

Müller-Mai
Ekkernkamp

Frakturen

Klassifikation und Behandlungsoptionen

Mit Farbleit-system

Springer

Christian M. Müller-Mai

Axel Ekkernkamp

Frakturen

Klassifikation und Behandlungsoptionen

Christian M. Müller-Mai
Axel Ekkernkamp

Frakturen

Klassifikation und Behandlungsoptionen

Springer

Priv.-Doz. Dr. med. C.M. Müller-Mai
Abteilung für Unfallchirurgie
Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer
Ruhr-Universität Bochum
In der Schornau 23–25
44892 Bochum

Prof. Dr. med. A. Ekkernkamp
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7
12683 Berlin

ISBN-13 978-3-540-72511-4 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 2010

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: Antje Lenzen und Kathrin Nühse, Heidelberg
Projektmanagement: Claudia Kiefer, Heidelberg
Lektorat: Michaela Mallwitz, Tairnbach
Umschlaggestaltung: deblik, Berlin
Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg
Druck und Bindung: Stürtz GmbH, Würzburg
SPIN: 12063864

Gedruckt auf säurefreiem Papier 18/5135 – 5 4 3 2 1 0

Geleitwort

»Wir leben in einer schnell sich ändernden Welt!«
Dies betrifft insbesondere auch die Erfahrungen und die vielfältigen Fortschritte in der Medizin, d. h. die sog. »Halbwertszeiten« unserer Kenntnisse über indikatorische und operationstechnische Maßnahmen und ihre Anwendung werden immer kürzer.

Das vorliegende Buch über »Frakturen – Klassifikation und Behandlungsoptionen« von C. Müller-Mai und A. Ekkernkamp beschreibt auf der Basis eines neuen, didaktischen Darstellungskonzeptes den aktuellen Stand der Frakturbehandlung auf der Grundlage der AO-Klassifikation und ermöglicht zugleich für den behandelnden sowie beratenden Arzt (Unfallchirurgen, Orthopäden u. Ä.) eine verständliche und schadensangepasste Aufklärung des Patienten mit fachgerechter, einschlägiger Therapie.

Sowohl die moderne und ansprechende Illustration einschließlich entsprechender Orientierungshilfen durch ein sog. Farbleitsystem für aktuelle Therapieoptionen, Begutachtungshinweise als auch einschlägige Literaturhinweise etc. untermauern den zeitgemäßen Kenntnisstand und deren korrekte Einordnung.

Das Buch enthält eine systematische Positionierung gesicherter Erkenntnisse und Techniken in Zusammenhang mit der Unfallentstehung und der Behandlung von Verletzungen am gesamten Stütz- und Bewegungsapparat. Der Inhalt unterstützt durch die besondere didaktische Darstellung und Klassifikation zugleich eine nützliche und schnelle sowie zeitgemäße Entscheidungsfindung mit Orientierung im Rahmen der Notfallversorgung und Behandlung.

Sowohl der weniger Erfahrene – als auch der Spezialist – werden diese innovativen Hinweise als nützliche Hilfe und Unterstützung begrüßen!

Prof. Dr. h.c. (mult.) S. Weller
Tübingen

Grußwort

Die Zahl von Handbüchern über Knochenbruchbehandlung ist unübersehbar. In der Regel werden nach identischen Schemata individuelle Erfahrungen als generelle Lösungsmuster vorgestellt. Warum also dieser langen Reihe ein neues Werk hinzufügen?

Beide Autoren sind erfolgreiche Unfallchirurgen, in langjähriger Tätigkeit praktisch versiert und akademisch verankert. Dies scheint der Grund zu sein, dass sie ein Buch mit einer Konzeption vorlegen, die sich von der Machart anderer Werke prinzipiell unterscheidet. Clou ist ein Leitsystem evidenzbasierter Therapieoptionen mit markanter Farbskala, ergänzt um farblich hervorgehobene diagnostische und therapeutische Entscheidungshilfen. Dies erleichtert und vereinfacht das Festlegen auf einen Behandlungsablauf, vor allem im Zeitalter von Leistungsverdichtung und reglementierter Arbeitszeit. Das gut lesbare, übersichtliche und ausreichend bebilderte Werk wird eine bemerkenswerte Hilfe für weiterzubildende Ärzte sein. Beiden Autoren ist zu ihrem Buch zu gratulieren und dem Werk selbst ein hoher Verbreitungsgrad zu wünschen.

Prof. Dr. Gert Muhr
Klinikum Bergmannsheil, Bochum

Vorwort

Klassifikationen spielen für die unfallchirurgische Behandlungsstrategie eine entscheidende Rolle. Sie dienen zur Einteilung und systematischen Erfassung der Morphologie und des Schweregrades von Frakturen. Eine praktikable Klassifikation nutzt der suffizienten Therapieplanung von Knochenbrüchen und ermöglicht eine prognostische Aussage. Klassifikationen sind daher im Rahmen der modernen Diagnostik und Frakturbehandlung essenziell.

Erste, auf der Morphologie basierende Beschreibungen wurden im 17. und 18. Jahrhundert anhand des Sektionsgutes vorgestellt. Sie wurden im Folgenden durch funktionell bedeutsame Einteilungen nach Aufkommen der Röntgendiagnostik ersetzt. Später kamen Klassifikationen hinzu, die den Mechanismus des Unfalls berücksichtigten. Diese waren insbesondere in Zeiten der konservativen Frakturbehandlung von Bedeutung. Bei der immens angestiegenen Zahl der Therapiemöglichkeiten ist heutzutage der operative Aspekt wesentliches Kriterium zur Erzielung eines bestmöglichen funktionellen Ergebnisses. Dazu müssen exakte Einteilungen zum Frakturverlauf und zur Dislokationsrichtung sowie zum Grad der Fragmentverschiebung verwendet werden, nicht zuletzt, da die Stabilität der Versorgung Bedeutung für das funktionelle Nachbehandlungsregime hat. Die Verletzung umgebender Weichteilstrukturen, einschließlich der Nerven und Gefäße, ist ebenso zu beachten. Angesichts der sehr großen Zahl zur Verfügung stehender Implantate sind daher detaillierte, auf das gesamte Skelett anwendbare systematische Klassifikationen erforderlich.

Aus diesen Gründen bietet dieses Buch ein neues didaktisches Konzept zur Vermittlung des aktuellen Standes der Frakturbehandlung. Es wird hier der Versuch der Frakturbehandlung auf der Grundlage der AO-Klassifikation, die die geforderten Voraussetzungen bisher am besten erfüllt, dargestellt. Das Buch schließt damit eine offensichtliche Lücke, trotz des bereits breiten Angebots an unfallchirurgischer Fachliteratur. Das Vorgehen schließt die Erweiterung der genannten Klassifikation für Fuß und Hand sowie für verschiedene kleine Knochen ein. Da die AO-Klassifikation bei einigen Anwendungen sehr komplex und klinisch zu aufwendig erscheint, werden bei bestimmten Frakturen auch andere Klassifikationen parallel demonstriert.

Wesentliche Zielsetzung ist es, im Rahmen eines kurzen und optisch übersichtlich gestalteten Buchs, das bei Bedarf auch zum genaueren Nachlesen benutzt werden kann, Standards in der Knochenbruchbehandlung zu vermitteln. Die Kapitel sind der AO-Klassifikation folgend aufgebaut. Die einheitliche Struktur der Kapitel zeigt die Gliederung Definition und Unfallmechanismus, welche wichtig für die Diagnosestellung sind, gefolgt von Klinik und Diagnostik. Praxisrelevante Punkte sind im Text hervorgehoben. In jedem Kapitel werden die AO-Klassifikation und auch verwandte Einteilungen schematisch erläutert, und die verschiedenen, farbcodierten Behandlungsmöglichkeiten werden anhand von Röntgenbildern dargestellt sowie im Text näher erklärt. Wesentlich für das kurze Nachschlagen ist das Farbschema, das sich an der AO-Klassifikation orientiert und dem Leser die Möglichkeit gibt, ohne weiteres Nachlesen konkurrierende Verfahren nachzuschlagen und das am besten geeignete Verfahren auszuwählen. Damit ist das vorliegende Buch als Nachschlagewerk, z. B. zur Implantatauswahl direkt vor Operationsbeginn verwendbar, kann jedoch bei Bedarf auch weitere Informationen liefern. In den folgenden Abschnitten der Kapitel sind Sonderformen sowie funktionelle Ergebnisse erörtert, die die einzelnen Therapieverfahren vergleichen. Abschließend sind noch Anhaltspunkte zur Begutachtung beschrieben sowie ausgewählte Literaturstellen angeführt. Hierbei wurden, um die Prägnanz der Darstellung zu wahren, eher Übersichtsarbeiten als Originalarbeiten zitiert.

Damit ist dieses Buch allen Ärztinnen und Ärzten aus dem Bereich der Unfallchirurgie und Orthopädie zugedacht, die im klinischen Alltag an der Frakturversorgung teilnehmen. Neben Assistenzärzten in der Weiterbildung ist es auch den Fachärzten und Oberärzten, die zu Entscheidungsträgern geworden sind, zu empfehlen. Hierbei können schnell und über-

sichtlich die Therapieoptionen durchgesehen werden. Das Buch kann darüber hinaus auch zur Prüfungsvorbereitung und zur Fortbildung interessierter Studierender im Bereich der Chirurgie, Unfallchirurgie und Orthopädie dienen.

Wir wünschen allen Lesern viel Freude bei der Anwendung dieses Buchs und sind dankbar für Anregungen, die verbessernd in zukünftige Auflagen einfließen können.

Christian Matheus Müller-Mai (Bochum)
und
Axel Ekkernkamp (Berlin und Greifswald)
im Sommer 2010

Danksagungen

Andreas Beyna
Herstellung von Graphiken

Hans-Peter Brickwede
Zusammenstellung der Diagnosecodes zur Auswahl der Röntgenbilder

Prof. Wilhelm Friedl, Aschaffenburg
Überlassung von Röntgenbildern

Dr. Georg Gradl, Oberarzt, Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universität Rostock
Überlassung von Röntgenbildern

Eberhard Rembs
Zusammenstellung der Diagnosecodes zur Auswahl der Röntgenbilder

Dorothea Scheurlen
Herstellung der Graphiken

Schreibbüro im ukb
Schreiben von Textanteilen

Juliane Vogelsang
Herstellung der Graphiken

Mitarbeiterverzeichnis

David, S., Dr. med.
Paul-Gerhardt-Stiftung, Evangelisches Krankenhaus,
Akademisches Lehrkrankenhaus der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Paul-Gerhardt-Straße 42-45, 06886 Lutherstadt Wittenberg

Dudda, M., Dr. med.
Berufsgenossenschaftliche Universitätsklinik Bergmannsheil GmbH, Chirurgische Universitäts- und Poliklinik
Bürkle de la Camp-Platz 1, 44789 Bochum

Ekkernkamp, A., Prof. Dr. med.
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin
und
Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abt. für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Ferdinand-Sauerbruch-Straße, 17475 Greifswald

Faschingbauer, M., Dr. med.
Abteilung Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,
BG Unfallkrankenhaus Hamburg-Boberg
Bergedorfer Strasse 10, 21033 Hamburg

Frank, M., Dr. med.
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin
und
Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abt. für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald,
Ferdinand-Sauerbruch-Straße, 17475 Greifswald

Grundentaler, R., Dr. med.
Abteilung für Hand-,Replantations- und Mikrochirurgie,
Unfallkrankenhaus Berlin,
Warener Str. 7, 12683 Berlin

Hennes, R., Dr. med.
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplanationschirurgie,
Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg

Heinrichs, G., Dr. med.
Sektion Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Hillbricht, S., Dr. med.
Klink für Chirurgie des Stütz- und Bewegungsapparates,
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Kaiser, Martin M., Dr. med.
Klinik für Kinderchirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Matthes, Gerrit, Priv.-Doz. Dr. med.
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin
und
Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Abt. für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Ferdinand-Sauerbruch-Straße, 17475 Greifswald

Metzner, M., Dr. med.
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin

Mielke, E., Dr. med
Institut für Diagnostische Radiologie, Interventionelle Radiologie, Neuroradiologie und Nuklearmedizin,
Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer,
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Müller-Mai, C.M., Priv.-Doz. Dr. med.
Abteilung für Unfallchirurgie, Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer, Ruhr-Universität Bochum
In der Schornau 23–25, 44892 Bochum

Naumburger, H., Dr. med.
Abt. Chirurgie, Achenbach-Krankenhaus Königs Wusterhausen
Köpenicker Str. 29, 15711 Königs Wusterhausen

Özokyay, L., Dr. med.
Berufsgenossenschaftliche Universitätsklinik Bergmannsheil GmbH, Chirurgische Universitäts- und Poliklinik
Bürkle de la Camp-Platz 1, 44789 Bochum

Paech, A., Priv.-Doz. Dr. med.
Sektion Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Schädel-Höpfner, M., Priv.-Doz. Dr. med.
Klinik für Unfall- und Handchirurgie, Universitätsklinikum Düsseldorf
Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf

Schulz, A.P., Dr. med.
Klinik für Chirurgie des Bewegungsapparates, BG Unfallkrankenhaus Hamburg, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Taheri, A.S., Dr. med.
Berufsgenossenschaftliche Universitätsklinik Bergmannsheil GmbH, Chirurgische Universitäts- und Poliklinik
Bürkle de la Camp-Platz 1, 44789 Bochum

Turan, O., Dr. med.
Abt. Chirurgie, Achenbach-Krankenhaus Königs Wusterhausen
Köpenickerstr. 29, 15711 Königs Wusterhausen

Wich, M., Prof. Dr. med.
Klink für Unfallchirurgie und Orthopädie, Unfallkrankenhaus Berlin
Warenerstr. 7, 12683 Berlin
Achenbach-Krankenhaus Königs Wusterhausen
Köpenickerstr. 29, 15711 Königs Wusterhausen

Windolf, J., Prof. Dr. med.
Universitätsklinikum Düsseldorf, Klinik für Unfall- und Handchirurgie
Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf

Über die Autoren



Priv.-Doz. Dr. med. Christian Matheus Müller-Mai
Leitender Oberarzt, Leiter Unfallchirurgische Forschung,
Chirurg, Unfallchirurg,
Arzt für Orthopädie und Unfallchirurgie und Spezielle Unfallchirurgie
Arzt für Physikalische Therapie
Abteilung für Unfallchirurgie, Chirurgische Universitätsklinik, Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer – Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum
Projektleiter Labor für Biomaterialforschung
Experimentelle Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Charité, Campus Benjamin Franklin
Universitätsmedizin Berlin

Der Autor arbeitet seit 1987 in verschiedenen unfallchirurgischen Universitätskliniken der Maximalversorgung, zunächst in Berlin im Klinikum Benjamin Franklin, wo Prof. Rahim Rahmanzadeh sein klinischer Lehrer war, und später im Unfallkrankenhaus Berlin der Berufsgenossenschaften als Leitender Arzt des Notfallzentrums, wo die Idee zu diesem Buch zusammen mit Herrn Prof. Ekkernkamp geboren wurde. Später war er Chefarzt der Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Heidelberg sowie Initiator des dortigen Traumanetzwerks. Er ist zzt. Leitender Oberarzt und Leiter der Unfallchirurgischen Forschung am Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer – Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum.

