Muskelursprünge und Bandansätze refixiert. Der Traktus kann fortlaufend, Subkutis und Haut mit Einzelknopfnähten adaptiert werden.

Gefahren

Die Unterschenkelfaszie bleibt offen, insbesondere wenn bei frischen Frakturen oder nach Korrekturosteotomien postoperativ Schwellungszustände zu erwarten sind, denn sonst droht ein Kompartment-Syndrom. Im Zweifelsfall muss die Fasziotomie vor dem Wundverschluss sogar subkutan erweitert werden.

Streckseitiger Zugang zur Tibia

Indikationen

Frakturen, Pseudarthrosen, Osteomyelitis.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage und das Knie auf einer voluminösen Rolle gelagert. Das ipsilaterale Gesäß wird unterpolstert.

Zugang

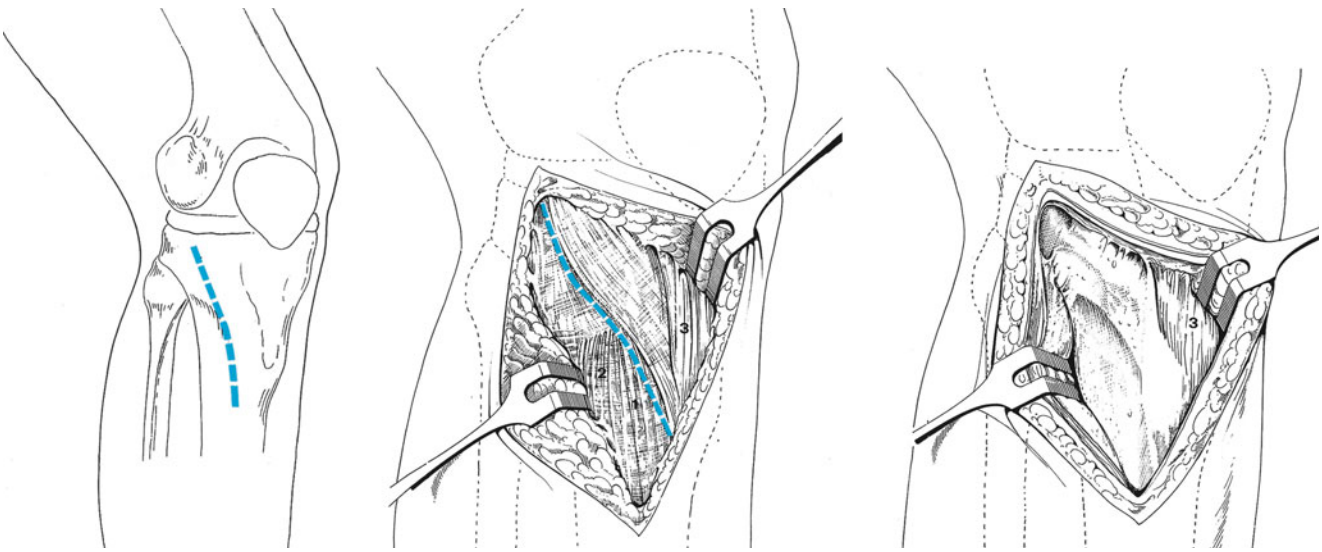
Man wählt einen ausreichend großen Zugang auf einer gedachten Linie, die am lateralen Tibiakopf beginnt und seitlich entlang der vorderen Tibiakante nach distal bis zum Pilon zieht. Die Tibia kann sowohl von lateral als auch von medial erreicht werden. Bei Bedarf kann der Schnitt zum Innenknöchel nach medial erweitert werden (◘ Abb. 21.62).

Wundverschluss

Nach Einlage einer oder mehrerer Drainagen wird die Wunde schichtweise verschlossen oder bei kritischem Schwellungszustand ganz offen gelassen und zur Dermatofasziotomie aller 4 Logen erweitert.

Gefahren

Die Tibia sollte nach Möglichkeit nicht deperiostiert werden, da sie wegen der fehlenden muskulären Deckung über ihrem medialen Aspekt sehr anfällig für Pseudarthrosen und Infekte ist. Dort, wo der Schnitt zum Innenknöchel hinüber schwenkt, kreuzt er den Verlauf der V. saphena magna und des begleitenden N. saphenus, die dargestellt und angeschlungen werden sollen, um sie sicher schonen zu können.



◘ **Abb. 21.61** Lateraler Zugang zum Tibiakopf. *1* M. tibialis anterior, *2* M. extensor digitorum communis, *3* Ligamentum patellae. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

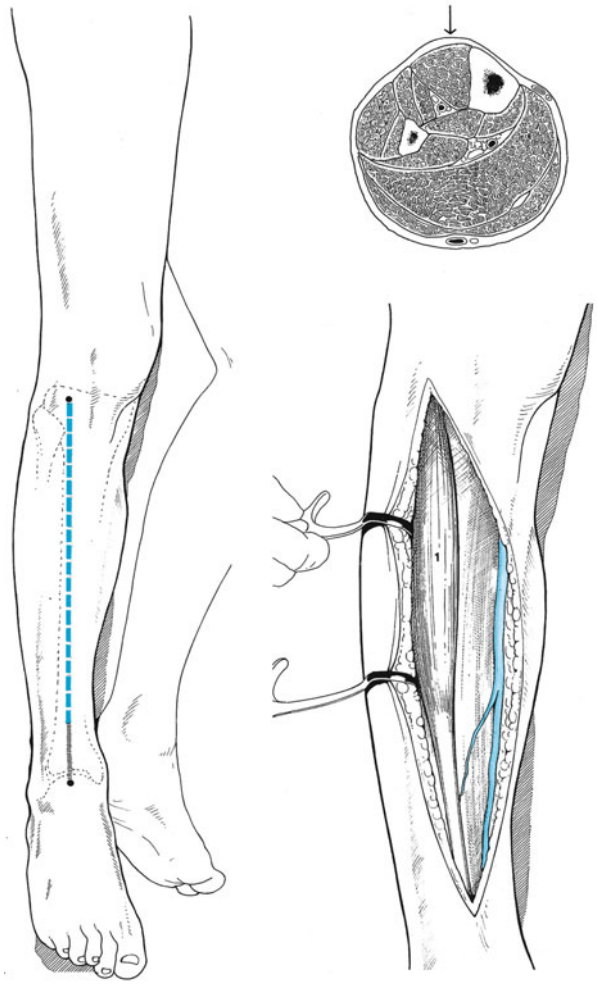


Abb. 21.62 Streckseitiger Zugang zur Tibia. *1* M. tibialis anterior. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Lateraler Zugang zur Fibula

Indikationen

Frakturen, Osteotomie, Spanentnahme, Revison des N. peroneus communis.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage und das Knie auf einer voluminösen Rolle gelagert. Das ipsilaterale Gesäß wird unterpolstert.

Zugang

Man wählt einen ausreichend großen Zugang auf einer gedachten Linie über der Fibula. Proximal werden die Faszie dorsal des M. biceps femoris gespalten und der N. peroneus communis dargestellt. Dabei muss auf den noch weiter dorsal liegenden N. cutaneus surae lateralis geachtet werden. Wird der Ursprung des M. peroneus longus am Fibulakopf abgelöst, lässt sich anschließend die peroneale Muskulatur samt N. peroneus communis spannungsfrei nach ventral abhalten. Man geht nun auf die Fibula subperiostal zwischen der peronealen Muskulatur und dem M. soleus ein. Zuerst wird der dorsale Aspekt freigelegt. Dazu müssen perforierende Gefäße ligiert und durchtrennt werden. Dann wird der laterale Aspekt freigelegt, indem die peroneale Muskulatur von distal nach proximal subperiostal abgeschoben und anschließend zusammen mit dem N. peroneus communis nach ventral mit Hohmann-Hebeln abgehalten wird. Distal kreuzen die Peronealsehnen die Fibula von ventral nach dorsal (Abb. 21.63).

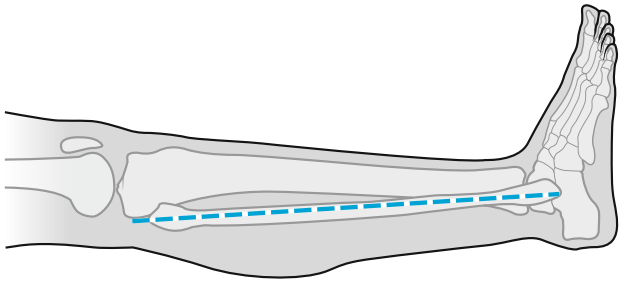


Abb. 21.63 Lateraler Zugang zur Fibula

Wundverschluss

Eine Redon-Drainage wird eingelegt und die Wunde schichtweise verschlossen.

Gefahren

Wenn beim Wundverschluss die Faszie genäht wird, kann sich ein Kompartment-Syndrom entwickeln. Bei der Fibulaosteotomie ist kranial der proximalen Drittelgrenze das Risiko erhöht, den N. peroneus zu verletzen.

21.12 Sprunggelenk und Fuß

21.12.1 Sprunggelenk

Lateraler Zugang

Indikationen

Frakturen, Außenband- und Syndesmosenrupturen, Peronealsehnenluxation.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage gelagert. Das ipsilaterale Gesäß wird unterpolstert.

Zugang

Über der äußeren Zirkumferenz des Außenknöchels wird ein etwa 7 cm langer Zugang geschaffen. In Höhe der Außenknöchelspitze biegt der Zugang dem Verlauf von Nerven und Gefäßen folgend nach ventral um. Ventral des Außenknöchels verläuft epifaszial der N. cutaneus dorsalis intermedius, ein sensibler Hautast des N. peroneus superficialis. Der Außenknöchel wird epiperiostal dargestellt und nur im Frakturbereich sparsam deperiostiert.

Zur Darstellung des Außenbandapparats geht man weiter distal ein. Der Schnitt beginnt dann etwa 2 cm oberhalb der Außenknöchelspitze, zieht über diese bogenförmig nach ventral und endet 2 cm distal davon. Weil der Außenbandapparat vom malleolären Periost abgeht, wird zunächst diese Schicht aufgesucht und anschließend von hier aus die darüber liegende Subkutis mit der geschlossenen Präparierschere unterfahren. Danach wird diese Schicht auf epiperiostalem bzw. ligamentärem Niveau gespalten. Nun liegen die rupturierten Bänder frei (Abb. 21.64).

Wundverschluss

Nach Einlage einer subfaszialen Redon-Drainage wird die Wunde schichtweise verschlossen, wobei die Subkutis nur bei ausreichender Schichtdicke genäht wird.

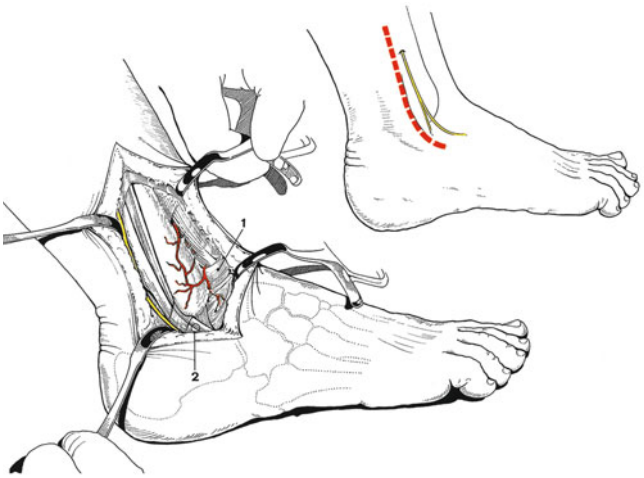


Abb. 21.64 Lateraler Zugang zum Außenknöchel. *1* Ligamentum tibiofibulare anterius, *2* Peronealsehnen. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

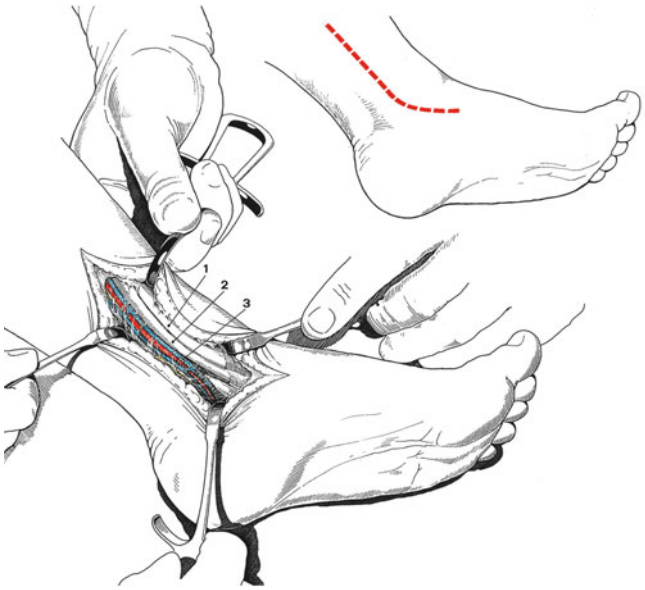


Abb. 21.65 Medialer Zugang zum Innenknöchel. *1* M. tibialis posterior, *2* M. flexor digitorum communis, *3* Gefäß-Nerven-Bündel. (Aus: Ruggieri et al. 1989)

Gefahren

Der N. cutaneus dorsalis intermedius ist gefährdet. Auf diesen Nerv muss insbesondere bei der etwaigen Naht der Subkutis geachtet werden, damit er nicht mitgefasst und stranguliert wird. Im Zweifelsfall sollte auf die Subkutannaht verzichtet werden.

Medialer Zugang

Indikationen

Frakturen.

Vorbereitung

Der Patient wird in Rückenlage gelagert. Das ipsilaterale Gesäß wird nicht unterpolstert, damit das Bein außenrotiert liegt und der Zugang zum Innenknöchel frei wird.

Zugang

Der Schnitt beginnt über der äußeren Zirkumferrenz des Innenknöchels etwa 3–4 cm proximal seiner Spitze, zieht über diese etwa 2 cm bogenförmig nach distal und ventral im Verlauf von Nerven und Gefäßen. Die Darstellung des Innenknöchels erfolgt auf epiperiostalem Niveau. Der Bruchspalt wird sparsam deperiostiert und ggf. von eingeschlagenem Periost befreit (Abb. 21.65).

Wundverschluss

Nach Einlage einer subkutanen Redon-Drainage wird die Haut genäht.

Gefahren

Bei diesem Zugang droht die Verletzung der ventral verlaufenden V. saphena magna und des begleitenden N. saphenus.

Dorsaler Zugang zur Achillessehne

Indikationen

Sehnenruptur.

Vorbereitung

Der Patient wird in Bauchlage gebracht. Das Sprunggelenk wird unterpolstert, damit der Fuß frei hängen kann und sich die Weichteile über der Achillessehne entfalten.

Zugang

Man geht über dem dorsomedialen Rand der Sehne ein, weil lateral V. saphena parva und N. suralis verlaufen. Eine Schnittlänge von wenigen Zentimetern reicht meist aus. Bei Bedarf kann der Schnitt im Ansatzbereich der Sehne hakenförmig erweitert werden. Allerdings sollte eine Erweiterung nur dann erfolgen, wenn eine breite Exposition dieser Region beispielsweise für eine transossäre Refixation benötigt wird, denn Narbenschmerzen im Bereich des Schuhrandes sind nicht auszuschließen und umso wahrscheinlicher, je ausgedehnter die Schnittführung ist. Subkutis, Faszie und Peritendineum werden am besten in einer Schicht gespalten, um beim späteren Wundverschluss ein gutes Nahtlager zu haben und die gerade bei älteren Patienten grenzwertige Durchblutung dieser Körperregion durch En-bloc-Präparation möglichst zu schonen. Die Sehnenstümpfe werden nicht vom peritendinösen Gewebe abpräpariert, sondern nur sparsam angefrischt, mit einer scharfen Klemme gefasst und so weit aus dem Sehnenfach gezogen, dass man sie mit einer Kernnaht mehrfach durchflechten kann. Anschließend wird die Naht in Spitzfußstellung geknüpft. Zuletzt werden die Sehnenenden mit einer zusätzlichen feinen Naht adaptiert, die fortlaufend zirkulär um die Rupturstelle geführt wird (Abb. 21.66).

Wundverschluss

Auf eine Redon-Drainage muss meistens aus Platzgründen verzichtet werden. Deshalb empfiehlt es sich von vornherein, ohne Blutsperre zu operieren, dann können etwaige Blutungen simultan koaguliert werden. Peritendineum, Faszie und Subkutis werden in einer Schicht mit Einzelknopfnähten versorgt. Anschließend erfolgt die Hautnaht ebenfalls mit einzelnen Nähten.

Gefahren

Der Wundverschluss muss möglichst dicht sein, damit sich Wundsekret nicht sekundär infiziert. Gerade durch die postoperativ notwendige Spitzfußstellung bilden sich häufig zahlreiche Falten, die

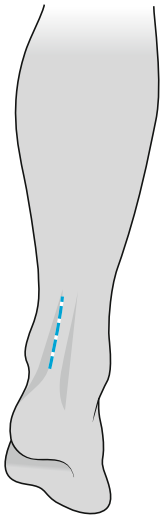


Abb. 21.66 Dorsaler Zugang zur Achillessehne

zum Klaffen der Wunde führen können. Man sollte möglichst jede klaffende Stelle verschließen und sei es nur durch einfache Nähte ohne Rückstich, die überall dort zwischen die üblichen Rückstichnähte gesetzt werden, wo die Wundränder nicht exakt aufeinander stehen.

21.12.2 Fuß

S. Rammelt, H. Zwipp

Anteromedialer, anterolateraler und posterolateraler Zugang zu Taluskorpus und Talushals

Indikationen

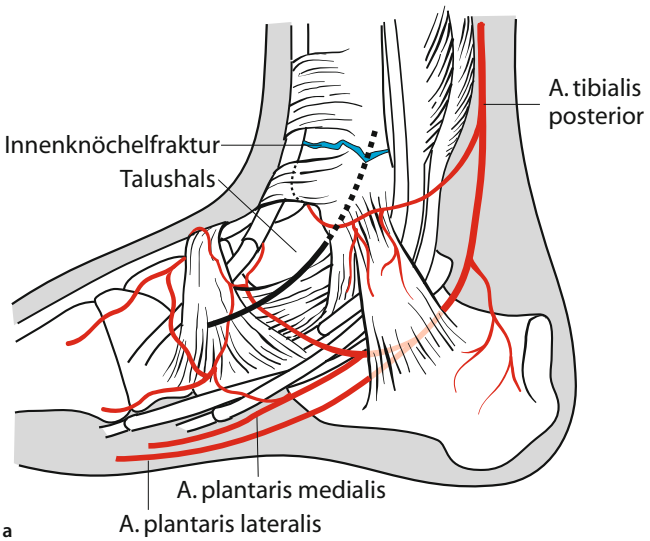
Frakturen, Luxationen, ausgedehnte Knorpelläsionen, Fehlheilungen, Pseudarthrosen.

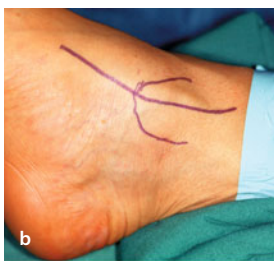
Vorbereitung

Der Patient befindet sich für den anteromedialen und anterolateralen Zugang in Rückenlage, für den posterolateralen Zugang in Bauchlage.

Zugang

Der Zugang zu Talushalsfrakturen und Frakturen des vorderen Taluskörpers erfolgt in der Regel von anteromedial. Die geschwungen verlaufende Inzision beginnt am Innenknöchel und reicht bis zur Tuberositas des Os naviculare (Abb. 21.67). Die V. saphena magna kreuzt gelegentlich die Inzision, sie wird nach Möglichkeit beiseite gehalten. Die Tibialis-posterior- und Tibialis-anterior-Sehne werden nicht näher dargestellt, sie verlaufen plantar, bzw. dorsal zum Hautschnitt. Der distale Anteil des Ligamentum cruciatum werden durchtrennt, gelegentlich auch partiell die Pars tibionavicularis der oberflächlichen Portion des Ligamentum deltoideum. Beide werden nach der Versorgung des Talus readaptiert. Die tiefe Portion des Ligamentum deltoideum muss geschont werden, um den R. deltoideus der A. tibialis posterior zum Talus nicht zu verletzen, was die Durchblutung des Taluskorpus weiter verschlechtern würde. Die Gelenkkapsel wird durchtrennt und die tiefere Inzision direkt auf den Talushals geführt, wo die Frakturzone dargestellt wird.





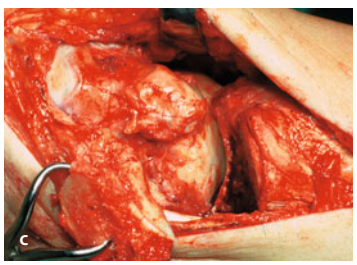
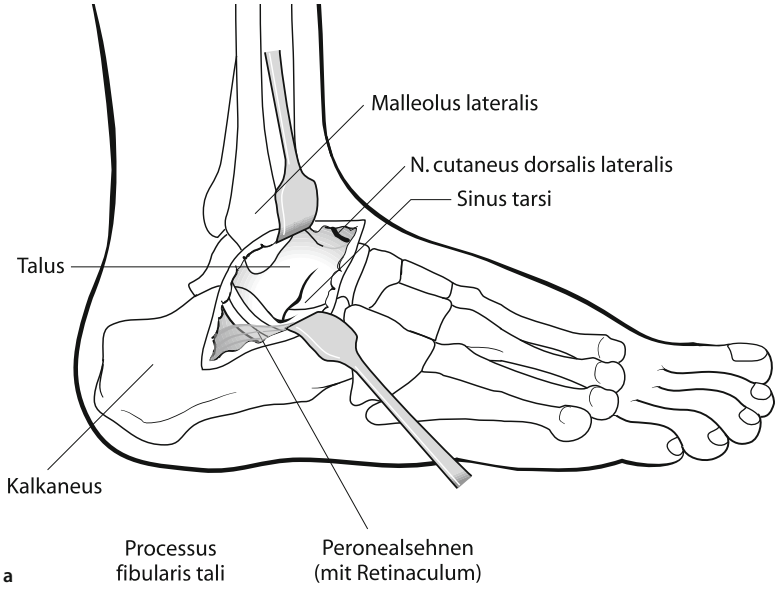


Abb. 21.67a–c Anteromedialer Zugang zu Taluskorpus und Talushals. **a** Topografie. **b** Schnittführung. **c** Innenknöchelosteotomie zur besseren Übersicht über den Taluskorpus. Dorsal des Innenknöchels wird die Tibialis-posterior-Sehne sichtbar

Taluskorpusfrakturen können durch eine Innenknöchelosteotomie (Abb. 21.67) besser eingesehen werden. In etwa der Hälfte der Fälle ist der Innenknöchel ohnehin mit frakturiert. Die Osteotomie erfolgt schräg als einfache oder Chevron-Osteotomie und sollte auf den Scheitel der medialen Talusschulter gerichtet sein, um eine optimale Übersicht zu erreichen (Rammelt u. Zwipp 2009). Um eine optimale Verzahnung bei der späteren Readaptation zu ermöglichen, werden die Bohrungen für die K-Drähte bzw. Zugschrauben zuvor angelegt und die letzten Millimeter der Gegenkortikalis nicht mit der Säge durchtrennt, sondern mit einem breiten Meißel unter vorsichtigem Hebeln gebrochen.

Bei nahezu allen dislozierten zentralen Talusfrakturen ist ein bilaterales Vorgehen erforderlich. Hierfür wird ein zusätzlicher lateraler Zugang angelegt, um einie korrekte Reposition des Subtalargelenks zu erzielen und eine axiale oder rotatorische Fehlstellung des Talushalses zu vermeiden (Rammelt u. Zwipp 2009).

Eine gute Expositon des Subtalargelenks und lateralen Taluskorpus und -hals erlaubt der schräg verlaufende Ollier-Zugang. Dieser verläuft in einem nach distal offenen Winkel von 45° zur Fußsohle über dem Sinus tarsi im Verlauf der natürlichen Hautlinien (RSTL's). Im proximalen Ende der Inzision wird der N. cutaneus dorsalis intermedius dargestellt und geschont, im distalen Anteil werden die Peronealsehnen in ihrer Sehnenscheide angeschlungen und nach plantar weggehalten (Abb. 21.68). Das distale Extensorenretinakulum wird L-förmig am Periost scharf abgelöst



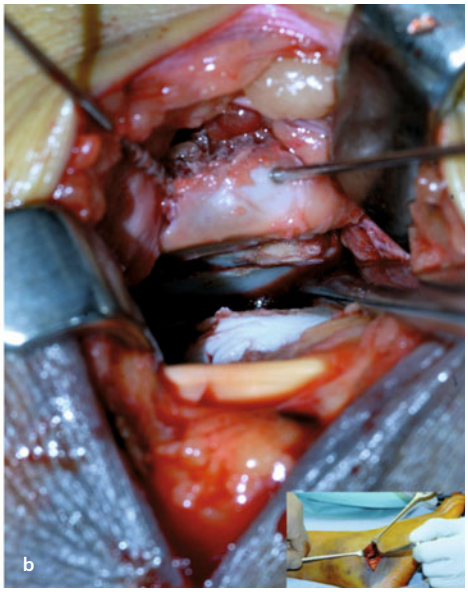


Abb. 21.68a,b Schräger lateraler Zugang nach Ollier zum Subtalargelenk, Processus fibularis und lateralen Taluskorpus und -hals über den Sinus tarsi. **a** Im kranialen Anteil der Inzision werden der N. cutaneus dorsalis intermedius (aus dem N. peroneus superficialis) und im kaudalen Anteil die Peronealsehnen geschont und in ihrer Sehnenscheide mobilisiert. Der Fettkörper im Sinus tarsi wird partiell reseziert. Die Präparation erfolgt streng von kaudal. Am Dach des Sinus tarsi muss auf die Blutversorgung des Taluskorpus geachtet werden. **b** Reposition und Kirschnerdrahtfixation einer Mehrfragmentfraktur des Processus fibularis tali unter Gelenkeinsicht über den Ollier-Zugang. Im unteren Anteil der Inzision werden die Peronealsehnen sichtbar

und der M. extensor digitorum brevis stumpf nach distal abgeschoben. Nach Eröffnung der Gelenkkapsel am Vorderrand des Processus fibularis tali wird das Subtalargelenk sichtbar. Über diesen Situs können vom den Sinus tarsi aus der laterale Taluskorpus und -hals, der Processus fibularis und das Subtalargelenk eingesehen und die anatomische Reposition kontrolliert werden.

Alternativ kann ein geschwungen verlaufender anterolateraler Zugang benutzt werden. Dieser wird in Abhängigkeit von Ausmaß und Lokalisation der Fraktur auf einer Linie beginnend am Tubercule de Chaput lateral der Extensorensehnen bis zum proximalen Rand des Os cuboideum in Richtung auf den 4. Strahl geführt. Im distalen Anteil der Inzision muss die A. tarsea lateralis geschont werden, deren Verlauf großen Variationen unterliegt. Entscheidend für die Wundheilung ist eine ausreichende Weichteilbrücke zwischen den medialen und lateralen Zugängen. Sie soll größer als 5 cm sein.

Dorsal gelegene Taluskorpusfrakturen und Frakturen des Processus posterior tali, ein symptomatisches Os trigonum, aber auch Frakturen der Tibiahinterkante werden über einen posterolateralen, paraachillären Zugang am besten eingesehen. Die Inzision erfolgt zwischen dem lateralen Aspekt der Achillessehne und den Peronealsehnen und wird direkt auf das Tuberculum laterale des Processus posterior geführt (Abb. 21.69a). Dabei werden der N. suralis und die A. peronea nicht dargestellt und schonend im Hautlappen nach lateral weggehalten. Nach Eröffnung der Fascia cruris und partieller Resektion des Karger-Fettkörpers kommt die tiefe Faszie zur Darstellung, welche ebenfalls eröffnet wird.

Die Flexor-hallucis-longus-Sehne kreuzt im distalen Anteil der Inzision von medial nach lateral. Hinter dem Außenknöchel werden die Peronealsehnen identifiziert und in ihrer Sehnenscheide belassen. Durch das Beiseitehalten der Sehnen entsteht ein Fenster, welches neben dem kompletten Processus posterior tali einen Einblick in den hinteren Anteil des oberen Sprunggelenks und des Subtalargelenks erlaubt (Abb. 21.69b). Nur selten (bei komplizierten Frakturen des posteromedialen Taluskorpus) ist ein posteromedialer Zugang erforderlich.

Wundverschluss

Eine oder mehrere Drainagen werden eingelegt und die Wunde schichtweise verschlossen. Das Retinaculum extensorum muss stabil adaptiert werden.

Gefahren

Gefährdet sind mehrere Gefäße, Nerven und Sehnen, wie bei der Zugangsbeschreibung dargestellt (s. oben). Eine Dissektion des Ligamentum deltoideum gefährdet die ohnehin prekäre Blutversorgung des Taluskorpus bei dislozierten Frakturen.

Ausgedehnter lateraler Zugang zum Kalkaneus

Indikationen

Frakturen, Fehlstellungen, Exostosen, Arthrofibrose im Subtalargelenk, Impingement der Peronealsehnen.

Vorbereitung

Der Patient wird auf der unverletzten Seite bzw. bei bilateraler Versorgung auf dem Rücken gelagert.

Zugang

Bei ausgedehnt lateralen Zugang (Benirschke u. Sangeorzan 1993) liegt der Hautschnitt bumerangförmig auf zwei Drittel der Strecke zwischen Außenknöchel und Achillessehne bzw. lateralem Fußsohlenrand (Abb. 21.70a). Anatomische Studien zur Blutversorgung des lateralen kalkanearen Hautlappens haben gezeigt, dass die ideale Schnittlinie nicht exakt gerade, sondern im proximalen Anteil zur Schonung des N. suralis und der V. saphena parva mehr nach hinten und im distalen Anteil nach unten, auf die Metatarsale-

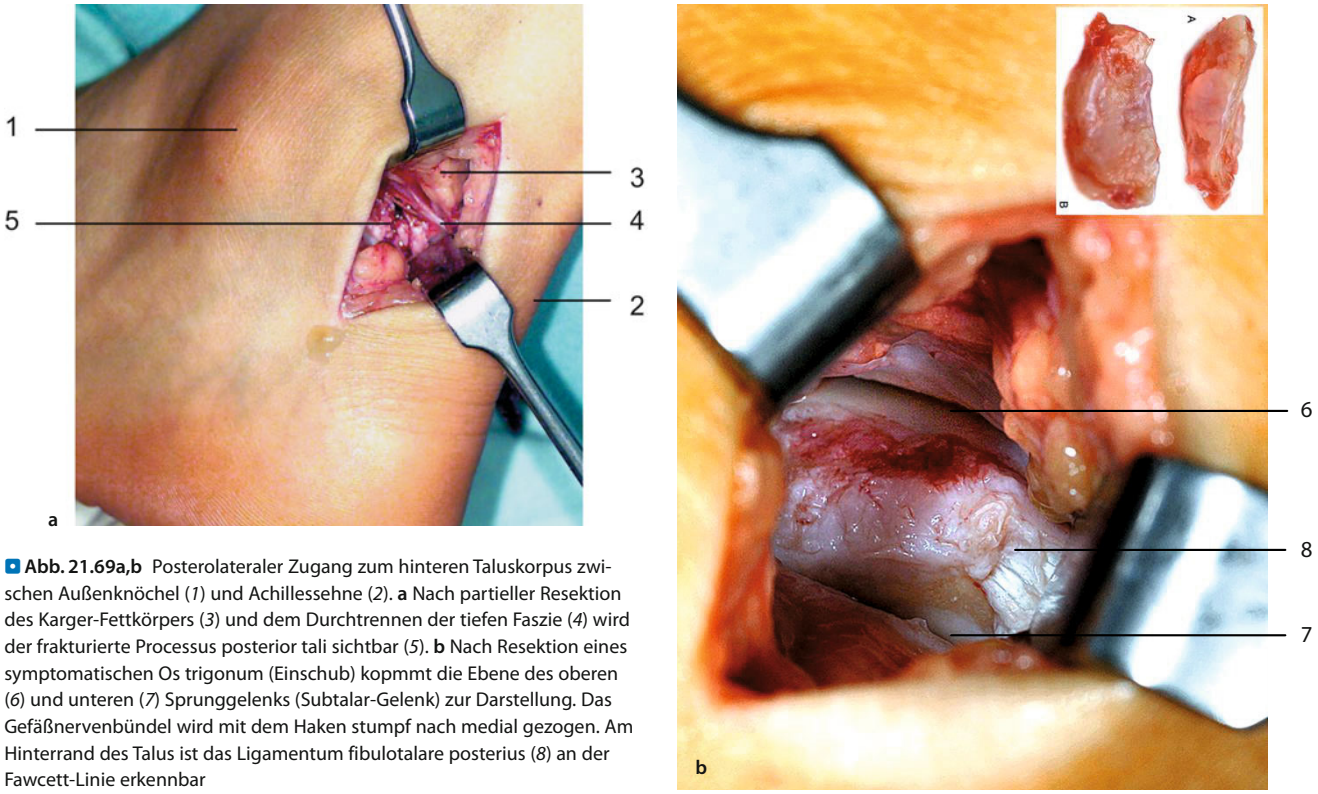


Abb. 21.69a,b Posterolateraler Zugang zum hinteren Taluskorpus zwischen Außenknöchel (*1*) und Achillessehne (*2*). **a** Nach partieller Resektion des Karger-Fettkörpers (*3*) und dem Durchtrennen der tiefen Faszie (*4*) wird der frakturierte Processus posterior tali sichtbar (*5*). **b** Nach Resektion eines symptomatischen Os trigonum (Einschub) kopmmt die Ebene des oberen (*6*) und unteren (*7*) Sprunggelenks (Subtalar-Gelenk) zur Darstellung. Das Gefäßnervenbündel wird mit dem Haken stumpf nach medial gezogen. Am Hinterrand des Talus ist das Ligamentum fibulotalare posterius (*8*) an der Fawcett-Linie erkennbar

V-Basis hin verläuft (Freeman et al. 1998). Anschließend erfolgt die epiperiostale einschichtige Anhebung eines lateralen Haut-Weichteil-Faszien-Lappens unter Schonung der Hautnervenäste des N. cutaneus dorsalis lateralis mit scharfer periostaler Ablösung des Ligamentum fibulocalcaneare und des distalen peronealen Retinakulums. Bei Beteiligung des Kalkaneokuboidgelenks werden die Peronealsehnen weit nach distal mobilisiert, wobei die Sehnenscheide geschlossen bleibt (Abb. 21.70b). Lediglich bei der Ablösung am Tuberculum peroneale dürfen diese sichtbar werden. Die schonende Retraktion des Weichteillappens wird durch das Einbringen von 2–3 K-Drähten in den Processus fibularlis tali erleichtert (Abb. 21.70c).

In Abhängigkeit von der Frakturanatomie wird zur besseren Übersicht der Fettkörper im Sinus tarsi streng von plantar her angehoben, in seltenen Fällen muss auch das Ligamentum talocalcaneum interosseum eingekerbt werden. Zur besseren Darstellung des hinteren Aspekts der posterioren Gelenkfacette kann der Karger-Fettkörper vor dem Achillessehnenansatz partiell ausgeräumt werden. Der posterolaterale Zugang nach Gallie zum hinteren Anteil des Subtalarglenks besteht im Wesentlichen aus dem vertikalen Schenkel des erweitert-lateralen Zugangs (s. oben). Für In-situ-Arthrodesen des Subtalargelenks reicht eine Inzision von 4–5 cm.

Ein **medialer Zugang** zum Kalkaneus nach McReynolds (Burdeaux 1983) kommt für die relativ seltenen subtalaren Luxationsfrakturen in Betracht (Zwipp 1994). Der Patient befindet sich in Rückenlage. Die Inzision erfolgt auf einer Länge von 8–10 cm parallel zur Fußsohle exakt auf halber Strecke zwischen Malleolus medialis und medialem Rand der Fußsohle. Sie wird gerade oder leicht S-förmig geschwungen ausgeführt. Unter stumpfem Weghalten von A. und V. tibialis posterior sowie N. tibialis nach dorsal können nun das sustentakuläre und das tuberositäre Fragment dargestellt und gegeneinander reponiert werden (Abb. 21.70d). Die Flexor-hallucis-longus-Sehne wird bei Inkarzeration reponiert und in situ belassen.

Der direkte **Zugang zum Sustentaculum tali** (Zwipp 1994) wird bei Trümmerfrakturen des Sustentaculum tali oder des anteromedialen Taluskorpus mit Beteiligung der medialen Gelenkfacette (ggf. auch zusätzlich zum ausgedehnt lateralen Zugang) eingesetzt. Eine kleine, quer verlaufende Inzision wird direkt über dem tastbaren Sustentaculum tali gelegt (Abb. 21.70e). Die tiefe Faszie wird durchtrennt. Die Sehnen des M. tibialis posterior und M. flexor digitorum longus werden nach dorsal, die Flexor-hallucis-longus-Sehne nach plantar oder nach Umfahren mit einem Gummizügel wechselweise weggehalten, woraus eine gute Exposition des frakturierten Sustentaculum tali und der zerstörten medialen Gelenkfacette resultiert (Abb. 21.70f).

Wundverschluss

Subfaszial wird eine Redon-Drainage eingelegt. Die kräftige mediale Faszie wird mit PDS (ggf. fortlaufend), die Subkutis wird mit versenkten Koriumnähten und die Haut mit Rückstichnähten adaptiert.

Gefahren

Der Haut-Weichteil-Faszien-Lappen kann durch Hakendruck gequetscht werden. Wenn man nicht streng en bloc präpariert, droht die Dissoziation der Schichten und damit eine Wundheilungsstörung. Die Peronealsehnen können bei der Präparation verletzt werden. Die sensiblen Nervenäste dorsal der Außenknöchelspitze sind ebenfalls gefährdet.

Beim medialen Zugang besteht die Gefahr der Gefäß-, Nerven- und Sehnenverletzung.

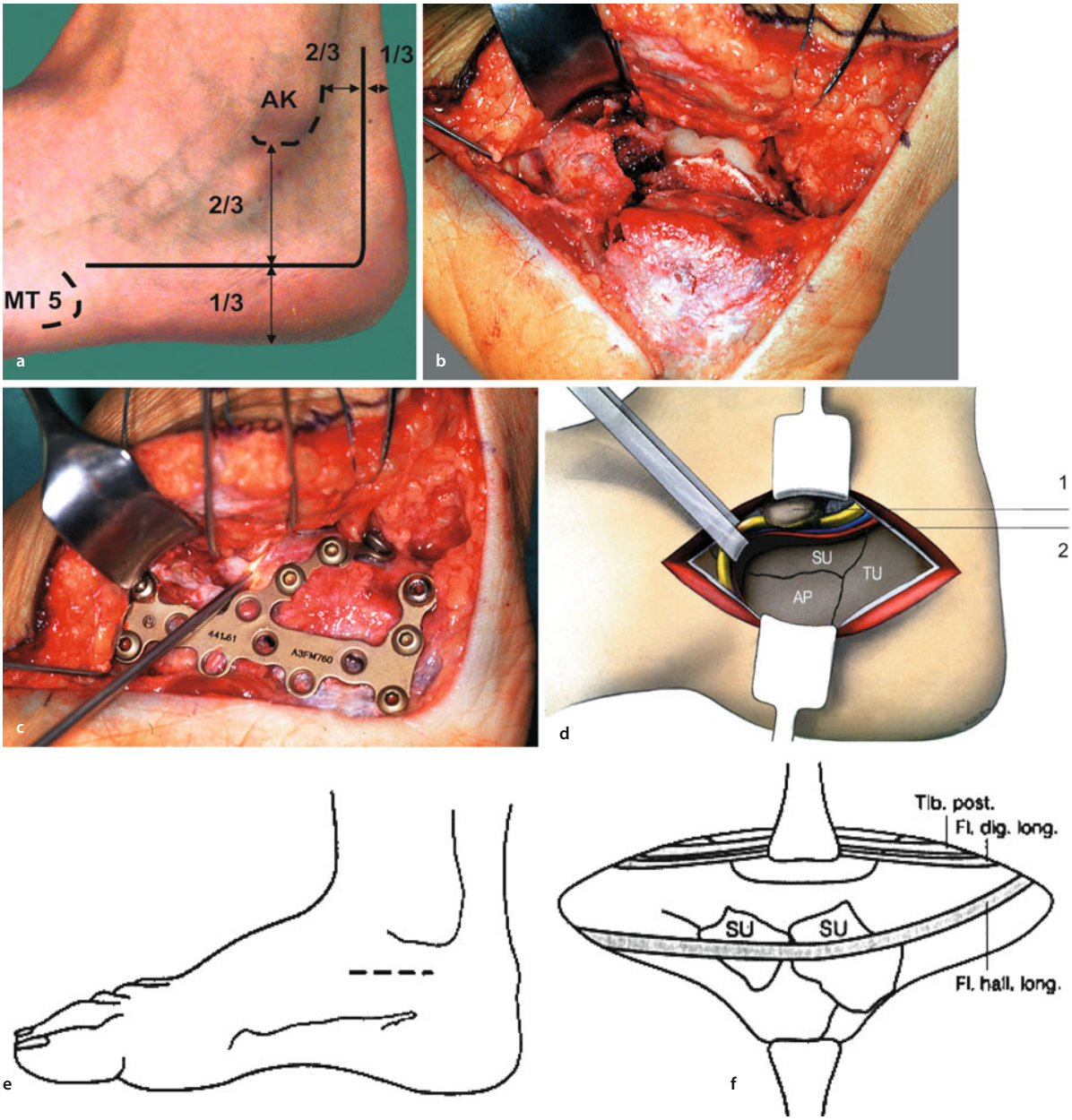


Abb. 21.70a–f Ausgedehnt lateraler Zugang zum Kalkaneus. **a** Schnittführung. **b** Die Peronealsehnen werden mit einem stumpfen Haken in ihrer Sehnenscheide nach dorsal mobilisiert. Der gebildete Weichteillappen wird mit K-Drähten im Processus lateralis tali schonend weggehalten. Die arthroskopische Kontrolle der Reposition kann nach erfolgter Fixation am offenen Situs von anterolateral (Gissane-Winkel) (**c**) oder posterolateral (Tuber-Gelenk-Winkel) erfolgen. **d** Medialer Zugang nach McReynolds. Die Flexor-hallucis-longus-Sehne kommt unterhalb des Sustentaculum tali (*1*) im Normalfall nicht zur Darstellung. Das Tibialis-posterior-Gefäß-Nerven-Bündel (*2*) wird wechselweise nach plantar oder dorsal mobilisiert. **e** Sustentakulumzugang nach Zwipp. **f** Mit der Mobilisation der Flexor-hallucis-longus-Sehne kommt das frakturierte Sustentakulum zur Darstellung

Gerader lateraler Zugang zum Kalkaneokuboidgelenk

Indikationen

Frakturen des Processus anterior calcanei und Os cuboideum, Fehlstellungen, Arthrose im Kalkaneokuboid-Gelenk, symptomatisches Os peroneale.

Vorbereitung

Der Patient wird auf dem Rücken gelagert. Die Gesäßhälfte auf der zu operierenden Seite wird mit einem Lagerungskeil angehoben, um die Fußaußenkante besser zugänglich zu machen.

Die Inzision verläuft auf einer Länge von 8–10 cm parallel zur Planta pedis und ist auf das Kalkaneokuboidgelenk zentriert. Die Inzision liegt weiter kranial als der horizontale Schenkel des erweitert-lateralen Zugangs, um eine vollständige Exposition des Kalkaneokuboidgelenks zu erreichen und die Peronealsehnen zu schonen. Letztere werden mit ihrer Sehnenscheide mobilisiert und nach plantar weggehalten (Abb. 21.71). Nur bei ausgedehnten Frakturen des Processus anterior calcanei ist eine Ablösung der Sehnen vom Tuberculum peroneale und dem distalen Peronealsehnenretinakulum erforderlich. Der Zugang kann bei Trümmer-

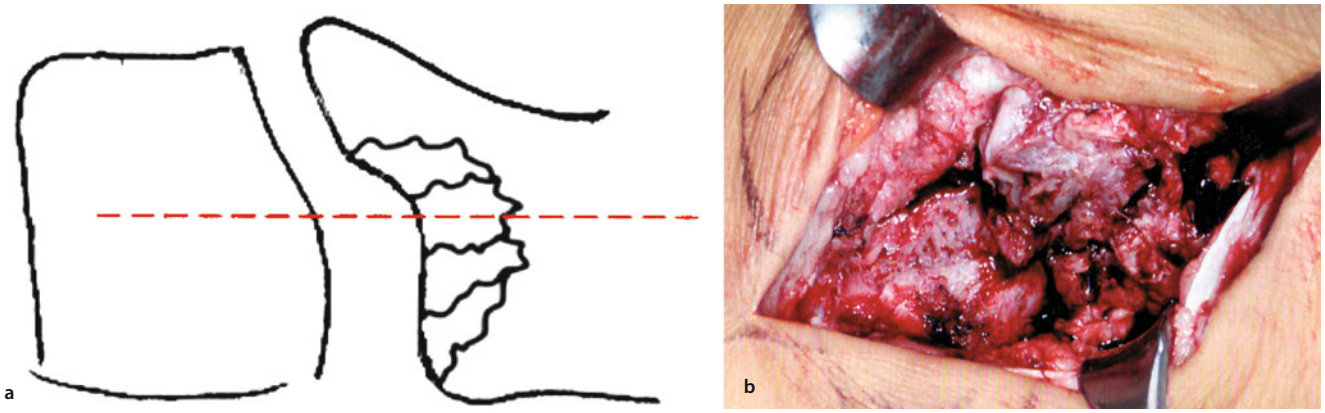


Abb. 21.71 Gerader lateraler Zugang zum Kalkaneokuboidgelenk. **a** Schematische Darstellung einer typischen Impressionsfraktur des Processus anterior calcanei. **b** Operationssitus mit nach plantar weggehaltenen Peronealsehnen

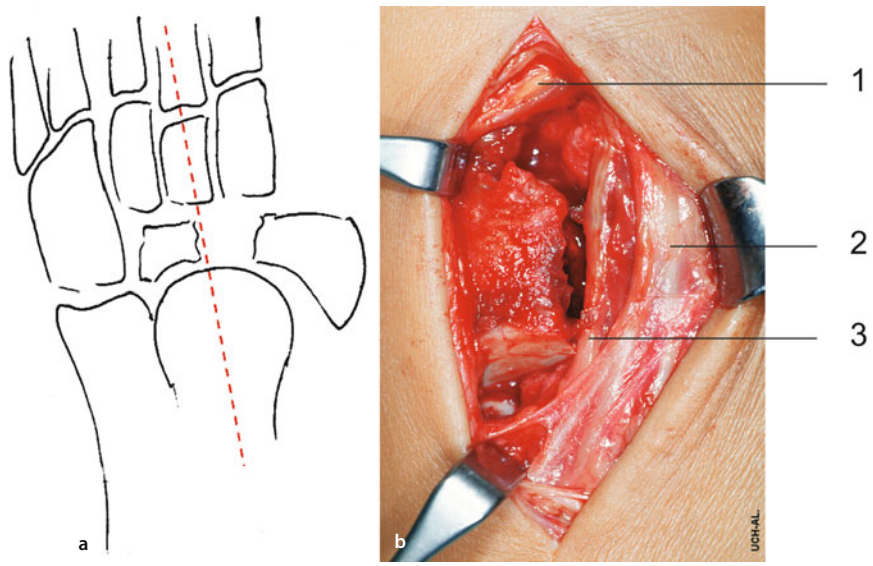


Abb. 21.72 Gerader dorsomedianer Zugang zum Talonavikulargelenk. **a** Schnittführung. **b** Die Tibialis-anterior-Sehne (*1*) wird nach lateral, die A. dorsalis pedis (*2*) und der N. peroneus profundus (*3*) sowie Endäste des N. peroneus superficialis werden nach medial mobilisiert

frakturen des Os cuboideum oder kombinierten Verletzungen von Chopart- und Lisfranc-Gelenk nach distal erweitert werden, um das IV. und V. Tarsometatarsalgelenk darzustellen und zu rekonstruieren.

Gerader dorsomedianer Zugang zum Talonavikulargelenk

Indikationen

Frakturen des Taluskopfs und Os naviculare, Fehlstellungen, Osteonekrose, Arthrose im Talonavikulargelenk.

Vorbereitung

Der Patient wird auf dem Rücken gelagert.

Die exakte Position des längs verlaufenden Zugangs richtet sich nach der in der CT dargestellten Frakturmorphologie. In der Regel wird zentriert über dem dorsalen Aspekt des Talonavikulargelenks, lateral der Tibialis-anterior-Sehne eingegangen, um die typische Frakturpathologie im zentralen und lateralen Aspekt des Os naviculare oder Taluskopf darstellen zu können (Abb. 21.72a). Die A. dorsalis pedis und der N. peroneus profundus werden nach medial weggehalten (Abb. 21.72b). Der Zugang zum Talonavikulargelenk kann bei weiter medial gelegener Pathologie (z.B. Frakturen oder Avulsionen der Tuberositas ossis navicularis, Läsionen des Pfannenbandes oder ein Os tibiale externum) auch von anteromedial wie zum Talushals erfolgen. Hierzu wird der oben beschriebene anteromediale Zugang zum Talus um etwa 3 cm nach distal verlängert.

Für Komplexverletzungen des Chopart-Gelenks sind immer bilaterale Zugänge zum Talonavikular- und Kalkaneokuboidgelenk erforderlich, wobei in jedem Falle eine ausreichende Hautbrücke zwischen beiden Inzisionen verbleibt.

Zugang zum Lisfranc-Gelenk und Dermatofasziotomie bei Kompartment-Syndrom

Die dorsomediane Inzision eignet sich zur Darstellung des Lisfranc-Gelenks vom 1. bis 5. Strahl bei Komplextraumen mit der gleichzeitigen Möglichkeit der Dermatofasziotomie bei dem häufig gemeinsam vorliegenden Kompartment-Syndrom (Zwipp 1994). Die Inzision erfolgt auf der Mitte des Fußrückens, beginnend auf Höhe des oberen Sprunggelenks, und wird auf den 2. Interdigitalraum bis auf Höhe der Metatarsalia geführt (Abb. 21.73a).

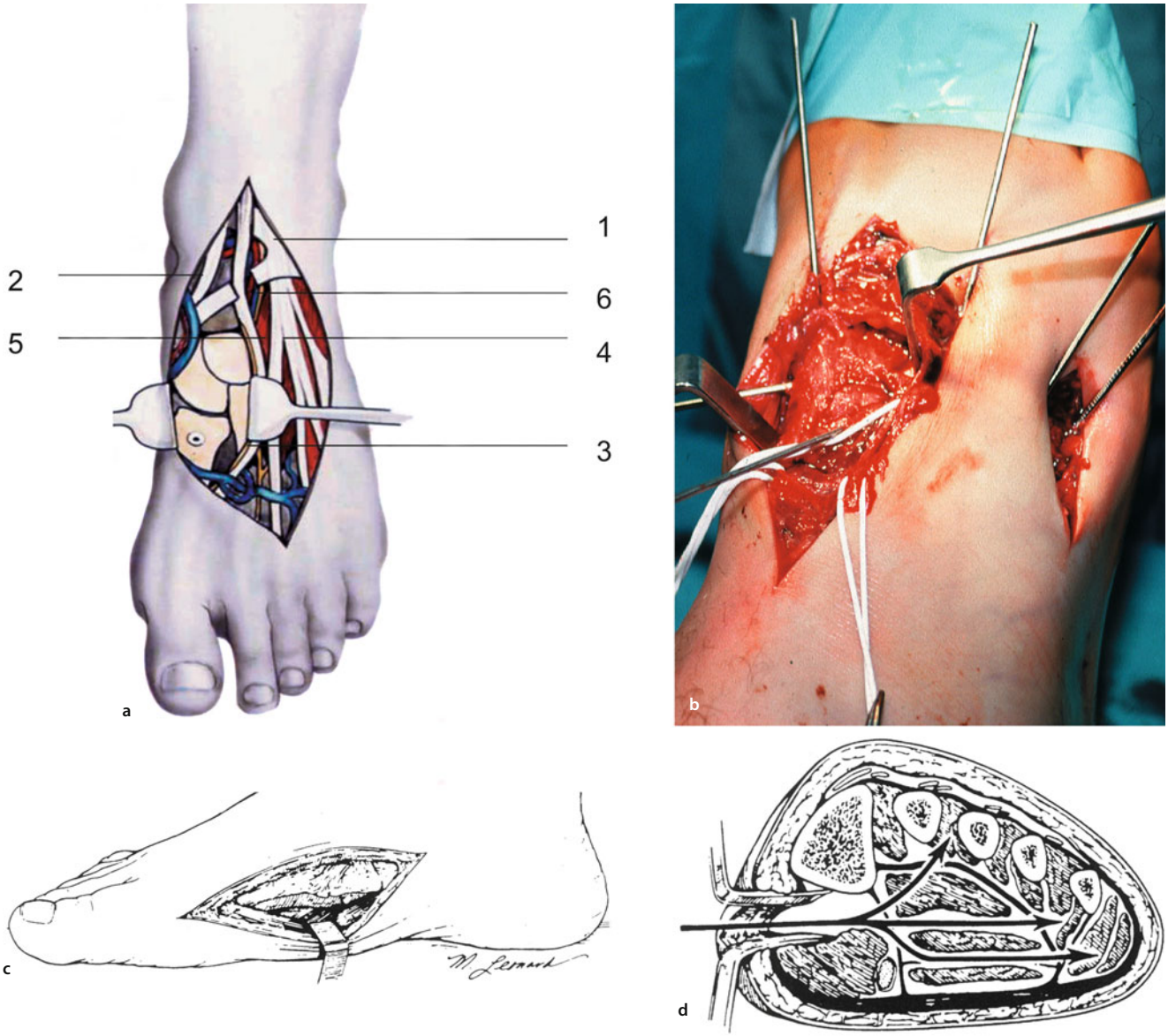


Abb. 21.73a–d **a** Langer dorsomedianer Zugang bei Lisfranc-Luxationsfraktur mit Kompartment-Syndrom. *1* Distales Extensorenretinakulum, *2* Tibialis-anterior-Sehne, *3* Extensor-hallucis-longus-Sehne, *4* Extensor-digitorum-longus-Sehne, *5* M. extensor hallucis brevis, *6* A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus. **b** Reposition einer Lisfranc-Luxationsfraktur über einen kombinierten dorsomedialen und dorsolateralen Zugang mit ausreichender Weichteilbrücke. Das Gefäß-Nerven-Bündel aus A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus ist stumpf angeschlungen. **c** Mediale Dermatofasziotomie nach Myerson (1991) zur Entlastung aller 4 Fußkompartimente (**d**)

Das Retinaculum extensorum superius et inferius wird im proximalen Wundpol komplett durchtrennt. Die Präparation erfolgt zunächst auf das 2. Metatarsophalangealgelenk hin, wozu die Extensor-hallucis-longus-Sehne und das Gefäß-Nerven-Bündel von A. dorsalis pedis und N. peroneus profundus nach medial, die Extensor-digitorum-longus- und -brevis-Sehnen nach lateral weggehalten werden (Abb. 21.73a). Der variable Abgang der A. arcuata im distalen Wundpol muss geschont und wechselweise nach medial oder lateral abgehalten werden. Sehne und Muskelbauch des M. extensor hallucis brevis verlaufen quer über den 2. Strahl und werden ebenfalls je nach Notwendigkeit nach medial bzw. lateral mobilisiert.

Werden die Diaphysen der Ossa metatarsalia I und II dargestellt, so ist der R. perforans aus der A. dorsalis pedis zum plantaren Gefäßbogen zu schonen. Nach Einstellung des 2. Strahls auf Höhe des Lisfranc-Gelenks wird zur Reposition des 1. Strahls das Gefäß-Nerven-Bündel mit den Großzehenstreckern nach lateral mobilisiert. Wichtig ist, dass immer streng am Knochen präpariert und mobilisiert wird. Alternativ kann die Kompartmentspaltung über zwei parallel verlaufende dorsale Inzisionen bzw. eine mediale Dermatofasziotomie erfolgen (Myerson 1991).

Liegt kein Kompartment-Syndrom vor, so empfiehlt sich für die Darstellung der medialen Strahlen des Lisfranc-Gelenks ein dorsomedialer Zugang, welcher über dem 1. Interdigitalraum zentriert ist und nicht so weit nach proximal reicht. Verbleibt nach Versorgung des 1. bis 3. Strahls eine Inkongruenz oder Instabilität der lateralen Strahlen, so werden mit einen zusätzlichen dorsolateralen Zugang über dem 4. Interdigitalraum der 4. und 5. Strahl

eingestellt und retiniert (Abb. 21.73b). Dies wird bei Arthrodesen häufiger als bei Primärversorgungen der Fall sein. Auf eine ausreichende Hautbrücke von 5 cm zwischen beiden Inzisionen ist zu achten. Die A. tarsea lateralis wird geschont und nach lateral weggehalten.

Bei Kompartment-Syndrom des Fußes ohne Lisfranc-Luxationsfraktur kann alternativ zur dorsomedianen Fasziotomie die Entlastung der Kompartimente beim manifesten Fußkompartment-Syndrom über eine mediale Fasziotomie (modifizierter Henry-Zugang) erfolgen (Myerson 1991). Diese erlaubt in experimentellen und klinischen Studien die vollständige Entlastung aller Fußkompartimente bei gleichzeitiger Schonung der Hautnervenäste und Abgänge der A. dorsalis pedis am Fußrücken, welche beim dorsomedianen Vogehen häufig kompromittiert werden. Der Hautschnitt verläuft auf voller Länge über dem medialen Aspekt des Os metatarsale I (Abb. 21.73c). Die Präparation erfolgt streng oberhalb des M. abductor hallucis und direkt am Unterrand des Os metatarsale I, um das mediale Gefäß-Nerven-Bündel nicht zu gefährden (Abb. 21.73d). Nach Retraktion des M. abductor hallucis empfiehlt sich aus demselben Grunde die stumpfe Präparation. Die Inzision kann nach proximal bis unter den Innenknöchel verlängert werden, um das Tibialis-posterior-Gefäß-Nerven-Bündel vollständig zu entlasten.

Literatur

Benirschke SK, Sangeorzan BJ (1993) Extensive intraarticular fractures of the foot. Surgical managment of calcaneal fractures. Clin Orthop 292: 128–134

Blauth M (1998) Obere Halswirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 61–151 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Tscherne H (1998) Untere Halswirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 153–239 (Tscherne Unfallchirurgie)

Blauth M, Knop C, Bastian L (1998) Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 242–372 (Tscherne Unfallchirurgie)

Burdeaux BD (1983) Reduction of calcaneal fractures by the McReynolds medial approach technique and its experimental basis. Clin Orthop 177: 87–103

Ertel W, Trentz O (1996) Das stumpfe und penetrierende Abdominaltrauma. Unfallchirurg 99: 288–303

Freeman BJ, Duff S, Allen PE, Nicholson HD, Atkins RM (1998) The extended lateral approach to the hindfoot. Anatomical basis and surgical implications. J Bone Joint Surg Br. 80: 139–142

Ganz RT, Huff, TW, Leunig M (2009) Extended retinacular soft tissue flap for intra articular hip surgery: surgical technique, indications, and results of application. Instr Course Lect 58: 241–255

Ganz R, Gill TJ, Gautier E (2001) Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. J Bone Joint Surg Br 83: 1119–1124

Ganz R, Parvizi J, Beck M, et al. (2003) Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. Clin Orthop 417: 112–120

Gautier E, Ganz K, Krugel N, et al. (2000) Anatomy of the medial femoral circumflex artery and its surgical implications. J Bone Joint Surg Br 82: 679–683

Gibson A (1950) A posterior exposure of the hip. J Bone Joint Surg Br 32: 183–186

Gill TJ, Sledge JB, Ekkernkamp A, et al. (1998) Intraoperative assessment of femoral head vascularity after femoral neck fracture. J Orthop Trauma 12: 474–478

Henry AK (1927) Exposures of long bones and other surgical methods. Bristiol: Wrist & Sons

Hetzer R, Zipfel B (2000) Verletzungen des Herzens und der großen thorakalen Gefäße. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 159–226 (Tscherne Unfallchirurgie)

Hierner R, Berger A (2003) Prinzipien der Defektdeckung. In: Nerlich M, Berger A (Hrsg) Weichteilverletzungen und -infektionen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 123–181 (Tscherne Unfallchirurgie)

Kalhor 2011 ##

Mercati E, Guary A, Myquel C, et al. (1972) Une voie d'abord postéro-externe de la hanche. Intérêt de la réalisation d'un muscle digastrique. J Chir (Paris) 103: 499–504

Meyer-Marcotty M, Gohritz A, Vogt PM (2011) Inzisionstechniken und Vermeidung ungünstiger Narbenbildung. In: Vogt PM (Hrsg) Praxis der Plastischen Chirurgie. Springer, Berlin Heidelberg New York, Abb. 5.1a, b

Myerson M (1991) Management of compartment syndromes of the foot. Clin Orthop 271: 239–248

Nork SE, Schar M, Pfander G, et al (2005) Anatomic considerations for the choice of surgical approach for hip resurfacing arthroplasty. Orthop Clin North Am 36: 163–170

Nötzli HP, Siebenrock KA, Hempfing A, et al. (2002) Perfusion of the femoral head during surgical dislocation of the hip. Monitoring by laser Doppler flowmetry. J Bone Joint Surg Br 84: 300–304

Oestern HJ (2001) Unterarmschaftfrakturen. In: Schmit-Neuerburg K-P, Letsch R, Towfigh H (Hrsg) Ellenbogen, Unterarm, Hand. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 181–196 (Tscherne Unfallchirurgie)

Pichlmayr R, Platz A, Trentz O (2000) Abdominalverletzungen. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 273–351 (Tscherne Unfallchirurgie)

Pinter H, Friehs GB, Smolle-Jüttner F-M (2000) Verletzungen der Thoraxwand, des Tracheobronchialsystems und der Lunge. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 227–250 (Tscherne Unfallchirurgie)

Pohlemann T, Tscherne H (1998) Zugänge zum Acetabulum. In: Tscherne H, Pohlemann T (Hrsg) Becken und Acetabulum. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 349–392 (Tscherne Unfallchirurgie)

Rammelt S, Zwipp H (2009) Talar neck and body fractures. Injury 40: 120-135

Regel G, Lobenhoffer Ph, Tscherne H (2000) Akutversorgung. In: Tscherne H, Regel G (Hrsg) Trauma-Management. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 257–297 (Tscherne Unfallchirurgie)

Röttinger H (2006) Minimal-invasiver anterolateraler Zugang in der Hüftendoprothetik. Orthopäde 35: 708-715

Rüedi T, von Hochstetter AHC, Schlumpf R (1984) Operative Zugänge der Osteosynthese. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Ruggieri F, Zinghi GF, Boriani S, Specchia L (1989) Anatomische Darstellungen und Zugangswege in der Chirurgie der Extremitäten. Springer, Wien New York – Aulo Gaggi Editore, Bologna

Thon WF, Jonas U (2000) Nierenverletzungen. In: Trentz O (Hrsg) Kopf und Körperhöhlen. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 353–371 (Tscherne Unfallchirurgie)

Torklus HD (1992) Atlas orthopädisch-chirurgischer Zugangswege, 4. neubear. und erw. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München

Wiedemann E (2004) Frakturen der Skapula. Unfallchirurg 107: 1124-1133

Zwipp H (1994) Chirurgie des Fußes. Springer-Verlag, Wien – New York.

Chirurgisches Handwerk

B. Weigel

22.1 Weichteilchirurgie – 1144
22.2 Knochenchirurgie – 1166
22.3 Implantatentfernung – 1172
Literatur – 1174

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_22,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

22.1 Weichteilchirurgie

22.1.1 Regionalanästhesie

Infiltrationsanästhesie

Kleinere Bezirke der Körperoberfläche können für eine Wundversorgung oder die Entfernung einer kleinen Weichteilgeschwulst durch Infiltration eines Lokalanästhetikums schmerzfrei gemacht werden. Das Medikament wird entweder intrakutan, subkutan oder intramuskulär infiltriert. Bei einer frischen Wunde spritzt man nicht vom Wundinneren aus. Dies wäre zwar für den Patienten besonders schmerzarm durchführbar, weil nicht durch den sensiblen Hautmantel gestochen werden muss, man würde dabei aber die Keime aus der Wunde in die Umgebung transportieren und in die durch die Infiltration geschaffenen Hohlräume verschleppen. Auf diese Weise könnten Abszesse entstehen. Deshalb wird grundsätzlich die Umgebung einer Wunde durch den intakten, zuvor desinfizierten Hautmantel hindurch infiltriert. Die Wunde bzw. der Weichteiltumor wird rautenförmig umspritzt. Dazu wird jeweils nur an den beiden gegenüber liegenden Spitzen der Raute eingestochen und von einer Einstichstelle aus werden jeweils 2 der 4 Schenkel der Raute unterspritzt. Dabei sollte man sich Zeit nehmen und das Lokalanästhetikum nicht mit großem Druck injizieren, weil langsames Infiltrieren ohne großen Druck weniger Schmerzen verursacht.

Periphere Nervenblockaden

Die im Folgenden unter den jeweiligen Verfahren angegebenen Mengenangaben sind keine absoluten, sondern nur Näherungswerte, die im Einzelfall an die individuellen Gegebenheiten des jeweiligen Falls angeglichen werden müssen (nach Kompendium der Regional-Anästhesie 1985).

Unterarmblock

Blockade des N. ulnaris am Ellenbogen

Indikationen sind Operationen im sensiblen Versorgungsgebiet des N. ulnaris und die Ergänzung einer inkompletten Plexusanästhesie. Leitpunkte sind der Epicondylus ulnaris und das Olekranon. Punktiert wird 1–2 cm proximal des in seinem Sulkus tastbaren Nervs. Die Kanüle wird 1–2 cm tief in Richtung Humeruslängsachse geführt und dort werden 2–5 ml Lokalanästhetikum instilliert.

Blockade des N. medianus am Ellenbogen

Indikationen sind Operationen im sensiblen Versorgungsgebiet des N. medianus und die Ergänzung einer inkompletten Plexusanästhesie. Leitpunkte sind Epicondylus ulnaris und radialis sowie die A. brachialis. Man sticht auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Kondylen unmittelbar neben der A. brachialis 5 mm tief ein und instilliert dort 5 ml Lokalanästhetikum.

Blockade des N. radialis am Ellenbogen

Indikationen sind Operationen im sensiblen Versorgungsgebiet des N. radialis und die Ergänzung einer inkompletten Plexusanästhesie. Leitpunkte sind Epicondylus radialis, M. brachioradialis und distale Bizepssehne. Man punktiert in der Furche zwischen M. brachioradialis und distaler Bizepssehne in Höhe der Ellenbeuge und sticht nach proximal und radial auf den Rand des Epicondylus radialis. Wenn man Kontakt zum Knochen hat, werden nach kranial etwa 1–3 cm weit entlang der Humeruslängsachse 2–4 ml Lokalanästhetikum infiltriert.

Handblock

Blockade des N. ulnaris am Handgelenk

Prinzipiell kann diese Blockade in Kombination mit einem Handblock bei sämtlichen Operationen an der Hand eingesetzt werden. Zur Orientierung dient die Sehne des M. flexor carpi ulnaris. Unmittelbar beidseits der Sehne sticht man senkrecht zur Haut etwa 0,5–1 cm tief ein. Bei knöchernem Widerstand wird die Kanüle um 2 mm zurückgezogen und es werden 2 ml eines Lokalanästhetikums instilliert.

Blockade des N. medianus am Handgelenk

Wiederum in Kombination mit einem Handblock ist diese Nervenblockade für sämtliche Operationen an der Hand geeignet. Die anatomische Leitstruktur ist die Sehne des M. palmaris longus. Man geht unmittelbar beidseits der Sehne, oder wenn diese Leitstruktur anlagebedingt fehlt, in der Mitte der Handwurzel ein und sticht senkrecht zur Haut etwa 0,5–1 cm tief. Beim Auftreffen auf festen Widerstand wird die Kanüle um 2 mm zurückgezogen und es werden 2 ml eines Lokalanästhetikums instilliert.

Blockade des N. radialis am Handgelenk

Diese Blockade ergänzt wiederum den Handblock. Orientierung bietet die Pulsation der A. radialis. Die Punktion erfolgt radial und ulnar davon tangential zur Handwurzel jeweils mit Instillation von 2–3 ml eines Lokalanästhetikums entlang des Verlaufs der sensiblen Radialisäste.

Intravenöse Nervenblockaden

Indiziert ist das Verfahren bei Operationen an distalen Extremitätenabschnitten, die nicht länger als 40 min dauern. Dazu wird am Hand- oder Fußrücken ein venöser Zugang gelegt. Anschließend wird der distale Extremitätenabschnitt mit einer Gummibinde ausgewickelt und eine Blutsperre angelegt. Dazu werden Blutsperremanschetten mit 2 Kammern benötigt. Zunächst wird die proximal liegende Kammer insuffliert, wobei am Oberarm ein Druck von 200 mmHg, am Oberschenkel von 300 mmHg ausreicht. Nun werden z.B. 20–40 ml eines Lokalanästhetikums über den liegenden Zugang appliziert. Die Wirkung tritt innerhalb weniger Minuten ein. Dann wird die distale der beiden Kammern der Blutsperremanschette insuffliert. Wenn Gewissheit besteht, dass die distale Kammer suffizient aufgeblasen ist, wird der Druck aus der proximalen Kammer abgelassen. Dadurch liegt die Blutsperre jetzt im anästhesierten Gebiet und verursacht dem Patienten keine Beschwerden mehr. Am Ende des Eingriffs darf die Manschette nur etappenweise geöffnet werden, damit das Lokalanästhetikum nicht im Bolus systemisch anfluten und unerwünschte Wirkungen verursachen kann.

Blockade der Finger- oder Zehennerven

Die Technik der sogenannten Oberst-Leitungsanästhesie wird an den Fingern oder Zehen eingesetzt. Es empfiehlt sich, sehr dünne Nadeln zu verwenden, weil das Einspritzen in diesen besonders schmerzempfindlichen Regionen dann etwas weniger unangenehm ist. Der zu versorgende Finger soll auf den behandelnden Arzt zeigen. Dann wird (als Rechtshänder) mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand das Grundglied des verletzten Fingers umfasst, zunächst auf der (aus der eigenen Sicht) rechten Seite der knöchernen Phalanx eingestochen und ein erstes Depot ganz oberflächlich in die Subkutis gesetzt. Abhängig vom Spannungszustand der Weichteile werden etwa 0,25–0,5 ml eines Lokalanästhetikums verwendet, bei sehr kleinen räumlichen Verhältnissen oder vorbestehender starker Schwellung evtl. auch weniger. Dann sticht man

tangential am Knochen vorbei in Richtung auf den palpierenden Zeigefinger, der beugeseitig unter den Weichteilen des Grundgliedes liegt.

Damit die Prozedur weniger schmerzhaft ist, wird beim Vorschieben der Nadel gleichzeitig etwas Lokalanästhetikum instilliert. Wenn die Nadelspitze dann unter der Hautoberfläche zu spüren ist, zieht man die Kanüle um etwa 2 mm zurück und setzt, nun im Bereich des Gefäß-Nerven-Bündels angelangt, ein zweites Depot gleichen Volumens. Dann zieht man die Nadel bis zur Einstichstelle zurück, kippt sie in die Horizontalebene um und schiebt sie subkutan vor bis zum Punkt des anschließend folgenden, zweiten Einstichs. Dieser wird nun anästhesiert, indem auch hier ein Depot gleichen Volumens appliziert wird. Dann wird die Kanüle an dieser Stelle eingestochen und unter Instillierung von Lokalanästhetikum tangential am Knochen vorbei zum kontralateralen Gefäß-Nerven-Bündel vorgeschoben, um es ebenfalls mit einem Depot gleicher Menge zu betäuben. Beim Instillieren des Lokalanästhetikums muss bedacht werden, dass nicht zu viel Volumen in die Weichteile injiziert wird, um keine Druckschäden an Gefäßen und Nerven zu verursachen.

Unterschenkelblockaden

Blockade des N. peroneus communis am Kniegelenk

Indiziert ist diese Blockade bei Operationen am Außenknöchel oder den Außenbändern und als Ergänzung einer inkompletten Periduralanästhesie oder Ischiadikusblockade. Kontraindikationen sind die Peroneusparese oder -neuritis. Zur Orientierung dienen das Fibulaköpfchen und die Sehne des M. biceps femoris. 2 cm unterhalb des Fibulaköpfchen wird 1 cm tief senkrecht zur Hautoberfläche eingestochen und es werden 5 ml eines Lokalanästhetikums instilliert.

Blockade des N. tibialis am Kniegelenk

Auch diese Blockade dient als Ergänzung bei inkompletter Periduralanästhesie oder bei Ischiadikusblockaden. In Kombination mit der Peroneus-communis- und der Saphenusblockade sind Operationen im gesamten Unterschenkel- und Fußbereich möglich. Als Leitpunkte dienen Epicondylus medialis und lateralis sowie Caput mediale und laterale des M. gastrocnemius. In der Mitte der Verbindungslinie zwischen den Epikondylen wird 1,5–3 cm tief senkrecht zur Hautoberfläche eingestochen und es werden 5–10 ml eines Lokalanästhetikums instilliert.

Blockade des N. saphenus am Kniegelenk

Dadurch werden inkomplette Blockaden des N. femoralis ergänzt. In Kombination mit einer Tibialis- und Peroneus-communis-Blockade sind Operationen im gesamten Unterschenkel- und Fußbereich möglich. Als anatomische Landmarken werden Tuberositas tibiae und M. gastrocnemius genutzt. Von der Tuberositas aus werden in Richtung M. gastrocnemius ins subkutane Fettgewebe etwa 5–10 ml Lokalanästhetikum instilliert.

Fußblock

Im Prinzip sind im Fußblock alle kleineren Eingriffe am Fuß durchführbar. Medial sticht man unmittelbar beidseits der A. tibialis 0,5–2 cm tief ein und instilliert 2–3 ml Lokalanästhetikum. Am Fußrücken liegt die Einstichstelle unmittelbar beidseits der A. dorsalis pedis, und zwar so tief, wie die Arterie vermutet wird oder geringfügig tiefer. Dort wird ebenfalls ein Depot von 2–3 ml gesetzt. Zuletzt wird beidseits handbreit über den Malleolen jeweils von der Tibiavorderkante aus in Richtung Achillessehne die Subkutis mit 5–10 ml Lokalanästhetikum infiltriert.