Neben verschiedenen wissenschaftlichen Forschungsschwerpunkten wie der Entwicklung und Testung von Knochenersatzmaterialien zur gerichteten Knochenregeneration und Langzeituntersuchungen zur Versorgung von Femurschaftfrakturen u. v. m. liegt ihm die Ausbildung junger Kollegen und Studenten besonders am Herzen. Die klinischen Schwerpunkte liegen neben der Schwerstverletztenversorgung u. a. auf der Versorgung komplexer, insbesondere gelenknaher Frakturen und der Behandlung von Knochendefekten. Die Ergebnisse der klinischen und wissenschaftlichen Arbeit wurden in einer vorangegangenen Buchpublikation, in über 40 Originalarbeiten in wissenschaftlichen Zeitschriften sowie in über 250 Kurzpublikationen und Vorträgen auf den Tagungen der entsprechenden Fachgesellschaften veröffentlicht.

Um die Entscheidungsfindung und die Ausbildung junger Kollegen in der Frakturversorgung zu verbessern, wurde für dieses Buch ein neues didaktisches Konzept zur Vermittlung des aktuellen Standes der Frakturbehandlung auf der Grundlage der AO-Klassifikation entwickelt. Eine stadiengerechte Therapie wird hier auch für den nicht sehr Erfahrenen ohne langes Lesen möglich.



Prof. Dr. med. Axel Ekkernkamp
Ärztlicher Direktor und Geschäftsführer, Unfallkrankenhaus Berlin
Erwin-Payr-Lehrstuhl, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Auf das Praktische Jahr am Insel-Spital Bern (Prof. Dr. Reinhold Ganz) folgte die Weiterbildung am Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum (Prof. Dr. Gert Muhr). Wissenschaftlich beschäftigte er sich besonders mit Fragen der funktionellen Knochenbruchbehandlung, der Therapie gutartiger Knochenveränderungen sowie der Beschleunigung der Frakturheilung mittels externer Stimula.

1992 Oberarzt in Bern, 1993 Teilnahme an der ersten Auslandsmission des Sanitätsdienstes der Deutschen Bundeswehr in Kambodscha, 1994 kommissarische Leitung der BG-Kliniken Bergmannstrost in Halle, 1996 Wechsel nach Berlin, 1997 Inbetriebnahme des Unfallkrankenhauses Berlin in Marzahn, 1999 Berufung auf den Lehrstuhl für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie in Greifswald.

2008 Präsident der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie sowie Gründungs(Vize)präsident der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie.

Für langjährige Verdienste um die Ärztliche Fortbildung Verleihung der Ernst-von-Bergmann-Plakette durch die Bundesärztekammer, verschiedene nationale und internationale Auszeichnungen, zuletzt Professur an der Medizinischen Universität Thai Binh/Vietnam.

Die Idee zur Entwicklung des jetzt vorliegenden Werkes entstand während der gemeinsamen Tätigkeit mit Herrn Priv.-Doz. Müller-Mai in Berlin-Marzahn.

Inhaltsverzeichnis

1 Klassifikationen in der Unfallchirurgie 1
C.M. Müller-Mai, M. Frank

1.1 Entwicklung unfallchirurgischer Klassifikationen .. 1
1.1.1 Kindliche Frakturen 2
1.2 Die AO-Klassifikation der Frakturen 2
1.3 Aufbau der AO-Klassifikation 3
1.3.1 Region 3
1.3.2 Segment 3
1.3.3 Schweregrad 5
1.3.4 Hand 8
1.3.5 Fuß 9
1.4 Schlussbemerkung 10

2 Proximaler Oberarm 13
M. Dudda, A.S. Taheri

2.1 Mechanismus 13
2.2 Klinik 13
2.3 Diagnostisches Vorgehen 14
2.4 Klassifikationen 14
2.4.1 Vierfragmenteinteilung nach Codman 14
2.4.2 AO-Klassifikation 14
2.4.3 Beispiele weiterer Klassifikationen 14
2.5 Therapeutisches Vorgehen 17
2.5.1 Konservative Therapie 17
2.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese 17
2.5.3 Schraubenosteosynthese 19
2.5.4 Plattenosteosynthese 19
2.5.5 Marknagelosteosynthese 22
2.5.6 Prothetik 23
2.6 Nachbehandlung 24
2.7 Sonderformen 24
2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 25
2.8.1 Komplikationen 26
2.8.2 Outcome 26
2.9 Begutachtung 26

3 Oberarmschaft 29
R. Hennes

3.1 Mechanismus 29
3.2 Klinik 29
3.3 Diagnostisches Vorgehen 30
3.4 Klassifikation 30
3.4.1 AO-Klassifikation 30
3.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 30
3.5 Therapeutisches Vorgehen 32
3.5.1 Konservative Therapie 32
3.5.2 Plattenosteosynthese 33
3.5.3 Marknagelosteosynthesen 35
3.5.4 Fixateur externe 37
3.6 Nachbehandlung 38
3.7 Sonderformen 38
3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 39
3.9 Begutachtung 40

4 Distaler Oberarm 41
G. Heinrichs, A.P. Schulz, M.M. Kaiser

4.1 Mechanismus 41
4.2 Klinik 42
4.3 Diagnostisches Vorgehen 42
4.4 Klassifikationen 42
4.4.1 AO-Klassifikation 42
4.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 42
4.5 Therapeutisches Vorgehen 44
4.5.1 Konservative Therapie 44
4.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese, Schrauben-osteosynthese 45
4.5.3 Plattenosteosynthese 49
4.5.4 Fixateur externe 52
4.6 Nachbehandlung 52
4.7 Sonderformen 52
4.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 53
4.9 Begutachtung 53

5 Proximaler Unterarm 57
G. Heinrichs, M. Faschingbauer, A.-P. Schulz

5.1 Mechanismus 57
5.2 Klinik 57
5.3 Diagnostisches Vorgehen 58
5.4 Klassifikationen 58
5.4.1 AO-Klassifikation 58
5.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 58
5.5 Therapeutisches Vorgehen 61
5.5.1 Konservative Therapie 61
5.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungs-osteosynthese 62
5.5.3 Schraubenosteosynthese 62
5.5.4 Plattenosteosynthese 63
5.5.5 Marknagelosteosynthese 64
5.5.6 Fixateur externe 64
5.6 Nachbehandlung 66
5.7 Sonderformen 66
5.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 68
5.9 Begutachtung 68

6 Unterarmschaft 71
C.M. Müller-Mai, E. Mielke

6.1 Mechanismus 71
6.2 Klinik 71

6.3 Diagnostisches Vorgehen 72
6.4 Klassifikationen 72
6.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen: 74
6.5 Therapeutisches Vorgehen 74
6.5.1 Konservative Therapie 75
6.5.2 Plattenosteosynthese 77
6.5.3 Intramedulläre Verfahren 80
6.5.4 Fixateur externe 80
6.6 Nachbehandlung 83
6.7 Sonderformen 83
6.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 84
6.9 Begutachtung 85

7 Distaler Unterarm 87
C.M. Müller-Mai, M. Frank
7.1 Mechanismus 87
7.2 Klinik 87
7.3 Diagnostisches Vorgehen 88
7.4 Klassifikationen 88
7.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen 89
7.5 Therapeutisches Vorgehen 90
7.5.1 Konservative Therapie 90
7.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese 91
7.5.3 Plattenosteosynthese 93
7.5.4 Augmentation von Knochendefekten 98
7.5.5 Fixateur externe 99
7.6 Nachbehandlung 101
7.7 Sonderformen 101
7.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 102
7.9 Begutachtung 103

8 Proximaler Oberschenkel 105
C. Müller-Mai, E. Mielke
8.1 Mechanismus 105
8.2 Klinik 106
8.3 Diagnostisches Vorgehen 106
8.4 Klassifikationen 107
8.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen 109
8.5 Therapeutisches Vorgehen 112
8.5.1 Konservative Therapie 113
8.5.2 Schraubenosteosynthese 113
8.5.3 Dynamische Systeme (dynamische Hüftschraube, proximale Femurmarknägel) 116
8.5.4 Prothetik 120
8.6 Nachbehandlung 123
8.7 Sonderformen 123
8.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 125
8.9 Begutachtung 127

9 Oberschenkelschaft 131
G. Heinrichs, A. Paech, A.P. Schulz, M.M. Kaiser
9.1 Mechanismus 131
9.2 Klinik 132
9.3 Diagnostisches Vorgehen 132
9.4 Klassifikationen 132
9.4.1 AO-Klassifikation 132
9.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 132
9.5 Therapeutisches Vorgehen 135
9.5.1 Konservative Therapie 135
9.5.2 Marknagelosteosynthese 135
9.5.3 Plattenosteosynthese 137
9.5.4 Fixateur externe 138
9.5.5 Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) 139
9.6 Nachbehandlung 139
9.7 Sonderformen 140
9.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 141
9.9 Begutachtung 141

10 Distaler Oberschenkel 143
S. Hillbricht, A.P. Schulz, A. Paech
10.1 Mechanismus 143
10.2 Klinik 144
10.3 Diagnostisches Vorgehen 144
10.4 Klassifikationen 144
10.5 Therapeutisches Vorgehen 145
10.5.1 Konservative Therapie 146
10.5.2 Schraubenosteosynthese 146
10.5.3 Retrograder Marknagel 148
10.5.4 Plattenosteosynthesen 149
10.5.5 Dynamische Condylenschraube (DCS) 150
10.5.6 Fixateur externe 151
10.6 Nachbehandlung 152
10.7 Sonderformen 152
10.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 152
10.8.1 Frühkomplikationen 152
10.8.2 Spätkomplikationen 153
10.9 Begutachtung 153

11 Proximaler Unterschenkel 155
A.S. Taheri, M. Dudda, L. Özokyay
11.1 Mechanismus 155
11.2 Klinik 156
11.3 Diagnostik 157
11.4 Klassifikationen 157
11.4.1 AO-Klassifikation 157
11.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 158
11.5 Therapeutisches Vorgehen 160
11.5.1 Konservative Therapie 161
11.5.2 Minimalinvasive Verfahren 162
11.5.3 Plattenosteosynthese 164
11.5.4 Fixateur externe 168
11.5.5 Marknagelosteosynthese 169
11.5.6 Augmentation von Knochendefekten 172

11.6 Nachbehandlung 172
11.7 Sonderformen 173
11.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 174
11.9 Begutachtung 175

12 Unterschenkelschaftfrakturen 177
A.S. Taheri, M. Dudda, L. Özokyay
12.1 Mechanismus 177
12.2 Klinik 178
12.3 Diagnostisches Vorgehen 178
12.4 Klassifikationen 179
12.4.1 AO-Klassifikation 179
12.5 Therapeutisches Vorgehen 181
12.5.1 Konservative Therapie 182
12.5.2 Marknagelosteosynthese 184
12.5.3 Plattenosteosynthese 189
12.5.4 Fixateur externe 190
12.6 Nachbehandlung 193
12.7 Sonderformen 194
12.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 196
12.9 Begutachtung 199

13 Distaler Unterschenkel (Pilon tibial) 201
S. Hillbricht, A.P. Schulz, A. Paech
13.1 Mechanismus 201
13.2 Klinik 201
13.3 Diagnostisches Vorgehen 202
13.4 Klassifikationen 202
13.4.1 AO-Klassifikation 202
13.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 202
13.5 Therapeutisches Vorgehen 202
13.5.1 Konservative Therapie 204
13.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese 205
13.5.3 Schraubenosteosynthese 205
13.5.4 Plattenosteosynthese 205
13.5.5 Marknagelosteosynthese 209
13.5.6 Fixateur externe 209
13.6 Nachbehandlung 212
13.7 Sonderformen 212
13.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 212
13.9 Begutachtung 213

14 Oberes Sprunggelenk 215
S. Hillbricht, A.P. Schulz, M.M. Kaiser
14.1 Mechanismus 215
14.2 Klinik 216
14.3 Diagnostisches Vorgehen 216
14.4 Klassifikationen 217
14.4.1 AO-Klassifikation 217
14.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 219
14.5 Therapeutisches Vorgehen 219
14.5.1 Konservative Therapie 219
14.5.2 Zuggurtungsosteosynthese 221
14.5.3 Zugschraubenosteosynthese 222
14.5.4 Plattenosteosynthese 224
14.5.5 Fixateur externe 225
14.5.6 Intramedulläre Kraftträger 226
14.5.7 Augmentation von Knochendefekten 226
14.6 Nachbehandlung 227
14.7 Sonderformen des wachsenden Skeletts 227
14.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 230
14.9 Begutachtung 231

15 Wirbelsäule 233
S. David, R. Grundentaler, C.M. Müller-Mai
15.1 Halswirbelsäule 233
15.1.1 Mechanismus 233
15.1.2 Klinik 234
15.1.3 Diagnostisches Vorgehen 235
15.1.4 Klassifikationen 236
15.1.5 Therapeutisches Vorgehen 242
15.1.6 Therapeutisches Vorgehen 247
15.1.7 Nachbehandlung 256
15.1.8 Sonderformen 256
15.1.9 Prognose und funktionelle Ergebnisse 257
15.1.10 Begutachtung 258
15.2 Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule 259
15.2.1 Mechanismus 259
15.2.2 Klinik 259
15.2.3 Diagnostisches Vorgehen 259
15.2.4 Klassifikation 260
15.2.5 Therapeutisches Vorgehen 264
15.2.6 Nachbehandlung 286
15.2.7 Sonderformen 287
15.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 290
15.2.9 Begutachtung 291

16 Becken 295
H. Naumburger, C.M. Müller-Mai, M. Wich
16.1 Beckenring 295
16.1.1 Mechanismus 295
16.1.2 Klinik 297
16.1.3 Diagnostisches Vorgehen 297
16.1.4 Klassifikationen 298
16.1.5 Therapeutisches Vorgehen 299
16.1.6 Nachbehandlung 312
16.1.7 Sonderformen 313
16.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 313
16.1.9 Begutachtung 314
16.2 Acetabulum 315
16.2.1 Mechanismus 315
16.2.2 Klinik 315
16.2.3 Diagnostisches Vorgehen 316
16.2.4 Klassifikationen 317

16.2.5 Therapeutisches Vorgehen 319
16.2.6 Nachbehandlung 327
16.2.7 Sonderformen 327
16.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 329
16.2.9 Begutachtung 329

17 Hand 333
M. Schädel-Höpfner, J. Windolf
17.1 Handwurzel 333
17.1.1 Mechanismus 333
17.1.2 Klinik 334
17.1.3 Diagnostisches Vorgehen 334
17.1.4 Klassifikation 334
17.1.5 Therapeutisches Vorgehen 335
17.1.6 Nachbehandlung 338
17.1.7 Sonderformen 338
17.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 338
17.1.9 Begutachtung 338
17.2 Mittelhand 338
17.2.1 Mechanismus 338
17.2.2 Klinik 338
17.2.3 Diagnostisches Vorgehen 339
17.2.4 Klassifikation 339
17.2.5 Therapeutisches Vorgehen 340
17.2.6 Nachbehandlung 345
17.2.7 Sonderformen 345
17.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 345
17.2.9 Begutachtung 346
17.3 Finger 346
17.3.1 Mechanismus 346
17.3.2 Klinik 346
17.3.3 Diagnostisches Vorgehen 346
17.3.4 Klassifikation 346
17.3.5 Therapeutisches Vorgehen 347
17.3.6 Nachbehandlung 351
17.3.7 Sonderformen 351
17.3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 351
17.3.9 Begutachtung 352

18 Fuß 355
M. Metzner, C.M. Müller-Mai
18.1 Rückfuß 357
18.1.1 Mechanismus 358
18.1.2 Klinik 358
18.1.3 Diagnostisches Vorgehen 359
18.1.4 Klassifikationen 360
18.1.5 Therapeutisches Vorgehen 364
18.1.6 Nachbehandlung 371
18.1.7 Sonderformen 372
18.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 373
18.1.9 Begutachtung 374
18.2 Mittelfuß 375
18.2.1 Mechanismus 376
18.2.2 Klinik 376
18.2.3 Diagnostisches Vorgehen 377
18.2.4 Klassifikationen 377
18.2.5 Therapeutisches Vorgehen 380
18.2.6 Nachbehandlung 387
18.2.7 Sonderformen 387
18.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 387
18.2.9 Begutachtung 388
18.3 Vorfuß 389
18.3.1 Mechanismus 390
18.3.2 Klinik 391
18.3.3 Diagnostisches Vorgehen 391
18.3.4 Klassifikationen 392
18.3.5 Therapeutisches Vorgehen 393
18.3.6 Nachbehandlung 399
18.3.7 Sonderformen 400
18.3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 400
18.3.9 Begutachtung 400

19 Patella 403
C.M. Müller-Mai, E. Mielke
19.1 Mechanismus 403
19.2 Klinik 403
19.3 Diagnostik 404
19.4 Klassifikationen 404
19.4.1 AO-Klassifikation 404
19.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 406
19.5 Therapieverfahren 406
19.5.1 Konservative Therapie 406
19.5.2 Zuggurtungs- und Kirschner-Drahtosteosynthese 406
19.5.3 Zugschraubenosteosynthese 410
19.5.4 Andere (Äquatorial-Cerclage, McLaughlin-Cerclage) 412
19.5.5 Patellektomie 412
19.6 Nachbehandlung 413
19.7 Sonderformen 413
19.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 414
19.9 Begutachtung 415

20 Clavicula 417
G. Matthes, C.M. Müller-Mai
20.1 Mechanismus 417
20.2 Klinik 417
20.3 Diagnostisches Vorgehen 418
20.4 Klassifikationen 418
20.4.1 Klassifikation nach Allman 418
20.4.2 AO-Klassifikation 419
20.4.3 Beispiele weiterer Klassifikationen 420
20.5 Therapeutisches Vorgehen 420
20.5.1 Konservative Therapie 421

20.5.2 Zuggurtungsosteosynthese 421
20.5.3 Schraubenosteosynthese 421
20.5.4 Plattenosteosynthese 422
20.5.5 Intramedulläre Schienung 424
20.6 Nachbehandlung 424
20.7 Sonderformen 424
20.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse 425
20.9 Begutachtung 426

21 Scapula 427
M. Wich, O. Turan
21.1 Mechanismus 427
21.2 Klinik 427
21.3 Diagnostisches Vorgehen 428
21.4 Klassifikation 430
21.4.1 Einteilung nach Euler u. Rüedi 430
21.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen 433
21.5 Therapeutisches Vorgehen 434
21.5.1 Konservative Therapie 434
21.5.2 Operative Therapie 435
21.6 Nachbehandlung 439
21.7 Prognose und funktionelle Ergebnisse 440
21.8 Begutachtung 440

Stichwortverzeichnis 441

1 Klassifikationen in der Unfallchirurgie

C.M. Müller-Mai, M. Frank

1.1 Entwicklung unfallchirurgischer Klassifikationen

Zur richtigen Behandlung, aber auch zur wissenschaftlichen Bearbeitung von Frakturen, insbesondere zur systematischen Erfassung, sowie zur Auswahl und Kontrolle der Therapieoptionen sind Klassifikationen der Bruchformen von essenzieller Bedeutung.

Erste Beschreibungen typischer Bruchformen wurden Ende des 18. und später zu Beginn des 19. Jahrhunderts veröffentlicht [1–4]. Dabei handelte es sich zunächst um morphologische Beschreibungen, wobei hier charakteristische Bruchformen gegenübergestellt wurden. Meist wurden die in den Beschreibungen erwähnten Brüche mit dem Namen des Erstbeschreibers bezeichnet, wie z. B. bei der distalen Radiusfraktur die Frakturformen nach Poteau, Colles, Smith oder Barton [2–5]. Die erste bekannte Übersicht der Frakturen lieferte Malgaigne 1847 [6]. Problem der damaligen Zeit war die unzureichende Diagnostik, daher wurden diese ersten Versuche zur Einteilung von Frakturen mittels klinischer Untersuchungen sowie anhand des Sektionsgutes unternommen.

Das Aufkommen der *Röntgendiagnostik* markierte schließlich einen bedeutenden Fortschritt in der Qualität erstellter Klassifikationen. Auch Frakturen, die rein klinisch nicht zu erkennen waren, konnten jetzt abgebildet werden. Folge war eine Vielzahl von Klassifikationen, die sich darauf beschränkten, mehr oder minder typische Frakturverläufe zu beschreiben. Erst in den Anfangsjahren des 20. Jahrhunderts fanden funktionelle Gesichtspunkte Eingang, die unter nur geringer Modifikation auch noch heute allgemeingültige Einteilungen liefern. Genannt sei hier Destot, der bei seiner 1902 veröffentlichten Klassifikation von Calcaneusfrakturen bereits die zentrale Bedeutung der hinteren subtalaren Gelenkfläche beschrieb [7].

Bei der Erstellung von Klassifikationen können unterschiedliche Sichtweisen berücksichtigt werden. Historisch, also zu Zeiten der konservativen Frakturversorgung, interessierte der Gesichtspunkt des *Unfallmechanismus*, wie bei der Lauge-Hansen-Klassifikation der oberen Sprunggelenksfrakturen, da die Reposition den Unfallmechanismus in umgekehrter Reihenfolge nachahmte [8].

In heutiger Zeit sind aber pathologisch-anatomische Voraussetzungen wichtiger, also

- die Frakturverläufe,
- die Richtung der Dislokation und
- der Grad einer möglichen Gelenkbeteiligung.

Bei der immens großen Zahl der operativen Behandlungsmöglichkeiten wird der *therapeutische Aspekt* zum bestimmenden Kriterium. Die Funktion bzw. funktionelle Behandelbarkeit nach einer Osteosynthese steht damit im Mittelpunkt, wie z. B. die Stabilität nach möglichen Wirbelkörperosteosynthesen. Auch werden in den letzten Jahren zunehmend der Weichteilmantel sowie die Verletzung von Gefäß- und Nervenstrukturen als Unterschei-

dungsmerkmal zur Therapie- und Prognosebestimmung herangezogen, wie z. B. bei der Klassifikation nach Gustilo und Anderson, die sich bei Unterschenkelschaftfrakturen bewährt hat [9].

Wichtig

Zusammenfassend bestimmte also die therapeutische Möglichkeit die Ausrichtung der Klassifikationen. In Zeiten konservativer Frakturbehandlung war es von Bedeutung, den Unfallmechanismus bis ins Detail zu erkennen, um eine Reposition durchführen bzw. die Haltung sichern zu können. Im Zeitalter der operativen Versorgung ist jedoch eine Klassifikation auf pathologisch-anatomischer Grundlage wesentlich wichtiger, um die richtige Implantatwahl für eine frühfunktionelle oder belastbare Osteosynthese treffen zu können.

Bei unterschiedlich möglichen Behandlungsstrategien, insbesondere bei vielen verschiedenen Implantaten zur Versorgung vergleichbarer Frakturen, ist zur Analyse von Spätergebnissen eine exakte und allgemein anwendbare Klassifikation nicht mehr verzichtbar. Trotz aller Vollständigkeit muss diese jedoch einfach und in der Praxis durchführbar sein [10]. Die Einteilung muss vor dem Beginn der Behandlung anhand von Röntgenaufnahmen oder einfacher ergänzender Diagnostik möglich sein.

Aus den heutigen diagnostischen Möglichkeiten sowie der großen Implantatvielfalt ergibt sich ein bisher unbekannter Facettenreichtum von Frakturen und operativen Verfahren, sodass eine qualitative Beschreibung der Bruchformen unzureichend ist. Es ist vielmehr eine detaillierte Klassifikation zur genauen Beschreibung und systematischen Analyse erforderlich. Nur nach genauer Klassifikation können der Schweregrad einer Fraktur beurteilt und zugleich systematisch erfasst sowie die verschiedenen Optionen zur operativen Therapie verglichen werden. Somit ist die vollständige Erkennung aller Verletzungsaspekte, d. h. einschließlich des Weichteilschadens; sowie der Schwere der Fraktur absolut erforderlich zur genauen Planung eines Therapiekonzeptes.

Wichtig

Die Güte einer Klassifikation ergibt sich hauptsächlich durch die intra- und interindividuelle Reproduzierbarkeit [11, 12].

Klassifikationsziele bezogen auf die Fraktur

- Definition des Schweregrades der Verletzung
- Die davon abhängige Therapieauswahl
- Die sich daraus ergebende Einschätzung der Prognose
- Universelle Anwendbarkeit.

Alle lokalisationsabhängigen Klassifizierungen sind daher nichteinheitliche Systeme, insgesamt also unbrauchbar zum Vergleich verschiedener Therapiekonzepte. Daher legt dieses Buch eine Klassifikation zugrunde, die diese Kriterien näherungsweise und bisher aus Sicht der Autoren am besten erfüllt. Grundzüge werden im Folgenden erläutert und sind im Detail in der weiterführenden Literatur nachzulesen [13–17].

1.1.1 Kindliche Frakturen

Eine *Sonderstellung* nehmen kindliche Frakturen ein. Im Klinikalltag ist eine einfache Einteilung meist ausreichend. Unterschieden werden je nach Lokalisation diaphysäre und metaphysäre Brüche. Bei den metaphysären Frakturen sind epiphysenbeteiligende und sog. Stauchungs- oder Wulstbrüche, auch subperiostale Frakturen genannt, abzugrenzen. Die diaphysären Brüche umfassen Biegungs- oder Grünholzbrüche sowie die Bowing-Deformation oder »Bowing fracture«. Therapeutisch wichtig ist die Unterscheidung von stabilen und instabilen Frakturen, wobei Letztere keinen Fragmentkontakt mehr aufweisen oder Trümmer- bzw. Etagenfrakturen darstellen [18].

Im Rahmen von Studien zur Überprüfung von Therapiemethoden, Ergebnissen und Prognosen wird eine umfassende Klassifikation auch hier benötigt. Eine reine Übertragung der AO-Klassifikation ist jedoch kritisch zu sehen, da sich aufgrund der Besonderheiten des kindlichen Skeletts keine Hierarchie der Frakturschwere und kein therapeutischer Hinweis davon ableiten lassen. Die therapeutischen Maßnahmen sind in allererster Linie vom Alter des Kindes und nicht so sehr von der Frakturmorphologie abhängig. Spezifische Adaptationen an diese Besonderheiten sind die Li-La- und die AO-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter [19]. Eine weitere Unterteilung und Fokussierung auf das Kindesalter würde den Rahmen und die Zielsetzung dieses Buches sprengen. Daher wird zur weiteren Klassifikation der kindlichen Brüche auf die einschlägige Literatur verwiesen.

1.2 Die AO-Klassifikation der Frakturen

Dem von der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) entwickelten umfassenden Klassifikationssystem liegt ein *alphanumerischer Code* zugrunde, der die Dokumentation, also die Erfassung der gewonnenen Daten, erleichtert. Dies kann auch in Multicenterstudien erfolgen, da hier an verschiedenen Zentren unterschiedlich versorgte Frakturen miteinander verglichen werden können.

Diese Klassifikation zeigt den Vorteil einer systematisch anwendbaren Einteilung, die für jeden Knochen

prinzipiell geeignet ist. Sie kann auf jeder Ebene bei Bedarf abgebrochen bzw. später ergänzt werden. Somit ist also eine Zusammenfassung von Daten verschiedenster Gruppen möglich, und Frakturen können auch später, also nach einer Operation, noch klassifiziert und systematisiert werden. Die genannte Klassifikation ist zunächst an den langen Röhrenknochen entwickelt und später auf andere Lokalisationen wie Wirbelsäule, Becken und Acetabulum, aber auch Patella, Hand- und Fußskelett ausgeweitet worden [11,13–17].