22.1.2 Nahttechniken

Hautnaht

Nahtmaterial

Für die Hautnaht werden ausschließlich atraumatische monofile Fäden verwendet. Aufgrund ihrer glatten Oberfläche gleiten die Fäden besonders gut und schädigen das Gewebe nicht zusätzlich. Die Gleitfähigkeit sorgt zudem für eine gleichmäßige Verteilung der Nahtspannung.

Die Nahtstärken werden in Abhängigkeit von der Körperregion gewählt. Diese richtet sich nach kosmetischen Gesichtspunkten, nach Hautdicke, Durchblutung und Nahtspannung. Im Gesicht verwendet man möglichst dünnes Nahtmaterial in der Regel der Stärke 5/0, weil hier keine nennenswerten Zugspannungen auftreten und die Wunden aufgrund der vor Ort gegebenen besonders guten Durchblutungsverhältnisse schnell verkleben. Dünne Fäden sind überdies kosmetisch günstiger, weil sie kleinere Narben verursachen. An den Händen herrschen ähnliche Bedingungen. Auch hier kommen dünne Fäden der Stärke 5/0 bis 4/0 zum Einsatz. Am Rücken ist die Haut besonders dick und großen Zuglasten ausgesetzt. Dort werden deshalb Fäden der Stärke 3/0 oder dicker verwendet. Ähnliches gilt für die Bauchhaut. An den Extremitäten kommt fast ausschließlich Nahtmaterial der Stärke 4/0 zum Einsatz (Tab. 22.1).

Generell gilt, dass immer möglichst dünnes Nahtmaterial verwendet werden sollte, weil damit das Gewebe am wenigsten stranguliert wird und Wundrandnekrosen vermieden werden können.

Nahttechniken

Es gibt verschiedene Techniken, Wunden zu adaptieren. Welche Technik angewendet wird, hängt von der jeweiligen Körperregion, der Beschaffenheit des Gewebes und dem Kontaminationsgrad der Wunde ab.

Generell gilt, dass die Ein- und Ausstichstellen nicht unmittelbar am Wundrand liegen sollen. Die Nähte würden nicht nur leichter ausreißen, sondern auch die Durchblutung stärker beeinträchtigen. Außerdem werden umso mehr Nähte benötigt, um eine

Tab. 22.1 Unterschiedliche Nahtstärken in Abhängigkeit zur Körperregion. Die angegebenen Stärken entsprechen den gebräuchlichsten; sie können bei Bedarf unter- oder überschritten werden

Körperregion	Nahtmaterial
Kopfschwarte	3/0
Gesicht	5/0
Hals	4/0
Thorax	3/0
Bauch	3/0
Rücken	3/0
Schulter, Arm	4/0
Hand	5/0
Hüfte, Oberschenkel	4/0
Knie, Unterschenkel, Fuß	4/0

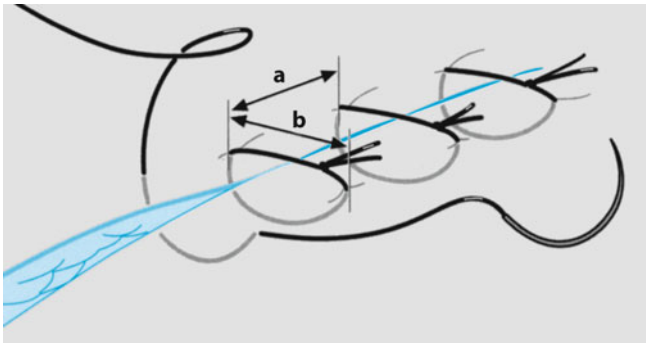


Abb. 22.1a,b Der Abstand zwischen den einzelnen Nähten (**a**) und dem Ein- und Ausstich (**b**) entspricht in etwa 1:1 und beträgt abhängig von Wundbeschaffenheit und Topografie zwischen 0,5 und 1,5 cm. (Aus: Weigel 2002)

Wunde definierter Länge zu adaptieren, je weniger Gewebe gefasst wird. Anders ausgedrückt bedeutet dies: Der Abstand zum Wundrand korreliert mit dem Abstand zwischen den einzelnen Nähten. Als grobe Regel gilt ein Verhältnis von 1:1 zwischen der Distanz der Einzelnähte und dem Abstand zwischen Ein- und Ausstich. Die Absolutwerte liegen zwischen 0,5 und 1,5 cm. Diese korrelieren wiederum mit der Hautdicke. Je dicker das Gewebe ist, umso weiter können die Nahtabstände sein (Abb. 22.1).

Beim Durchstechen der einzelnen Schichten ist es sehr wichtig, die Nadel ihrer Biegung folgend durch das Gewebe zu drehen. Dabei wird die Hand, die den Nadelhalter führt, aus einer pronierten in eine supinierte Stellung rotiert oder umgekehrt. Wird die Nadel hingegen lediglich durch das Gewebe gedrückt oder geschoben, entstehen Schlitze und Blutungen. Dadurch wird das Nahtlager geschwächt und die Durchblutung gemindert.

Aber auch der Einsatz von Pinzetten kann die Weichteile schädigen. Mit jedem festen Zupacken werden am Wundrand neue Unregelmäßigkeiten geschaffen und die Haut gequetscht. Meist genügt es vollkommen, wenn die Pinzette nur als eine Art Wundhaken mit einer Branche eingesetzt wird, um beim Durchstechen der Haut das nötige Widerlager zu haben. Dafür muss die Pinzette jedoch nicht gänzlich geschlossen werden. Das ermöglicht ein besonders gewebeschonendes Arbeiten, was den Wunden postoperativ dann auch anzusehen ist.

Im Folgenden werden die gängigsten Nahttechniken beschrieben (Übersicht).

Die gängigsten Nahttechniken

Einzelknopfnähte:

- Überwendliche Einzelnaht
- Rückstichnaht nach Donati
- Rückstichnaht nach Allgöwer

Fortlaufende Nähte:

- Einfache überwendliche fortlaufende Naht
- Durchschlungene fortlaufende Naht
- Intradermale Naht

Einzelknopfnähte

Einzelknopfnähte haben gegenüber fortlaufenden Nähten einige Vorteile. So kann jeder Knoten in seiner Nahtspannung den jeweiligen Wund- bzw. Durchblutungsverhältnissen angepasst werden,

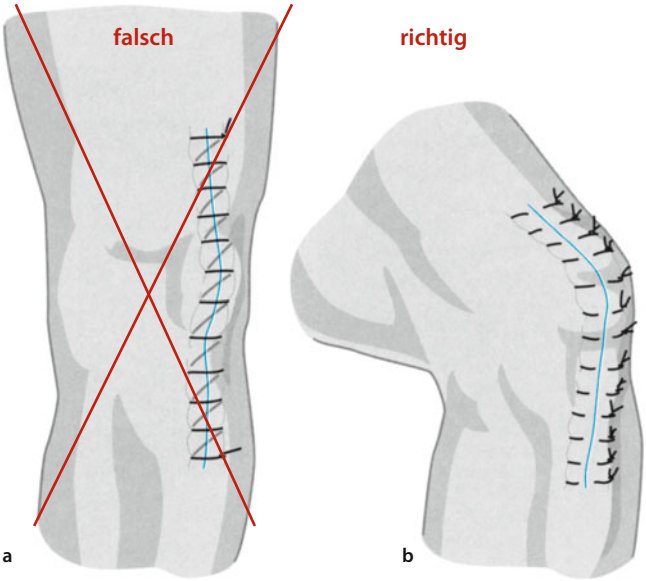


Abb. 22.2a,b Fortlaufende Naht oder Einzelnähte? **a** Eine streckseitig über dem Knie gelegte fortlaufende Naht würde die Beugbarkeit einschränken. **b** Einzelknopfnähte tun dies nicht. (Aus: Weigel 2002)

was die Heilung fördert. Auch Wunden mit unregelmäßigem Verlauf oder unterschiedlicher Gewebekonsistenz können gleichmäßig adaptiert werden. Falls während der Heilung bei noch liegenden Fäden eine lokale, dermale Infektion im Wundverlauf entstehen sollte, kann der eine oder andere Faden entfernt werden und ein Verhalt durch punktuelles Spreizen der Wunde entlastet werden, ohne Gefahr zu laufen, dass die gesamte Wunde dehiszent wird. Ein weiterer, nicht unerheblicher Vorteil ist, dass die Einzelknopfnaht die Dehnbarkeit des Hautareals, in dem die Wunde verläuft, nicht beeinträchtigt. Dies ist insbesondere auf der Streckseite von Gelenken bedeutsam, z.B. am Ellenbogen-, Hand- oder Kniegelenk. Eine hier gelegene fortlaufende Naht würde die Beugung einschränken. Gleiches gilt, wenn postoperative Schwellungen auftreten. Eine fortlaufende Naht würde die Wunde über die gesamte Länge strangulieren, während die Einzelknopfnaht dies nur punktuell tut (Abb. 22.2).

Überwendliche Einzelnaht

Dies ist die einfachste Nahttechnik. Sie wird relativ selten angewendet, weil sie die Hautränder nicht ausspart, sondern auf diesen zu liegen kommt und sie einschneidet. Dies kann Durchblutungsstörungen verursachen – insbesondere dann, wenn die Naht unter hoher Zugspannung geknüpft wird. Man sollte deshalb beim Knüpfen überwendlicher Einzelnähte die Knoten nur gerade so weit zuziehen, bis die Hautränder Stoß auf Stoß aneinander liegen. Entscheidend ist überdies, dass zu beiden Seiten die gleiche Schichtdicke und der gleiche Abstand vom jeweiligen Wundrand gefasst werden, sonst entstehen Niveauunterschiede zwischen den Hauträndern oder Lücken zwischen den einzelnen Nähten. Der Knoten soll neben dem Wundverlauf positioniert werden. Käme er auf den Wundrändern zu liegen, würde er die Durchblutung und damit die Heilung stören.

Die Nahttechnik eignet sich insbesondere zur Adaptation gut durchbluteter Wundränder im Gesicht und an den Händen. Glattrandige Schnitte lassen sich einfach, Stoß auf Stoß adaptieren. Aber auch Riss-Quetsch-Wunden mit unregelmäßiger Begrenzung, die

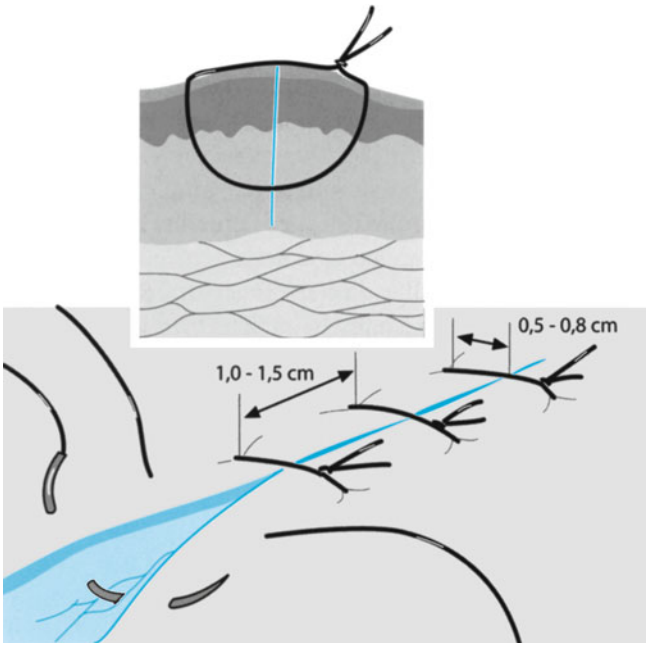


Abb. 22.3 Überwendliche Einzelnaht. Man sticht auf einer Seite der Wunde von außen nach innen und auf der Gegenseite aus. Dann werden die Fadenenden miteinander verknotet. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

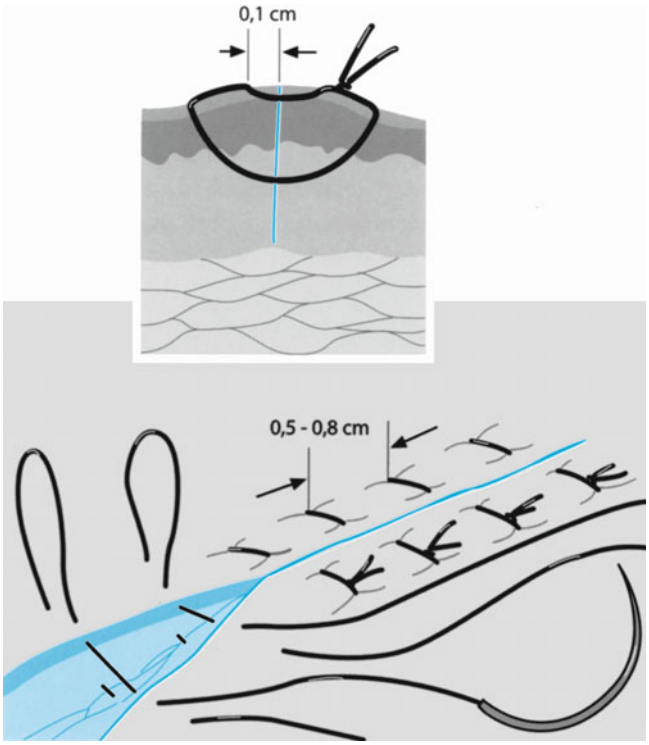


Abb. 22.4 Rückstichnaht nach Donati. Man sticht auf einer Seite der Wunde von außen nach innen wundrandfern ein und auf der Gegenseite in gleicher Tiefe und gleichem Abstand aus. Dann sticht man zurück und fasst nun dabei nur einen vergleichsweise kleinen, oberflächlichen Hautanteil. Zuletzt werden die Fadenenden miteinander verknotet. Entscheidend ist, dass beidseits das gleiche Gewebevolumen gefasst wird und der Rückstich relativ dicht unter der Hautoberfläche verläuft, denn dies gewährleistet eine exakte Adaptation ohne Niveausprung. Wenn der Rückstich zu tief liegt, stülpen sich die Wundränder aus. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

kontaminiert sind, eignen sich. Wenn nur einige Situationsnähte gesetzt werden, kann man dadurch einerseits die Wundränder einander soweit annähern, dass keine hyperthrophe Narbe entsteht, andererseits schließt man die Wunde nicht hermetisch ab, dadurch staut sich nicht so leicht kontaminiertes Sekret, und die Gefahr einer Infektion ist kleiner (Abb. 22.3).

Rückstichnaht nach Donati

Diese Nahttechnik wird in der Unfallchirurgie am häufigsten eingesetzt. Neben den allgemeinen Vorteilen der Einzelknopfnähte (s. oben) stranguliert sie nicht die ohnehin oft grenzwertig durchbluteten Hautränder, weil diese ausgespart werden. Dazu kommt, dass im Vergleich zur überwendlichen Einzelnaht die adaptierte Wunde besser stabilisiert wird. Die Haut wird ja pro Seite nicht nur einmal, sondern 2-mal durchstochen und damit doppelt geschient.

Insbesondere bei schlecht durchbluteten und deshalb langsam heilenden Wunden ist diese Schienung von Bedeutung, denn instabile Wunden, deren Ränder gegeneinander verschieblich sind, infizieren sich schnell. Außerdem eignet sich diese Nahttechnik besonders gut, wenn man unterschiedlich dicke oder schräg angeschnittene Wundränder miteinander adaptieren möchte. Der Rückstich verhindert, dass sich die Hautränder gegeneinander verschieben und zwischen den Wundrändern ein bleibender, kosmetisch störender Niveausprung entsteht (Abb. 22.4, Abb. 22.5).

Rückstichnaht nach Allgöwer

Die Allgöwer-Naht spart etwas Zeit. Sie ist auch kosmetisch etwas günstiger, weil die seitlichen, quer zur Naht verlaufenden Schnürfurchen, die durch das Einschneiden der Fäden entstehen können, auf einer Seite des Wundverlaufs wegfallen. Dies kommt zum Tragen, wenn die Nähte unter zu großer Zugspannung geknotet werden oder die Wunde postoperativ stark anschwillt. Dann schneiden sich die Fäden u.U. tief ins Gewebe ein und verursachen Narben.

Die Allgöwer-Naht bedarf viel Übung, denn es ist nicht ganz einfach, beim Rückstich auf der Gegenseite eine dem Hinstich entsprechende Gewebeportion, noch dazu in gleichem Niveau, zu fassen. Wenn sich allerdings die Gewebeportionen nicht entsprechen, können Verwerfungen der Wundränder, Niveausprünge und Dehiszenzen entstehen.

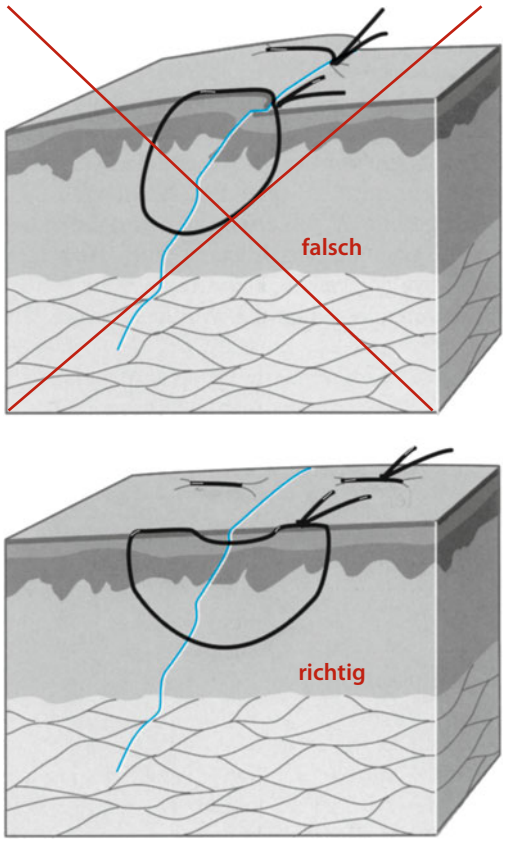
Prinzipiell kann diese Naht überall dort eingesetzt werden, wo auch die Donati-Naht zur Anwendung kommt, mit der Einschränkung, dass sich für unregelmäßig strukturierte Wunden die Donati-Naht generell besser eignet (Abb. 22.6).

Fortlaufende Nähte

Günstig ist, dass der Wundverschluss mit fortlaufenden Nähten wesentlich schneller und mit bedeutend weniger Nahtmaterial erreicht werden kann. Es eignen sich jedoch nur geradlinig verlaufende, glattrandige, saubere Wunden mit gleichförmigen Wundrändern zu beiden Seiten, die nicht über Gelenken liegen dürfen.

Einfache überwendliche fortlaufende Naht

Diese Naht ist am schnellsten ausführbar. Sie eignet sich, wenn nicht mit größeren postoperativen Schwellungszuständen gerechnet werden muss, für glattrandige, gerade verlaufende Schnitte an Thorax und Bauch in gut durchblutetem Gewebe oder als temporärer Verschluss vor einem geplanten Second look. An den Extre-



a

b

Abb. 22.5a,b Versorgung schräger Wundflächen. **a** Tangentiale Wundränder würden sich bei Adaptation durch eine bloße überwendliche Einzelnaht gegeneinander verschieben. **b** Die Rückstichnaht wirkt durch die zusätzliche, oberflächlich verlaufende Fadenschlinge dieser Verschiebung entgegen. (Aus: Weigel 2002)

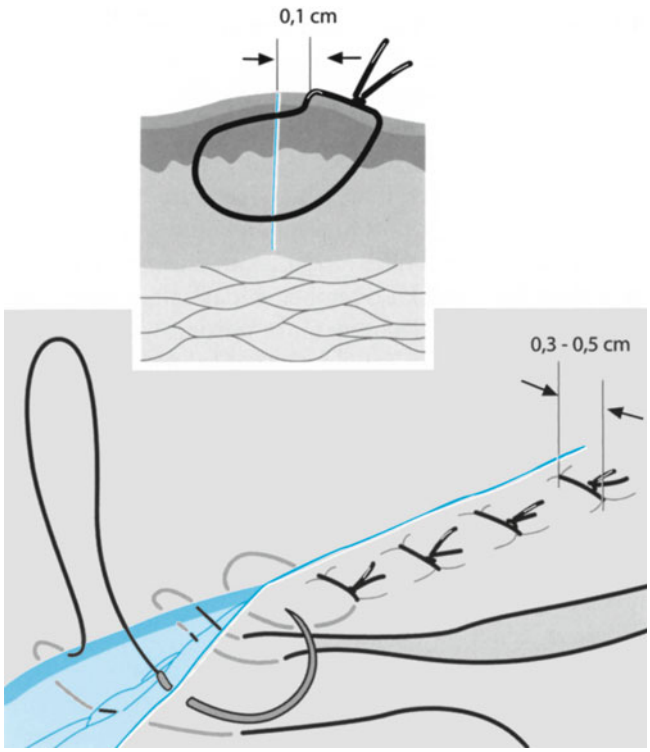


Abb. 22.6 Rückstichnaht nach Allgöwer. Man sticht auf einer Seite der Wunde von außen nach innen wundrandfern ein. Auf der Gegenseite wird ein Gewebeanteil gleichen Volumens in gleicher Tiefe gefasst, jedoch nicht durch die Hautoberfläche, sondern knapp unterhalb der Oberfläche in die Wundlichtung ausgestochen. Dann wird der gegenüber liegende Hautrand oberflächlich rückgestochen und die Naht geknotet. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

mitäten kann sie die Beweglichkeit von Gelenken beeinträchtigen. Deshalb kommt sie hier nur für Zugänge im Schaftbereich langer Röhrenknochen und bei guter Durchblutung infrage.

Nachteilig ist, dass sich Kaliberschwankungen zwischen den beiden Wundlefzen nur bedingt angleichen lassen, der Wundverlauf in Form einer Schlangenlinie verzogen wird und beide Wundränder durch den gespannten, fortlaufenden Faden komprimiert werden (Abb. 22.7).

Durchschlungene fortlaufende Naht

Diese Nahttechnik erlaubt, Wunden primär besonders dicht zu verschließen, was z.B. am Thorax von Bedeutung sein kann. Dadurch, dass der Faden durch jede überwendliche Schlinge gezogen wird, kann der Assistent beim Führen des Fadens den Wundverschluss einfacher geschlossen halten. Die Wunde wird nicht verzogen und nur der Wundrand, in dem die Durchflechtung verläuft, komprimiert. Nachteilig ist, dass der Faden an den Einstichpunkten jeweils rechtwinklig abgeknickt und dadurch in seiner Reißfestigkeit geschwächt wird (Abb. 22.8).

Intradermale Naht

Durch diese Nahttechnik vermeidet man diejenigen Narben, die durch die quer verlaufenden Schnürfurchen entstehen können, die der Faden bei zu hoher Nahtspannung verursacht. Die Technik ist jedoch nicht ganz einfach. Sie verlangt etwas Übung und die Beachtung einiger Grundregeln. Selbstverständlich muss die Naht

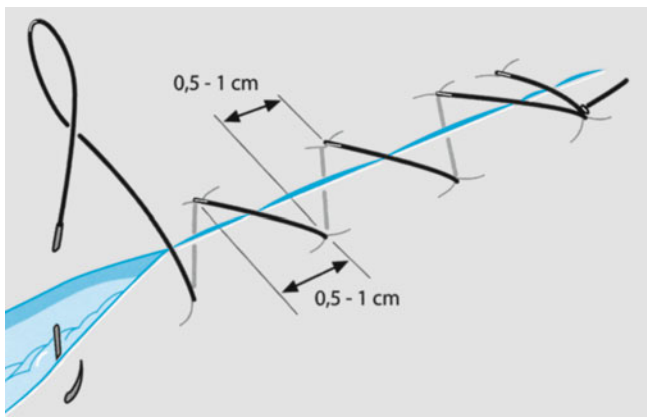


Abb. 22.7 Einfache überwendliche fortlaufende Naht. Zunächst wird am einen Ende der Wunde eine erste überwendliche Naht gelegt und geknotet. Im Gegensatz zum Vorgehen bei der Einzelknopftechnik schneidet man jedoch den Faden nicht ab, sondern sticht nun nacheinander in gleichbleibenden Abständen einen Kanal nach dem anderen, im 45°-Winkel zum Wundverlauf, bis die gesamte Strecke mit dem Faden durchwoben ist. Zwischen den einzelnen Stichkanälen spannt sich der Faden diagonal vom Ausstich des vorherigen zum Einstich des nächsten Stichkanals. Während der Operateur die Naht legt, führt der Assistent den Faden und hält ihn unter dosierter Zugspannung. Am Ende angelangt wird ein zweiter Knoten geknüpft und erst jetzt das überschüssige Fadenende abgeschnitten. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

Tab. 22.2 Synopse der verschiedenen Nahttechniken und deren typische Verwendung. Abhängig von der Körperregion und der Art der Wunde eignen sich unterschiedliche Nahttechniken

Nahttechnik	Körperregion	Anwendungsbeispiele
Einzelknopfnähte		
Überwendliche Einzelnaht	Gesicht, Hand	Glatte Wunden, kontaminierte Wunden mit zerfetzten Wundrändern
Rückstichnaht nach Donati	Rumpf, Extremitäten	Saubere Wunden mit glatten Rändern, Wunden mit unterschiedlich dicken oder tangential geschnittenen Rändern, unregelmäßig strukturierte Wunden
Rückstichnaht nach Allgöwer	Rumpf, Extremitäten	Saubere Wunden mit glatten Rändern
Fortlaufende Nähte		
Einfache überwendliche fortlaufende Naht	Thorax, Bauch, Schaftbereich der Extremitäten	Glattrandige, gerade verlaufende Schnitte, nach deren Verschluss keine größeren Schwellungszustände zu erwarten sind bei guter Durchblutung
Durchschlungene fortlaufende Naht	Thorax, Bauch	Glattrandige, gerade verlaufende Schnitte, die primär möglichst dicht sein sollen
Intradermale Naht	Gesicht, Hals, Rumpf, Schaftbereich der Extremitäten	Glattrandige, gerade verlaufende Schnitte, wenn kosmetische Aspekte im Vordergrund stehen

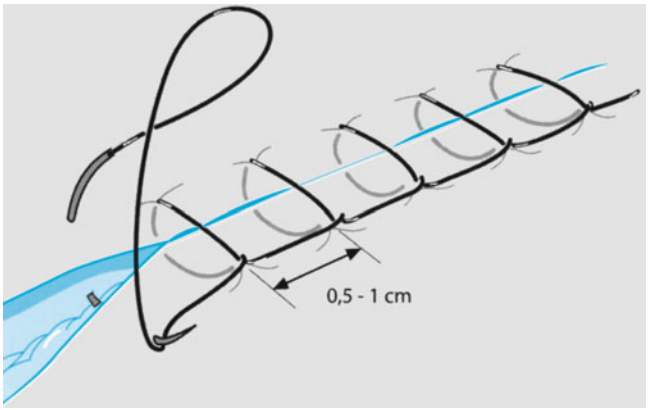


Abb. 22.8 Durchschlungene fortlaufende Naht. Wiederum wird am einen Ende der Wunde eine erste überwendliche Naht gelegt und geknotet und der Faden lang gelassen. Dann sticht man parallel zur ersten Naht einen zweiten Kanal. Der Faden wird anschließend lotrecht über den Wundverlauf gelegt und unter den zuvor gelegten Einstich durchgezogen. Dadurch kreuzt der Faden den Wundverlauf nicht diagonal, sondern lotrecht und verläuft zudem parallel zur Wunde, immer auf einer Seite. Das weitere Vorgehen entspricht dem für die einfache überwendliche fortlaufende Naht beschriebenen. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

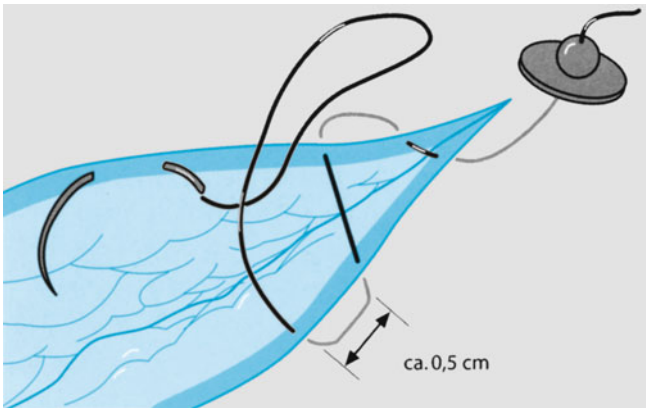


Abb. 22.9 Intradermale Naht. In Verlängerung der Wunde wird, unweit vom Wundwinkel entfernt, zunächst der Faden verankert. Dafür bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. Entweder knüpft man einen voluminösen Knoten in das Fadenende oder man zieht eine kleine Schlinge durch die Haut und verknüpft sie oder plombiert das Fadenende mit einem Bleikügelchen, das gepolstert gelagert wird. Dann sticht man intradermal in den Wundwinkel aus. Der Faden wird nun abwechselnd parallel zur Hautoberfläche innerhalb des Koriums von einer zur anderen Wundseite gestochen und fortlaufend durchgezogen, solange bis der gesamte Wundverlauf mit dem Faden durchflochten und adaptiert ist. Zuletzt wird an spiegelbildlicher Stelle zum Einstich ausgestochen und die Naht geknüpft oder wiederum plombiert. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

einerseits atraumatisch und monofil sein, sonst lässt sie sich nicht durch das derbe Korium ziehen. Der Faden sollte aber andererseits auch nicht zu dünn sein, weil dünne Fäden stärker einschneiden und bei langem Nahtverlauf leicht reißen können. Für kurzstreckige Nähte empfiehlt sich eine Fadenstärke von wenigstens 4/0 und für langstreckige von 3/0 oder dicker. Bei langem Wundverlauf kann eine Fadenschlinge auf halber Strecke oder bei Bedarf auch mehrfach über die Hautoberfläche geführt werden. Das erleichtert es, den Faden später zu entfernen. Beim Fadenziehen sollte man nicht forciert vorgehen, sondern lediglich dosierten Zug einsetzen, damit der Faden Gelegenheit hat, durch das Gewebe zu gleiten; andernfalls könnte er abreißen. Grundsätzlich empfiehlt es sich, langsam resorbierbares Nahtmaterial zu verwenden für den Fall, dass ein Teil des Nahtmaterials im Gewebe verloren geht.

Die intradermale Naht wird häufig im Halsbereich verwendet, weil an dieser exponierten, für jedermann gut sichtbaren Körperregion auffällige Narben als besonders störend empfunden werden. Grundsätzlich eignet sie sich jedoch überall dort, wo fortlaufende Nähte eingesetzt werden können (Abb. 22.9, Tab. 22.2).

Hautdefekte

Nicht alle Hautdefekte müssen mit Transplantaten versorgt werden. Kleinere Defekte lassen sich oft primär verschließen. Die folgenden Abbildungen zeigen die gängigsten Techniken (Faß et al. 1997, Übersicht).

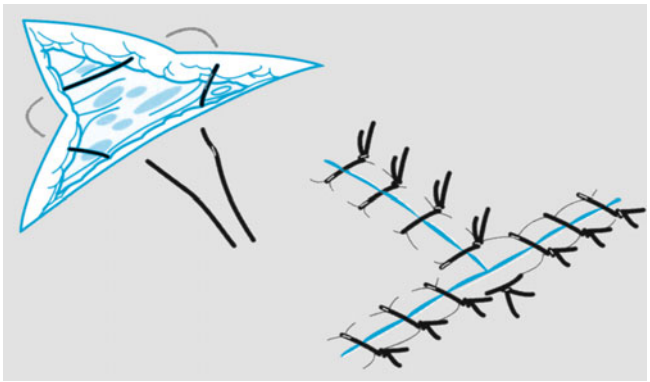


Abb. 22.10 Defektverkleinerung durch eine zentrale U-Naht. Im Bereich von Wundzipfeln ist die Durchblutung herabgesetzt, deshalb soll die Naht nur in der Subkutis verankert werden. Nach Verkleinerung des Defekts werden die 3 verbleibenden Schenkel mit Einzelknopfnähten adaptiert. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

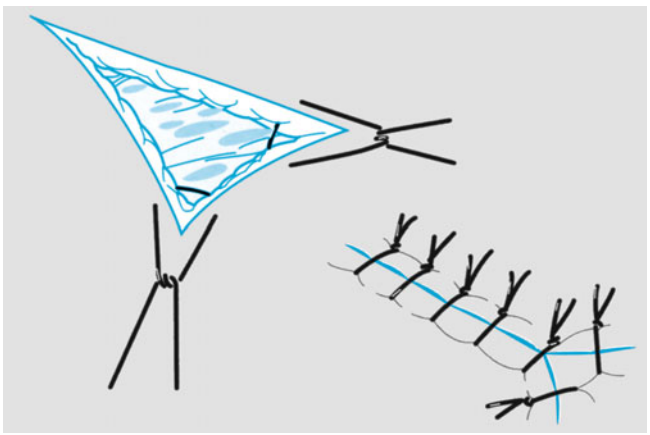


Abb. 22.11 Zipfelnaht nach Davis. Nach Verkleinerung des Defekts durch die beiden Ecknähte kann die übrige Wunde in Form einer geradlinigen Naht zugezogen werden. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

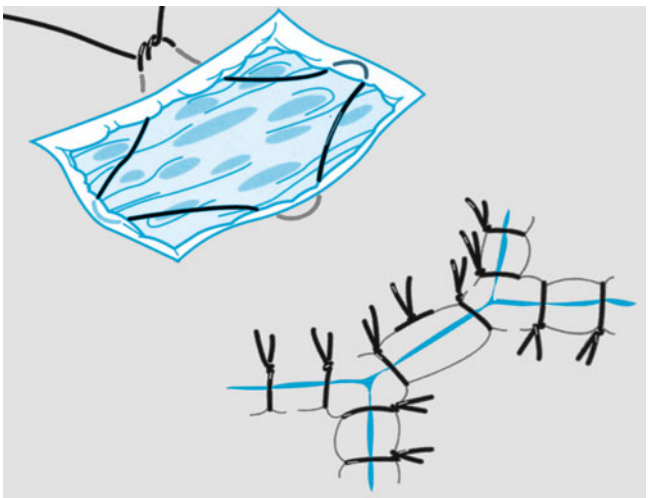


Abb. 22.12 Zipfelnaht nach Lejar. Der viereckige Hautdefekt wird durch eine rautenförmige zentrale Naht, die wiederum in der Subkutis verankert wird, so weit verkleinert, dass die verbleibenden Defekte in Form gerader Nähte verschlossen werden können. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

Gängigste Nahttechniken bei kleinen Hautdefekten

- Defektverkleinerung durch eine zentrale U-Naht (Abb. 22.10)
- Zipfelnaht nach Davis (Abb. 22.11)
- Zipfelnaht nach Lejar (Abb. 22.12)
- Entlastung nach Celsus (Abb. 22.13)
- Entlastung nach Dieffenbach (Abb. 22.14)

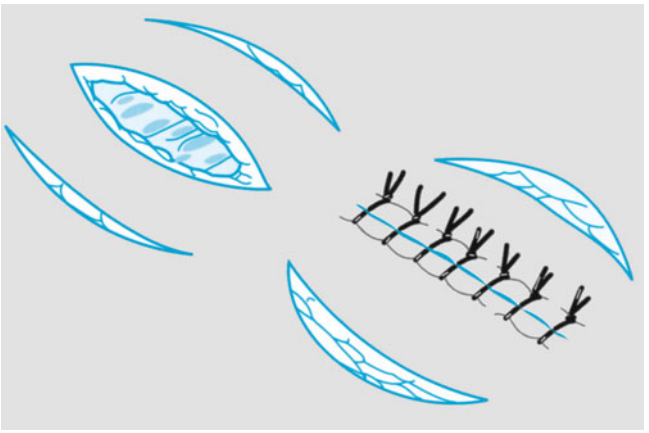


Abb. 22.13 Entlastung nach Celsus. Durch parallele Entlastungsschnitte und Mobilisierung der Haut lässt sich eine Dehiszenz versorgen. Die Entlastungsschnitte müssen in ausreichendem Sicherheitsabstand zur Wunde gesetzt werden. Man orientiert sich dabei an der Relation von Länge zu Breite des geplanten Hautstegs, die ein Verhältnis von 2:1 nicht unterschreiten soll. Um die Durchblutung nicht zu stören, erfolgt die Mobilisierung des Hautstegs auf epifaszialem Niveau, also unterhalb der Subkutanfaszie. Nun kann die eigentliche Dehiszenz versorgt werden. Dadurch lassen sich beispielsweise freiliegende, bradytrophe Strukturen wie Sehnen- oder Knochengewebe vor Austrocknung und Infektion schützen, während die entstandenen Defekte aufgrund ihres guten Wundgrundes entweder ganz der Sekundärheilung überlassen bzw. primär oder nach erfolgter Granulation mit Spalthaut gedeckt werden können. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

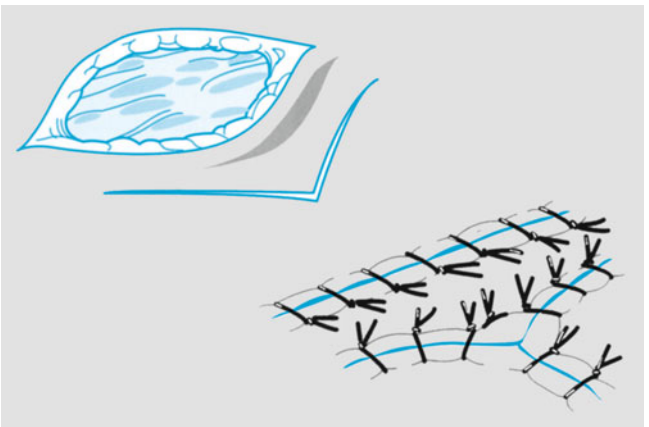


Abb. 22.14 Entlastung nach Dieffenbach. Hier wird ähnlich verfahren, wie es für die Entlastung nach Celsus beschrieben wurde, mit dem Unterschied, dass nur auf einer Seite ein Entlastungsschnitt gesetzt und dieser V-förmig angelegt wird. Dadurch sind eine Verkleinerung durch eine Zipfelnaht und somit ein primärer Wundverschluss möglich. (Aus: Rehner u. Oestern 1997)

Plastische Deckung

Hautexpander

Mit Expandern lassen sich dermale und epidermale Strukturen vergrößern und somit überschüssige Haut zur Rekonstruktion gewinnen.

Man geht zweizeitig vor. In einer ersten Sitzung wird ein dehnbarer Ballon subkutan implantiert. Anschließend wird dieser entweder durch die Haut punktiert und mit sterilem Kochsalz aufgefüllt oder über ein Ventil gefüllt. Die Dehnungsphase dauert meist zwischen 8 und 12 Wochen, je nach benötigter Hautmenge. Bis zur 4-fachen Fläche des zur Dehnung ausgewählten Areals lassen sich gewinnen. Wichtig ist ein behutsames Vorgehen, denn aus Tierexperimenten ist bekannt, dass ein zu schnelles Aufdehnen zu Hautrupturen und Nekrosen führen kann.

Nachdem der Expander gut gefüllt ist, erfolgt in einer zweiten Operation die Entfernung des Expanders und die Nutzung der gewonnenen Haut.

Mittlerweile gibt es auf dem Markt nicht nur subkutane Expander, sondern auch Fixateur-externe-artige Expander, mit Hilfe derer ebenfalls Haut vorgedehnt werden kann. Dieses Verfahren eignet sich für den sekundären Verschluss von Defektwunden.

Spalthaut

Bei dieser Technik wird autologe Haut aus dem Spendergebiet mit einem Dermatom gewonnen. Die Schichtdicke dünner Spalthaut beträgt 0,2–0,3 mm, dicker 0,4–0,5 mm. Grundsätzlich kann an allen Körperregionen Spalthaut entnommen und transplantiert werden. Am besten eignen sich aber Lokalisationen, an denen das Dermatom plan aufgesetzt und mit gleichmäßigem Anpressdruck geführt werden kann, wie es am Oberschenkel und Gesäß der Fall ist. Bei Kindern wird auch die Kopfhaut verwendet, weil spätere Pigmentverschiebungen unter dem Haupthaar nicht sichtbar sind.

Beim Heben des Transplantats mit dem Dermatom muss zuerst ein genaues Bild von der Größe des zu deckenden Defekts vorliegen, denn danach richtet sich die Schnittbreite, die am Dermatom eingestellt werden kann. Außerdem wird die Schichtdicke zwischen 0,2 und 0,5 mm eingestellt. Eine dünne Schichtdicke ist günstig, weil sie an der Entnahmestelle keine Narbe oder Pigmentverschiebung hinterlässt. Außerdem wachsen dünne Transplantate schneller an. Sie haben aber den Nachteil, dass sie mechanisch weniger belastbar sind. Dicke Transplantate sind besser belastbar, können aber zu Narben oder zu einer flächigen Pigmentverschiebung an der Entnahmestelle führen.

Bevor das Dermatom angesetzt wird, muss die Haut gleitfähig gemacht werden. Dies kann mit Paraffinöl erfolgen, oder man verwendet die Vaselineschicht der Verpackung eines Salbengitters. Dann wird das Dermatom mit relativ hohem Druck auf die Haut gesetzt, während der Assistent die Fläche, von der das Transplantat gehoben werden soll, gleichmäßig vorspannt. Mit dem oszillierenden Messer wird nun unter gleichmäßigem Vorschub das Transplantat gehoben.

Die gewonnene Haut wird anschließend entweder als Vollhauttransplantat oder in Netzform verwendet. Wenn das Transplantat zum Netz geschnitten wird, kann man es mehrfach vergrößern. Man spricht dann von einem Meshgraft. Die Technik bietet sich zur Deckung großer Defekte an. Für das Einschneiden des Netzes in die Vollhaut stehen verschiedene Maschengrößen zur Verfügung. Dadurch kann man seine spätere Größe den Ausmaßen des Defekts anpassen. Es gibt Schablonen für Vergrößerungen von 1:1,5, 1:2, 1:3 bis 1:6.

Die Entnahmestelle kann mit Hydrokolloidverbänden oder anderen nicht haftenden Wundauflagen verbunden werden. Die mit dem Transplantat gedeckte Wunde wird dagegen am besten mit einem Vakuumverband abgedichtet. Dies hat sich sehr bewährt, denn der intermittierende oder kontinuierliche Sog der Vakuumversiegelung sorgt dafür, dass sich bildendes Wundsekret permanent abgesaugt wird und sich nicht zwischen Wundgrund und Transplantat verhalten kann. Ein Verhalt würde die Diffusionsstrecke verlängern und damit zur Mangelernährung des Transplantats führen. Gleichzeitig wird das Transplantat durch den Sog auf seine Unterlage gepresst. Dies sorgt für mechanische Ruhe, die eine rasche Einheilung begünstigt.

Die Vorteile der Meshgraft-Technik liegen in ihrer einfachen Anwendbarkeit und den hohen Heilungschancen. Nachteilig ist jedoch das kosmetische Ergebnis, denn die Gitterstruktur bleibt bei der späteren Narbenbildung sichtbar, weshalb sich diese Technik zur Hautdeckung im Gesicht und an den Händen nicht eignet.

Vollhaut

Das Vollhauttransplantat besteht aus der Epidermis und dem Korium. Der Einsatz von Vollhaut eignet sich insbesondere an mechanisch oder motorisch belasteten Stellen, wie Hand und Fuß bzw. Gesicht und Hals. Die Transplantate lassen sich am besten dort entnehmen, wo es einen gewissen Hautüberschuss gibt, der eine primäre Naht des Hebedefekts ermöglicht. Solche Bedingungen finden sich beispielsweise am Gesäß, an der Leiste und der Innenseite des Oberarms. Vorteil dieser Methode ist die kosmetisch sehr günstige Möglichkeit des primären Hautverschlusses und die gute Funktionalität des Transplantats.

Subkutannaht

Die Subkutannaht kann eine Schlüsselrolle bei der Wundheilung spielen, denn wenn im Subkutangewebe Hohlräume verbleiben oder entstehen, die sich mit Seromen füllen und diese Serome Kontakt mit der Hautoberfläche und den dort befindlichen Keimen bekommen, ist einer postoperativen Infektion Tür und Tor geöffnet. Deshalb ist es sehr wichtig, diese Gewebeschicht suffizient zu adaptieren.

Allerdings gibt es auch die scheinbar widersprüchliche Empfehlung, bei traumatologischen Eingriffen die Subkutis überhaupt nicht zu nähen. Durch die Naht würde man lediglich Fremdkörper in minderdurchblutetem Gewebe platzieren und sich dadurch Probleme ohne adäquaten Nutzen einhandeln. Vielmehr sei die Redon-Drainage entscheidend. Durch den Sog kollabieren etwaige Hohlräume und die angrenzenden Gewebeschichten können miteinander verkleben.

Das Problem ist, dass die Subkutis nicht sehr reißfest ist und kein gutes Nahtlager bietet. Überdies ist sie je nach Körperregion unterschiedlich dick. Um Hohlräume und damit Serome verlässlich zu vermeiden, gibt es keine Patentrezepte, dafür aber einige Möglichkeiten, die im Folgenden dargestellt werden und abhängig vom topografischen Ort, der Gewebebeschaffenheit und Schichtdicke der jeweiligen Situation angepasst, eingesetzt werden können. Mitunter werden auch Verfahren kombiniert (Tab. 22.3). Folgende Verfahren haben sich bewährt:

- Alleinige Redon-Drainage
- Koriumnähte
- Subkutisnähte

Alleinige Redon-Drainage

An allen Körperregionen mit sehr dünner Subkutis kann prinzipiell auf die Naht dieser Schicht verzichtet werden. Solche Regionen sind Kopfschwarte, Hals, distaler Unterarm mit Hand und Sprunggelenk mit Fuß. Würde man in diesen Bereichen die Subkutis nä-

Tab. 22.3 Techniken zur Adaptation der Subkutis und deren Kombination in Abhängigkeit von der jeweiligen Köperregion und der Dicke der Fettschicht

Körperregion	Redon-Drainage	Koriumnähte	Subkutisnähte
Kopfschwarte	+		
Gesicht		+	
Hals	+		
Thorax	+	+	
Rücken	+	+	
Bauch	+	+	+
Schulter, Arm	+	+	
Distaler Unterarm mit Hand	+		
Becken, Bein	+	+	+
Sprunggelenk mit Fuß	+		

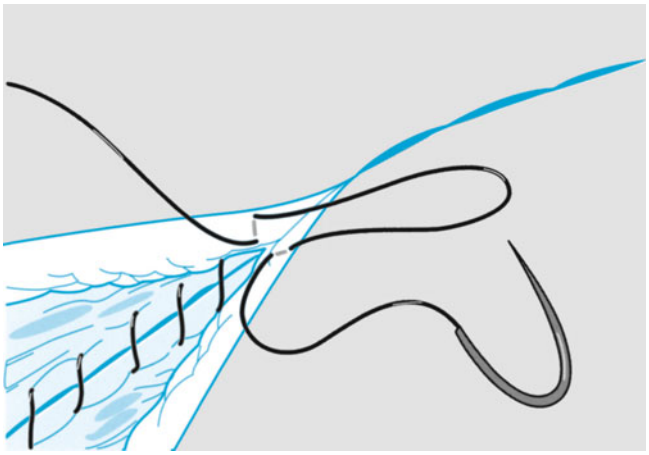


Abb. 22.15 Koriumnaht. Man sticht zunächst auf einer Seite von der Wundlichtung aus in Richtung Oberfläche und fasst dabei einen Teil der Subkutis und das Korium. Anschließend sticht man auf der Gegenseite oberflächennah Richtung Wundlichtung und fasst einen entsprechenden Gewebeteil. Dann wird der Faden geknotet. (Aus: Weigel 2002)

hen, hätte dies nur den Effekt, Fremdkörper unmittelbar unter die Haut zu platzieren, mit der potenziellen Gefahr, dass die Fadenenden das Hautniveau erreichen und eine Dochtwirkung entfalten. Dann könnten Keime in die Tiefe gesaugt werden und die Wunde infizieren. Dazu kommt, dass insbesondere in der Körperperipherie die epifaszial verlaufenden Hautnerven leicht mit der Naht gefasst und auf diese Weise Schmerzen oder bleibende sensible Ausfälle verursacht werden können.

Es empfiehlt sich deshalb, an den genannten Stellen lediglich die Haut zu nähen und eine subkutane Redon-Drainage einzulegen, damit die beiden Schichten miteinander verkleben. Nur wenn eine ausreichend dicke Fettschicht vorhanden ist, wird die Subkutis genäht.

Koriumnähte

Überall dort, wo eine nennenswerte subkutane Gewebeschicht vorhanden ist, sollte man sie adaptieren, um die Hautnaht zu entlasten. Die infrage kommenden Körperregionen sind Thorax, Rücken, Bauch, Schulter, Arm, Becken und Bein. Dünne Schichten subkutanen Fetts werden am besten durch eine Naht gefasst, die im Korium verankert wird, weil diese Schicht als Nahtlager ausreichende Festigkeit bietet. Da man diese Nähte ganz nahe an der Hautoberfläche platzieren muss, empfiehlt es sich, die Knoten zu versenken und auf der der Oberfläche abgewandten Seite zu platzieren, sonst besteht die Gefahr, dass die Fadenenden die Hautoberfläche erreichen. Die Stichrichtung wird daher von innen nach außen und auf der Gegenseite von außen nach innen geführt.

Für die Naht verwendet man resorbierbare Fäden in der Regel der Stärke 3/0. Die Knoten dürfen nicht zu voluminös werden, deshalb beschränkt man sich auf 3 Knoten, die gegenläufig geknüpft werden müssen. Da die Fäden, die zum Einsatz kommen, geflochten sind, stabilisiert ihre Oberflächenstruktur den Knotensitz besser, als dies bei monophilen Fäden der Fall ist. Dadurch reichen weniger Knoten aus.

Es empfiehlt sich, die Nähte mit einer dünnen runden Nadel zu stechen, weil das Korium sehr derb ist und bei Verwendung einer relativ dicken runden Nadel erheblicher Druck und Gegendruck aufgewendet werden müsste.

Die Koriumnaht wird in der Regel durch eine Redon-Drainage unterstützt. Abhängig von der Schichtdicke kann es auch notwendig werden, zusätzlich Subkutisnähte zu legen (Abb. 22.15).

Subkutisnähte

Diese Naht wird an Stellen mit besonders dicker Subkutis eingesetzt, also im Bereich der Bauchdecken, am Oberarm, Gesäß oder Oberschenkel. Bei ausgeprägter Adipositas reichen die alleinige Koriumnaht und Redon-Drainage nicht aus, um die zentimeterdicke Subkutis zusammenzuhalten. Abhängig von der jeweiligen Körperposition oder bei bloßem Lagewechsel kann allein die Schwerkraft die verklebten Gewebeschichten wieder auseinanderreißen. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Subkutis zusätzlich mit durchgreifenden Nähten zu adaptieren. Wenn die Fettschicht sehr dick ist, kann es sogar notwendig werden, sie zweischichtig zu nähen, um nicht zu große Gewebeanteile mit einer Naht fassen zu müssen. Dann werden die beiden Nahtreihen versetzt zueinander auf Lücke angeordnet.

Da die Knoten nicht so hautnah liegen wie bei der Koriumnaht, brauchen sie nicht versenkt angebracht zu werden. Man sticht von außen nach innen und von innen nach außen. Das oberflächennahe Legen des Knotens erleichtert das Knüpfen im tiefen Fettgewebe. Das Fett macht die Fäden oft besonders glitschig, sodass es schwierig sein kann, die richtige Zugspannung zu erreichen. Man verwendet für die Naht eine besonders große runde Nadel und wiederum resorbierbare, geflochtene Fäden. Die Fadenstärke jedoch muss wesentlich kräftiger sein als für die Koriumnaht, damit der Faden die zu erwartenden Zuglasten halten kann und nicht so leicht das Gewebe durchschneidet. Fäden der Stärke 0 oder bei besonders großer Schichtdicke der Stärke 1 haben sich bewährt (Abb. 22.16).

Fasziennaht

Die Faszie stabil zu adaptieren, ist für den Wundverschluss von größter Bedeutung. Wenn Lücken bleiben, können schmerzhafte Muskelhernien, Narbenbrüche oder eine Beeinträchtigung der muskulären Silhouette der Extremitäten entstehen. Ausgenommen hiervon ist eine Dermatofaszitomiewunde. Diese wird bei der Sekundärnaht nur kutan verschlossen.

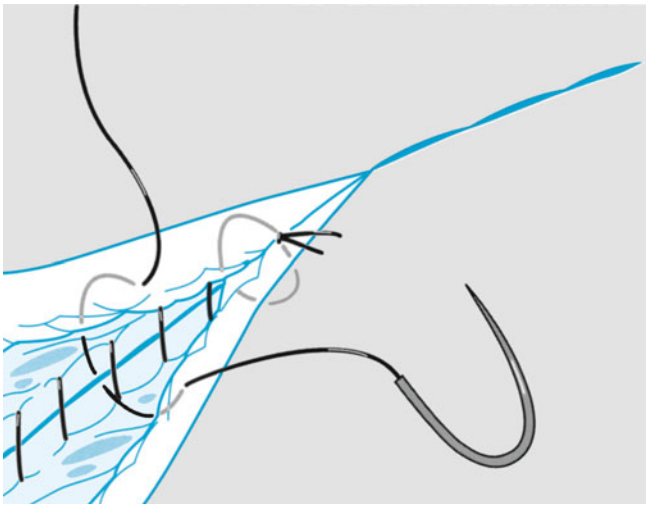


Abb. 22.16 Subkutisnaht: Man sticht von der oberflächlichen Gewebeschicht in Richtung Faszie und fasst einen Teil oder die gesamte Schichtdicke der Subkutis. Anschließend sticht man auf der anderen Seite in Gegenrichtung aus. (Aus: Weigel 2002)

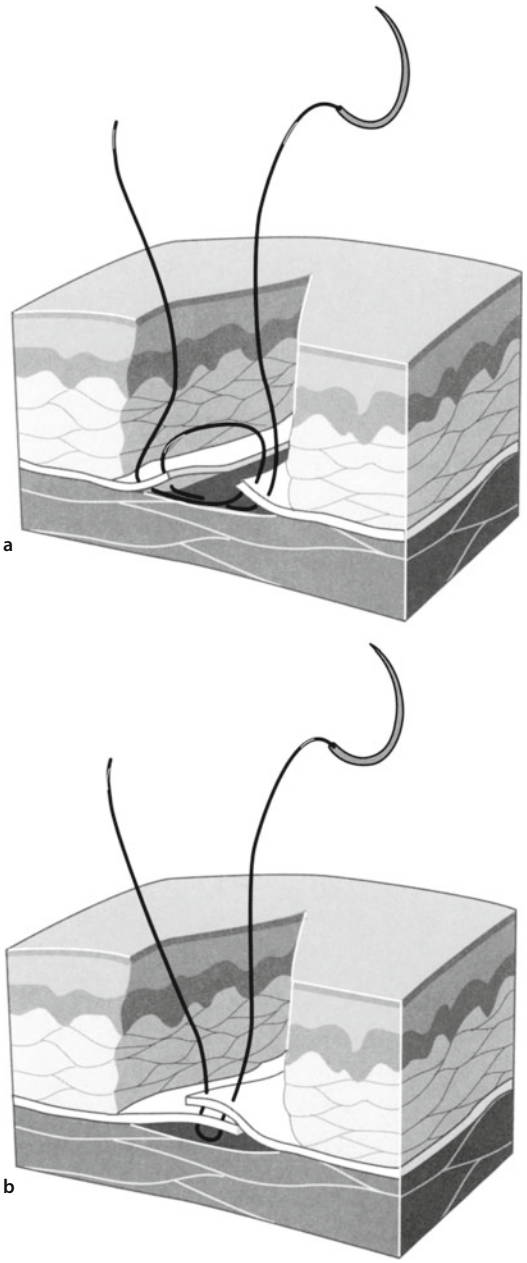


Abb. 22.17a,b Neben anderen Techniken kann die Faszie mit einer Flaschenzugnaht (**a**) oder Doppelung durch vertikale U-Naht (**b**) adaptiert werden. (Aus: Weigel 2002)

Für den Verschluss der Faszie gibt es mehrere Möglichkeiten, die wiederum abhängig von der topografischen Lage, der Länge der Naht und der gegebenen Belastung sind.

Kurze Faszienschnitte werden mit einfachen überwendlichen Einzelnähten adaptiert. Man verwendet resorbierbares, geflochtenes Nahtmaterial der Stärke 0 oder 1, je nach Zugspannung und zu erwartender Belastung. Grob eingeteilt, wird an der oberen Extremität sowie ab Unterschenkel und distal davon in der Regel ein 0er Faden ausreichen, während man an Rumpf und Oberschenkel 1er Fäden braucht, um die zu erwartende Nahtspannung auffangen zu können.

Lange Faszienschnitte können ebenfalls mit Einzelnähten versorgt werden. Günstiger ist es jedoch, eine einfache überwendliche oder durchschlungene fortlaufende Naht einzusetzen, weil dadurch nicht nur erheblich Zeit und Nahtmaterial eingespart werden kann, sondern sich überdies die Nahtspannung gleichmäßiger verteilt. Man verwendet atraumatisches Nahtmaterial identischer Fadenstärken. Wenn beim Wundverschluss große Zuglasten überwunden werden müssen, ist es für den fadenführenden Assistenten leichter, die Fadenspannung bei Anwendung der durchschlungenen Nahttechnik zu halten. Nachteil der Methode ist jedoch, dass der Faden an den Stellen, wo er den Hinstich unterkreuzt, jeweils abgeknickt und damit auch geschwächt wird. Auch deshalb ist es bei der durchschlungenen fortlaufenden Naht besonders wichtig, einen ausreichend dicken Faden zu wählen.

Es gibt Situationen, in denen die Faszie unter besonders hoher Zugspannung steht, z.B. beim Verschluss der Bauchdecken oder am lateralen Oberschenkel. In diesen Fällen kann die Technik der Flaschenzugnaht die Adaptation sehr erleichtern, weil man durch Anwendung des Flaschenzugprinzips die einwirkenden Zuglasten leichter überwinden und die Faszienränder besser adaptieren kann.

Soll die Faszie verkürzt oder verstärkt werden, kann man dies durch Doppelung erreichen. Dazu müssen U-Nähte vorgelegt werden. Erst wenn alle Nähte vorgelegt sind, werden sie geknüpft. Anderenfalls würde sich die Sicht beim Stechen der Nähte zusehends versperren. Zunächst werden beide Schichten immer in gleicher Reihenfolge von außen nach innen durchstochen und beim anschließenden Zurückstechen jeweils von innen nach außen (Abb. 22.17).

Sehnennaht

Drehrunde Sehnen, z.B. die **Beugesehnen** der Hand oder des Fußes, werden mit Durchflechtungsnähten adaptiert. Die einfache Durchflechtung nach Kleinert oder Kessler hat den Vorteil, dass sie die ohnehin grenzwertige Durchblutung des Gewebes nicht so sehr stranguliert wie die mehrfache Durchflechtungsnaht nach Bunnell; letztere ist dafür stabiler. Man wird es im Einzelfall von der Zugbelastung und der Qualität des Nahtlagers abhängig machen müssen, wann welche Technik eingesetzt wird. Wenn die Naht von der Rupturstelle aus zu stechen begonnen wird, wird der Knoten hier zu liegen kommen. Man kann aber auch von einem

der beiden Stümpfe aus beginnen und den Knoten zuletzt im Sehnenquerschnitt in einem kurzen Längsschlitz versenken. Das gleiche Prinzip gilt bei der mehrfachen Durchflechtung. Wird der Knoten in der Nahtstelle versenkt, können nach dem Knüpfen die beiden Fadenschenkel, die zunächst noch lang belassen werden, ins Stumpfende eingezogen werden und fern ab der Nahtstelle ausgeleitet und bündig mit dem Sehnengewebe abgeschnitten werden. Dadurch wird einerseits der Knoten zusätzlich gesichert, andererseits verhindert, dass die Fadenenden das Gleitlager der Sehne irritieren.

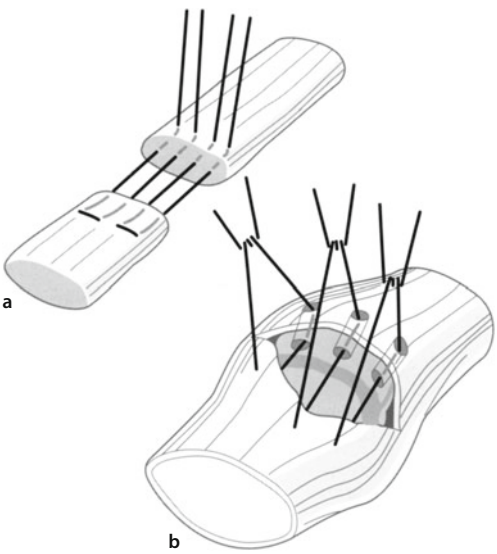
Für die Kernnaht verwendet man an Unterarm, Hand, Unterschenkel und Fuß nicht oder langsam resorbierbare, monophile Fäden der Stärke 3/0. Nach Annäherung der Stümpfe erfolgt die Feinadaptation. Sie wird durch eine zirkuläre überwendliche fortlaufende Naht dünnerer Stärke (5/0) erreicht. Die ungleich dickere Achillessehne bedarf natürlich eines wesentlich kräftigeren Nahtmaterials der Stärke 1 als Kernnaht und 3/0 zur Feinadaptation.

Die **Strecksehnen** sind bedeutend dünner als die Beugesehnen und während der Heilung einer permanenten und überdies erheblichen Zugbelastung ausgesetzt. Die Naht hält nur Stand, wenn sie während der Ausheilungsphase augmentiert wird. Dafür kam früher die Lengemann-Ausziehnaht zum Einsatz. In letzter Zeit kommt man mehr und mehr von dieser Technik ab, weil sie zu Weichteilinfektionen und -irritationen führen kann. Zur Augmentation von Strecksehnennähten im Bereich der Hand werden deshalb Schienen in Streckstellung und an den Fingern temporäre Kirschner-Draht-Arthrodesen verwendet (▶ Kap. 6, Hand).

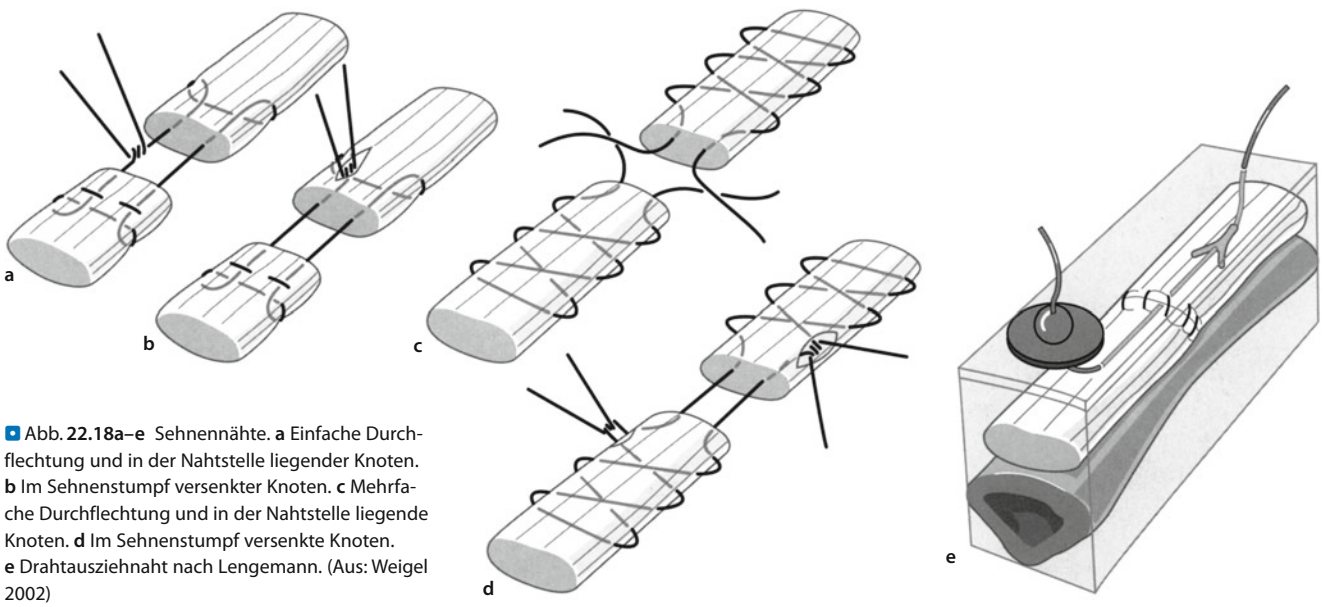
Flächige Sehnenquerschnitte, wie sie im Bereich der Rotatorenmanschette, der Quadrizeps- und Patellarsehne zu finden sind, werden je nach Situation mit einfachen überwendlichen Einzelnähten, U-Nähten oder bei knochennahen Ausrissen mit transossären Nähten refixiert (s. unten). An der Rotatorenmanschette reicht ein 0er Faden aus. Am Kniestreckapparat, wo noch größere Kräfte wirken, benötigt man dagegen 1er Fäden und meist auch eine zusätzliche Augmentation durch eine Rahmennaht (▶ Kap. 10, Knie und Unterschenkel). Auch die Kontaktstellen dieser Nähte müssen mit dünnerem Nahtmaterial z.B. der Stärke 3/0 feinadaptiert werden (◘ Abb. 22.18).

Band- und Kapselnaht

Bei der operativen Versorgung von Kapsel-Band-Rupturen kommen je nach Art des Risses z.T. die bereits oben beschriebenen Nahttechniken zum Einsatz. Meist handelt es sich um Verletzungen im Bereich des Knie- und Sprunggelenks. Generell lassen sich Risse in flächigen Bändern und der angrenzenden Kapsel mit U-Nähten, überwendlichen Einzelnähten oder fortlaufenden Nähten versorgen. Je nach Zugbelastung und Dicke des Bandes werden Fadenstärken zwischen 0 und 3/0 verwendet. Knochennahe Ausrisse können nach mehrfacher Durchflechtung transossär reinseriert werden. Das vordere Kreuzband, das nicht im Gewebe geschient, sondern durch die freie Gelenklichtung verläuft, ist einer so großen Belastung ausgesetzt, dass es nicht intraligamentär genäht werden kann, sondern durch ein Transplantat ersetzt werden muss (◘ Abb. 22.19).



◘ **Abb. 22.19a,b** Neben anderen Techniken können Band- und Kapselgewebe mit U-förmigen (**a**) und transossären Nähten (**b**) adaptiert werden. (Aus Weigel 2002)



◘ Abb. **22.18a–e** Sehnennähte. **a** Einfache Durchflechtung und in der Nahtstelle liegender Knoten. **b** Im Sehnenstumpf versenkter Knoten. **c** Mehrfache Durchflechtung und in der Nahtstelle liegende Knoten. **d** Im Sehnenstumpf versenkte Knoten. **e** Drahtausziehnaht nach Lengemann. (Aus: Weigel 2002)

22.1.3 Knüpftechniken

Beidhändige Knüpftechnik

Die beidhändige Knüpftechnik ist in den Abb. 22.20 bis Abb. 22.36 dargestellt.

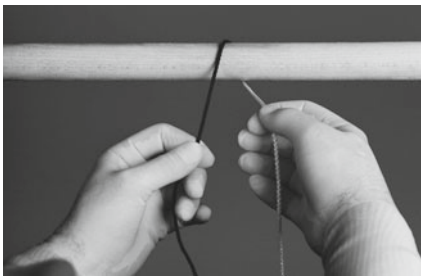


Abb. 22.20 Die Hände befinden sich in der Grundstellung. Die Fäden werden zwischen Zeigefinger und Daumen gehalten

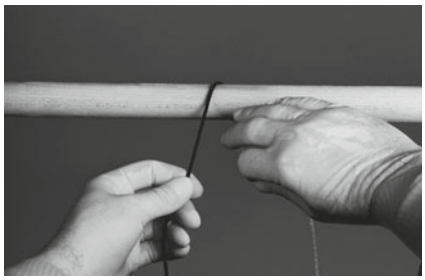


Abb. 22.21 Die rechte Hand umgreift den weißen Faden durch Pronation

Abb. 22.22 Der weiße Faden wird um den kleinen Finger gelegt, indem die rechte Hand supiniert wird

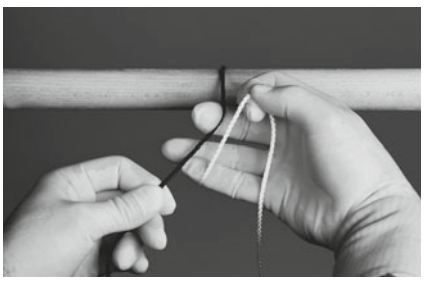


Abb. 22.23 Der schwarze Faden wird auf den Mittelfinger der rechten Hand gelegt

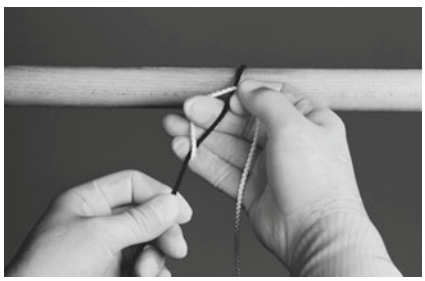


Abb. 22.24 Der rechte Mittelfinger zieht den schwarzen Faden unter den weißen Faden

Abb. 22.25 Anschließend fassen rechter Mittel- und Ringfinger den weißen Faden und ziehen ihn durch die entstandene Schlaufe, indem die rechte Hand vom Faden weg bewegt wird

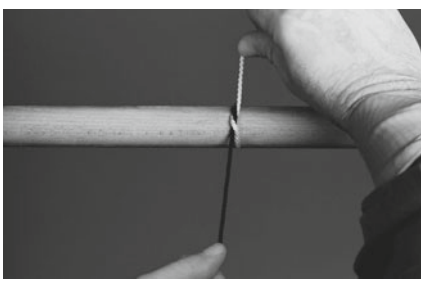


Abb. 22.26 Der erste Knoten wird zugezogen, indem sich die rechte Hand vom Operateur weg und die linke Hand zum Operateur hin bewegt. Damit ist der erste Teil des Knotens fertig

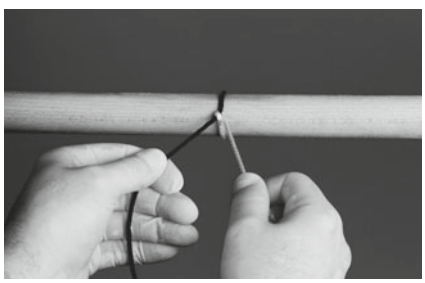


Abb. 22.27 Die Hände befinden sich wieder in Grundstellung. Die rechte Hand hält den weißen Faden, die linke Hand führt den schwarzen Faden

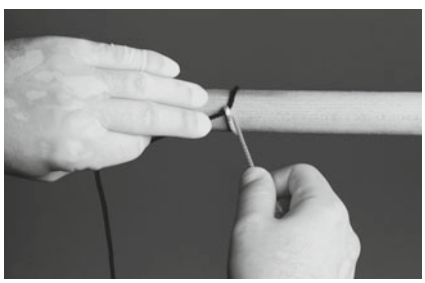


Abb. 22.28 Der zweite Teil des Knotens erfolgt in gleicher Weise, er wird jedoch mit der linken Hand geknotet. Die linke Hand umgreift den schwarzen Faden durch Pronation

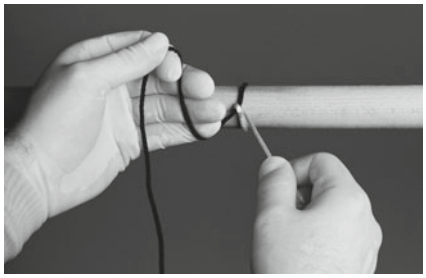


Abb. 22.29 Der schwarze Faden wird um den kleinen Finger gelegt, indem die linke Hand supiniert wird

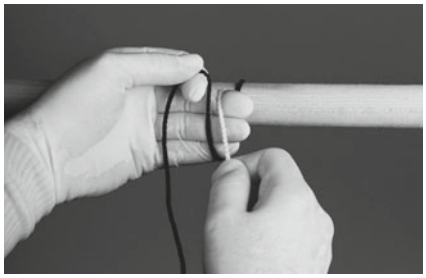


Abb. 22.30 Der weiße Faden wird auf den Mittelfinger der linken Hand gelegt

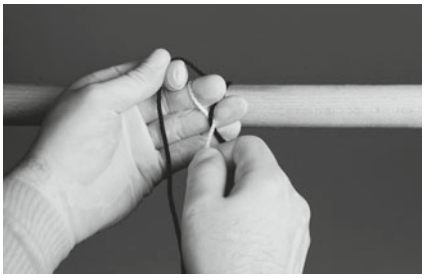


Abb. 22.31 Anschließend fassen rechter Mittel- und Ringfinger den schwarzen Faden

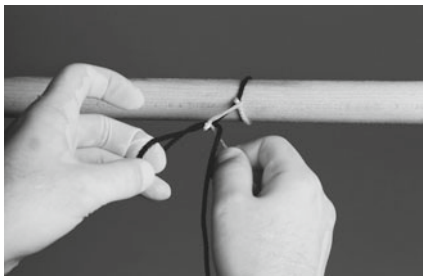


Abb. 22.32 Der schwarze Faden wird durch die entstandene Schlaufe gezogen, indem die linke Hand vom Faden weg bewegt wird

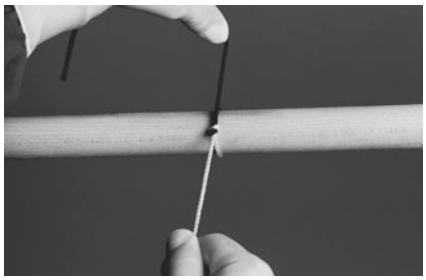


Abb. 22.33 Der zweite Knoten wird zugezogen, in dem sich die linke Hand vom Operateur weg und die rechte Hand zum Operateur hin bewegt. Damit ist der zweite Teil des Knotens fertig

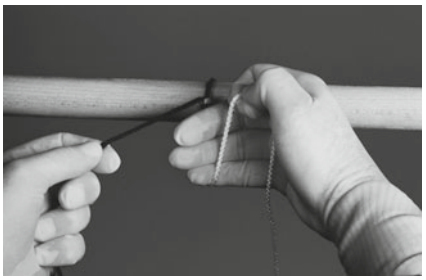


Abb. 22.34 Der dritte Teil des Knotens erfolgt in identischer Weise wie der erste Teil (Abb. 22.20 bis Abb. 22.26). Der weiße Faden wird von der rechten Hand gefasst und um den kleinen Finger gelegt

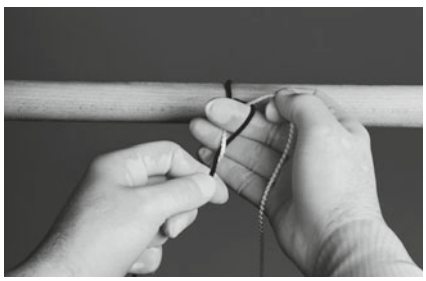


Abb. 22.35 Der rechte Mittel- und Ringfinger fassen den weißen Faden und ziehen diesen durch die entstandene Schlaufe

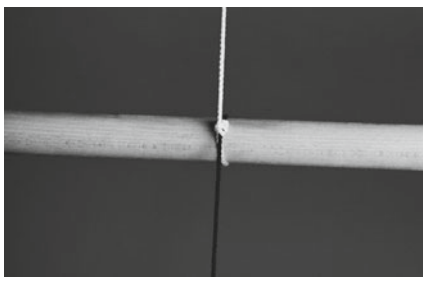


Abb. 22.36 Der dritte Knoten wird zugezogen, indem sich die rechte Hand vom Operateur weg und die linke Hand zum Operateur hin bewegt. Damit ist der beidhändige Knoten fertig

Einhändige Knüpftechnik

Die einhändige Knüpftechnik ist in den Abb. 22.37 bis Abb. 22.55 dargestellt.