Der Ablauf der Kodierung soll im folgenden Text anhand von Beispielen erläutert werden. Er folgt 4 einfachen Schritten (▶ Übersicht).

Ablauf der Kodierung

1. Zunächst wird der *Knochen (Region)* kodiert, indem ihm eine Zahl zugeordnet wird (z. B. 2 → Radiusfraktur; 4 → Tibiafraktur; 5 → Wirbelkörperfraktur etc.).
2. Im nächsten Schritt wird das betroffene *Segment* des frakturierten Knochens kodiert (z. B. 23 → distale Radiusfraktur, 51 → Halswirbelsäule etc; ◘ Abb. 1.1).
3. Nun wird der *Schweregrad* entweder über eine mögliche Gelenkbeteiligung eingeschätzt (gelenknahe Frakturen) oder über die Komplexität bei Schaftfrakturen (z. B. → 23-A extraartikuläre distale Radiusfraktur; 42-B → Tibiaschaftkeilfraktur; 53-A → Impaktionsbruch eines Lendenwirbelkörpers).
4. Über eine Ziffer hinter dem Buchstaben wird die *Schwere der Fraktur* genauer beurteilt (z. B. 23-A3 → extraartikuläre distale Radiusfraktur mit metaphysärer Trümmerzone; 42-B2 → Tibiaschaftfraktur mit Biegungskeil; 53-A1 → Kompressionsbruch eines Lendenwirbelkörpers).

Die in der ▶ Übersicht unter Punkt 4 beschriebene Einteilung der Frakturschwere lässt sich in den meisten Fällen mit Verständnis des zugrunde liegenden Systems und etwas Übung bereits nach der Röntgendiagnostik problemlos durchführen. Es reicht für die tägliche Praxis der Frakturversorgung meist vollkommen aus, wenn der Schweregrad mit der 1. Ziffer erfasst wird.

Im Rahmen wissenschaftlicher Studien, z. B. zum Vergleich verschiedener operativer Verfahren bei vergleichbaren Frakturmorphologien, ist eine *weitergehende Unterteilung* unumgänglich. Hierzu wird eine Zusatzziffer durch eine Punkt von der Ziffer hinter dem Buchstaben getrennt (z. B. extraartikuläre distale Radiusfraktur mit metaphysärer Trümmerzone *mit komplexem Verlauf der Bruchlinien* → 23-A3.*3*; Tibiaschaftfraktur mit Biegungskeil, *Fibulafraktur in Höhe der Tibiafraktur* → 42-B2.*3*; Kompressionsbruch eines Lendenwirbelkörpers mit *keilförmiger Impaktion* → 53-A1.*2*). Die genaue Kodierung über die Zusatzziffer wird manchmal erst nach Durchführung einer CT oder der offenen Reposition möglich.

Eine Einteilung in weitere Subgruppen ist damit erfolgt.

Wichtig

An dieser Stelle sei nochmals angemerkt, dass der Weichteilschaden immer im Zusammenhang mit der Frakturklassifikation einzuschätzen ist. Gefäß- und Nervenschäden sowie Muskelverletzungen sind mitunter prognosebestimmend und müssen die Therapieauswahl entscheidend beeinflussen.

1.3 Aufbau der AO-Klassifikation

1.3.1 Region

Die Nummerierung der Knochen (◘ Abb. 1.1, ◘ Tab. 1.1) wurde festgelegt. Dabei besteht Einigkeit über die Benennung der Röhrenknochen, der Wirbelsäule und des Beckens [11–13]. Abweichende Konzepte bestehen an Hand und Fuß sowie den kleinen Knochen, was durch die Komplexizität der genannten Lokalisationen und die unterschiedlichen Verletzungen (z. B. Fuß mit überproportional häufigen Weichteilverletzungen) bedingt ist [14–17]. Wir folgen der Benennung von Rüedi u. Murphy [12] und Zwipp et al. [15], ergänzt durch die Klassifikationen des Hand- und Fußskeletts [14, 15] u. a. [16].

Die Therapie von Unterkiefer- und Schädelbrüchen erfolgt meist durch andere Disziplinen und wird daher im weiteren Verlauf des Textes nicht mehr berücksichtigt.

1.3.2 Segment

Für die Klassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen lassen sich einheitliche Prinzipien beschreiben. Jeder lange Röhrenknochen wird in 3 Segmente (Ausnahme Unterschenkel, hier 4 Segmente; ▶ Kap. 11–14) unterteilt. Das proximale und das distale Segment entsprechen metaphysären Brüchen und werden durch ein Quadrat definiert. Die Kantenlänge des Quadrats entspricht der größten Breite der Epiphyse (◘ Abb. 1.2).

Die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Segment des betroffenen Knochens wird durch das Zentrum der Fraktur bestimmt. Das Zentrum liegt bei einer einfachen Fraktur in der Mitte der Bruchlinie. Bei der Keilfraktur wird es durch die breiteste Stelle des Keils festgelegt. Bei komplexen Brüchen kann diese Festlegung manchmal erst nach der Reposition getroffen werden. Gleiches gilt für die Zusatzziffer zur weiteren Unterteilung des Schweregrads.

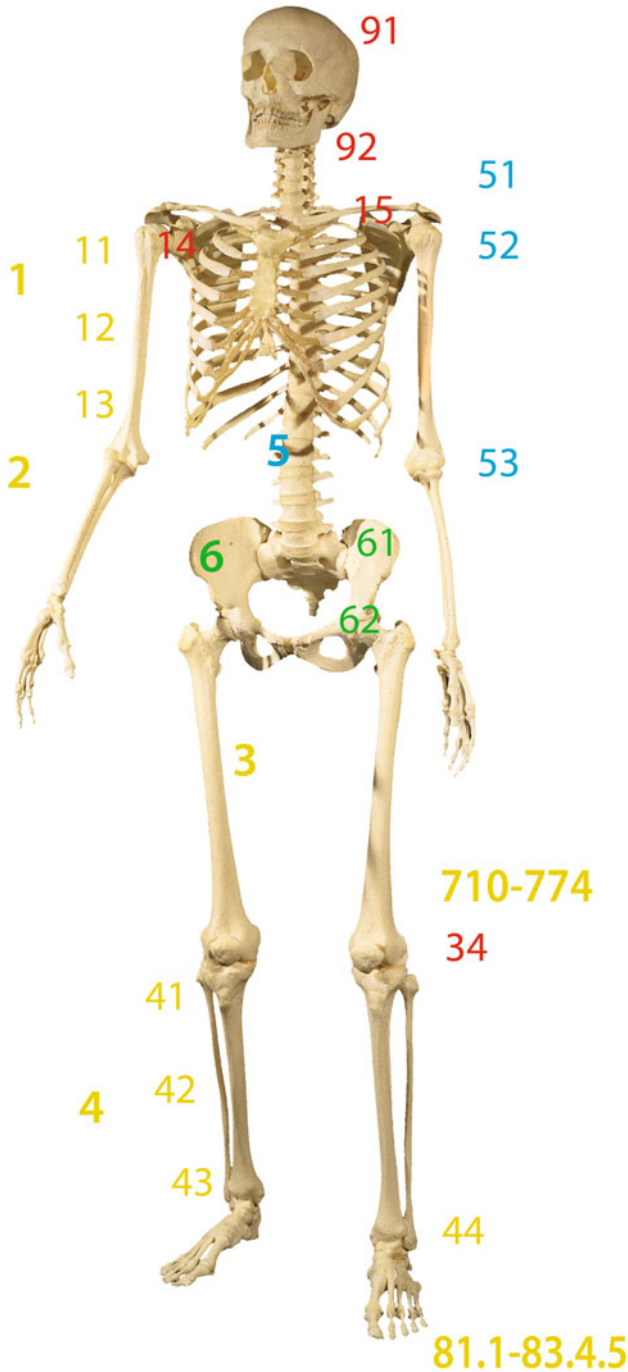


Abb. 1.1. Einteilung des Skelettsystems nach der alphanumerischen AO-/OTA-Klassifikation, z. T. ergänzt. Die *großen gelben Ziffern* beschreiben den jeweiligen Röhrenknochen, die *kleinen zweistelligen Zahlen* bezeichnen neben dem Knochen das betroffene Segment, in dem das Frakturzentrum liegt (*grün* Becken, *blau* Wirbelsäule, *rot* andere Knochen) [12, 20]. (Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Tillmann, aus dem »Atlas der Anatomie«)

Tab. 1.1. Festlegung der Nummerierung der Knochen in diesem Buch in Anlehnung an die AO-Klassifikation

Im Buch verwendete Nr.	Knochen	
1	Humerus – 14 Skapula – 15 Clavicula	
2	Radius und Elle (die paarigen Knochen des Unterarmes bzw. Unterschenkels werden als ein Knochen in der Klassifikation zusammengefasst)	
3	Femur	– 34 Patella
4	Unterschenkel	– Oberes Sprunggelenk als zusätzliche Lokalisation 44
5	Wirbelsäule	– 51 Halsbereich – 52 Brustbereich – 53 Lendenbereich
6	Becken	– 61 Beckenring – 62 Acetabulum
7	Hand	
8	Fuß	
9	Schädelknochen	– 91 Geschichtsschädel – 92 Unterkiefer

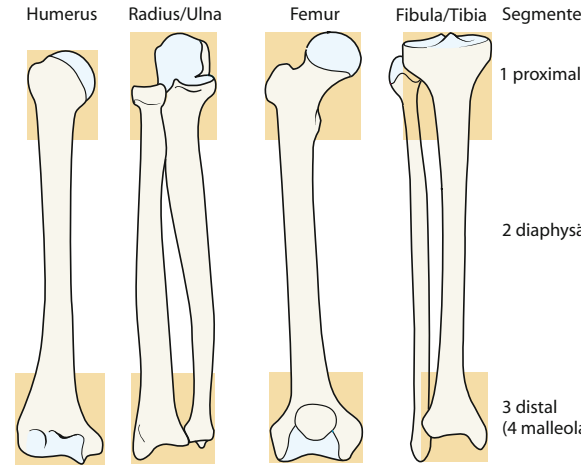


Abb. 1.2. Einteilung der langen Röhrenknochen in 3 Segmente: 1 proximal, 2 diaphysär, 3 distal. Am Unterschenkel bezeichnet die Zusatzziffer 4 die Frakturen des oberen Sprunggelenks (Kodierung 44 für Unterschenkel, Lokalisation: oberes Sprunggelenk, malleolare Fraktur, entsprechend 4. Segment des Unterschenkels)

Auch an der Wirbelsäule werden 3 »Segmente« abgegrenzt. Die Halswirbelsäule erhält die Zahl 51, die Brustwirbelsäule die 52 und die Lendenwirbelsäule 53. Am Becken werden 2 Bereiche abgegrenzt: Beckenring (61) und Acetabulum (62).

1.3.3 Schweregrad

Nach der Kodierung der betroffenen Region erfolgt nun die Zuordnung des Frakturtyps zu einem Schweregrad. Hierbei werden die gelenknahen Brüche von den Schaftfrakturen unterschieden (Abb. 1.3, 1.4).

Für die Zuordnung bestimmend ist jeweils das Zentrum des Bruchverlaufs, d. h. der Mittelpunkt der Fraktur. Bei einer diaphysären Fraktur mit Fissur in die Metaphyse wird daher diaphysär kodiert [13].

Die *Ziffer* hinter dem *Buchstaben* zur genaueren Beschreibung der Frakturschwere kennzeichnet bei den Gelenk- und Schaftfrakturen eine zunehmende Komplexizität, einen zunehmenden Schweregrad sowie eine zunehmende Dislokationsneigung. Damit wird eine Aussage über die Prognose der jeweiligen Bruchform möglich.

Abschließend wird eine weitere *Zahl* hinter dem Buchstaben zur Differenzierung einer Untergruppe vergeben. Diese beschreibt die Variation innerhalb der Schweregruppe mit zunehmendem Schweregrad. Diese zusätzlichen Kriterien sind in der klinischen Praxis unserer Ansicht nach nicht von übergeordneter Bedeutung, allerdings wichtig für eine genaueste Klassifizierung

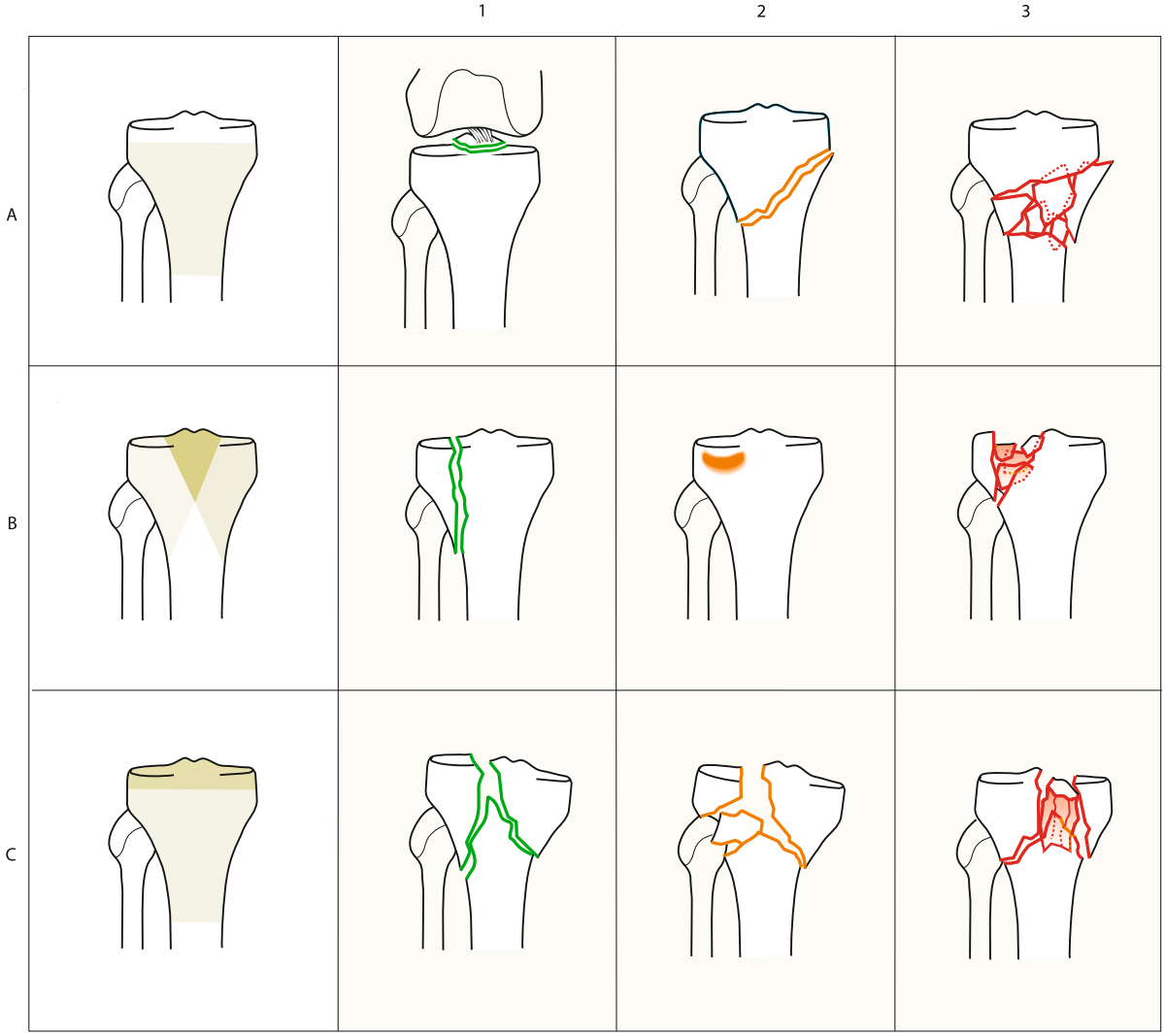


Abb. 1.3. Schweregrad der gelenknahen Frakturen am Beispiel der Tibiakopffraktur. *A* extrartikuläre, *B* partiell intraartikuläre, *C* komplett intraartikuläre Fraktur