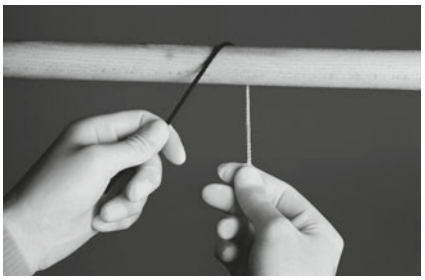


Abb. 22.37 Die Hände befinden sich in der Grundstellung. Die Fäden werden zwischen Zeigefinger und Daumen gehalten

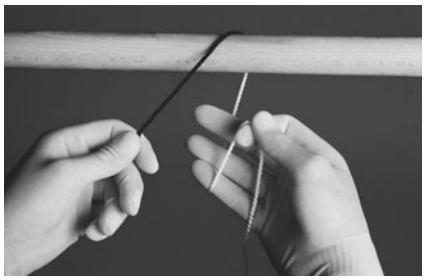


Abb. 22.38 Nach Umfassen des weißen Fadens wird dieser um den kleinen Finger gelegt, indem die rechte Hand supiniert wird

Abb. 22.39 Der schwarze Faden wird auf den Mittelfinger der rechten Hand gelegt

Abb. 22.40 Der rechte Mittelfinger zieht den schwarzen Faden unter den weißen Faden

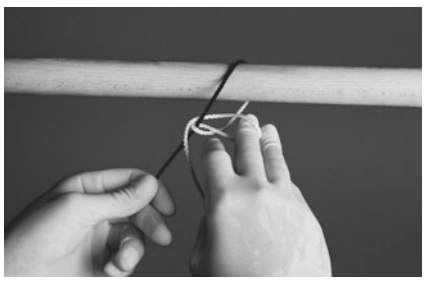


Abb. 22.41 Anschließend fassen rechter Mittel- und Ringfinger den weißen Faden

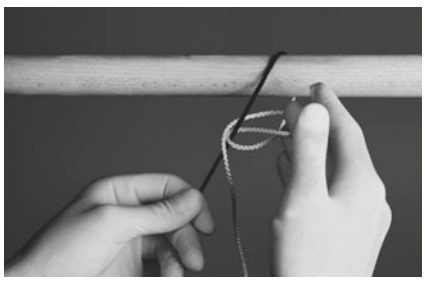


Abb. 22.42 Der weiße Faden wird durch die entstandene Schlaufe gezogen, indem die rechte Hand vom Faden weg bewegt wird

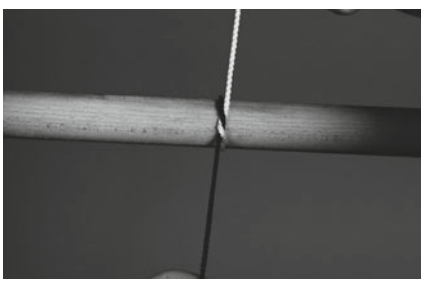


Abb. 22.43 Der erste Knoten wird zugezogen, indem sich die rechte Hand vom Operateur weg und die linke Hand zum Operateur hin bewegt

Abb. 22.44 Der weiße Faden wird auf den Zeigefinger aufgeladen

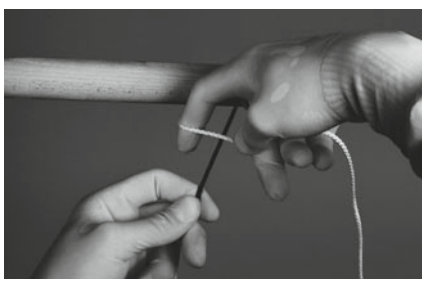


Abb. 22.45 Der weiße Faden, welcher zwischen Zeigefinger und Daumen gespannt ist, wird auf den schwarzen Faden gelegt

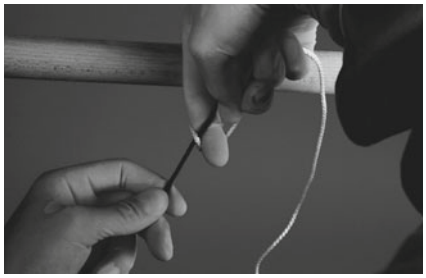


Abb. 22.46 Der rechte Zeigefinger umfasst den schwarzen Faden, um den weißen Faden aufzuladen

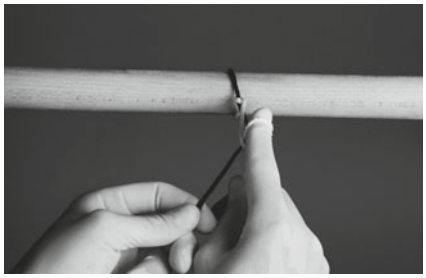


Abb. 22.47 Durch Strecken des Zeigefingers wird der weiße Faden mit dem rechten Zeigefinger durch die entstandene Schlaufe geführt

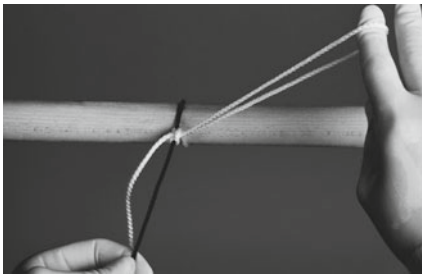


Abb. 22.48 Der Knoten wird zugezogen

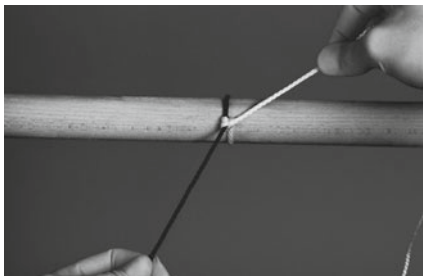


Abb. 22.49 Damit ist der zweite Teil des einhändigen Knotens fertig

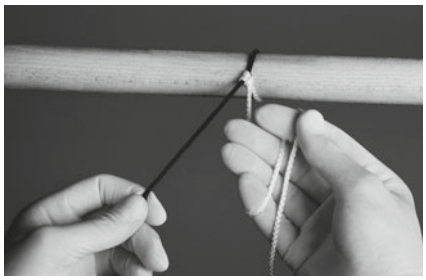


Abb. 22.50 Für den dritten Teil des Knotens wird der weiße Faden erneut um den kleinen Finger gelegt

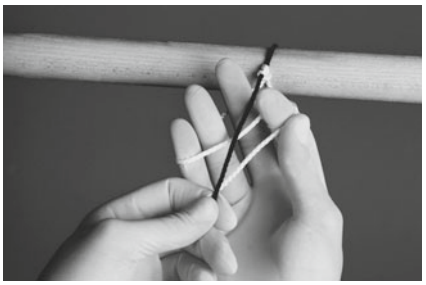


Abb. 22.51 Der schwarze Faden wird über den Mittelfinger der rechten Hand geführt

Abb. 22.52 Der rechte Mittelfinger zieht den schwarzen Faden unten den weißen Faden

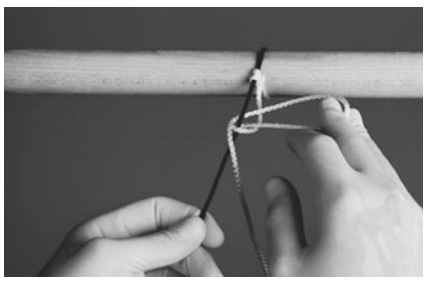


Abb. 22.53 Anschließend fassen rechter Mittel- und Ringfinger den weißen Faden

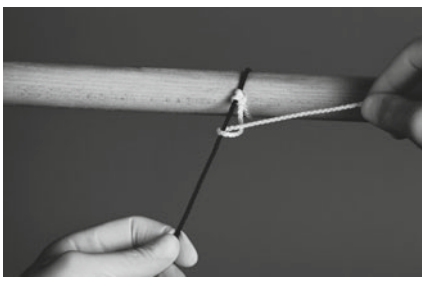


Abb. 22.54 Der weiße Faden wird durch die entstandene Schlaufe gezogen

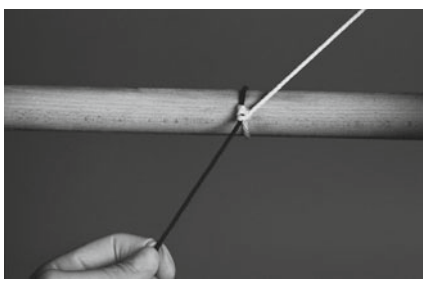


Abb. 22.55 Der Knoten wird zugezogen, indem sich die rechte Hand vom Operateur weg und die linke Hand zum Operateur hin bewegt. Damit ist der einhändige Knoten fertig

Instrumentenknoten

Der Instrumentenknoten ist in den Abb. 22.56 bis Abb. 22.67 dargestellt.

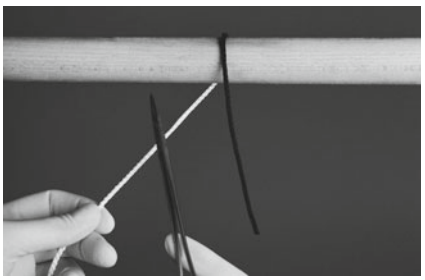


Abb. 22.56 Ausgangsstellung. Die rechte Hand führt den Nadelhalter, die linke Hand hält den Faden

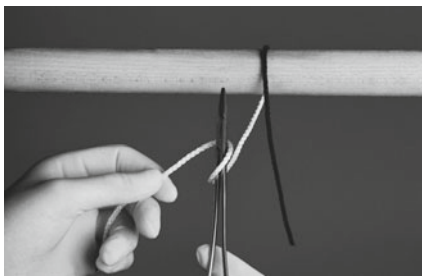


Abb. 22.57 Mit der linken Hand wird eine Schlaufe um den Nadelhalter gegen den Uhrzeigersinn vorgelegt

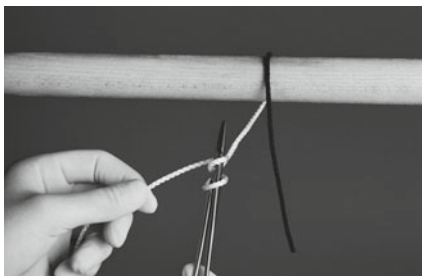


Abb. 22.58 Eine zweite Schlaufe wird in gleicher Weise um den Nadelhalter gelegt

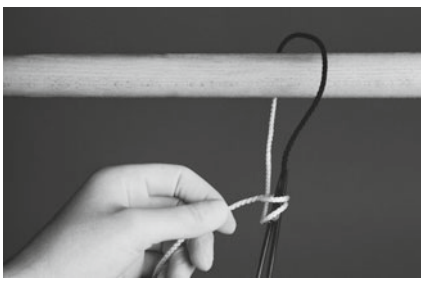


Abb. 22.59 Mit dem Nadelhalter wird das Ende des schwarzen Fadens gefasst

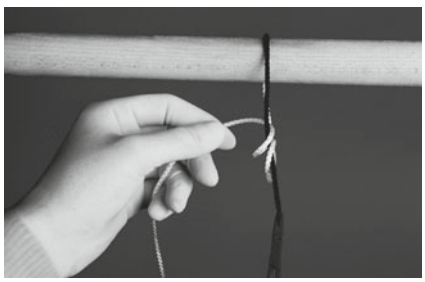


Abb. 22.60 Das Fadenende wird durch die vorgelegte Doppelschlaufe des weißen Fadens gezogen

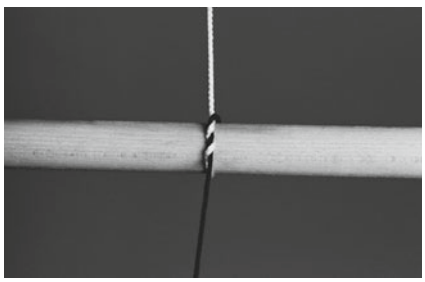


Abb. 22.61 Der erste Knoten wird zugezogen

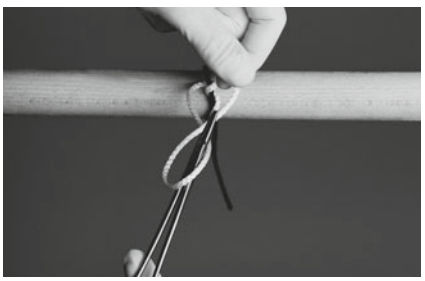


Abb. 22.62 Mit der linken Hand wird eine Schlinge im Uhrzeigersinn um den Nadelhalter gelegt

Abb. 22.63 Der Nadelhalter fasst das Ende des schwarzen Fadens und zieht es durch die vorgelegte Schlaufe

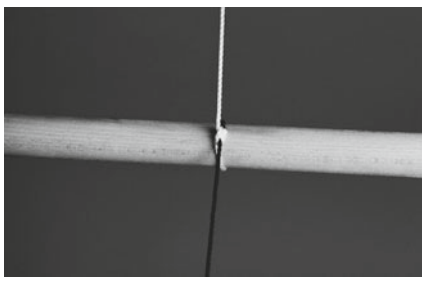


Abb. 22.64 Der zweite Teil des Knotens wird festgezogen

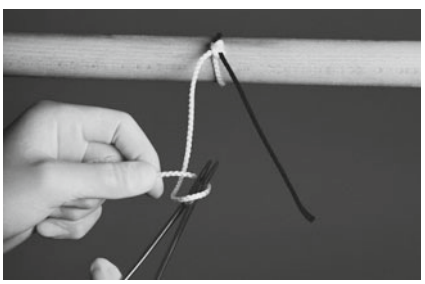


Abb. 22.65 Zuletzt wird eine dritte Schlinge gegen den Uhrzeigersinn um den Nadelhalter gelegt

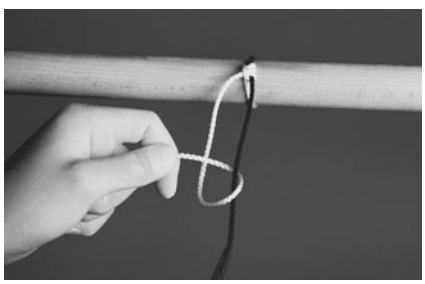


Abb. 22.66 Erneut wird das Ende des schwarzen Fadens mit dem Instrument gefasst und durch die Schlaufe gezogen

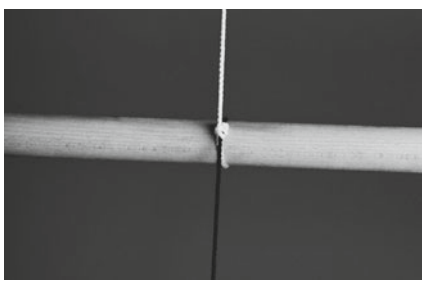
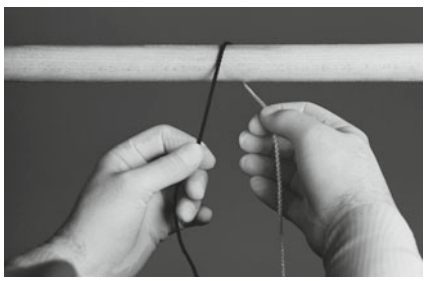


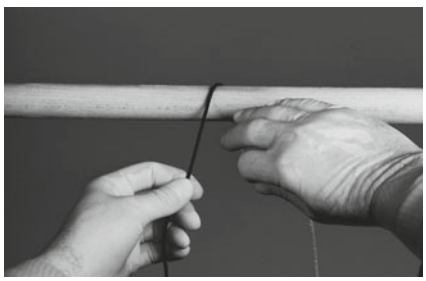
Abb. 22.67 Durch Zuziehen der beiden Enden wird der Instrumentenknoten fertig gestellt

Schiebeknoten

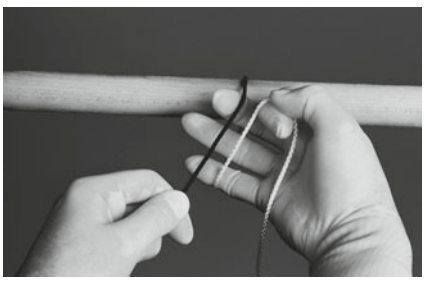
Der Schiebeknoten ist geeignet für derbe Faszien an Oberschenkel, Bauch oder Rücken, die unter starker Zugspannung stehen und deren Gewebe deshalb ausreichend stabil ist, gegen den Widerstand dieser Spannung durch Fadenzug adaptiert zu werden. Die Technik ist in den ◘ Abb. 22.68 bis ◘ Abb. 22.83 dargestellt.



◘ **Abb. 22.68** Die Hände befinden sich in Ausgangsstellung. Es erfolgen zunächst 2 Schlingen in gleicher Richtung. Die Technik für eine Schlinge entspricht dem ersten Teil des beidhändigen Knotens



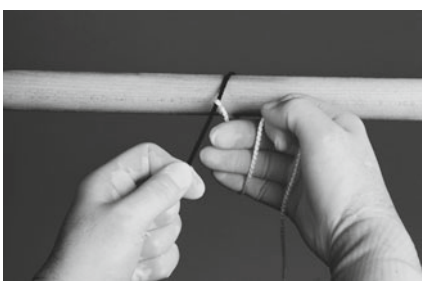
◘ **Abb. 22.69** Die rechte Hand umgreift den weißen Faden durch Pronation



◘ **Abb. 22.70** Der weiße Faden wird um den kleinen Finger gelegt, indem die rechte Hand supiniert wird

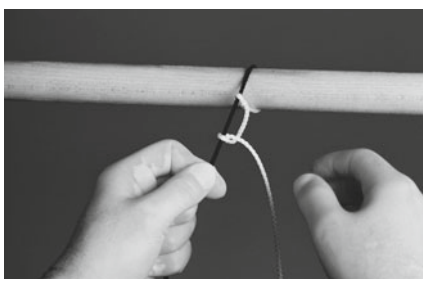
◘ **Abb. 22.71** Der schwarze Faden wird auf den Mittelfinger der rechten Hand gelegt. Anschließend fassen rechter Mittel- und Ringfinger den weißen Faden

◘ **Abb. 22.72** Rechter Mittel- und Ringfinger ziehen den weißen Faden durch die entstandene Schlaufe, indem die rechte Hand vom Faden weg bewegt wird

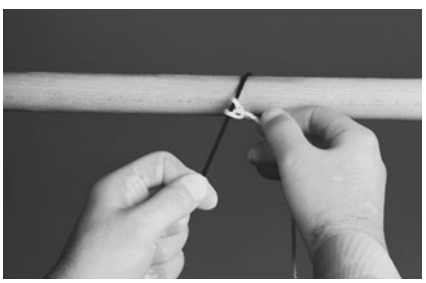


◘ **Abb. 22.73** Es wird eine 2. Schlinge in gleicher Richtung vorgelegt analog der in ◘ Abb. 22.68 bis ◘ Abb. 22.72 beschriebenen Weise. Die rechte Hand umgreift den weißen Faden durch Pronation

◘ **Abb. 22.74** Legen des weißen Fadens um den kleinen Finger und des schwarzen Fadens auf den Mittelfinger



◘ **Abb. 22.75** Nun wird der schwarze Faden durch die beiden weißen Schlaufen gezogen



◘ **Abb. 22.76** Beim Zuziehen des Knotens ist es wichtig, zunächst ausschließlich am schwarzen Faden zu ziehen, damit sich die Doppelschlinge nicht vorzeitig schließt und damit ein Verschieben des Knotens unmöglich machen würde

Abb. 22.77 Erst wenn der Knoten festsitzt, wird am weißen Faden gezogen und damit der endgültige Fadensitz arretiert

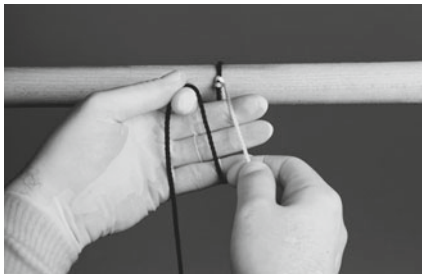


Abb. 22.78 Mit dem schwarzen Faden und der linken Hand wird ein gegenläufiger Knoten hinzugefügt (Abb. 22.28 bis Abb. 22.33 des beidhändigen Knotens)

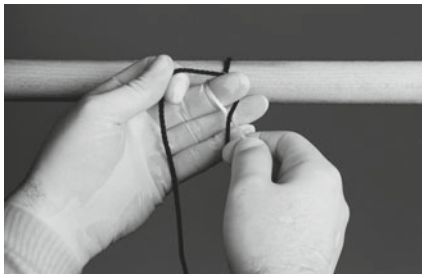


Abb. 22.79 Der schwarze Faden wird um den kleinen Finger, der weiße Faden auf den Mittelfinger gelegt

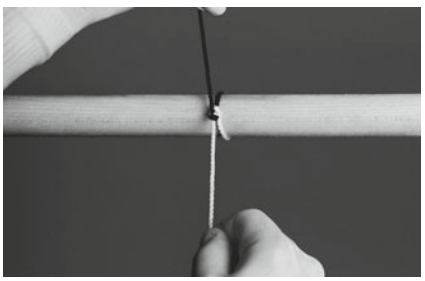


Abb. 22.80 Zuziehen des Knotens

Abb. 22.81 Zum Schluss wird mit der rechten Hand und dem weißen Faden erneut ein gegenläufiger Knoten nachgelegt und der Schiebeknoten komplettiert (Abb. 22.20 bis Abb. 22.26 des beidhändigen Knotens)

Abb. 22.82 Durchziehen des schwarzen Fadens unter dem weißen Faden

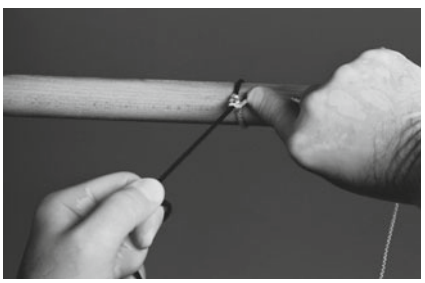


Abb. 22.83 Zuziehen des Knotens

22.1.4 Wundversorgung

Haut

Schürfwunde

Schürfwunden sind oberflächliche Wunden, die durch ein mechanisches Trauma entstehen. Nur die Epidermis wird verletzt, während die dermalen Strukturen unversehrt bleiben. Wichtig sind eine ggf. mechanische Wundreinigung und die Desinfektion mit geeigneten Lösungen. Zur Wundabdeckung empfiehlt sich ein nicht haftender Kolloid- oder Salbengitterverband. An unbekleideten Körperarealen kann die Schürfwunde auch primär unbedeckt bleiben. Dadurch entsteht schneller ein Wundschorf, und man erspart dem Patienten die Problematik haftender Verbände.

Schnittwunde

Schnitt- und Stichwunden entstehen beim Eindringen von scharfen oder spitzen Gegenständen in die Haut. Um das Ausmaß der eingetretenen Verletzung abschätzen zu können, wird der betroffene Gliedmaßenabschnitt hinsichtlich Durchblutung, Motorik und Sensibilität untersucht und das Ergebnis schriftlich dokumentiert.

Schnittwunden werden gespült und, wenn die Wundränder verunreinigt sind, im Bereich der Kutis und Subkutis exzidiert. Ist die Muskulatur mit verletzt, wird diese ebenfalls durch Spülung gereinigt und bei Bedarf mit einigen Nähten locker adaptiert. Verletzte Sehnen, Gefäße oder Nerven werden mit versorgt. Dann kann die Wunde in aller Regel primär verschlossen werden.

Platzwunde, Quetschwunde, Risswunde

Bei stumpfer Gewalteinwirkung entstehen **Platz- oder Quetschwunden**. Sie haben minderdurchblutete Wundränder, die man nach Möglichkeit exzidieren sollte. Die häufigste Lokalisation solcher Wunden ist der Schädel. Im Bereich des behaarten Kopfs ist die Exzision der Wundränder unproblematisch, weil keine kosmetische Beeinträchtigung droht. Im Gesicht muss man dagegen sehr viel sparsamer vorgehen. Hier ist aber auch die Durchblutung besonders gut, weshalb selbst gequetschte Ränder gute Heilungschancen haben. An allen anderen Körperstellen schafft man durch eine Exzision des geschädigten Gewebes samt eingesprengter Schmutzpartikel glatte, saubere Wundflächen.

Da es aus **Kopfplatzwunden** hämodynamisch wirksam bluten kann, empfiehlt es sich, größere Wunden mit einem Redon zu drainieren und die Versorgung möglichst zeitnah vorzunehmen, denn die Menge des bereits verlorenen Bluts ist oft schwer einzuschätzen. War man nicht selbst am Unfallort, weiß man nicht, wie viel Blut der Patient bereits dort verloren hat. Außerdem werden durchgeblutete Tücher, auf denen der Patient liegt, unter Umständen mehrfach durch frische ersetzt, was ebenfalls über die wahre Situation hinwegtäuschen kann. Deshalb sollte, wenn eine sofortige Versorgung nicht möglich ist, auf jeden Fall ein Druckverband angelegt werden. Falls der Patient polytraumatisiert ist und eine längere Diagnostik- oder Therapiephase vor sich hat, empfiehlt es sich, die Kopfplatzwunde ohne viel zeitlichen Aufwand kurz zu spülen und anschließend mit einem Klammerapparat zu verschließen.

Risswunden können bizarr geformt sein und ebenfalls gequetschte Wundränder aufweisen. Die Grundsätze der Therapie folgen den oben beschriebenen. Die Wundränder werden exzidiert und begradigt, große Wunden drainiert und anschließend primär verschlossen.

Stichwunde, Bisswunde, Schusswunde

Bei **Stichwunden** wird das Ausmaß der Verletzung leicht unterschätzt, weil die Eindringtiefe bei der bloßen Inspektion der Wunde nicht beurteilt werden kann. Stichwunden werden deshalb sorgfältig sondiert und ggf. chirurgisch exploriert, intensiv gespült, im Bereich der Kutis und Subkutis exzidiert und in ganzer Tiefe drainiert. Tiefe Stichwunden, die sich nicht komplett exzidieren lassen, werden nicht primär verschlossen, sondern der Sekundärheilung überlassen. Falls die Wunde stark klaffen sollte, kann sie mit einigen Situationsnähten adaptiert werden. Man sollte sie aber nur so weit verkleinern, dass das Wundsekret noch ausreichenden Abfluss findet.

Kontaminierte Stichwunden mit sehr kleinen Hautöffnungen, z.B. Nageltrittverletzungen, sind besonders problematisch. Bei inadäquater Versorgung entwickeln sich häufig Infektionen. Nageltrittverletzungen sollten grundsätzlich im Bereich der Kutis und Subkutis großzügig, spindelförmig exzidiert werden. Anschließend wird der verbleibende Stichkanal sondiert und, falls er sich in den subfaszialen Raum erstreckt, durch Spreizen mit einer Klemme oder Präparierschere merklich erweitert. Dabei muss darauf geachtet werden, dass ein ausreichend breiter Abflusskanal entsteht, damit sich unter der Faszie kein Verhalt bilden kann. Dadurch wird der gesamte Stichkanal gut zugänglich für eine intensive Spülung mit einer desinfizierenden Lösung. Zum Schluss wird eine Gummilasche bis in den subfaszialen Raum eingelegt. Die Lasche kann aus einem sterilen Handschuh geschnitten werden. Nach 1 oder 2 Tagen wird sie gezogen. Die sekundär heilende Wunde wird mit jodhaltiger Salbe bedeckt und verbunden.

Auch **Bisswunden** werden exzidiert, erweitert, gespült, drainiert und der Sekundärheilung überlassen, denn die Infektionsgefahr ist groß wegen der hohen Virulenz der Keime, die im Speichel enthalten sind.

Schusswunden sind besonders komplex und schwerwiegend. Sie führen zu einer ausgeprägten Zerstörung des Gewebes. Die Eintrittsöffnung des Projektils ist meist klein und nur schwach blutend. Falls das Geschoss aus dem Körper austritt, kann es dort zu tiefen Wundkratern führen. Wenn das Geschoss im Körper verbleibt, ist das Verletzungsausmaß von außen überhaupt nicht einschätzbar. Die Energie des Projektils wird dann zur Gänze im Körperinneren verzehrt. Dabei entstehen rund um den Schusskanal ausgeprägte Druckschädigungen.

Bei der klinischen Untersuchung versucht man, die Schussrichtung sowie Durchblutung, Motorik und Sensibilität der angrenzenden oder betroffenen Extremität zu beurteilen. Röntgenübersichtsaufnahmen zeigen die Lage des Projektils und knöcherne Begleitverletzungen. Die Verletzung wird unter antibiotischer Abschirmung chirurgisch exploriert, soweit möglich débridiert und begleitende Schäden an Organen und Leitungsbahnen mitversorgt.

Chemische Wunden

Laugen und Säuren denaturieren Eiweiße. Säuren verursachen durch Hitzeentwicklung eine Koagulationsnekrose. Laugen können sehr weit in die Haut eindringen und zur Kolliquationsnekrose führen. Die Therapie ist für beide Substanzen im Grundsatz gleich. Sie besteht in der sofortigen Entfernung der Noxe durch eine sehr ausgiebige, mindestens 30-minütige Wasserspülung. Bei starken Laugen besteht sie in einem zusätzlichen operativen Débridement.

Eine besondere Form stellt die **Flusssäureverletzung** (HF) dar. Das Fluorid bildet mit Kalzium und Magnesium ein unlösliches Salz. Abhängig vom Ausmaß der Verletzung entsteht eine Hypokalzämie mit absoluter Arrhythmie, die tödlich verlaufen kann. Deshalb muss die Wunde nicht nur gespült, sondern gleichzeitig mit 2,5%igem Kalzium-Glukonat-Gel behandelt werden, das alle 15 min ausgetauscht wird. Bei Beschwerdepersistenz ist die intradermale oder intraarterielle Infusion von 10%igem Kalzium-

Glukonat indiziert. Die Patienten müssen stationär aufgenommen, mittels Monitor überwacht und deren Elektrolyte engmaschig kontrolliert werden. Bei EKG-Veränderungen wird Kalziumchlorid substituiert.

Erfrierungen, Verbrennungen

Erfrierungen und Verbrennungen werden jeweils in 3 Schweregrade eingeteilt (Übersicht).

Einteilung von Erfrierungen und Verbrennungen

Erfrierungen:

- Grad 1: Kälteeinwirkung von weniger als einer Stunde, Hypovolämie mit Blässe, die Hautveränderungen sind vollständig reversibel
- Grad 2: Schädigung der Kapillaren mit Steigerung ihrer Permeabilität und Blasenbildung
- Grad 3: Schädigung tiefer Strukturen mit Nekrose

Verbrennungen:

- Grad 1: Oberflächliche Rötung bei erhaltener Sensibilität
- Grad 2a: Zerstörung der Epidermis mit Blasenbildung, Erythem und Ödem. Volle Sensibilität
- Grad 2b: Zerstörung dermaler Strukturen mit Verlust der Sensibilität
- Grad 3: Verbrennung bis in die Subkutis mit Nekrose

Die Erfrierung 1. Grades bedarf keiner Therapie. Bei Grad 2 werden die Blasen abgetragen. Die entzündliche Begleitreaktion heilt ohne weiteres Zutun, während bei Grad 3 umfangreichere chirurgische Maßnahmen bis hin zur Amputation notwendig werden können.

Erwachsene mit mehr als 20% verbrannter Körperoberfläche und Kinder mit mehr als 10% sollten in einer Spezialklinik behandelt werden.

Die **Grundzüge der Therapie** bestehen aus folgenden Punkten:

- Akutbehandlung mit kaltem Wasser
- Adäquate Schmerztherapie
- Abdecken der Wunden mit sterilem, nicht haftendem Verbandsmaterial
- Tetanusschutz abklären und ggf. impfen
- Bei Bedarf Escharotomie
- Infusionstherapie nach der »Brooke and Parkland Formel« mit 2–4 ml/kg/% TBSA (total body surface area) Ringer-Laktat

Faszie

Faszien bestehen aus derbem Bindegewebe und umhüllen einzelne Muskelgruppen. Faszien, die zwischen den Kompartimenten verlaufen, heißen Septen. Sie dienen nicht nur der Trennung verschiedener funktioneller Räume, z.B. der Beuger- und Streckerloge, sondern auch dem Ursprung von Muskeln.

Faszienrisse können Verletzungen der Weichteile oder des Achsenskeletts begleiten. Sie entstehen durch direktes Trauma, wenn ein scharfrandiger Gegenstand von außen oder innen einwirkt, wie Knochenfragmente, welche die Weichteile durchspießen. Aber auch ein stumpfes Trauma kann über Quetsch- oder Schermechanismen die Hüllen der Kompartimente zum Zerreißen bringen. Im Rahmen eines Kompartment-Syndroms ist man sogar gezwungen, die Faszienhülle der Länge nach komplett zu spalten und für immer eröffnet zu lassen. Aber auch durch extreme körperliche Belastung wie Gewaltmärsche oder Marathonläufe können solche Lücken entstehen. Der intrakompartimentale Druck führt dann dazu, dass der Muskel durch die Faszienlücke hervortritt. Man spricht in diesem Fall von einer Muskelhernie.

Faszienlücken finden sich im Bereich der Bauchdecken nach stumpfen Traumen nicht nur an den Prädilektionsstellen wie Nabel, Linea alba und Leistenregion, sondern auch an Orten stattgehabter direkter Gewalteinwirkung. An der oberen Extremität sind sie häufig am Unterarm, an der unteren im Bereich des Tractus iliotibialis und am Unterschenkel anzutreffen. Bei Betätigung der Bauchpresse können Darmschlingen eingeklemmt werden, bei Belastung der im jeweiligen Kompartiment enthaltenen Muskulatur dagegen Muskelabschnitte an den relativ derben Faszienrändern scheuern und entsprechende Beschwerden verursachen. Die Diagnostik bereitet daher in der Regel keine Schwierigkeiten, da am Ort der Beschwerden eine Faszienlücke palpiert und sonografisch dokumentiert werden kann.

Schwierig ist aber der Verschluss einer bestehenden Faszienlücke, insbesondere wenn narbige Verkürzungen oder Defekte vorliegen, da die Faszie unelastisch ist.

Die **Behandlungsprinzipien** im Bereich des Abdomens richten sich nach den Versorgungskriterien der Hernienchirurgie (Schumpelick 1987). Rektusdiastasen können durch adaptierende Nähte der Rektusscheiden geschlossen werden. Leisten- oder Schenkelhernien werden durch plastischen Verschluss der Bruchpforten behoben. Narbenhernien im Bereich der übrigen Bauchdecke können meist relativ einfach durch Fasziendoppelung (▶ Abschnitt 22.1.2.4, Faszien naht) adaptiert werden, da die Bauchdecke genug Material zum suffizienten Verschluss bietet, während dies im Bereich der Extremitäten nicht der Fall ist.

Faszienlücken am Unterarm sind unproblematisch, weil sie meist keine Beschwerden verursachen und damit nicht behandlungsbedürftig sind. Ganz anders ist die Situation am Bein, das aufgrund der hier gegebenen starken statischen Belastung vermehrt Muskelarbeit zu leisten hat, verbunden mit ständig wiederkehrenden Bewegungsabläufen. Deshalb können Muskelhernien hier zum operativen Eingreifen zwingen.

Die Indikation zum operativen Verschluss besteht, wenn einerseits reproduzierbare, lokalisierte Beschwerden vorliegen und andererseits ein Defekt mit Verlust von Fasziengewebe vorhanden ist. Angestrebt wird die direkte Naht. Deshalb muss präoperativ abgeklärt werden, inwieweit dies voraussichtlich möglich sein wird, denn die Nahtspannung wird umso größer sein, je länger die Faszienlücke besteht und sich die Faszienränder retrahiert haben. Ist eine direkte Naht nicht mehr möglich, kann im Gegenteil eine Erweiterung der Lücke durch Fasziotomie angezeigt sein.

Kontraindiziert ist dagegen ein Verschluss von Fasziendefekten, wie sie z.B. durch offene Frakturen entstehen können, denn solche Defekte lassen sich ebenso wie retrahierte Faszien nicht schließen. Würde man eine direkte Naht erzwingen, könnte der Gewebedruck im Faszienköcher bis zur Ausbildung eines Kompartment-Syndroms ansteigen. Darum wäre hier ggf. lediglich die Spaltung des gesamten Kompartiments indiziert. Häufig werden Faszienlücken vom Patienten bemerkt, dem die Vorwölbung bei Muskelanspannung auffällt, ohne dass dabei aber nennenswerte Beschwerden bestehen. Dann braucht man ihn lediglich über die Harmlosigkeit dieses Phänomens zu informieren (Nerlich u. Weigel 1998).

Im Rahmen der Vorbereitung auf die Operation muss der Patient über die Risiken des Faszienverschlusses aufgeklärt werden. Die Hauptkomplikation ist die Provokation eines Kompartment-Syndroms. Darüber hinaus bestehen die Gefahr einer Nahtinsuffizienz und die bleibender Beschwerden durch Vernarbungen.

Beim operativen Vorgehen selbst müssen etwaige Adhäsionen zwischen Muskulatur und Faszie gelöst und die Faszienränder mobilisiert werden. Die Naht erfolgt am besten mit überwendlichen Einzelnähten (Abschnitt 22.1.2.1, Hautnaht), da dabei am wenigsten Gewebereserven verbraucht werden. Diesbezüglich ist es auch wichtig, möglichst knapp am Faszienrand zu stechen. Würde man randfern einstechen, werden die Faszienränder gerafft, und es kommt zu einer erhöhten Nahtspannung, was wiederum zu einer kritischen Steigerung des Kompartmentdrucks führen kann.

Wenn eine direkte Naht nicht mehr möglich ist, kann ein Vicrylnetz in den verbleibenden Defekt eingenäht werden. Allerdings ist nicht gesichert, dass die entstehende Narbenplatte auch stabil genug ist, den andrängenden Muskel auf Dauer zu schienen. Die sicherere Behandlung einer Muskelhernie dürfte sein, die Faszienlücke auf die gesamte Länge des Faszienköchers zu erweitern. Dann kann der Muskelbauch komplett austreten und scheuert nicht mehr an den Rändern einer zu engen Lücke.

Sehnen

Sehnen dienen der Übertragung von Muskelkräften zum Teil über mehrere Gelenke hinweg zum Erfolgsorgan. Sie bestehen aus parallelfaserigem Bindegewebe, das vom Peritendineum eingehüllt wird. Muskelnah sind spindelförmige Propriozeptoren, Endorgane der Tiefensensibilität, eingelagert, mit denen der Spannungszustand der Sehne und die Stellung eines Gelenks registriert werden kann. Sehnenscheiden findet man an all jenen Körperstellen, an denen die Sehne umgelenkt wird, z.B. am Humeruskopf, am Handgelenk, den Fingern oder am Sprunggelenk. Der Stoffwechsel erfolgt über vereinzelte längsverlaufende Blutgefäße und die umgebende Synovialflüssigkeit. Insgesamt handelt es sich um bradytrophes Gewebe, was nach Verletzungen zu entsprechend langen Heilungszeiten führt.

Nicht nur durch von außen (Messer, Glas) oder innen (Knochenfragmente) einwirkende schneidende Gegenstände werden Sehnen durchtrennt, sondern häufig auch durch degenerative Prozesse, die das Gewebe schwächen, bis bereits eine alltägliche Beanspruchung genügt, die Sehne zerreißen zu lassen. Solche Vorschäden entstehen durch mangelnde Durchblutung, systemische Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis oder langjährige Einnahme von Steroiden oder deren wiederholte Injektion in bradytrophes Gewebe.

Nicht selten werden Sehnendurchtrennungen, die im Rahmen von Weichteilwunden entstanden sind, übersehen. Dies ist insbesondere im Bereich der Hand und des Fußes der Fall. Deshalb ist bei solchen Verletzungen die Prüfung der Funktion und akribische Inspektion der Wunde ggf. unter ausreichender Anästhesie von größter Bedeutung. Bei Rupturen, die auf dem Boden degenerativer Prozesse entstehen, ist die Gefahr, dass die Sehnenverletzung nicht erkannt wird, noch größer. Die Aussage des Patienten, er habe im Moment des schmerzhaften Ereignisses einen Schlag verspürt oder ein deutlich vernehmbares Schnalzen oder Knallen gehört, sollte den Untersucher hellhörig machen und an einen Sehnenriss denken lassen.

Im Hand- oder Fußbereich handelt es sich meistens um traumatische Durchtrennungen. Im Bereich der Rotatorenmanschette hingegen, sowie der Bizeps- Quadrizeps-, Patellar- und Achillessehne, wirken fast immer degenerative Prozesse mit. Man findet, abhängig von der jeweiligen topografischen Region, charakteristische Funktionsausfälle. Bei den großen Sehnen am Arm und Bein lassen sich eine Delle im Sehnenverlauf und ein nicht mehr vorgespannter und dadurch verkürzter und verdickter Muskel tasten. Zudem findet sich ein entsprechender Funktionsausfall mit Kraftverlust z.B. der Armabduktion (Pseudoparalyse), der Supination des Unterarms, bei Faustschluss oder Fingerstreckung, der Extension im Kniegelenk, Plantarflexion des Fußes oder der Beweglichkeit der Zehen.

Rupturen großer Sehnen werden meist zusätzlich sonografisch verifiziert. Falls kein eindeutiger Befund erhoben werden kann, was im Bereich der Rotatorenmanschette immer wieder der Fall ist, hilft die MRT weiter.

In einigen Fällen kann konservativ behandelt werden. Dazu gehören Rotatorenmanschettenrupturen degenerativer Genese, wenn sie unter krankengymnastischer Behandlung schmerzfrei werden. Auch bei Rupturen der langen oder distalen Bizepssehne wird bei älteren Patienten häufig konservativ vorgegangen, wenn der zu erwartende Funktionsausfall die Betroffenen voraussichtlich nicht nennenswert beeinträchtigen wird. Endgliednahe Rupturen der Fingerstrecker können unter Ruhigstellung in Überstreckung ausheilen. Bestimmte Formen der Achillessehnenruptur lassen sich in einem Spezialschuh ausheilen.

Bei der **operativen Versorgung** kommen je nach Lokalisation verschiedene Vorgehensweisen in Betracht. Das Prinzip der Versorgung besteht in der Wiedervereinigung der rupturierten Sehnenenden, wofür verschiedene Nahttechniken zur Verfügung stehen (Abschnitt 22.1.2.5, Sehnennaht). Im Bereich der Quadrizeps- und Patellarsehne, wo einerseits besonders große Kräfte wirken, andererseits die Anatomie günstige Voraussetzungen schafft, kann die Sehnennaht durch eine Augmentation in Form einer Rahmennaht aus PDS oder Draht, die man im Sehnen- bzw. Knochengewebe verankern kann, geschützt werden.

Postoperativ muss einerseits die Naht durch eine geeignete Ruhigstellung vor Überbeanspruchung, andererseits das Gelenk durch Bewegungsübungen vor Einsteifung und der Muskel durch isometrische Übungen vor Atrophie bewahrt werden. Deshalb sollte der Operateur einen entsprechend detaillierten Nachbehandlungsplan vorgeben, dem zu entnehmen ist, welche aktiven bzw. passiven Bewegungen unter welchem Bewegungsausmaß erlaubt sind.

Kapsel und Bänder

Die einzelnen Skelettanteile sind durch verschiedenartige gelenkige Verbindungen miteinander verbunden. In diesem Zusammenhang tauchen zahlreiche unterschiedliche Begriffe auf (Starck u. Frick 1972), die in der Übersicht aufgeführt sind.

Gelenkige Verbindungen: Definitionen

- Synarthrosen sind kontinuierliche Verbindung zwischen 2 Skelettanteilen.
- Syndesmosen können als Bandverbindung wie am distalen Tibiofibulargelenk und der Membrana interossea ausgebildet sein oder im Bereich der Schädelnähte, solange sie noch nicht verknöchert sind.
- Synchondrosen bestehen zwischen den Wirbelkörpern oder an der Symphyse.
- Synostosen finden sich im Bereich der ehemaligen Schädelnähte.
- Diarthrosen sind diskontinuierliche Verbindungen zwischen 2 Skelettanteilen.
- Das Kugelgelenk hat 3 Freiheitsgrade. Es besteht aus einer konkaven Pfanne und einen mehr oder minder kugelförmig gestalteten Kopf, dessen Mittelpunkt dem Drehpunkt des Gelenks entspricht (Schulter). Beim Nussgelenk umfasst die Pfanne den Gelenkkopf über dessen Äquator hinaus (Hüfte).

- Das Eigelenk hat 2 Freiheitsgrade. Es besitzt einen Gelenkkopf, der in zwei aufeinander stehenden Ebenen konvex gekrümmt ist und in einer korrespondierenden konkaven Pfanne liegt, wie es beim proximalen Handgelenk der Fall ist.
- Beim Sattelgelenk beispielsweise des Daumens sind die Gelenkflächen von Kopf und Pfanne jeweils in einer Ebene konvex und in der senkrecht dazu stehenden konkav geformt.
- Beim Scharnier- und beim Radgelenk gibt es nur noch einen Freiheitsgrad der Beweglichkeit. Das humeroulnare Gelenk ist ein Scharnier-, das atlantoaxiale ein Radgelenk.

Kapsel-Band-Verletzungen sind im unfallchirurgischen Alltag ständig anzutreffen. Führend ist die Distorsion des Sprunggelenks, aber auch Knie-, Schulter-, Hand- und Ellenbogengelenke sind sehr häufig betroffen. Die Schwierigkeit ist, eine exakte Diagnose zu stellen und damit zwischen einer bloßen Distorsion und einer Kapsel-Band-Ruptur zu differenzieren und unter den Kapsel-Band-Rupturen wiederum zwischen solchen, die konservativ und solchen, die operativ behandelt werden müssen. Neben den klinischen Hinweisen wie Schwellung, Ort des Druckschmerzes, Vorhandensein bzw. Art eines intraartikulären Ergusses sind es v.a. die klinischen Funktionsprüfungen an den jeweiligen Gelenken, die bereits eine relativ sichere Diagnose ermöglichen (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests). Zusätzlich kommen apparative Verfahren wie Ultraschall, MRT, gehaltene Aufnahmen und die Arthroskopie abhängig von Ort und Art der Verletzung zum Einsatz.

Bei der **Therapie** steht das Prinzip der frühfunktionellen Behandlung im Vordergrund. Das Gelenk darf nicht absolut ruhiggestellt werden, sondern soll in einem definierten Ausmaß, das abhängig vom jeweiligen Gelenk und der verletzten Struktur festgelegt wird, bewegt werden.

Am **Schultereckgelenk** werden die gerissenen Strukturen genäht und durch metallische Implantate oder durch eine PDS-Kordel augmentiert. Die Augmentation schützt die Bandnähte vor einer übermäßigen Belastung während der Heilungszeit und erlaubt andererseits ein gewisses Maß an Beweglichkeit, was Heilung und Beweglichkeit günstig beeinflusst.

An der **Schulter** spielt der ventrale Kapselausriss, die Bankart-Läsion, die wesentliche Rolle. Bei jugendlichen Patienten beträgt die Reluxationsrate nach primär traumatischer Schulterluxation bis zu 95% (Boszotta u. Helpertstorfer 1993). Frische ventrale Kapselausrisse werden teilweise arthroskopisch mit Knochenankern refixiert, veraltete hingegen offen durch transossäre Nähte und Doppelung der überdehnten Kapsel nach Rockwood (Pape et al. 1995).

Am **Ellenbogen** wird man in der Regel nur bei Reluxationstendenz operativ eingreifen. In diesen Fällen sind meist auch knöcherne Abstützungen des Gelenks betroffen, wie der Processus coronoideus und das Radiusköpfchen, die rekonstruiert werden müssen, um ausreichende Stabilität zu erhalten. Knöcherne Kapsel-Band-Ausrisse sind relativ einfach zu rekonstruieren und unproblematisch in der Heilung. Gelingt die anatomische Reinsertion, bleiben auch die isometrischen Verhältnisse gewahrt. Bei rein ligamentären Verletzungen ist dies viel schwieriger. Wie bei allen Bandverletzungen ist die frühfunktionelle Nachbehandlung entscheidend, damit sich die Narben in der späteren Bewegungs- und Beanspruchungsebene ausrichten und keine Kontrakturen entstehen.

Die relativ häufige Verletzung des **ulnaren Kollateralbandes** am Daumen wird entweder intraligamentär genäht oder, wenn die Ruptur knochennah liegt, über Knochenanker refixiert.

Am **Kniegelenk** ist man wegen den komplexen isometrischen Verhältnissen des Kapsel-Band-Apparats von den früher empfohlenen, exzessiv rekonstruktiven Maßnahmen weitgehend abgekommen. Man beschränkt sich heute im Wesentlichen auf die Rekonstruktion der zentralen Pfeiler, der Kreuzbänder. Intraligamentäre Rupturen des vorderen Kreuzbandes lassen sich nicht stabil nähen. Das Band läuft frei durch das Gelenk, ist schlecht durchblutet und hat enorme Zuglasten auszuhalten. Wollte man eine intraligamentäre Ruptur End-zu-End anastomosieren, müsste man die Bandstümpfe mit einer mehrfachen Durchflechtung stabil fassen, was zwangsläufig in einer Nekrose der Bandstümpfe und somit in einer Nahtinsuffizienz münden würde. Deshalb wurde eine Zeit lang der Ausweg in der Augmentation durch ein Kunstband gesucht. Aber auch dieses Verfahren brachte nicht die gewünschten Ergebnisse. Heute wird die intraligamentäre Ruptur des vorderen Kreuzbandes durch ein autologes Transplantat (mittleres Patellarsehnendrittel oder Semitendinosusplastik) behandelt. Rekonstruktive Maßnahmen sind hingegen indiziert, wenn das Kreuzband in seltenen Fällen einmal knöchern oder unmittelbar am Ursprung oder Ansatz ausgerissen ist. In diesen Fällen ist auch eine Augmentation nützlich.

Die konservative Therapie der frischen isolierten hinteren Instabilität ist dagegen viel Erfolg versprechender. Der größere Durchmesser und die teilweise extraartikuläre Lage des Bandes begünstigen die Heilung. Bei komplexen Instabilitäten, insbesondere den posterolateralen mit persistierender vermehrter hinterer Schublade, bedarf es rekonstruktiver Maßnahmen.

Am **Sprunggelenk**, an dem es die meisten Kapsel-Band-Verletzungen gibt, werden hervorragende Ausheilungsergebnisse durch alleinige konservative Therapie erreicht. Ein operatives Vorgehen ist nur in Ausnahmefällen bei maximaler Instabilität oder chronischer Bandinsuffizienz indiziert. Dann werden die verletzten Strukturen durch adaptierende Nähte versorgt oder plastisch ersetzt und nach Möglichkeit funktionell nachbehandelt, um für eine anatomische Ausrichtung des Narbengewebes zu sorgen. Syndesmosenverletzungen werden rekonstruiert und ggf., bei ausgeprägter Instabilität, während der 6-wöchigen Ausheilungszeit durch eine Stellschraube augmentiert (Weigel u. Nerlich 1998).

22.1.5 Wundverschluss

Nicht nur die richtige Zugehensweise ist wichtig, sondern auch die Art des Wundverschlusses, denn wenn dieser nicht adäquat erfolgt, kann sich eine Wundheilungsstörung einstellen. Auf die im Folgenden beschriebenen Aspekte ist zu achten, angegeben in der Reihenfolge ihrer Durchführung beim Wundverschluss.

Subperiostal abgelöste Strukturen

Subperiostal abgelöste Kapsel-Band- oder Muskelansätze sollten stabil miteinander vernäht werden. Allerdings ist dies nicht immer möglich, weil häufig kein geeignetes Gegenüber zur Verfügung steht. In solchen Fällen müssen die abgelösten Strukturen transossär refixiert werden. Dafür benötigt man Bohrlöcher im Knochen. Nur in Ausnahmefällen kann der Knochen mit einer scharfen Nadel durchstochen werden, z.B. bei ausgeprägter Osteoporose am Tuberculum majus. In allen anderen Fällen müssen die Nahtlager präformiert werden. Dies kann mit Hilfe eines dünnen Bohrers geschehen. Viel günstiger ist es jedoch, einen 2 mm starken K-Draht dafür zu benutzen, weil dieser viel weniger leicht bricht als ein dünner Bohrer, der unter Umständen schon bei der geringsten Verkippung der Richtung nachgibt. Die bessere Flexibilität des K-

Drahts ermöglicht auch in schlechter zugänglichen Bereichen, die abgekippt zur Arbeitsrichtung liegen, die der Situs vorgibt, Bohrlöcher zu schaffen. Während Knochengrate tangential durchbohrt werden können, müssen in planen Flächen V-förmige Kanäle geschaffen werden. Um mit dem vorgegebenen Radius der verschiedenen zur Verfügung stehenden Nadeln den Kanal durchstechen zu können, ist es oft hilfreich, die Eingangslöcher mit einem 3,5er Bohrer zu erweitern oder von Vornherein mit einem dickeren Bohrer zu arbeiten.

Versorgung der Muskulatur

Muskulatur lässt sich nur bedingt adaptieren. Das Gewebe reißt relativ leicht und bietet kein stabiles Nahtlager. Am besten lässt es sich im Bereich tendinöser Übergänge versorgen. Anderenfalls beschränkt man sich auf die lockere Adaptation der Fasern. Für die Naht sollte relativ dickes Material verwendet werden, weil es weniger durchschneidet als dünnes. In der Regel wird ein Faden der Stärke 0 verwendet. Die Nähte dürfen deshalb beim Knüpfen auch nur locker angezogen werden, damit das Gewebe nicht stranguliert oder durchschnitten wird.

Faszienverschluss

Faszien sollten, wenn kein Kompartment-Syndrom droht, stabil genäht werden. Dies kann mit Einzelknopfnähten oder in fortlaufender Technik erfolgen. Die fortlaufende Naht hat den Vorteil, dass sich die Nahtspannung gleichmäßig verteilt. Sie eignet sich gut bei ausrissfesten Faszienrändern, wie sie z.B. am Tractus iliotibialis gegeben sind. Bei weniger stabilem Nahtlager werden dagegen besser Einzelknopfnähte anlegt. Außerdem eignen sich fortlaufende Nähte nicht, wenn Gelenke überbrückt werden, weil sie die Beweglichkeit durch Zugspannung behindern können.

Subkutannaht

Die Subkutis wird bei ausreichender Dicke ebenfalls stabil, ggf. sogar zwei- oder dreischichtig vernäht. Insbesondere an Körperregionen mit voluminöser subkutaner Fettschicht sollte sie mehrschichtig adaptiert werden. Anderenfalls können durch die Instabilität große Wundhöhlen mit anhaltender Sekretion entstehen, was wiederum die Gefahr sekundärer Infektionen birgt. In einer Seromhöhle kann sich durch das zunehmende Flüssigkeitsvolumen mehr und mehr Druck aufbauen. Der darüber liegende, vernähte Hautschnitt kann zwischen einzelnen Nähten durch das Serom aufgedrückt und dehiszent werden. Dadurch entsteht zwischen Hautoberfläche und Seromhöhle eine Verbindung, über die Keime in die Tiefe wandern können. Deshalb ist es so wichtig, die Subkutanschicht an Rumpf, Oberarm und Oberschenkel stabil zu nähen. Aber auch an den übrigen Körperregionen empfiehlt sich bei ausreichender Schichtdicke die Naht, weil dadurch die Dichtigkeit der Wunde erhöht wird, und dies sich wiederum günstig auf die Heilung auswirkt.

Hautnaht

Die Haut wird möglichst mit Einzelknopfrückstichnähten versorgt. Fortlaufende Nähte haben den Nachteil, dass sie strangulierend wirken können. Dies kann insbesondere dann problematisch werden, wenn eine Wunde postoperativ anschwillt. Eine fortlaufende Naht gibt weniger nach als einzelne Nähte. Die Rückstichnaht ist günstig, weil sie eine exakte Angleichung der Hauträndern ohne Niveausprung zulässt. Niveausprünge gleichen sich im Rahmen der Wundheilung nicht aus.

Hautklammern eignen sich nur bei Körperregionen, in denen wenig Spannung auf der Naht liegt und eine gut verschiebliche Unterlage eine exakte Niveauanpassung der Oberflächen der beiden Wundlefzen ermöglicht. Diese Voraussetzungen sind aber an den Extremitäten insbesondere bei frischen Verletzungen mit z.T. erheblichen postoperativen Schwellungen nicht immer gegeben.

22.1.6 Drainagen

Intraartikuläre, subfasziale oder subkutane Räume werden, wenn ausreichend Platz vorhanden ist, drainiert. Beim Ausleiten der Redon-Drainagen muss darauf geachtet werden, keine Gefäße oder Nerven zu verletzen.

Es empfiehlt sich, wenn möglich, die Drainagen so auszuleiten, dass der Stichkanal gegen die Richtung der Schwerkraft verläuft.

Verläuft der Stichkanal der ausleitenden Drainage gegen die Richtung der Schwerkraft, versiegt die Sekretion aus dem Wundkanal nach dem Ziehen der Drainage schneller und der Kanal kann sich dadurch schneller schließen. Dies reduziert die Gefahr, dass Keime von der Hautoberfläche durch den Drainagenkanal in die Tiefe wandern. Diese Gefahr ist insbesondere dann gegeben, wenn die Sekretion stark ist und eine bewegungsabhängige zyklische Strömungsumkehr eintreten kann, z.B. an einem Kniegelenk mit synovialer Reizung.

Besteht eine fortdauernde Sekretion aus einem Redon-Ausleitungskanal, die mehr als 1–2 Tage anhält, empfiehlt es sich, um einer Keimbesiedelung tiefer gelegener Schichten entgegenzuwirken, die Hautöffnung mit einer einfachen Naht zu verschließen. Dann sistiert die Sekretion in den allermeisten Fällen innerhalb kürzester Zeit vollständig. Da eine einfache Naht ohne Rückstich ähnlich wenig schmerzhaft ist wie das Setzen einer Lokalanästhesie, kann diese Naht zeitlich unaufwändig, ohne Lokalanästhesie nach Hautdesinfektion direkt am Krankenbett erfolgen.

Man muss sich darüber im Klaren sein, dass in der Unfallchirurgie und Orthopädie Drainagen häufig direkt oder in unmittelbare Nähe von Gelenken, Endoprothesen oder Implantaten führen und der Drainagenkanal insbesondere dann unbedingt »wasserdicht« verschlossen werden muss, wenn die Weichteildeckung dünn ist, wie z.B. am Kniegelenk oder prätibial.

Diese genannten besonderen Umstände in der Unfallchirurgie und Orthopädie erfordern einen grundsätzlich anderen Umgang mit Drainagen als in der Viszeralchirurgie, wo Drainagen häufig in Körperregionen liegen, die von Geweben umgeben sind, die eine hohe lokale Abwehrkraft gegen Mikroorganismen haben und außerdem eine gute Weichteildeckung besteht.

22.2 Knochenchirurgie

22.2.1 Knochenheilung

Die Frakturheilung verläuft nach dem Prinzip der Wundheilung. Sie wird durch die Rekrutierung von Zellen und der Expression von Genen vorangetrieben und beginnt mit der Inflammationsphase, gefolgt von der Granulationsphase und endet in der Remodelling-Phase. Die Inflammationsphase wird durch die Durchtrennung von Blutgefäßen und das sich entwickelnde Hämatom ausgelöst. Entzündungszellen dringen in das Hämatom ein und initiieren den lysosomalen Abbau nekrotischen Gewebes. Die Granulationsphase

beginnt 4–5 Tage später. Pluripotente mesenchymale Stammzellen wandern ein und differenzieren sich in Fibroblasten, Chondroplasten und Osteoblasten. Aus diesen Zellen entstehen weicher Kallus und anschließend Geflechtknochen. In der Markhöhle und im Periost bilden sich Blutgefäße, welche die Wanderung der Zellen zum Frakturbereich unterstützen. Der unreife Geflechtknochen wird in der Remodelling-Phase, die mehrere Jahre dauern kann, durch Lamellenknochen ersetzt. Reifer Lamellenknochen richtet sich entlang der Belastungslinien aus und gewinnt im günstigsten Fall eine völlig normale, narbenlose Morphologie zurück (Hadjiargyrou et al. 1998).

Knochenzellen können mechanische Stimuli wahrnehmen und in Signale zur Anpassung ihrer Mikroumgebung umwandeln. **Ultraschall** ist ein solcher Stimulus (Naruse et al. 2003). Ultraschall überträgt Energie an das Gewebe als hochfrequente Druckwellen. Um Nierensteine zu zertrümmern, Katarakte abzutragen oder Knochenzement im Rahmen der Revisionsendoprothetik zu entfernen braucht man Energienieveaus von 5–300 W/cm^3. Hochintensiver, kontinuierlich applizierter Ultraschall einer Energie von 1 W/cm^3 verlangsamt im Tierversuch die Frakturheilung, während niedrigintensiver, gepulster Ultraschall einer Energie von 30 mW/cm^3 sie beschleunigt (Siska et al. 2009).

Das Ausmaß der Absorption der Ultraschallwellen verhält sich proportional zur Dichte der Gewebe, die durchlaufen werden. Zudem werden an Knochen-Muskel-Grenzflächen oder Knochen-Kallus-Grenzflächen ein Großteil der einfallenden Strahlung reflektiert und Druckveränderungen im Gewebe erzeugt. Die mechanischen Veränderungen werden von den Zellen wahrgenommen. Die Zellen beantworten diesen Stimulus mit einer Modulation ihrer Zellfunktion. So exprimieren sie eine Reihe verschiedener Gene als Antwort auf niedrigintensiven Ultraschall. Die Genexpression korreliert wiederum mit einem Anstieg der Torsionsresistenz von Kallusformationen, die mit Ultraschall behandelt werden (Hadjiargyrou et al. 1998).

Mit hochenergetischem Ultraschall lassen sich Pseudarthrosen erfolgreich behandeln. Man nimmt an, dass die hochenergetischen Wellen Mikrofrakturen erzeugen und dadurch Reparationsprozesse angeregt werden. Prospektive Studien an mehr als 700 Patienten dokumentieren Heilungsraten zwischen 62 und 83%. Allerdings ist die Applikation schmerzhaft und muss unter Narkose durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu ist niedrigintensiver Ultraschall schmerzlos und kann von den Patienten selbst in der eigenen Wohnung täglich angewendet werden. Eine Reihe prospektiver, randomisierter, doppelblinder, plazebokontrollierter Studien hat dessen Wirksamkeit bei der Beschleunigung der Frakturheilung nachgewiesen. Die Beschleunigung beträgt dabei bis zu 40%. Ultraschall beeinflusst jede Phase der Frakturheilung und überdies die Angio-, Chondro- und Osteogenese (Siska et al. 2009).

22.2.2 Schrauben, Platten

Herkömmliche Plattenosteosynthese

Mitentscheidend für eine zeitgerechte Heilung ist eine ausreichende Ruhigstellung im Bruchbereich. Diese kann durch die Kompression der Frakturzone erreicht werden. Die Kompression wird durch ein spezielles Design der Osteosyntheseplatten vermittelt. Die Plattenlöcher für die Schrauben sind oval geformt, und die Ränder der ovalen Plattenlöcher fallen zur Mitte hin schräg ab. Wenn das Schraubenloch exzentrisch gebohrt wird, gleiten die Schraubenköpfe beim Festziehen an den konischen Rändern tangential ins Zentrum des Schraubenlochs ab. Dadurch bewegt sich das Hauptfragment, das durch die Schraube gefasst ist, um die Strecke mit, die dieser schräge Shift vermittelt. Platten, mit denen sich dieses Prinzip umsetzen lässt, sind die DCP (Dynamic Compression Plate) und die LC-DCP (Limited Contact Dynamic Compression Plate).

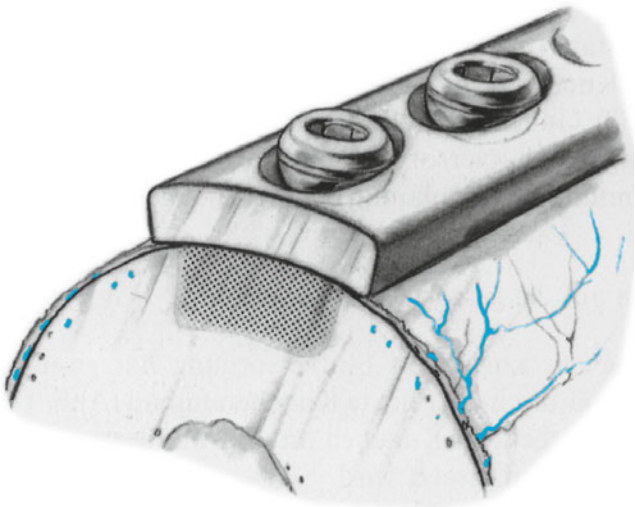


Abb. 22.84 Minderdurchblutete Zone unterhalb einer Osteosyntheseplatte mit Vollkontakt. (Aus: Müller et al. 1992)

Die LC-DCP hat außer den konisch geformten Schraubenlöchern ein unterschnittenes Plattenprofil. Dadurch liegt sie nur punktuell auf dem Periost auf und komprimiert weniger periostale Fläche. Dadurch wird die Durchblutung des von der Platte bedeckten kortikalen Knochens weniger stark beeinträchtigt.

Das Problem der Plattenosteosynthese herkömmlicher Art ist der Druck der Platte auf ihr Lager. Die Stabilität einer Frakturversorgung wird bei der herkömmlichen Plattenosteosynthese, wie bereits oben erwähnt, durch Haftreibung erzeugt. Sie entsteht innerhalb des Quadrats, das durch die beiden frakturnahen Schraubenköpfe und die Gegenkortikales, die von den beiden Schraubenenden gefasst werden, definiert ist. Der erhöhte Druck führt zur Minderdurchblutung unter der Platte und macht bei nicht unterschnittenen Unterflächen 63% des Kortikalisanteils, der direkt unter der Platte liegt, nekrotisch bzw. sklerotisch (Abb. 22.84).

Da am Femur – dem größten menschlichen Röhrenknochen – erhebliche Kräfte wirken, werden breite 4,5er Platten verwendet und pro Hauptfragment 8 kortikale Verankerungspunkte benötigt. In schrägen Bruchflächen oder Defektzonen fasst eine Schraube häufig nicht beide Kortikales, sondern nur eine Seite. Dann sind mehr als 4 Schrauben nötig, um die geforderte Mindestzahl kortikaler Verankerungspunkte zu erreichen. Da die Mindestlänge der LC-DCP 8 Schraubenlöcher beträgt, muss im Zweifelsfall eine entsprechend längere Platte gewählt werden.

An der Tibia werden schmale Großfragmentplatten verwendet und insgesamt 3 Schrauben pro Hauptfragment mit jeweils 6 kortikalen Verankerungspunkten.

Am Humerus kann ebenfalls eine breite und in manchen Fällen auch eine schmale Großfragmentplatte verwendet werden – wiederum mit mindestens 6 kortikalen Verankerungspunkten pro Hauptfragment.

An Radius und Ulna kommen dynamische Kleinfragment-Kompressionsplatten ebenfalls mit 6 kortikalen Verankerungspunkten pro Hauptfragment zum Einsatz.

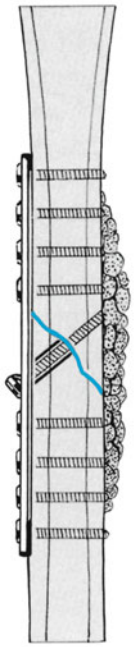


Abb. 22.85 Prinzip der konventionellen Plattenosteosynthese bei kurzer Schrägfraktur des Femurs. Die interfragmentäre Kompression wird durch eine schräg eingebrachte Zugschraube aufgebaut. Eine Spongiosaanlagerung medial kann die Bruchheilung beschleunigen und einem Plattenbruch vorbeugen. (Aus: Müller et al. 1992)

Das Prinzip der interfragmentären Kompression wird bei Quer- und Schrägbrüchen durch 1 oder 2 interfragmentäre Zugschrauben unterstützt. Bei langen Schräg- oder Spiralbrüchen kommen evtl. sogar mehrere dieser Zugschrauben zum Einsatz. Die Zugschrauben werden abhängig vom Verlauf der Bruchebene entweder außerhalb der Platte oder durch die Plattenlöcher selbst eingebracht. Um eine Zugwirkung entfalten zu können, muss das diesseitige Schraubenloch 4,5 mm dick gebohrt werden, damit das Gewinde der Kortikalisschraube darin gleiten kann. Das Gewinde fasst dann nur in der Gegenkortikalis und presst die Bruchflächen aufeinander (Abb. 22.85).

Die Platte wird im Frakturbereich vorgebogen, sodass sie sich an dieser Stelle konvex von der kortikalen Oberfläche des Röhrenknochens abhebt. Wenn sie mit dieser so genannten Vorspannung festgeschraubt wird, vermittelt sie auch im Bereich der Bruchflächen der Gegenkortikalis einen Anpressdruck (Abb. 22.86). Falls bereits durch Zugschrauben eine maximale Kompression im Bruchflächenbereich erzielt werden konnte, wird die Platte neutral montiert. Die Schraubenlöcher werden dann nicht exzentrisch versetzt, sondern neutral vorgebohrt, damit die erreichte Reposition an den schrägen Bruchflächen nicht durch Scherkräfte gestört wird. Die Platte dient dann nicht mehr dazu, die Kompression im Bruchspalt zu mehren, sondern ausschließlich dazu, die Fraktur zu schienen.

Das **Konzept der »biologischen Osteosynthese«** beinhaltet die Schonung der Weichteile und des periostalen Verbundes. Es lässt sich durch indirekte Reposition, minimale Knochendarstellung und eine möglichst kompressionsfreie Plattenanlagerung z.B. mit dem LISS-Plattenfixateur umsetzen. Auf diese Weise konnten die biologischen Vorteile der Marknagelosteosynthese in Bezug auf die Knochenheilung und Reduktion der Infektraten auch bei komplexen gelenknahen Schaftfrakturen reproduziert werden (Ertel et al. 1999). Im Unterschied zum herkömmlichen Vorgehen dient dabei häufig die Platte als Repositionshilfe. Beim herkömmlichen Vorgehen werden die einzelnen Fragmente mit Repositionszangen passgenau aneinander geführt und interfragmentär verschraubt. Die dafür nötigen Manipulationen führen häufig zur periostalen Denudierung der Fragmente. Dies kann wiederum die Bruchheilung aufgrund einer Minderdurchblutung empfindlich stören. Bei der biologischen Osteosynthese verzichtet man auf das exakte Aufeinanderstellen der einzelnen Fragmente, richtet die Fraktur in Hinblick auf Achse, Länge und Rotation aus und stabilisiert sie anschließend mit einem den Bruchbereich überbrückenden Implantat.

Die knöcherne Heilung wird nicht nur durch die Ruhigstellung im Bruchbereich erreicht, sondern auch dadurch, dass die Trümmerzone so weit wie möglich in ihrem Weichteilverbund belassen wird. Bei einer Trümmerfraktur des distalen Femurs z.B. wird die Platte über einen kurzen Zugang von distal her eingebracht. Etwa an der Stelle, an der später das Plattenende zu liegen kommt, wird ein Zugang von etwa 10 cm Länge geschaffen. Die Zugangsebene bleibt dieselbe, wie sie für den lateralen Zugang zum Femur beschrieben ist (▶ Kap. 21, Standardzugänge). Dann wird die Fraktur unter Zug am Bein hinsichtlich Länge, Achse und Rotation geschlossen reponiert und eine ausreichend lange Platte epiperiostal unter dem M. vastus lateralis auf dem Femur nach proximal in ein zuvor geschaffenes zweites Zugangsfenster hochgeschoben. Dieses zweite Fenster wird in Höhe des proximalen Plattenendes angelegt. In der Regel reicht ein etwa 6–8 cm langer Schnitt durch Haut, Subkutis und Tractus iliotibialis aus. Dann spaltet man die Muskulatur in Faserrichtung und setzt ventral und dorsal am Röhrenknochen je einen Hohmann-Hebel. Anschließend kann man die Platte in dieses proximale Zugangsfenster schieben. Die Trümmerzone wird auf diese Weise überbrückt, ohne sie zu eröffnen. Anschließend werden die einzelnen Schraubenlöcher über Stichinzisionen perkutan mit Schrauben besetzt.

Es kann sehr hilfreich sein, statt einer Stichinzision eine 2–3 cm lange Hautinzision vorzunehmen und von hier aus gleich 2 oder 3 benachbarte Schraubenlöcher auf einmal zu besetzen.

Der etwas größere Zugang durch die Hautinzision ermöglicht, die Lage der Platte mit dem Finger exakter unter der Muskulatur zu lokalisieren und dies wiederum hilft, Fehlbohrungen zu vermeiden. Nach dem Setzen der kurzen Hautinzision wird die darunter liegende Subkutis gespalten. Dann wird unter Bildwandlerkontrolle mit der Präparierschere ein transmuskulärer Kanal geschaffen, eine Bohrbüchse eingeführt, das Schraubenloch vorgebohrt, die Länge bestimmt und eine Schraube gesetzt. Das Vorgehen wird durch die Verwendung selbstschneidender Schrauben deutlich erleichtert. Dann kann auf den Einsatz des Gewindeschneiders verzichtet werden, der beim perkutanen Vorgehen problematisch sein kann, denn der Gewindeschneider erfasst, wenn es nicht gelingt, seine Schutzhülse ganz ins Schraubenloch vorzuschieben, sehr leicht Muskelgewebe. Außerdem wird ein zeitaufwändiger Arbeitsschritt eingespart.

Elastische Plattenosteosynthese

Bei der elastischen Plattenosteosynthese werden dritte Fragmente oder Stückfrakturen nicht gefasst, sondern nur überbrückt. Direkt verschraubt werden nur die beiden Hauptfragmente. Dies ermöglicht Mikrobewegungen im Bereich der Fraktur und ein Schwingen der Platte; beides fördert die Kallusbildung. Eine Relativbewegung im Frakturbereich bis zu 1 mm ist günstig für die Kallusbildung. Bei Relativbewegungen über 1 mm zerreißen die sich bildenden Knochenbälkchen immer wieder und eine Pseudarthroseentwicklung droht. Eine elastische Plattenosteosynthese funktioniert deshalb nur, wenn das Periost konsequent geschont wird. Insgesamt eignet sich dieses Verfahren bei Frakturen im Schaftbereich, bei denen es im Hinblick auf die Stellung nur auf die Achse, Rotation und richtige Länge ankommt.

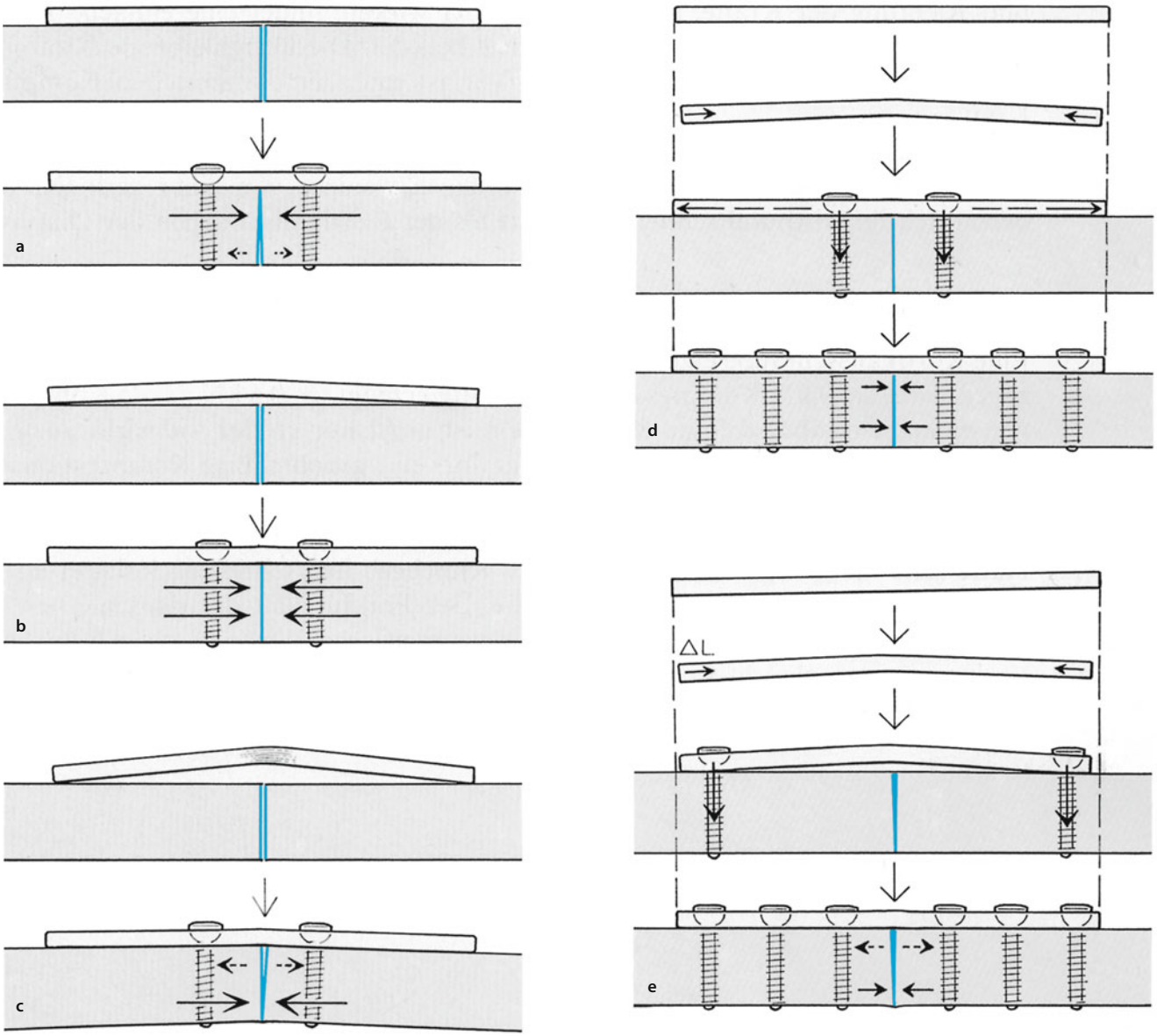


Abb. 22.86a–e Die Auswirkung des Vorbiegens der Platte und der Reihenfolge des Einbringens der Schrauben auf die axiale Kompression. **a** Ein geringes Vorbiegen ergibt eine minimale oder fehlende Kompression der gegenüberliegenden Kortikalis. **b** Bei gut dosierter Vorbiegung der Platte entsteht eine gleichmäßige Kompression im Bereich der gesamten Bruchfläche, während bei zu starker Biegung der diesseitige Bruchspalt klafft (**c**). **d** Als erstes müssen immer die frakturnahen Schrauben festgezogen werden, anderenfalls würde sich die Platte verkürzt einstellen (**e**) und beim abschließenden Festziehen der frakturnahen Schrauben den Bruchspalt plattennah erweitern. (Aus: Müller et al. 1992)

Bei Gelenkfrakturen ist dagegen eine anatomische Reposition notwendig. Hier ist das Verfahren der Wahl die stabile Plattenosteosynthese (Stürmer 2003) und mittlerweile die winkelstabile Plattenosteosynthese.

Für die primäre Frakturheilung bedarf es einer absoluten Stabilität, für die sekundäre nur einer relativen. Bei der primären Frakturheilung kommt es zu keiner Kallusbildung, bei der sekundären entsteht ein Brückenkallus.

Seit 1994 setzt Stürmer am Schaft überhaupt keine Zugschrauben mehr ein, sondern montiert in dieser Region nur noch elastische überbrückende, im Frakturbereich gedeckte Plattenosteosynthesen. Dazu gehört, dass die Schrauben von der Frakturzone weit genug entfernt gesetzt werden, damit sich die Relativbewegungen möglichst langstreckig verteilen und nicht im Frakturbereich konzentrieren, denn dies würde zu einem punktuellen Stress im Bereich der Platte und letztlich zum Ermüdungsbruch des Implantats führen (Abb. 22.87).

Muhr hat eine grobe Faustregel formuliert, die den Abstand der Schrauben von der Fraktur bei der elastischen Plattenosteosynthese definiert: Der Schraubenabstand soll etwas größer sein als der Durchmesser des Knochenquerschnitts an der jeweiligen Stelle beträgt.

Bei kurzen Trümmerzonen ist diese grobe Faustregel besonders wichtig, damit man eine ausreichend lange Schwingstrecke für das Implantat bekommt. Bei langen Trümmerzonen kann man

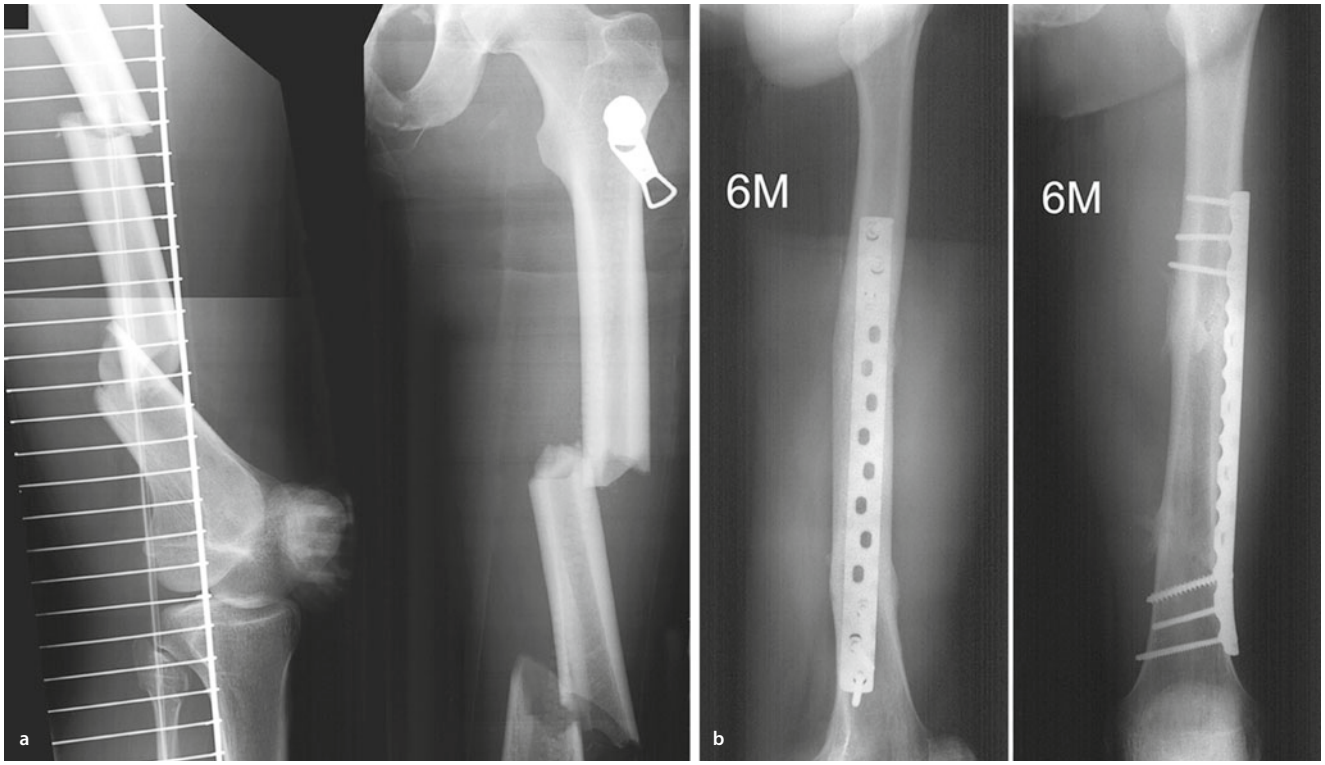


Abb. 22.87a,b Femurschaftstückfraktur eines polytraumatisierten Patienten. **a** Unfallbilder, **b** Ausheilung 6 Monate nach elastischer Plattenosteosynthese. (Mit freundlicher Genehmigung von K.M. Stürmer, Göttingen)

dagegen unmittelbar frakturnah ansetzen, weil ohnehin eine lange Überbrückung und somit auch eine lange Schwingzone besteht (Muhr 2003).

Grundsätzlich muss man sich bei der Montage einer Platte im Klaren sein, ob eine stabile oder elastische Osteosynthese angezeigt ist. Man sollte niemals die beiden Verfahren der stabilen und elastischen Plattenosteosynthesen miteinander mischen, weil sich die biomechanischen Grundsätze der Verfahren widersprechen und deshalb nicht kombinierbar sind. Bestehen Trümmerzonen oder lässt sich keine formschlüssige Reposition mit Aufbau einer interfragmentären Kompression erreichen, wird die Platte so fixiert, dass der Frakturbereich schwingen kann.

Verbundosteosynthese

Bei Frakturen mit osteolytischem Substanzdefekt kann eine Verbundosteosynthese indiziert sein. Abhängig von der Lokalisation einer Osteolyse wird der Zugang so gewählt, dass sie möglichst von lateral ausgeräumt werden kann. Dann werden Achse, Länge und Rotation korrigiert, eine ausreichend dimensionierte Platte angelegt und vorläufig mit 2 Verbrugge-Zangen fixiert. Da es sich um einen Palliativeingriff handelt und nicht zu erwarten ist, dass die Fraktur im weiteren Verlauf konsolidiert, sondern die Stabilität auf Dauer allein durch das Implantat vermittelt wird, muss die Platte in beiden Hauptfragmenten möglichst langstreckig verankert und die Defektzone mit Knochenzement überbrückt werden, damit sich die beiden Hauptfragmente abstützen können.

Ist der Knochenzement eingebracht, muss alles Weitere sehr schnell gehen, weil einmal ausgehärteter Zement kaum zu durchbohren und mit Schrauben zu besetzen ist. Deshalb ist eine gute Planung des intraoperativen Vorgehens Voraussetzung für das Gelingen der Osteosynthese. Zunächst wird die Platte an die intakten Anteile beider Hauptfragmente festgeschraubt. Schrauben passender Länge werden bereitgelegt, die später in den Knochenzement, der den Defekt ausfüllen soll, eingesteckt werden, solange der Zement noch weich ist. Die Schrauben können aber auch schon vor dem Einbringen des Zements in die Plattenlöcher geschoben werden. Wenn anschließend der Zement eingebracht wird, muss er bereits soweit abgebunden haben, dass er plastisch formbar ist, sonst verläuft er. Dann ist es viel schwieriger, die Form des resezierten Knochensegments nachzubilden. Im noch weichen Zement werden die Schrauben ausgerichtet. Festgezogen werden sie aber erst, wenn der Zement abgebunden hat. Dabei empfiehlt sich, Stahl- statt Titanimplantate zu verwenden, weil die Köpfe schräg eingebrachten Schrauben bei Titanimplantaten leicht brechen.

Winkelstabiles Platten-Schrauben-System

Die so genannte Locking Compression Plate (LCP) ermöglicht es dem Chirurgen, mit demselben Implantat eine Osteosynthese entweder mit Standard- oder Verriegelungsschrauben bzw. einer Kombination daraus durchzuführen. Die Platte ist unterschnitten, um die periostale Durchblutung zu schonen. Die Plattenlöcher sind eine Kombination aus herkömmlichem Gleitloch auf der frakturfernen und neuartigem Gewindeloch auf der frakturnahen Seite (Abb. 22.88a). Im Gewindeloch können spezielle Verriegelungsschrauben winkelstabil verankert werden. Dann wird nicht mehr das Prinzip der Plattenosteosynthese, sondern das des Fixateur interne verwirklicht. Das System gibt es in Form von Groß- und Kleinfragmentimplantaten. Die Platten haben konisch geformte Enden, die perkutan epiperiostal über einen kurzen Zugang unter dem Weichteilmantel vorgeschoben werden können

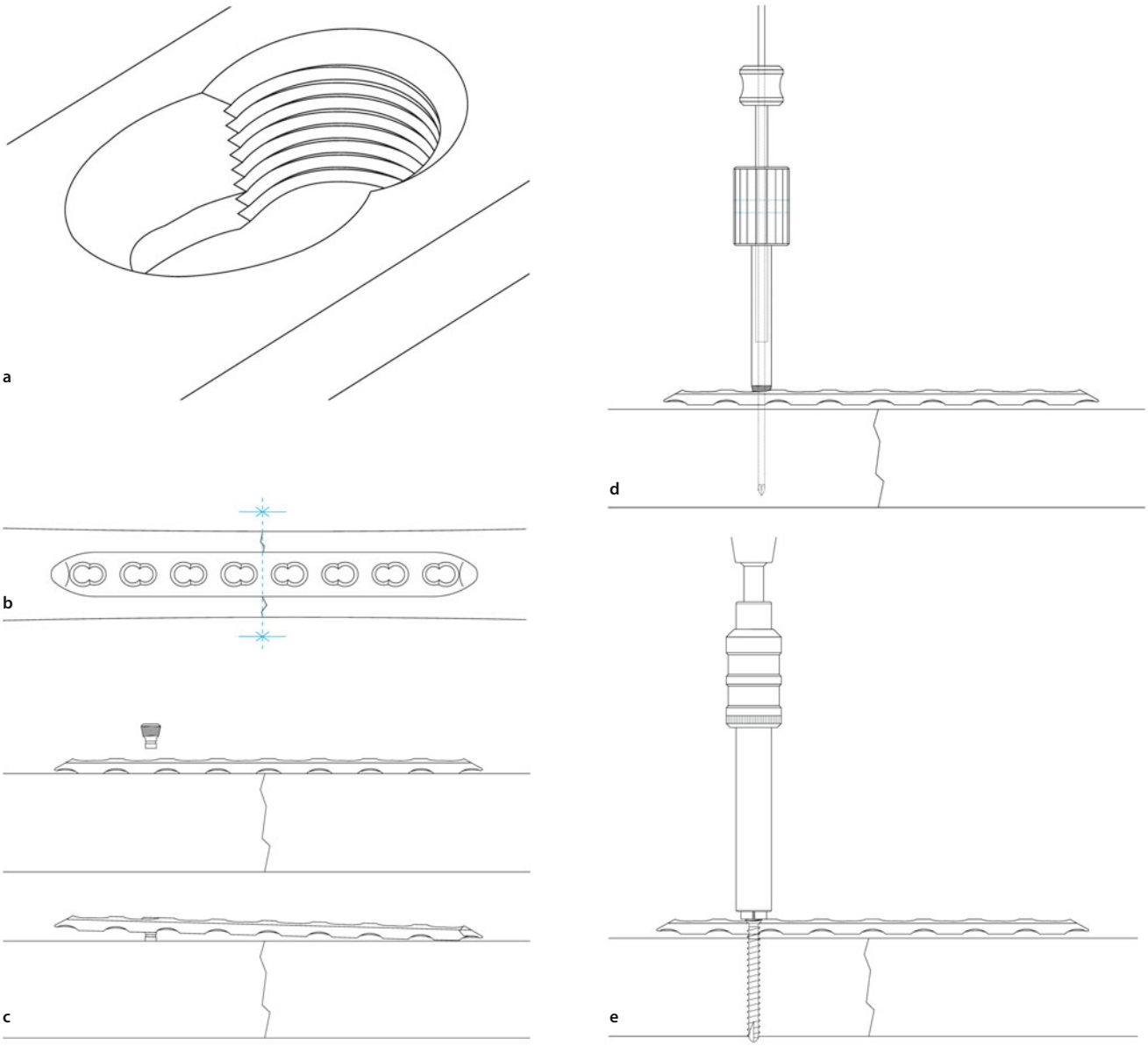


Abb. 22.88a–e Locking Compression Plate (LCP). **a** Eine Seite des Plattenlochs ist als Gleitloch, die andere als konisches Gewindeloch gearbeitet. **b** Konisch geformte Enden erleichtern das perkutane Einbringen des Implantats. **c** Mit Distanzstopfen kann ein Mindestabstand von 2 mm eingehalten werden. **d** In die Führungsbüchse für die Verriegelungsschrauben kann eine weitere für einen K-Draht eingebracht werden. **e** Mit der Schraubenhaltehülse kann das Offset der Platte verkleinert werden. (Aus: Produktinformation LCP Locking Compression Plate. Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Synthes)

(Abb. 22.88b). T- und L-förmige Enden sind eigens für den gelenknahen Einsatz bestimmt. Es gibt selbstschneidende Verriegelungsschrauben für den bikortikalen Einsatz, für die vorgebohrt werden muss, und kurze, selbst bohrende für den monokortikalen.

Diese Schrauben verhalten sich aufgrund des Gewindes im Kopfbereich nicht wie herkömmliche Schrauben. Sie fixieren die Fragmente in der Position, in der sie sich befinden, denn das Fragment wird beim Arretieren des Schraubenkopfs im Gewindeplattenloch nicht an die Platte herangezogen. Deshalb müssen intraartikulär ausmündende Frakturen zunächst interfragmentär verschraubt oder anderweitig ein anatomisch reponierter Gelenkblock gebildet werden.

Die Platten selbst müssen vorgebogen und dem Verlauf der Kortikalis, über der sie später zu liegen kommen, angepasst werden. Für die Montage als Fixateur interne ist keine Vorspannung erforderlich. Die Platte steht ja etwas vom Knochen ab. Dass ein für das Periost wichtiger Mindestabstand von 2 mm erhalten bleibt, gewährleisten so genannte Distanzstopfen. Beim kombinierten Schraubeneinsatz wird wie bei der herkömmlichen Plattenosteosynthese zunächst mit ein oder 2 Zugschrauben ein Hauptfragment herangezogen, die Fraktur über die Gleitlöcher unter axiale Kompression gebracht, bevor die Osteosynthese mit Verriegelungsschrauben abgeschlossen wird. Die Distanzstopfen verhindern dabei, dass die Platte auf das Periost gequetscht wird (Abb. 22.88c). Die Distanzstopfen sollen beim Biegen der Platte nicht zum Schützen der Gewindelöcher verwendet werden, weil sie sich womöglich nicht mehr entfernen lassen, wenn die Platte zu sehr gebogen wurde.

Die Verriegelungsschrauben werden durch Führungsbüchsen eingebracht. Sie erleichtern das perkutane Vorgehen und ermöglichen, die Richtung der Schraube der des Gewindelochs anzupassen. Schräg eingedrehte Schrauben sind weniger winkelstabil. Die Führungsbüchse wird in einem oberflächlichen Gewindegang des Plattenlochs eingedreht. Wenn über die künftige Lage und Länge einer Schraube keine Klarheit besteht, kann vor dem Einbringen in die Führungsbüchse eine zweite, kleinere Führungsbüchse gesteckt und dadurch ein K-Draht gebohrt werden (Abb. 22.88d). Dessen Position kann dann einfach unter Bildwandler beurteilt werden und damit auch die der späteren Schraube samt deren Länge.

Vor dem Eindrehen einer Schraube wird vorgebohrt und die Länge gemessen. Das Vorbohren erfolgt über die Führungsbüchse. Anschließend wird diese entfernt und die Länge gemessen. Mit einem Drehmomentbegrenzer wird die Schraube schließlich eingebracht. Einen entsprechenden Aufsatz gibt es auch für das maschinelle Vorgehen. Man sollte jedoch darauf achten, nicht bei voller Drehzahl zu verriegeln, denn dabei könnte das Sechskantloch im Schraubenkopf ausgeschlagen und eine spätere Implantatentfernung erschwert werden. Bei porösem Knochen besteht beim maschinellen Vorgehen überdies mehr die Gefahr, dass sich die Schraube einen neuen, schrägen Weg sucht. Deshalb empfiehlt es sich, in solchen Fällen ganz besonderes auf die Richtung des Schraubenlochs zu achten. Für die Diaphyse gibt es eigene monokortikale Schrauben, die nicht nur selbst schneiden, sondern auch selbst bohren. Man kann sie ohne Vorbohren einbringen.

Das Offset der Platte kann mit der Schraubenhaltehülse, die auf den Schraubenzieher geschoben wird, beeinflusst werden. Die Hülse deckt das Gewinde des Kopfs der Verriegelungsschraube ab. Man kann die Schraube so lange in den Knochen eindrehen, bis die Platte den gewünschten Abstand hat, weil das Gewinde des Schraubenkopfs nicht in dem des Plattenlochs greift (Abb. 22.88e).

22.2.3 Verriegelung von Marknägeln

Um in einem Marknagel Verriegelungsschrauben mit dem strahlendurchlässigen Winkelgetriebe einzusetzen, wird zunächst das distalste Loch im Marknagel so eingestellt, dass es zentral im Bildschirm des Bildwandlers liegt und kreisrund abgebildet wird (Abb. 22.89a). Nur wenn es sich kreisrund darstellt, ist sicher, dass es exakt in der Flucht des Strahlengangs liegt. Dies wiederum ist Voraussetzung dafür, dass das Schraubenloch gerade und nicht verkippt gebohrt werden kann. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich die Schraube im Verriegelungsloch des Nagels verklemmt und nicht in der Gegenkortikalis verankern lässt.

Nach erfolgter Einstellung unter Bildwandlerkontrolle wird nun über dem kreisrunden Loch mit dem Skalpell eine kurze Längsinzision der Haut gesetzt. Die Inzision sollte wenigstens 1 cm lang sein, damit anschließend genügend Platz vorhanden ist, die zwischen Haut und Kortikalis liegenden Weichteile mit einer Schere zu spreizen und auf diese schonende Weise einen Weichteilkanal für die folgenden Operationsschritte zu schaffen. Nun wird die Spitze des 4,0 mm starken Spiralbohrers in den Weichteilkanal eingeführt, zunächst schräg zum Röntgenstrahl gehalten und unter Bildwandlersicht exakt in der Mitte des Verriegelungslochs zentriert (Abb. 22.89b). Anschließend wird das strahlendurchlässige Winkelgetriebe hochgeschwenkt, bis sich der Spiralbohrer selbst genau in der Flucht der Strahlung befindet und um seinen Querschnitt herum ein schmaler strahlendurchlässiger Kreis erscheint. Der Bohrer füllt das Verriegelungsloch dann beinahe aus. In dieser Stellung werden nun beide Kortikales durchbohrt.

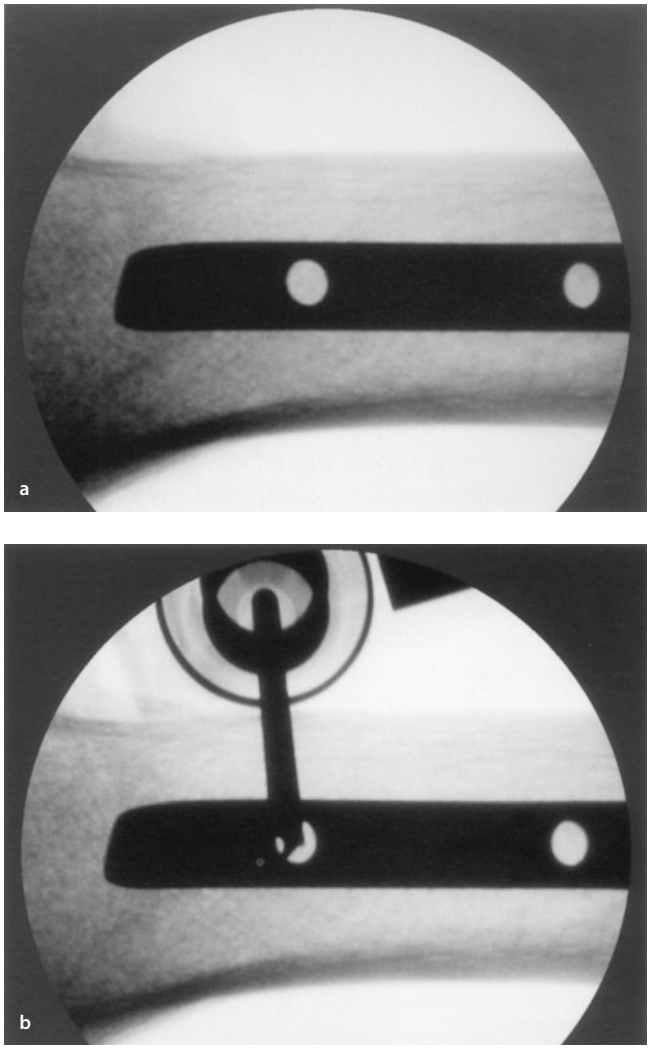


Abb. 22.89a,b Technik der Freihandverriegelung mit dem röntgenstrahlendurchlässigen Winkelgetriebe. **a** Zunächst wird nur das Schraubenloch des Marknagels so im Bildwandler eingestellt, dass es kreisrund ist. **b** Anschließend wird die Spitze des Spiralbohrers in der Mitte des Schraubenlochs zentriert und danach axial im Strahlengang ausgerichtet. (Fa. Synthes)

22.3 Implantatentfernung

22.3.1 Kirschner-Drähte

Kirschner(K)-Drähte werden häufig zur Fixierung gelenknaher Frakturen verwendet. In aller Regel müssen sie wieder entfernt werden, weil das Drahtende die Weichteildeckung irritiert. Während das Einbringen der Drähte meist unproblematisch ist, kann die Entfernung bzw. das Auffinden der Implantate sehr schwierig sein. Jeder Unfallchirurg hat damit schon so manche schweißtreibende Erfahrung gemacht. Deshalb werden im Folgenden einige bewährte Techniken beschrieben, die unsere Arbeit erleichtern können.

Beim Einbringen von K-Drähten sollte darauf geachtet werden, dass man sie nicht zu knochennah einkürzt, damit man sie später im Gewebe tasten kann. Andererseits müssen sie aber auch soweit gekürzt werden, dass die darüber liegende Haut nicht zu sehr irritiert wird. Die K-Draht-Enden sind oft allein deshalb nicht zu

tasten, weil die Weichteildeckung bedingt durch die stattgehabte Fraktur und die anschließende eingeschränkte Mobilität des Extremitätenabschnitts ödematös geschwollen ist. Aber Ödeme lassen sich ausdrücken und in die Umgebung ausmassieren. Man muss sich dafür etwas Zeit nehmen. Wenn anschließend das Gewebe ausreichend lymphdrainiert ist, kann das K-Draht-Ende fast immer zweifelsfrei palpiert werden.

Beim Setzen der Lokalanästhesie schwellen die Weichteile zwangsläufig wieder an und es entsteht unter Umständen erneut das Problem, die Drahtenden lokalisieren zu können. Deshalb kann es vorteilhaft sein, sich die palpierten Stellen zu markieren. Dies kann mit einem Farbstift geschehen oder, was einfacher ist, mit dem Einstich der Lokalanästhesie. Man setzt diese dafür exakt über dem Drahtende. Außerdem sollte, nachdem die Wirkung des Lokalanästhetikums eingesetzt hat und bevor eine Stichinzision gelegt wird, wiederum das subkutan gesetzte Betäubungsmitteldepot wegmassiert werden, um Klarheit über die exakte Lage des Drahtendes zu erhalten. Das hat den Vorteil, dass es unmittelbar unter die Haut zu liegen kommt und dadurch leicht auffindbar wird.

Nach erfolgter Stichinzision verwendet man am besten ein stumpfes Instrument, z.B. ein anatomisches, gebogenes Klemmchen oder eine Präparierschere, und tastet durch eng geführte, kreisende Bewegungen nach dem metallischen Widerstand. Ist der gefunden, wird die Subkutis ringsum vom Implantat abgeschoben, sodass es frei vom umliegenden Gewebe wird. Jetzt kann man den Draht aus dem Knochen ziehen. Dafür eignet sich am besten ein schwerer Nadelhalter, denn der fasst aufgrund seiner günstigen Hebelarme und der Rauigkeit seiner Branchenoberflächen das dünne, kurze und glatte Ende des K-Drahts wesentlich fester als eine Spitzzange. Zunächst tastet man mit den geschlossenen Branchen des Nadelhalters nach dem K-Drahtende, umkreist es noch einmal, um dessen Lage erneut exakt zu erfassen und setzt dann das immer noch geschlossene Instrument axial auf. Dann erst wird der Nadelhalter geöffnet und dabei ein leichter Druck in axialer Richtung auf das zu entfernende Implantat ausgeübt, sodass, wenn die geöffneten Branchen über das Drahtende gleiten, kein umliegendes Gewebe und somit auch keine Gefäße oder Nerven versehentlich mitgefasst werden. Dann erst wird der Draht herausgezogen.

Wenn man so verfährt, kommt man ganz oft ohne Bildwandler aus und erspart sich und dem Patienten die Strahlenbelastung.

22.3.2 Schrauben

Auch beim Entfernen von Schrauben ist es hilfreich, zunächst das Ödem auszudrücken. Liegt der Eingriff länger zurück, sind die Schraubenköpfe jedoch unter der narbig atrophierten Subkutanschicht oft recht gut zu tasten.

Die Implantatentfernung erfolgt ebenfalls in Lokalanästhesie. Man wartet den Wirkungseintritt ab und massiert dann das Lokalanästhetikumdepot weg. Anschließend wird über eine Stichinzision der Schraubenkopf mit einem stumpfen Instrument aufgesucht.

Wenn Schrauben entfernt werden sollen, muss die Imbusöffnung im Schraubenkopf sauber freigelegt werden, denn die Schrauben sitzen, insbesondere wenn sie schon lange in situ liegen, oft sehr fest. Wenn dann die Imbusöffnung noch teilweise mit Narbengewebe verlegt ist, kann man den Schraubendreher nicht vollständig einführen. Dadurch steigt das Risiko, dass der Imbus ausreißt. Insbesondere bei Spongiosazugschrauben mit kurzem Gewinde ist der Widerstand bei der Implantatentfernung hoch, weil man dabei ein neues Gewinde in die diesseitige Kortikalis schneiden muss, denn das ursprünglich geschnittene Gewinde ist zwischenzeitlich knöchern überbaut. Dadurch kann der Schraubwiderstand deutlich erhöht sein.

Falls ein hoher knöcherner Widerstand und ein langer Weg überwunden werden müssen, empfiehlt es sich, die Schraube maschinell aus ihrem knöchernen Lager zu drehen. Beim Einsatz der Bohrmaschine bleibt der Schraubendreher konstant axial zur Schraubenlage. Dadurch wirken weniger verkippte und wechselnde Belastungen auf die Imbusöffnung ein. Dadurch behält sie ihren Formschluss. Ginge er verloren, muss die Schraube mit einer speziellen Zange, die für die Aufnahme des Schraubenkopfs ein abgerundetes Maul hat, mühsam herausgedreht werden. Falls der Schraubenkopf noch im Kortikalisniveau versenkt ist, muss die Kortikalis mit einem Hohlmeißel rund um den Schraubenkopf vorsichtig abgetragen werden, um ihn mit der Zange fassen zu können.

Die Imbusöffnung wird frei, indem man mit einem stumpfen Instrument, mit dem gut Druck ausgeübt werden kann, ohne die knöcherne Unterlage zu verletzen, z.B. einem Raspatorium, unter kräftigem Druck, mehrfach um den Schraubenkopf herumkreist. Dadurch wird das Narbengewebe vom Implantat abgeschoben und das Implantat freigelegt. Meist löst sich dabei auch der in der Imbusöffnung liegende Narbenpfropf, was allerdings aufgrund mangelnder Sicht nicht immer kontrolliert werden kann. Wenn man sicher gehen will und damit rechnen muss, dass beim Herausdrehen der Schraube viel knöcherner Widerstand zu überwinden sein wird, sollte die Imbusöffnung zusätzlich mit einem Zahnarzthäkchen ausgeräumt werden.

Wenn Beilagscheiben zu entfernen sind, kann versucht werden, die Unterlegscheibe kurz bevor die Schraube den Knochen verlässt durch Kippen der Schraube mit den distalen Gewindegängen der Schraubenspitze aufzuladen und herauszuhebeln. Wenn die Beilagscheibe randständig von Knochengewebe eingefasst ist, führt dieses Manöver nicht zum Erfolg. Dann hat es sich bewährt, eine Branche einer Kocher-Klemme in das Schraubenloch zu stecken, mit der anderen den knöchernen Rand des Schraubenkanals samt Beilagscheibe zu fassen und auf diese Weise zu versuchen, das Implantat zu extrahieren. Verlorene Beilagscheiben sind oft schwer wiederzufinden und erfordern dann den Einsatz eines Bildverstärkers.

22.3.3 Platten

Man geht über die alte Narbe ein. Die Gewebeschicht über der Platte kann sehr derb sein. Der durch die Schraubenköpfe wellig beschaffene Untergrund erschwert es, diese Schicht zu spalten. Abgesehen davon, wird das Skalpell sofort stumpf, wenn es Kontakt zum Metall bekommt. Deshalb ist es ratsam, sich das Gewebe im Bereich einer Längskante der Osteosyntheseplatte in ganzer Länge darzustellen und dann diese Schicht mit einem Schnitt über die ganze Implantatlänge zu durchtrennen, was mühelos gelingt, wenn man mit der Skalpellklinge direkt neben dem Plattenrand einsticht und geführt durch die Längskante des Plattenrands schneidet. Anschließend wird mit dem Raspatorium das Narbengewebe von der Platte gelöst, indem man das Narbengewebe jeweils zwischen den Schraubenköpfen zum gegenüber liegenden Plattenrand hin unterfährt und es anschließend portionsweise vom Implantat abhebelt. Auf diese Weise werden gleichzeitig die einzelnen Schrauben freigelegt, wobei sich beim Abhebeln des Narbengewebes meist auch die Narbenpfröpfe aus den Schraubenköpfen mit herauslösen. Außerdem gewinnt man eine glatt begrenzte Gewebeschicht zur Deckung des Plattenla-

gers, was hinsichtlich der Blutstillung aus den Schraubenkanälen günstig ist. Wenn alle Schrauben entfernt sind, kann die Platte mit einem schmalen Raspatorium aus ihrem Lager gehebelt werden. Dafür kann man aber auch einen Einzinkerhaken verwenden, der durch 2 Plattenlöcher geführt wird. Dann kann man mit dem Einzinkerhaken die Platte seitlich vom Knochen hebeln und aus den Verwachsungen auf ihrer Unterseite, die sehr derb sein können, mit wenig Kraftaufwand und kontrolliert lösen.

Das Plattenlager braucht nur geglättet zu werden, falls metallische Verfärbungen oder minder durchblutete Areale vorhanden sind. Vitale Gewebeanteile oder knöcherne Grate können dagegen belassen bleiben. Dadurch wird die Nachblutungsgefahr verringert und der Knochen nicht destabilisiert.

22.3.4 Fixateur-externe-Pins

Aus operationstechnischer Sicht ist die Entfernung von Fixateur-externe-Pins das geringste Problem. Sie werden nach Demontage des Fixateurs einfach herausgedreht. Die Eintrittsstellen sollen nicht verschlossen, sondern nur verbunden werden. Dadurch kann infiziertes Wundsekret weiterhin abfließen. Die Einbringstellen der Pins heilen dann meist innerhalb weniger Tage sekundär zu. Ein wattegepolsterter Kompressionsverband wirkt blutstillend.

Viel schwieriger ist dafür die Entscheidung, den Eingriff mit oder ohne Kurznarkose durchzuführen, denn eine örtliche Betäubung ist meist nicht möglich und die Regionalanästhesie erscheint für den kleinen Eingriff zu aufwändig.

Wichtig ist, beim Herausdrehen der Pins darauf zu achten, nicht zu schnell zu drehen. Beim schnellen Drehen kann sich das Implantat durch den Reibungswiderstand insbesondere bei fester Knochenqualität erhitzen und im Bereich der sehr sensiblen Knochenhaut Schmerzen verursachen. Bei ängstlichen oder schmerzempfindlichen Patienten hilft eine leichte Sedierung. Man sollte das Vorgehen im Einzelfall mit den Patienten besprechen, ihnen die gegebenen Möglichkeiten samt ihren Vor- und Nachteilen schildern und gemeinsam entscheiden, unter welchen Bedingungen der Fixateur entfernt werden soll.

Literatur

Boszotta H, Helpertstorfer W (1993) Ergebnisse nach arthroskopischer ventraler Limbus-Kapsel-Refixation nach primärer traumatischer Schulterluxation. Aktuelle Traumatol 23: 239–243

Ertel W, Schulz R, Siebenrock KA, Ganz R (1999) Die «bio-logische« Stabilisierung der subtrochantären Femurfraktur mit einer Kondylenplatte. Operative Orthop Traumatol 11: 290–306

Faß J, Kremer B, Kremer K, Schumpelick V (1997) Nahtvereinigung bei ungleichen Wundrändern. In: Chirurgische Facharztweiterbildung, B I, ausgew. und zusammengest. von M. Rehner und H.-J. Oestern. Thieme, Stuttgart New York, S 9–11

Füchtmeier B, Weigel B (2002) Knüpftechniken. In: Nerlich M, Berger A (Hrsg) Weichteilverletzungen und Infektionen. S. 86–97. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie)

Hadjiargyrou M, McLeod K, Ryaby JP, Rubin C (1998) Enhancment of fracture healing by low intensity ultrasound. Clin Orthop 355: 216–229

Kompendium der Regional-Anästhesie, Astra-Chemicals GmbH, in Anlehnung an den Atlas »Regionalanästhesie« erstellt (1985) Fischer, Stuttgart

Muhr G (2003) Disskussionsbeitrag am 16. Bochum-Treff zum Thema »Warum versagen Osteosynthesen?« vom 31.01. bis 01.02.2003

Naruse K, Miyauchi A, Itoman M, Mikuni-Takagaki Y (2003) Distinct anabolic response of osteoplast to low-intensity pulsed ultrasound. J Bone Miner Res 18: 360–369

Nerlich M, Weigel B (1998) Verletzungen des Beins. In: Bauch J, Halsband H, Hempel K, Rehner M, Schreiber HW (Hrsg) Manual Ambulante Chirurgie II. Fischer, Ulm Stuttgart Jena Lübeck, S 628–676

Pape HC, Bosch U, Lobenhoffer P, Conrad B, Maghsudi M, Tscherne H (1995 a) Die Kapselplastik nach Rockwood bei Schulterinstabilität. Eine klinische Nachuntersuchung, Unfallchirurg 98: 289–295

Rehner M, Oestern HJ (1997) Chirurgische Facharztweiterbildung, Band I,Thieme, Stuttgart

Schumpelick V (1987) Hernien. Enke, Stuttgart

Siska P, Gruen GS, Menzel C, Pape HC (2009) Externe Supportiva zur Förderung der Frakturheilung. Unfallchirurg 112: 6–14

Starck D, Frick H (1972) Repetitorium anatomicum, 12. Aufl. Thieme, Stuttgart

Tscherne H, Oestern HJ (1982) Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. Unfallheilkunde 85: 111–115

Stürmer KM (2003) Knochendurchblutung und die Frakturstabilität, die Voraussetzungen zur Heilung. Vortrag am 16. Bochum-Treff, 31.01.–01.02.2003

Weigel B (2002) Nahttechniken. In: Nerlich M, Berger A (Hrsg) Weichteilverletzungen und Infektionen.S.52–63.Springer,Berlin Heidelberg New York Tokyo (Tscherne Unfallchirurgie)

Weigel B, Nerlich M (1998) Diagnostik und Therapie der Bandverletzungen des Sprunggelenks. Chirurg 69: 994–1010

Begutachtung

B. Weigel

23.1 Basiswissen – 1176
23.2 Versicherungsarten – 1176
23.3 Gutachtenaufbau – 1184
23.4 Gutachtenformen – 1193
23.5 Praktische Tipps – 1201
23.6 Rententabellen – 1201
23.7 Anhang – 1201
Literatur – 1212

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4_23,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

23.1 Basiswissen

23.1.1 Aufgaben des Gutachters

Der ärztliche Gutachter fungiert als Sachverständiger. Der Gutachter erkennt laut Mollowitz (1998):

»nicht einen ursächlichen Zusammenhang an, er lehnt ihn auch nicht ab, er setzt nicht eine Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE), eine Berufsunfähigkeit oder eine Erwerbsunfähigkeit fest, sondern er hält einen ursächlichen Zusammenhang für wahrscheinlich oder unwahrscheinlich, nimmt eine MdE an, beurteilt, welche Tätigkeiten noch verrichtet werden können.«

Der Gutachter sollte Begriffe vermeiden, die dem Verwaltungsbeamten oder Richter vorbehalten sind, denn dieser entscheidet letztlich über die Gewährung oder Ablehnung einer Leistung. Auch gegenüber dem Antragssteller sollte dies betont werden.

Der Gutachter braucht den jeweiligen Auftrag nicht zwingend zu übernehmen, er kann ihn aus unterschiedlichen Gründen ablehnen. Mögliche Gründe sind:

- Voraussichtliche Ortsabwesenheit,
- nicht ausreichende fachliche Kompetenz,
- Arbeitsüberlastung oder
- Befangenheit durch
  - verwandtschaftliches Verhältnis,
  - Lehrer-Schüler-Verhältnis,
  - als einweisender Arzt,
  - gegenüber Personal im eigenen Haus etc.

23.1.2 Aufgaben des Auftraggebers

Der jeweilige Versicherungsträger, der ein Gutachten anfordert, muss dem medizinischen Sachverständigen Fragen vorlegen, die nach der herrschenden medizinischen Lehrmeinung naturwissenschaftlich begründet beantwortet werden müssen. Dabei sollte der Auftraggeber dem medizinischen Sachverständigen diejenigen Rechtsbegriffe kurz erläutern, von denen er nicht sicher annehmen kann, dass sie von jedem Gutachter korrekt interpretiert werden. Außerdem sollte der Sachverständige soweit wie möglich mit dem Tatbestand bekannt gemacht werden, denn diesen zu ermitteln, ist nicht Aufgabe des Gutachters.

23.1.3 Äußere Form des Gutachtens

Das Gutachten soll in seiner äußeren Form den Wert der Sachverständigenaussage erkennen lassen, denn »das Gutachten ist ein Beweismittel, das durch viele Hände geht« (Mollowitz 1998). Die äußere Form sollte daher möglichst perfekt sein. Das gilt auch für Schreibstil, Orthografie und Interpunktion.

Da ein Gutachten unter Umständen von vielen medizinischen Laien, dem Richter, Verwaltungsbeamten und dem Versicherten gelesen werden wird, sollte es so formuliert sein, dass fremdsprachige Fachbegriffe, soweit dies ohne Sinnentstellung möglich ist, durch deutsche ersetzt werden. Auch Abkürzungen sollten aus diesem Grund nach Möglichkeit vermieden werden, weil sie kaum Platz bzw. Umfang sparen, andererseits aber zu Verwechslungen Anlass geben können – so z.B. HWI für Hinterwandinfarkt bzw. Harnweginfekt.

Das Gutachten sollte möglichst so aufgebaut sein, dass man ohne Einsicht aller Akten einen vollständigen Überblick bekommt. Das heißt, Vorgeschichte und Befund sollten alle notwendigen Informationen enthalten, die man braucht, um den Zusammenhang nachvollziehen zu können. Das hat den Vorteil, dass ein Gutachten auch dann noch einen kompletten Überblick bietet, wenn die Akten einmal nicht greifbar oder verlorengegangen sein sollten.

Bei der Bearbeitung von Formulargutachten reicht in vielen Fällen der angebotene Platz in keiner Weise aus. In diesen Fällen empfiehlt sich, auf die Form des freien Gutachtens auszuweichen und anschließend die gestellten Fragen zu beantworten. Damit der künftige Leser ohne Zuziehen des Formulars einen Gesamtüberblick bekommt, sollten die Fragen noch einmal aufgeführt werden. Um jedoch nicht den Eindruck entstehen zu lassen, dies wurde nur gemacht, um den Seitenumfang und dadurch die Gebühren in die Höhe zu treiben, sollten die Fragen kleingedruckt und mit engem Zeilenabstand möglichst platzsparend aufgeführt werden, was heutzutage mit jeder EDV dargestellt werden kann.

Auf keinen Fall sollte ein Gutachten aus pekuniären Gründen in die Länge gezogen werden.

23.2 Versicherungsarten

23.2.1 Gesetzliche Unfallversicherung

Allgemeine Richtlinien

Verfahren

Im Gegensatz zu den anderen Zweigen der Sozialversicherungen werden in der gesetzlichen Unfallversicherung die Gelder allein von den Unternehmern aufgebracht und von den Berufsgenossenschaften verteilt. Versichert sind der Arbeitsunfall, der Wegeunfall, der Unfall mit Arbeitsgerät und die Berufskrankheiten. Letztere beschäftigen hauptsächlich den Internisten und benachbarte Disziplinen, den Unfallchirurgen jedoch in der Regel nur in bestimmten Fällen (Tab. 23.1, Tab. 23.2).

Ein Arbeitsunfall wird sowohl vom Versicherungsnehmer als auch vom behandelnden Arzt der Versicherungsgesellschaft angezeigt. Dafür gibt es spezielle Formulare. Der Hausarzt muss bis spätestens am Tag nach Inanspruchnahme durch einen Unfallverletzten einen Bericht auf dem Arztvordruck 13 erstatten, es sei denn, es erfolgt ohnehin eine Vorstellung beim Durchgangsarzt oder beim Beratungsfacharzt, Augen-, HNO- oder H-Arzt. Der H-Arzt ist nicht etwa die Abkürzung für Hausarzt, sondern er ist ein Arzt mit chirurgischer oder orthopädischer Erfahrung, der berechtigt ist, weniger schwerwiegende Arbeitsunfälle selbstständig, ohne Hinzuziehen des D-Arzts zu behandeln. Die genannten Ärzte sind berechtigt, auf jeweiligen Vordrucken das Unfallgeschehen und die eingetretenen Schäden zu dokumentieren und an den zuständigen Unfallversicherungsträger weiterzuleiten.

Bei schweren Verletzungen muss grundsätzlich eine besondere Heilbehandlung eingeleitet werden, die ganz in der Hand des Durchgangsarztes bleibt. Die Berufsgenossenschaften haben dafür eigens ein Verletzungsartenverzeichnis (Abb. 23.1) erstellt, in dem die so genannten § 6-Fälle aufgelistet sind.

Terminologie

Folgende Begriffe tauchen im Rahmen der Begutachtung und des Durchgangsarztverfahrens immer wieder auf:

Unfall

Der Arbeitsunfall ist der Unfall eines Versicherten bei versicherter Tätigkeit. Er wird als ein von außen einwirkendes, körperschädigendes, plötzliches Ereignis definiert, das mit der versicherten Tätigkeit in einem inneren ursächlichen Zusammenhang steht.

Tab. 23.1 Liste der Berufskrankheiten. Anlage 1 zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), zuletzt aktualisiert durch die Zweite Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung vom 11. Juni 2009

Nr.	Krankheiten
1	Durch chemische Einwirkungen verursachte Krankheiten
11	Metalle und Metalloide
1101	Erkrankungen durch Blei oder seine Verbindungen
1102	Erkrankungen durch Quecksilber oder seine Verbindungen
1103	Erkrankungen durch Chrom oder seine Verbindungen
1104	Erkrankungen durch Cadmium oder seine Verbindungen
1105	Erkrankungen durch Mangan oder seine Verbindungen
1106	Erkrankungen durch Thallium oder seine Verbindungen
1107	Erkrankungen durch Vanadium oder seine Verbindungen
1108	Erkrankungen durch Arsen oder seine Verbindungen
1109	Erkrankungen durch Phosphor oder seine anorganischen Verbindungen
1110	Erkrankungen durch Beryllium oder seine Verbindungen
12	Erstickungsgase
1201	Erkrankungen durch Kohlenmonoxid
1202	Erkrankungen durch Schwefelwasserstoff
13	Lösemittel, Schädlingsbekämpfungsmittel (Pestizide) und sonstige chemische Stoffe
1301	Schleimhautveränderung, Krebs oder andere Neubildungen der Harnwege durch aromatische Amine
1302	Erkrankungen durch Halogenkohlenwasserstoffe
1303	Erkrankungen durch Benzol, seine Homologe oder durch Styrol
1304	Erkrankungen durch Nitro- oder Aminoverbindungen des Benzols oder seiner Homologe oder ihrer Abkömmlinge
1305	Erkrankungen durch Schwefelkohlenstoff
1306	Erkrankungen durch Methlyalkohol (Methanol)
1307	Erkrankungen durch organische Phosphorverbindungen
1308	Erkrankungen durch Fluor oder seine Verbindungen
1309	Erkrankungen durch Salpetersäureester
1310	Erkrankungen durch halogenierte Alkyl-, Aryl- oder Alkylaryloxide
1311	Erkrankungen durch halogenierte Alkyl-, Aryl- oder Alkylarylsulfide
1312	Erkrankungen der Zähne durch Säuren
1313	Hornhautschädigungen des Auges durch Benzochinon
1314	Erkrankungen durch para-tertiär-Butylphenol
1315	Erkrankungen durch Isocyanate, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können
1316	Erkrankungen der Leber durch Dimethylformamid
1317	Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren Gemische
1318	Erkrankungen des Blutes, des blutbildenden und des lymphatischen Systems durch Benzol
	Zu den Nummern 1101 bis 1110, 1201 und 1202, 1303 bis 1309 und 1315: Ausgenommen sind Hauterkrankungen. Diese gelten als Krankheiten im Sinne dieser Anlage nur insoweit, als sie Erscheinungen einer Allgemeinerkrankung sind, die durch Aufnahme der schädigenden Stoffe in den Körper verursacht werden, oder gemäß Nummer 5101 zu entschädigen sind.
2	Durch physikalische Einwirkungen verursachte Krankheiten
21	Mechanische Einwirkungen
2101	Erkrankungen der Sehnenscheiden oder des Sehnengleitgewebes sowie der Sehnen- oder Muskelansätze, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2102 ▼	Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten

Tab. 23.1 *Fortsetzung*

Nr.	Krankheiten
2103	Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen
2104	Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2105	Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck
2106	Druckschädigung der Nerven
2107	Abrißbrüche der Wirbelfortsätze
2108	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2109	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Halswirbelsäule durch langjähriges Tragen schwerer Lasten auf der Schulter, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2110	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2111	Erhöhte Zahnabrasionen durch mehrjährige quarzstaubbelastende Tätigkeit
2112	Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbarer Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 h und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt 1 h pro Schicht.
22	Druckluft
2201	Erkrankungen durch Arbeit in Druckluft
23	Lärm
2301	Lärmschwerhörigkeit
24	Strahlen
2401	Grauer Star durch Wärmestrahlung
2402	Erkrankungen durch ionisierende Strahlen
3	Durch Infektionserreger oder Parasiten verursachte Krankheiten sowie Tropenkrankheiten
3101	Infektionskrankheiten, wenn der Versicherte im Gesundheitsdienst, in der Wohlfahrtspflege oder in einem Laboratorium tätig oder durch eine andere Tätigkeit der Infektionsgefahr in ähnlichem Maße besonders ausgesetzt war.
3102	Von Tieren auf Menschen übertragbare Krankheiten
3103	Wurmkrankheit der Bergleute, verursacht durch Ankylostoma duodenale oder Strongyloides stercoralis
3104	Tropenkrankheiten, Fleckfieber
4	Erkrankungen der Atemwege und der Lungen, des Rippenfells und Bauchfells
41	Erkrankungen durch anorganische Stäube
4101	Quarzstaublungenerkrankung (Silikose)
4102	Quarzstaublungenerkrankung in Verbindung mit aktiver Lungentuberkulose (Siliko-Tuberkulose)
4103	Asbeststaublungenerkrankung (Asbestose) oder durch Asbeststaub verursachte Erkrankungen der Pleura
4104	Lungenkrebs oder Kehlkopfkrebs: in Verbindung mit Asbeststaublungenerkrankung (Asbestose) in Verbindung mit durch Asbeststaub verursachter Erkrankung der Pleura oder bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Asbestfaserstaub-Dosis am Arbeitsplatz von mindestens 25 Faserjahren (25×106 [(Fasern/m^2) × Jahre])
4105	Durch Asbest verursachtes Mesotheliom des Rippenfells, des Bauchfells oder des Pericards
4106	Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Aluminium oder seine Verbindungen
4107	Erkrankungen an Lungenfibrose durch Metallstäube bei der Herstellung oder Verarbeitung von Hartmetallen
4108	Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Thomasmehl (Thomasphosphat)
4109	Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen
4110	Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Kokereirohgase
4111 ▼	Chronische obstruktive Bronchitis oder Emphysem von Bergleuten unter Tage im Steinkohlebergbau bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von in der Regel 100 Feinstaubjahren [(mg/m^2)×Jahre]

Tab. 23.1 *Fortsetzung*

Nr.	Krankheiten
4112	Lungenkrebs durch die Einwirkung von kristallinem Siliziumdioxid (SiO_2) bei nachgewiesener Quarzstaublungenerkrankung (Silikose oder Siliko-Tuberkulose)
4113	Lungenkrebs durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis von mindestens 100 Benzo[a]pyren-Jahren [($\mu g/m^2$) × Jahre]
4114	Lungenkrebs durch das Zusammenwirken von Asbestfaserstaub und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Dosis, die einer Verursachungswahrscheinlichkeit von mindestens 50 Prozent nach der Anlage 2 entspricht.
4115	Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweißrauchen und Schweißgasen (Siderofibrose)
42	Erkrankungen durch organische Stäube
4201	Exogen-allergische Alveolitis
4202	Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Rohbaumwoll-, Rohflachs- oder Rohhanfstaub (Byssinose)
4203	Adenokarzinome der Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen durch Stäube von Eichen- oder Buchenholz
43	Obstruktive Atemwegserkrankungen
4301	Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
4302	Durch chemisch-irritativ oder toxisch wirkende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
5	Hautkrankheiten
5101	Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
5102	Hautkrebs oder zur Krebsbildung neigende Hautveränderungen durch Ruß, Rohparaffin, Teer, Anthrazen, Pech oder ähnliche Stoffe
6	Krankheiten sonstiger Ursache
6101	Augenzittern der Bergleute

Tab. 23.2 Auswahl von Berufskrankheiten des Bewegungsapparates, die häufig dem Unfallchirurgen zur Begutachtung vorgestellt werden

Nummer	Art der Berufskrankheit
2101	Erkrankungen der Sehnenscheiden oder des Sehnengleitgewebes sowie der Sehnen- oder Muskelansätze, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2102	Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten
2103	Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen
2104	Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2105	Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck
2106	Drucklähmung der Nerven
2107	Abrissbrüche der Wirbelfortsätze
2108	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder langjährige Tätigkeit in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2109	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Halswirbelsäule durch langjähriges Tragen schwerer Lasten auf der Schulter, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.
2110	Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule nach langjähriger, vorwiegend vertikaler Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

DGUV
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Spitzenverband

Spitzenverband der landwirtschaftlichen Sozialversicherung

Verletzungsartenverzeichnis*
(in der Fassung vom 1. Januar 2005)

1 Ausgedehnte oder tiefgehende Verletzungen der Haut und des Weichteilmantels, Amputationsverletzungen, Muskelkompressionssyndrome, thermische und chemische Schädigungen

2 Verletzungen der großen Gefäße

3 Verletzungen der großen Nervenbahnen einschl. Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischer Symptomatik

4 Offene oder gedeckte Schädel-Hirnverletzungen (ab SHT Grad II)

5 Brustkorbverletzungen mit Organbeteiligung

6 Bauchverletzungen mit operationsbedürftiger Organbeteiligung einschl. Nieren und Harnwege

7 Operativ rekonstruktionsbedürftige Verletzungen großer Gelenke (mit Ausnahme isolierter Bandverletzung des oberen Sprunggelenks sowie isoliertem Riss des vorderen Kreuzbandes und unkomplizierter vorderer Schulterinstabilität)

8 Schwere Verletzungen der Hand

9 Komplexe Knochenbrüche, insbesondere mehrfache, offene und verschobene Frakturen

10 Alle Verletzungen und Verletzungsfolgen mit Komplikationen, fehlendem Heilungsfortschritt und/oder Korrekturbedürftigkeit

Ergänzende „Erläuterungen zum Verletzungsartenverzeichnis" geben zusätzliche Hinweise für die Zuordnung bestimmter Verletzungen.

***§ 37 Vertrag Ärzte/UV-Träger: Verletzungsartenverfahren**

(1) In Fällen, in denen eine Verletzung nach dem Verletzungsartenverzeichnis vorliegt, hat der behandelnde Arzt dafür zu sorgen, dass der Unfallverletzte unverzüglich in ein von den Landesverbänden der DGUV am Verletzungsartenverfahren beteiligtes Krankenhaus überwiesen wird.

(2) Der an diesem Krankenhaus tätige Durchgangsarzt entscheidet nach Art oder Schwere der Verletzung, ob eine stationäre oder ambulante Behandlung erforderlich ist. Er kann die Behandlung ambulant durchführen oder einen anderen qualifizierten Arzt mit der ambulanten Behandlung beauftragen.

(3) Eine Überweisung nach Abs. 1 ist in den Fällen der Ziffer 8 des Verletzungsartenverzeichnisses dann nicht erforderlich, wenn es sich bei dem behandelnden Arzt um einen Handchirurgen handelt, der zur Behandlung Unfallverletzter von einem Landesverband der DGUV zugelassen ist.

(4) ...

Abb. 23.1 Verletzungsartenverzeichnis (Stand 1. Januar 2005)

Ein plötzliches Ereignis wird auch angenommen, wenn es sich in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum abgespielt hat, längstens innerhalb einer Arbeitsschicht. Der ursächliche Zusammenhang zwischen Ereignis und Schaden muss wahrscheinlich sein. Die Umstände, die für den ursächlichen Zusammenhang sprechen, müssen diejenigen überwiegen, die dagegen sprechen. Die bloße Möglichkeit eines Zusammenhangs genügt nicht.

Unfall aus innerer Ursache

Verursacht ein bestehendes Leiden z.B. durch Sturz einen Körperschaden, liegt ein Unfall aus innerer Ursache, aber kein Arbeitsunfall vor. Ein Beispiel: Ein Fahrradfahrer erleidet auf dem Weg zur Arbeit einen Schwächeanfall, der zum Sturz führt. In diesem Fall liegt kein Wegeunfall vor, denn der Versicherte ist ohne Fremdeinwirkung aus innerer Ursache verunfallt. Wenn der Versicherte aber auf einem Gerüst arbeitet und infolge eines epileptischen Anfalls aus großer Höhe stürzt, geht der Gesetzgeber schon von einem Arbeitsunfall aus (Spier et al. 1990).

Gelegenheitsursache

Tritt ein Körperschaden unter bestimmten Umständen ein, die darauf schließen lassen, dass zu seiner Entstehung sowohl ein Vorschaden als auch ein äußeres Ereignis ursächlich beigetragen haben, ist zu prüfen, ob wesentliche Bedingung für den neuen Schaden der Vorschaden war. Ist der Vorschaden allein wesentlich gewesen, spricht man von Gelegenheitsursache. Dem äußeren Ereignis mangelt es an der Ursächlichkeit für den »neuen Schaden«. Körperschäden, die durch Gelegenheitsursachen symptomatisch werden können, sind:

- Bandscheibenprotrusion,
- Leistenhernien,
- Meniskusläsionen,
- Sehnenrisse (Rotatorenmanschette, Bizeps-, Quadrizeps-, Patellar- oder Achillessehne).

Ein **Beispiel**: Ein Versicherter hebt ein 30 kg schweres Paket in gebückter Stellung an. Es handelt sich bei diesem Vorgang um eine täglich vielfach wiederkehrende Tätigkeit. Doch heute verspürt der Versicherte plötzlich Schmerzen im Rücken mit Ausstrahlung ins linke Bein. Er kann allerdings noch weiterarbeiten und begibt sich erst, nachdem sich die Beschwerden verschlimmert haben, in ärztliche Behandlung. Es wird ein Bandscheibenvorfall diagnostiziert und operiert. In den vorausgegangenen 10 Jahren war der Versicherte wiederholt wegen Lumbalgien in ärztlicher Behandlung gewesen. Hier hat es sich um einen normal ablaufenden Hebeakt ohne jede äußere Einwirkung gehandelt, es fehlt somit ein eigentlicher Unfall. Wäre beim Heben das Paket abgerutscht oder

der Versicherte mit einem Fuß ausgeglitten, dann wäre zu prüfen, ob dieses äußere Ereignis oder der Vorschaden wesentliche Bedingung für den Diskusprolaps war (Spier et al. 1990).

Die Fragestellung lautet: Hatte der Vorschaden ein Stadium erreicht, bei dem

- etwa zur gleichen Zeit
- etwa in gleichem Umfang
- bei jedem nicht vermeidbaren Anlass des täglichen Lebens (Drehbewegung, Bücken) oder sogar ohne einen solchen Anlass mit dem »neuen Schaden« zu rechnen war?

Wenn ja, liegt eine Gelegenheitsursache vor. Oder: Je größer das Ausmaß des Vorschadens und je geringfügiger das äußere Ereignis, um so eher handelt es sich um eine Gelegenheitsursache.

Trunkenheit

Trunkenheit steht der Annahme eines Arbeitsunfalls nicht in jedem Fall entgegen. Ein alkoholisierter Verkehrsteilnehmer durchfährt eine ihm als gefährlich bekannte Kurve, die er nüchtern stets mit wesentlich geringerer Geschwindigkeit passiert, und verunglückt. In diesem Fall wird kein Wegeunfall anerkannt. Hält hingegen ein infolge von Alkohol verkehrsuntüchtiger Kraftfahrer auf dem Weg nach Hause ordnungsgemäß vor einer Verkehrsampel und wird dabei von einem anderen Verkehrsteilnehmer angefahren und verletzt, wird schon ein Wegeunfall anerkannt. Ist ein Versicherter volltrunken und damit derart alkoholisiert, dass er zu keiner dem Unternehmen dienenden Tätigkeit mehr in der Lage gewesen wäre, entfällt der Versicherungsschutz in jedem Fall (Spier et al. 1990).

Verschlimmerung

Wenn Unfallfolgen auf dem Boden eines bereits bestehenden Leidens oder einer krankhaften Veranlagung zu zusätzlichen Schäden führen, spricht man im versicherungsrechtlichen Sprachgebrauch von Verschlimmerung.

Mittelbare Unfallfolgen

Mittelbare Unfallfolgen sind Schäden, die rechtlich wesentlich durch Unfallfolgen verursacht werden. Wenn beispielsweise wegen eines vorausgegangenen Arbeitsunfalls eine diagnostische Arthroskopie durchgeführt werden muss und postoperativ entwickelt sich ein Gelenkempyem, dann wäre das Empyem eine mittelbare Unfallfolge. Oder ein Versicherter stürzt aufgrund einer Gehbehinderung, die Folge eines früheren Arbeitsunfalls ist, und verletzt sich, dann ist die neue Verletzung ebenfalls eine mittelbare Unfallfolge (Spier et al. 1990).

Folgeunfall

Grob zusammengefasst gilt ein Unfall dann als Folgeunfall, wenn er bei der Vorbereitung einer Reha-Maßnahme oder bei der Reha selbst eintritt. Ein Folgeunfall liegt nur vor, wenn diesem ein anerkannter Arbeitsunfall vorausgeht. Stellt sich nachträglich heraus, dass der erste Unfall kein Arbeitsunfall war, besteht auch für den Folgeunfall kein Versicherungsschutz.

Mitwirkungspflicht und Zumutbarkeit

Zumutbar sind Maßnahmen, die keinen Eingriff in die körperliche Unversehrtheit darstellen, also die ärztliche Untersuchung, mit Einschränkung auch die Röntgenuntersuchung und Vergleichbares. Dagegen können eingreifende Maßnahmen wie Myelografie, Arthroskopie und andere invasive diagnostische Maßnahmen vom Versicherten abgelehnt werden, ohne dass dies negative Auswirkungen für ihn haben darf.

Fehlende Mitwirkung

Werden z.B. ärztliche Anordnungen nicht befolgt, spricht man von fehlender Mitwirkung. Der Leistungsträger kann dann Geldmittel teilweise oder ganz versagen.

Unterbrechung der haftungsbegründenden Kausalität

Wenn ein Versicherter vernunftwidrig handelt und dadurch den natürlichen Heilverlauf stört oder Unfallfolgen verschlimmert, unterbricht er im rechtlichen Sinn die haftungsbegründende Kausalität. Die durch so ein Verhalten entstehenden Unfallfolgen werden nicht entschädigt. Beispiele: Entgegen ärztlicher Anordnung entfernt ein Verletzter wiederholt den Verband, mit dem eine Schnittwunde versorgt worden war, um »ungehindert« im eigenen Garten arbeiten zu können. In der Folge entwickelt sich eine Sepsis mit bleibendem Herzschaden oder ein Verletzter verweigert grundlos eine medizinisch zwingend erforderliche stationäre Behandlung, wodurch ein bleibender Schaden entsteht. Beispielhaft ist zudem die Ruhigstellung eines Speichenbasisbruchs nach Reposition im Gips, den der Verletzte am nächsten Tag eigenmächtig entfernt und sich in der Folge eine Pseudarthrose entwickelt (Spier et al. 1990).

Vorschaden

Die Unfallversicherung sieht eine abweichende Einschätzung vor, denn der Vorschaden darf nicht einfach vom Grad der Gesamt-MdE abgezogen werden (Hennies 1998). Vielmehr muss von der Erwerbsfähigkeit ausgegangen werden, die vor Eintritt des Zweitschadens bestand und von dieser der Grad der MdE abgezogen werden, der durch den Zweitschaden bedingt wurde. Der Vorschaden kann sowohl zu einer Minderung als auch zu einer Erhöhung oder sogar Potenzierung der Beeinträchtigung führen. So bedeutet der Verlust eines Auges bei vorbestehendem Verlust des anderen statt 30% eine Beeinträchtigung von 100%. Andererseits würde sich eine Pseudarthrose nach Unterschenkelfraktur bei einem Querschnittsgelähmten nicht auf die verbleibende MdE auswirken (Spier et al. 1990).

Rente

Versicherte, deren Erwerbsfähigkeit infolge eines Versicherungsfalls über die 26. Woche nach dem Versicherungsfall hinaus um wenigstens 20 v.H. (v.H. = vom Hundertsatz) gemindert ist, haben Anspruch auf eine Rente. Dieser Wert braucht nicht durch die Folgen eines Arbeitsunfalls allein bedingt sein. Er kann sich auch aus den Folgen mehrerer Unfälle addieren.

Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE)

Die Schätzung der MdE wird aus medizinischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht vorgenommen und auf den allgemeinen Arbeitsmarkt bezogen, nicht auf die vor dem Unfall ausgeübte Tätigkeit. Die MdE wird anhand von Erfahrungswerten (s. Rententabellen im Anhang des Kapitels) geschätzt, wobei immer auch die Schwere des jeweils zu begutachtenden Falls mitberücksichtigt wird.

Die MdE muss durch ein ärztliches Gutachten begründet sein. Verwaltungen und Gerichte sind durch das ärztliche Gutachten jedoch nicht gebunden. Die Einschätzung des Gutachters ist eine Empfehlung, der die Ämter nicht folgen müssen, wenngleich dies in der Regel der Fall sein dürfte. Im Rahmen des Ersten Rentengutachtens wird die vorläufige Rente festgelegt. Spätestens am Ende des 3. Jahrs nach dem Unfall wird die Rente auf unbestimmte Zeit ermittelt.

Zur Schätzung der MdE sind die Erwerbsmöglichkeiten des Versicherten vor dem Unfall mit 100 v.H. zu veranschlagen und den nach dem Unfall verbliebenen Möglichkeiten gegenüberzustellen. Die Differenz ergibt die MdE.

Eine MdE, die zu berücksichtigen ist, muss wenigstens 10 v.H. betragen. Darunter liegende Werte sind vor dem Gesetz ohne Bedeutung, mit der Begründung, sie seien wirtschaftlich nicht messbar. Vor diesem rechtlichen Hintergrund setzen die Versicherungsträger ein MdE, die kleiner als 10 v.H. ist, mit Null gleich. Der Höchstsatz der MdE beträgt 100 v.H. Zwischen 10 und 100 v.H. kann die MdE zu jeweils 5 v.H. Schritten abgestuft werden: Also 10, 15, 20, 25, 30, 35 v.H. usw. Ausnahmen sind die beiden MdE-Grade ein Drittel und zwei Drittel, entsprechend 33 1/3 bzw. 66 2/3 v.H.

Haben ein Arbeitsunfall oder eine Berufskrankheit zu Schäden an mehreren Körperteilen oder Organen geführt, darf die Gesamt-MdE nicht durch bloße Addition der für die einzelnen Körperschäden angenommenen Einzelsätze ermittelt werden. Entscheidend ist, wie sehr sich die Einzelschäden insgesamt auf die Erwerbsfähigkeit auswirken. Hierzu zwei Rechenexempel: Der Verlust der rechten Hand ist mit einer MdE von 60 v.H. und der des linken Beins mit 70 v.H. bewertet. Eine Addition ergäbe mit 130 v.H. einen irrealen Wert. Die tatsächliche Gesamt-MdE beträgt in diesem Fall 100 v.H. Der Verlust des rechten Daumens mit einer MdE von 20 v.H. und des linken Zeigefingers von 10 v.H. ergäbe in der bloßen Addition dagegen mit 30 v.H. u.U. einen zu niedrigen Wert, denn die tatsächliche Gesamt-MdE beträgt in diesem Fall eventuell mehr als 30 v.H., weil beide Hände stark beeinträchtigt sind (Spier et al. 1990).

Gestützte oder »kleine Renten«

Wie oben ausgeführt, gewähren die Versicherungsträger erst ab einer MdE von 20 v.H. eine Rente. Dennoch ist es wichtig, auch eine verbleibende MdE von nur 10 v.H. zu dokumentieren, denn eine MdE im rentenberechtigenden Ausmaß kann auch durch mehrere gestützte oder »kleine Renten« zustande kommen. Es werden jedoch nur solche Unfälle berücksichtigt, die eine MdE von wenigstens 10 v.H. hinterlasen haben.

Rentenberechnung

Die Unfallrente wird aus dem Jahresarbeitsverdienst des Vorjahrs und der MdE berechnet. Die Vollrente beträgt zwei Drittel des Jahresarbeitsverdiensts, die Teilrente den der MdE entsprechenden Teil dieser zwei Drittel (Tab. 23.3).

Der Anspruch des Versicherten auf Geldleistungen ist nicht daran gebunden, ob er durch den Unfall einen Einkommensverlust hinnehmen musste. Vielmehr soll er für die objektivierbaren, körperlich erlittenen Unfallfolgen entschädigt werden. Dies macht deutlich, warum auch solche Folgen berentet werden, die die Arbeitskraft des Betroffenen nicht unmittelbar beeinträchtigen, sondern ihn anderweitig belasten, z.B. entstellende Narben, Impotenz bzw. Libidoverlust oder Folgen, die ihn potenziell bedrohen, wie etwa das Postsplenektomiesyndrom nach Verlust der Milz. Dadurch erklärt sich auch, warum für verunfallte Kinder, Schüler und Studierende ebenfalls die MdE eingeschätzt werden muss, obwohl sie ja nicht erwerbstätig sind. Der Gesetzgeber sieht für diese Personengruppen denselben Ausgleich wie für Berufstätige vor.

Leistungen

Die Unfallversicherungsträger kommen nicht nur für die Heilbehandlung und die Verletztenrente auf, sondern sie decken darüber hinaus ein breites Spektrum an Leistungen ab:

- Pflegegeld für Hilfsbedürftige,
- Betriebs- und Haushaltshilfen in der Landwirtschaft,
- Berufshilfe im Rahmen der Rehabilitation,
- Verletztengeld für Arbeitsunfähige,
- Übergangsgeld für Umschüler.

Tab. 23.3 Berechnungsbeispiel einer monatlichen Teilrente bei einem Jahresarbeitsverdienst von € 34.316,30 € und einer MdE von 30 v.H.

Berechnungsgrundlage	€
Jahresarbeitsverdienst	34.316,30
Die Vollrente für ein Jahr entspricht 2/3 des Jahresarbeitsverdiensts	22.877,53
Die monatliche Vollrente entspricht 1/12 der Vollrente für ein Jahr	1906,46
Die Teilrente der Vollrente für ein Jahr beträgt bei einer MdE von 30 v.H.	6863,26
Die monatliche Teilrente der Vollrente beträgt bei einer MdE von 30 v.H.	571,94

Es besteht aber kein Anspruch auf Schmerzensgeld oder Entschädigung von Sachschäden. Nur die eingetretenen Körperschäden werden berücksichtigt.

Der Versicherte hat Anspruch auf eine Verletztenrente nach Beendigung der Heilbehandlung und bei Wiedereintritt der Arbeitsfähigkeit, wenn eine MdE über die 26. Woche hinaus besteht. Wird er hingegen nicht wieder arbeitsfähig, beginnt die Rente nachdem eine Heilbehandlung oder Berufshilfe soweit abgeschlossen ist, dass er eine geeignete Berufs- oder Erwerbsfähigkeit aufnehmen kann oder wenn absehbar ist, dass er wegen der Art und Schwere der Verletzung beruflich nicht wieder eingegliedert werden kann und somit ein Endzustand erreicht ist.