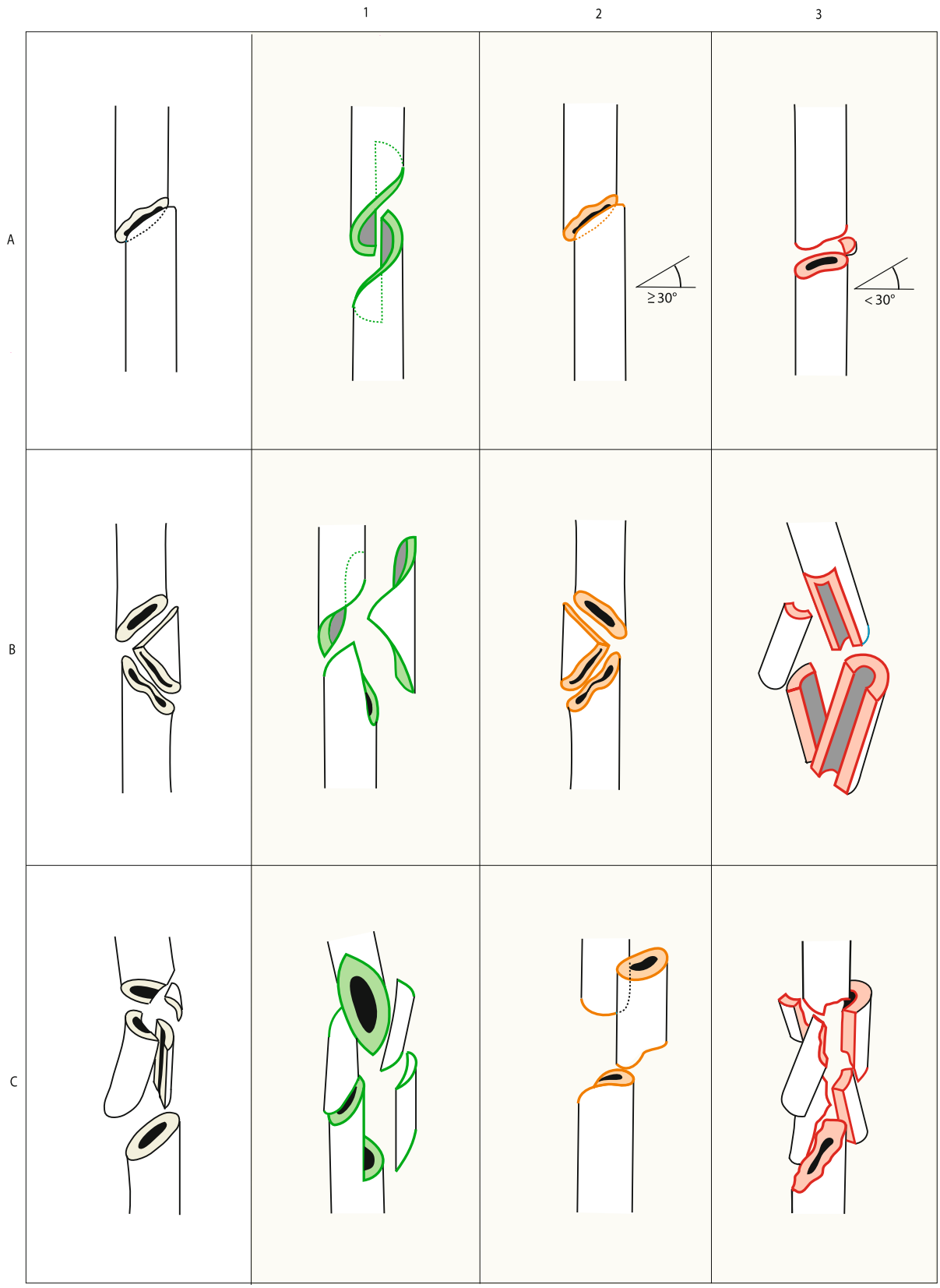


Abb. 1.4. Schweregrad der Schaftfrakturen. *A* einfache Fraktur, *B* Keilfrakturen, *C* komplexe Frakturen

innerhalb von Studien. Sie werden im Verlauf dieses Buches daher nicht detailliert aufgeführt. Abb. 1.5 beschreibt den Kodierungsgang schematisch.

In Abb. 1.6 und 1.7 sollen 2 Beispiele für die korrekte Kodierung gegeben werden, wobei die genannte Untergruppe hier beispielhaft erwähnt wird.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass es im Rahmen der Kodierung der AO-Klassifikation noch Unregelmäßigkeiten im Bereich der Nummerierung einzelner kleiner Knochen gibt. Wir beziehen uns auf die hier zitierte Literatur, wobei die Nummernzuordnung nach [13–15] angegeben wird.

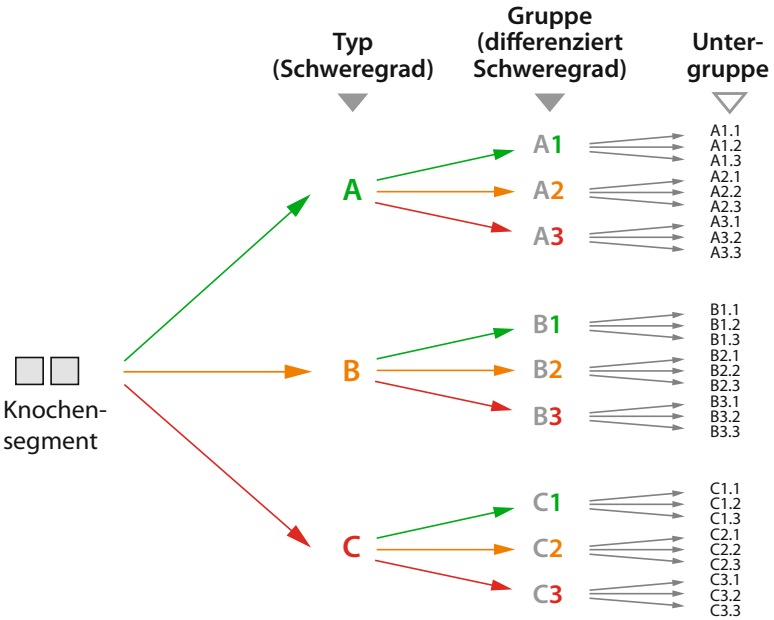


Abb. 1.5. Kodierungsweg nach der alphanumerischen AO-Klassifikation. Nach dem betroffenen Knochen (Region) erfolgt die Kodierung des Segments, in dem das Frakturzentrum liegt, und des Schweregrads (Buchstaben A–C). Die Ziffern hinter dem Buchstaben dienen zur genaueren Klassifizierung. Die Ziffern hinter dem Punkt beschreiben Untergruppen, die für den klinischen Alltag unserer Ansicht nach verzichtbar sind





Abb. 1.6a, b. 82 Jahre, weiblich. Sturzereignis. 41-C3.3. Fraktur des rechten Tibiakopfes (41-C3) mit komplexem intraartikulärem Verlauf und Trümmerzone (CT-morphologisch gesichert). Zweizeitige operative Versorgung mit temporärer Fixateur-Anlage, anschließende offene Reposition und winkelstabile Plattenosteosynthese sowie Spongiosaplastik *(Versorgungsbilder nicht demonstriert)*





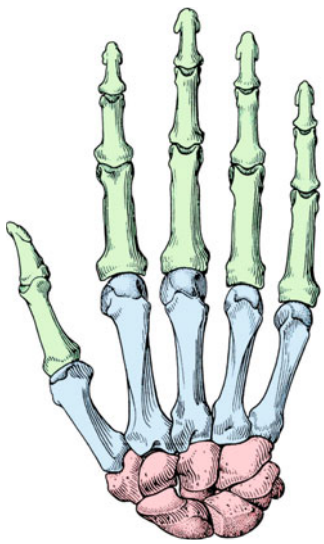
Abb. 1.7a, b. 39 Jahre, männlich. Direkter Anprall eines Baumstamms bei Holzarbeiten gegen den linken Unterschenkel. 42-B2.1. Diaphysäre Fraktur der linken Tibia, undisloziert (42-B2) mit Biegungskeil (Basis des Biegungskeils entspricht dem Ort der Gewalteinwirkung), keine Fibulafraktur. Marknagelosteosynthese

1.3.4 Hand

Die Hand ist aufgrund ihres knöchernen Aufbaus nach der AO-Klassifikation schwieriger zu kodieren (Abb. 1.8). Während die *1. Ziffer* die Region Hand kodiert (14), steht im Bereich der Mittelhand und der Phalangen die *2. Ziffer* für den Strahl (1–5), die *3. Ziffer* für den Mittelhandknochen (0) bzw. für Grund-, Mittel- oder Endglied (1, 2 oder 3). Die Zählung beginnt jeweils daumenseitig aufsteigend. Da am Daumen nur Grund- und Endglied vorliegen, fehlt hier die Kodierung 713.

Von radial nach ulnar wird die proximale Carpusreihe mit 761–764 kodiert. Demzufolge erhält die distale Carpusreihe die Ziffern 771–774, ebenso von radial nach ulnar.

Eine *4. Zahl* nach dem Trennpunkt legt wie bei den großen Röhrenknochen das betroffene Knochensegment fest (1 proximal, 2 Mitte, 3 distal). Erst dann folgt der *Buchstabe*, wobei A diaphysäre, B metaphysäre und C Gelenkfrakturen bezeichnet. Die abschließend folgende *Zahl* kodiert mit 1 einfache Zweifragmentfrakturen, mit 2 Frakturen mit Biegungskeil oder einem weiteren Fragment und mit 3 Mehrfragment- oder Defektfrakturen (Abb. 1.9, 1.10).



Finger	711–751	Grundphalangen 1–5
	712–752	Mittelphalangen 1–5
	723–753	Endphalangen 1–5
Mittelhand	710	Os metacarpale 1
	720	Os metacarpale 2
	730	Os metacarpale 3
	740	Os metacarpale 4
	750	Os metacarpale 5
Handwurzel	761–764	Proximale Carpusreihe
	771–774	Distale Carpusreihe

Abb. 1.8. Entsprechend der anatomischen Klassifikation teilt auch die AO-Klassifikation in Handwurzel, Mittelhand und Fingerknochen ein. Während die 1. Ziffer die Region Hand kodiert (7), steht im Bereich der Mittelhand und der Phalangen die 2. Ziffer für den Strahl (1–5), die 3. Ziffer für den Mittelhandknochen (0) bzw. für Grund-, Mittel- oder Endglied (1, 2 oder 3). Die Zählung beginnt jeweils daumenseitig aufsteigend

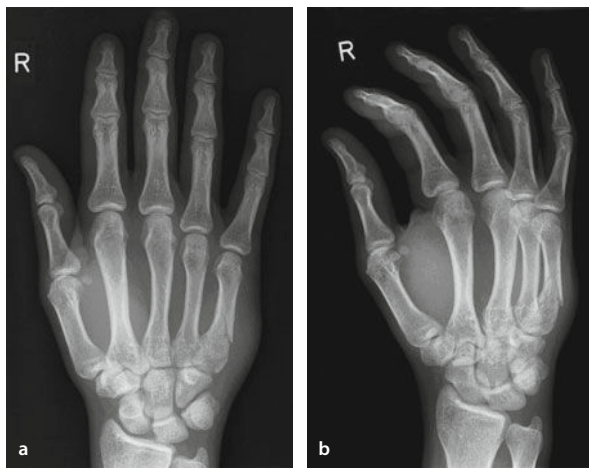


Abb. 1.9. 28 Jahre, männlich. Sturz auf die rechte Hand. 750.2-B1. Diaphysäre Fraktur des 5. Mittelhandknochens (750). Offene Reposition, Plattenosteosynthese *(Bilder nicht demonstriert)*



Abb. 1.10. 48 Jahre, männlich. Leitersturz. 761.2-B1. Scaphoidquerfraktur in Knochenmitte. Schraubenosteosynthese, Herbert-Schraube *(Bilder nicht demonstriert)*

So bedeuten *beispielhaft:*

- 720.1-B2 Metaphysäre Metacarpale-2-Basisfraktur mit 3. Zwischenfragment.
- 720.2-A3 Metacarpale-2-Schafttrümmerfraktur.

Am Carpus bedeuten die *Buchstaben* A Abriss- oder Abscherfraktur, B Schräg- oder Querfraktur und C Mehrfragment- oder Trümmerfraktur. Die dann folgende *Ziffer* versucht, die Frakturschwere weiter zu differenzieren. 1 bedeutet Abriss eines kleinen Fragments, 2 Abscherung eines großen Anteils, 3 Abriss mehrerer Fragmente. Bei den B-Frakturen kennzeichnet 1 die exakt horizontal zur Längsachse verlaufende Fraktur, 2 die Schrägfraktur und 3 eine steile Bruchlinie. Beim Typ C ist die 1 ein Mehrfragmentbruch mit nach radial weisender Trümmerzone, die 2 kennzeichnet die nach ulnar weisende Trümmerzone und die 3 die beidseitige Trümmerung.

***Demzufolge* sind**

- 761.2-B2 Scaphoidschrägfraktur in Knochenmitte,
- 773.3-C3 distale Capitatumtrümmerfraktur mit nach radial und ulnar auslaufenden Bruchlininen.

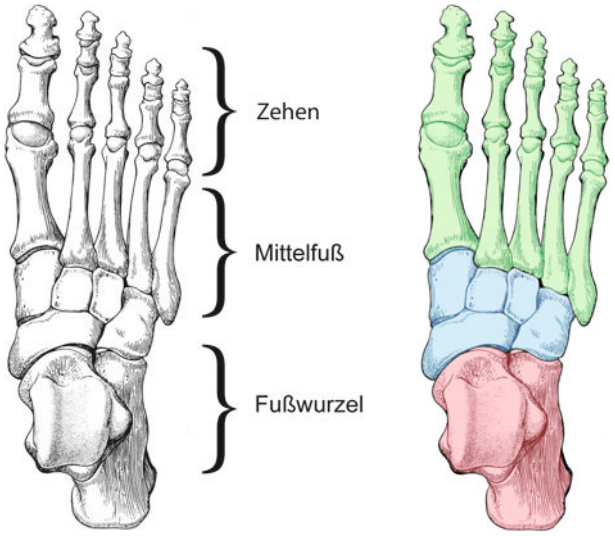
1.3.5 Fuß

Der Fuß ist sicherlich der dieser Einteilung folgend am schwersten zu kodierende Abschnitt der Körpers. Neben der Kodierung der knöchernen Verletzungsschwere betreffen weiterführende Codes im Bereich des Fußskeletts die Aufschlüsselung des jeweils betroffenen Gelenks, des verletzten Gewebes, der Frakturschwere, des Ausmaßes des Knorpel- und Kapsel- sowie ligamentären Schadens und der Dislokation [15]. Diese sehr komplexe Verfahrensweise wird der Anatomie des Fußes gerecht und ist aufgrund der Schwere vieler Fußverletzungen für eine wissenschaftliche Erfassung erforderlich. Für den Klinikalltag ist diese Vorgehensweise sicherlich nicht praktikabel, sodass die Veränderungen der Begleitstrukturen deskriptiv, z. B. im Operationsprotokoll, erfasst werden sollten.

Der Fuß wird in der AO-Klassifikation in 3 Abschnitte untergliedert – Rückfuß, Mittelfuß, Vorfuß –, die durch die beiden Gelenklinien nach Chopart und Lisfranc getrennt sind (◘ Abb. 1.11). Die Segmente der betroffenen Knochen sind von proximal nach distal durchnummeriert, die jeweils zugehörigen Knochenanteile sind der weiterführenden Literatur zu entnehmen [15].

***Beispiele* (auch ◘ Abb. 1.12, 1.13) sind:**

- 81.1-C1 intraartikuläre komplexe Talusfraktur, ein Gelenk des Knochens betreffend,
- 81.2-A3 extraartikuläre Calcaneusfraktur, die alle 3 Segmente (da extraartikulär) betrifft,
- 81.2-B2 intraartikuläre einfache Calcaneusfraktur, 2 Gelenke betreffend.



Zehen	83.1.1–5	Os metatarsale 1–5
	83.2.1–5	Grundphalangen 1–5
	83.3.1–5	Mittelphalangen 1–5
	83.4.1–5	Endphalangen 1–5
Mittelfuß	82.1	Os naviculare
	82.2	Os cuboideum
	82.3	Os cuneiforme mediale
	82.4	Os cuneiforme intermedium
	82.5	Os cuneiforme laterale
Rückfuß	81.1	Talus
	81.2	Calcaneus

◘ **Abb. 1.11. Unterteilung des Fußskeletts nach der AO-Klassifikation in Vorfuß, Mittelfuß und Rückfuß** (*Mitte*). **Auffallend ist die Differenz zur vorgestellten Kodierung der Hand und zur anatomischen Einteilung** (*links*). Bei der anatomischen Nomenklatur ist der Rückfuß mit der Fußwurzel gleichzusetzen, der Mittelfuß mit den Metatarsalia und der Vorfuß mit den Zehen. Bei der AO-Einteilung des Fußes (*Mitte*) werden die genannten Abschnitte durch die Gelenklinien nach Chopart und Lisfranc vorgegeben. Bei der AO-Einteilung der Hand bezeichnet die 2. Ziffer den Strahl und die 3. Ziffer die Höhe (Mittelhandknochen, Grund-, Mittel- oder Endglied). Beim Fuß ist dies umgekehrt, d. h. der Rückfuß erhält die Ziffer 81, der Mittelfuß die 82 und der Vorfuß die 83. Zudem erhält bei der Hand der Metacarpalknochen die Ziffer 0, beim Fuß das Metatarsale die Ziffer 1

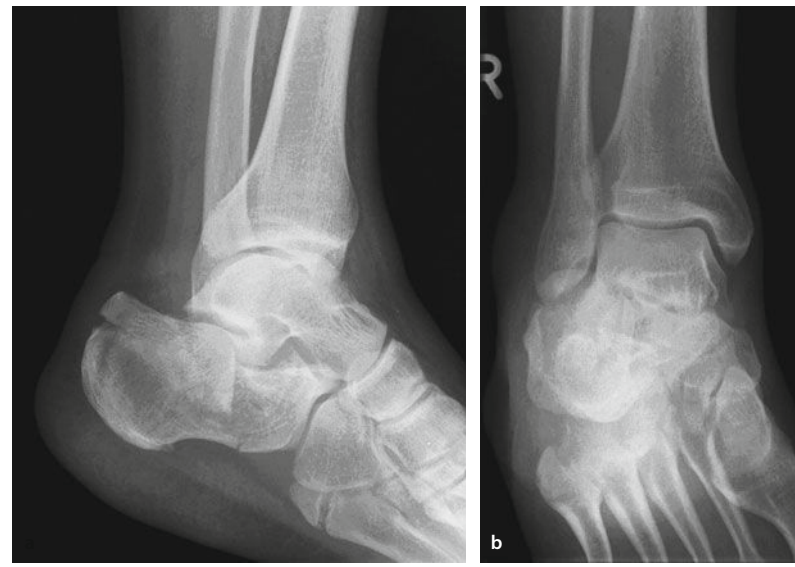


Abb. 1.12. 43 Jahre, männlich. Sturz von der Leiter. 81.2-C3. Artikuläre Calcaneusfraktur, die 3 Gelenke betrifft (CT-morphologisch gesichert). Offene Reposition, Plattenosteosynthese *(Bilder nicht demonstriert)*



Abb. 1.13. 21 Jahre, männlich. 83.1.5-A1. Supinationstrauma, Fraktur des 5. Mittelfußknochens rechts ohne Dislokation. Konservative Behandlung im Gipsschuh

1.4 Schlussbemerkung

Da wie beschrieben die Kontrolle und Beherrschung verschiedenster Therapieoptionen von übergeordneter Bedeutung sind, sind Klassifikationen unerlässliche Hilfsmittel für die Praxis der Frakturversorgung. Bei der immens großen Zahl der operativen Behandlungsmöglichkeiten wird der therapeutische und funktionelle Aspekt zum bestimmenden Kriterium, wie z. B. die Stabilität nach möglichen Wirbelkörperosteosynthesen.

Im Zeitalter der operativen Maximalversorgung ist eine Klassifikation auf pathologisch-anatomischer Grundlage wesentlich wichtiger, um die richtige Implantatwahl treffen zu können. Dieses Buch versucht daher, anhand der AO-Klassifikation eine vergleichende und empfehlende Grundlage zur Behandlung von Knochenbrüchen in der Unfallchirurgie/Orthopädie zu geben. Andere als die AO-Klassifikation werden teilweise zum besseren Verständnis erwähnt, dienen aber, da sie nicht übergreifende Systeme darstellen, nur zur Vervollständigung des jeweiligen Kapitels.

Literatur

1. L. Heister, Chirurgie, Raspe, Nürnberg, 1763
2. Poteau C., Oevres posthumes de M. Poteau, T 1–3, P.D. Pierres, Paris, 1783
3. Colles A., On the fracture of the carpal extremity of the radius, Edinburgh Med Surg J 10, 182–186, Scotland, 1814
4. J.R. Barton, Views and treatment of important injury of the wrist, Med Exam 1, 356 (1838)
5. R.W. Smith, A treatise on fractures in the vicinity of joints and of certain accidental and congenital dislocations, Hodges and Smith, Dublin 1847
6. J. F. Malgaigne, Traité des fractures et des luxations, Tome 1, des Fractures. Baillière, Paris, 1847
7. E. Destot, Fractures du tarse postérieur, Rev Chir 26: 218–249 (1902)
8. N. Lauge-Hansen, Fractures of the ankle – II combined experimental-surgical and experimental-pathologic investigations, Arch Surg 60: 957–985 (1950)
9. R.B. Gustilo, J.T. Anderson, Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones, J Bone Joint Surg 58-A: 453–458 (1976)

10. E. Morscher, Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen. Orthopäde 9: 2–6 (1980)
11. M.E. Müller, M. Allgöver, R. Schneider, H. Willenegger, Manual der Osteosynthese/AO-Technik. 3. Auflage, Springer, 1992, Berlin Heidelberg New York
12. TP Rüedi, WM Murphy, AO Prinzipien des Frakturmanagements, Thieme, Stuttgart, 2. Auflage 2008
13. M.E. Müller, S. Nazarian, P. Koch, J. Schatzker, The comprehensive classification of fractures of long bones. Springer, 1990
14. Petracic B., H. Siebert, AO-Klassifikation des Handskeletts. Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 40–44 (1998)
15. H. Zwipp, F. Baumgart, P. Cronier, E. Jorda, K. Klaue, A.K. Sands, S.W. Yung, Integral classification of injuries (ICI) to the bones, joints, and ligaments – application to injuries of the foot. Injury, Int J Care Injured 35: SB3–9 (2004)
16. M. Speck, P. Regazzoni, Klassifikation der Patellafrakturen. Z Unfallchir Vers Med 87: 27–30 (1994)
17. Orthopaedic trauma Association, Committee for Coding and Classification, Fracture and dislocation compendium. J Orthop Trauma 10: Suppl.1, v-ix, 1–158 (1996)
18. C.M. Müller-Mai, S. David, A. Ekkernkamp, Diagnostik kindlicher Frakturen. Trauma Berufskrankh 8: 28–37 (2006)
19. Marzi I. (Hrsg.), Kindertraumatologie. 1. Auflage, Steinkopff, Darmstadt, 2006
20. Tillmann, Atlas der Anatomie des Menschen, Springer, 2005, Berlin Heidelberg New York

2 Proximaler Oberarm

M. Dudda, A.S. Taheri

Definition

Bei Brüchen des proximalen Oberarms handelt es sich um körpernahe Frakturen des Humerus, wobei man sowohl die subkapitalen Humerusfrakturen als auch isolierte Abrissfrakturen des Tuberculum majus oder Tuberculum minus sowie mehrfragmentäre Frakturen des Oberarmkopfes hier zusammenfasst.

Es sind im Regelfall Frakturen des älteren Menschen [1]. Aufgrund der demographischen Entwicklung ist mit einer Zunahme zu rechnen.

Die Gesamtzahl der Frakturen in diesem Bereich wird mit 4% aller Frakturen angegeben [2]. Es ist die dritthäufigste Fraktur in höherem Alter. Durch die verminderte Knochendichte sind am häufigsten ältere Menschen, insbesondere ältere Frauen, betroffen. Wichtig zur Beurteilung der richtigen Vorgehensweise und zur Versorgung sind die 4 Hauptfragmente

- Caput,
- Tuberculum majus,
- Tuberculum minus und
- Schaft.

2.1 Mechanismus

Direkt und *indirekt* einwirkende Kräfte führen zu Oberarmkopffrakturen. Der *Sturz auf den gestreckten Arm* stellt den häufigsten Verletzungsmechanismus gerade bei älteren Menschen mit geminderter Knochendichte (Osteoporose) dar [3, 4]. Bei dieser indirekt einwirkenden Kraft bestimmt die Stellung des Arms die Frakturmorphologie. Seltener entsteht die Verletzung durch den direkten Sturz auf die Schulter im Sinne einer direkten Krafteinwirkung. Bei Stauchungsfrakturen kommt es zu einer axialen Krafteinwirkung auf den Humeruskopf, wobei häufig eine Einstauchung mit oder ohne Fraktur des Tuberculum minus oder majus entsteht. Oft sind jedoch die o. g. Tubercula frakturiert, sodass es zu einer Drei- bis Vierfragmentfraktur kommt mit Beteiligung des Collum chirurgicum und Collum anatomicum.

Die isolierte Fraktur des Tuberculum majus ist eine seltene Verletzung. In der Literatur werden verschiedene Unfallmechanismen (direkte Gewalteinwirkung durch Sturz oder Schlag, Abduktions- und/oder Außenrotationstrauma, Sturz auf den ausgestreckten Arm oder das gebeugte Ellbogengelenk, forcierte Kontraktion der Außenrotatoren) diskutiert. Bei Abrissfrakturen des Tuberculum majus oder minus kommt es durch periphere wie auch zentrale Kräfte über die Rotatorenmanschette zu einem Abrissmechanismus mit Dislokation [5]. Bei Schulterluxationen liegt in 10–30% der Fälle eine begleitende Tuberculum-majus-Fraktur vor.

2.2 Klinik

Es finden sich *typische Frakturzeichen* wie Schwellung, Druckschmerz, Hämatom und die schmerzhaft aufgehobene Funktion im Bereich des proximalen Ober-

11

arms. In der Regel wird der betroffene *Arm am Körper* in Schonhaltung getragen. Die abnorme Beweglichkeit kennzeichnet die Fraktur im Gegensatz zur federnden Fixation bei der Luxation. Kommt es bei der *Luxationsfraktur* zusätzlich zum Bruch zu einer Humeruskopfluxation, kann dies durch die »leere Pfanne« und einen unter der Haut palpablen Kopf meist unterhalb des Processus coracoideus erkennbar sein. Klinisch müssen die periphere Durchblutung, Motorik und Neurologie untersucht werden, um Gefäß-Nerven-Verletzungen auszuschließen.