Rente bei Kindergartenkindern, Schülern und Studierenden

Auch bei Kindergartenkindern, Schülern und Studierenden muss die MdE über die 26. Woche hinaus bestehen und im Allgemeinen mindestens 20% betragen. Bei Merhhoff u. Muhr (1999) heißt es zu diesem Thema weiter, dass bei der Einschätzung der MdE so zu verfahren sei, »als stünden die Kinder, Schüler oder Studierenden dem Arbeitsmarkt bereits zur Verfügung. Auswirkungen des Arbeitsunfalls auf die besondere erzieherische und schulische Situation bleiben dabei unberücksichtigt.« Die MdE wird in der Regel vom Tage nach dem Arbeitsunfall an eingeschätzt. Als Anhaltspunkte zur Einschätzung des Grades der MdE werden die in Tab. 23.4 aufgeführten Kriterien herangezogen. Falls man mit diesen Eckdaten allein zu keiner schlüssigen Einschätzung gelangt, kann man auf die Informationsschriften der Gemeinde-Unfallversicherungsverbände zurückgreifen.

Die Händigkeit spielt nur noch in der Schülerunfallversicherung eine Rolle. Für die spätere Feststellung der MdE ist es wichtig, die Dauer der jeweiligen Behandlungsschritte (Tab. 23.4) exakt zu dokumentieren.

Außerhalb des organisatorischen Verantwortungsbereich der Schule sind auch die Tätigkeiten nicht versichert, die wesentlich durch den Schulbesuch bedingt sind. Dazu gehören beispielsweise Hausaufgaben oder Nachhilfeunterricht. Andererseits sind Studenten, wenn sie Bibliotheken, Seminare oder Institute zu Studienzwecken außerhalb von Unterrichtsveranstaltungen aufsuchen oder sich an Exkursionen beteiligen, schon versichert. Auch der allgemeine Hochschulsport gehört dazu, nicht aber die Beschäftigung mit der Diplomarbeit außerhalb der Hochschule oder ein Praktikum in einem gewerblichen Betrieb.

Für Kinder, Schüler und Studenten braucht die Dauer der Arbeitsunfähigkeit nicht festgestellt zu werden, auch nicht fiktiv, wenn diese nicht im Erwerbsleben stehen. Vielmehr muss jedoch die Schulfähigkeit eingeschätzt und ggf. unter besonderen Bedin-

Tab. 23.4 Kriterien zur Einschätzung der MdE bei Kindern, Schülern und Studenten. Die Behandlungsdauer wird zum Gradmesser der MdE, dabei schlägt sich die Händigkeit nieder

Behandlungsdauer	Grad der MdE
Stationärer Aufenthalt	100
Liegegips	100
Oberschenkelgehgips	50
Unterschenkelgehgips	40
Oberarmgips	
– am Gebrauchsarm	60
– am Nichtgebrauchsarm	40
Unterarmgips	30
Ober- oder Unterarmgips beider Arme	100

gungen beurteilt werden. Beispielsweise könnte die Schulfähigkeit gegeben sein, wenn der Schüler ein Taxi benutzen kann. Die Notwendigkeit muss vom Durchgangsarzt festgestellt werden. Der Unfallversicherungsträger übernimmt dann die Kosten. Pflegegeld wird bezahlt, wenn z.B. bei einem beidseitigen Unterarmbruch Pflegebedürftigkeit besteht, und Kleidermehrverschleißgeld, wenn eine Orthese getragen werden muss.

23.2.2 Gesetzliche Rentenversicherung

Die gesetzliche Rentenversicherung übernimmt nicht nur die Altersversorgung des Versicherten, sondern entschädigt ihn auch bei Berufs- oder Erwerbsunfähigkeit und seine Hinterbliebenen im Todesfall. Da die Folgen eines Arbeitsunfalls oder einer Berufskrankheit eine Berufs- oder Erwerbsunfähigkeit nach sich ziehen oder zum Tode führen können, muss sich der Gutachter auch mit Fragestellungen aus diesem Bereich auseinandersetzen.

Terminologie

Berufsunfähigkeit

Eine Berufsunfähigkeit liegt vor, wenn die Erwerbsfähigkeit des Versicherten durch Krankheit oder andere Gebrechen und Schwächen seiner körperlichen oder geistigen Kräfte auf weniger als die Hälfte derjenigen eines körperlich und geistig Gesunden mit ähnlicher Ausbildung und gleichwertigen Kenntnissen und Fähigkeiten abgesunken ist. Der Kreis der Tätigkeiten, nach denen die Erwerbsfähigkeit eines Versicherten zu beurteilen ist, umfasst alle Tätigkeiten, die seinen Kräften und Fähigkeiten entsprechen und ihm unter Berücksichtigung der Dauer und des Umfangs seiner Ausbildung sowie seines Berufs und der besonderen Anforderungen seiner bisherigen Berufstätigkeit zugemutet werden können.

Die Frage der Kausalität spielt bei der Einschätzung der Berufsunfähigkeit keine Rolle (Ulsenheimer 1999).

Erwerbsunfähigkeit

Um jemandem Erwerbsunfähigkeit bescheinigen zu können, muss er weitaus umfassender körperlich und geistig beeinträchtigt sein als für die Berufsunfähigkeit (Izbicki et al. 1992). Erwerbsunfähigkeit wird anerkannt, wenn der Versicherte infolge von Krankheit oder anderen Gebrechen oder von Schwäche seiner körperlichen oder geistigen Kräfte auf nicht absehbare Zeit eine Erwerbstätigkeit in gewisser Regelmäßigkeit nicht mehr ausüben oder nicht mehr als nur geringfügige Einkünfte durch Erwerbstätigkeit erzielen kann.

Nicht erwerbsunfähig ist, wer eine selbstständige Erwerbstätigkeit ausübt (Ulsenheimer 1999).

Alter

Der Versicherungsfall tritt in der Regel mit Vollendung des 65. Lebensjahrs ein. Unter bestimmten Voraussetzungen kann er aber auf das 63. Lebensjahr vorgezogen werden. Für Frauen gilt das 60. Lebensjahr. Schwerbehinderte, Berufsunfähige, Erwerbsunfähige oder Arbeitslose können ebenfalls vorgezogen, u.U. schon ab dem 60. Lebensjahr berentet werden. Um in den Genuss einer Rente zu kommen, muss eine Mindestversicherungszeit von 60 Monaten durchlaufen worden sein. Diese Wartezeit gilt jedoch in jedem Fall als erfüllt, wenn der Versicherte durch einen Arbeitsunfall oder eine Berufskrankheit geschädigt wurde.

23.2.3 Recht der Bundesversorgung

Das Recht der Bundesversorgung (BVG) sieht Ansprüche auf Versorgung für Personen vor, die durch eine militärische und militärähnliche Dienstverrichtung oder durch einen Unfall während der Ausübung des militärischen oder militärähnlichen Diensts oder durch die diesem Dienst eigentümlichen Verhältnisse eine gesundheitliche Schädigung erlitten haben. Dazu gehören auch Schäden, die durch unmittelbare Kriegseinwirkung, Kriegsgefangenschaft, Internierung oder als offensichtliches Unrecht anzusehende Straf- oder Zwangsmaßnahmen im Zusammenhang mit militärischem oder militärähnlichem Dienst entstanden sind (Izbicki et al. 1992).

Die Vorschriften gelten nicht nur für Soldaten, sondern auch für Zivildienstleistende, für Häftlinge und für Personen, die Ansprüche nach dem Bundesseuchengesetz wegen Impfschäden oder nach dem Opferentschädigungsgesetz (OEG) geltend machen. Dieses Gesetz sorgt für Personen, die durch Gewalttaten gesundheitlich beeinträchtigt wurden oder entschädigt im Todesfall deren Hinterbliebene.

Der Geschädigte hat Anspruch auf eine Beschädigtenrente, wenn er dauernd um mindestens 30 v.H. in seiner Erwerbsfähigkeit gemindert ist. Dabei ist der Begriff der »Minderung der Erwerbsfähigkeit« anders als in der gesetzlichen Unfallversicherung definiert, denn bei der Einschätzung sollen auch die seelischen Begleiterscheinungen und Schmerzen sowie der spezielle Beruf des Geschädigten mitberücksichtigt werden.

23.2.4 Private Unfallversicherung

Allgemeine Richtlinien

Verfahren

Der Versicherungsnehmer muss einen Unfall unverzüglich seiner Versicherungsgesellschaft anzeigen und spätestens am 4. Tag nach dem Unfall einen Arzt zuziehen. Er muss durch entsprechende Mitwirkung an der Behandlung der Unfallfolgen dafür sorgen, dass diese gemindert werden. Er muss der Versicherung sachdienliche Auskünfte erteilen und den behandelnden Arzt von seiner Schweigepflicht entbinden. Im Todesfall müssen die Angehörigen die Versicherung innerhalb von 48 h telegrafisch informieren.

Der Versicherer wiederum muss sich innerhalb eines Monats äußern, ob er eine etwaige Todesfallsumme, Tagegeld oder Heilkosten trägt. Ob eine entstandene Invalidität anerkannt wird, muss der Versicherer innerhalb von 3 Monaten entscheiden.

Man kann sich für Unfall, Krankheit, Alter und Tod privat versichern. Die private Unfallversicherung sieht eine finanzielle Entschädigung für den Verlust oder die Minderung der Arbeitsfähigkeit vor und beinhaltet meist auch zusätzliche Leistungen wie Krankenhaustage- oder Genesungsgeld. Im Gegensatz zur gesetzlichen Unfallversicherung sind neben den Arbeitsunfällen auch private Unfälle versichert.

Terminologie

Unfall

Ein Unfall liegt vor, wenn der Versicherte durch ein plötzlich von außen auf seinen Körper einwirkendes Ereignis unfreiwillig eine Gesundheitsschädigung erleidet (§ 1 Abs. III der »Allgemeinen Unfallversicherungsbedingungen«).

Vorschaden

In § 10 Nr. 4 der »Allgemeinen Unfallversicherungsbedingungen« heißt es zum Begriff Vorschaden: Wenn vor Eintritt des Unfalls der Versicherte schon durch Krankheit oder Gebrechen in seiner Arbeitsfähigkeit dauernd behindert war oder Körperteile oder Sinnesorgane ganz oder teilweise verloren oder gebrauchsunfähig gewesen sind, so wird von der nach dem Unfall vorhandenen Gesamtinvalidität ein Abzug gemacht, welcher der schon vorher vorhanden gewesenen Invalidität entspricht. Die Leistungspflicht des Versicherers mindert sich demnach, wenn sich derartige Vorschäden neben dem Unfall auswirken, es sei denn, dieser Anteil beträgt weniger als 25%. Bei höheren Graden ab 25% wird der Vorschaden zum Berechnungselement für den durch Unfallfolgen verursachten Invaliditätsgrad.

Dauerschaden

Hier gilt:

- Führt ein Unfall innerhalb eines Jahrs zum Tod des Versicherten, wird die Höhe der Entschädigung durch die versicherte Todesfallsumme bestimmt.
- Ein verbleibender Dauerschaden, man spricht in diesem Zusammenhang von Invalidität, wird nur angenommen, wenn er innerhalb des 1. Jahrs nach dem Unfall eingetreten ist.
- Bei der Festsetzung der Höhe des Dauerschadens wird das Schadensausmaß zugrunde gelegt, das bis längstens 3 Jahre nach dem Unfall eingetreten ist. Alle später möglichen oder wahrscheinlichen Verschlechterungen oder Besserungen werden nicht berücksichtigt.
- Die völlige Gebrauchsunfähigkeit einer Gliedmaße wirkt sich für den Betroffenen wie ein Gliedmaßenverlust aus und wird wie dieser bewertet.
- Bei Verlust oder Gebrauchsunfähigkeit mehrerer Körperteile werden die Prozentsätze addiert und ab einem Wert von 100% eine Vollinvalidität zugrunde gelegt.
- Bei der Einschätzung der Gebrauchsminderung wird die Händigkeit und der Beruf des Versicherten außer Acht gelassen und eine abstrakte Einschätzung vorgenommen.
- Die Minderung der Gebrauchsfähigkeit einer Gliedmaße wird nicht in Prozent, sondern in Bruchteilen angegeben (1/10, 1/7, 1/5, 1/4, 1/3 etc.).
- Wenn bei den Unfallfolgen andere Krankheiten oder Gebrechen mitgewirkt haben, muss die Leistung diesem Einfluss entsprechend gekürzt werden. Ein Anteil, der kleiner als 25% ist, braucht jedoch nicht mehr berücksichtigt zu werden.

Leistungen

Anders als in der gesetzlichen Unfallversicherung, wo es neben finanziellen Leistungen auch den abstrakten Schadenersatz und Sachleistungen gibt (s. oben), kennt die private Unfallversicherung nur Geldleistungen, die anhand der Invaliditätsgrade festgelegt werden (Tab. 23.5).

Tab. 23.5 Invaliditätsgrade (so genannte Gliedertaxe) bei Verlust einer Gliedmaße oder eines Sinnesorgans. Bei teilweiser Gebrauchsfähigkeit wird der Invaliditätsgrad entsprechend reduziert.

Verlust	Invaliditätsgrad v.H.
Eines Arms im Schultergelenk	70
Eines Arms bis oberhalb des Ellenbogengelenks	65
Eines Arms unterhalb des Ellenbogengelenks	60
Einer Hand im Handgelenk	55
Eines Daumens	20
Eines Zeigefingers	10
Eines anderen Fingers	5
Eines Beins über Oberschenkelmitte	70
Eines Beins bis Oberschenkelmitte	60
Eines Beins bis unterhalb des Knies	50
Eines Beins über Unterschenkelmitte	45
Eines Fußes im Fußgelenk	40
Einer Großzehe	5
Einer anderen Zehe	2
Eines Auges	50
Des Gehörs auf einem Ohr	30
Des Geruchs	10
Des Geschmacks	5

23.3 Gutachtenaufbau

23.3.1 Deckblatt

Auf dem Deckblatt sind der Gutachter und dessen Arbeitsanschrift aufgeführt. Als nächstes werden Ort und Datum der Gutachtenerstellung genannt. Dann folgen die Adresse des Auftraggebers und darunter die Betreffzeile, die folgende Daten nennen soll:

- Name und Anschrift des Versicherten mit Geburtsdatum,
- Datum des zu begutachtenden Unfalls oder
- Berufskrankheit mit Nummer,
- Aktenzeichen der Versicherungsgesellschaft.

Zuletzt wird der Auftrag formuliert, dabei kann man meist die Fragen, die im Schreiben der jeweiligen Versicherungsgesellschaft aufgeführt sind, wörtlich übernehmen.

23.3.2 Gliederung

Für die Erstellung von freien Gutachten ist es sehr hilfreich, wenn man immer nach einem standardisierten Aufbau vorgeht. Orientiert man sich an den jeweils unterschiedlichen Vorlagen der einzelnen Versicherungsgesellschaften, verbraucht man unnötig Zeit,

um die äußere Form der Vorlage anzupassen. Viel einfacher ist es, Vorgeschichte, Befund, Zusammenfassung und Einschätzung des verbliebenen Schadens nach einem eigenen Schema darzustellen. Sobald die Vorgeschichte nach Aktenlage aufgearbeitet ist, entfällt alles weitere mühsame und zeitraubende Vor- und Zurückblättern in den oft sehr umfangreichen Akten.

Diktieren spart Zeit

Der Anfänger wird seine ersten Gutachten anhand von Notizen, die er sich bei der Anamnese des Patienten und dessen Untersuchung macht, erstellen, denn zunächst fehlt der Überblick über Gutachtenaufbau und -ablauf. Es würde den Anfänger überfordern, wenn er gleich zum Diktiergerät greifen müsste.

Der fortgeschrittene Gutachter jedoch wird mehr und mehr dazu übergehen, das Gutachten gleich bei der Untersuchung des Versicherten zu diktieren. Das hat 2 wesentliche Vorteile: Erstens entfällt das zeitraubende Notieren der Angaben des Versicherten zur Vorgeschichte und des Untersuchungsbefundes, zweitens kann der Patient alles mithören und ggf. korrigierend eingreifen oder – und dies ist die Regel – die korrekte Darstellung des Sachverhalts bestätigen, was man im Gutachtentext vermerken sollte. Man spart dabei sehr viel Zeit. Wenn sich irgendwelche Unklarheiten ergeben, kann man den Patienten selbst befragen. Man braucht die Unterlagen nicht zweimal durchzuarbeiten, wie es meistens der Fall ist, wenn man den Patienten erst untersucht und das Gutachten zu einem späteren Zeitpunkt diktiert. Mit Beendigung der Untersuchung hat man den größten Teil des Gutachtens fertig diktiert und kann es bereits nach Erhalt der Röntgenbilder abschließen.

Grundsätzlich ist es sehr empfehlenswert, Gutachten möglichst noch am Tag der Untersuchung zu Ende zu bringen, weil erfahrungsgemäß schon am nächsten die Erinnerung an den Patienten lückenhaft wird. Die Einschätzung ist am exaktesten, wenn man sie gleich nach Erhalt der bildgebenden Diagnostik vornimmt. Da beim Großteil der unfallchirurgischen Patienten meist nur Röntgenaufnahmen als Zusatzuntersuchung anstehen, lässt sich dies zeitlich häufig realisieren. Sollten irgendwelche Untersuchungen notwendig sein, die erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden können, empfiehlt es sich, das Gutachten vorläufig abzuschließen und sich Notizen zu machen über den zu erwartenden Befund der noch fehlenden Untersuchung und die jeweiligen Konsequenzen daraus. Dann hat man es viel leichter, Wochen später, wenn der Befund eintrifft, den Faden wiederaufzunehmen, und das Gutachten lässt sich schnell zu Ende bringen.

Das oben beschriebene Vorgehen ist das effektivste Mittel gegen rasch wachsende Aktenberge.

Das Schema zur Erstellung freier Gutachten deckt sich im Kern mit dem Konzept des Ersten Rentengutachtens und, bezüglich der Vorgeschichte, mit dem Aufbau des Zusammenhangsgutachtens (Übersicht).

Gliederung eines freien Gutachtens

1. Vorgeschichte
   - Nach Aktenlage
     - Unfallunabhängig
     - Unfallhergang, Behandlung und Verlauf
   - Nach Angaben des Versicherten
     - Unfallunabhängig
     - Unfallhergang, Behandlung und Verlauf
2. Untersuchung des Versicherten am... [Datum]...
   - Beschwerden
   - Allgemeinbefund
   - Lokalbefund
   - Röntgenbefund
3. Beurteilung
   - Zusammenfassung der Unfallfolgen
   - Einschätzung der Beeinträchtigung

23.3.3 Vorgeschichte

Die Vorgeschichte wird anhand der Angaben, die den Akten zu entnehmen sind, und denen, die der Versicherte selbst macht, erhoben und miteinander verglichen. Dabei sollte erkennbar bleiben, woher die Angaben stammen (Mollowitz 1993). Deshalb bietet sich die oben aufgeführte Gliederung der Vorgeschichte an.

Nach Aktenlage

Die Vorgeschichte nach Aktenlage sollte möglichst knapp zusammengefasst werden, ohne wichtige Dinge auszulassen. Dabei empfiehlt es sich, chronologisch vorzugehen, denn dadurch bekommen Gutachter und Leser den besten Überblick. Gerade wenn die Akten sehr umfangreich sind, kann es sehr viel Mühe kosten, die jeweiligen Arztbriefe, Versicherungsanfragen, Röntgen- und andere Zusatzbefunde, Atteste, Arbeitsunfähigkeitszeiten usw. in sinnvoller und dadurch einprägsamer Reihenfolge abzuhandeln. Deshalb sollten die Unterlagen nach Möglichkeit chronologisch vorsortiert sein, und zwar beginnend beim ältesten Akteneintrag, Brief o.Ä. und endend beim aktuellsten.

Unfallunabhängig

Berücksichtigt werden die in den Akten aufgeführten Krankheiten, Gebrechen, Vorunfälle oder Voroperationen, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem zu begutachtenden Unfall stehen. Dabei interessiert den Gutachter insbesondere, ob etwaige vorbestehende Krankheiten vorliegen, die das Unfallgeschehen oder die Unfallfolgen beeinflusst haben könnten. Dies hat unter Umständen Einfluss auf den Entschädigungsanspruch des Versicherten. Hier ist auch der Begriff des Vorschadens von Bedeutung (s. oben). In den meisten Fällen enthalten die Krankenunterlagen unfallchirurgischer Patienten keine Angaben zu unfallunabhängigen Erkrankungen. In diesen Fällen schreibt man: »Hierzu liegen uns keine Angaben vor.«

Unfallhergang, Behandlung und Verlauf

Unfalltag, Uhrzeit und Ort werden aufgeführt. Anschließend schildert man kurz, wie sich das Ereignis zugetragen hat. Bei der Klärung von Zusammenhangsfragen muss unter Umständen weiter ausgeholt werden, weil der Unfallhergang dann eine besonders wichtige Rolle spielen kann. Dementsprechend akribisch sollte er dargestellt werden.

Dann werden in knapper Form Behandlung und Verlauf geschildert. Darin sollten folgende Aspekte enthalten sein:

- Erstbefund,
- Diagnose(n),
- Art der Therapie,
- Verlauf,
- Arbeitsunfähigkeitszeiten.

Erstbefund

Der Erstbefund soll knapp die klinischen und die im Rahmen bildgebender Diagnostik erhobenen Befunde enthalten, sodass daraus

die sich anschließende Aufzählung der Diagnosen nachvollziehbar wird. Der Erstbefund braucht nicht den Wortlaut des Akteneintrags wiederzugeben, sondern soll die für die Begutachtung wichtigen Aspekte in knapper Form aufgreifen.

Diagnosen

Die Diagnosen selbst sollten nach Möglichkeit nicht wahllos durcheinander aufgezählt werden, weil dies insbesondere dann die Orientierung für den Sachverständigen und die künftigen Leser des Gutachtens erschwert, wenn es sich um einen polytraumatisierten Patienten handelt. Polytraumatisierte haben häufig zahlreiche Verletzungen unterschiedlicher Lokalisation und Schwere erlitten. Eine Einteilung nach dem Schweregrad vorzunehmen ist problematisch, weil gerade bei Schwerverletzten mehrere lebensbedrohliche Verletzungen gleichzeitig bestehen können und man dann vor dem Problem der Gewichtung steht.

Im eigenen Vorgehen hat sich die Aufzählung in kraniokaudaler Reihenfolge bewährt. Man beginnt am Schädel und führt anschließend die Verletzungen des Körperstamms auf, wobei für die jeweiligen Körperabschnitte auch unter dem Aspekt einer etwaig anstehenden Zusatzbegutachtung verschiedene Diagnosen zusammengefasst werden können (▶ Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens). Kraniokaudal geordnete Diagnosen sind viel leichter merkbar und einprägsamer als eine Listung, die keinem Ordnungskriterium folgt.

Bagatellverletzungen, die so geringfügig sind, dass sie aller Voraussicht nach keinen Dauerschaden verursachen werden, sind nur am Rande von Interesse und werden deshalb aus der zentralen Betrachtung heraus ans Ende der Liste gerückt. Dadurch werden Aufmerksamkeit und Konzentration des Lesers auf die entscheidenden Dinge gelenkt (▶ Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens).

Die zu Anfang aufgestellte Reihenfolge der Diagnosen soll sich wie ein roter Faden durch das gesamte Gutachten ziehen, an dem sich der Leser immer wieder neu orientieren kann.

Art der Therapie

Wie in einem Arztbrief wird nun den einzelnen Diagnosen die jeweils durchgeführte Therapie zugeordnet. Das erspart lange Formulierungen und ist zudem sehr übersichtlich (▶ Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens).

Verlauf

Die Schilderung des Verlaufs sollte möglichst knapp sein und nur die für die Begutachtung relevanten Aspekte enthalten, damit die Aufmerksamkeit des Lesers nicht ermüdet. Die Schilderung enthält auch die Dauer der einzelnen stationären Aufenthalte und Anschlussheilbehandlungen.

Arbeitsunfähigkeitszeiten

Die Arbeitsunfähigkeitszeiten sollten ebenfalls genannt werden, weil diese bei der Einschätzung des Heilverlaufs und der späteren Einschätzung der MdE oder Invalidität mitberücksichtigt werden müssen.

Nach Angaben des Versicherten

Unfallunabhängig

Viele Patienten verneinen die Frage, ob sie außer an den Unfallfolgen an irgendwelchen anderen Krankheiten leiden. Fragt man anschließend, ob sie regelmäßig Medikamente einnehmen, wird dies dagegen häufig bejaht. Dann stellt sich z.B. heraus, dass Aspirin wegen einer koronaren Herzkrankheit, ein Antihypertensivum oder Antidiabetikum genommen wird. Dahinter steckt in der Regel jedoch nicht die Absicht, dem Gutachter Krankheiten zu verschweigen. Das Ausklammern solcher Leiden aus der Betrachtung rührt vielmehr meist daher, dass die Patienten sich durch den Bluthochdruck oder die Zuckerkrankheit nicht eingeschränkt fühlen. Neben den Vorerkrankungen wird auch nach Vorunfällen und Voroperationen und daraus resultierenden Folgeschäden gefragt.

Bei Unfallschäden im Bereich der Wirbelsäule, der Schulter-, Hüft- und Kniegelenke können degenerative Vorschäden eine bedeutende Rolle spielen. Deshalb sollte man gezielt danach fragen und ggf. bei der Krankenkasse ein Register über frühere Arbeitsunfähigkeitszeiten anfordern.

Unfallhergang, Behandlung und Verlauf

Nachdem man Unfallhergang, Behandlung und Verlauf bereits anhand der Aktenunterlagen für den Versicherten gut vernehmbar diktiert hat, kann nun nachgefragt werden, ob diese Darstellung korrekt war oder ob er dazu etwas ergänzen möchte. Wenn ja, werden die entsprechenden Sachverhalte ergänzt, wenn nicht, hält man fest: »Die Angaben des Versicherten decken sich mit den Aktenunterlagen.«

23.3.4 Untersuchung des Verletzten

Beschwerden

Nun folgt der zweite große Teil des Gutachtens, die Untersuchung. Dabei fragt man zunächst, welche Beschwerden aus einem Unfall verblieben sind. Handelt es sich um eine Monoverletzung, dann braucht die Diagnose an dieser Stelle nicht wieder genannt zu werden. Bei einer Mehrfachverletzung oder einer aufwändigen Begutachtung eines ehemals Polytraumatisierten kann auf einfache Weise eine gute Übersicht erreicht werden: Die einzelnen Verletzungen werden wiederum in kraniokaudaler Reihenfolge abgearbeitet. Zur besseren Orientierung werden die Diagnosen erneut aufgeführt werden. Damit nicht der Eindruck entsteht, dies diene nur der Verlängerung des Gesamtumfangs und damit der Steigerung der Kostenrechnung, können die sich wiederholenden Begriffe kleingedruckt werden (▶ Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens).

Die subjektiven Beschwerden und Beeinträchtigungen, unter denen der Versicherte leidet, werden festgehalten. Überdies fragt man nach Zuständen, die die Patienten häufig vergessen anzugeben:

- Wetterfühligkeit,
- Schwellneigung,
- Anlaufschmerzen,
- Gelenksperren,
- Instabilitätsgefühl,
- Nervenausfälle,
- geistige oder
- seelische Beeinträchtigung.

Die geäußerten Beschwerden sollten nach Möglichkeit in der Wortwahl des Patienten widergegeben werden. Die indirekte Rede dient dabei als Stilmittel, um klarzustellen, dass es sich um die Aussage des Versicherten handelt. Nicht jede Verletzung hinterlässt Folgebeschwerden, dann schreibt man: »Es werden keine Beschwerden angegeben« (▶ Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens).

Allgemeinbefund

Der Allgemeinbefund kann in einem rein unfallchirurgischen Gutachten kurzgehalten werden. Das Alter des Patienten wird genannt sowie etwaige äußerlich sichtbare Krankheitszeichen, z.B. eine auffällige Verfärbung der Haut, übermäßige Fettleibigkeit, Kurzat-

migkeit etc. Dann werden Körpergröße und -gewicht festgehalten. Man kann sich dabei auf die Angaben des Patienten stützen, sollte dies aber vermerken.

Lokalbefund

Im Lokalbefund werden die Verletzungsfolgen beschrieben. Handelt es sich um einen gesunden Patienten, kann man sich bei der Untersuchung auf die ehemals verletzten Körperteile beschränken und braucht nicht den gesamten Bewegungsapparat inklusive Körperstamm einzubeziehen, da die Fragestellung nur auf die reinen Verletzungsfolgen abzielt. Dadurch spart der Gutachter viel Zeit, der Leser Konzentration und der Auftraggeber Geld.

Es gibt aber auch Fälle, bei denen eine komplette körperliche Untersuchung notwendig ist. Wenn z.B. der Grad der Behinderung eingeschätzt werden soll, müssen alle körperlichen Gebrechen lückenlos erfasst werden, sonst kann kein umfassendes Urteil abgegeben werden.

Kopf

Bei der Beurteilung des knöchernen Schädeldachs sollen etwaige Defekte oder Verwerfungen erfasst werden. Die äußere Form von Augen, Ohren und Nase sowie Pupillenreaktion und -weite werden inspiziert. Beschaffenheit und Größe etwaiger Narbenzüge werden beschrieben. Man tastet die Nervenaustrittspunkte und prüft, ob sie druckschmerzhaft sind. Die Gesichtsmuskulatur soll seitengleich innerviert sein. Die Schleimhaut von Mundhöhle und Rachenring wird beurteilt, der Würgereflex geprüft und der Zustand des Gebisses (saniert/sanierungsbedürftig) dokumentiert. Auffällige Veränderungen der Sprache werden vermerkt, z.B. stockendes oder verwaschenes Sprechen.

Hals

Die Karotispulse werden ertastet und nach vergrößerten Lymphknoten gesucht. Zudem fahndet man nach Strömungsgeräuschen der Karotiden. Die Konsistenz, Größe und Verschieblichkeit der Schilddrüse und der Kehlkopf werden untersucht, etwaige Narbenzüge vermerkt.

Brustkorb

Form und Symmetrie des Brustkorbs werden notiert. Zur Orientierung dienen dabei u.a. der Schultergürtel, die Schulterblätter und die Mamillen. Wiederum werden Narbenzüge vermerkt. Man sucht nach Instabilitäten und testet, ob ein Thoraxkompressionsschmerz besteht. Beim Ein- und Ausatmen müssen sich die Rippenbögen seitengleich heben und senken. Die Lungengrenzen werden auskultatorisch und perkutorisch bestimmt und die Qualität des Atemgeräuschs beurteilt. Inwieweit dies auch für die Herzgrenzen und Herztöne möglich ist, hängt von der Erfahrung und der fachlichen Provenienz des Untersuchers ab. Blutdruck und Herzfrequenz ergänzen den thorakalen Status.

Bauchraum

Die Bauchdecken werden palpiert und die Bruchpforten auf Hernien abgesucht. Länge und Beschaffenheit etwaiger Narbenzüge müssen ebenfalls dokumentiert werden. Es wird nach druckschmerzhaften Arealen im Bereich der Bauchdecken gesucht und die Größe von Leber und Milz beurteilt. Die Nierenlager sollen nicht klopfschmerzhaft sein. Die Hohlorgane werden auskultiert und perkutiert.

Wirbelsäule, Rücken

Man inspiziert zunächst den Aufbau der Wirbelsäule und des Rückens und beurteilt die Symmetrie des Schulter- und Beckengürtels. Skoliosen, Gibbusbildungen, Schulterhoch- und Beckentiefstand werden vermerkt. Die Ausbildung der Muskulatur muss genauso beurteilt werden wie deren Spannungszustand. Der Rücken wird abgetastet. Areale, die einen Muskelhartspann aufweisen, werden festgehalten. Anschließend wird die Dornfortsatzreihe von kranial nach kaudal abgeklopft, um etwaige klopfschmerzhafte Wirbelsäulenabschnitte zu erfassen. Beim Fallenlassen aus dem Zehenspitzenstand auf die Fersen kann unter Umständen im Bereich der Brust- oder Lendenwirbelsäule ein Stauchungsschmerz ausgelöst werden. Für die Halswirbelsäule wird dies durch axialen Druck auf den behaarten Kopf getestet. Wiederum werden Narbenzüge ausgemessen. Die Beweglichkeit wird in einem speziellen »Messblatt für die Wirbelsäule« festgehalten (◘ Abb. 23.2). Mit verschiedenen Funktionstests wie Lasègue-, Bragard- und dem umgekehrten Lasègue-Test lassen sich verschiedene Wurzelreizungen abgrenzen (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests).

Obere Gliedmaßen

Form und Symmetrie der oberen Gliedmaßen werden miteinander verglichen. Die muskulären Umfänge sollten in etwa gleich sein; allerdings kann die Händigkeit dies erheblich beeinflussen. Ein Rechtshänder, der hauptsächlich seinen Gebrauchsarm benutzt, kann auf dieser Seite ein deutliches muskuläres Übergewicht zeigen. Dementsprechend unterschiedlich wird dann auch die Kraftentfaltung beim Hochziehen der Arme gegen Widerstand, beim Händedruck und Fingerhakeln sein. Der Grad der Beschwielung sagt etwas darüber aus, in welchem Ausmaß die jeweilige Extremität eingesetzt bzw. geschont wird. Narbenzüge werden vermerkt. Man fahndet nach Bewegungs- oder Druckschmerzen. Beim Durchbewegen der großen Gelenke tastet man nach Gelenkreiben insbesondere im Bereich der Schulterhöhe, des Ellenbogen- und Handgelenks. Schwellungszustände lassen sich im Seitenvergleich erkennen. Der Pulsstatus ist einfach durch Tasten der Radialispulse zu erheben.

Spezielle Funktionstests (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) sind für eine differenzialdiagnostische Beurteilung sehr hilfreich. Dazu gehören u.a. die Stabilitätstests für Schulter und Ellenbogengelenk, die insbesondere nach stattgehabten Kapsel-Band-Verletzungen dieser Gelenke wichtige Erkenntnisse bringen können. Die Bewegungsausmaße und muskulären Umfänge werden in einem speziellen »Messblatt für die oberen Gliedmaßen« eingetragen (◘ Abb. 23.3). Bezüglich der einzelnen Werte wird auf das Messblatt verwiesen. Im freien Text sollte jedoch der wesentliche Befund zusammengefasst werden, z.B. folgendermaßen: »Deutliche Bewegungseinschränkung im rechten Ellenbogengelenk bei Streckung und Beugung mit Verschmächtigung der Oberarmmuskulatur im Vergleich zur unverletzten Seite.«

Alle Winkelmessungen beziehen sich auf das Ausmaß der aktiven Beweglichkeit. Wenn eine Extremität gelähmt ist, wird die passive Beweglichkeit, als solche ausgewiesen, festgehalten.

Untere Gliedmaßen

Wiederum werden Form und Symmetrie, diesmal der unteren Gliedmaßen, miteinander verglichen. Die muskulären Umfänge sollen nicht differieren. Die Kraftentwicklung beim Durchbewegen der Beine soll seitengleich sein. Man sucht nach Bewegungs- oder Druckschmerzen und tastet dabei nach Gelenkreiben, diesmal insbesondere im Bereich der Kniegelenke. Schwellungszustände sind im Seitenvergleich erkennbar. Man sucht nach Varizen oder erweiterten Venen. Der Pulsstatus enthält die Palpation der Aa. dorsalis pedis und tibialis posterior. Der Grad der Beschwielung gibt Aufschluss über die Belastbarkeit und die Form des Fußgewölbes, die im

Az.: , Name:

Messblatt Wirbelsäule

(nach der Neutral-0-Methode)

Größe in cm: Gewicht in kg:

HWS

Vorneigen/Rückneigen (Abb. 1)

Seitneigen re./li. (Abb. 2)

Drehen re./li. (Abb. 3)

Kinnspitzenschulterhöhenabstand
bei maximaler Drehseitneigung re./li.

BWS und L

Seitneigen re./li. (Abb. 4)

Drehen im Sitzen re./li. (Abb. 5)

Liegen/Jugulumabstand (cm) (Abb. 6)

Aktive Aufrichtung aus Rückenlage
Messstrecke Liege - DF C7

Fingerbogenabstand (cm)

a) Ott (Abb. 7)
Messstrecke DF C7 30 cm caudal

b) Schober (Abb. 7)
Messstrecke DF S1 10 cm cranial

c) Messstrecke 10 cm mit Mittelpunkt (Abb. 7)
DF L 1

Beckentiefstand (cm) re./li.

Seitverbiegung

Schulterstand (rechts tief/links tief)

Sagittale Verbiegung (kyphotische oder lordotische Fehlform):

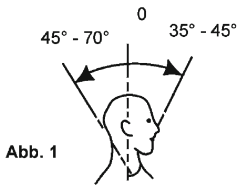


Abb. 1

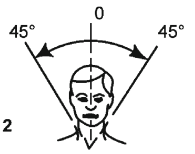


Abb. 2

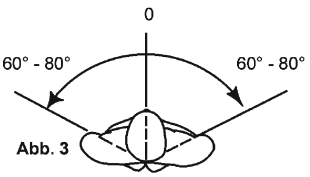


Abb. 3

Abb. 4

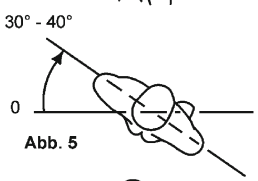


Abb. 5

Abb. 6

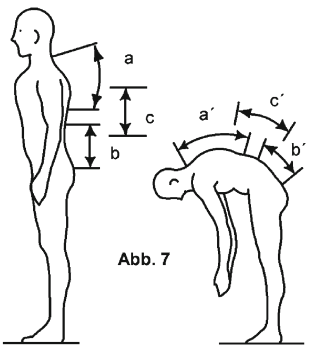


Abb. 7

a : a´ = 30 : 32
b : b´ = 10 : 15

Abb. 23.2 Messblatt für die Wirbelsäule

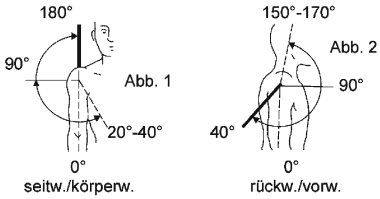
Name: Aktenzeichen:

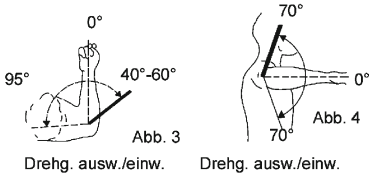
Untersuchungstag:

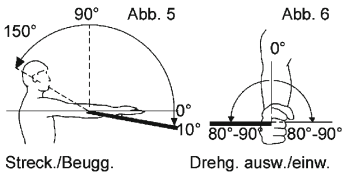
☐ Rechtshänder ☐ Linkshänder

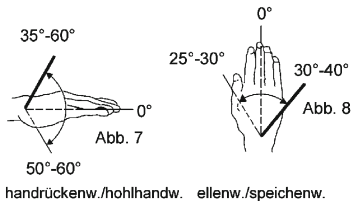
Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode)

	Rechts			Links		
Schultergelenke:						
Arm seitw. / körperw. (Abb. 1)						
Arm rückw. / vorw. (Abb. 2)						
Arm ausw. / einw. drehen (Oberarm anliegend) (Abb. 3)						
Arm ausw. / einw. (Oberarm 90° seitw. abgeh.) (Abb. 4)						
Ellenbogengelenke:						
Streckung / Beugung (Abb. 5)						
Unterarmdrehung:						
ausw. / einw. (Abb. 6)						
Handgelenke:						
handrückenw. / hohlhandw. (Abb. 7)						
ellenw. / speichenw. (Abb. 8)						
Fingergelenke: Abstände in cm:	II	III	IV	V	II	III	IV	V
Nagelrand / quere Hohlhandfalte (Abb. 9)								
Nagelrand / verl. Handrückenebene (Abb. 10)								
Daumengelenke: Streckung/Beugung:						
Grundgelenk						
Endgelenk						
Abspreizung (Winkel zwischen 1. und 2. Mittelhandknochen)						
In der Handebene (Abb. 11)	0			0		
Rechtwinklig zur Handebene (Abb. 12)	0			0		
	II	III	IV	V	II	III	IV	V
Ankreuzen, welche Langfingerkuppen mit der Daumenspitze erreicht werden können								
Handspanne: Größter Abstand in cm zwischen Daumen- und Kleinfingerkuppe						
Umfangmaße in cm: (Hängender Arm)						
15 cm ob. äußerem Oberarmknorren						
Ellenbogengelenk						
10 cm unt. äußerem Oberarmknorren						
Handgelenk						
Mittelhand (ohne Daumen)						
Armlänge in cm:						
Schulterhöhe / Speichenende						
Stumpflängen in cm:						
Schulterhöhe / Stumpfende						
Äuß. Oberarmknorren / Stumpfende						









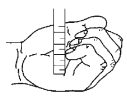


Abb. 9

Abb. 10

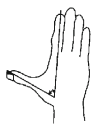


Abb. 11

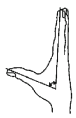


Abb. 12

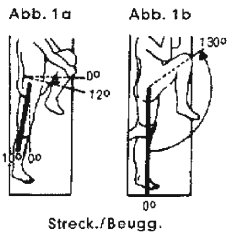
Abb. 23.3 Messblatt für obere Gliedmaßen

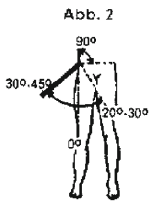
Messblatt für Untere Gliedmaßen (nach der Neutral-O-Methode)

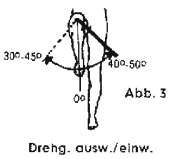
Name	Untersuchungstag

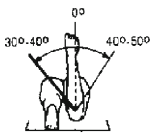
geb.	Aktenzeichen	Standbein: Rechts/links

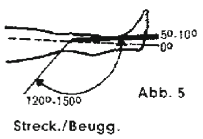
	Rechts			Links		
Hüftgelenke:						
Streck/Beugung (Abb.1a u. 1b)						
Abspreiz/Anführen (Abb.2)						
Dreh g. ausw./einw. (Hüftgelenk 90° gebeugt) (Abb.3)						
Dreh g. aus./einw. (Hüftgelenk gestreckt) (Abb.4)						
Kniegelenk:						
Streck/ Beugung (Abb.5)						
Obere Sprunggelenke:						
Heben/Senken d. Fußes (Abb.6)						
Untere Sprunggelenke:						
Ges.Beweglichkeit (Fußaussenr heb./senk.) (Abb. 7a/7b)						
(in Bruchteilen der normalen Beweglichkeit)						
Zehengelenke:						
(in Bruchteilen der normalen Beweglichkeit)						
Umfangmaße in cm:						
20 cm ob. inn. Knie-Gelenkspalt						
10 cm ob. inn. Knie-Gelenkspalt						
Kniescheibenmitte.....						
15 cm unterh. inn. Gelenkspalt						
Unterschenkel, kleinster Umfang						
Knöchel.....						
Rist über Kahnbein.....						
Vorfußballen.....						
Beinlänge in cm:						
Vord. ob. D-beinstachel - Aussen-knöchelsp						
Stumpflänge in cm:						
Sitzbein - Stumpfende.....						
Inn. Knie-Gelenkspalt - Stumpf-ende						

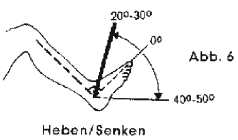












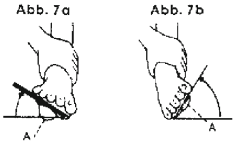


Abb. 23.4 Messblatt für untere Gliedmaßen

Stehen beurteilt wird. Narbenzüge werden vermerkt. Spezielle Funktionstests (▶ Kap. 19, Klinische Untersuchungstests) für Hüfte, Knie und Sprunggelenk geben wertvolle Aufschlüsse über die Stabilität der Gelenke und evtl. intraartikuläre pathologische Befunde wie Meniskuseinrisse, retropatellare Schäden oder einen Gelenkerguss. Das Ausmaß der Beweglichkeit und die Muskelumfänge werden im »Messblatt für untere Gliedmaßen« (◘ Abb. 23.4) dokumentiert. Man verweist darauf und fasst im freien Text die wesentlichen Befunde z.B. folgendermaßen zusammen: »Massive Bewegungseinschränkung im linken unteren Sprunggelenk mit deutlicher Verschmächtigung der Ober- und Unterschenkelmuskulatur im Vergleich zur unverletzten Seite.« Zudem werden Gang und Stand beurteilt. Es wird vermerkt, ob der Patient hinkt oder ein normales Gangbild zeigt, ob der Einbeinstand rechts bzw. links sicher und balancefähig ist, ob er auf Zehenspitzen und den Fersenballen gehen und Kniebeugen ausführen kann.

Ein häufiger Anfängerfehler beim Erstellen von Gutachten ist, dass in der Rubrik Lokalbefund alles Mögliche auftaucht und abgehandelt wird. Nur das, was den am Ende des Gutachtens ausgewiesenen Grad der MdE oder Invalidität begründet, ist nicht vermerkt. In diesem Fall ist es für den Sachbearbeiter, Richter oder Beratungsarzt, der über die Höhe einer Rente oder Entschädigung befinden soll, nicht nachvollziehbar, worin die verbliebene körperliche Beeinträchtigung besteht. Das Gutachten ist wertlos. Strenggenommen müsste ein neues Gutachten in Auftrag gegeben werden, um herauszufinden, auf welchen körperlichen Schäden die Beeinträchtigung basiert.

Man sollte daher im Gutachten immer darauf achten, dass im Lokalbefund alle eingetretenen Schäden akribisch beschrieben werden.

Insbesondere für den Anfänger ist es hilfreich, wenn er, bevor er diesen Abschnitt beendet, noch einmal die vom Patienten angegebenen Beschwerden durchsieht. Dabei entdeckt er evtl., was bisher unberücksichtigt geblieben ist. Wenn der Versicherte z.B. eine Einschränkung der Beweglichkeit, ein Gelenkreiben, eine Berührungsempfindlichkeit, eine Nervenstörung, eine Schwellneigung oder muskuläre Schwäche angegeben hat, dann müssen diese Aspekte auch im Befund abgehandelt werden. Am Ende muss sich in der Zusammenfassung der verbliebenen Unfallfolgen ein schlüssiges Bild ergeben, das entstanden ist aus den aufeinander folgenden Gliederungspunkten: Vorgeschichte, Diagnose, Beschwerden und Befund.

◘ Tab. 23.6 soll eine Arbeits- und Erinnerungshilfe für das Erstellen des Lokalbefundes sein. Darin ist in Form von Checklisten aufgeführt, was im Befund der jeweiligen Körperregion untersucht werden soll.

Messblätter

Die Messbögen nach der Neutral-Null-Methode für die Wirbelsäule und die oberen und unteren Gliedmaßen sollten unbedingt vollständig ausgefüllt werden. Die Angabe zur Händigkeit darf ebenfalls nicht fehlen, weil sie wichtige Rückschlüsse zulässt, wenngleich die Einschätzung der MdE heute unabhängig von der dominanten Seite ist. Ist z.B. das Ellenbogengelenk betroffen, reicht es nicht aus, für die benachbarten Gelenke, Schulter- und Handgelenk, lediglich »beidseits frei« zu vermerken, anstatt die verlangten Bewegungsmaße zu dokumentieren. Dadurch werden insbesondere geringe Bewegungsdefizite der Nachbargelenke häufig übersehen. Solche Defizite sind relativ häufig. Sie entstehen durch die Gebrauchsbeeinträchtigung der ehemals verletzten Extremität und können so diskret sein, dass sie nicht bereits beim Durchbewegen, sondern erst beim exakten Ausmessen der Beweglichkeit der einzelnen Gelenke

◘ **Tab. 23.6** Checkliste für die Befunderhebung an den verschiedenen Körperregionen

Körperregion	Beurteilung*
Kopf	Knöchernes Schädeldach
	Augen, Ohren, Nase
	Nervenaustrittspunkte im Gesicht
	Funktion der Gesichtsmuskulatur
	Mundhöhle mit Rachenring und Zähnen
	Sprache
Hals	Pulse (Strömungsgeräusche)
	Lymphknoten
	Schilddrüse
	Kehlkopf
Brustkorb	Form, Symmetrie
	Kompressionsschmerz
	Auskultations- und Perkussionsbefund
	Blutdruck, Frequenz
Bauchraum	Bauchdecken, Bruchpforten
	Druckschmerz
	Leber, Milz, Nierenlager
	Auskultations- und Perkussionsbefund
Wirbelsäule, Rücken	Form, Symmetrie
	Skoliose, Gibbus
	Schulterhoch-, Beckentiefstand
	Muskulatur (Schwäche, Hartspann)
	Druck-, Klopf-, Stauchungsschmerz
	Beweglichkeit (Messblatt)
	Lasègue, Bragard
Obere Gliedmaßen	Form, Symmetrie
	Muskulatur, Kraftentwicklung im Seitenvergleich
	Hände: Beschwielung, Kraftentwicklung (Händigkeit?)
	Bewegungs- oder Druckschmerz, Gelenkreiben
	Schwellungszustände
	Pulsstatus
	Spezielle Funktionstests: Schulter, Ellenbogen, Hand
	Beweglichkeit, Muskelumfänge (Messblatt)
Untere Gliedmaßen	Form, Symmetrie
	Muskulatur, Kraftentwicklung im Seitenvergleich
	Bewegungs- oder Druckschmerz, Gelenkreiben
	Schwellungszustände, Varizen
	Pulsstatus
	Fußgewölbe, Beschwielung
	Kniebänder, Menisken, Patella
	Spezielle Funktionstests: Becken, Hüfte, Knie, Sprunggelenk
	Beweglichkeit, Muskelumfänge (Messblatt)
	Gangbild, Einbeinstand, Kniebeuge

*Grundsätzlich soll die Beschaffenheit und Länge von Narben untersucht und vermerkt werden.

auffallen. Die exakte Ermittlung der Beweglichkeit aller Gelenke ist außerdem als Ausgangswert zum Vergleich mit späteren Gutachten zur Beurteilung des Verlaufs über die Jahre von Bedeutung.

Was die Umfangsmaße anbelangt, wird eine gewisse Messfehlerbreite eingeräumt, denn durch eine nur geringfügige Abweichung der Messpunkte im Seitenvergleich können schon merkliche Umfangsdifferenzen resultieren. Es wird daher mehr die Tendenz einer etwaigen Änderung zum Vorgutachten gewürdigt als der absolute Vergleich der jeweiligen Werte miteinander. Außerdem können diese Messwerte durch andere Unfallfolgen oder unfallunabhängige Erkrankungen überlagert oder in ihrer Tendenz verstärkt werden. Eine Muskelatrophie kann z.B. durch die Folgen eines postthrombotischen Syndroms maskiert werden. Daher genügt es nicht, auf die ermittelten Bewegungs- und Umfangmaße lediglich zu verweisen, sondern diese Befunde müssen vom Gutachter zusätzlich mit ein, zwei Sätzen kommentiert werden. Das hilft überdies, Übertragungsfehler, die beim Notieren der einzelnen Werte unbemerkt auftreten können, zu erkennen.

Messbögen sollten immer komplett ausgefüllt werden. Etwaige Seitendifferenzen sollte der Gutachter kurz zusammenfassen und interpretieren.

Röntgendiagnostik

Röntgen

In der Unfallchirurgie reichen meist Röntgenbilder als bildgebende Diagnostik aus. Man lässt die üblichen Standardprojektionen anfertigen, sollte dabei aber immer im Auge behalten, dass die Zahl der Aufnahmen auf das notwendige Maß begrenzt bleiben. Gerade Mehrfachverletzte und Polytraumatisierte müssen sehr viel geröntgt werden. Nach Möglichkeit sollte daher auf bereits vorhandene Aufnahmen zurückgegriffen werden. In der Regel können Aufnahmen, die nicht älter als 3 Monate sind, zur Beurteilung herangezogen werden. Wenn das Intervall zwischen Unfall und Begutachtungszeitraum größer als 2 Jahre ist, können auch Bilder ausreichen, die älter als 3 Monate sind.

Seitenvergleich

Vielfach wird im Rahmen der Gutachtenerstellung grundsätzlich im Seitenvergleich geröntgt. Dabei bringt der Seitenvergleich nicht in jedem Fall zusätzliche Aufschlüsse. Dies belegt allein die Tatsache, dass in dem Standardwerk zur Begutachtung, dem **Unfallmann** von Mollowitz (1998), auf S. 278 im ▶ Abschn. »Untersuchungsmethoden« kein Wort zum Röntgenseitenvergleich gesagt wird und auch nicht im Standardwerk **Arbeitsunfall und Berufskrankheit** von Schönberger et al. (1998), in dem auf S. 183 »Bildgebende Verfahren und Kontrastdarstellung« abgehandelt werden.

Vermutlich hat sich der generelle Seitenvergleich eingebürgert, um den ohnehin aufwändigen organisatorischen Ablauf einer Begutachtung zu vereinfachen. Es gilt ja nicht nur, die Termine zwischen den zu untersuchenden Patienten und dem Gutachter zu koordinieren, sondern die oft aufwändige Röntgendiagnostik im Routineprogramm der jeweiligen Röntgenabteilung unterzubringen. Dennoch ist dies nicht Argument genug, um generell von vorn herein einen Seitenvergleich anzufordern. Das klingt auch in folgendem Hinweis, der sich im oben zitierten Standardwerk von Schönberger et al. auf S. 183 findet, an: »Im Gutachtenauftrag ist hinzuweisen, dass weitere Röntgenaufnahmen nur gefertigt werden, wenn dies für die Beurteilung erforderlich ist (§ 96 SGB X).«

Wann ist ein Seitenvergleich gerechtfertigt? Zur Beurteilung von Schaftfrakturen wird meist kein Seitenvergleich benötigt. Finden sich jedoch Knickbildungen oder Verkürzungen des Schafts, ist ein Seitenvergleich zumindest in einer Ebene hilfreich, um das Ausmaß der betreffenden Veränderung einschätzen zu können. Soll geklärt werden, ob Veränderungen an einem Gelenk Folge des zu begutachtenden Unfalls sind, lassen sich degenerative Schäden von posttraumatischen im Bereich der Extremitäten anhand von Vergleichsaufnahmen der Gegenseite abgrenzen. In diesen Fällen ist ein Seitenvergleich sinnvoll. Das Gleiche gilt bei manifestem Morbus Sudeck. Hingegen erfordert ein völlig normaler Röntgenbefund selbstverständlich keinen Seitenvergleich, um zweifelsfrei urteilen zu können, dass ein Unfall keinen radiologisch fassbaren Folgeschaden hinterlassen hat.

Es kann also nicht generell davon ausgegangen werden, dass ein Seitenvergleich auch tatsächlich eine Mehrinformation liefert. Deshalb erscheint es logisch so vorzugehen, wie es auch für die Beurteilung von Röntgenaufnahmen des kindlichen Skeletts empfohlen wird. Man röntgt zunächst die verletzte Seite. Falls kein eindeutiger Befund erhoben werden kann oder irgendwelche Fragen offen bleiben sollten, wird die Gegenseite zum Vergleich herangezogen.

Obwohl es organisatorischen Mehraufwand bedeutet, sollten Vergleichsaufnahmen erst nach Sichtung der Aufnahmen der ehemals verletzten Extremität nur in den Fällen angeordnet werden, bei denen ein Seitenvergleich auch tatsächlich eine echte Mehrinformation erwarten lässt.

Spezielle Fragestellungen

Zur Beurteilung spezieller Fragestellungen können CT oder MRT, Sonografie oder eine Untersuchung der Bandstabilität mit gehaltenen Aufnahmen bzw. einem Arthrometer indiziert sein.

Zusatzgutachten

Fragestellungen, die in die Kompetenz anderer Fachgebiete gehören, müssen im Rahmen von Zusatzgutachten abgeklärt werden. Gerade ehemals polytraumatisierte Patienten weisen häufig Unfallfolgen auf neurologischem, HNO-ärztlichem oder MKG-chirurgischem Fachgebiet auf. Nicht minder häufig sind internistische oder urologische Fragestellungen. Bevor ein oder mehrere Zusatzgutachten in Auftrag gegeben werden können, muss das Einverständnis des Auftraggebers eingeholt werden, wenn dies nicht schon im Vorfeld zusammen mit dem Gutachtenauftrag erteilt wurde.

23.3.5 Beurteilung

Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen

In der Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen soll in aller Kürze aufgeführt werden, welche nennenswerten durch den Unfall entstandenen Beeinträchtigungen vom Gutachter objektiv festgestellt werden konnten. Damit das Ganze möglichst übersichtlich dargestellt und »auf den Punkt« gebracht werden kann, soll man an dieser Stelle auf ganze Sätze verzichten und sich darauf beschränken, die verschiedenen Beeinträchtigungen aufzureihen (Abschnitt 23.4.1, das Beispiel eines Freien Gutachtens).

In die Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen gehören nur objektiv fassbare Befunde – nicht die subjektiven Beschwerden des Versicherten.

Einschätzung der Beeinträchtigung

Anschließend kann auf die Fragen eingegangen werden, welche die Versicherungsgesellschaft in ihrem Anschreiben formuliert hat.

Beschwerden, Befund

Zunächst wird nach den jetzigen Beschwerden und dem Untersuchungsbefund der Verletzungsfolgen gefragt. Hier reicht der Hinweis auf Teil 2 des angefertigten Gutachtens aus. Außerdem will der Auftraggeber in der Regel wissen, ob die geklagten Beschwerden mit dem objektiven Befund übereinstimmen. Besteht in seltenen Ausnahmefällen eine Aggravationstendenz, muss der Gutachter diese Einschätzung begründen können.

Vorschaden

Dann wird nach Vorschäden aus anderen Unfällen, degenerativen Erkrankungen oder Leiden gefragt, die die Unfallfolgen verschlimmert haben könnten. Typische Beispiele sind degenerative Vorerkrankungen im Bereich der Wirbelsäule, der Schulter-, Hüft- oder Kniegelenke oder posttraumatische Veränderungen aus früheren Unfällen.

Ausmaß der Beeinträchtigung

Als Nächstes wird nach der Einschätzung des Ausmaßes der Beeinträchtigung gefragt. Die Berufsgenossenschaften wollen den Grad der Minderung der Erwerbsfähigkeit wissen, die privaten Versicherer den Grad der Invalidität bzw. die Gebrauchsbeeinträchtigung von Gliedmaßen und die Sozialgerichte den Grad der Behinderung (s. dazu die Rententabellen im Anhang des Kapitels). Bei privaten Versicherern muss sich der Gutachter überdies festlegen, ob es sich um einen Endzustand handelt oder ob eine weitere Nachuntersuchung angezeigt ist.

Anteil des Vorschadens

Nun möchte der Auftraggeber wissen, ob Vorschäden oder Krankheiten und Gebrechen an den jetzt bestehenden Unfallfolgen mitgewirkt haben. Wenn dem so ist, steht der Gutachter vor der schwierigen Aufgabe, einschätzen zu müssen, in welchem Ausmaß die aktuell bestehende Beeinträchtigung auf einen etwaigen Vorschaden zurückzuführen und inwieweit sie rein unfallbedingt ist.

Hat der Vorschaden vor dem Unfallereignis keine Ausfallzeiten bedingt, und gibt der Versicherte an, dadurch nicht nennenswert beeinträchtigt gewesen zu sein, kann man davon ausgehen, dass der Einfluss des Vorschadens unter 25% liegt. Im Rahmen der privaten Unfallversicherungen ist dieser dann zu vernachlässigen, und die noch bestehenden Beeinträchtigungen werden als ausschließliche Folgen des Unfalls anerkannt. Die Berufsgenossenschaften hingegen berücksichtigen auch einen Anteil unter 25%.

Der Vorschaden wird jedoch bei der Einschätzung der Unfallfolgen auf jeden Fall dann berücksichtigt, wenn Ausfallzeiten bestehen und der Versicherte entsprechende vorbestehende Beschwerden angibt oder der Gutachter aufgrund der Schwere des Vorschadens davon ausgehen muss, dass solche bestanden haben. Häufig wird der Einfluss halbiert. 50% der jetzigen Beeinträchtigung werden dann dem Vorschaden, 50% den Unfallfolgen zugerechnet.

Herausgabe des Gutachtens

Zuletzt wird gefragt, ob das Gutachten an den Versicherten weitergegeben werden kann. In der Regel werden aus Sicht des Gutachters dagegen keine Einwände bestehen. Eine Ausnahme gilt dann, wenn der Inhalt des Gutachtens den Versicherten in irgendeiner Weise belastet.

23.4 Gutachtenformen

23.4.1 Freies Gutachten

Im Folgenden ist am Beispiel eines ehemals polytraumatisierten Patienten der Aufbau eines freien Gutachtens exemplarisch dargestellt:

Beispiel eines freien Gutachtens

Auf Ihre Veranlassung hin, mit Schreiben vom... [Datum]... , erstatten wir Ihnen in oben genannter Unfallsache ein

Freies fachärztliches Gutachten aus der Unfallchirurgie

Das Gutachten stützt sich auf die Durchsicht der Aktenunterlagen (es folgt eine Aufzählung der vorhandenen Akten, Befunde, Arztbriefe etc. in chronologischer Reihenfolge) und die persönliche Untersuchung der/des Verletzten am... [Datum]... im... [Klinik/Ort].

1 Vorgeschichte

1.1 Nach Aktenlage

1.1.1 Unfallunabhängig

Hierzu liegen uns keine Angaben vor.

1.1.2 Unfallhergang, Behandlung und Verlauf

Herr Müller verunfallte am 02.04.2002 um 17.00 Uhr auf der Bundesstraße…..kurz vor Unterunsbach als Fahrer eines Pkw. Er war in einer Rechtskurve auf die Gegenfahrbahn geraten und mit einem entgegenkommenden Fahrzeug kollidiert. Die Erstversorgung am Unfallort erfolgte durch den Notarzt. Nach dessen Angaben war der Patient primär bewusstlos gewesen. Nach Intubation und Stabilisierung der Kreislaufparameter wurde Herr Müller mit dem Rettungshubschrauber in die Notaufnahme unseres Klinikums gebracht.

Bei Aufnahme bot sich folgendes Bild: Intubierter Patient. Blutung aus der Nase bei Brillenhämatom. Prellmarken im Stirnbereich mit oberflächlicher Schürfung. Instabiler Thorax links. Abgeschwächtes Atemgeräusch links thorakal. Multiple Schürfwunden links thorakal. Sonografisch freie Flüssigkeit im Oberbauch beidseits und im Douglas-Raum. Der Bauchraum wirkt volumenvermehrt. Die Darmgeräusche sind spärlich. Das Becken ist bei klinischer Prüfung stabil. Frakturzeichen am linken Oberarmschaft. Am rechten Unterarm finden sich 2 je 4 cm lange Risswunden, die bis in die Subkutis reichen. Klinische Frakturzeichen finden sich auch im Bereich des linken Oberschenkels und des linken Fersenbeins. Beide Extremitätenabschnitte sind deutlich geschwollen. Der Weichteilmantel ist intakt. Anhand der bildgebenden Diagnostik und des weiteren Verlaufs wurden folgende Verletzungen festgestellt:

1. Schädel-Hirn-Trauma 3. Grades mit frontobasaler Fraktur und Verlust des Geruchsinns
2. Thoraxkontusion mit Hämatopneumothorax links bei Serienfraktur der linken 2.–8. Rippe
3. Stumpfes Bauchtrauma mit Milzruptur
4. Humerusschaftfraktur links mit Radialisparese
5. Femurschaftfraktur links
6. Kalkaneusfraktur links
7. Multiple Schürfungen und Risswunden

Während des stationären Aufenthalts wurde folgende Therapie durchgeführt:

ad 1: neurochirurgische Exploration mit Versorgung der Frontobasis am 11.04.02,
ad 2: Thoraxdrainage am 02.04.02, kontrollierte Beatmung,
ad 3: Laparotomie mit Splenektomie am 02.04.02,
ad 4: geschlossene Reposition und Anlage eines Fixateur externe am 02.04.02, Verfahrenswechsel auf Verriegelungsnagel am 04.04.02,
ad 5: geschlossene Reposition und Anlage eines Fixateur externe am 02.04.02, Verfahrenswechsel auf Verriegelungsnagel am 04.04.02,
ad 6: offene Reposition und Plattenosteosynthese am 14.04.02,
ad 7: Wundversorgung, Tetanus-Simultan-Impfung am 02.04.02.

Herr Müller wurde bis 03.04.02 auf der Intensivstation behandelt und konnte anschließend auf die unfallchirurgische Normalstation übernommen werden. Er wurde während der ersten 24 h nach dem Unfall beatmet. Fremdblut musste nicht gegeben werden. Nach Mobilisierung wurde er am 22.04.02 zur Anschlussheilbehandlung in die Reha-Klinik nach Bad Brunn verlegt, wo er bis 06.06.02 stationär weiterbehandelt wurde. Anschließend ambulante Weiterbetreuung durch uns. Erneuter stationärer Aufenthalt vom 30.03.04 bis 06.04.04 zur Implantatentfernung an Oberarm, Oberschenkel und Ferse.

1.2 Nach Angaben des Versicherten

1.2.1 Unfallunabhängig

Herr Müller berichtet, dass er nie ernsthaft krank gewesen sei. Er habe die üblichen Kinderkrankheiten durchgemacht. Eine regelmäßige Medikamenteneinnahme wird verneint. 1988 Appendektomie. 1989 Tonsillektomie. Es bestehen keine Vorunfälle, aus denen Folgeschäden verblieben wären.

1.2.2 Unfallhergang, Behandlung und Verlauf

Die Angaben des Versicherten decken sich mit den Aktenunterlagen. Ergänzend dazu gibt Herr Müller an, dass er ab dem 01.09.02 seine Berufstätigkeit als technischer Zeichner wieder aufgenommen habe.

2 Untersuchung des Versicherten am 02.10.04

2.1 Beschwerden

ad 1: (Schädel-Hirn-Trauma 3. Grades mit frontobasaler Fraktur und Verlust des Geruchsinns): Das Gedächtnis für Zahlen und Namen habe stark nachgelassen. Er habe den Geruchssinn verloren, was ihn im täglichen Leben sehr beeinträchtigen würde. In Gesellschaft fühle er sich deshalb oft unsicher. Der Geschmacksinn sei nicht mehr wie früher. Seit dem Unfall würden immer wieder Kopfschmerzen auftreten mit einer Frequenz von 3- bis 4-mal pro Woche. Vor dem Unfall habe er nur ganz selten Kopfschmerzen gehabt.

ad 2: (Thoraxkontusion mit Hämatopneumothorax links bei Serienfraktur der 2.–8. Rippe links): Von Seiten der Rippenbrüche habe er keine Beschwerden mehr. Er habe auch keine Atembeschwerden.

ad 3: (Stumpfes Bauchtrauma mit Milzruptur): Gelegentlich verspüre er schneidende Leibschmerzen. Ballaststoffreiche Nahrung wie Orangen oder Kohl würde er überhaupt nicht mehr vertragen.

ad 4: (Humerusschaftfraktur links mit Radialisparese): Er habe starke Schmerzen in der Schulter, wenn er den Arm vom Körper abspreizen würde. Um den linken Arm hochheben zu können, müsse er den rechten zu Hilfe nehmen. Überkopfarbeiten sei nicht möglich. Die Streckbarkeit der Finger habe sich in den letzten Monaten deutlich gebessert. Er habe zwar noch wenig Kraft, aber in letzter Zeit auch diesbezüglich Fortschritte bemerkt. Daumen und Zeigefinger seien streckseitig noch immer taub.

ad 5: (Femurfraktur links): Es bestünden Schmerzen im Bereich der Narbe. Er könne auf der linken Seite nicht längere Zeit liegen. Der ehemalige Bruchbereich sei wetterfühlig.

ad 6: (Kalkaneusfraktur links): Das Fersenbein würde die größten Beschwerden verursachen. Er könne höchstens 1 km weit einigermaßen schmerzfrei gehen, ab dann würden die Schmerzen deutlich zunehmen. Am schlimmsten sei unebenes Gelände. Er käme nur mit festem Schuhwerk zurecht und sei auf orthopädische Schuhe angewiesen. Insbesondere morgens beim Aufstehen habe er starke Schmerzen. Der Fuß sei dann wie eingerostet. Erst wenn er ein paar Schritte gegangen sei, würde sich dieser Zustand bessern. Die Abrollbewegung sei beeinträchtigt. Er sei deutlich wetterfühlig und es bestünde eine Schwellneigung im Unterschenkel- und Fußbereich.

ad 7: (Multiple Schürfungen und Risswunden): Die Schürfungen und Risswunden seien alle gut verheilt. Die Narben seien allesamt unauffällig und würden ihn nicht weiter stören.

2.2 Allgemeinbefund

Es handelt sich um einen 25-jährigen Mann. Äußerlich keine auffälligen Krankheitszeichen sichtbar. Körpergröße nach Angaben des Versicherten 180 cm, Körpergewicht 76 kg.

2.3 Lokalbefund

ad 1: (Schädel-Hirn-Trauma 3. Grades mit frontobasaler Fraktur und Verlust des Geruchsinns): Im Bereich des knöchernen Schädeldachs keine Defekte oder Verwerfungen. Die äußere Form von Augen, Ohren und Nase ist unauffällig. Die Pupillen reagieren seitengleich auf Licht und Konvergenz. Reizfrei, nicht verbreitert vernarbter Zugang nach Bügelschnitt beidseits temporal und oberhalb der Stirn im Bereich des behaarten Kopfs verlaufend, etwa 20 cm lang. Die Nervenaustrittspunkte sind nicht druckschmerzhaft, die Gesichtsmuskulatur seitengleich innerviert. Die Schleimhaut von Mundhöhle und Rachenring zeigt keinen krankhaften Befund. Der Würgereflex ist regelrecht auslösbar. Saniertes Gebiss. Das Sprechen ist nicht

beeinträchtigt. Zum übrigen neurologischen Befund s. das neurologische Zusatzgutachten.

ad 2: (Thoraxkontusion mit Hämatopneumothorax links bei Serienfraktur der 2.–8. Rippe links): Form und Symmetrie des Brustkorbs sind regelrecht. Schultern und Mamillen stehen auf gleicher Höhe, die Schulterblätter liegen dem Thorax an. 4 cm lange, reizfreie Narbe in der vorderen Axillarlinie im 4. Interkostalraum (nach Bülau-Drainage). Es besteht keine Instabilität. Es lässt sich kein Thoraxkompressionsschmerz auslösen. Beim Ein- und Ausatmen heben und senken sich die Rippenbögen seitengleich. Die Lungengrenzen, der Klopfschall und das Atemgeräusch sind regelrecht, die Herztöne rein. Der Blutdruck beträgt, im Liegen gemessen, 120/75 mmHg, die Herzfrequenz 60/min.

ad 3: (Stumpfes Bauchtrauma mit Milzruptur): Die Bauchdecken sind muskulös und straff gespannt, die Bruchpforten geschlossen. 18 cm lange, reizfrei verheilte, nicht verbreiterte Narbe nach Oberbauchmedianschnitt mit Rechtsumschneidung des Nabels (zur Entfernung der Milz). Die Bauchdecken sind überall eindrückbar. Es lässt sich kein Druckschmerz auslösen. Die Leber weist eine normale Konsistenz und Größe auf. Die Milz ist nicht tastbar (Zustand nach Milzentfernung). Die Nierenlager sind nicht klopfschmerzhaft. Die Darmgeräusche sind zum Zeitpunkt der Untersuchung lebhaft und weisen keine krankhaften Veränderungen auf.

ad 4: (Humerusschaftfraktur links mit Radialisparese): Beim Entkleiden fällt auf, dass der Versicherte seinen linken Arm schont und insbesondere das Wegführen des Arms vom Körper vermeidet. Die Form der oberen Gliedmaßen ist seitengleich. Allerdings fällt auf, dass die muskulären Umfänge links deutlich schmächtiger als rechts sind. Der Unterschied ist so ausgeprägt, dass er nicht allein auf die Händigkeit des Versicherten zurückgeführt werden kann. Die Kraftentfaltung beim Hochziehen der Arme gegen Widerstand, beim Händedruck und Fingerhakeln ist links deutlich schwächer als rechts. Die Beschwielung der linken Hand ist im Vergleich zu rechts deutlich herabgesetzt. Es besteht ein schmerzhafter Bogen beim Wegführen des Arms vom Körper zwischen 60 und 120°. Beim Durchbewegen der großen Gelenke tastet man ein Gelenkreiben unter dem Schulterdach. Schwellungen der Weichteile sind nicht vorhanden. Die Radialispulse sind an regelrechter Stelle beidseits gut tastbar.
Am Rand des Schulterdachs findet sich ein 4 cm langer, reizfrei vernarbter Zugang im Bereich des Deltamuskels. Zudem finden sich je 2 punktförmige Narben im Bereich des körpernahen und des körperfernen Oberarms den ehemaligen Einbringstellen der körpernahen und -fernen Verriegelungsschrauben entsprechend. Zu den Bewegungsausmaßen und muskulären Umfängen s. das beigefügte Messblatt für obere Gliedmaßen, dem zu entnehmen ist, dass die Beweglichkeit im linken Schultergelenk für das Wegführen des Arms vom Körper ab 60° und die Streckung des linken Handgelenks sowie der Langfinger endgradig eingeschränkt sind. Die muskulären Umfänge am linken Ober- und Unterarm sind schmächtiger als rechts. Die Spitz-Stumpf-Diskriminierung an der Streckseite des linken Daumens und Zeigefingers gelingt nicht. Siehe dazu auch das neurologische Zusatzgutachten.

ad 5/6: (Femur- und Kalkaneusfraktur links): Die unteren Gliedmaßen sind seitengleich entwickelt. Die muskulären Umfänge sind links schmächtiger als rechts. Die Kraftentwicklung beim Durchbewegen der Beine ist rechts ausgeprägter. Im Bereich der Gesäßmuskulatur findet sich auf der linken Seite eine 8 cm lange, verbreiterte Narbe (nach transglutealem Zugang für die Osteosynthese mit Verriegelungsmarknagel). Beim Durchbewegen der großen Gelenke lassen sich Schmerzen im Bereich des unteren Sprunggelenks auslösen. Kein Gelenkreiben tast- oder hörbar. Die Achillessehnengruben und die Silhouette des Sprunggelenks sind links aufgrund einer bestehenden Weichteilschwellung verstrichen. Es sind keine Varizen oder erweiterte Venen sichtbar. Die Fußpulse sind an regelrechter Stelle beidseits gut tastbar. Das rechte Fußgewölbe ist erhalten, das linke etwas abgeflacht. Die Beschwielung ist dementsprechend links etwas verbreitert. Am linken Fersenbein findet sich außenseitig eine reizfreie, nicht verbreiterte Narbe (nach erweitertem Zugang zum Fersenbein für die offene Reposition und Plattenosteosynthese). Die Kniebänder sind beidseits stabil. Es finden sich keine Meniskuszeichen und kein Gelenkerguss. Der Bandapparat des oberen Sprunggelenks wirkt bei der klinischen Prüfung links weniger stabil als rechts. Zu den Bewegungsausmaßen und den muskulären Umfängen s. das beigefügte Messblatt für untere Gliedmaßen, dem zu entnehmen ist, dass die Beweglichkeit im unteren Sprunggelenk nahezu aufgehoben ist und nur 1/10 der Beweglichkeit der unverletzten Seite aufweist. Die muskulären Umfänge des Ober- und Unterschenkels sind links um mehrere Zentimeter schwächer als rechts. Der Versicherte kommt mit orthopädischem Schuhwerk zur Untersuchung. Das Gangbild ist leicht hinkend. Der Einbeinstand ist rechts sicher und balancefähig, links deutlich unsicher. Zehenspitzen- und Fersenballengang sowie Kniebeugen können ausgeführt werden.

ad 7: (Multiple Schürfungen und Risswunden): Die Schürfungen am Körperstamm und den Extremitäten sind allesamt verheilt, ohne Narben zu hinterlassen. Zwei Risswunden am rechten Unterarm sind unter Bildung strichförmiger Narben, die der Versicherte als nicht störend empfindet, verheilt.