2.3 Diagnostisches Vorgehen

Goldstandard in der radiologischen Nativdiagnostik sind *Röntgenaufnahmen* in wenigstens 2 Ebenen (a.-p., axiale Aufnahme des proximalen Humeruskopfes). Zusätzlich kann eine Scapula-Y-Aufnahme durchgeführt werden. Die transthorakale Aufnahme ist heutzutage obsolet, da zu viele Überlagerungen die Aussagekraft zu stark einschränken. Bei *Mehrfragmentfrakturen* bzw. Trümmerfrakturen des proximalen Humerus kann es von Vorteil sein, dass präoperativ eine *Computertomographie*, ggf. auch mit 3-D-Rekonstruktion, zur Lokalisation aller knöchernen Fragmente angefertigt wird. Dies macht die präoperative Planung der chirurgischen Versorgung der Fraktur deutlich einfacher.

Bei Nervenläsionen meist im Rahmen von Luxationsfrakturen wird eine *neurologische Untersuchung* erforderlich. Diese darf die Versorgung allerdings nicht verzögern. Lässt sich die Luxation geschlossen reponieren, kann weitere Diagnostik durchgeführt und im Verlauf versorgt werden. Gelingt die Reposition geschlossen nicht, ist offen zu reponieren und die Fraktur zu versorgen.

2.4 Klassifikationen

2.4.1 Vierfragmenteinteilung nach Codman

Die ursprüngliche Einteilung nach Codman [6] berücksichtigte zunächst die Beteiligung von 4 Hauptfragmenten, dem Kopf, dem Schaft und den Tubercula majus et minus. Nach *Mittlmeier* [7] wurde ein *5. Segment* hinzugefügt, nämlich dann, wenn das *Tuberculum majus* entsprechend der Ansätze der Mm. supraspinatus et infraspinatus *zweigeteilt* ist. Allerdings liegen die Tubercula oft als schalenartig getrümmerte Fragmente vor, sodass gerade beim osteoporotischen Knochen der ganze Bereich der ansetzenden Rotatorenmanschette als Trümmerzone vorliegt. Das Kalottenfragment selbst ist auch bei großer Dislokation meist intakt.

2.4.2 AO-Klassifikation

Die gängige AO-Klassifikation unterscheidet nach dem bekannten Prinzip extraartikuläre (A), partiell intraartikuläre (B) sowie vollständig intraartikuläre Brüche in Höhe des Collum anatomicums (C). Die Einteilung ist schematisch in ◘ Abb. 2.1 dargestellt.

Frakturen Typ A. A-Frakturen stellen unifokale extraartikuläre Frakturen (Zweifragmentbrüche) dar. Diese kommen als isolierte Tuberculum-majus-Frakturen mit und ohne Dislokation und als Frakturen im Collum chirurgicum, impaktiert, varisierend oder valgisierend vor. Abrissfrakturen und dislozierte Brüche werden operiert, andere Formen können konservativ behandelt werden. Bei Operation eignen sich Zugschrauben oder Platten.

Frakturen Typ B. Bei den B-Frakturen handelt es sich um bifokale extraartikuläre Brüche (Dreifragmentfrakturen) mit Beteiligung des Collum chirurgicum und eines Tuberkels mit oder ohne Humeruskopfluxation. Nur undislozierte Formen werden konservativ behandelt. Dislozierte Brüche werden operiert, z. B. mit winkelstabilen Implantaten wie neueren Nagelsystemen oder Platten.

Frakturen Typ C. C-Frakturen sind artikuläre Frakturen des Collum anatomicum einschließlich Drei- und Vierfragmentfrakturen mit und ohne glenohumerale Luxation. Die Prognose ist problematisch. Nicht immer ist noch eine operative Rekonstruktion möglich. Operiert wird auch hier in Abhängigkeit von der Dislokation mit verschiedenen Verfahren.

Aus dem Gesagten ergibt sich bereits der Nachteil der AO-Klassifikation dieser Lokalisation. Dislokationsgrad und Knochenqualität bestimmen eher das Vorgehen als der Schweregrad des Bruchs nach dieser Einteilung. Daher haben andere Klassifikationen gewisse Vorteile und nach wie vor auch ihre Berechtigung.

2.4.3 Beispiele weiterer Klassifikationen

Klassifikation nach Neer

Diese gängige Klassifikation der Humeruskopffrakturen nach Neer [8] unterteilt in Anlehnung an Codman den proximalen Humerus in *4 Hauptfragmente*:

- Kalotte,
- Tuberculum majus,
- Tuberculum minus,
- Humeruschaft.

In Abhängigkeit von der *Anzahl* der an der Fraktur beteiligten Fragmente wird zwischen Zwei-, Drei- und Vierfragmentfrakturen unterschieden, wobei der *Dislokationsgrad* über die Behandlung entscheidet (Abb. 2.2). Undislozierte Frakturen (Achsenabweichung <45° oder Verschiebungen bis 1 cm) können konservativ behandelt werden.

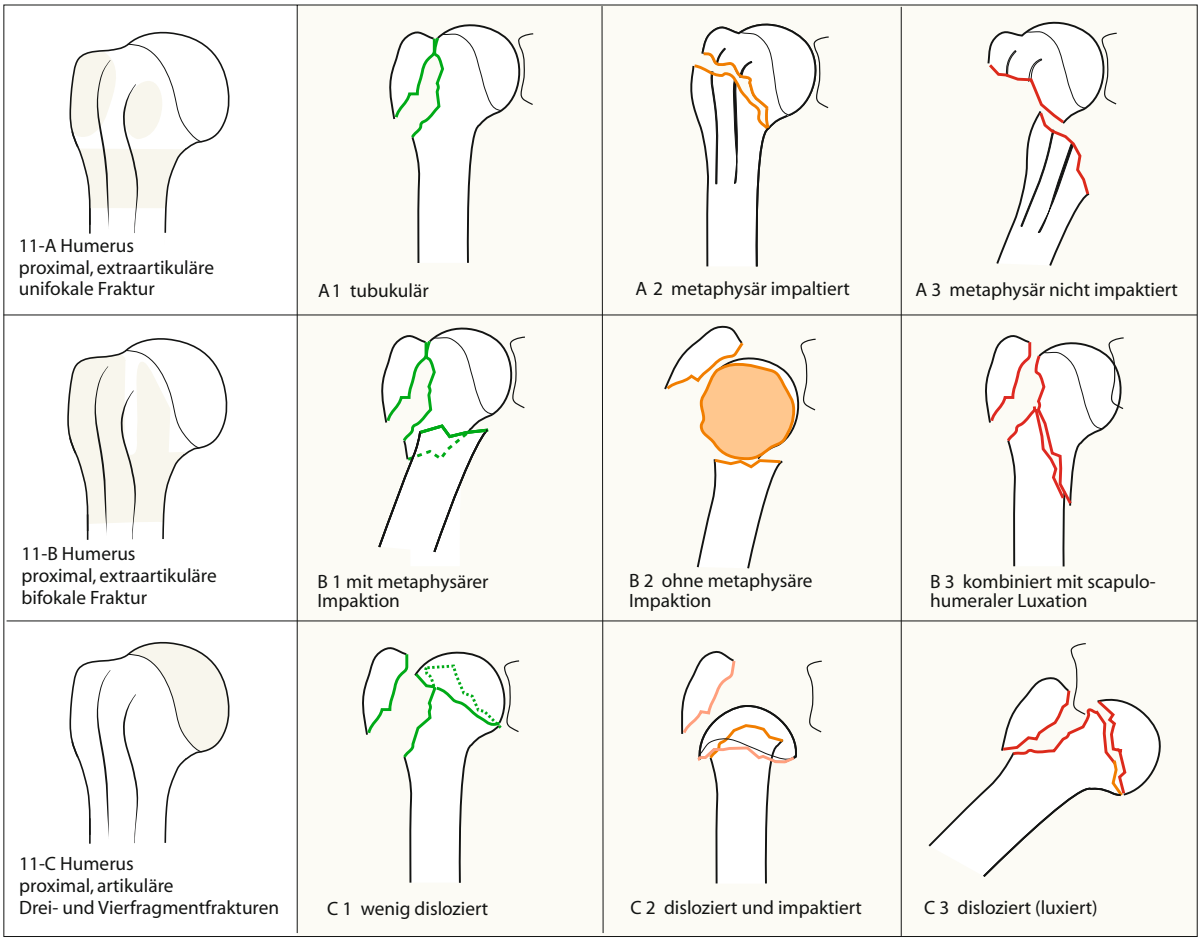


Abb. 2.1. AO-Klassifikation der Region 11 Proximaler Oberarm
a Extraartikuläre unifokale Zweifragmentfrakturen (je drei Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Extraartikuläre Fraktur des Tuberculum majus (undislozierT, dislozierT oder mit Luxation)
A2: Extraartikuläre impaktierte Fraktur im Collum chirurgicum (undislozierT, varisierend oder valgisierend):
A3: Extraartikuläre dislozierte Fraktur im Collum chirurgicum (Achsenfehler, dislozierT oder multifragmentär)
b Extraartikuläre bifokale Dreifragmentfrakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Extraartikuläre bifokale Fraktur, impaktiert (laterale Einstauchung und Fraktur des Tuberculum majus, mediale Einstauchung und Fraktur des Tuberculum minus, dorsale Einstauchung und Fraktur des Tuberculum majus)
B2: Extraartikuläre bifokale Fraktur, dislozierT (ohne Rotationsfehlstellung des proximalen Fragments, mit Rotationsfehlstellung des proximalen Fragments, Fraktur eines Tuberculums und metaphysär multifragmentär)
B3: Extraartikuläre Dreifragmentfraktur, luxiert (vertikale Fraktur mit ventraler und medialer Abkippung, vertikale Fraktur mit ventraler und medialer Abkippung sowie Fraktur des Tuberculum majus, dorsale Luxation mit metaphysärer Fraktur und Bruch des Tuberculum minus)
c Vollständig artikuläre Drei- und Vierfragmentfrakturen mit Beteiligung des Collum anatomicum (Untergruppen C1.1–C3.3)
C1: Gering dislozierT (Kopffraktur und Tuberculum-majus-Fraktur in Valgusfehlstellung, Kopffraktur und Tuberculum-majus-Fraktur in Varusfehlstellung, Collum-anatomicum-Fraktur)
C2: Impaktiert und deutlich dislozierT (Kopffraktur und Tuberculum-majus-Fraktur in Valgusfehlstellung, Kopffraktur und Tuberculum-majus-Fraktur in Varusfehlstellung, Kopffraktur mit 2 Fragmenten, Varisierung und Tuberculum-majus-Fraktur)
C3: Luxationsfrakturen (Collum-anatomicum-, Collum-anatomicum- und Tuberculum-majus-Fraktur, Fragmentierung von Kopf und Tuberkula mit Dislokation)

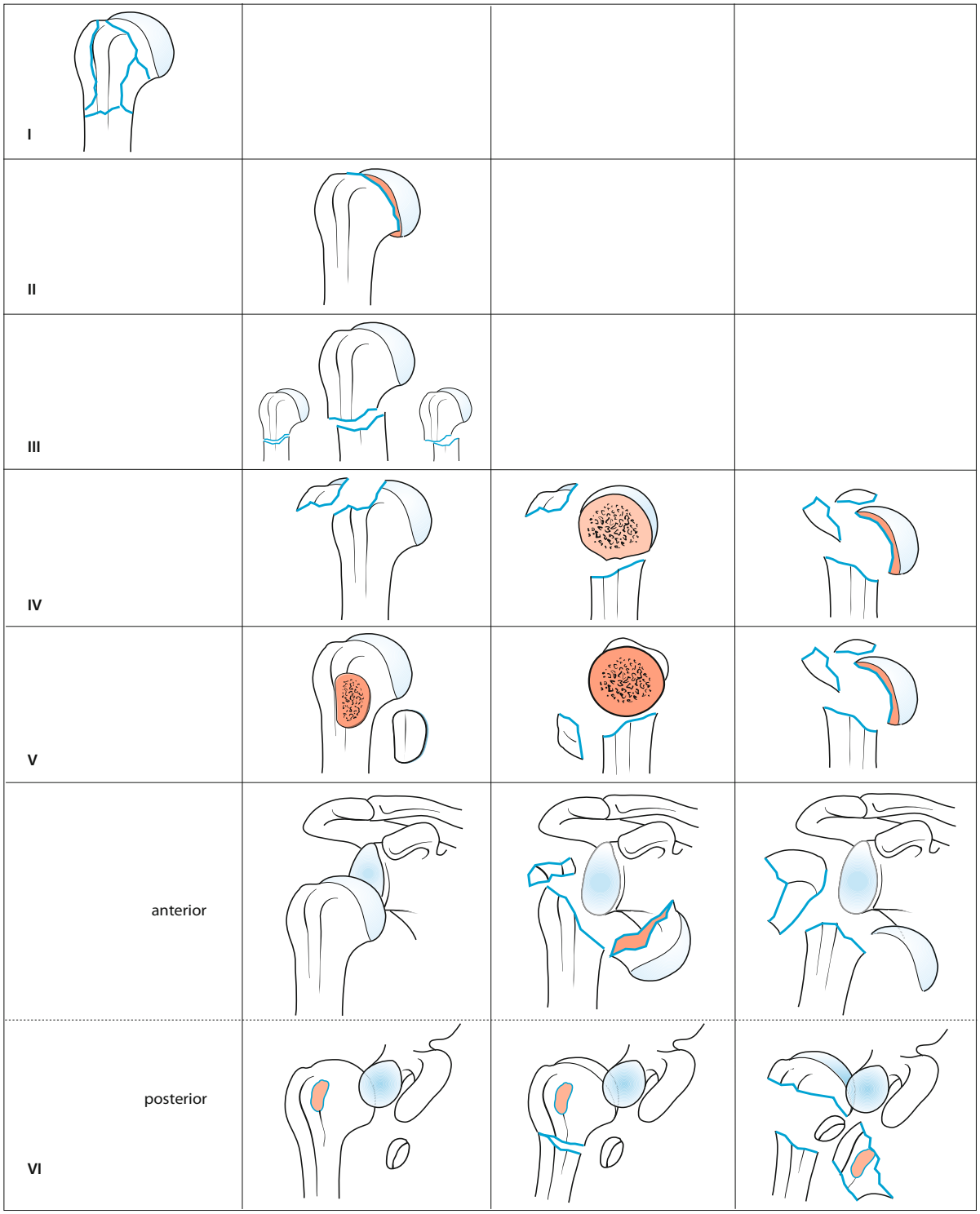
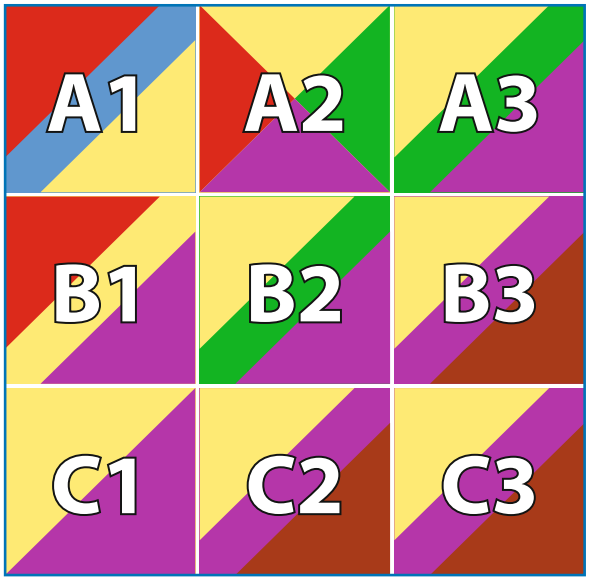