2.4 Röntgenbefund

Am Tag der Begutachtung wurden folgende Röntgenbilder angefertigt:

- Thorax in 2 Ebenen: Beide Lungen sind entfaltet. Die beiden Brustkorbhälften sind symmetrisch geformt. Kein Residuum der stattgehabten Rippenserienfraktur erkennbar. Die Pleurawinkel sind frei. Keine Verschattungen erkennbar.
- Linker Oberarm mit angrenzenden Gelenken in 2 Ebenen: Die Querfraktur in Schaftmitte ist in achsengerechter Stellung knöchern fest verheilt. Im ehemaligen Bruchbereich sieht man eine kräftige Kallusspindel. Die Implantate sind vollständig entfernt. Verkalkung in Projektion auf die Rotatorenmanschette.
- Linker Oberschenkel in 2 Ebenen, rechter Oberschenkel a.p.: Die Schrägfraktur an distaler Drittelgrenze ist unter deutlicher Kallusbildung knöchern fest verheilt. Im Vergleich zur Gegenseite zeigt sich eine geringfügige valgische Knickung der Schaftachse. Der Knick beträgt 5°. Die Implantate sind vollständig entfernt. In der Fossa trochanterica sieht man einen etwa 2×2 cm großen Kalkherd.

- Beide Sprunggelenke in 2 Ebenen, beide Fersen axial, beide Subtalargelenke in Broden-Projektion von 20°, beide Füße dorsoplantar: Die Länge der Ferse ist etwas verkürzt, der Tubergelenkwinkel im Vergleich zur Gegenseite um 10° abgeflacht.
- Im axialen Strahlengang ist keine Knickung erkennbar. Die Implantate sind vollständig entfernt. Das subtalare Gelenk ist links deutlich verschmälert, rechts zeigt es eine altersentsprechende Weite. Links sieht man deutliche osteophytäre Anbauten. Der Gelenkspalt zwischen Fersen- und Würfelbein ist links im Vergleich zu rechts ebenfalls verschmälert.

3 Beurteilung

3.1 Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen

ad 1: (Schädel-Hirn-Trauma 3. Grades mit frontobasaler Fraktur und Verlust des Geruchsinns): Laut neurologischem Zusatzgutachten bestehen eine merkliche Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit mit mnestischen Störungen. Laut HNO-ärztlichem Zusatzgutachten besteht ein Verlust des Geruchsinns mit Beeinträchtigung des Geschmacks.

ad 2: (Thoraxkontusion mit Hämatopneumothorax links bei Serienfraktur der 2.–8. Rippe links): Ohne fassbare Folgen ausgeheilte Rippenserienfraktur links.

ad 3: (Stumpfes Bauchtrauma mit Milzruptur): Verwachsungsbeschwerden nach Eröffnung des Bauchraums. Beeinträchtigung des Immunsystems nach Entfernung der Milz.

ad 4: (Humerusschaftfraktur links mit Radialisparese): Bewegungseinschränkung im linken Schultergelenk. Schwäche des Speichennerven mit Gefühlsstörungen am linken Daumen und Zeigefinger (s. neurologisches Zusatzgutachten). Minderung der Belastbarkeit.

ad 5: (Femurschaftfraktur links): Mit geringem valgischem Knick verheilter Oberschenkelschaftbruch. Verbreiterte Narbe.

ad 6: (Kalkaneusfraktur links): Postraumatische Arthrose im unteren Sprunggelenk und im Gelenk zwischen Fersen- und Würfelbein mit Schwellneigung und deutlicher Minderung der Belastbarkeit.

ad 7: (Multiple Schürfungen und Risswunden): Ohne fassbare Folgen ausgeheilte Weichteilverletzungen am Körperstamm und den Extremitäten.

3.2 Einschätzung der Beeinträchtigung

Somit kann ich auf Ihre im Schreiben vom... [Datum]… formulierten Fragen wie folgt antworten:

ad 1: Über welche Beschwerden klagt der Versicherte? Siehe Abschnitt 2.1 des Gutachtens.

ad 2: Welchen objektiven Befund konnten Sie im Rahmen der Nachuntersuchung des Versicherten erheben? Siehe Abschnitt 2.2 und 2.3 des Gutachtens.

ad 3: Bestehen Vorschäden, Erkrankungen oder Gebrechen, die auf die jetzt noch vorhandenen Unfallfolgen Einfluss gehabt haben könnten? Nein. Solche Vorschäden, Erkrankungen oder Gebrechen bestehen nicht.

ad 4: Wie hoch ist der Grad der Invalidität bezüglich der verbliebenen Unfallschäden, die nicht Gliedmaßen betreffen zurzeit und auf Dauer? Der Grad der Invalidität aufgrund der verbliebenen neurologischen Schäden beträgt zurzeit und auf Dauer 20% (s. neurologisches Zusatzgutachten). Der Grad der Invalidität aufgrund des Verlusts des Geruchsinns und Beeinträchtigung des Geschmacks beträgt zurzeit und auf Dauer 10% (s. HNO-ärztliches Zusatzgutachten). Der Grad der Invalidität aufgrund des Verlusts der Milz und der Verwachsungsbeschwerden beträgt zurzeit und auf Dauer 15%.

ad 5: Wie hoch ist der Grad der Beeinträchtigung einzelner Gliedmaßen zurzeit und auf Dauer? Betroffen sind der linke Arm und das linke Bein. Der linke Arm ist zurzeit und auf Dauer zu 1/4, das linke Bein zurzeit und auf Dauer zu 3/7 in seiner Gebrauchsfähigkeit beeinträchtigt.

ad 6: Handelt es sich um eine endgültige Einschätzung? Ja. Es handelt sich um eine endgültige Einschätzung.

ad 7: Haben Vorschäden aus früheren Unfällen bzw. Krankheiten oder Gebrechen die jetzt noch bestehenden Unfallfolgen verschlimmert? Nein. Die jetzt noch bestehenden Unfallfolgen sind allein auf den Unfall vom 02.04.02 zurückzuführen.

ad 8: Bestehen irgendwelche Bedenken oder Einwände gegen die Herausgabe des Gutachtens an den Versicherten? Nein. Es bestehen keine Bedenken oder Einwände, die gegen die Herausgabe des Gutachtens an den Versicherten sprechen würden.

Es empfiehlt sich sehr, die einzelnen Fragen des Auftraggebers schriftlich aufzuführen, damit das Gutachten für sich allein gestellt, schlüssig bleibt. Es könnte ja sein, dass die Unterlagen einmal nicht komplett und die Fragen des Versicherers nicht griffbereit sind. Dann ist es sehr hilfreich, wenn die einzelnen Fragen vor der jeweiligen Antwort aufgeführt sind. Damit für den Auftraggeber jedoch keine unnötigen Kosten entstehen, sollten die Fragen kleingedruckt sein.

23.4.2 Formulargutachten

Häufig schicken die privaten Versicherungsgesellschaften Formulargutachten. Im EDV-Zeitalter sind die Vordrucke jedoch wenig hilfreich. Überdies reicht der gebotene Platz in aller Regel nicht im Mindesten aus, das verlangte umfassende Bild des Unfallhergangs, Verlaufs, der jetzigen Beschwerden, des objektiven Befunds und der resultierenden Einschätzung darzustellen.

Es hat sich bewährt, auf die oben dargestellte Form des Freien Gutachtens auszuweichen und im Schlussteil die Fragen des Formulargutachtens in der ebenfalls oben dargestellten Art und Weise zu beantworten. Um das Ganze nicht unnötig in die Länge zu ziehen, kann bei allen umfangreicheren Antworten auf die jeweiligen Gliederungsabschnitte des Freien Gutachtens verwiesen werden.

23.4.3 Berufsgenossenschaftliche Gutachten

Die Berufsgenossenschaften ordern entweder verschiedene Rentengutachten oder ein Zusammenhangsgutachten. Dabei gibt es

einige Besonderheiten. Zusammenhangsgutachten werden angefordert, wenn Zweifel am Kausalzusammenhang zwischen äußerem Ereignis und einem bestehenden Körperschaden gegeben sind oder wenn Unfallfolgen von unfallunabhängigen Schäden abgegrenzt werden sollen. Da diese Aufgabenstellungen den Rahmen der üblichen Vordruckgutachten sprengen würden, werden sie in Form Freier Gutachten abgehandelt (s. oben).

Erstes und Zweites Rentengutachten sind hingegen als Vordrucke verfasst. Es gibt

- das Erste Rentengutachten zur ersten Rentenfeststellung,
- das Zweite Rentengutachten zur Rentennachprüfung,
- das Zweite Rentengutachten zur Feststellung der Rente auf unbestimmte Zeit.

Am Beginn des Formulars sind zunächst Name, Geburtsdatum, Anschrift, Unfalltag und Arbeitgeber zu vermerken. Wenn dies bereits vorgegeben ist, sollte man den Versicherten befragen, ob sich Anschrift oder Arbeitgeber geändert haben. Dann werden die einzelnen Punkte der Reihe nach abgearbeitet.

Rentengutachten sollten innerhalb einer Frist von 3 Wochen verfasst werden. Diese Zeit ist sehr knapp bemessen und kann im klinischen Alltag häufig nicht eingehalten werden. Für die Arbeit der Berufsgenossenschaften ist es jedoch besonders wichtig, diese Frist zumindest bei der ersten Festsetzung der Rente zu wahren.

Erstes Rentengutachten

Teil A: Vorgeschichte

Art der Verletzung. Die im D-Bericht aufgeführten Diagnosen werden übernommen und ggf. korrigiert oder ergänzt. Bei Mehrfachverletzungen sollten die Diagnosen, wie es oben für das Freie Gutachten beschrieben wurde, ebenfalls in kraniokaudaler Richtung aufgelistet werden, um für mehr Übersicht zu sorgen.

Entstehung der Verletzung. Hier wird nach dem Unfallhergang gefragt. Diesbezüglich kann man auf den D-Bericht verweisen, sollte sich aber vergewissern, dass der Hergang darin schlüssig dargestellt ist und sich mit den Angaben des Versicherten deckt. Ansonsten sind entsprechende Ergänzungen zu machen.

Befund. Gefragt wird, wann der Versicherte in die Behandlung des Gutachters getreten ist und welcher Befund dabei erhoben wurde. Auch hier genügt es unter Umständen, allein auf den D-Bericht zu verweisen. Voraussetzung ist, dass dieser alle wichtigen Angaben enthält. Ansonsten wird der Erstbefund kurz dargestellt.

Bisherige Behandlung. In dieser Rubrik wird kurz die Therapie skizziert, was ebenfalls, wie es oben für das Freie Gutachten dargestellt worden ist, in Form einer Liste, die sich auf die einzelnen Diagnosen bezieht, erfolgen kann. Außerdem wird mit ein paar kurzen Sätzen der weitere Verlauf der Behandlung geschildert. Man führt die Dauer der stationären Aufenthalte und evtl. Anschlussheilbehandlungen auf. Zuletzt wird gefragt, ab welchem Zeitpunkt die Behandlung beendet war. Hier wird in der Regel das Datum des Wiedereintritts der Arbeitsfähigkeit angegeben.

Teil B: Gegenwärtiger Zustand und Beurteilung

Klagen des Versicherten. Nun werden die Beschwerden des Patienten in indirekter Rede wiedergegeben. Wenn mehrere Verletzungen zu begutachten sind, empfiehlt es sich, die jeweiligen Beschwerden, aufgeschlüsselt nach den Diagnosen, in kraniokaudaler Reihenfolge zu ordnen.

Allgemeinzustand. Das Vorgehen entspricht dem, wie es für das Freie Gutachten beschrieben wurde.

Befund. Der Lokalbefund wird wie beim Freien Gutachten erhoben und gegliedert, apparative Befunde inbegriffen. Am Ende gibt man eine »Kurze Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen«, die stichpunktartig alle wichtigen Unfallfolgen enthalten soll, die die Höhe der anschließend einzuschätzenden Rente begründen (s. dazu ebenfalls das oben angeführte Gutachtenbeispiel).

Stehen Klagen und Befund in Übereinstimmung? An dieser Stelle würde man eine etwaige Tendenz zur Aggravation vermerken bzw. die Glaubhaftigkeit der subjektiven Beschwerden bestätigen.

Vom Unfall unabhängige krankhafte Veränderungen. In diesem Punkt geht es um den Einfluss von Folgeschäden aus früheren Unfällen bzw. degenerativer Erkrankungen oder anderer Leiden, welche die Unfallfolgen verschlimmert haben könnten. Außerdem möchte der Versicherungsträger wissen, ob für solche Veränderungen eine Unfall- oder Versorgungsrente bezogen wird oder wurde und wenn ja, von welcher Stelle.

Minderung der Erwerbsfähigkeit. In diesem Abschnitt nimmt man Stellung zum Grad der MdE, und zwar für den Zeitraum vom Tag des Wiedereintritts der Arbeitsfähigkeit an gerechnet bis zum Tag vor der Untersuchung. Dabei orientiert man sich an den Rententabellen (s. Anhang).

Einschätzung der künftigen MdE. Die Frage gliedert sich in 2 Teile. Zunächst schätzt man den Grad der MdE vom Tag der Untersuchung an ein und gibt an, wie lange die MdE in dieser Höhe voraussichtlich bestehen bleiben wird. Im zweiten Teil der Frage soll dann Stellung genommen werden, wie hoch die MdE nach diesem Zeitraum, längstens jedoch bis zur Beendigung des 3. Jahrs nach dem Unfall voraussichtlich sein wird.

Weitere Maßnahmen. Der Versicherungsträger möchte wissen, ob zur Wiederherstellung oder Besserung der Erwerbsfähigkeit des Versicherten weitere Maßnahmen erforderlich sind und welche Maßnahmen ggf. vorgeschlagen werden.

Weitere Erwerbsfähigkeit. Schließlich muss noch Stellung genommen werden, zu welchen Arbeiten der Versicherte fähig ist, ob die Erwerbsfähigkeit durch geeignete Maßnahmen wieder hergestellt oder gebessert werden kann und welcher Vorschlag dazu vom Gutachter gemacht wird. An dieser Stelle vermerkt man entweder, dass der Versicherte in seiner bisherigen Tätigkeit weiter eingesetzt werden kann oder, wenn dies nicht mehr möglich sein sollte, dass er nur noch eine sitzende und nicht mehr körperlich belastende Tätigkeit verrichten soll oder eine Arbeit, bei der ein häufiger Wechsel zwischen sitzender und stehender Tätigkeit gegeben ist und so weiter.

Sonstige Bemerkungen. Hier vermerkt der Gutachter etwaige weitere wichtige Aspekte, die im bisherigen Vordruck nicht abgefragt wurden, jedoch wichtig für die Gesamtbeurteilung sind. Zum Schluss werden der Tag der Untersuchung und die Dauer des Gutachtens angegeben.

Zweites Rentengutachten (zur Rentennachprüfung)

Der Aufbau des Zweiten Rentengutachtens zur Rentennachprüfung ist in weiten Teilen mit dem des Ersten Rentengutachtens identisch. Im Zweiten Rentengutachten braucht allerdings nicht mehr auf die Vorgeschichte eingegangen zu werden. Der gesamte Teil A fällt weg, und das Gutachten beginnt gleich mit den Beschwerden des Versicherten. Anschließend wird der Allgemeinzustand und der Befund der Verletzungsfolgen wie im Ersten Rentengutachten beschrieben. Die »Zusammenfassung der noch bestehenden Unfallfolgen« schließt sich an. Danach wird wieder nach den »vom Unfall unabhängigen krankhaften Veränderungen« gefragt.

Erst ab Frage 5 unterscheidet sich der Aufbau von dem des Ersten Rentengutachtens. Der Gutachter soll nun entscheiden, ob gegenüber dem früheren Befund eine Änderung eingetreten ist, die so wesentlich ist, dass sie eine Änderung der MdE um wenigstens 5 v.H. bedingt. In Frage 6 wird dann die Höhe der MdE festgelegt, in Frage 7 der zu erwartende weitere Verlauf prognostiziert. Die verbleibenden Punkte 8–10 entsprechen denen des Ersten Rentengutachtens.

Zweites Rentengutachten (zur Feststellung der Rente auf unbestimmte Zeit)

Das Zweite Rentengutachten zur Feststellung der Rente auf unbestimmte Zeit ist nahezu identisch mit dem Zweiten Rentengutachten zur Rentennachprüfung. Es differiert nur in einem Punkt: Frage 5 entfällt. Der Gutachter braucht sich also nicht mehr darüber zu äußern, ob gegenüber dem früheren Befund eine Änderung eingetreten ist.

23.4.4 Gerichtsgutachten

Die nun folgenden Ausführungen der ▶ Abschnitte 23.4.4 und 23.4.5 sind in weiten Teilen aus einer Fortbildung von Prof. Ulsenheimer (1999) exzerpiert. Die bisher abgehandelten Gutachtenformen gehören gewissermaßen zum »täglichen Brot« des Facharzts. Das verhält sich bei den Gerichtsgutachten ganz anders. Sie sind viel seltener und erfordern zusätzliche Kenntnisse über spezielle rechtliche Grundlagen, um der oft sehr heiklen und exponierten Rolle des Sachverständigen gerecht werden zu können. Diese Grundlagen sollen im Folgenden kurz skizziert werden, bevor auf die Besonderheiten des Aufbaus beim Erstellen von Gerichtsgutachten eingegangen wird.

Rechtliche Grundlagen

Arzthaftungsvertrag

Siehe dazu Meyer (1999).

Der Arzthaftungsvertrag sieht vor, dass der Arzt für die Leistung versprochener Dienste vom Patienten vergütet wird. Der Arzt schuldet dabei nicht die Heilung einer Krankheit oder Verletzung, sondern die gebotene Sorgfalt und den neuesten Stand medizinischen Fortschritts. Der Anspruch auf Vergütung entfällt nur, wenn die Leistung völlig unbrauchbar war. Laut Meyer (ebd.) sind die häufigsten Gründe für Rechtsstreitigkeiten im Arzt-Patient-Verhältnis:

- mangelnde Aufklärung,
- Dokumentationsverschulden und
- Behandlungsfehler.

Die Beweislast kehrt sich bei Nichtachtung der Aufklärungspflicht, einem Dokumentationsverschulden oder groben Behandlungsfehler zuungunsten des behandelnden Arztes um.

Auswahl des Sachverständigen

Siehe dazu Meyer (1999).

Der beauftragte Sachverständige soll aus demselben Tätigkeitsbereich stammen wie der Beklagte. Das heißt, ein Chefarzt eines Kreiskrankenhauses sollte von einem Kollegen, der die gleiche Position inne hat, beurteilt werden und nicht von einem Ordinarius, der sich womöglich von einem unerfahrenen Assistenzarzt vertreten lässt. Analog dazu sollte natürlich auch der Universitätsprofessor nur von einem Kollegen gleicher Provenienz und gleichem Status beurteilt werden und der Niedergelassene von einem Niedergelassenen.

Der Gutachter ist verpflichtet, das Gutachten persönlich zu erstellen. Er hat aber ein Verweigerungsrecht, das er, wenn bestimmte Voraussetzungen gegeben sind, geltend machen kann. Solche Voraussetzungen sind eine bestehende Befangenheit aufgrund verwandtschaftlicher Beziehungen zu einer der Parteien oder aufgrund eines Abhängigkeitsverhältnisses (z.B. Lehrer-Schüler) gegeben. Befangenheit darf auch angenommen werden, wenn der Gutachter einen Kollegen oder Patienten von früher her kennt. Eine so genannte Entpflichtung kann gewährt werden, wenn der angesprochene Sachverständige aufgrund zeitlicher Überbeanspruchung den Auftrag nicht wahrnehmen kann.

Wenn ein Gutachter im Zivilrecht für den Verteidiger des Beklagten ein Gutachten erstellen soll und nach Durchsicht der Akten zu dem Schluss kommt, dass ein Behandlungsfehler vorliegt, kann er nach Rücksprache mit dem Verteidiger den Gutachtenauftrag zurückgeben.

Der beauftragte Sachverständige darf das Gutachten nicht ohne Weiteres an einen Mitarbeiter seiner Klinik delegieren, da es an seine Person gebunden ist. Wenn er es delegieren oder einen Mitarbeiter hinzuziehen möchte, muss er zuvor das Einverständnis der Parteien einholen. Liegt dies nicht vor, kann das Gutachten von einer der Parteien abgelehnt werden. (In der Regel findet sich dieser Hinweis im Gutachtenauftrag.)

Zivilprozessordnung

Siehe dazu Meyer (1999).

Beim ersten Termin, zu dem sich die streitenden Parteien treffen, kann eine gütliche Einigung herbeigeführt werden. Dazu kann bereits der Gutachter zugezogen werden. Im Allgemeinen wird aber beim ersten Termin ein so genannter Beweisbeschluss erstellt. Darin werden Fragen an den Sachverständigen formuliert, die möglichst detailliert sein sollen. Gleichzeitig wird die Person des Gutachters im Einvernehmen unter den streitenden Parteien ausgewählt. Nur wenn sich die Parteien nicht einigen können, wird der Gutachter vom Gericht bestimmt.

Der Sachverständige wird nun beauftragt, ein Gutachten zu erstellen. Darin muss er nach Darlegung der Vorgeschichte und ggf. des Untersuchungsbefundes zu den einzelnen Beweisfragen – und nur dazu – Stellung nehmen. In der Regel braucht er nicht vor Gericht zu erscheinen. Zur Entscheidung wird das schriftliche Gutachten herangezogen. Es kann vorkommen, dass der Sachverständige die eine oder andere Frage des Beweisbeschlusses nicht beantworten kann. Dann genügt es, wenn er dies vermerkt.

Strafprozessordnung

Siehe dazu Ulsenheimer (1999).

Pro Jahr gibt es in der Bundesrepublik Deutschland 8000–10.000 Arzthaftungsfälle und 2500–3000 staatsanwaltschaftliche Ermittlungen. Bei der Klärung dieser Fälle ist der Sachverständige der

Gehilfe des Richters. Es sind immer zwei Sachverständige tätig. Einen bestellt der Staatsanwalt, einen der Verteidiger. Beide haben gleiches Gewicht, gleiche Rechte und gleiche Pflichten. Laut Ulsenheimer (1999) sollte man sich deshalb dagegen verwahren, sich als »Gutachter der Verteidigung« titulieren zu lassen, weil dieser Bezeichnung der »Ruch der Gefälligkeit« anhaftet. Gefälligkeitsgutachten sind aber für den Fachmann als solche sofort erkennbar und haben keinen Beweiswert.

Wenn der Sachverständige Anknüpfungspunkte zur Vorgeschichte wissen möchte, kann er dies nur im Rahmen eines gerichtlichen Termins klären. Er darf, wie es Ulsenheimer (1999) formuliert, nicht »kriminalistischen Jagd- und Verfolgungseifer« entwickeln, sonst wird er wegen Befangenheit entfernt. Im Zivilprozess ist die Beweisführung viel detaillierter ausgeführt als im Strafprozess. Der Sachverständige braucht nur zu den Fragen des Beweisbeschlusses Stellung nehmen und darf, laut Bauch (1999), keine Fragen beantworten, die gar nicht gestellt sind, es sei denn ein Sachverhalt wäre so eklatant, dass der Gutachter darauf verweisen muss.

Im Strafprozess muss man hingegen auf alles eingehen und beleuchten, welche Handlungen falsch waren. Dabei ist immer die mündliche Erläuterung des Gutachtens durch den Sachverständigen und damit dessen persönliche Anwesenheit beim Termin notwendig, während im Zivilrecht fast immer die alleinige schriftliche gutachterliche Äußerung genügt. Man kann im Strafprozess zwar sein schriftliches Gutachten als Erinnerungsstütze heranziehen und den einen oder anderen Passus daraus vorlesen. Im Großen und Ganzen stellt der Gutachter jedoch dem Gericht die Sachlage in freier Rede in möglichst umfassender und verständlicher Weise dar. Wenn sich in der Hauptverhandlung andere wichtige Aspekte ergeben, muss der Gutachter evtl. sein Urteil an Ort und Stelle revidieren, einen Irrtum einräumen und anhand der neu gewonnenen Erkenntnisse eine abschließende Einschätzung abgeben.

Auf die vom Anwalt des Klägers oft sehr blumig und ausschweifend formulierten Vorwürfe sollte nur kurz mit einigen prägnanten Sätzen eingegangen werden. Diese Vorwürfe müssen kommentiert und unter Verweis auf die einschlägige Literatur, je nach Sachlage, entkräftet oder bestärkt werden.

Man sollte vor Gericht nie polemisch oder dogmatisch werden. Ein Gutachter, der dies nicht beachtet, kann abgelehnt werden. Dann muss ein neuer Sachverständiger bestellt und eine weitere Hauptverhandlung anberaumt werden. Die Kosten trägt der Angeklagte.

Auch im Strafprozess soll der Gutachter die gleiche fachliche Provenienz wie der Beklagte haben. In medizinischen Rechtsstreitigkeiten machen, laut Ulsenheimer (1999), weniger erfahrene Staatsanwälte immer wieder den Fehler, einen Gerichtsmediziner als Sachverständigen zur Beurteilung eines Sachverhalts wegen eines im chirurgischen Alltag entstandenen Behandlungsfehlers zu Rate zu ziehen. Der Gerichtsmediziner wird jedoch in der Regel überfordert sein, die Gepflogenheiten des chirurgischen Alltags richtig einzuschätzen, weil sein eigentliches Betätigungsfeld ganz anders aussieht. Daher ist er auch nicht in der Lage, den zurzeit des unterstellten Behandlungsfehlers gültigen chirurgischen Standard und damit den Streitpunkt richtig zu beurteilen.

Die Beschreibung des Sachverhalts ist die zentrale Aufgabe des Gutachters im Strafprozess. Der Jurist wäre hiermit überfordert. Freilich ist dies eine sehr mühsame Aufgabe, für die man aber entsprechende Stundensätze berechnen kann (Ulsenheimer 1999). Die jeweils gültigen Tarife können direkt beim Gericht erfragt werden. Es gehört zu den Pflichten des Sachverständigen im Strafprozess, dem Gericht den Tatsachenverlauf klarzulegen. Im Zivilprozess wird der Sachverhalt bereits im Vorfeld zusammengefasst. Der Gutachter kann sich dieser Darstellung anschließen und braucht ggf. nur noch zu ergänzen, falls wichtige Aspekte fehlen sollten.

Gutachtenerstellung

Siehe dazu Junghanns (1999).

Allgemeines

Zwischen dem Zeitpunkt des Eintreffens des Gutachtenauftrags bis zum Zeitpunkt, an dem das Gutachten fertig abgeliefert wird, sollten nicht mehr als 6 Monate vergehen, um die Arbeit der Gerichte nicht unnötig zu verzögern. Nach einer Untersuchung soll das Gutachten »zeitnah« erstellt werden. Dazu gibt es ein Gerichtsurteil: Die Empfehlung lautet, dass ein Gutachten nach einer stattgehabten Untersuchung innerhalb von 4 Wochen abgeschlossen sein soll.

Der Gutachtenauftrag soll innerhalb von 6 Monaten erledigt und das Gutachten selbst spätestens 4 Wochen nach Untersuchung des Patienten fertig sein.

Gerichtsgutachten sind meist sehr aufwändig, weil vor dem Abfassen des Gutachtens umfangreiche Akten studiert werden müssen. Die Zusammenhänge sind oft komplex und erfordern ein hohes Maß an Konzentration, um zu einer hieb- und stichfesten Einschätzung der Sachlage zu gelangen. Daher muss man meist vom üblichen Vorgehen abweichen und kann das Gutachten nicht gleich diktieren.

Ob, wenn es nicht ohnehin vorgegeben ist, der Kläger zu einer Untersuchung einbestellt wird oder nicht, ist vom Einzelfall abhängig zu machen. Im Zweifelsfall empfiehlt es sich jedoch, nicht allein nach Aktenlage zu entscheiden, weil die Sachlage umfassender beurteilt werden kann, wenn man den Kläger untersucht und zur Vorgeschichte gehört hat. Das Gutachten bekommt dadurch noch mehr Gewicht.

Wenn man wissen möchte, wie sein Gutachten bewertet wurde oder ein Rechtsstreit ausgegangen ist, sollte dies am Ende des Gutachtens vermerkt werden. In Absprache mit den Parteien, die einverstanden sein müssen, wird dann der Ausgang dem Sachverständigen später mitgeteilt.

Werden die Kosten voraussichtlich um mehr als ein Fünftel überschritten, muss man dies dem Gericht vorher zur Kenntnis bringen und dessen Einverständnis einholen.

Äußere Form

Gerichtsgutachten werden in freier Form nach dem oben dargestellten Muster verfasst. Nach dem üblichen Anfang wird aufgezählt, auf welche Akten sich das Gutachten stützt: »Zur Begutachtung liegen die Krankenakte, Ermittlungsakte etc. Blatt 1 bis 172 vor.« Dabei wird auch vermerkt, ob die Seiten 1–172 lückenlos vorhanden sind oder evtl. teilweise fehlen. Dann werden die Fragen des Beweisbeschlusses aufgeführt: »Laut Beweisbeschluss vom … [Datum] … soll festgestellt werden: … [Auflistung der Fragen des Beweisbeschlusses].«

Stilistische Aspekte

Spekulationen wie »... demzufolge schließe ich...« oder »... vermute ich...« sollen nicht im Gutachten stehen. Wenn ein Sachverhalt nicht eindeutig entschieden werden kann, müssen anstatt von Spekulationen die denkbaren Lösungsmöglichkeiten aufgeführt werden: »Wenn A gegeben ist, gilt dieser Schluss, wenn B gegeben ist, jener« usw.

Studium der Unterlagen

Das Studium der Unterlagen erfordert viel Zeit und Gründlichkeit, weil hier unter Umständen die entscheidenden Kriterien zur Klärung des Rechtsstreits zu finden sind. Dabei ist es rechtens, darauf zu bestehen, nur die Originalunterlagen heranzuziehen, denn bei alleiniger Benutzung von Kopien können keine Farben unterschieden werden. Etwaige Korrekturen würden unbemerkt bleiben. Überdies sollten Pflegebericht und ärztlicher Bericht miteinander verglichen werden. Die darin enthaltenen Angaben müssen in der Sache deckungsgleich sein. Sollten irgendwelche Unterlagen fehlen, muss dies im Gutachten erwähnt werden.

Vorgeschichte

Die Vorgeschichte muss akribisch aufgearbeitet werden. Wenn wichtige Informationen fehlen, muss dies dem Gericht gemeldet werden. Keinesfalls darf man selbst zum Sherlock Holmes werden und eigene Ermittlungen durchführen. Dies ist Sache des Gerichts.

Man muss den Kläger sprechen lassen, um zusätzliche Informationen, die unter Umständen in den Akten nicht enthalten sind, zu gewinnen. Wenn die Vorgeschichte erhoben wurde, empfiehlt es sich, diese dem Kläger vorzulesen und deren Richtigkeit bestätigen zu lassen. Auf Fragen des Klägers zur eigenen Einschätzung des Rechtsstreits braucht nicht eingegangen zu werden. Es kann immer darauf verwiesen werden, dass erst ein Überblick über den gesamten Sachverhalt benötigt wird, bevor man sich überhaupt äußern könne.

Operationsbericht

In strittigen Fällen sollten auch die Operationsberichte vorliegen. Falls der originale Operationsbericht nicht detailliert genug verfasst wurde, kann er für die Rechtsstreitigkeit zu einem späteren Zeitpunkt vom Operateur ergänzt werden. Dies muss dann aber kenntlich gemacht werden. Operationsberichte müssen jedoch grundsätzlich ein gewisses Maß an Ausführlichkeit bieten, sonst hat der Operateur im Zweifelsfall Nöte, überzeugend klarzulegen, dass er sorgfältig gearbeitet hat. Ein Operationsbericht, der noch am selben Tag, an dem der Eingriff stattgefunden hat, diktiert wurde, ist immer glaubhafter als einer, der verzögert erstellt wurde. All dies sollte für die eigene tägliche Praxis bedacht werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, Datum und Uhrzeit des Diktats auf dem Operationsbericht zu vermerken.

Literatur

Literatur sollte nicht kritiklos aus fremden Vorgutachten übernommen werden, weil es immer wieder Fälle gibt, in denen falsch zitiert wird. Es hat sich bewährt, die Literatur selbst nachzuschlagen und zu zitieren. Dann ist sicher, dass die Angaben auch stimmen. Man sollte auch nicht endlos lange Auszüge aus der Literatur ins Gutachten übernehmen und damit das Gutachten künstlich aufblähen, was unter manchen Sachverständigen leider der (schlechte) Brauch geworden ist. Dies könnte den Verdacht erwecken, dass dahinter womöglich nur pekuniäre Interessen stecken. Vielmehr sollte es die Aufgabe des Sachverständigen sein, in wenigen klaren Sätzen den gültigen Stand des Wissens zu skizzieren, auf die einschlägige Literatur zu verweisen und auf dieser Grundlage schlüssig zu argumentieren. In einem Gerichtsgutachten sollte grundsätzlich die einschlägige Literatur zur Argumentation mit herangezogen werden.

Der Gutachter muss den Sachverhalt aus der Sicht bzw. auf dem medizinischen Standard »ex ante« beurteilen. Das heißt ein Fall, der sich im Jahr 1992 zugetragen hat, muss an den Standards eingeschätzt werden, die zu dieser Zeit gegolten haben. Dabei dürfen sich die Anforderungen nicht an den Standards von Universitäts- oder Spezialkliniken, sondern nur an den objektiv gebotenen orientieren. In diesem Zusammenhang gesehen, wird laut Ulsenheimer (1999) deutlich, dass Leitlinien nicht unproblematisch sind, weil sie starr sind und wir »Mediziner uns damit selbst in ein starres Korsett zwängen«.

Objektivität

Der Sachverständige muss medizinisch objektiv urteilen. Er ist in dieser Rolle weder Richter, noch Anwalt und auch nicht der Arzt des Klägers. Werden bestimmte (negative) Verhaltensweisen des Patienten zu stark hervorgehoben, kann dies zur Ablehnung des Gutachters wegen nicht gegebener Unparteilichkeit führen. Bei der Beurteilung sollte man auch im Hinterkopf haben, dass nur der Kläger zur Sache gehört und gesehen wurde, nicht jedoch der Beklagte. Das schränkt die Objektivität stark ein.

Es darf keine rechtliche Wertung getroffen werden. Dies ist allein Sache des Richters. Fragen zur Fahrlässigkeit beispielsweise oder ob sich jemand strafbar gemacht hat, kann der Gutachter nicht beantworten, weil dies Rechtsfragen sind, für deren Entscheidung er nicht ausgebildet wurde. Selbstverständlich wird sich der Richter bei seinem Urteilsspruch auf die Aussage des Sachverständigen stützen und in aller Regel auch der Einschätzung des Sachverständigen folgen.

23.4.5 Sozialgerichtsgutachten

Das Verwaltungsgutachten hat die gleiche finale Funktion zur Sachaufklärung wie das Gerichtsgutachten. Auch bei dieser Gutachtenform hat der Sachverständige Beweisfragen zu beantworten. Der Unterschied besteht darin, dass Versicherungsträger anders als die Gerichte nicht an strenge Verfahrensregeln gebunden sind. Art und Umfang der Ermittlungen werden im Verwaltungsverfahren, so der Verband Deutscher Rentenversicherungsträger (1995), nach pflichtgemäßem Ermessen bestimmt. Der Versicherungsträger bedient sich dabei der Beweismittel, die er für erforderlich hält. Insbesondere kann er Zeugen und Sachverständige vernehmen.

Dem Sachverständigen entstehen, wenn er einen Gutachtenauftrag erhält, folgende Pflichten:

- unverzügliche Prüfung der eigenen Fachkunde zur Erfüllung gerade dieses Gutachtenauftrags,
- keine Weiterleitung eines persönlich gebundenen Auftrags ohne Zustimmung des Versicherungsträgers,
- unverzügliche Klärung von Zweifeln an Inhalt und Umfang des Auftrags,
- Rückgabe von Akten und sonstigen Unterlagen an den Versicherungsträger zusammen mit dem fertiggestellten Gutachten.

Anknüpfungstatsachen betreffen die Vorgeschichte. Es ist Pflicht des Gerichts diese für den Sachverständigen aufzubereiten, während für die Befundtatsachen aus der körperlichen oder aus apparativen Untersuchungen allein der Sachverständige zuständig ist. Zu den Befundtatsachen gehören nicht nur die körperliche Untersuchung, sondern auch die Sozial-, Berufs- und Arbeitsanamnese. Sache des Verwaltungsgerichts ist es, den jeweiligen Einzelfall für die anstehende Begutachtung so aufzubereiten, dass sie gewissermaßen »arztreif« (Verband Deutscher Rentenversicherungsträger 1995) wird.

Häufig fragen die Gerichte nach berufskundlichen Dingen. Der Verband Deutscher Rentenversicherungsträger rät diesbezüglich jedoch, sich nicht auf außermedizinisches Terrain drängen zu lassen (Verband Deutscher Rentenversicherungsträger 1995). Wir Ärzte sind schließlich nicht zwangsläufig auch Sachverständige für allgemeine Fragen zum Arbeits- und Erwerbsleben. »Gutachtliche Aussagen zur Leistungsfähigkeit für bestimmte Berufstätigkeiten setzen spezielle arbeitsmedizinische Fachkenntnisse voraus.« Wertvolle Hinweise zum Themenbereich »Arbeitsmedizinische und berufskundliche Grundlagen« hat wiederum der Verband Deutscher Rentenversicherungsträger gegeben (s. dazu das Buch Sozialmedizinische Begutachtung in der gesetzlichen Rentenversicherung, ▶ Kap. 7). Im ▶ Abschn. 8.3 werden spezielle Fragestellungen, die sich bei sozialmedizinischen Gutachten ergeben, abgehandelt. Der sich anschließende spezielle Teil des Buches beschäftigt sich mit einzelnen Krankheitsbildern und degenerativen Leiden (Sozialmedizinische Begutachtung in der gesetzlichen Rentenversicherung, ▶ Kap. 7).

Sofern Sachkunde und Erfahrung des Sachverständigen nicht ausreichen, sollte er beim Auftraggeber des Gutachtens anregen, etwaige unbeantwortete Fragen nichtmedizinischer Natur selbst zu klären. Im Zweifelsfall hat er das Recht, eine gutachtliche Aussage abzulehnen, denn die Aufgabe, Sachaufklärung zu betreiben, ist letztlich dem Gericht übertragen (Sozialmedizinische Begutachtung in der gesetzlichen Rentenversicherung, ▶ Kap. 7).

23.5 Praktische Tipps

An dieser Stelle sind diejenigen der bereits oben dargestellten Arbeitshilfen noch einmal zusammengefasst, die nicht grundsätzlich der allgemein üblichen Praxis entsprechen, sich aber als sehr nützliche Strukturhilfen im Gutachtenwesen in der täglichen Routine bewährt haben:

1. Die Unterlagen sollten für die Begutachtung chronologisch vorsortiert sein. Diese Arbeit sollte dem Gutachter nach Möglichkeit abgenommen werden, weil sie abhängig vom Aktenumfang recht zeitintensiv sein kann, aber keine ärztliche Tätigkeit ist. Aus volkswirtschaftlicher Sicht wäre es unvorteilhaft, wenn die teuerste Arbeitskraft diese Tätigkeit vornimmt.
2. Ein Gutachten sollte immer möglichst prägnant abgefasst sein. Es soll einerseits die Vorgeschichte, den jetzigen Befund und die verbliebenen Unfallfolgen umfassend darstellen, darf andererseits aber auf keinen Fall künstlich in die Länge gezogen werden. Das beugt einerseits einem (im Gutachtenwesen ohnehin latent drohenden) Verlust von Konzentration vor und hilft andererseits den Überblick zu wahren.
3. Es empfiehlt sich, das Gutachten nach Möglichkeit sofort bei der Untersuchung des Patienten zu diktieren. Dann kann es nach Eintreffen der Röntgenaufnahmen sofort abgeschlossen werden, und es entstehen keine abschreckenden und demotivierenden Aktenberge, die immer schwieriger abzutragen sein werden, je weiter der Untersuchungszeitpunkt zurückliegt. Die Erinnerung an den Patienten verblasst schneller als man denkt.
4. Wenn ein Versicherter mehrere Verletzungen erlitten hat, sollten die Diagnosen immer in kraniokaudaler Reihenfolge aufgeführt werden. Die zu Anfang aufgestellte Reihenfolge der Diagnosen soll sich wie ein roter Faden, an dem man sich jederzeit erneut orientieren kann, durch das gesamte Gutachten ziehen und in den verschiedenen Unterpunkten immer wieder genannt werden. Das hilft dem Leser sehr bei der Orientierung und Zuordnung der Befunde zur endgültigen Einschätzung.
5. Vergleichsaufnahmen der Gegenseite sollen erst nach Sichtung der Röntgenbilder von der ehemals verletzten Seite angeordnet werden, wenn nicht bereits von vornherein klar ist, dass ein Seitenvergleich notwendig ist.
6. Es empfiehlt sich sehr, die einzelnen Fragen des Auftraggebers schriftlich aufzuführen, damit das Gutachten, für sich allein gestellt, schlüssig bleibt. Damit für den Auftraggeber dadurch nicht unnötige Kosten entstehen, sollten die Fragen kleingedruckt sein.

23.6 Rententabellen

Im Rahmen der gesetzlichen Unfallversicherung wird die MdE mittlerweile wie in der Privaten Unfallversicherung auch unabhängig von der Händigkeit bewertet. Eine Ausnahme besteht nur noch bei der Schülerunfallversicherung. Dies gilt jedoch wiederum nicht für den Verlust des Daumens, der beidseits mit 20 v.H. eingeschätzt wird.

Den im Anhang folgenden Tabellen aufgeführten Beeinträchtigungen sind verschiedene Grade der MdE, GdB oder Invalidität zugeordnet. Die Tabellen sind dem Unfallmann von Mollowitz (1998) entnommen. Herr Mollowitz war so freundlich, uns den Abdruck seiner Tabellen zu genehmigen.

23.7 Anhang

23.7.1 Durchschnittliche MdE-Sätze bzw. Invaliditätsgrade

Durchschnittliche MdE-Sätze bzw. Invaliditätsgrade in den verschiedenen Formen des Unfallversicherungswesens. In ◘ Tab. 23.7 finden sich die Unfallfolgen im Bereich des Kopfs, in ◘ Tab. 23.8 für Hand und Arm, in ◘ Tab. 23.9 für die Bauchorgane, in ◘ Tab. 23.10 die für den Urogenitalbereich, in ◘ Tab. 23.11 die für die Beine, in ◘ Tab. 23.12 für die Wirbelsäule, in ◘ Tab. 23.13 bzgl. eines Schädel-Hirn-Traumas und in ◘ Tab. 23.14 für die peripheren Nerven.

Tab. 23.7 Unfallfolgen im Bereich des Kopfs

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht bzw. Grad der Behinderung nach dem SchwbG (»Anhaltspunkte«) (%)	Invaliditätsgrade (Privatversicherung) (% oder Bruchteile)
Knochenlücken im Schädeldach je nach Größe ohne Hirnfunktionsstörung	10–40	30 (Gilt nur für erhebliche Knochenlücken)	
Einbruch des Augendachrandes und des Jochbeins ohne Sehstörungen	0–15		
Abstoßend wirkende Entstellungen des Gesichts, die den Umgang mit anderen Menschen erschweren	20–50	50	
Lähmung des N. facialis einseitig			
Kosmetisch wenig störend ausgeprägte Restparese	10	0–10	
Doppelseitig, komplette Lähmung	30	50	
Skalpierung, Frauen (bei Lieferung und Instandhaltung einer Perücke)	30		
Skalpierung oder Vernarbung der Kopfhaut (Männer)	10–20		
Verlust einer Ohrmuschel	10	20	
Verlust beider Ohrmuscheln	20	30	
Vollständiger Verlust der Nase	30–50	50	
Teilverlust der Nase (Nasenspitze)	10–20	10	
Stark entstellende Sattelnase	15–20		
Einseitige leichte bis mittelgradige Schwerhörigkeit	0		$\frac{1}{5}-\frac{2}{5}$
Einseitige Taubheit	15	15	30%
Doppelseitige Taubheit	70	70	60%
Ermittlung der MdE aus den Schwerhörigkeitsgraden beider Ohren wird durch HNO-Arzt ermittelt			
Doppelseitige mittelgradige Schwerhörigkeit	30		$\frac{2}{5}+\frac{2}{5}$
Doppelseitige hochgradige Schwerhörigkeit	45		$\frac{3}{4}+\frac{3}{4}$
Luftröhrenschnitt, Kanülenträger auf Dauer	50	40–70	
Verlust des Kehlkopfs	50–80	70	
Erhebliche Verengung der Nasengänge	15–25	20	
Verengung der Mundöffnung oder Kiefersperre, nur Aufnahme flüssiger Nahrung möglich	30	50	
Verlust einzelner Zähne (evtl. Ersatz)	0		
Verlust aller Zähne	25		
Verlust des Gaumens	30	20–30	
Lippendefekt mit Speichelfluss	20	20–30	
Lähmung des N. recurrens einseitig, Stimme (wieder) gut	10	0–10	
Lähmung des N. recurrens doppelseitig, Kanülenträger auf Dauer	50	40–50	
Einseitige unkomplizierte Erblindung oder Verlust eines Auges bei uneingeschränktem Sehvermögen des 2. Auges	25	30	50%
Doppelseitige Herabsetzung des Sehvermögens auf 0,25	40	40	$\frac{13}{30}+\frac{13}{30}$
Einseitige Erblindung mit Herabsetzung der Sehschärfe auf dem anderen Auge auf 0,4	50	50	
Doppelseitige Herabsetzung der Sehschärfe auf 0,05	100	100	$\frac{25}{30}+\frac{25}{30}$

Tab. 23.8 Unfallfolgen im Bereich des Arms

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht bzw. Grad der Behinderung nach dem SchwbG (»Anhaltspunkte«) (%)	Invaliditätsgrade (Privatversicherung) (% oder Bruchteile)
Alle Gelenkbeweglichkeitsmessungen nach der Neutral-0-Methode			
Verlust des Arms im Schultergelenk (Exartikulation) oder sehr kurzer Stumpf	80	80	70% 65%
Verlust Mitte Oberarm	70	70	65%
Verlust im Ellenbogengelenk	70	70	
Versteifung des Schultergelenks in günstiger Stellung bei gut beweglichem Schultergürtel (beste Stellung: 30° Abduktion, 30° Flexion, 30° Innenrotation)	30	30	$^2/_5$ Arm
Vollständige Versteifung des Schultergelenks in ungünstiger Stellung oder bei erheblich gestörter Beweglichkeit des Schultergürtels	40–50	40–50	$^2/_5$–$^2/_3$ Arm
Habituelle Schulterverrenkung oder rezidivierende Verrenkung	20–30	10–30	$^1/_{10}$–$^1/_5$ Arm
Schulterbeweglichkeit 0-0-120	15	10	$^1/_{10}$ Arm
Schulterbeweglichkeit 0-0-90	25	20	$^1/_5$ Arm
Verlust mittlerer Unterarm bei frei beweglichem Ellenbogengelenk	60	50	60%
Verlust der Hand	60	50	55%
Verlust aller Finger einer Hand	50	50	
Handgelenk in leichter Dorsalflexion versteift (beste Stellung)	30	30	$^1/_4$ Arm
Handgelenk in Bewegung oder Streckung von 45° und mehr versteift	40	40	$^1/_{10}$–$^1/_3$ Arm
Kahnbeinpseudarthrose, je nach Bewegungseinschränkung und Beschwerden	0–30		$^1/_5$–$^3/_{10}$ Arm
Mondbeintod je nach Bewegungseinschränkung und Beschwerden	10–20		$^1/_4$ Hand

Tab. 23.9 Unfallfolgen im Bereich der Bauchorgane und Bauchdecken

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht (Versorgungsamt) bzw. Grad der Behinderung (%)
Bauchnarbenbruch je nach Größe und Beschwerden	10–40	0–50
Verlust der Milz, 2–3 Monate nach Unfall arbeitsfähig: beim Erwachsenen im 1. Jahr	30	10
Danach, wenn keine Komplikationen auftreten	10	10
Bei Kindern unter 4 Jahren im 1. Jahr	50	20–30
Danach, wenn keine Komplikationen auftreten (bei Auftreten des OPSI-Syndroms erneute Beurteilung)	20–30	20–30
Kunstafter (Dickdarm), gut verschließbar	50	50
Dünn- und Dickdarmfistel je nach Absonderung	20–40	
Stuhlinkontinenz	30	20–40
Stärkerer Mastdarmvorfall	30	20–40

▼

Tab. 23.9 *Fortsetzung*

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht (Versorgungsamt) bzw. Grad der Behinderung (%)
Komplikationslos verlaufende Virushepatitis (abgeheilt):		
Akute Krankheitsphase (meistens 8–12 Wochen)	100	
Rekonvaleszenz (4–6 Wochen)	50–60	
Hepatitis, entzündlicher Restzustand	20–30	
Protrahiert verlaufende Hepatitis	40–50	
Chronische, nicht sicher klassifizierbare Hepatitis	30–40	
Chronisch persistierende Hepatitis	20–30	20–30
Chronisch aggressive Hepatitis	40–80	20–100
Narbenleber ohne Ösophagusvarizen	30–40	20–40
Mit Ösophagusvarizen	60–100	60–100
Primäres Leberkarzinom	100	100

Tab. 23.10 Unfallfolgen im Urogenitalbereich

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht (Versorgungsamt) bzw. Grad der Behinderung (%)
Einseitige erhebliche Funktionsschädigung mit massivem Harnbefund und wechselnden Beschwerden	10–20	
Einseitiger Nierenstein und Pyelonephritis (Operationsindikation)	30	
Funktionsausfall mit ständigen Beschwerden und massivem Harnbefund, Nephrektomie angezeigt	30–40	
Doppelseitige Nierenschädigung, leichte Funktionsbeeinträchtigung, geringer Harnbefund	10–20	20–30
Deutliche Funktionsstörung, chronische Pyelonephritis beidseitig mit entsprechendem Harnbefund, Bakteriurie, latenter Kompensationszustand	30–50	
Schwere Nierenschädigung, Organschrumpfung je nach Kompensationszustand	50–100	80–100
Notwendigkeit dauernder Dialysebehandlung	100	100
Nierenbeckenentzündung	10–50	
Lageveränderung der Gebärmutter je nach Beschwerden	10–20	
Scheiden- und Gebärmuttervorfall, durch Ring gut zurückzuhalten	20	
Völliger Vorfall der Scheide und Gebärmutter, auch durch Ringe und Bandagen nicht zurückzuhalten	60	
Vaginalfistel	30	
Nierenfistel	30	
Verlust des Penis	40	50
Verlust eines Hodens bei intaktem anderen Hoden	0	0
Wasserbruch, sehr groß	20	10
Verlust beider Hoden bis 40 Jahre, wenn Substitutionstherapie keinen ausreichenden Erfolg bringt	50	20–40
Über 40 Jahre	30	
Über 60 Jahre	10	
Harninkontinenz mit nächtlichem Einnässen	10–30	
Völlige Harninkontinenz je nach Begleiterscheinungen	50–100	50
Urinfistel mit der Notwendigkeit, ein Urinal zu tragen	50	50

Tab. 23.11 Unfallfolgen im Bereich der Beine

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht bzw. Grad der Behinderung nach dem SchwbG (»Anhaltspunkte«) (%)	Invaliditätsgrade (Privatversicherung) (% oder Bruchteile)
Verlust beider Oberschenkel	100	100	
Verlust eines Beins und eines Arms	100	100	
Verlust beider Unterschenkel bei frei beweglichen Kniegelenken	70–80	80	
Verlust eines Beins im Hüftgelenk	80	80	70%
Verlust eines Beins bis zum kleinen Rollhügel	70	80	70%
Verlust des Beins im mittleren oder unteren Oberschenkeldrittel	60	70	60 oder 70%
Verlust des Beins im Kniegelenkspalt	60	70	60%
Verlust des Beins im Unterschenkel	50	50	45 oder 50%
Verlust des Fußes im Chopart-Gelenk	35	30	½ Fuß
Verlust des Fußes im Lisfranc-Gelenk	30	30	⅖ Fuß
Amputation nach Pirogoff	35	40	30%
Verlust des Fußes im Mittelfuß	25	30	⅓ Fuß
Verlust beider Füße im Mittelfußgelenk	50	50	⅓+⅓ Fuß
Verlust der Großzehe einschließlich des Mittelfußköpfchens	20	20	
Versteifung einer Hüfte, günstige Stellung	30	40	⅖ Bein
Versteifung beider Hüften in günstiger Stellung	80	80–100	⅖+⅖ Bein
Versteifung der Hüfte in ungünstiger Stellung	40–50	50–60	⅔ Bein
Versteifung eines Kniegelenks in bester Stellung 0-5-5	30	30	⅖ Bein
Versteifung eines Kniegelenks in 20° Beugestellung, 0-20-20	40		½ Bein
Versteifung eines Kniegelenks in 30° Beugestellung, 0-30-30	50		⅗ Bein
Versteifung beider Kniegelenke	80	80	⅖+⅖ Bein
Kniebeweglichkeit 0-10-60, stärkere Beinschwäche	30		³⁄₁₀ Bein
Kniebeweglichkeit 0-0-90, leichte Beinschwäche	10	0–10	⅐ Bein
Wackelknie, Stützapparat nötig, starke Beinschwäche	30–50	30–50	½ Bein
Leichtes Wackelknie	20	10–20	¹⁄₁₀–⅕ Bein
Nach Entfernung oder Teilentfernung eines verletzten oder erkrankten Meniskus je nach Befund	0–30		0–¹⁄₁₀ Bein
Versteifung des oberen und unteren Sprunggelenks in günstiger Stellung	20	30	⅜ Bein
Versteifung des unteren Sprunggelenks	15	10	¼–⅓ Fuß
Versteifung des Fußes in Spitzfußstellung von mehr als 20°	30		⅖ Bein
Totalendoprothese des Hüftgelenks einseitig nach Wiedereintritt der Arbeitsfähigkeit	40	20	
Nach weiteren 3 Monaten	30		
Nach 1–1,5 Jahren	20–30	(20–)30	
Danach bei optimaler Beweglichkeit und Belastbarkeit ▼	20		¼ Bein

Tab. 23.11 *Fortsetzung*

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht bzw. Grad der Behinderung nach dem SchwbG (»Anhaltspunkte«) (%)	Invaliditätsgrade (Privatversicherung) (% oder Bruchteile)
Bei schmerzhafter Bewegungseinschränkung oder Infektionen wesentlich höhere MdE-Grade			
Ausgeheilte Oberschenkelfraktur, 6 cm Beinverkürzung, Gelenke frei beweglich, Bein leicht geschwächt	30	30	1/3 Bein
Ausgeheilte Oberschenkelfraktur, bis 4 cm Beinverkürzung, Gelenke frei beweglich, Bein leicht geschwächt	20	20	1/5 Bein
Ausgeheilte Oberschenkelfraktur, 2 cm Beinverkürzung, sonst keine wesentlichen Störungen	0	0	1/10 Bein
Versteifung des Fußgelenks in extremer Spitzfußstellung	40–50		1/2 Bein
Totalendoprothese des Kniegelenks einseitig	30–40	30	2/5 Bein
Rezidivierende Synovialitis je nach Schwere bis	40		
Chronische Osteomyelitis, Ostitis mit Fistelbildung am Oberschenkel am Schienbeinkopf am Unterschenkel	 30–50 30–50 20–40		
Schnappende Hüfte je nach Beschwerden und Beeinträchtigung der Standfestigkeit	0–20		1/5 Bein
Schmerzhafte Pseudarthrose eines Röhrenknochens am Bein	bis zu 70–80 (laut Mehrhoff et al. 2005)		

Tab. 23.12 Unfallfolgen im Bereich der Wirbelsäule

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht (Versorgungsamt) bzw. Grad der Behinderung (%)
Dorn- und Querfortsatzfrakturen	0–20	0–10
Wirbelkörperbrüche ohne neurologische Ausfälle im 1. Jahr nach dem Unfall	10–40	20–30
Vollständige Halsmarkschädigung mit vollständiger Lähmung beider Beine und Arme mit Störungen der Blasen-Mastdarm-Funktion	100	100
Vollständige Brustmark-, Lendenmark- oder Kaudaschädigung mit vollständiger Lähmung des Stammes und der Beine, mindestens von Segment D1 an abwärts mit Störungen der Blasen-Mastdarm-Funktion	100	100
Unvollständige schwere Halsmarkschädigung mit gewichtigen Teillähmungen beider Arme und Beine mit Störungen der Blasen- und Mastdarmfunktion	80–100	100
Unvollständige leichte Halsmarkschädigung mit beiderseitig geringem motorischen und sensiblen Restausfällen ohne Störung der Blasen- und Mastdarmfunktion	30–60	
Unvollständige Brustmark-, Lendenmark- oder Kaudaschädigung mit Teillähmung beider Beine, mit Störungen der Blasen- und Mastdarmfunktion	60–80	
Unvollständige Brustmark-, Lendenmark- oder Kaudaschädigung mit Teillähmung beider Beine ohne Störung der Blasen-Mastdarm-Funktion	0–60	

Tab. 23.13 Unfallfolgen nach Schädel-Hirn-Traumen

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht (Versorgungsamt) bzw. Grad der Behinderung (%)
Hirnverletzung mit Hirnleistungsschwäche		
– leichten Grades	20–30	40–50
– mittelschweren Grades	30–50	50–70
– schweren Grades	50 und mehr	70–100
Zerebrale Anfälle (Krämpfe, Bewusstseinsstörung, andere Anfallfolgen)	40–100	40–100
Vegetative Störungen		
– leichter Art bis	30	30
– mittelschwerer Art bis	50	40
– schwerer Natur bis	80	50–60
– Blasen-Darm-Lähmung	100	
Herdbedingte Ausfälle (z.B. Aphasie, Apraxie)		
– leicht bis	50	30–50
– mittelschwer bis	60	60–80
– schwer	80–100	100
Koordinations- und Gleichgewichtsstörung zerebellarer Ursachen	30–100	40–100
Wesensänderung	50–100	50–100
Hirnerkrankung, je nach Leistungsausfällen	50–100	

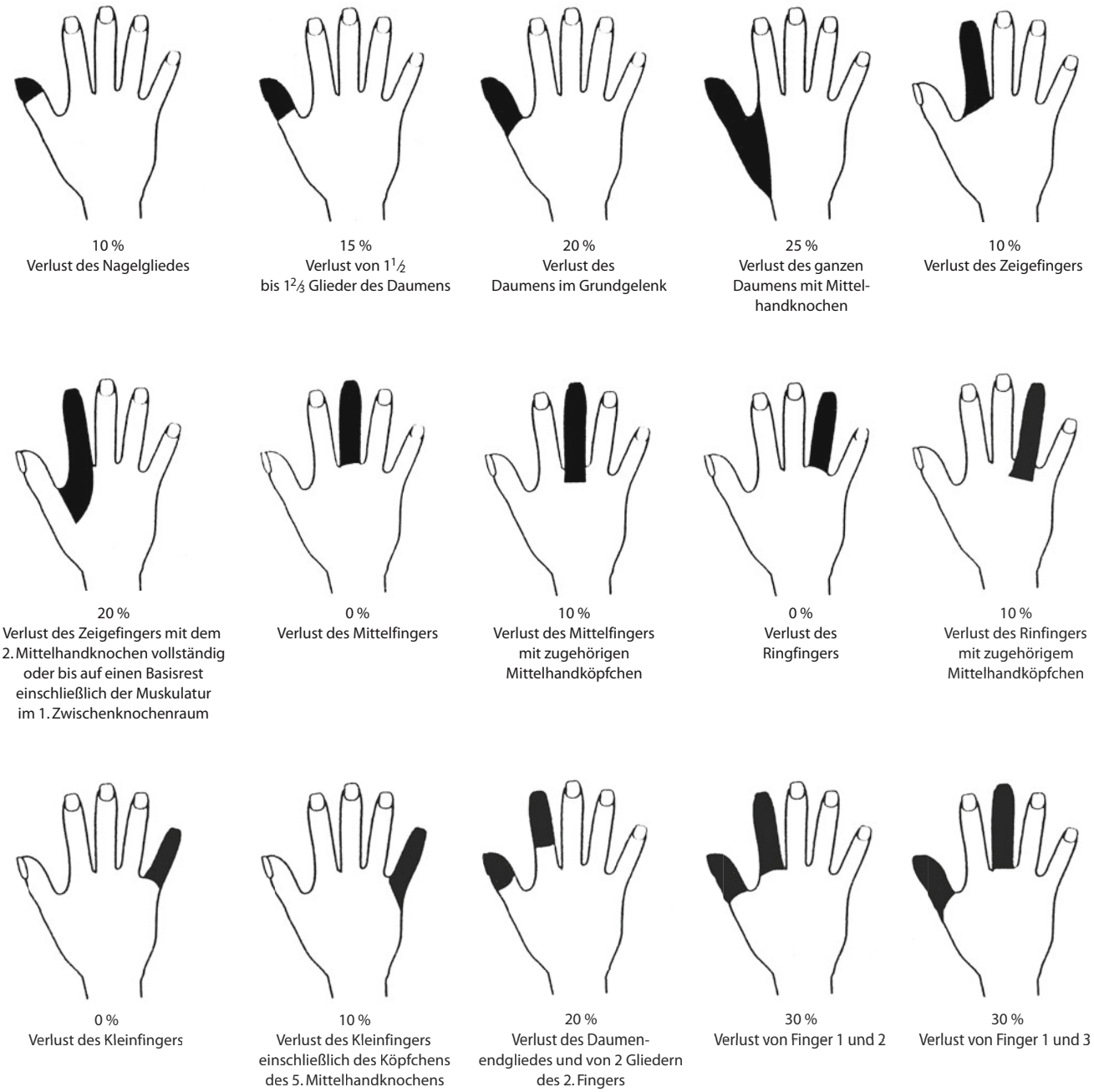
Tab. 23.14 Unfallfolgen im Bereich der peripheren Nerven

	MdE, gesetzliche Unfallversicherung (BG) (%)	MdE, soziales Entschädigungsrecht bzw. Grad der Behinderung nach dem SchwbG (»Anhaltspunkte«) (%)	Invaliditätsgrade (Privatversicherung) (% oder Bruchteile)
Ausfall des N. thoracicus longus (großer Sägemuskel)	30	20	
Ausfall des N. accessorius	20		
Ausfall des N. axillaris	30	30	¼ Arm
Lähmung des N. facialis			
– einseitig	10	0–30	
– doppelseitig	30	50	
Ausfall des ganzen N. radialis	30–40	30	⅖ Arm
Ausfall des N. radialis mittlerer Bereich	25	20	⅓ Arm
Ausfall des N. radialis distal	20	20	¼ Arm
Ausfall des N. ulnaris distal	30	30	¼ Arm
Ausfall des N. medianus proximal	35	40	⅖ Arm
Ausfall des N. medianus und des N. ulnaris	60	50	⅗ Arm
Ausfall des N. radialis, N. ulnaris, und N. medianus in Schulterhöhe	75		1/1 Arm
Ausfall des N. femoralis	40	40	⅖–½ Bein
Ausfall des N. ischiadicus	50	50–60	⅘ Bein
Ausfall des N. peroneus communis	30	30	⅓–⅖ Bein
Ausfall des N. peroneus superficialis	15	20	¼ Bein
Ausfall des N. peroneus profundus	25	30	⅓ Bein
Ausfall des N. tibialis	30	30	⅓ Bein

23.7.2 Tafeln der MdE-Sätze im Rahmen der gesetzlichen Unfallversicherung

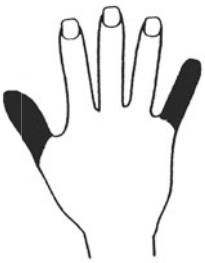
Bei der Einschätzung der MdE bei Unfallfolgen an den oberen Extremitäten werden **keine Seitenunterschiede** mehr gemacht. Beispielsweise ist der Verlust der linken Hand dem der rechten gleichzusetzen (◘ Abb. 23.5, ◘ Abb. 23.6, ◘ Abb. 23.7, ◘ Abb. 23.8).

Trotz aller Amputationsschemata darf bei der Bewertung der Unfallfolgen selbstverständlich nicht allein vom Substanzverlust ausgegangen werden. Es ist der Schweregrad der Unfallfolgen von der Gesamtsituation zu bestimmen.



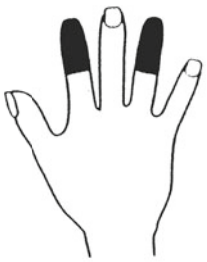
◘ **Abb. 23.5** Verluste im Bereich der oberen Gliedmaßen – Hand

30 %
Verlust von Finger 1 und 4


30 %
Verlust von Finger 1 und 5

15 %
Verlust von jeweils
2 Gliedern der Finger 2 und 3

25 %
Verlust von Finger 2 und 3


15 %
Verlust von jeweils 2 Glieder
der Finger 2 und 4

25 %
Verlust von Finger 2 und 4

15 %
Verlust von jeweils
2 Gliedern der Finger 3 und 4

25 %
Verlust von Finger 3 und 4

15 %
Verlust von jeweils
2 Gliedern der Finger 3 und 5

25 %
Verlust von Finger 3 und 5

15 %
Verlust von jeweils
2 Gliedern der Finger 4 und 5

20 %
Verlust von Finger 4 und 5

40 %
Verlust von Finger 1, 2 und 3

40 %
Verlust von Finger 1, 2 und 5

40 %
Verlust von Finger 1, 4 und 5

45 %
Verlust von Finger 1, 2 und 4

40 %
Verlust von Finger 2, 3 und 4

35 %
Verlust von Finger 2, 4 und 5

35 %
Verlust von Finger 2, 3 und 5

30 %
Verlust von Finger 3, 4 und 5

45 %
Verlust von Finger 1, 2, 3 und 4

45 %
Verlust von Finger 1, 3, 4 und 5

40 %
Verlust von Finger 2, 3, 4 und 5

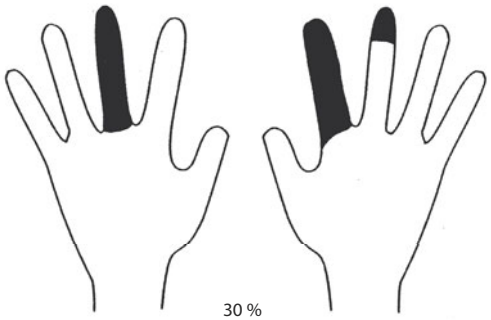
50 %
Verlust aller Finger:
so genannte „Beihand"

45 %
Verlust der Finger 1, 2, 3,
Teilverlust der Mittelhand-
knochen 1, 2, 3

40 %
Verlust der Finger 3, 4, 5,
Teilverlust der Mittelhand-
knochen 3, 4, 5

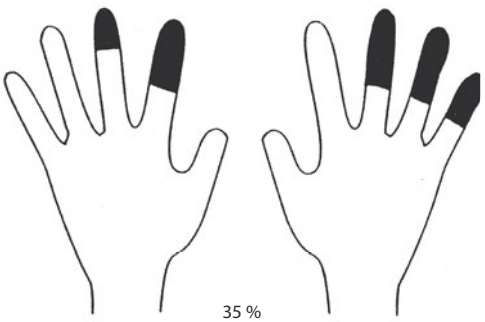
55 %
Verlust der Finger 2, 3, 4, 5,
Teilverlust der Mittelhand-
knochen 2, 3, 4, 5

20 %

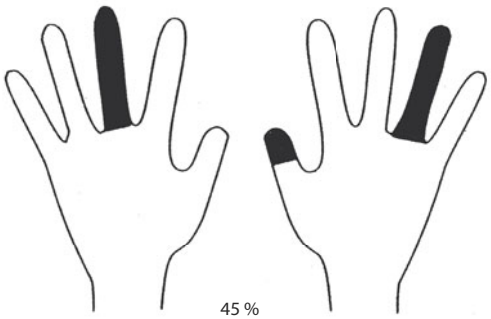


30 %

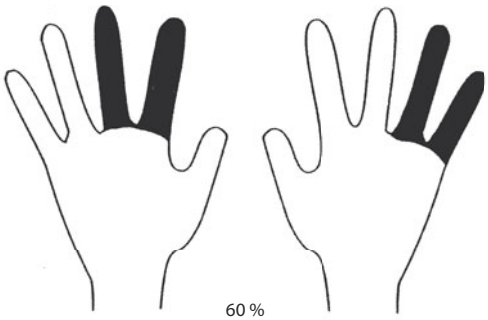
30 %



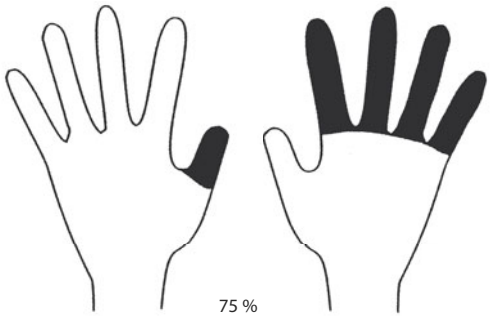
35 %



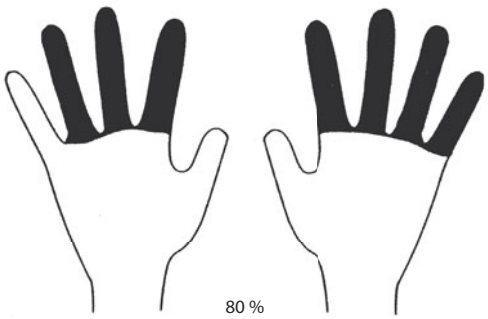
45 %



60 %



75 %



80 %

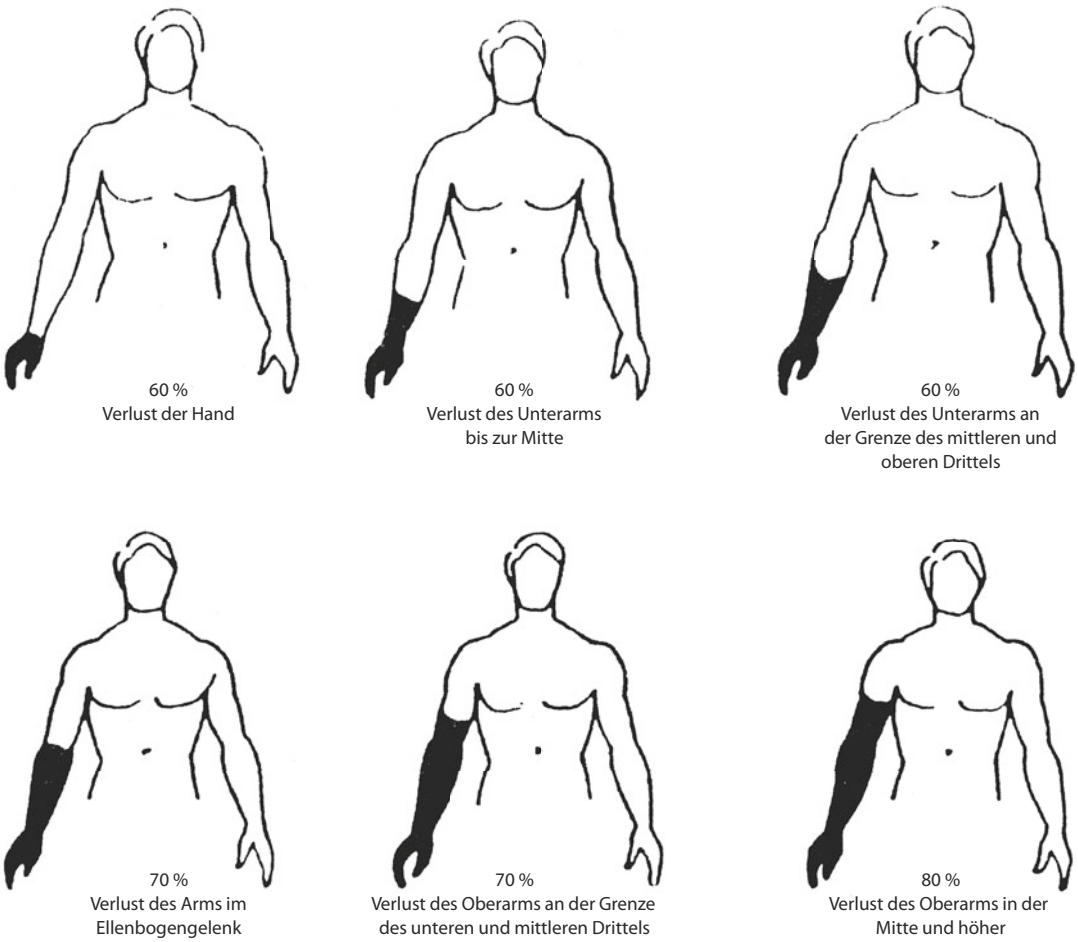


Abb. 23.6 Verluste im Bereich der oberen Gliedmaßen – Arm

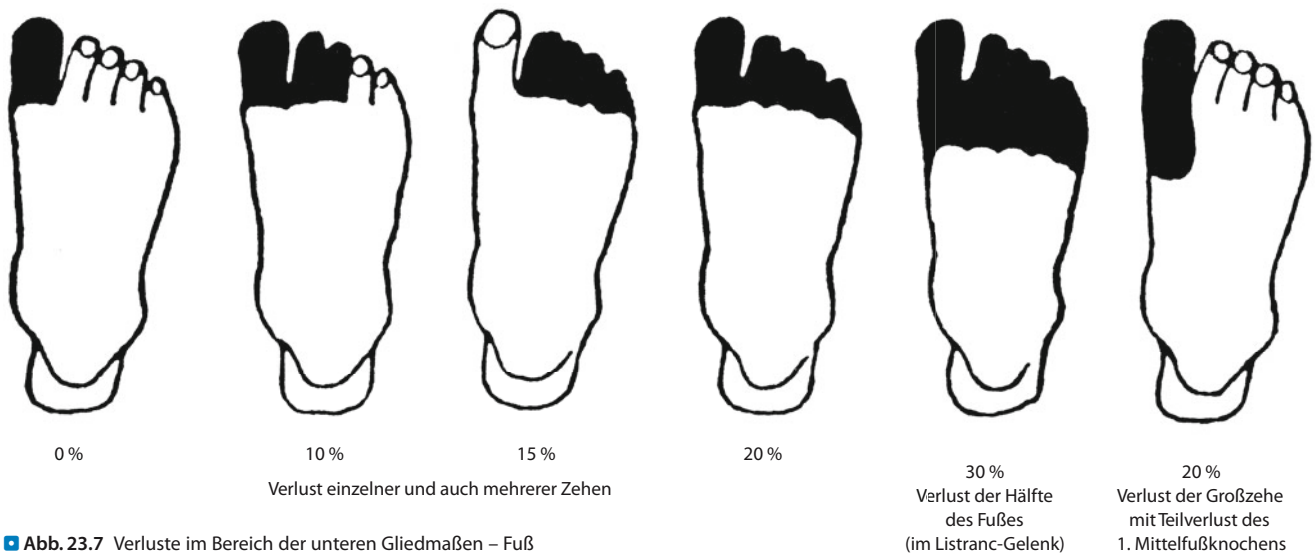


Abb. 23.7 Verluste im Bereich der unteren Gliedmaßen – Fuß

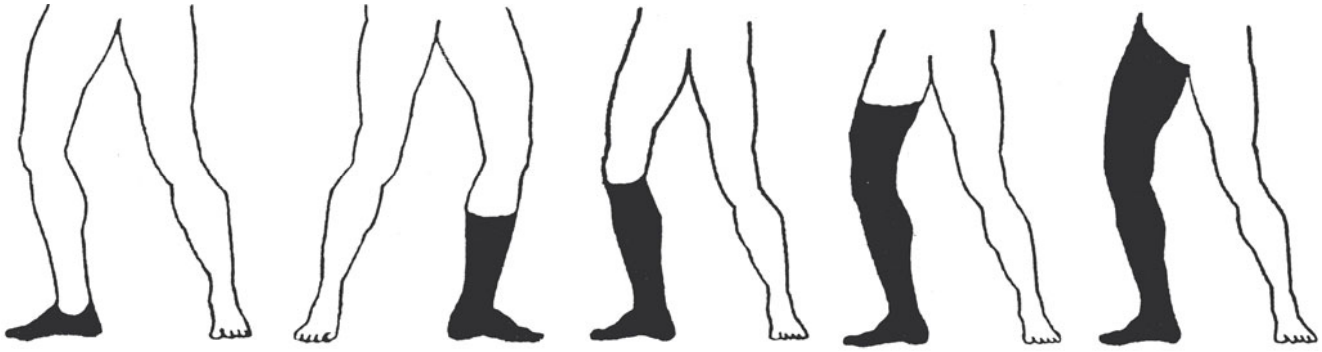


Abb. 23.8 Verluste im Bereich der unteren Gliedmaßen – Bein

23.7.3 Rentensätze im Rahmen der gesetzlichen Unfallversicherung: Prüfung der Sensibilität

Wie bereits mehrfach ausgeführt, darf man sich im Bereich der Finger nicht nur mit der Beurteilung des anatomischen Defektzustandes begnügen, sondern muss auch die Funktion der Hand berücksichtigen. Die Funktion wird aber ganz wesentlich von der Sensibilität und dem Tastgefühl der Finger bestimmt.

Zur Prüfung der Hautsensibilität sind heute üblich:

- Auflesetest nach Moberg (1958),
- taktile Unterscheidung (z.B. spitz/stumpf),
- 2-Punkte-Diskriminierung,
- Temperaturunterscheidung (10°C Differenz),
- Nerverleitgeschwindigkeit.

Der Ninhydrintest nach Moberg (1958) kommt nach Mitteilung von Haas et al. (1989) nur noch selten zur Anwendung, da er zu ungenau ist.

Literatur

Bauch J (1999) Anforderungen an den medizinischen Sachverständigen im Zivilprozeß. Diskussion und Analyse von Fallbeispielen. Seminar »Der Chirurg als Sachverständiger im Kunstfehlerprozeß«, 6.3.99, Stuttgart

Hennies G (1998) Rechtsgrundlagen der Begutachtung in der Unfallversicherung, der sozialen Entschädigung und nach dem Schwerbehindertengesetz – Rechtsbegriffe. In: Marx HH, Klepzig H (Hrsg.) Basiswissen medizinische Begutachtung, Thieme, Stuttgart New York, S 113–128

Izbicki W, Neumann N, Spohr H (1992) Unfallbegutachtung, 9. bearb. u. erg. Aufl. de Gruyter, Berlin New York

Junghanns K (1999) Anforderungen an den chirurgischen Sachverständigen aus fachlicher Sicht. Vortrag auf dem Seminar »Der Chirurg als Sachverständiger im Kunstfehlerprozeß«, 6.3.99, Stuttgart

Marx HH (1992) Medizinische Begutachtung, 6. neubearb. u. erw. Aufl. Thieme, Stuttgart New York

Mehrhoff F, Muhr G (1999) Unfallbegutachtung, 10. vollst. überarb. u. erg. Aufl. Walter de Gruyter, Berlin

Mehrhoff F, Meindl RC, Muhr G (2005) Die wichtigsten Rentensätze, In: Mehrhoff F, Meindl RC, Muhr G (Hrsg) Unfallbegutachtung. de Gruyter, Berlin New York, S 143-194

Meyer J (1999) Anforderungen an den medizinischen Sachverständigen im Zivilprozeß. Vortrag auf dem Seminar »Der Chirurg als Sachverständiger im Kunstfehlerprozeß«, 6.3.99, Stuttgart

Mitteilungen der Bayerischen GUVV, StAfU, EUV der Landeshauptstadt München (1996) Pluspunkt IV

Mollowitz GG (1998) Der Unfallmann. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo

Schönberger A, Mehrtens G, Valentin H (1998) Arbeitsunfall und Berufskrankheit, 6. neu bearb. Aufl. Schmidt, Berlin

Spier R, Leuftink D, Japtok HJ (1990) Arzt & BG. Kepnerdruck, Eppingen

Ulsenheimer K (1999) Anforderungen an den medizinischen Sachverständigen im Strafprozeß. Vortrag auf dem Seminar »Der Chirurg als Sachverständiger im Kunstfehlerprozeß«, 6.3.99, Stuttgart

Verband Deutscher Rentenversicherungsträger (1995) Sozialmedizinische Begutachtung in der gesetzlichen Rentenversicherung, 5. völlig neubearb. Aufl. Fischer, Stuttgart

Anhang

Bildquellenverzeichnis – 1214

Stichwortverzeichnis – 1215

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Bildquellenverzeichnis

Sofern in den Abbildungslegenden keine anderweitigen Quellen angegeben sind, stammen die Zeichnungen von Albert R. Gattung und Regine Gattung-Petith, Edingen-Neckarhausen, mit folgenden Ausnahmen:

Grafik Hanns, Gundelfingen:
Abbildungen 1.38, 1.71, 1.72, 1.73, 2.20, 3.11, 4.40, 4.42, 5.15, 5.32, 5.45, 5.46, 5.50, 5.57, 6.6, 6.62, 6.93, 6.94, 6.95, 6.96, 6.97, 6.98, 6.99, 9.45, 10.41, 10.42, 10.53, 10.90, 10.91, 10.93, 10.94, 18.46, 18.47, 18.56, 21.51, 21.67, 21.68

Bodo Gsedl, Taufkirchen:
Abbildungen 10.51 und 10.52

Cover

1	2 3 4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13				

1. Lichte P, Kobbe P, Lörken M, Pape HC (2010) Planung von Korrekturosteotomien der unteren Extremität. Unfallchirurg 113:573-584
2. B. Weigel
3. Kinner B, Neumeier M, Roll C, Ganslmeier A (2008) Plantare Lisfranc-Luxationsfraktur. Unfallchirurg 111:206-210
4. Kinner B, Neumeier M, Roll C, Ganslmeier A (2008) Plantare Lisfranc-Luxationsfraktur. Unfallchirurg 111:206-210
5. Weigel B, Zellner J, Angele P (2011) Knie und Unterschenkel. In: Weigel B, Nerlich M (Hrsg) Praxisbuch Unfallchirurgie, 2. Aufl, S 606
6. Visna P, Beitl E, Hart R, Cizmar I, Pilny J, Smidl Z (2008) Versorgung der Schenkelhalsfrakturen mit einem biaxialen proximalen Femurnagel. Unfallchirurg 111:289-298
7. Tsaur I, Niedermeyer B (2008) Seltene Komplikation einer dislozierten Rippenfraktur. Unfallchirurg 111:850-855
8. Weigel B, Neumann C (2011) Wirbelsäule. In: Weigel B, Neumann C (Hrsg) Praxisbuch Unfallchirurgie, 2. Aufl, S 209
9. Weigel B (2011) Arm. In: Weigel B, Nerlich M (Hrsg) Praxisbuch Unfallchirurgie, 2. Aufl, S 318
10. Visna P, Beitl E, Hart R, Cizmar I, Pilny J, Smidl Z (2008) Versorgung der Schenkelhalsfrakturen mit einem biaxialen proximalen Femurnagel. Unfallchirurg 111:289-298
11. Weigel B (2011) Arm. In: Weigel B, Nerlich M (Hrsg) Praxisbuch Unfallchirurgie, 2. Aufl, S 318
12. Löhrer L, Schmid S, Hofbauer VR, Hartensuer R, Raschke MJ, Vordemvenne T (2009) Persistierende Dysphagie und mechanische Glottisparese. Unfallchirurg 112:76-80
13. Stöckle U, König B, Schäffler A, Zschernack T, Haas NP (2006) Klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso-C3D-Bildwandler in der Beckenchirurgie. Unfallchirurg 109:30-40

Stichwortverzeichnis

B. Weigel, M. L. Nerlich. (Hrsg.), *Praxisbuch Unfallchirurgie,* DOI 10.1007/978-3-642-10789-4,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

A

Aa. crurales, Verletzung und Therapie 849
A. axillaris, Diagnostik 838
A. axillaris, Therapie 838
A. axillaris-Verletzung 838
Abbreviated-Injury-Scale-Thorax 889
ABCDE-Regel 897
Abdomen, akutes 102
Abdomen, Anatomie 98
Abdomen, »bretthart« 102
Abdominaltrauma, Anamnese 102
Abdominaltrauma, Angiografie 105
Abdominaltrauma, Computertomografie 104
Abdominaltrauma, Diagnostik 102
Abdominaltrauma, körperliche Untersuchung 102
Abdominaltrauma, Laboruntersuchungen 106
Abdominaltrauma, Leitsymptome 101
Abdominaltrauma, penetrierendes 108, 112
Abdominaltrauma, penetrierendes, Antibiose 113
Abdominaltrauma, penetrierendes, Diagnostik 112
Abdominaltrauma, penetrierendes, Therapie 113
Abdominaltrauma, Röntgen 104
Abdominaltrauma, sonografische Standardschnitte 103, 104
Abdominaltrauma, stumpfes 108
Abdominaltrauma, therapeutischer Algorithmus nach Velmahos 108
Abdominaltrauma, übersehene Verletzungen (missed injuries) 106
Abdominaltrauma, Ultraschall 102
Abdominaltrauma und begleitende Frakturen 101
Abdominaltrauma, verzögerte Diagnosestellung (delayed diagnosis) 106
Abdominalverletzungen, nichtoperative Versorgung 108
Abduktionsbelastungstest 1030
Abgrenzbarkeit 1046
A. brachialis, Therapie 839
A. brachialis-Verletzung 839
Abrissfraktur, trochantere 547
Abscherungen (Gesicht, Kopf) 54
Abstand, interkanthaler 42
Abszess 870
Abszessausräumung 870
Abszess nach Milztrauma 118
Abszessspaltung 870
A. carotis interna-Dissektion 832
A. carotis, interventionelle Therapie 834
A. carotis-Verletzung 831
A. carotis-Verletzung, Diagnostik 831
A. carotis-Verletzung, Therapie 832
Acetabulum 473
Acetabulum, dorsaler Zugang, nach Kocher-Langenbeck 1118
Acetabulumfraktur 489
Acetabulum, Frakturen der hinteren Wand 496
Acetabulum, Frakturen der vorderen Wand 497
Acetabulum, Frakturen des hinteren Pfeilers 497
Acetabulum, Frakturen des vorderen Pfeilers 497
Acetabulumfrakturen, Klassifikation 491
Acetabulum, ilioinguinaler Zugang, nach Letournel 1117
Acetylsalicylsäure 933
AC-Gelenksprengung 236
Achillessehne dorsaler Zugang 1135
Achillessehnenruptur 743
Achillessehnenruptur, Komplikation 745
Achillessehnenruptur, Nahttechnik 745
Achillessehnenruptur, perkutane Naht 745
Achillessehnenruptur, Sehnenplastiken 745
Achillessehnenruptur, Sonografie 1072
Achillessehnenruptur, Therapie 744, 745
Achsabweichungen, frontale 979
Achsausrichtung, frontale, untere Extremitäten 960
Achsausrichtung, frontal, obere Extremitäten 1002
Achsausrichtung, horizontal, obere Extremitäten 1002
Achsausrichtung, sagittale, untere Extremitäten 961
Achsausrichtung, sagittal, obere Extremitäten 1002
Achsdeformitäten, longitudinale 979
Achsdeformitäten, sagittale 979
Achsen, anatomische, untere Extremitäten 958
Achsen, mechanische, untere Extremitäten 958
Achsen und Gelenkwinkel, obere Extremitäten 1001
Achsenverhältnisse, Kniegelenk 960
Achsenverhältnisse, Nomenklatur 958
Activities of daily living (ADL) 171
acute respiratory distress syndrome (ARDS) 911, 916
Adduktionstest am hängenden Arm 1019
Adduktorenloge 947
Adson-Test 297
Adult respiratory distress syndrome (ARDS) 84
Advanced Cardiac Life Support, ACLS 904
Advanced Trauma Life Support (ATLS) 897
Advanced Trauma Life Support-Richtlinien (ATLS) 886
A. femoralis communis, Verletzung und Therapie 847
A. femoralis-Verletzung und Therapie 847
A. iliaca, Therapie 846
A. iliaca-Verletzung 846
Akromioklavikulargelenk 234
Akromioklavikulargelenkarthrose 1055
Akromioklavikulargelenkluxation 249
Akromioklavikulargelenkluxation, Klassifikation 251
Akromioklavikulargelenkluxation, Stabilisierung mit Zuggurtung 254, 256
Akromioklavikulargelenkluxation, Therapie 251
Akromioklavikulargelenksprengung 251
Akromioklavikulargelenk, Standardzugänge 1101
Akromioklavikulargelenkverletzung, Hakenplatte 254, 256
Akromioklavikulargelenk, Verletzungen 1054
Akromioklavikulargelenk-Zielaufnahme 238
Akustische Impedanz 1046
Akutkorrektur, untere Extremität 974
Ala-Aufnahme, Acetabulum 489
Ala-Projektion 475
Algodystrophie 939
Algodystrophie, Physiotherapie 941
Algodystrophie, Stadien 939
Algodystrophie, Therapie 940
Algodystrophie, Ursachen 939
ALIF (anterior lumbar interbody fusion) 210
Allen-Test 1029
Allgöwer-Naht 1147
All-inside-Technik 596
Altersfrakturen 501
Alveolarfortsatzfraktur 51
A. mammaria, Verletzung 95
Amnesie 4
Amputation 876, 904
Amputation am Fuß, mediotarsale (Chopart) 698
Amputation am Fuß, metatarsophalangeale 697
Amputation am Fuß, phalangeale 697
Amputation am Fuß, tarsometatarsale (Lisfranc) 698
Amputation am Fuß, transkalkaneare (Pirogoff) 698
Amputation am Fuß, transmetatarsale (Sharp) 698
Amputation, Hand, Therapie 458
Amputation im Schultergürtel (forequarter amputation) 382
Amputation, Knie und Unterschenkel 680
Amputation, obere Extremität 377
Amputation, obere Extremität, Operationstechnik 378
Amputation, obere Extremität, Prothese 382
Amputation, obere Extremität, Stumpfbildung 379
Amputationshöhen am Bein 680
Amputationsverletzungen 892
Amputationsverletzung, Hand 458
Amputation, transkondyläre 685
Analreflex 168
Analytik 864
Aneurysma der A. hepatica 126
Aneurysma spurium 850
Anfallsleiden, postraumatisches 20

Anosmie 4
Antekurvation 958
Anterlaterale Thorakotomie, Zugang 1088
Anteroposteriore Aufnahme nach Rockwood 238
Antiarrrythmika 905
Antibiotika 863
Antibiotikaprophylaxe, Felsenbeinfraktur 31
Antibiotikaprophylaxe, perioperative 863
Antibiotikatherapie bei Sepsis 912
Antibiotikatherapie, empirische 864
Antibiotikatherapie, gezielte 865
Antibiotikatherapie, kalkulierte 865
Antikoagulation 829
Antikoagulation, postoperative 829
Antiseptika 855
Antithrombosestrümpfe 933
AO/ASIF-Flexnail 313
Aorta, abdominelle, Diagnostik 841
Aorta, abdominelle, Verletzung 840
Aorta, Intimaläsion 840
Aorta, Verletzung, Therapie 841
Aortenrekonstruktion 841
Aortenruptur 92
Aortenverletzung 91
Aortenverletzung, interventionelle Therapie 842
a.p.-Beckenübersichtsaufnahme 475
Apley-Test 1035
Aponeurektomie, partielle bei Dupuytren-Kontraktur 442
Aponeurektomie, Schnittführungen 442
Apophysenausriss, Sonografie 1060
A. poplitea, Verletzung und Therapie 848
Apprehension-Test nach Rowe 1022
Apprehension-Test, posteriorer 1023
A. radialis, Verletzung und Therapie 840
Arbeitsunfall 1176
Arbeitsunfall und Trunkenheit 1181
A. renalis, Diagnostik 843
A. renalis, interventionelle Maßnahmen 844
A. renalis, Therapie 843
A. renalis-Verletzung 843
Argonbeamer 121
Armaturenbrettanprall 509
Armgeometrie 1001
Arm, Leitsymptome 306
Armplexusläsionen 297
Arm, Standardzugänge 1106
Arm, Weichteilläsionen 320
Arterien, supraaortale, Verletzung 94
Arteriovenöse Fistel nach Leberverletzung 126
Arthrodese (1. Tarsometatarsalgelenk) 761
Arthrodese des oberen Sprunggelenks 748
Arthrodese des oberen Sprunggelenks, Vierschraubentechnik 748
Arthrodese, subtalare 752
Arthrofibrose, Knie 637
Arthrolyse des Hüftgelenks 501
Arthrose, postraumatische des Humeruskopfs 290
Arthrose, posttraumatische (Becken) 502
Arthroskopie beim Gelenkinfekt 881
Arthroskopie, Untersuchungsgang am Knie 601
Arthrotomie beim Gelenkinfekt 881
Articulatio talocruralis 693
Arzthaftungsvertrag 1198
A. subclavia, Diagnostik 837
A. subclavia, interventionelle Maßnahmen 838
A. subclavia, Ischämiezeichen 837
A. subclavia, Kunststoffinterponat 838
A. subclavia, Stentapplikation 838
A. subclavia, Therapie 837
A. subclavia-Verletzung 837
Atemnot, Notfallmaßnahmen 64
Atemwege, Sicherung 57
Atlantoaxiale Fusion 181
Atlantoaxiale Fusion nach Brooks-Southwick 181
Atlantoaxiale Fusion nach Gallie 182
Atlantookzipitale Dislokation, Klassifikation 177
Atlas, Berstungsfraktur 178
Atlasfraktur 178
Atlasfraktur im Kindesalter 783
Atlasfraktur, Klassifikation nach Gehweiler 178
ATLS-Kriterien 475
Attikotomie 31
Aufgebohrter Marknagel, Indikationen 560
Aufklappbarkeit 1038
Aufnahmetechnik nach Brewerton 413
Augenlid, Verletzung 55
Augmentation 1154
Augmentation bei osteoporotischer Fraktur 226
A. ulnaris, Verletzung und Therapie 840
Ausriss der Eminentia intercondylica im Kindesalter 812
Ausscheidungsurogramm 477
Außenknöchelfraktur 702
Außenrotatierbarkeit, vermehrte (Kniegelenk) 608
Außenrotationstest 1042
Außenrotationstest: Horn-Blower-Zeichen 1021
Außenrotationstest in 0°-Abduktion 1021
Außenrotationstest in 90°-Abduktion nach Patte 1021
Außentorsion 958
A. vertebralis, Fistel 836
A. vertebralis, Pseudoaneurysma 836
A. vertebralis-Verletzung 835
A. vertebralis-Verletzung, operative Technik 836
A. vertebralis-Verletzung, Symptomatik 835
A. vertebralis-Verletzung, Therapie 835
A.-vertebralis-Verschluss, asymptomatisch 835
A. vertrebralis, Dissektion 835
A. vertrebralis, Ruptur 835
Axialer Beinstauchungsschmerz 1033
Axisbogenfraktur 188
Axisbogenfraktur, Klassifikation 188
Axisfrakturen 184
Axisfraktur im Kindesalter 783
Axonotmesis 309
Axonschädigung, diffuse 18

B

Babinski-Reflex 168
Babinski-Zeichen 14
Bakteriurie 925
Ballotement-Test 1025
Bambusstab-Wirbelsäule 222
Bandinstabilität, Daumengrundgelenk 1069
Band- und Kapselnaht 1154
Bankart-Läsion 1052
Bankart-Operation, arthroskopische 274
Bankart-Operation, offene 278
Barotrauma 917
Bauchlagerung 1084
Bauchorgane 100
Bauchraum, Begrenzungen 98
Bauchwand 98
Bauchwand, stumpfe Verletzung 111
Bauhin-Klappe 100
BEAT 103
Beatmung, lungenprotektive 917
Beckenboden 98
Beckenfrakturen 902
Beckenfraktur im Kindesalter 804
Beckengips im Kindesalter 808
Beckengurte 479
Beckengürteltest der Ligamente 1031
Beckenring 470
Beckenring, instabile Verletzungen (Typ C) 477
Beckenring, partiell instabile Verletzungen (Typ B) 477
Beckenring, stabile Verletzungen (Typ A) 477
Becken, Standardzugänge 1117
Beckentamponade 901
Becken-Übersichtsaufnahme a.p. 509
Beckenverletzungen 475
Beckenverletzung, Unfallmechanismus 475
Beckenzwinge 479, 898
Behandlungsalgorithmus, Becken 479
Beinachse 960
Beinachsen, Radiografie 964
Beindeformität, klinische Untersuchung 963
Beinfixation, federnde 509
Beißzangen-Impingement 515
Bellocq-Tamponade 9, 63
Bennett-Verrenkungsbruch 417
Berufskrankheiten, Liste 1176
Berufsunfähigkeit 1183
Beugesehnennaht 1153
Beugesehnenruptur an der Hand, Diagnostik 428

Beugesehnenruptur an der Hand, Therapie 428
Beugesehnenverletzung an der Hand, Nachbehandlung nach Kleinert 430
Beugesehnen, Zoneneinteilung nach Pechlaner 428
Bewegungsfixateur 328
Bewegungsumfang der Gelenke 958
Bewusstlosigkeit 4
Bewusstseinslage 7
Bewusstseinstrübung 4
Biceps-femoris-Sehnenruptur 616
Biceps-femoris-Sehnenruptur, Diagnostik 617
Biceps-femoris-Sehnenruptur, Therapie 617
Bifurkationsprothese, Aorta 841
Bilhämie 127
Biliom 126
Binnenstruktur 1046
Bisswunde 869, 1162
Bizepssehnenruptur 279
Bizepssehnenruptur, Therapie 279
Bizepssehne, Reinsertion nach Lange 373
Bizepssehne, Ruptur 373
Blase 144
Blasenareflexie 170
Blasenkatheter 151
Blasenruptur 146, 150, 476
Blasenverletzungen 144
Blasenverletzungen, Diagnostik 144
Blasenverletzungen, Therapie 145
BLEEP 103
Blockade der Finger- oder Zehennerven 1144
Blockade des N. medianus am Ellenbogen 1144
Blockade des N. medianus am Handgelenk 1144
Blockade des N. peroneus communis am Kniegelenk 1145
Blockade des N. radialis am Ellenbogen 1144
Blockade des N. radialis am Handgelenk 1144
Blockade des N. saphenus am Kniegelenk 1145
Blockade des N. tibialis am Kniegelenk 1145
Blockade des N. ulnaris am Ellenbogen 1144
Blockade des N. ulnaris am Handgelenk 1144
Block, trikortikaler 1124
Blount-Schlinge im Kindesalter 791
Blow-in-Fraktur 33
Blow-out-Fraktur 40
Blutgefäß, intrathorakales (Verletzung) 92
Blutsperre 891
Blutstillung bei Leberverletzungen 121
Bluttransfusion, Sepsis 914
Blutung aus Lungengefäßen 87
Blutung, Beckenverletzung 501
Blutung, peranale 136
Boari-Plastik, modifizierte 144
Bogenfraktur, Axis 184
Böhler-Zeichen 1035
Bohrer 974
Bohrlochtrepanation 16
Bohrtechnik in der Nähe des Rückenmarks 196
Bolzenbruch 566
Bolzenverbiegung 566
bowing fracture 774
bow stringing 389
Brace-Behandlung 308
Bragard-Test 1016
Brettchenmethode 961
Brodén-Aufnahme 718
Bronchoskopie 83
Bronchusruptur 88
Bronchusstumpfverschluss 87
Bruchspaltosteomyelitis 62
Brückengriff 163
Brustbeinfraktur 78
Brust- und Lendenwirbelsäule, Standardzugänge 1095
Brustwand 68
Brustwirbelsäule (BWS) 158
Brustwirbelsäule, Verletzungen 201
Bügelschnitt 26
Bulbärhirneinklemmung 15
Bulbärhirnsyndrom 6
Bulbus-cavernosus-Reflex 168
Bundesversorgungsrecht 1183
Bursaeröffnung, traumatische 873
Bursaeröffnung, traumatische, Knie 618
Bursaverletzung (Knie), operative Therapie 618
Bursektomie 873
Bursitis 872
Bursitis, chronische 873
Bursitis, Knie 618
Bursitis olecrani 1058
Bursitis prae-/infrapatellaris 1064
Bursitis subdeltoidea/subacromialis 1053
Bursitis trochanterica 1060
Butterfly-Frakturen 846
Bypass, axillobifemoraler 841

C

C1/2 Fusion nach Harms 183
CAB-Schema 904
Cam-Impingement 514
Caput femoris 506
Castaing-Plastik, modifizierte 733
Centrum-Collum-Diaphysenwinkel (CCD-Winkel) 959
CerviFix 199
Chair-Test 1024
Chance-fracture 213
Charcot-Fuß 705
Checkliste für die Befunderhebung (Gutachten) 1191
Cheilektomie 762
Chevron-Osteotomie 759, 760
Cheyne-Stokes-Atmung 15
Chondrozytentransplantation 636
Chondrozytentransplantation, autologe 638
Chopart-Arthrodese (Double-Arthrodese) 755
Chopart-Gelenk 692, 694
Chopart-Gelenkachsen 695
Chopart-Gelenk, posttraumatische Fehlstellung 754
Chopart-Gelenk, posttraumatische Fehlstellung, Klassifikation 754
Chopart-Gelenk, posttraumatische Fehlstellung, Therapie 754
Chopart-Luxation 719
Chopart-Luxationsfraktur 719
Chopart-Luxationsfraktur, Klassifikation 721
Chopart-Luxationsfraktur, Komplikation 723
Chopart-Luxationsfraktur, Therapie 721
Chrisman-Snook-Tenodese 740
Chylothorax 95
circumferential wiring 47
CKMB 71
Claudicatio, Aortenverletzung 841
Clostridium-difficile-Infektionen (CDAD) 865
Coiling, superselektives (A. renalis) 844
Commotio cerebri 5
Commotio labyrinthi 31
Commotio spinalis 168
comprehensive classification 510
Computertomografie, Becken 475
Computertomografie, kranielle 10
Continuous-passive-motion-Schiene (CPM) 928
Contusio cerebri 5
Contusio spinalis 168
Corona mortis 1118
Coxa saltans 581
Coxa saltans, Therapie 581
Coxa vara, kongenitale 979
CPM-Schiene 492
Cross-adduction-Test 1019
Cross-body-Test 1019
Cross-Finger-Lappen nach Pakiam 450
Cross-Finger-Lappenplastik 449
Cross-Finger-Lappenplastik nach Berger u. Meissl 450
Crossover-Bypass, femorofemoraler 841
Crus antecurvatum 961
Crus recurvatum 961

D

Dacron 831
Dall-Miles-Kabel-Plattensystem 578
Dal-Pont-Häkchen 35
Damage Control 912
Damage Control Surgery, Abdomen 108
Damage Control Surgery, Dünndarm 134
Danis-Weber-Klassifikation 700
Darmatonie, primäre 170

Darmatonie, Therapie 168
Dauerschaden 1184
Daumengrundgelenk, dorsoulnarer Zugang 1116
Daumengrundgelenk, Kapsel- und Bandverletzung 426
Daumen- und Langfingergrundgelenke, Therapie bei Luxation 425
Débridement 54, 828, 875
Débridement des TFCC, arthroskopisch 373
Débridement, radikales 867
Décollement, Becken 475
Defektarthropathie 291
Defektdeckung der Niere 141
Defektdeckung, plastische 867
Defibrillation 904
Defibrillatoren, automatische externe 905
Deformität 958
Deformität, Biomechanik (untere Extremitäten) 966
Deformitäten der Hüftpfanne 975
Deformitäten der oberen Extremität, Diagnostik 1002
Deformitäten der oberen Extremitäten, Operationsplanung 1005
Deformitäten der oberen Extremität, Radiografie 1003
Deformitäten, frontale, obere Extremitäten 1005
Deformitäten, horizontale, obere Extremitäten 1005
Deformitäten mit Arthrose IV 996
Deformitäten, multifokale 996
Deformitäten, Oberarm diaphysär 1007
Deformitäten, Oberarm distal 1007
Deformitäten, Oberarm proximal 1007
Deformitäten, obere Extremitäten 1001
Deformitäten, Oberschenkel diaphysär 981
Deformitäten, Oberschenkel distal 985
Deformitäten, Oberschenkel proximal 977
Deformitäten, sagittale, obere Extremitäten 1005
Deformitäten, spezielle, obere Extremitäten 1007
Deformitäten, spezielle, untere Extremitäten 975
Deformitäten, Unterarm diaphysär 1008
Deformitäten, Unterarm distal 1009
Deformitäten, Unterarm proximal 1008
Deformitäten, Unterschenkel diaphysär 989
Deformitäten, Unterschenkel distal 994
Deformitäten, Unterschenkel proximal 986
Deformität, funktionelle 958
Deformität, funktionelle Gesichtspunkte 966
Deformität, knöcherne 958
Deformität, kosmetische Gesichtspunkte 967
Deformität, posttraumatische, Diagnostik 960
Degeneration, fettige 262
Dekompression des N. opticus 60
Dekompressionskraniektomie 19
Dekontamination, selektive digestive 913
Dekubitus 924
Dekubitus, Diagnostik 925
Dekubitus, Prophylaxe und Therapie 925
Dekubitus, Risikofaktoren 924
Dekubitus, Schweregrade 924
Denervierung nach Wilhelm 406
Densfraktur 184
Densfraktur, Klassifikation 184
Densfraktur, Verschraubung 186
Dentosave 51
Dermatofasziotomie 946
Dermatofasziotomie, Becken 947
Dermatofasziotomie bei Kompartment-Syndrom am Fuß 1140
Dermatofasziotomie, Fuß 947
Dermatofasziotomie, Hand 947
Dermatofasziotomie, Oberarm 946
Dermatofasziotomie, Oberschenkel 582, 947
Dermatofasziotomie, parafibulare 677
Dermatofasziotomie, Unterarm 947
Dermatofasziotomie, Unterschenkel 677
Dermatom 160
Desault-Verband 308, 786
DHS 539
Diagnostik, mikrobiologische 864
Diagnostik, urologische 475
Dialyse 918
Dickdarm 100, 134
Dickdarmverletzung 134
Dickdarmverletzung, Diagnostik 135
Dickdarmverletzung, Therapie 135
Digitus quintus varus 763
Digitus saltans 440
Digitus saltans, Therapie 440
Diphtherie 857
Diplopie 32
DISI-Fehlstellung 394, 403
Diskusprolaps, traumatischer 173
Dislokation, atlantoaxiale 180
Dislokation, atlantookzipitale 176
Dissoziation, lunotriquetrale 405
Dissoziation, skapholunäre 405
Distales Radioulnargelenk (DRUG), Therapie 372
Distales Radioulnargelenk (DRUG), Verletzungen 372
Distorsion der Halswirbelsäule 172
Domosteotomie 988
Dom- und Pendelosteotomie 972
Doppelbündeltechnik 604
Doppellumentubus 71
Doppelosteotomie 1126
Dorsalaponeurose 388
Dorsaler Durchhangtest 1041
Dorsaler Zugang C1/T1 1094
Dorsaler Zugang T1/L5 1095
Drahtbogen-Kunststoff-Schienen nach Schuchard 46
Drahtcerclage 249
Drainage 868
Drainage, frontonasale-frontoethmoidale 28
Drainage, kontralaterale transseptale 28
Drainagen 862, 1166
Drainage, Rhinobasisfraktur 28
Drehmann-Zeichen 1033
Drehosteotomie 978
Dreipunktdistraktor 716
Drop-arm-sign 1020
Druck, intraabdomineller (IAH) 110
Druck, intrakranieller (ICP) 11
Druck, intraventrikulärer 12
Druckplattenfixateur 577
Ductus thoracicus, Verletzung 95
Dünndarm 100, 133
Dünndarmverletzung 133
Dünndarmverletzung, Diagnostik 133
Dünndarmverletzung, Nekrose 134
Dünndarmverletzung, Therapie 133
Dupuytren-Kontraktur 440
Dupuytren-Kontraktur, Klassifikation 441
Dupuytren-Kontraktur, operative Therapie 441
Duraeinriss 4
Duraerweiterungsplastik 19
Durazerreißung 22
Dwyer-Osteotomie 737
Dynamic Compression Plate (DCP) 1167
Dysfunktion, patellofemorale 620
Dysfunktion, patellofemorale (operative Therapie) 622
Dysreflexie, autonome 171

E

Echogenität 1046
Echokardiografie 71
EFAST 103
Eges-Test 1037
Eigenreflextraining 734, 735
Einklemmung, klinische Zeichen 15
Einklemmung, subfalziale 15
Einzelknopfnähte 1146
Einzelknopfnaht, Gefäße 829
Einzelnaht, überwendliche 1146
Ekchymose, plantare 721
Elektroenzephalogramm (EEG) 10
Elevated-arm-exercise-Test 1018
Ellenbogenbeugetest 1025
Ellenbogenfraktur im Kindesalter 789
Ellenbogen, Freier Gelenkkörper 1058
Ellenbogengelenk 304
Ellenbogengelenk, Arthrolyse 333
Ellenbogengelenk, Arthrolyse bei Gelenksteife 335
Ellenbogengelenk, Arthroskopie 330
Ellenbogengelenk, dorsaler Zugang 1109
Ellenbogengelenk, Empyem 332
Ellenbogen, Gelenkerguss/Hämarthros 1057
Ellenbogengelenk, Exartikulation 381
Ellenbogengelenk, Floating elbow 334
Ellenbogengelenk, freie Gelenkkörper 332
Ellenbogengelenk, heterotope Ossifikationen 334

Ellenbogengelenk, Knorpelschaden 332
Ellenbogengelenkluxation 321
Ellenbogengelenkluxation, chronische Instabilitäten 328
Ellenbogengelenkluxation, Fixateur externe 328
Ellenbogengelenkluxation, Klassifikation 322
Ellenbogengelenkluxation, offene 325
Ellenbogengelenkluxation, operative Therapie 324
Ellenbogengelenkluxation, posterolaterale rotatorische Instabilität (PLRI) 323
Ellenbogengelenkluxation, Reposition 322
Ellenbogengelenk, offene Mobilisation 380
Ellenbogengelenk, posttraumatische Gelenksteife 334
Ellenbogengelenkprothese 319
Ellenbogengelenk, radialer Zugang 1108
Ellenbogengelenk, Standardzugänge 1107
Ellenbogengelenksteife, Nachbehandlung 337
Ellenbogengelenk, Synovialitis 332
Ellenbogengelenk, transkondyläre Amputation 381
Ellenbogengelenk, ulnarer Zugang 1108
Ellenbogengelenk, ventraler Zugang 1107
Ellenbogen, Gelenkzysten 1058
Ellenbogenluxation, Reluxation 325
Elmslie-Plastik, modifizierte 740, 742
Embolisation (A. renalis) 844
Empyem 880
Empyem, epidurales 225
Enddarmverletzung 136
Endgelenkluxation, Therapie 426
Endoprothese, infizierte 881
Endoprothetik, Kniegelenk 643
Endoprothetischer Ersatz, Operationsplanung 528
Endovaskularprothese, Aorta 93
End-zu-End-Gefäßanastomose 831
Engpasssyndrome 297
Enophthalmus 61
Entlastung nach Celsus 1150
Entlastung nach Dieffenbach 1150
Entnahmedefekt, Versorgung 1124
Entzündungen, aseptische (nach Hüftendoprothese) 538
Epauletten-Phänomen 236
Epicondylitis humeri radialis 338
Epicondylitis humeri ulnaris 339
Epiphyseolyse des Femurkopfs im Kindesalter 806
Epitympanon 28
Epping-Lappen, Hand 447
Erectio cerebri 17
Erfrierung 924, 1163
Ernährung, hypokalorische 919
Ernährungstherapie (nach Trauma und/oder Sepsis) 919
Ernst-Ligaturen 34
Erster Blick 886
Erweiterte mediane Unterbauchlaparotomie 1090
Erweiterte quere Oberbauchlaparotomie 1090
Erwerbsunfähigkeit 1183
Erysipel 871
Espace clair 731
Essex-Lopresti-Läsion 355
European Brain Injury Consortium (EBIC) 14
Evans-Tenodese 737
Exartikulation des Kniegelenks 683
Exartikulation im Schultergelenk 382
Exophthalmus, pulsierender 23
Expedium LIS 210
Explosionsverletzung (Hand) 443
Extension 958
Extension, Beckenringverletzung 479
Extensorenloge 947
Extremitätdeformitäten, Korrektur 958
Extremitätenerhalt 903
Extremitätenfraktur 902

F

Fallhand 307
FAST 103
FAST-Untersuchung, Abdomen 103
Fasziendefekt 1163
Faszienlücke 1163
Fasziennaht 1152
Faszienriss 580, 1163
Faszienriss, Therapie 581
Faszienspaltung 946
Faszienverschluss 1166
Fasziitis 874
Fasziitis, nekrotisierende (Hand) 465
Fasziitis Typ I, nekrotisierende 874
Fasziitis Typ II, nekrotisierende 874
Fasziotomie (bei Dupuytren-Kontraktur) 441
Fasziotomie, Gefäßchirurgie 828
Fasziotomie (Hand) 419
FATE 103
fat pad sign 342, 346
Fawcett-Linie 1138
Fazialislähmung 31
Fazialisparese 29
Federplättchen 496
Fehlstellung des oberen Sprunggelenks, Klassifikation 747
Fehlstellungen, rotatorische 181
Fehlverheilungen, malleoläre 746
Felsenbeinfraktur 28
Felsenbeinfraktur, Diagnostik 29
Felsenbeinfraktur, Klinik 29
Felsenbeinfraktur, Therapie 30
Felsenbeinlängsfraktur 29
Felsenbeinquerfraktur 29
Femoropatellares Gleitlager 1065
Femur 506
Femurachse 959
Femur antecurvatum 961
Femurfraktur, distale 567
Femurfraktur, distale, Diagnostik 567
Femurfraktur, distale, dynamische Kondylenschraube, DCS 570
Femurfraktur, distale, Fixateur externe 573
Femurfraktur, distale im Kindesalter 811
Femurfraktur, distale, Klassifikation 567
Femurfraktur, distale, Komplikationen 574, 578
Femurfraktur, distale, Osteosynthese mit einzelnen Schrauben 574
Femurfraktur, distale, Plattenosteosynthese 568
Femurfraktur, distale, retrograde Verriegelungsnagelung 572
Femurfraktur, distale, Spongiosaplastik 573
Femurfraktur, distale, Therapie 567
Femurfraktur, proximale 520
Femurhalsfraktur im Kindesalter 805
Femurkopfnekrose im Kindesalter 806
Femurkopfnekrose, posttraumatische 977
Femur, lateraler Zugang 1129
Femur-LISS 568
Femur-LISS und AO-Distraktor 570
Femurnägel mit Hüftkomponente 542
Femurnägel, proximale 544
Femurosteotomie, suprakondyläre, varisierende 642
Femur recurvatum 961
Femurschaftfraktur 549
Femurschaftfraktur, AO-Klassifikation 550
Femurschaftfraktur, aufgebohrter Marknagel 559
Femurschaftfraktur, Diagnostik 549
Femurschaftfraktur, distale Verriegelung 558
Femurschaftfrakturen, distale 564
Femurschaftfrakturen, Reposition 555
Femurschaftfraktur, Fehlstellungen 565
Femurschaftfraktur, Fixateur externe 561
Femurschaftfraktur, höhergradig offene Frakturen 564
Femurschaftfraktur im Kindesalter 807
Femurschaftfraktur in der Gravidität 564
Femurschaftfraktur, Komplikationen 565
Femurschaftfraktur, offene Wachstumsfugen 564
Femurschaftfraktur, pathologische 565
Femurschaftfraktur, Plattenosteosynthese, konventionelle 562
Femurschaftfraktur, Polytrauma 564
Femurschaftfraktur, Rotation 562
Femurschaftfraktur, Spiralklingenverriegelung 558
Femurschaftfraktur, Standardverriegelung 557
Femurschaftfraktur, Therapie 550
Femurschaftfraktur, Traktionstherapie 551
Femurschaftfraktur, Überbrückungsplattenosteosynthese 563

Femurschaftfraktur, unaufgebohrter Marknagel 553
Femurschaftfraktur, Verbundosteosynthese 564
Femurschaftfraktur, verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung 566
Femurschaft, Implantatversagen 566
Femurschaft, Refraktur 566
Femurwinkel, lateraler, distaler (LDFW) 959
Fenton-Syndrom 401
Fettembolie 534, 553, 941
Fettembolie bei Endoprothetik 941
Fettembolie bei Marknagelung 941
Fettembolie, Prophylaxe 942
Fettemboliesyndrom 941
Fettemboliesyndrom, Therapie 942
Fibrinklebung 121
Fibrinvernetzung 854
Fibula 591
Fibulaköpfchen, Luxation 633
Fibulaköpfchenluxation, Therapie 633
Fibula, lateraler Zugang 1134
Fingerfraktur 420
Fingerfraktur im Kindesalter 804
Fingerfraktur, Osteosynthese 421
Fingerfraktur, Therapie 421
Fingergelenke 388
Fingerkuppendefekt, Therapie 420
Fingerluxation, Therapie 425
Fingernagelverletzung 419
Finger, Standardzugänge 1116
Fingerzeichen 1018
Finkelstein-Test 1027
Fissur 774
Fistel, arteriovenöse 850
Fistel, arteriovenöse (A. carotis) 833
Fixateur externe, Becken 479
Fixateur externe bei Unterschenkelfraktur im Kindesalter 817
Fixateur externe im Kindesalter 779
Fixateur-externe-Montage, Beckenring 483
Fixateur externe, Tibia 672
Fixateur externe, vorderer Beckenring 483
Fixateur interne, Sakrumfraktur 484
Fixateur interne, Unterkiefer 47
Flankenschnitt 1090
Flavektomie 206
Flexion 958
Flexionsosteotomie 979
Flexorenloge 947
floating shoulder 259
Fluoreszeinprobe 24
Flush-Manöver 833, 837
Fokuseradikation 912
Folgeunfall 1181
Formfit 533
Formulargutachten 1196
Fossa acetabuli 473
Foucher-Lappenplastik 452
Fraktur der proximalen Metaphyse (Unterschenkel) im Kindesalter 814
Frakturdislokation, sekundäre (Becken) 489
Frakturen der Stirnbeinhöhle im Kindesalter 782
Frakturen des Collum chirurgicum 258
Frakturen des Corpus oder Angulus mandibulae 48
Frakturen im Kindesalter, Diagnostik 778
Frakturen im Kindesalter, diaphysäre 776
Frakturen im Kindesalter, epiphysäre 774
Frakturen im Kindesalter, Frakturheilung 774
Frakturen im Kindesalter, Gipsruhigstellung 778
Frakturen im Kindesalter, Klassifikation 774
Frakturen im Kindesalter, Korrekturmechanismen 777
Frakturen im Kindesalter, metaphysäre 774
Frakturen im Kindesalter, Mobilisierung 779
Frakturen im Kindesalter, Therapie 778
Frakturen, Kindesalter 774
Frakturen, otobasale 28
Frakturen, rhinobasale 22
Fraktur, fehlverheilte (Sekundäroperation) 62
Fraktur, frontobasale 23
Fraktur, nasoorbitoethmoidale 39
Fraktur, offene (Therapie) 875
Fraktur, osteoporotische 226
Fraktur, panfaziale 45, 52
Fraktur, pathologische eines Wirbelkörpers 220
Fraktur, periprothetische 575
Fraktur, periprothetische (Klassifikation) 576
Fraktur, periprothetische (Therapie) 576
Fraktur, wachsende 22
Fraktur, zygomatiko-temporo-mandibuläre 33
Fremdkörper 9
Frontobasale Fraktur 22
Frontobasis 4
Fronto- oder Rhinobasisfrakturen, Leitsymptome 23
Frühepilepsie 20
Frühinfekt 876
Frühsommer-Meningoenzephalitis 857
Fulcrum-Test 1023
Funktionsaufnahmen der HWS 10
Funktionstest, Schulter 236
Fusion Imaging Technik 1081
Fuß, Anatomie 692
Fuß, anteromedialer, anterolateraler und posterolateraler Zugang zu Taluskorpus und Talushals 1136
Fuß, ausgedehnter lateraler Zugang zum Kalkaneus 1137
Fuß, Band- und Sehnenverletzungen 731
Fuß, diabetischer 872
Fuß, gerader dorsomedianer Zugang zum Talonavikulargelenk 1140
Fuß, gerader lateraler Zugang zum Kalkaneokuboidgelenk 1139
Fuß, Komplextrauma 695
Fuß, posttraumatische Fehlstellungen, Analyse 746
Fuß, posttraumatische Fehlstellungen, Korrektur 746
Fußtrauma, Amputation 695
Fußtrauma, Erhaltungsversuch vs. Amputation 695
Fußtrauma, Therapieregime 696
Fußtrauma, Weichteildeckung 696
Fußverletzungen im Kindesalter 821
Fußwurzelfraktur im Kindesalter 821

G

Gabelstaplerprinzip 163
Gaenslen-Test 1031
Galeazzi-Fraktur 354
Gammanagel, Trochanter 542
Gammanagel, vermeidbare Fehler bei der Implantation 544
Garden-Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen 520
Gasbrand 875
Gastrocnemiuskopf, lateraler (Muskellappenplastik) 675
Gastrocnemiuskopf, medialer (Muskellappenplastik) 674
Gefäßbypass 830
Gefäßchirurgie, septische 828
Gefäßdirektnaht 830
Gefäßnaht, fortlaufende 829
Gefäßprotheseninfekt 851
Gefäßrekonstruktion 828
Gefäßverletzung 902
Gefäßverletzungen 828, 891
Gefäßverletzungen, obere Extremität 836
Gefäßverletzung, renale 142
Gefäßverschluss 850
Gefäßverschluss, interventionelle Verfahren 834
Gefäßverschluss, thrombotischer (A. carotis) 833
Gegennutationsbewegung 473
Gehirnerschütterung (Commotio cerebri) 4
Gehörgangsblutung 29
Gehörgangsverletzung 56
Gehörknöchelchenluxation 30
Gelegenheitsursache 1180
Gelenkdestruktion, septische 881
Gelenke der Hand 388
Gelenkflächenersatz, bikondylärer (Knie) 644, 647
Gelenkflächenersatz, unikompartimenteller (Knie) 643
Gelenkflüssigkeit, freie (Schulter) 1054
Gelenkfortsatzfrakturen im Wachstumsalter 53
Gelenkfortsatzfraktur, Therapie 49
Gelenkkapsel 1018
Gelenkknorpel 588
Gelenkknorpel-Débridement 636

Gelenkknorpelläsion, chondrogene Zellen 636
Gelenkknorpelrefixation 636
Gelenkknorpelschäden, Arthroskopie 636
Gelenkknorpelschäden, Knie 635
Gelenkknorpelschäden, Knie (Diagnostik) 635
Gelenkknorpel, Tissue-response-Technik 636
Gelenkknorpeltransplantation 636
Gelenksonografie 1047
Gelenksonografie, Akromioklavikulargelenk 1054
Gelenksonografie, Ellenbogengelenk 1056
Gelenksonografie, Finger- und Zehengelenke 1068
Gelenksonografie, Handgelenk 1066
Gelenksonografie, Hüftgelenk 1059
Gelenksonografie, Klavikula 1054
Gelenksonografie, Kniegelenk 1061
Gelenksonografie, Sternoklavikulargelenk 1055
Genu antecurvatum 961
Genu recurvatum 961
Geometrie, knöcherne 958
Gerichtsgutachten 1198
Gerichtsgutachten, Allgemeines 1199
Gerichtsgutachten, äußere Form 1199
Gerichtsgutachten, Literatur 1200
Gerichtsgutachten, Operationsberichte 1200
Gerichtsgutachten, stilistische Aspekte 1199
Gerichtsgutachten, Studium der Unterlagen 1200
Gerichtsgutachten, Vorgeschichte 1200
Gerinnungsstörung, disseminierte 911
Gesichtsschädelfrakturen im Wachstumsalter 53
Gesichtsschädelverletzungen, sekundäre Formveränderungen/Fehlstellungen 61
Gesichtsschädelverletzung, Komplikationen 61
Gewebekompression 924
Giebelrohr 936
Gigli-Säge 974
Gilchrist-Verband 308, 786
Gilula, konzentrische Bögen 400
Gips- oder Kunststoffkorsett 166
Gissane-Winkel 1139
Glasgow-Coma-Scale (GCS) 5
Glasgow Coma Scale (GCS), pädiatrische Differenzierung 780
Gleichgewicht, patellofemorales 988
Gleitflächenersatz, bikondylärer 647
Gleitnagel nach Friedl 544
Glenohumeralgelenk 234
Glenohumeralgelenk, Sonografie 1047
Glenoid 234
Glenoidrekonstruktion, anteriore 260
Godfrey-Test 1041
Goldblatt-Effekt 142
Grad der Invalidität 1201
Grinding-Test 1035
Großzehe, Grundphalanx-Osteotomie 759
Großzehengrundgelenk, Weichteileingriff 759
Grünholzfraktur 774, 775
Gustilo und Anderson, Einteilung des Weichteilschadens 855
Gutachten, Ablehnungsgründe 1176
Gutachten, Aufbau 1184
Gutachten, äußere Form 1176
Gutachten, berufsgenossenschaftliches 1196
Gutachten, Beurteilung 1192
Gutachten, Beurteilung, Einschätzung des Vorschadens 1193
Gutachten, Deckblatt 1184
Gutachten, Einschätzung der Beeinträchtigung 1192
Gutachtenerstellung, Objektivität 1200
Gutachtenerstellung, praktische Tipps 1201
Gutachtenformen 1193
Gutachten, freies 1193
Gutachten, Gliederung 1184
Gutachten, Röntgendiagnostik 1192
Gutachten, Röntgendiagnostik, Seitenvergleich 1192
Gutachten, Untersuchung, Allgemeinbefund 1186
Gutachten, Untersuchung, Beschwerden 1186
Gutachten, Untersuchung des Verletzten 1186
Gutachten, Untersuchung, Lokalbefund 1187
Gutachten, Untersuchung, Messblätter 1187
Gutachten, Vorgeschichte nach Aktenlage 1185
Gutachten, Vorgeschichte nach Angaben des Versicherten 1185, 1186
Gutachten zur Feststellung der Rente auf unbestimmte Zeit 1198
Gutachten zur Rentennachprüfung 1198
Gutachten, Zusammenfassung der wesentlichen Unfallfolgen 1192
Gutachter, Aufgaben 1176
Guttmann-Zeichen 169
Guyon-Logen-Syndrom, Ätiologie 411
Guyon-Logen-Syndrom, Diagnostik 411
Guyon-Logen-Syndrom, Therapie 412
Guyon-Loge, palmarer Zugang 1115

H

Hakenplatte nach Magerl 196
Halbmondfraktur 484
Halbseitensymptomatik 6
Hallux rigidus 762
Hallux rigidus, Therapie 762
Hallux valgus 758
Hallux valgus interphalangeus 759
Hallux valgus, Klassifikation 758
Hallux valgus, Therapie 758
Hallux valgus, Weichteileingriffe 759
Haloframe, Fixateur externe (Unterkiefer) 47
Haloring 166
Haloweste 166
Halskrawatte 892
Halsstütze 162
Halsverletzung 56
Halsverletzung, Blutung 58
Halsverletzung, Komplikationen 59
Halsverletzung, Leitsymptome 57
Halswirbelsäule, Cerclage 199
Halswirbelsäule, dorsale Spondylodese 196
Halswirbelsäule, dorsale Zuggurtung 196
Halswirbelsäule, Funktionsaufnahmen 162
Halswirbelsäule (HWS) 158
Halswirbelsäule, Instabilitätskriterien 190
Halswirbelsäulenverletzungen, operative Zugänge 192
Halswirbelsäulenverletzung, instabile 161
Halswirbelsäulenverletzung, Klassifikation nach Müller und Magerl 191
Halswirbelsäulenverletzung, radiologische Diagnostik 161
Halswirbelsäulenverletzung, Reposition 163
Halswirbelsäulenverletzung, Symptomatik 172
Hämatom 927
Hämatom, epidurales 5, 16
Hämatom, intrapulmonales 84
Hämatom, intrazerebrales (ICH) 18
Hämatom, operative Therapie 927
Hämatom, periorbitales 37
Hämatom, subdurales 5
Hämatom, subdurales, akutes 17
Hämatom, subdurales, chronisches 19
Hämatom, subdurales (Entlastung) 17
Hämatom, subdurales, subakutes 17
Hämatom, subfaziales (Abdomen) 112
Hämatom, subunguales 420
Hämatoperikard 80
Hämatothorax 70, 80
Hämatotympanon 30
Hamatumfraktur 399
Hämaturie 137
Hammerzehe 763
Hämobilie 126
Hämodynamik 910
Hämofiltration 918
Hämostase bei Leberverletzungen, Naht 121
Hämostase bei Milzverletzungen 115
Hand, Anatomie 388
Händedesinfektion 866
Händedesinfektion, chirurgische 861
Handflächenzeichen 1018
Handgelenk 390
Handgelenkdenervation 369
Handgelenk, Fremdkörper 1067
Handgelenk, Ganglion 1067
Handgelenk, Gelenkerguss 1067
Handgelenk, palmarer Zugang 1114
Handgelenk, Tendosynovitis 1067
Handgelenkversteifung, vollständige 369
Handinfektion, palmarseitige Schnittführung 462
Handinfektion, Therapie 462

Handrückentranspositionslappenplastik 446
Handskelett 388
Hand, Standardzugänge 1114
Handverletzung, Diagnostik 389
Handverletzungen im Kindesalter 802
Handverletzung, Leitsymptome 389
Handwurzel 390
Handwurzelfraktur im Kindesalter 802
Handwurzelknochenfraktur 398
Hanged mans fracture 187
Harmskorb 215
Harndrainage, suprapubische 152
Harndrainage, suprapubische (Kontra-indikation) 152
Harndrainage, transurethrale 151
Harndrainage, transurethrale (Indikation) 151
Harnleiter 142
Harnleiterparavasat 139
Harnleiterverletzung, Diagnostik 142
Harnleiterverletzungen 142
Harnleiterverletzung, Klassifikation 142
Harnleiterverletzung, Komplikation 144
Harnleiterverletzung, Therapie 143
Harnröhre 101, 146
Harnröhrenkatheter 152
Harnröhrenruptur 146
Harnröhrenverletzung 146
Harnröhrenverletzung (bei der Frau) 150
Harnröhrenverletzung, Diagnostik 146
Harnröhrenverletzung, Klassifikation 147
Harnröhrenverletzung, Therapie 147
Harnweginfekt, Harnblasendrainage 926
Harnwegsinfektion 925
Harnweginfekt, nosokomialer 925
Harnweginfekt, Therapie 926
Harnweginfekt, Ursachen 926
Hauptbronchusruptur 88
Hautdefektverschluss 1149
Hautemphysem 83
Hautexpander 1151
Hautinzisionen, Hand 390
Hautlappen mit mikrovaskulären Anastomosen 453
Hautnaht 1145, 1166
Hauttransplantate, freie (Hand) 444
Helmabnahme 887
Hemiprothese (Schenkelhalsfraktur) 529
Hemiprothetik bei hinfälligen Patienten (Hüftgelenk) 535
Henkeltopfaufnahme 33
Heparinisierung 829
Heparin, niedermolekulares 932
Heparin, unfraktioniertes 932
Hepatitis-B-Virus (HBV) 858
Hepatitis-C-Virus (HCV) 858
Herbert-Schraube 392
Herbert-Schrauben-Osteosynthese bei Skaphoidpseudarthrose 395
Herzbeuteltamponade 1087
Herzkontusion 89
Herzkranzarterienverletzung 91
Herztamponade 90
Herzverletzung 89
Herzverletzungen (Rückseite des Herzens) 92
Herzverletzung, penetrierende 89
Herzverletzung, Therapie 90
Heterotope Ossifikationen, Prophylaxe 337
High-flow-Priapismus 148
Hilfslinien, Beckenübersichtsaufnahme 476
Hill-Sachs-Impressionsfraktur 273
Hill-Sachs-Läsion 1052
Hinterer Pfeiler 473
Hinterhauptsaufnahme nach Towne 10
Hirndruck-Messsonde 12
Hirndurchblutung (CBF) 13
Hirnkontusion 18
Hirnödem 5, 13
Hirnschwellung 5, 13
Hirnstammreflexe 6
Hirntod, Feststellung 14
Hirudin 933
HKB-Orthese 610
Hochdruck, intraabdomineller (Druckmessung) 111
Hochdruck, intraabdomineller (Schweregrade) 110
Hoden 149
Hodentrauma, Diagnostik 149
Hodentrauma, Therapie 149
Hodenverletzung 149
Hoffmann-Tinel-Zeichen am Handgelenk 1027
Hoffmann-Tinel-Zeichen am Sulcus ulnaris 1025
Hohlhandphlegmone 464
Hohlhandräume, Entzündung 465
Hohlhand, Standardzugänge 1116
Hohlhand und Finger, dorsale Zugänge 1117
Hohlorganverletzung 130
Hohlorganverletzungen bei Beckenverletzung 475
Hohlvenenverletzung 91
Horizontaler Adduktionstest 1019
Horseback-riders knee 633
Hueston-Lappen, dorsaler 446
Hueter-Dreieck 304
Hueter-Linien 304
Hüftarthroskopie 517
Hüftarthroskopie, 3-Portal-Technik 518
Hüftarthroskopie, Portalzonen 517
Hüfte, Anatomie 506
Hüftendoprothese, anterolateraler Zugang nach Watson-Jones 530
Hüftendoprothese, dorsales Vorgehen 530
Hüftendoprothese, Frühinfekte 536
Hüftendoprothese, Implantation des Prothesenstiels 533
Hüftendoprothese, Komplikationen 535
Hüftendoprothese, lateraler Zugang 530
Hüftendoprothese, minimal-invasiver Zugang nach Röttinger 530
Hüftendoprothese, periartikuläre Verkalkungen 535
Hüftendoprothese, Spätinfekte 536
Hüftendoprothese, transglutealer Zugang 531
Hüftendoprothese, Zementiertechnik am Femurschaft 534
Hüfte, Oberschenkel (Diagnostik) 508
Hüfte, Oberschenkel (Leitsymptome) 508
Hüfte, schnappende 581
Hüftgelenk 509
Hüftgelenk, anterolateraler Zugang (nach Watson-Jones) 1128
Hüftgelenkerguss 1059
Hüftgelenk, freie Gelenkflüssigkeit 1059
Hüftgelenk, iliofemoraler Zugang (nach Smith-Petersen) 1129
Hüftgelenk, minimal-invasiver, anterolateraler Zugang nach Röttinger 1125
Hüftgelenk, Standardzugänge 1125
Hüftgelenk, transglutealer Zugang (nach Bauer/alpenländischer Zugang) 1127
Hüftgelenk, Typ-I-Luxation 511
Hüftgelenk, Typ-II-Luxation 511
Hüftgelenk, Typ-III-Luxation 511
Hüftgelenk, Typ-IV-Luxation 511
Hüftgelenk, Typ-V-Luxation 511
Hüftkopferhaltende Therapie 523
Hüftkopffraktur 512
Hüftkopffraktur, Klassifikation 512
Hüftkopffraktur, Komplikationen 513
Hüftkopffraktur, Therapie 512
Hüftkopffraktur, Typ-I-Verletzung 512
Hüftkopffraktur, Typ-II-Verletzung 513
Hüftkopffraktur, Typ-III-Verletzung 513
Hüftkopffraktur, Typ-IV-Verletzung 513
Hüftkopfnekrose 502, 512, 522
Hüftluxation 509
Hüftluxation, Ätiologie 509
Hüftluxation, chirurgische nach Ganz 1121
Hüftluxation, Diagnostik 509
Hüftluxation, Klassifikation 510
Hüftluxation, Komplikationen 512
Hüftluxation, Reposition 510
Hüftluxation, Therapie 510
Hüftluxation und -subluxation, rezidivierende 977
Hüftmuskeln 506
Hüfttragschraube 542, 547
Humanalbumin 914
Humanes Immundefizienz-Virus (HIV) 859
Humeral tilt 319
Humerus 304
Humerus, anteriorer Zugang 1106
Humerusblock nach Resch 284
Humerus, dorsaler Zugang 1107
Humeruskopffraktur 281
Humerusfraktur, distale 314
Humerusfraktur, distale, Komplikationen 320
Humerusfraktur, distale, Therapie 315
Humerusfrakturen, distale, Klassifikation 315
Humerusfraktur, epikondyläre im Kindesalter 793
Humerusfraktur, Fixateur externe 313
Humerusfraktur, kondyläre im Kindesalter 793

Humerusfraktur, proximale im Kindesalter 786
Humerusfraktur, suprakondyläre im Kindesalter 789
Humeruskopffraktur, endoprothetischer Ersatz 289
Humeruskopffraktur, Klassifikation 281
Humeruskopffraktur, mit vorderer oder hinterer Luxation 295
Humeruskopffraktur, perkutane K-Drähte 284
Humeruskopffraktur, Plattenosteosynthese 285
Humeruskopf-Frakturprothese, Implantation 292
Humeruskopffraktur, retrograder Verriegelungsnagel 288
Humeruskopffraktur, Therapie 282
Humeruskopffraktur, winkelstabiler Plattenfixateur 286
Humeruskopffraktur, Zwei- bis Vierfragmentfraktur im anatomischen Hals 288
Humeruskopffraktur, Zwei- bis Vierfragmentfraktur im chirurgischen Hals 283
Humeruskopfhochstand 1050
Humeruskopfnekrose, avaskuläre 290
Humeruskopf-Totalprothese, Implantation 292
Humerusnagel, antegrade Insertion 312
Humerusnagel, proximaler 286
Humerusnagel, retrograde Insertion 312
Humerusnagel, unaufgebohrter (UHN) 312
Humerusschaftfraktur, Klassifikation 307
Humerusschaftfraktur 306
Humerusschaftfraktur, akzidentieller Gefäßschaden 309
Humerusschaftfraktur, akzidentieller Nervenschaden 309
Humerusschaftfraktur im Kindesalter 787
Humerusschaftfraktur, Implantatwahl 311
Humerusschaftfraktur, konservative Therapie 307
Humerusschaftfraktur, Nachbehandlung 310
Humerusschaftfraktur, operative Therapie 309
Humerusschaftfraktur, pathologische 310
Humerusschaftfraktur, Plattenosteosynthese 311
Humerusschaftfraktur, Pseudarthrose 310
Humerusschaftfraktur, Radialisparese 310
Humerus, Standardzugänge 1106
Humpback-Deformität 394
Hybridfixation 614
Hydrocephalus e vacuo 20
Hydroxyethylstärke 914
Hydrozephalus, posttraumatischer 20
Hyperextensionstest 608
Hypertelorismus 42
Hypertonie, renale 142
Hypotension, permissive 888
Hypothermie 892
Hypotympanon 28

I

ICP-Dekompensation, Dekompression 19
ICP-Messung 12
ICP-Messung, epidural 12
ICP-Messung, intraparenchymal 12
ICP-Messung, subdural 12
ICP-Sonde 12
Ileus, paralytischer 102
Iliakalgefäße, Diagnostik 846
Iliakalgefäße, Verletzung und Therapie 846
Iliopsoastendinitis 538
Iliosakraldehntest 1030
Iliumdrucktest 1030
Immobilisation, intermaxilläre 48
Immunmodulation (Sepsis) 920
Impingement, femoroacetabuläres, Diagnostik 514
Impingement, femoroacetabuläres, dorsokaudales 514
Impingement, femoroacetabuläres (FAI) 514
Impingement, femoroacetabuläres, Klassifikation 515
Impingement, femoroacetabuläres, kraniomediales 514
Impingement, femoroacetabuläres (nach Schenkelhalsfraktur) 527
Impingement, femoroacetabuläres, Therapie 516
Impingement-Injektionstest nach Neer 1019
Impingement-Syndrom 267, 1019
Impingement-Syndrom, Klassifikation 269
Impingement-Syndrom, Sonomorphologie 1052
Impingement-Syndrom, Therapie 269
Impingement-Test nach Hawkins und Kennedy 1019
Impingement-Test nach Jobe 1019
Impingement-Test nach MacDonald und Ganz 1033
Impingement-Test nach Neer 1019
Impingement-Tests 268
Implantatchirurgie 861
Implantate 867
Implantatentfernung 1172
Implantatentfernung, Fixateur-externe-Pins 1174
Implantatentfernung, Kirschner(K)-Drähte 1172
Implantatentfernung, Platten 1173
Implantatentfernung, Schrauben 1173
Implantatentfernung, Tibianagel 666
Implantatfehllage, Beckenverletzung 502
Implantatlager, Infekt 878
Impressionsfraktur im Kindesalter 781
Impressionszonen 496
Incisura-scapulae-Syndrom 261
Indicistransfer, Operationstechnik 438
Infektbekämpfung, chirurgische Techniken 867
Infektion, Beckenverletzung 489, 501
Infektionen der Hand 461
Infektion, postoperative 869
Infektionsrate, Beckenverletzung 489
Infektionsrisikofaktoren, perioperative 861
Infektionsschutz 860
Infektionsschutzgesetz 862
Infektionsweg 860
Infektion von Knochen und Gelenken 875
Infekt, verzögerter 878
Infiltrationsanästhesie 1144
Infiltration, sonografisch gesteuerte 1078
Inflammationssyndrom 910
Inflow-Occlusion (Pringle-Manöver) 122
Infraktion 774
Infrarotkoagulation 121
Inhalationstrauma 891
Injektion, sonografisch gesteuerte 1078
Injury Severity Score (ISS) 920
Inletprojektion 475
Innenknöchelfraktur 703
Innenrotation 958
Innenrotationstest: Innenrotations-Lag-Zeichen 1021
Innenrotationstest: Lift-off-Test nach Gerber 1021
Innenrotationstest: Napoleon-Zeichen (Belly-press-Test) 1021
Innex-Knie 647
Insellappen, gestielte 452
Inselpulpalappen, Hand 448
Insertionstendopathie 579
Insertionstendopathie nach Hüftgelenkersatz 536
Insertionstendopathie, Therapie 580
Inside-out-Technik 596
In-situ-Arthrodese, Subtalargelenk 752
Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe 405
Instabilitäten, transiliakale, Therapie 484
Instabilitäten, transiliosakrale 478
Instabilitäten, transiliosakrale, Therapie 484
Instabilitäten, transpubische, Therapie 483
Instabilitäten, transsakrale 478
Instabilität, kalkaneokuboidale 741
Instabilität, kalkaneokuboidale, Therapie 742
Instabilität, mediokarpale 405
Instabilität, proximale Handwurzelreihe 406
Instabilität, radiokarpale 406
Instabilitätsarthrose 290
Instabilitätsrichtungen 478
Instabilität, transiliakale 478
Instabilität, translatorische 181
Instrumentenknoten 1159
Intensivmedizin 909
Interdigitalphlegmone 464
Interkostalarterien, Verletzung 95
Interosseus-anterior-Syndrom 340
Interponat/Bypass 830
Intersection-Syndrom 440
Intimadissektion 844
Intimadissektion, A. carotis 831
Intimahyperplasie (Stent) 838

Intrinsic-plus-Position 388
Intubation 888
Invaliditätsgrade 1201
Inzisionsfolien 938
Ischämiebeschwerden, Aortenverletzung 841
Ischämie-/Reperfusionsschaden 910
Iselin u. Dieckmann, Klassifikation 441
Isolierungsmaßnahmen 866

J

Jahss-Manöver 414
Jet-Lavage 533, 875
Jet-Lavage bei infizierter Prothese 882
Jochbeinfraktur 33
Jochbeinfraktur, dislozierte mobile 44
Jochbein (Os zygomaticum) 4
Jochbein-Stück-Trümmer-Defektfrakturen 44
Jochbogenfraktur 33, 43
Jones-Fraktur 727, 728
Joystick 493
Joysticktechnik 319
Judet-Klassifikation 491

K

Kabelmethode zur Beinachsenanalyse 570
Kahnbeinpseudarthrose 394
Kalkaneokuboidarthrodese 742, 754
Kalkaneokuboidgelenk 692, 694, 741
Kalkaneus, Anatomie 694
Kalkaneus, ausgedehnter lateraler Zugang 717
Kalkaneusfraktur 714
Kalkaneusfraktur, Klassifikation 715
Kalkaneusfraktur, Komplikation 718
Kalkaneusfraktur, minimal-invasive Therapie 716
Kalkaneusfraktur, Plattenosteosynthese 718
Kalkaneusfraktur, Repositionstechnik 716
Kalkaneusfraktur, Sanders-Klassifikation 715
Kalkaneusfraktur, Schanz-Schraube 716, 717
Kalkaneusfraktur, Therapie 715, 716
Kalkaneusfraktur, Zwipp, 12-Punkte-Frakturskala 715
Kalkaneus, Nekrose, Therapie 754
Kalkaneus, posttraumatische Fehlstellung 751
Kalkaneus, posttraumatische Fehlstellung, Klassifikation 752
Kalkaneus, posttraumatische Fehlstellung, Therapie 752
Kalkaneus, Pseudarthrose, Therapie 753
Kallusbildung 1169
Kallusdistraktion 974
Kalottendefekt, plastische Deckung 22
Kalottenfraktur im Kindesalter 781
Kalottenfraktur, Versorgung 21
Kalvariatransplantat 41
Kanthusverletzung 55
Kapitatumfraktur 399
Kapsel-Band-Verletzung, Ellenbogengelenk 1165
Kapsel-Band-Verletzung, Endgelenke 428
Kapsel-Band-Verletzungen, Hand 424
Kapsel-Band-Verletzung, Kniegelenk 1165
Kapsel-Band-Verletzung, Schulter 1165
Kapsel-Band-Verletzung, Schultereckgelenk 1165
Kapsel-Band-Verletzung, Sprunggelenk 1165
Kapselmuster 1032
Kapselspaltung, laterale (Patella) 626
Kapsel- und Bandverletzungen, Therapie 426
Kapsel- und Bandverletzung, Langfingergrundgelenke 427
Kapsel- und Bandverletzung, palmare Platte 428
Kapsel- und Bandverletzung, PIP-Gelenke 427
Kardinalsymptome der Entzündung 869
Karpale Instabilität 403
Karpale Instabilität, Diagnostik 404
Karpale Instabilität, Klassifikation 405
Karpale Luxation 400
Karpale Luxationsfraktur 400
Karpale Luxationsfraktur, Therapie 401
Karpaltunnelspaltung, endoskopisches Verfahren 409
Karpaltunnelspaltung, offenes Verfahren 409
Karpaltunnelsyndrom, Ätiologie 408
Karpaltunnelsyndrom, Diagnostik 409
Karpaltunnelsyndrom, Komplikationen 411
Karpaltunnelsyndrom, Nachbehandlung 411
Karpaltunnelsyndrom, Sonografie 1067
Karpaltunnelsyndrom, Therapie 409
Karpus, Biomechanik 403
Katabolie 919
Katheterisierung 476
Katheter, suprapubische 152
K-Draht-Osteosynthese, Femurfraktur im Kindesalter 805
K-Draht-Osteosynthese im Kindesalter 778
K-Draht-Osteosynthese, perkutane im Kindesalter 787
Kehlkopftrauma, stumpfes 57
Keilbeinhöhlenwanddefekt 27
Keilosteotomie 972
Keloid 929
Kernig-Zeichen 1017
Kiefergelenkfortsatzfraktur 45, 48
Kiefergelenkluxation 50
Kieferklemme 4, 43
Kineplastik nach Sauerbruch-Lebsche 380
Kinking 842
Kirschner-Draht-Osteosynthese, Mittelhandfraktur 415
Klassifikation der Beckenringverletzungen 477
Klassifikation nach Habermeyer 281
Klassifikation nach Neer 240, 246
Klaviertastenphänomen 250
Klavikula, anteroposteriore Aufnahme 238
Klavikulafrakturen, Klassifikation 240
Klavikulafrakturen, mediale 240, 241
Klavikulafrakturen, Plattenosteosynthese 241, 242
Klavikulafrakturen, Therapie 241
Klavikulafraktur im Kindesalter 784
Klavikulafraktur, Pseudarthrose 244
Klavikula, Standardzugänge 1101
Klaviukulafrakturen, laterale 246
Kleinfragmentkompressionsplatten 352
Knie, Anatomie 588
Knieendoprothetik, Komplikationen 651
Knieexartikulation 683
Kniegelenk 591
Kniegelenk, Baker-Zyste 1064
Kniegelenk, dorsaler Zugang 1131
Kniegelenk, exophytäre Anbauten 1066
Kniegelenk, Freie Gelenkflüssigkeit 1064
Kniegelenk, freie Gelenkkörper 1066
Kniegelenk, Kollateralbandläsion 1065
Kniegelenk, Standardzugänge 1131
Kniegelenk, Streckapparat 618
Kniegelenk, Streckdefizite 634
Kniegelenk, streckseitiger Zugang 1131
Knieluxation 617
Knieluxation, Gefäßverletzung 618
Knieluxation, Kapsel-Band-Verletzungen 618
Knieluxation, Reposition 618
Knieluxation, Therapie 617
Kniesystem, unikondyläres 644
Knie, Unterschenkel (Diagnostik) 591
Knieverletzungen im Kindesalter 812
Knochenchirurgie 1166
Knochendurchtrennung, obere Extremitäten 1005
Knochendurchtrennung, untere Extremitäten 971
Knochenentnahme am Beckenkamm, dorsaler Zugang 1124
Knochenentnahme am Beckenkamm, ventraler Zugang 1123
Knochenheilung 1166
Knochenzement, Injektion 227
Knopflochdeformität 435
Knüpftechnik, beidhändige 1155
Knüpftechnik, einhändige 1157
Knüpftechniken 1155
Kocher-Krageninzision 1088
Kocher-Langenbeck-Zugang 493
Kohabitationsverletzung 150
Kollagenvlies (Hämostase) 121
Kollateralbandverletzung 615
Kolloide 914
Kolon 100
Kolonläsion, traumatische, Therapie 135
Kolonverletzung 134
Komagrade 6
Kompaktotomie, untere Extremitäten 972
Kompartmentdruckmessung 945

Kompartment-Syndrom 475, 902, 944
Kompartment-Syndrom, abdominelles 110
Kompartment-Syndrom der Hand 418
Kompartment-Syndrom der Hand, Zugang 419
Kompartment-Syndrom, Diagnostik 945
Kompartment-Syndrom, Fuß 696
Kompartment-Syndrom im Kindesalter 808
Kompartment-Syndrom, Oberarm 321
Kompartment-Syndrom, Oberschenkel 582, 848
Kompartment-Syndrom, Pathophysiologie 676
Kompartment-Syndrom, Sonografie 1070
Kompartment-Syndrom, Therapie 946
Kompartment-Syndrom, Unterarm 375
Kompartment-Syndrom, Unterschenkel 676
Kompartment-Syndrom, Unterschenkel, Diagnostik 676
Kompartment-Syndrom, Unterschenkel, Therapie 676
Kompartment-Syndrom, Ursachen 945
Komplexfraktur, Axis 184
Komplexfrakturen C2 190
Komplikationen 924
Komplikationen, Beckenverletzung 489
Komplikationen in der Traumatologie (allgemein) 924
Komplikationen in der Traumatologie (spezielle) 939
Kompression 121
Kompression, interfragmentäre 1168
Kompressionsosteosynthese, Unterkiefer 47
Kompressionsplatten, dynamische (Unterkiefer) 47
Kompressionssyndrome 297
Kondylenfixateur 577
Koniotomie 64, 889
konservative Therapie, Beckenringverletzung 479
Kontinenzorgan, anorektales (Trauma) 136
Kontraktur 927
Kontrakturprophylaxe 928
Kontraktur, Ursachen 927
Kontusionen (Gesicht) 55
Kontusionsblutung 5
Konzept der biologischen Osteosynthese 1168
Kopfbedeckungsindex (KBI) 976
Kopfplatzwunde 1162
Korakoidtransposition nach Latarjet 260
Korakoklavikuläre Verschraubung nach Bosworth 252, 255, 256
Korbhenkelriss 593
Koriumnaht 1152
Koronoidfraktur 325
Korporektomie 221
Korporektomie, komplette 214
Korporektomie, partielle 214
Korrektur, einzeitige, untere Extremität 974
Korrekturosteotomie, Achs- und Gelenkwinkel, untere Extremität 969
Korrekturosteotomie, anatomische Landmarken, untere Extremität 968
Korrekturosteotomie, Einflussgrößen 970
Korrekturosteotomie, frontale Deformitäten, untere Extremität 967
Korrekturosteotomie, Indikation, untere Extremität 966
Korrekturosteotomie, Ist-Soll-Analyse, untere Extremität 968
Korrekturosteotomie, Kalkaneus 753
Korrekturosteotomie, Knie/Unterschenkel 639
Korrekturosteotomie, Korrekturziel 969
Korrekturosteotomie, Längendifferenzen, untere Extremität 968
Korrekturosteotomien, horizontale Deformitäten, untere Extremität 967
Korrekturosteotomie, obere Extremität 1005
Korrekturosteotomie, Operationstechnik, untere Extremität 973
Korrekturosteotomie, patientenabhängige Kriterien, untere Extremität 967
Korrekturosteotomie, retrograde Marknagelung 986
Korrekturosteotomie, sagittale Deformitäten, untere Extremität 967
Korrekturosteotomie, supramalleoläre 747
Korrekturosteotomie, Talus 751
Korrekturosteotomie, Torsionsdeformitäten (untere Extremitäten) 968
Korrekturosteotomie (untere Extremität) 966
Korrekturosteotomie, Winkelplatte 985
Korrekturspondylodese, dorsoventrale 215
Korrekturverfahren, externe, untere Extremität 972
Korrekturverfahren, interne, untere Extremität 972
Korrekturwinkel 970
Korsett 166
Kortikotomie, untere Extremitäten 971
Kostoklavikulartest 1018
Kostotransversektomie 1095
Koxitis 1059
Krallenzehe 763
Kramer-Osteotomie 759, 760
Kraniektomie 19
Krankenhaushygiene 860
Kreatinkinase (CK) 71
Kreislaufreaktion, hyperdyname 911
Kreislaufschock 7
Kreuzbänder, Anatomie 589
Kreuzbandersatz, Komplikationen 607
Kreuzbandersatz mit Semitendinosussehne 602
Kreuzband, hinteres 608
Kreuzband, hinteres, chronische Läsionen 612
Kreuzband, hinteres, Diagnostik 608
Kreuzband, hinteres, Ersatz 612
Kreuzband, hinteres, Insuffizienz 610
Kreuzband, hinteres, Nachbehandlung 614
Kreuzband, hinteres, operative Therapie 611
Kreuzband, hinteres, Therapie 610
Kreuzband, hinteres, Transplantatmaterial 612
Kreuzband , Sonografie 1066
Kreuzband, vorderes 598
Kreuzband, vorderes, arthroskopische Rekonstruktion 601
Kreuzband, vorderes, Diagnostik 598
Kreuzband, vorderes, früh-elektive Arthroskopie 600
Kreuzband, vorderes, Nachbehandlung 606
Kreuzband, vorderes, Rekonstruktion in Doppelbündeltechnik 604
Kreuzband, vorderes, Therapie 599
Kriechschraube 484
Kristalloide 914
Krukenberg-Plastik 380
Kubitalarthrose, Sonografie 1058
Kubitaltunnelsyndrom 341
Kufner-Aufhängung 35
Kulissenphänomen 80
Kunststoffbypass 830
Kunststoffgefäß 831
Kyphoplastie 227

L

Labrum acetabulare 473
Lachman-Test 1039
Lachman-Test, aktiver 1040
Lagerung auf dem Extensionstisch 539
Lagerung für den Transport 892
Lagerung für eine Kniegelenkarthroskopie 1085
Lamina papyracea, Fraktur 42
Laminektomie 206, 1095
Längendifferenz 960
Längendifferenzen 961
Längendifferenzen am Oberarm 1003
Längen, obere Extremität 1001
Längen- und Torsionswinkelbestimmung per CT, untere Extremität 965
Längen- und Torsionswinkelbestimmung per Sonografie, untere Extremität 965
Längen- und Torsionswinkelmessung per Sonografie, obere Extremität 1004
Längenverhältnisse von Ober- und Unterschenkel 960
Laparoskopie, Dünndarm 134
Laparoskopie, Magen 132
Lapidus-Verfahren, modifiziert 761
Lasègue, Differenzialtest nach 1017
Lasègue-Test 1016
Lasègue, umgekehrter 1017
Läsionen des Plexus cervicobrachialis, kompressionsbedingte 297
Läsionen des Plexus cervicobrachialis, traumatische 295
Läsionen, osteochondrale 502

Lassooperation nach Zancolli 298
lateral bulge 714
LCP-Plattenfixateur, Ellenbogen 316
Leber 119
Lebervenen, Verletzung und Therapie 843
Leberverletzung, Diagnostik 120
Leberverletzungen 119
Leberverletzung, enterale Ernährung 126
Leberverletzung, Klassifikation 120
Leberverletzung, konservative Therapie (NOMLI) 120
Leberverletzung, Nachbehandlung 125
Leberverletzung, operative Therapie 121
Leberverletzung, parenterale Ernährung 126
Leberverletzung, postoperative Komplikationen 126
Leberverletzung, Volumentherapie 126
LeFort-Fraktur 32
Leistenlappen (Handverletzung) 450
Leistenlappen nach McGregor 450
Leistungen der privaten Unfallversicherung 1184
Leistungen der Unfallversicherungsträger 1182
Lendenwirbelsäule (LWS) 158
Lendenwirbelsäule, Verletzungen 201
Letalität, Beckenverletzung 489
Letournel-Klassifikation 491
Ligamentäre Bandverbindungen am Becken 472
Ligamente, sakrospinale 472
Ligamente, sakrotuberale 472
Ligamentum capitis femoris 473
Ligamentum fibulocalcaneare, Rekonstruktion 736
Ligamentum transversum acetabuli 473
Limited Contact Dynamic Compression Plate (LC-DCP) 1167
Linearschallköpfe 1046
Linksseitige Lumbotomie L2L5 1099
Linton-Patch 830
Liquorrhoe, posttraumatische 31
Lisfranc-Gelenk 694
Lisfranc-Gelenk, Korrekturarthrodese 756
Lisfranc-Luxation 723
Lisfranc-Luxationsfraktur 723
Lisfranc-Luxationsfraktur, Klassifikation 724
Lisfranc-Luxationsfraktur, Komplikation 727
Lisfranc-Luxationsfraktur, Therapie 725
Lisfranc, posttraumatische Fehlstellung, Therapie 756
LISS-Plattenfixateur (Tibiafraktur) 654
LISS-System, Tibia 669
Lobektomie 19
Lockerung, aseptische oder septische (nach Hüftgelenkersatz) 537
Locking Compression Plate (LCP) 1170
Locking Compression Plate (LCP), Tibia 672
Logendruck 945
Logenspaltung, Unterschenkel 677
Longitudinaltechnik, Punktion 1078
Ludloff-Osteotomie 759, 760
Luftleck 83, 85
Luftwege, Verletzungen der großen 88
Lumbalpunktion 12
Lunatumfraktur 399
Lungenembolie 934
Lungengefäßzerreißung 84
Lungenkontusion 84
Lungenlappenresektion 86
Lungenoperation, Nachbehandlung 89
Lungenparenchymzerreißung 83
Lungenresektion, atypische 85
Lungenschädigung, beatmungsinduzierte 916
Lungensegmentresektion 85
Lungenverletzungen 83
Lungenversagen, Lagerungstherapie 917
Lungenversagen, posttraumatisches 911
Lungenversagen, transfusionsassoziiertes 84
Lungenzerreißung 84
Luxation, interphalangeale 742
Luxation, metatarsophalangeale 742
Luxatio pedis cum talo 734, 735
Luxatio pedis sub talo 738
Luxatio tali totalis 739, 741
Lymphödem 871

M

Magen 100, 130
Magen-Darm-Atonie 928
Magen-Darm-Atonie, Therapie 929
Magen-Darm-Atonie, Ursachen 928
Magenruptur 132
Magenverletzung 130
Magenverletzung, Diagnostik 131
Magenverletzung, Nachbehandlung 132
Magenverletzung, perforierende, Therapie 132
Magenverletzung, Therapie 132
Magnetresonanzcisternografie (MR-cis) 24
Makrohämaturie 137, 476
Malgaigne-Impressionsfraktur 273
Malleolarebene, operative Korrektur 748
Malleolarfraktur 699
Malleolarfraktur im Kindesalter 818
Malleolarfraktur, Klassifikation 699
Malleolarfraktur, Komplikation 704
Malleolarfraktur, Nachbehandlung 704
Malleolarfraktur, Therapie 701, 702
Mallet-Zehe 763
Management, nichtoperatives (NOM), Abdomen 108
Mangled Extremity Severity Score 662
Marcumar 932
Markrauminfekt 878
Markraumsäge 974
Mason-Allen-Technik 265
Maßnahmen, hirnspezifische 11
Maßnahmen, interventionelle (A. vertebralis) 836
Mastdarm 100
Mastoidektomie 31
Materialschluss 533
Matta-Winkel 491
Maulschellenbewegung 692
Maximalversorgung 895
MdE-Sätze 1201
MdE-Sätze, Tafeln 1208
Meatus urethrae 475
Medialer Zugang zum Kalkaneus nach McReynolds 1138
Mediandrainage 28
Mediane longitudinale Thorakotomie, Zugang 1088
Mediane Ober- und Unterbauchlaparotomie 1089
Medianusparese 298
Medianustests 1027
Mediastinalemphysem 83
Mediastinalverbreiterung 92
Mediastinum 68
Mediatoren, proinflammatorische 910
Mehrfachverletzungen im Kindesalter 779
Meißel 974
Meningitis 30
Meniskektomie, partiell oder subtotal 594
Meniskus, Anatomie 588
Meniskusnahttechniken 595
Meniskusruptur 591
Meniskusruptur, Arthroskopie 594
Meniskusruptur, Klassifikation 593
Meniskusruptur, MRT-Befund 592
Meniskusruptur, Repositionsmanöver 593
Meniskusruptur, Spontanheilung 597
Meniskus (Sonografie) 1065
Meniskustest 592
Meniskustransplantation, -ersatz 596
Meralgia paraesthetica 581
Mesenterialarterien, Verletzung und Therapie 845
Mesenterialeinriss 134
mesh-wrapping 125
Mesotympanon 28
Messblätter, Allgemeines 1191
Messblatt für die oberen Gliedmaßen 1187
Messblatt für die unteren Gliedmaßen 1187
Messblatt für die Wirbelsäule 1187
Metakarpale-I-Basis, dorsale Zugänge 1115
Metakarpale-I-Frakturen 416
Metakarpalfraktur 412
Metakarpalfraktur im Kindesalter 802
Metatarsalefraktur 727
Metatarsalefraktur im Kindesalter 821
Metatarsalefraktur, Klassifikation 728
Metatarsalefraktur, Komplikation 730
Metatarsalefraktur, Therapie 728
Metatarsale-I-Basisosteotomie 759
Metatarsale I-Osteotomie, distale 759
Metatarsale, Stressfrakturen 727
Metatarsalia, Anatomie 695

Metatarsalia, posttraumatische Fehlstellungen 757
Metatarsophalangeal-Gelenk, Arthrodese 761
Metatarsophalangealgelenk, Prothese 762
M. flexor-digitorum-profundus-Test 1026
M. flexor-digitorum-superficialis-Test 1026
Milchzahnfraktur 53
Milchzahnluxation 53
Miller-Cuff 830
Mill-Test 1024
Milz 114
Milz-Autotransplantation 118
Milzerhaltende Operation 115
Milzruptur 117
Milzverletzung 114
Milzverletzung, Diagnostik 114
Milzverletzung, Klassifikation 114
Milzverletzung, Komplikationen 118
Milzverletzung, stadiengerechte Versorgung 118
Milzverletzung, Therapie 114, 115
Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) 1181
Minerva-Verband 164
Mini-Herbert-Schraube 393
Mini-open-repair 265
Miniplattenosteosynthese (Champy-Prinzip) 46
Minithorakotomie 72
Minithorakotomie, Zugang 1086
Mittelfußfraktur 727
Mittelfußknochen 695
Mittelgelenkluxation, Therapie 425
Mittelgesicht 4
Mittelgesichtfrakturen, zentrale und zentrolaterale 37
Mittelgesichtsfraktur 32
Mittelgesichtsfraktur, Implantatentfernung 36
Mittelgesichtsfraktur, Klassifikation 32
Mittelgesichtsfraktur, komplexe 44
Mittelgesichtsfraktur, laterale 43
Mittelgesichtsfraktur, Leitsymptome 33
Mittelgesichtsfraktur, operative Zugänge 36
Mittelgesichtsfraktur, Osteosynthesesysteme 36
Mittelgesichtsfraktur, Schienungsverfahren 34
Mittelhand 412
Mittelhandfraktur 412
Mittelhandfraktur, Achsfehlstellung 416
Mittelhandfraktur, Diagnostik 412
Mittelhandfraktur, dorsale oder palmare Abkippung 416
Mittelhandfraktur, Nachbehandlung 416
Mittelhandfraktur, Operationstechniken 415
Mittelhandfraktur, Reposition 414
Mittelhandfraktur, Rotationsfehlstellung 416
Mittelhandfraktur, Therapie 412
Mittelhirneinklemmung 15
Mittelhirnkontusion 4
Mittelhirnsyndrom 6
Mitwirkung, fehlende 1181
Mitwirkungspflicht 1181
M. obliquus abdominis 98
Monokel- oder Brillenhämatom 4
Monteggia-Äquivalente 345, 349
Monteggia-Fraktur 354
Morbus Bechterew, Instabilität der Wirbelsäule 222
Morbus Dupuytren 440
Morel-Lavallé-Läsion 475
Mortise view 711, 747
M. pectoralis major-Abriss 320
M. peroneus brevis, Muskellappenplastik 675
MP-Gelenk-Fixation 299
M. rectus abdominis 98
MRSA-Risikokollektiv 861
MRSA-Screening 866
M. soleus, Muskellappenplastik 675
M. tibialis anterior, Muskellappenplastik 675
M. transversus abdominis 98
Mukozele 61
Multifrequenzschallköpfe 1046
Multiorgan-Dysfunktions-Syndroms(MODS) 910
Multiorganversagen 911
Multiresistente Erreger (MRE) 866
Multislice-CT 896
Mundhöhlenverletzung 56
Mundöffnung (Behinderung der) 43
Muskelabriss, ischiokruraler 580
Muskelersatzoperationen 298
Muskelfaserriss 579
Muskelfaserriss, Therapie 579
Muskelhernien, symptomatische nach Hüftendoprothese 538
Muskelkraft 161
Muskellappenplastik, lokal gestielte, Unterschenkel 674
Muskeln, Sonografie 1069
Muskelverkalkungen, Sonografie 1070
Muskelverletzungen, Sonografie 1070
Mydriasis 7
Myelonsonografie, intraoperative 1079
Myositis, 874
Myosonografie 1070
Myotom 160

N

Nachbehandlung, Beckenverletzung 501
Nachblutung 927
Nachblutung, Prophylaxe 927
Nachblutung, Therapie 927
Nachtwandlerfraktur 730
Nagelbettverletzung 420
Nageleintrittspunkt, antegrader 554
Nageleintrittspunkt, retrograder 555
Nagelung, intramedulläre bei Femurfraktur im Kindesalter 808
Nagelung, intramedulläre bei Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter 799
Nagelung, intramedulläre bei Unterschenkelfraktur im Kindesalter 816
Nagelung, intramedulläre im Kindesalter 779, 787
Naht, durchschlungene fortlaufende 1148
Naht, einfache überwendliche fortlaufende 1147
Naht, fortlaufende 1147
Naht, intradermale 1148
Nahtmaterial für die Haut 1145
Nahttechniken 1145
Nahttechniken bei Herzverletzungen 1088
Nahttechnik, Gefäßchirurgie 829
Nah- und Fernlappen, gestielte (Hand) 449
Narbe, hypertrophe 929
Narbe, hypertrophe, Therapie 930
Narbe, hypertrophe, Ursachen 929
Nasenbeinfraktur, einfache 38
Nasenbluten 63
Nasennebenhöhlen 4
Nasenskelettfraktur 38
Nasentamponade, fortlaufende vordere 63
Nasenverletzung 55
N. cutaneus femoris lateralis 483
Nervenblockade, Fuß 1145
Nervenblockade, Hand 1144
Nervenblockaden, intravenöse 1144
Nervenblockade, Unterschenkel 1145
Nervenkoaptation, primäre 297
Nervenläsion an der Hand, Diagnostik 454
Nervenläsionen, Beckenverletzung 501
Nervenläsion, Klassifikation nach Seddon und Sunderland 455
Nervennaht, epineurale 456
Nervennaht, interfaszikuläre 456
Nervennaht, kombinierte epi-/perineurale 456
Nervennaht, perineurale 456
Nervennahttechnik 456
Nerventransplantation 456
Nervenverletzung an der Hand 454
Nervenverletzung an der Hand, Therapie 455
Nervenwurzeln 159
Neunerregel 891
Neuropraxie 309
Neurotmesis 309
Neutral-Null-Methode 236, 958
Nierenchirurgie, wiederherstellende 141
Nierenersatzverfahren (Intensivmedizin) 917
Nierenverletzung 137
Nierenverletzung, Diagnostik 137
Nierenverletzung, Klassifikation 138
Nierenverletzung, Komplikationen 142
Nierenverletzung, Rekonstruktionstechniken 141
Nierenverletzung, Therapie 138, 139
Nierenversagen 911
N. medianus, Kompressionssyndrom 339
Nockenwellen-Impingement 515
Nomenklatur, sonografische 1046
N. opticus, Trauma 59

Normaldruckhydrozephalus 20
Norton-Skala 924
Notarztindikationen 887
Notarztprotokoll 892
Notfallangiografie 10
Notfalllabor 10
Notfallmaßnahmen, Kopf und Hals 63
Notfalltherapie, Becken 479
N. radialis, Kompressionssyndrom 340
N.-suralis-Kabeltransplantation 457
Nutation 473

O

Oberkiefer, mobiler 37
Oberkörperhochlagerung 9
Oberschenkel, Anatomie 506
Oberschenkellängendifferenzen 962
Oberschenkelmuskeln 507
Oberschenkel, Standardzugänge 1125
Oberschenkelstumpf 685
Oberschenkeltorsion 962
Oberschenkel, Weichteilverletzung 579
Ober-Zeichen 1032
O´Brien Test 1019
Obturator-Aufnahme, Acetabulum 489
Obturator-Projektion 475
Obwegeser-Schiene 34
Ödem, posttraumatisches 930
Ödem, posttraumatisches, Therapie 930
Ogden-Platte 578
Ohrmuschelabriss 56
Ohrspeicheldrüse, Verletzung 55
Okklusionsstörung 37
Okzipitalkondylen, Fraktur 174
Okzipitozervikale Fusion 175
Olekranektomie 349
Olekranonfraktur 346
Olekranonfrakturen im Kindesalter 795
Olekranonfrakturen, Therapie 346
Olekranonfraktur, Klassifikation nach Schatzker 346
Olekranonfraktur, Plattenosteosynthese 348
Olekranonfraktur, Zuggurtungsosteosynthese 347
Olekranonfrakur, Schraubenosteosynthese 348
Ollier-Zugang 712, 1136
Omarthrose, primäre 290
Omentumplastik 841
ONSD 103
Open-book-Frakturen 846
Open-book-Läsion 900
Operationstechnik, atraumatische 867
OPSI-Syndrom 119
Optikusneuropathie, traumatische 61
Orbitabodenfraktur 33, 40
Orbitadachfraktur 33, 41
Orbitafraktur, augenärztliches Konsil 40
Orbitafrakturen 33
Orbitafraktur, komplexe 42
Orbitafraktur, mediale 42
Orbitaspitzensyndrom 37
Orthese (hinteres Kreuzband) 610
Orthopantomografie (OPG) 34
Ösophagusverletzung 95
Os pisiforme-Fraktur 400
Ossa coxae 472
Os sacrum 472
Ossifikationen, heterotope 943
Ossifikationen, heterotope, Becken 502
Ossifikationen, heterotope, Hüftgelenk 537
Ossifikationen, heterotope, Prophylaxe 944
Ossifikationen, heterotope, Therapie 944
Ossifikationen, heterotope, Ursachen 943
Ossifikationen, periartikuläre 501
Osteitis 876
Osteochondrale Talusfraktur, Berndt u. Harty-Klassifikation 711
Osteochondrosis dissecans 638, 1061
Osteochondrosis dissecans, Therapie 638
Osteoklasie, untere Extremitäten 972
Osteomyelitis 876
Osteoporose 226, 501
Osteosynthese mit Kleinfragmentplatten, lokale 486
Osteosyntheseplatten 1167
Osteosynthesetechniken, Becken 481
Osteosynthesetechniken, externe, untere Extremitäten 975
Osteosynthesetechniken, interne, untere Extremitäten 975
Osteosynthesetechniken, kombinierte, untere Extremitäten 975
Osteosynthesetechniken, obere Extremitäten 1005
Osteosynthesetechniken, untere Extremität 974
Osteosyntheseverfahren, externe, obere Extremitäten 1006
Osteosyntheseverfahren, interne, obere Extremitäten 1006
Osteosynthesezeitpunkt 828
Osteotomie des Olekranons 1110
Osteotomie des Trochanter major, bigastrische 1121
Osteotomieformen 972
Osteotomiehöhe 970
Osteotomie nach Watermann 762
Osteotomie, periacetabuläre 976
Osteotomie, quere 972
Osteotomie, treppenförmige 973
Osteotomie, untere Extremitäten 971
Othämatom 56
Otobasisfraktur 28
Otobasisfraktur, Therapie 31
Otoliquorrhoe 4, 29, 30
Otserom 56
Ott-Zeichen 1016
Outerbridge-Chondromalazie-Klassifikation 971
Outletprojektion 475
Outlet-view-Aufnahme 238
Outside-in-Technik 595
Overhead-Extension (bei Kindern) 807
Overstuffing 289
Overwhelming Post-Splenectomy Infection (OPSI) 119
Oxygenierung 888

P

Palma-Operation 847
Palmare Zugänge 1116
Palm-up-Test 1022
Panaritium 463
Panaritium articulare und ossale 465
Panaritium subcutaneum 463
Panaritium subunguale 463
Panaritium tendinosum 464
Panarthrodese 407
Pankreas 127
Pankreasfistel 130
Pankreasfistel, nach Milztrauma 118
Pankreas-Pseudozysten 130
Pankreasresektion 129
Pankreasverletzung 127
Pankreasverletzung, Diagnostik 127
Pankreasverletzung, Klassifikation 127
Pankreasverletzung, Komplikationen 130
Pankreasverletzung, operatives Vorgehen nach Schweregrad 128
Pankreasverletzung, Therapie 128
Pankreatitis 130
Pankreatitis, chronische 130
Paraplegie 169
Pararektaler, retroperitonealer Zugang L4/S1 1100
Patch, Gefäßchirurgie 830
Patchplastik 836
Patella 590
Patella-apprehension-Test 1035
Patelladeformität (Wiberg u. Baumgartl) 590
Patellafraktur 627
Patellafraktur, Diagnostik 627
Patellafraktur im Kindesalter 812
Patellafraktur, Klassifikation 627
Patellafraktur, Therapie 627
Patellafraktur, Zuggurtungsosteosynthese 628
Patellaführung 590
Patella-glide-Test 621
Patellakompressionssyndrom, laterales 623
Patellaluxation 623
Patellaluxation, Diagnostik 624
Patellaluxation, Ersatz des medialen patello-femoralen Ligaments 625
Patellaluxation, lateral release 624
Patellaluxation, Operation nach Insall 624
Patellaluxation, Therapie 624
Patellarsehnennaht 632

Patellarsehnenplastik, arthroskopische 604
Patellarsehnenruptur 631
Patellarsehnenruptur, Diagnostik 631
Patellarsehnenruptur, Rekonstruktion 632
Patellarsehnenruptur, Therapie 631
Patellatrümmerfraktur 631
Patellaverschiebetest 1035
Patellofemoralgelenk 590
Patrick-Faber-Test 1033
Pauwels-Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen 520
Pavlik-Bandage 807
Payr-Zeichen 1035
PDS-Kordel 249
Pedikel 159
Pedikelsubtraktionsosteotomie 215
Penis 148
Penisverletzung, Diagnostik 148
Penisverletzungen 148
Penisverletzung, Therapie 148
Perfusionsdruck, abdomineller (APP) 110
Perfusionsdruck, zerebraler (CPP) 11
Perikardiotomie 90
Perikardpunktion, subxiphoidale 90
Perikardruptur 89
Perikardtamponade 71
Perilymphfistel 30
Periostlappenplastik (Ligamentum fibulotalare anterius oder fibulocalcaneare) 736
Periphere Nervenblockaden 1144
Periphere Talusfrakturen 713
Peritoneallavage 104
Perkins-Traktion 552
Peronealsehnen-Luxationstest 1044
Peroneus-brevis-Bandplastik 732
Peroneus-brevis-Plastik, anatomische 737
Peroneus-longus-Bandplastik 732
Pes abductus 754
Pes adductus 754
Pes plano valgus 754
Pfählungsverletzungen (bei der Frau) 150
Pfannendachmessung 491
Pfannenimplantat, Auswahl 532
Pfannenpräparation 531
Pfannenrandfraktur 274
Pfannenstielschnitt 1100
Pfeifer-Schiene 53
Pfeilbogeneffekt 389
Pfeilerstruktur 473
Pflasterzügelverband 730
Phalen-Zeichen 1027
Phlebothrombose 931
Phlebothrombose, Diagnostik 932
Phlebothrombose, physikalische Maßnahmen 933
Phlebothrombose, Prophylaxe 932
Phlebothrombose, Therapie 934
Phlebothrombose, Ursachen 931
Phlegmone 871
Physiologic status Score nach Robinson 523
Pilon 693
Pilon-tibiale-Fraktur 668, 705
Pilon-tibiale-Fraktur, Klassifikation 706
Pilon-tibiale-Fraktur, Komplikation 708
Pilon-tibiale-Fraktur, minimal-invasive Verfahren 707
Pilon-tibiale-Fraktur, Therapie 706
Pilon-Trümmerfraktur 707
Pincer-Impingement 515
Ping-pong-Fraktur 22
Pipkin-Fraktur 512
Pipkin-Klassifikation 512
Piriformis-Syndrom 581
pistol grip deformity 514
Pivot-shift-Manöver 323
Pivot-shift-Test 1041
Pivot-shift-Test, reversed 1042
Pivot-shift-Test, weicher 1041
Plastische Deckung 1151
Platon-Nagel 544
Plattenausriss 566
Plattenbruch 566
Plattenosteosynthese der Symphyse 481
Plattenosteosynthese, elastische 1168
Plattenosteosynthese, elastische (Tibia) 671
Plattenosteosynthese im Kindesalter 800
Plattenosteosynthesen, ilioiliakale 487
Plattenosteosynthese, Tibia 670
Platten-Schrauben-System, winkelstabiles 1170
Plattenschraubensystem, winkelstabiles (Tibia) 672
Plattensysteme für die dorsale HWS 199
Platte, palmare (knöcherner Ausriss) 425, 427
Platzwunde 1162
Pleuraempyem 83
Pleuraerguss (nach Milztrauma) 119
Plexus lumbosacralis 470
PLIF (posterior lumbar interbody fusion) 210
Pneumatozephalus 5, 23
Pneumnonie, postoperative (Prophylaxe) 936
Pneumonektomie 87
Pneumonie, postoperative 935
Pneumonie, postoperative (Diagnostik) 935
Pneumonie, postoperative (Risikofaktoren) 935
Pneumonie, postoperative (Therapie) 936
Pneumothorax 70, 83
Polytraumaerstbehandlung 479
Polytrauma, ethische Fragen 906
Polytrauma, Laboruntersuchungen 900
Polytrauma, lebensrettende Sofortoperationen 901
Polytraumaschlüssel (PTS) 889
Polytrauma, Unfallmechanismus 886
Popeye-Phänomen 279
Popeye-Zeichen 235, 236
Postanalytik 864
Posterolaterale Thorakotomie, Zugang 1088
Postexpositionsprophylaxe, HBV 858
Postexpositionsprophylaxe, HIV 859
Posttraumatische Fehlstellungen des Lisfranc-Gelenks 755
Posttraumatische Kyphose, Korrektur 215
Potenziale, evozierte 11
Präanalytik 864
präklinische Versorgung 886
Prävention, HBV 858
Prävention von Wundinfekten 860
Präzisionsakromioplastik 265
Prehospital Trauma Life Support-Richtlinien (PHTLS) 886
Pressfit 533
Prevot-Nagelung 242, 244
Pringle-Manöver 122, 125
Processus coronoideus-Frakturen 325
Processus muscularis, Fraktur 50
Processus temporalis 4
Processus zygomaticus 4
Prognose, Beckenverletzung 502
Pronation 958
Pronations-Abduktions-Fraktur 700
Pronations-Eversions-Fraktur 700
Pronator-teres-Syndrom 340
Prothesenlockerung 882
Protrusion des Hüftkopfs 535
Proximaler Femurnnagel, Targon 544
Proximal femur nailing antirotation, PFNA 547
Proximal femur nailing (PFN) 547
Proximal row carpectomy 396
Pseudarthrose 62, 949, 978
Pseudarthrose, avitale 950
Pseudarthrose der Klavikula 1055
Pseudarthrose, infizierte 950
Pseudarthrose, Klassifikation 949
Pseudarthrosen, Becken 489
Pseudarthrose, Therapie 950
Pseudarthrose, Ultraschalltherapie 952
Pseudarthrose, Ursachen 949
Pseudarthrose, vitale 950
Pseudoaneurysma, A. carotis 831
Pseudoaneurysma-Bildung (nach Milztrauma) 119
Pseudorhinoliquorrhoe 30
PTFE-Gefäß 831
PTS-Schiene (Posterior-tibial-support-Schiene) 610
Pulmonalarterienverletzung 91
Pulmonalarterienverschluss 86
Pulmonalis-Einschwemmkatheter 914
Pulse Contour Cardiac Output, PiCCO 914
Pulvertaft, Durchflechtungsnaht 438
Pulvertaft-Nahttechnik 433
Punktion, sonografisch gesteuerte 1078
Pupillenfunktion 6
Pyomyositis 875
Pyozele 61

Q

Quadrizepssehnenruptur 619
Quadrizepssehnenruptur, Therapie 619

Querschnittslähmung 161, 168
Querschnittslähmung, Blasenfunktion 169
Querschnittslähmung, Pharmakotherapie 169
Querschnittslähmung, Sexualfunktion 169
Quetschwunde 1162
Q-Winkel 590

R

Rabies 856
Radialislappen, Handverletzung 453
Radialisparese 298
Radialisparesen, posttraumatische 307
Radialistest 1026
Radiokarpalgelenk 306
Radiologie, interventionelle (Gefäßverletzung) 834
Radioskapholunäre Fusion (RSL-Fusion) 369
Radioulnargelenk, distales (DRUG) 306
Radiusbasis, dorsaler Zugang 1112
Radiusbasis, volarer Zugang 1111
Radius, dorsaler Zugang 1112
Radiusfraktur, distale 356
Radiusfraktur, distale, Algodystrophie 371
Radiusfraktur, distale, Begleitverletzungen 368
Radiusfraktur, distale, dorsale Gipsschiene 359
Radiusfraktur, distale, Dreipunkteabstützung 359
Radiusfraktur, distale, Ellenvorschub 371
Radiusfraktur, distale, Fixateur externe 363
Radiusfraktur, distale, Implantatentfernung 368
Radiusfraktur, distale, Klassifikation 356
Radiusfraktur, distale, Korrektureingriffe 368
Radiusfraktur, distale, perkutane K-Drahtosteosynthese 360
Radiusfraktur, distale, perkutane Schraubenosteosynthese 366
Radiusfraktur, distale, Platten-Nagel-Hybrid 367
Radiusfraktur, distale, Plattenosteosynthese 364
Radiusfraktur, distale, Pseudarthrose 371
Radiusfraktur, distale, Reposition 358
Radiusfraktur, distale, Reposition nach Kapandji 362
Radiusfraktur, distale, Therapie 357
Radiusfraktur, Implantat 352
Radiusfraktur, proximale, Einteilung nach Bakalim 342
Radiusfraktur, proximale, ESIN 345
Radiusfraktur, proximale, Prothese 345
Radiusfraktur, proximale, Schrauben 344
Radiusfraktur, Therapie 342
Radiushalsfraktur 342
Radiushalsfraktur im Kindesalter 796
Radiuskopfluxation (Sonografie) 1058
Radiuskopffraktur 342
Radiuskopfresektion 344
Radiuskorrekturosteotomie 369
Radiusschaftfraktur 350
Radius, Standardzugänge 1110
Radius, volarer Zugang 1110
Rahmenstützkorsett 166
Raumforderung, intrakranielle 15
Reanimation 904
Rebound-Kompartment-Syndrom 946
Redon-Drainage, alleinige 1151
Regionalanästhesie 1144
Reikeras-Osteotomie 757
Rekombinantes humanes aktiviertes Protein C (rhAPC) 920
Rektum 100, 136
Rektumsegmentresektion 136
Rektumverletzung 136
Rektumverletzung, Diagnostik 136
Rektumverletzung, Therapie 136
Rektushernie, Beckenverletzung 489
Rekurvation 958
Relocation-Test nach Jobe 1022
Renorrhaphie 141
Rente 1181
Rente bei Kindergartenkindern 1182
Rente bei Schülern 1182
Rente bei Studierenden 1182
Rentenalter 1183
Rentenberechnung 1182
Rentengutachten, erstes 1197
Rentengutachten, zweites 1198
Rentensätze 1212
Rententabellen 1201
Rentenversicherung, gesetzliche 1183
Reposition 890
Reposition, Beckenring 480
Repositionshilfen, Acetabulumfraktur 493
Repositionszange 482
Resektion 876
Resektionsarthroplastik (Hallux valgus) 761
Reservestreckapparat 590
Resistenzentwicklung 865
Resternotomie 75
Retinakulumnaht, arthroskopische (Patella) 625
Retraktorsystem 213
Retroperitoneum 100
retrotilt 514
Reversed cross finger flap (RCFF) 450
Reversed-relocation-Test 1023
Revision, transantrale 41
Rheumatoide Arthritis 290
Rhinobasale Fraktur 22
Rhinobasis 4
Rhinobasis, Defektdeckung 27
Rhinobasis, Duraplastik 27
Rhinobasisfraktur, Komplikationen 28
Rhinobasisfraktur, operative Versorgung 25
Rhinobasis, Zugangswege 25
Rhinoliquorrhoe 5, 23
Ringbänder 389
Rippenfraktur 77
Rippenserienfraktur 78
Rittlingsverletzung 147
Rockwood-Klassifikation 250, 251
Rohrprothese, Aorta 841
Rolando-Fraktur 417
roof arc 491
Rotationsinstabilität 181
Rotationsinstabilität, Becken 475
Rotationsinstabilitäten, Kniegelenk 1039
Rotationslappen, Hand 445
Rotationssubluxation 181
Rotatorenmanschette 235
Rotatorenmanschettenruptur 236, 262, 1050
Rotatorenmanschettenruptur, arthroskopische Refixation 267
Rotatorenmanschettenruptur, arthroskopische subakromiale Dekompression 264
Rotatorenmanschettenruptur, Klassifikation 263
Rotatorenmanschettenruptur, Therapie 263
Rückenlagerung 1084
Rückenmark 159
Rückenmarksdekompression 205, 213
Rückenmarksegment 160
Rucksackverband 241, 244, 249
Rückstichnaht nach Allgöwer 1147
Rückstichnaht nach Donati 1147
Ruhigstellung 868
Rumpfvorbeugetest 1016
Ruptur der distalen Bizepssehne (Sonografie) 1058
Ruptur der langen Bizepssehne 279, 1053
Ruptur, infradiaphragmale 148
Ruptur, supradiaphragmale 147
Russe 1 (Spongiosaplastik) 396

S

Säbelhiebschnitt 1101
Sachverständige, Auswahl 1198
Sachverständiger 1176
Sakralstäbe 487
Sakroiliakalgelenk 472
Sakroplastie 227
Sakrumfrakturen 484
Sanders-Platte 718
Säulenmodell nach Denis 158
Säulenmodell nach Withesides 158
Scarf-Osteotomie 759, 760
Schädelbasis 4
Schädelbasisfraktur 22
Schädelbasisfraktur im Kindesalter 782
Schädelbogen der Berufsgenossenschaften 14
Schädeldachfraktur 21
Schädeldachplastik 22
Schädelfraktur im Kindesalter 781

Schädel-Hirn-Trauma, Aufwachversuch 14
Schädel-Hirn-Trauma, Basis-Monitoring 10
Schädel-Hirn-Trauma, Beatmung 8
Schädel-Hirn-Trauma, gedecktes 5
Schädel-Hirn-Trauma, Intubation 8
Schädel-Hirn-Trauma, Klassifikation 5
Schädel-Hirn-Trauma, klinische Akutversorgung 9
Schädel-Hirn-Trauma, Leitsymptome 4
Schädel-Hirn-Trauma, Notfalloperationen 11
Schädel-Hirn-Trauma, offenes 5
Schädel-Hirn-Trauma, therapeutische Prinzipien 13
Schädelimpressionsfraktur 6
Schädelimpressionsfraktur, geschlossene 21
Schädelimpressionsfraktur, offene 22
Schädelkalotte 4
Schädelprellung 13
Schaftfraktur 551
Schambeinast 482
Schanz-Halskrawatte 164
Schanz-Schraube, Becken 483
Schaufeltrage 162
Schaukelpferdphänomen 289
Scheibenwischerosteotomie 973
Schenkelhalsachse 959
Schenkelhalsfraktur 520
Schenkelhalsfraktur, Diagnostik 520
Schenkelhalsfraktur, Klassifikation 520
Schenkelhalsfraktur, Komplikationen 526
Schenkelhalsfraktur, Nachbehandlung 526
Schenkelhalsfraktur, operatives Vorgehen 523, 524
Schenkelhalsfraktur, sonografischer Frakturnachweis 1061
Schenkelhalsfraktur, Therapie 521
Schenkelhalsfraktur, Winkelplatte 527
Schiebeknoten 1160
Schienbeinkopffraktur 651
Schlittenprothese 645
Schlüssellochplastik 279
Schmerzhafter Bogen (painful arc) 235, 236, 1019
Schmerzsyndrom, patellofemorales 622
Schnappfinger 440
Schnapptest 1022
Schnellender Finger 440
Schnittverletzung, Gesicht 55
Schnittverletzung, Hals 57
Schnittwunde 1162
Schnürsenkelnahttechnik nach Bunnell 430
Schober-Zeichen 1016
Schockformen 898
Schock, hämorrhagischer 898
Schockraum 9, 895
Schockraum-Algorithmen 897
Schock, spinaler 168
Schocksyndrom 910
Schrägaufnahmen des Beckens 476
Schraubenfehllage, intraoperatives Erkennen 495
Schraubenlockerung, Becken 489
Schrauben(osteosynthese) 1167
Schreckenstriade 325
Schublade, hintere fixierte 610, 612
Schubladentest des Sprunggelenks 1043
Schulter, anteroposteriore Aufnahme 237
Schulterarthrodese 295
Schulterarthrodese nach Laumann-Kuhn 381
Schulterarthroskopie 264
Schulter, axiale Aufnahme 237
Schulter, dorsaler Zugang 1105
Schultereckgelenksprengungen, veraltete 255
Schultergelenk, Anatomie 234
Schultergelenk, Distorsion 271
Schultergelenk, Kapsel-Band-Läsionen 262
Schultergelenk, Reposition der dorsalen Luxation 273
Schultergelenk, Standardzugänge 1103
Schultergriff nach Codman 236
Schultergürtel, Standardzugänge 1101
Schultergürtelverletzungen, Leitsymptome 235
Schultergürtelverletzungen, Röntgendiagnostik 236
Schulterimmobilizer 249
Schulterinstabilität 270, 274, 1053
Schulter, lateraler Zugang 1106
Schulterluxation 270, 271
Schulterluxation, Diagnostik 271
Schulterluxation, hintere 236
Schulterluxation, Klassifikation 271
Schulterluxation, Reposition nach Arlt 272
Schulterluxation, Reposition nach Hippokrates 273
Schulterluxation, Therapie 271
Schulterluxation, vordere 236
Schulter, Plexusläsionen 295
Schulter, Standardzugänge 1101
Schulter, transdeltoidaler Zugang 1104
Schulter, ventraler Zugang 1103
Schürfwunde 1162
Schussverletzung 828
Schussverletzung, Hals 57
Schusswunde 1162
Schutzimpfungen 855
Schwenk- oder Verschiebelappen, Hand 445
Schwindel 31
Scuderi-Nahttechnik 620
Segond-Fragment 615
Sehnendegeneration 1164
Sehnennaht 1153
Sehnennaht, flächige 1154
Sehnenscheideninfektion, Hand 464
Seitenbandkomplex, radialer (LCL) 305
Seitenbandkomplex, ulnarer (MUCL) 305
Seitenbandverletzung, Diagnostik 615
Seitenbandverletzung, Therapie 616
Seitenlagerung 1084
Selbstkatheterismus 152
Semitendinosustransplantat 255
Sepsis 910
Sepsis, hypodyname 911
Septumabszess 38
Septumhämatom 38
Sequential Organ Failure Assessment Score (SOFA) 920
Sequenztherapie 865
Serom, Beckenverletzung 501
Serombehandlung 867
Sextant 212
Shear-Test nach Kleinman 1026
Siebbeindachdefekt 27
Siebbeinfraktur 42
Simplified Acute Physiology Score(SAPS II) 920
Skaphoidfraktur 390
Skaphoidfraktur, Diagnostik 390
Skaphoidfraktur, Klassifikation 391
Skaphoidfraktur, Klinik 391
Skaphoidfraktur, Therapie 391
Skaphoid, gefäßgestielter Knochenspan 396
Skaphoid, palmarer Zugang 1115
Skaphoidpseudarthrose 394
Skaphoidpseudarthrose, Operationsverfahren 395
Skaphoidpseudarthrose, operative Therapie 395
Skaphoidpseudarthrose, palliative Eingriffe 396
Skaphoid-shift-Test nach Watson 1025
Skapulafrakturen 257
Skapulafrakturen, Fortsatzfrakturen 257
Skapulafrakturen, Gelenkfrakturen 258
Skapulafrakturen, Klassifikation 257
Skapulafrakturen, Kollumfrakturen 258
Skapulafrakturen, Korpusfrakturen 257
Skapulafrakturen, Therapie 257
Skapulaverletzungen 257
Skapula-Y-Aufnahme 237
Skoliose, Beurteilung 961
Skrotum 149
Skrotumverletzung 149
SLAC-Wrist-Stadieneinteilung 404
SLAP-Läsion 280
SNAC-Wrist 394
Snowboarders ankle 710
Softcast 308
Sonoelastografie 1081
Sonografie, Abszesse 1074
Sonografie, Achillessehne 1072
Sonografie, Bänder 1074
Sonografie, Fremdkörper 1074
Sonografie, Gewebeneubildungen 1076
Sonografie, Knochenneubildung, Frakturheilung 1077
Sonografie, Sehnen 1071
Sozialgerichtsgutachten 1200
Spaghetti-Wrist-Verletzung 430
Spalthaut 1151
Spalthautentnahmestelle, Versorgung 1151
Spaltlinien der Haut 1085
Späne, kortikospongiöse 1124
Spannungspneumothorax 83
Spätepilepsie 20

Spätfolgen nach schweren Beckenfrakturen 489
Spätinfekt 878
Spätmeningitis 61
Speisewege, obere (Verletzung) 59
Sphinkterzerreißung 136
Spinalkanal 159
Spiral-CT-Diagnostik, Becken 475
Splenektomie 119
Spondylitis 223, 880
Spondylodese 175
Spondylodese, ventrale interkorporelle 193
Spondylodiszitis 223, 880
Spondylodiszitis, Therapiestrategie bei Operationsbedürftigkeit 224
Spongiosachips 1123
Spongiosaplastik nach DHS-Entfernung 547
Spontanatmungsverfahren, unterstützendes 917
Sprengung des Schultereckgelenks 250
Sprunggelenk, Anatomie 692
Sprunggelenk, Eversion 692
Sprunggelenk, Frakturen 699
Sprunggelenk-Instabilitätstest, lateraler 1043
Sprunggelenk, Inversion 692
Sprunggelenk, lateraler Zugang 1134
Sprunggelenk, medialer Zugang 1135
Sprunggelenk, oberes 693
Sprunggelenk, oberes, akute Instabilität 734
Sprunggelenk, oberes, anterolaterale Rotationsinstabilität (ALRI) 733
Sprunggelenk, oberes, Bandruptur, fibulare 733
Sprunggelenk, oberes, chronische laterale Instabilität, Therapie 736
Sprunggelenk, oberes, Endoprothese 748
Sprunggelenk, oberes, Klassifikation der Instabilitäten 734
Sprunggelenk, oberes, laterale Instabilität, Therapie 734
Sprunggelenk, oberes, mediale Instabilität 738
Sprunggelenk, oberes, posttraumatische Fehlstellungen 746
Sprunggelenk, oberes, Second-stage-Verletzung 734
Sprunggelenk, Standardzugänge 1134
Sprunggelenk, unteres 693, 694
Spülung 868
Stabilisierung der Vitalfunktionen 887
Stabilisierung, posterolaterale (Kreuzbandruptur) 612
Stabilität 867
Stabilität, ligamentäre (Unterschenkel) 987
Stabilitätsprüfung, Beckenring 475
Stack-Schiene 435
Stammhirnkompression 15
Standardhygiene 860, 866
Standardröntgendiagnostik bei Acetabulumfrakturen 489
Staphylococcus aureus 861
Starter-Test 1021
Stauchungsfrakturen, subperiostale 774
Stauchungsfraktur, subperiostale im Kindesalter 800
Steal-Effekt 835
Steinmann-II-Zeichen 1035
Steinmann-I-Zeichen 1035
Stener-Läsion 425
Stent, aortomonoiliakaler 842
Step-off-Test 608
Sternoklavikulargelenk 235
Sternoklavikulargelenkluxation 248
Sternoklavikulargelenkluxation, Rekonstruktion des Kapsel-Band-Apparats 249
Sternoklavikulargelenkluxation, Therapie 248, 249
Sternoklavikulargelenk, Resektionsarthroplastik 249
Sternoklavikulargelenk, Standardzugänge 1101
Sternoklavikulargelenkverletzungen, Klassifikation 248
Sternotomie 75
Sternotomie, Wundverschluss 76
Sternotomie, Zugang 1086
Sternumfraktur 78
Stewart-Hamilton-Methode 914
Stichwunde 1162
Stiffneck 162
STIKO 856
Stirnhöhlenfraktur 27
Stirnhöhlenhinterwanddefekt 27
Stirnhöhlenvorderwandfraktur 23
Stoßwellentherapie, extrakorporale 951
Straddle-Trauma 147
Strafprozessordnung 1198
Strandstuhllagerung 1085
Streckapparat, Knie 590
Strecksehnenapparat 388
Strecksehnen der Hand, Zoneneinteilung nach Pechlaner 435
Strecksehnenfächer 388
Strecksehnennaht 1154
Strecksehnennaht, Nachbehandlung 438
Strecksehnenruptur an der Hand, Klinik und Diagnostik 435
Strecksehnenruptur an der Hand, konservative Therapie 435
Strecksehnenruptur an der Hand, operative Therapie 435
Strecksehnenruptur, Hand 434
Strecksynergismen 14, 16
Streifen-Flicken-Plastik 830
Strieda-Pelligrini-Zeichen 615
Stufenosteotomie 1122
Stumpfbildung, Hand 459
Stumpfkappenplastik nach E. Marquardt 381
Stützrente, kleine Rente 1182
Subakromiales Nebengelenk 235
Subarachnoidalblutung, spontane aneurysmatische 19
Subarachnoidalblutung, traumatische 5, 19
Subkapitale Amputation 381
Subkutannaht 1151, 1166
Subkutisnaht 1152
Substanzen, vasoaktive 914
Substanzen, vasokonstriktorische 914
Subtalare Luxation, Therapie 740
Subtalargelenk 692, 694
Subtalar-Gelenk, anterolaterale Rotationsinstabilität (ALRI) 738
Subtalar-Gelenk, Instabilität 738
Subtalar-Gelenk, Instabilität, Therapie 740
Subtalargelenk, Stabilitätstest 1043
Subtrochantere Frakturen, Therapie 551
Sulcus-intertubercularis-Aufnahme 238
Supination 958
Supinations-Adduktions-Fraktur 699
Supinations-Eversions-Fraktur 700
Supinatorkompressionstest 1025
Supraspinatustest nach Jobe 1020
Surveillance postoperativer Wundinfektionen 862
Sustentakulumfraktur 719
Syme-Stumpf 681
Syme-Stumpf, modifizierter 682
Syme-Stumpf, umgekehrter 682
Symphyse 473
Symphysenruptur 478
Symphysenspalt 482
Symphyse, Pfannenstielschnitt 1117
Synchondrose, subdentale 184
Syndesmose 700
Syndesmose, distale tibiofibulare 731
Syndesmoseninstabilität 701
Syndesmosenkompressionstest, Squeeze-Test 1044
Syndesmosenläsionen, Klassifikation 732
Syndesmosenläsion, Therapie 732
Syndesmosenstabilität 731, 732
Syndesmosentest nach Frick 1044
Syndrom, apallisches 15
Syndrom, postkommotionelles 21
Systemic inflammatory response syndrome(SIRS) 910

T

Talokalkaneonavikulargelenk 692, 694
Talonavikulararthrodese 754
Talonavikulargelenk 692, 694
Talus 692, 693
Talusdom 693
Talusfehlverheilung, Klassifikation 750
Talusfehlverheilung, Therapie 751
Talus, flake fractures 713
Talusfraktur 709
Talusfraktur, Hawkins-Klassifikation 711
Talusfraktur, Klassifikation 711
Talusfraktur, Komplikation 713
Talusfraktur, Marti u. Weber-Klassifikation 711
Talusfraktur, offene 713

Talusfraktur, periphere 713
Talusfraktur, Therapie 711
Talushalsfrakturen 709
Talushalsfraktur, Therapie 711
Talushals, Varusfehlstellung 749
Taluskippung 734, 753
Taluskopffrakturen 709
Taluskorpusfrakturen 709
Taluskorpusfraktur, Therapie 711
Talus, Korrekturarthrodese 751
Talusluxationsfraktur 713
Talus, Nekrose 751
Talus, osteochondrale Läsionen 713
Talus, posttraumatische Fehlstellung 749
Taluspseudarthrose 751
Talusvorschub 734
Tamponade 122
Tamponade, intrapelvinale 479
Tamponade (Leberparenchymdefekt) 124
Tangentenzeichen nach Zanetti 263
Tanzende Patella 1034
Taylor-Patch 830
Tear drop-Zeichen 191
Techniken, minimal-invasive am Becken 480
Teilarthrodese nach Watson, mediokarpale 397
TELOS-Halteapparat 732
Tendinosis calcarea 269
Tendinosis calcarea, Technik des needling 270
Tendinosis calcarea, Therapie 270
Tendosynovitis der Bizepssehne 1053
Tendovaginitis crepitans 440
Tendovaginitis, Hand 439
Tendovaginitis (Sonografie) 1071
Tendovaginitis stenosans de Quervain 439
Tenodese, Beugesehnen der Hand 434
Tenodeseneffekt 170
Tenolyse, Beugesehnen der Hand 432
terrible-triad-injury 322
Tetanus 855
Tetanus-Immunglobulin (HTIG) 856
Tetraplegie 169
TFCC-Läsion 376
TFCC-Läsion, Einteilung nach Palmer 376
Thenaratrophie 409
Therapie, frühfunktionelle konservative bei Acetabulumfraktur 492
Therapie, konservative bei Beckenverletzung 480
Therapie, operative bei Beckenverletzung 481
Therapieversagen 865
Thessaly-Test 1036
Thomas-Handgriff 1032
Thompson-Test 1042
Thomson-Test 1024
Thomson-Zeichen 1017
thoracic-outlet-syndrome 297
Thoracic-outlet-Test nach Eden 1018
Thoracic-outlet-Test nach Roos 1018
Thorakale Erweiterungen 1090
Thorakolumbophrenotomie T12/L3 1098
Thorakoskapulargelenk 235
Thorakoskopie 75
Thorakotomie, anterolaterale 73
Thorakotomie, bilaterale 76
Thorakotomiehöhe 74, 1089
Thorakotomie, Lagerung 71
Thorakotomie, laterale 73
Thorakotomie, posterolaterale 73
Thorakotomie, Wundverschluss 74
Thorakotomie, Zugangswege 72
Thorax, Anatomie 68
Thoraxdrainage 72, 83, 889
Thoraxoperationen, Anästhesie 71
Thoraxprellung 77
Thorax, Schussverletzung 81
Thorax, Stichverletzung 79
Thoraxverletzung, Diagnostik 69
Thoraxverletzungen, Leitsymptome 68
Thoraxverletzungen, offene 79
Thoraxwandverletzung 77
THORP-System 47
Thrombosen, Beckenverletzung 501
Thrombosierung 829
Thrombozytopenie, heparininduzierte (HIT) 935
Tibia 591
Tibiaachse 959
Tibia, A-Fraktur 651
Tibia, B-Fraktur 656
Tibia, C-Fraktur 658
Tibiafraktur, distale 678
Tibiafraktur, distale, Klassifikation 678
Tibiafraktur, distale, Komplikationen 680
Tibiafraktur, distale, Nachbehandlung 679
Tibiafraktur, distale, Therapie 678
Tibiafraktur, Komplikationen 661
Tibiafraktur, metaphysäre im Kindesalter 814
Tibiafraktur, primäre Endoprothetik 660
Tibiakopffraktur 651
Tibiakopffraktur, Diagnostik 651
Tibiakopffraktur, Klassifikation 651
Tibiakopffraktur, Therapie 651
Tibiakopf, lateraler (und medialer) Zugang 1133
Tibiakopfosteotomie, lateral zuklappende 988
Tibiakopfosteotomie, medial aufklappende 988
Tibiakopfosteotomie, valgisierende, öffnende 639
Tibialer Ausriss, Refixation 605
tibial slope 641
tibial tuberosity/trochlea groove displacement 621
Tibianagel, aufgebohrter 667
Tibianagel, retrograder 656, 668
Tibianagel, unaufgebohrter 664
Tibia, streckseitiger Zugang 1133
Tibiawinkel, medialer proximaler (MPTW) 959
Tibiotalargelenk 692, 711
Tiefe, laterale Thorakotomie von links T10/L2 1098
Tierbissverletzung (Gesicht) 56
Tilt-Test 621
Tinnitus 31
TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) 210
toddler fracture 774
Tollwutimpfung 857
Tollwutverdacht 857
Torsionen, obere Extremitäten 1001
Torsionsdifferenzen 962
Torsionsdifferenzen am Oberarm 1003
Torsionsdifferenzen, obere Extremitäten 1005
Torsionstoleranz 960
Torsionswinkeldifferenz 960
Tossy-Klassifikation 251
Totalprothese, Schenkelhalsfraktur 529
Trachealruptur 88
Trachealstenose 198
Tracheotomie 64
Tragachse 968
Traktionsbehandlung nach Perkins 552
Tränenwege, Verletzung 55
Tränenwegsschienung 55
Tränenwegstenose 61
Tränenwegverletzung 61
Transacetabuläre Region 477
Transartikuläre Verschraubung nach Magerl 182
Transiliosakrale Region 477
Translation 958
Translation, obligate 290
Translationsinstabilität, Becken 475
Transolekranonluxation 322
Transoraler Zugang zu Atlas und Axis 1091
Transperitonealer Zugang L4/S1 1100
Transplantation, Beugesehnenverletzung der Hand 433
Transposition der distalen Bizepssehne 327
Transpubische Region 477
Transsakrale Region 477
Transskaphoidale perilunäre Luxationsfraktur De Quervain 402
Transsymphysäre Region 477
Transthorakaler Zugang von rechts T4/T10 1096
Transversaltechnik, Punktion 1078
Trapeziumfraktur 398
Trapezoidfraktur 399
Traumanetzwerke 886
Traumazentrum 892
Treitz-Band 100
Trendelenburg-Zeichen 1032
Trepanation, große 17
Tribologie 535
Triflo-Atemtrainer 936
Triggerfinger 440
Triple-Arthrodese 755
Triquetrumfraktur 400
Trizepssehnenruptur 341
Trochanterabstützplatte 542
Trochantere Bursitiden 538
Trochanter Flip nach Mercati 1121

Trochanter Flip Osteotomie 493
Trochanterfraktur 538
Trochanterfraktur, dynamische Hüftschraube 539
Trochanterfraktur, Endoprothese 544
Trochanterfrakturen, Klassifikation 539
Trochanterfrakturen, proximaler Femurnagel mit Hüftkomponente 542
Trochanterfraktur, Implantatentfernung 546
Trochanterfraktur, Komplikationen 546
Trochanterfraktur, Therapie 539
Trochanterfraktur, Verbundosteosynthese 546
Trochanteric gamma nail (TGN) 547
Trochanterosteotomie, digastrische 1121
Trochanterosteotomie, trigastrische 1121
Trochlea tali 693
Trommelfellzerreißung 30
Truncus brachiocephalicus, Diagnostik 837
Truncus brachiocephalicus, Therapie 837
Truncus brachiocephalicus-Verletzung 837
Truncus coeliacus 845
Tuberculum Listeri 306
Tuberculum-majus-Abriss 282
Tuberculum-minus-Abriss 282
Tuber-Gelenk-Winkel 1139
Tuberositas tibiae, Umsetzungsosteotomie 626
Tubiana u. Hueston, Klassifikation 441
Tübinger Nachbehandlungskonzept 171, 199
Twin-taping-Verband 427
Tympanotomie 31
Typ A-Verletzung, Becken 478
Typ B-Verletzung, Becken 479
Typ C-Verletzung, Becken 479
Typ-I-Kollagen 854
Typ-III-Kollagen 854

U

Ulna, dorsaler Zugang 1114
Ulnafraktur, intramedulläre Nagelung 367
Ulnakopf-Hemiresektionsinterpositions-arthroplastik nach Bowers 369
Ulnakopfprothese 369
Ulnaminusvariante 306
Ulnaplusvariante 306
Ulnarisparese 297
Ulnaristests 1027
Ulnaschaftfraktur 350
Ulna, Standardzugänge 1114
Ulnaverkürzungsosteotomie 369
Umkehrplastik nach Snow 436
Umsetzungsosteotomie nach Maquet 626
Umstellungsosteotomie (Knie/Unterschenkel) 639
U-Naht, zentrale (Defektverkleinerung) 1150
Unfall 1184
Unfall aus innerer Ursache 1180
Unfall, Definition 1176
Unfallfolgen im Bereich der Beine 1205, 1206
Unfallfolgen im Bereich der peripheren Nerven 1207
Unfallfolgen im Bereich der Wirbelsäule 1206
Unfallfolgen im Bereich des Arms 1203
Unfallfolgen im Bereich des Bauchs 1203
Unfallfolgen im Bereich des Kopfs 1202
Unfallfolgen im Urogenitalbereich 1204
Unfallfolgen, mittelbare 1181
Unfallfolgen nach Schädel-Hirn-Traumen 1207
Unfallversicherung, gesetzliche 1176
Unfallversicherung, private 1183
Uni-Lock-System 47
Universal-Spine-System 208
Unterarmblock 1144
Unterarmdrehquengelschiene 373
Unterarmfraktur, Brückenkallus 356
Unterarmfraktur, distale im Kindesalter 800
Unterarmfraktur, Klassifikation 350
Unterarmfraktur, offene 355
Unterarmfraktur, Therapie 351
Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter 797
Unterarmschaftfraktur im Kindesalter, Gipskeilung 798
Unterarm, Weichteilläsionen 373
Unterbrechung der haftungsbegründenden Kausalität 1181
Untere Schublade, Sulkus-Zeichen 1024
Unterkiefer 4
Unterkieferaufbissaufnahme 46
Unterkieferfraktur 44
Unterkieferfraktur im Wachstumsalter 53
Unterkieferfraktur, Klassifikation 45
Unterkieferfraktur, Leitsymptome 45
Unterkieferfraktur, operativer Zugang 46
Unterkieferfraktur, Osteosynthesesysteme 46
Unterkiefermehrfragmentfraktur 50
Unterkiefer-Status-X-Aufnahme 46
Unterschenkel, Anatomie 591
Unterschenkelfraktur, distale im Kindesalter 818
Unterschenkelfraktur im Kindesalter 814
Unterschenkelfraktur, offene 674
Unterschenkellängendifferenzen 962
Unterschenkelmuskulatur 591
Unterschenkelschaftfraktur 661
Unterschenkelschaftfraktur im Kindesalter 815
Unterschenkelschaftfraktur, Therapie 662
Unterschenkel, Standardzugänge 1131
Unterschenkelstumpf, kurzer 683
Unterschenkelstumpf, langer 682
Unterschenkelstumpf, mittellanger 682
Unterschenkeltorsion 963
Untersuchungstests, klinische 1015
Urethra 101
Urethraruptur 900
Urethraverletzung 146, 475
Urethrografie, retrograde 476
Urethrogramm 477
Urethrozystogramm, retrogrades 146
Urinom 144
Urogenitale Verletzungen 137
Urogenitalorgane 137

V

Vakuummatratze 162, 479
Vakuumversiegelung 868, 938
Valgisation, kniegelenknahe 971
Valgisationsosteotomie 978
Valgusabweichung 958
Varisierung, intertrochantäre 979
Varusabweichung 958
Varus- und Valgusstresstest 1025
Varus- und Valgusstresstest, Kniegelenk 1037
V. cava, Therapie 843
V. cava-Verletzung 843
Velpeau-Aufnahme 237
Velpeau-Verband 786
Venenbypass 830
Veneninterponat 830
Veneninterponat, A. carotis 834
Ventraler Zugang C1T2 1091
Ventrikeldrainage, externe 12
Ventrikelverletzung 91
Veränderungen, hämatologische, nach Milztrauma 119
Veränderungen, immunologische, nach Milztrauma 119
Verbrauchskoagulopathie 911
Verbrennung 854, 1163
Verbrennungen 891
Verbrennungszentrum 891
Verbundosteosynthese 1170
Verbundosteosynthese, Tibia 669
Verdachtsdiagnose Polytrauma 886
Verhalten nach septischen Operationen 871
Verkalkungen, ektopische 501
Verkalkungen, intramuskuläre 1052
Verkalkungen, Prophylaxe mit Indometacin 501
Verkürzung 876, 958
Verlängerung 958
Verletzung bei Vergewaltigungen 150
Verletzung der Bauchwand, penetrierende 112
Verletzung der Bauchwand, stumpfe 111
Verletzung der großen Luftwege 84
Verletzungen, abdominelle (Epidemiologie) 101
Verletzungen, anorektale (Therapie) 137
Verletzungen der Klavikula 239
Verletzungen der Urogenitalorgane 137
Verletzungen des äußeren Genitale 149
Verletzungen des weiblichen Genitale 150
Verletzungen im Unterbauchbereich 113
Verletzung, infizierte 869
Verletzung, skapholunäre (Verfahrenswahl) 405

Verletzungsmuster
Bauchverletzungen 101
Verletzungsregionen, Becken 477
Verletzungstypen der A. carotis nach Mulloy 831
Verletzung, transacetabuläre 478
Verletzung, transpubische 478
Verluste im Bereich der Arme 1208
Verluste im Bereich der Füße 1211
Verluste im Bereich der Hände 1208
Verriegelung, Tibianagel 665
Verriegelung von Marknägeln 1172
Verschiebung, translatorische 180
Verschlimmerung 1181
Verschraubung C2 189
Versicherungsarten 1176
Versorgung von Querfrakturen und kombinierten Frakturtypen 497
Vertebroplastie 227
Vertebroplastie, transorale 222
Vesselloop-Gummiband 946
V-förmige Spaltung der Trizepssehne 1110
Vicrylnetz-wrapping 125
Viererzeichen 1033
Virchow-Trias 931
VISI-Fehlstellung 403
Viszeralarterien, Diagnostik 845
Viszeralarterien, Therapie 845
Viszeralarterien, Verletzung 845
Vitalfunktionen 7
Vitalfunktionen, Stabilisierung 11
Vitalparameter 886
Volkmann-Fragment 703
Vollhaut 1151
Vollhauttransplantat, Hand 444
Volumenersatzmittel 914
Volumentherapie 887, 914
Volumentherapie, »aggressive« 828
Volumen- und Vasopressorentherapie 914
Vordere Pfeiler 473
Vorderer und hinterer Schubladentest, Kniegelenk 1038
Vordere Schublade nach Gerber-Ganz 1023
Vordere und hintere Schublade 1024
Vorgehen, transfrontales, intradurales 27
Vorhofverletzung 91
Vorlaufphänomen im Liegen 1030
Vorlaufphänomen im Stehen 1030
Vorschaden 1181, 1184
Vorsorgevollmacht 906
V. saphena magna (Veneninterponat) 834
VY-Dehnungslappen, palmarer 446
VY-Plastik, Hand 446

W

Walch-Test 1021
Wartenberg-Syndrom 340, 1029
Watson-Jones-Tenodese 737
Weaver-Dunn-Versorgung 255
Weber-A-Fraktur 702
Weber-B-Fraktur 702
Weber-C-Fraktur 702
Wedge-Osteotomie, dorsale 215
Weibliches Genitale 150
Weichteilinfektion 868
Weichteilsonografie 1069
Weichteilverletzungen (Kopf-Hals-Region) 54
Weichteilverletzung, Hand 443
weight bearing dome 491
Werfer-Zeichen 1023
Winkelgetriebe, strahlendurchlässiges 1172
Winkelosteotomie nach E. Marquardt 381
Winterstein-Fraktur 417
Wirbelfrakturen im Kindesalter 782
Wirbelfraktur, thorakolumbale im Kindesalter 783
Wirbelkörperersatzimplantat 214
Wirbelsäule, Anatomie 158
Wirbelsäule, Distraktionsverletzungen 203
Wirbelsäule, Instabilität 159
Wirbelsäule, Kompressionsverletzungen 202
Wirbelsäulenmetastasen 220
Wirbelsäulenverletzung, Diagnostik 161
Wirbelsäulenverletzung, dorsale Instrumentierung 206
Wirbelsäulenverletzungen, instabile 902
Wirbelsäulenverletzungen, Leitsymptome 160
Wirbelsäulenverletzungen, Typ A 201
Wirbelsäulenverletzung, Halofixateur externe 165
Wirbelsäulenverletzung, Intubation 163
Wirbelsäulenverletzung, Klassifikation 202
Wirbelsäulenverletzung, Komplikationen 219
Wirbelsäulenverletzung, konservative Therapie 203
Wirbelsäulenverletzung, operative Therapie 204
Wirbelsäulenverletzung, Pedikeleintrittspunkte und -richtung 208
Wirbelsäulenverletzung, Physiotherapie 218
Wirbelsäulenverletzung, Typ B 201
Wirbelsäulenverletzung, Typ C 201
Wirbelsäule, Säulenmodelle 158
Wirbelsäule, Spaninterposition 214
Wirbelsäule, Standardzugänge 1091
Wrapping (Leberparenchymdefekt) 124
Wundbehandlung, offene 868
Wunddébridement 938
Wunddeckung 876
Wunde, chronische 854
Wunden, chemische 1162
Wunden, komplizierte 854
Wunden, kontaminierte 828
Wunden, offene 855
Wundheilung 854
Wundheilung, primäre 854
Wundheilung, sekundäre 854
Wundheilungsstörung 861, 937
Wundheilungsstörung, Antibiotika 938
Wundheilungsstörung, Beckenverletzung 489
Wundheilungsstörung, Prophylaxe 938
Wundheilungsstörung, Therapie 938
Wundinfektionen, postoperative 860
Wundtoilette 54
Wundverbände 862
Wundverschluss 1165
Wundverschluss, Muskulatur 1166
Wundverschluss, Periost 1165
Wundversorgung, Faszie 1163
Wundversorgung, Haut 1162
Wundversorgung, Kapsel und Bänder 1164
Wundversorgung, Sehnen 1164

Y

Yamshidi-Nadel 222
Yergason-Test 1022
Y-Platte nach Grob 176
Y-Prothese, Aorta 841

Z

Zahnfraktur, Formen der 51
Zahn im Bruchspalt 47
Zahnintrusion 54
Zahnluxation 51
Zahnrettungsbox 51
Zechner, Nahttechnik 430
Z-Effekt 547
Zehen, Anatomie 695
Zehen, Flexor-pro-Extensor Sehnentransfer 764
Zehenfraktur 730
Zehenfraktur im Kindesalter 822
Zehenfraktur, Klassifikation 730
Zehenfraktur, Komplikation 731
Zehenfraktur, Therapie 730
Zehenluxationen, Therapie 743
Zehen, Posttraumatische Fehlstellungen 757
Zeigefingerstrahlresektion 460
Zentrierhilfe 665
Zentrum-Ecken-Winkel (VCE) 976
Zervikalstütze 9
Zervikalstütze, harte 164
Zervikalstütze, steife 164
Zervikalstütze, weiche 164
Zipfelnaht nach Davis 1150
Zipfelnaht nach Lejar 1150
Zivilprozessordnung 1198
Z-Lappenplastik, Hand 445
Zohlen-Zeichen 1034
Zonografie 34
Zugang, erweiterter, Acetabulumfraktur 493
Zugänge, zentrale 9

Zugang, frontoorbitaler (rhinochirurgisch) 26
Zugang, ilioinguinal 493
Zugang nach Gallie 1138
Zugang nach Raveh (subfrontal, subkranial, extradural) 26
Zugangsfenster, ilioinguinale 1118
Zugangswege, Acetabulumfraktur 493
Zugang, transfrontaler, extraduraler 26
Zugang, translabyrinthärer 31
Zugang, transnasaler (mikroskopisch oder endoskopisch) 26
Zugang zum Lisfranc-Gelenk 1140
Zugang zum Sustentaculum tali 1138
Zuggurtungsosteosynthese im Kindesalter 778
Zuggurtungsosteosynthese, Patella 629
Zugschraubenosteosynthese im Kindesalter 778
Zugschraubenosteosynthese, Patella 630
Zugschraubenosteosynthese, Unterkiefer 46
Zungenrisswunden 56
Zusatzgutachten 1192
Zweimüller-Prothesenstiel 549
Zwerchfell 68, 98
Zwerchfelldefekt, Verschluss 81
Zwerchfellnaht 82
Zwerchfellruptur 81
Zygomatico-temporo-mandibuläre Frakturen 44
Zyklopssyndrom 634
Zystografie 146
Zystogramm 477
Zytokine 910