Abb. 2.2. Einteilung der proximalen Humerusfrakturen nach Neer *(berücksichtigt werden die Anzahl der Fragmente und der Dislokationsgrad)*
I: Unverschobene Brüche (Verschiebung bis 1 cm, Achsenabweichung bis 45°), unabhängig von der Anzahl der Fragmente
II: Verschobene Zweifragmentfrakturen im Collum anatomicum
III: Verschobene Zweifragmentfrakturen im Collum chirurgicum
IV: Zwei- bis Vierfragmentfrakturen mit Beteiligung des Tuberculum majus
V: Zwei- bis Vierfragmentfrakturen mit Beteiligung des Tuberculum minus
VI: Luxationsfrakturen (anterior oder posterior)

2.5 Therapeutisches Vorgehen

Therapieziele sind die vollständige Wiederherstellung der Gelenkfunktion sowie die Rekonstruktion der anatomischen Verhältnisse. Dislozierte Fragmente müssen anatomisch reponiert werden, um eine vollständige Gelenkfunktion zu erreichen, Achsenfehlstellungen sollten ausgeglichen werden. Nicht dislozierte Frakturen wie die subkapitale Humerusfraktur (eingestaucht) oder nicht dislozierte Tuberculum-majus- oder -minus-Frakturen können konservativ behandelt werden. A3-, B- und C-Frakturen nach der AO-Klassifikation müssen in der Regel operativ versorgt werden (◘ Abb. 2.3).

Schlüsselfragmente bei der Osteosynthese stellen *Kopf und Schaft* dar. Die Tubercula werden an die Schlüsselfragmente fixiert. Aufgrund der oftmals geringen Knochendichte bei Osteoporose ist eine hohe Primärstabilität der zur Osteosynthese verwendeten Implantate erforderlich. Die höchste Knochendichte findet sich in den kranialen, medialen und posterioren Abschnitten des Humeruskopfs [9]. Die Präparation bei der Osteosynthese darf die Perfusion nicht weiter einschränken. Insbesondere ist das posteromediale Kantenfragment des Kopfes wegen der dort einstrahlenden Äste der Aa. circumflexae für die Perfusion und damit die Prognose entscheidend [9].



◘ Abb. 2.3. Therapieoptionen bei proximalen Humerusfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese
- Prothese
- Marknagelosteosynthese

Die Implantatwahl wird oft durch das persönliche Erfahrungsspektrum bestimmt, da prospektiv randomisierte Studien zur Ergebnisqualität noch nicht vorliegen.

2.5.1 Konservative Therapie

Die konservative Therapie kommt bei *nicht dislozierten* isolierten subkapitalen Humerusfrakturen oder auch isolierten nicht dislozierten Tuberculum-majus- oder -minus-Abrissfrakturen zum Einsatz. Hier erfolgt die Ruhigstellung im Gilchrist-Verband unter regelmäßigen Röntgenkontrollen des betroffenen Schultergelenks. Bei fraglicher Instabilität eignet sich die Mobilisation unter Bildwandlerkontrolle, wobei die konservative Therapie fortgeführt werden kann, wenn keine Dislokation unter Mobilisation erkennbar ist. Häufig kann bereits nach 3-wöchiger Ruhigstellung im Gilchrist-Verband oder der PSI-Weste nach zuvor durchgeführter Röntgenkontrolle eine frühfunktionelle Behandlung mit passiver Krankengymnastik, übergehend in die aktiv assistierte Physiotherapie, durchgeführt werden (◘ Abb. 2.4).

2.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese

Diese Osteosyntheseform eignet sich zur Behandlung einfacher *Zweifragmentfrakturen* insbesondere bei *jüngeren Patienten* (◘ Abb. 2.5). Nach geschlossener Reposition kann dann mittels Drähten in der Regel der Stärke 2 mm das Schaftfragment am proximalen Humerus fixiert werden. Bei älteren Patienten mit verminderter Knochendichte eignet sich dieses Verfahren jedoch nicht, da häufig eine Auswanderung der Drähte oder eine Dislokation auch bis in das Gelenk beobachtet werden kann. Probleme durch eine Irritation des Weichgewebes durch die unter die Haut versenkten Drahtenden sind nicht selten [10].

Die Versorgung mit Cerclagen und Zuggurtungsosteosynthesen wird bei Zwei- bis Vierfragmentfrakturen im Collum chirurgicum oder bei Mitbeteiligung des Collum chirurgicum eingesetzt. Hierzu sollte das Tuberculum majus intakt sein, da es als Verankerung für die Draht-Cerclage dient. Auch isolierte Tuberculum majus-/minus-Abrissfrakturen können mit dünnen Kirschnerdrähten (z. B. 1,8 mm) oder Draht-Cerclagen versorgt werden. Hier ist insbesondere darauf zu achten, dass die Größe des Tuberculum majus-/minus-Fragmentes ausreichend ist, damit keine Sprengung oder weitere Frakturierung des Fragments durch das Implantat hervorgerufen wird. Zugschrauben führen zu besseren Ergebnissen, da weniger Komplikationen und eine größere Kompression erzielt werden.

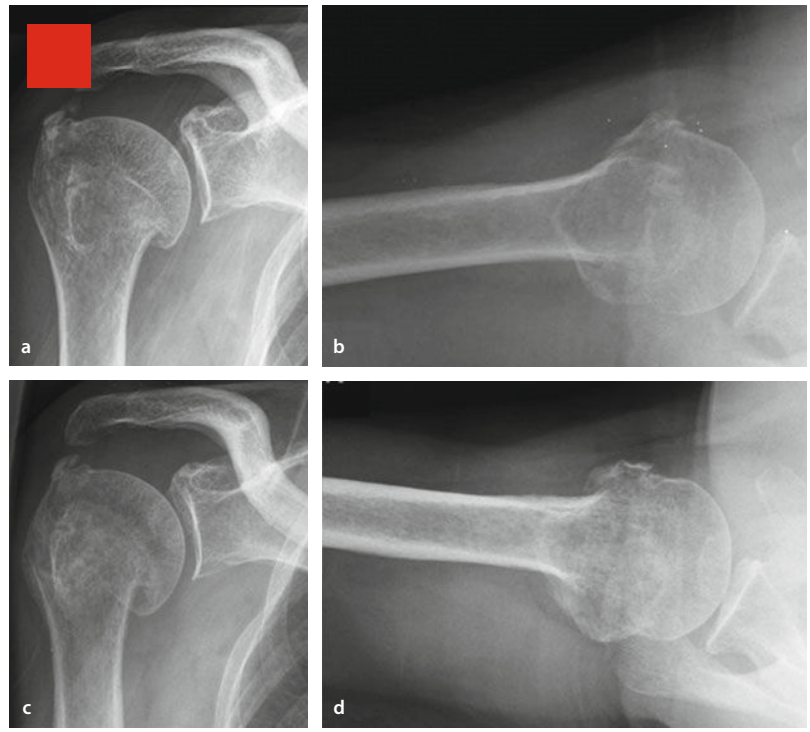


Abb. 2.4. 73 Jahre, weiblich; Sturz auf den angelegten Arm. Subkapitale nicht dislozierte Humerusfraktur (A2-Fraktur nach AO, Neer-I-Fraktur) rechts (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Konservative Behandlung im Gilchrist-Verband; Beginn mit Pendeln ab der 3. Woche nach Röntgenstellungskontrolle. Im Verlauf keine weitere Dislokation, daher weitere konservative Therapie. Röntgenverlaufskontrolle der Fraktur nach 6 Wochen, vollständige knöcherne Konsolidierung ohne Dislokation (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

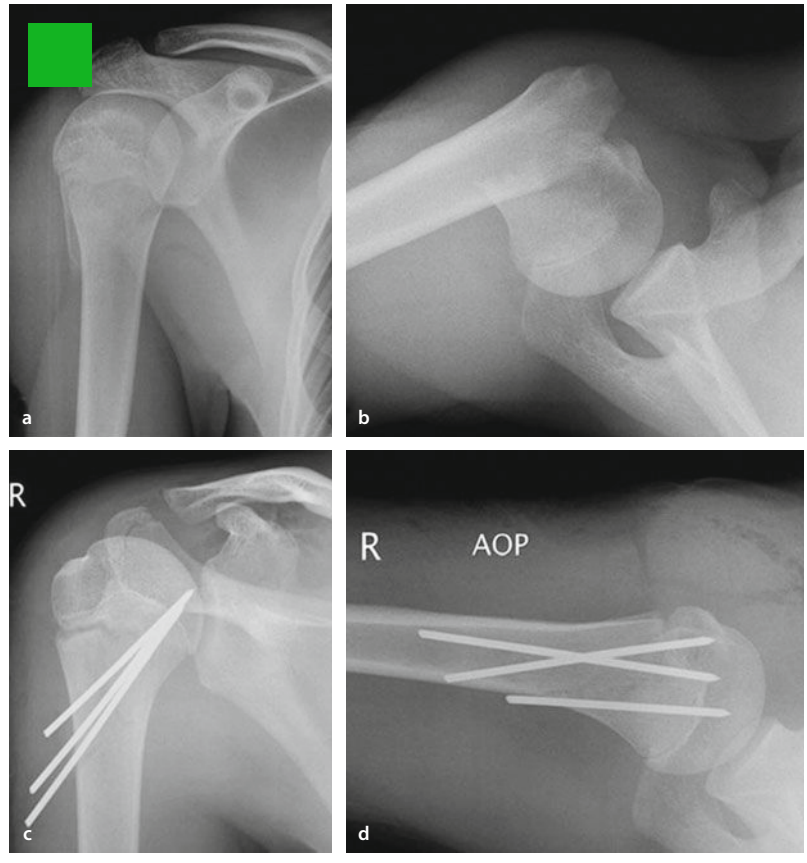


Abb. 2.5. 16 Jahre, männlich. Sturz auf den gestreckten Arm. Dislozierte subkapitale Humerusfraktur (A3-Fraktur nach AO, Neer-III-Fraktur) mit vollständigem Verlust des Fragmentkontakts, Abkippung in der axialen Aufnahme um 90° (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Versorgung durch Reposition und Osteosynthese mittels von lateral eingebrachten perkutanen Kirschner-Drähten (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

2.5.3 Schraubenosteosynthese

Isolierte *Tuberculum-majus-Abrissfrakturen* (Abb. 2.6) bzw. *Tuberculum-minus-Frakturen* können durch Schraubenosteosynthesen refixiert werden [11]. Hier können kanülierte oder solide Kleinfragmentzugschrauben eingesetzt werden. Sie werden perkutan nach Stichinzision und Spreizen der daruntergelegenen Gewebsschichten eingebracht.

Unterlegscheiben haben sich bewährt, da es sich oft um Brüche des Betagten und/oder mehrere kleine Fragmente handelt. Bei guter Knochenqualität kann auf diese verzichtet werden, da sonst das einliegende Osteosynthesematerial aufträgt und es zu einer Impingement-Symptomatik mit Schmerzen insbesondere bei der Abduktion des Arms kommen kann.

Alternativ können auch bei den isolierten Tuberculum-majus-/-minus-Abrissfrakturen Drähte und Draht-Cerclagen genutzt werden (▶ Kap. 2.5.2). Bei der isolierten Tuberculum-minus-Abrissfraktur sollte ebenfalls durch interfragmentäre Zugschraubenosteosynthese refixiert werden, da sonst Pseudarthrosen und in Fehlstellung verheilte Frakturen häufig zu beobachten sind [10, 12].

2.5.4 Plattenosteosynthese

Diese Osteosyntheseform wird bei *Zwei- bis Vierfragmentfrakturen* bei Beteiligung des *Collum chirurgicum* eingesetzt. Hier eignen sich Großfragment-T- oder Kleeblattplatten, die anterolateral angebracht werden. Bei den nicht winkelstabilen Platten empfiehlt sich eine exakte Schraubenlänge. Diese sind direkt im subchondralen Knochen zu verankern, damit bei diesen Implantaten eine ausreichende Stabilität erzielt wird. Kommt es zu einem Einsinken des Kopfes, z. B. bei stark osteoporotischen Knochen, ist eine frühzeitige Teilmetallentfernung nur der den Kopf perforierenden Schrauben zeitnah zu empfehlen, um eine Knorpeldestruktion zu vermeiden. Bei Mehrfragmentfrakturen werden die *Tubercula* durch zusätzliche Nähte (*Fadenzuggurtung*) an die Platte fixiert. Eine sichere Verankerung insbesondere bei osteoporotisch verändertem Knochen ist nur bedingt möglich.

In den letzten Jahren haben sich *winkelstabile Plattensysteme* im Bereich des proximalen Humerus durchgesetzt (Abb. 2.7, 2.8), da gerade beim älteren Patienten mit verminderter Knochendichte eine *bessere Primärverankerung*

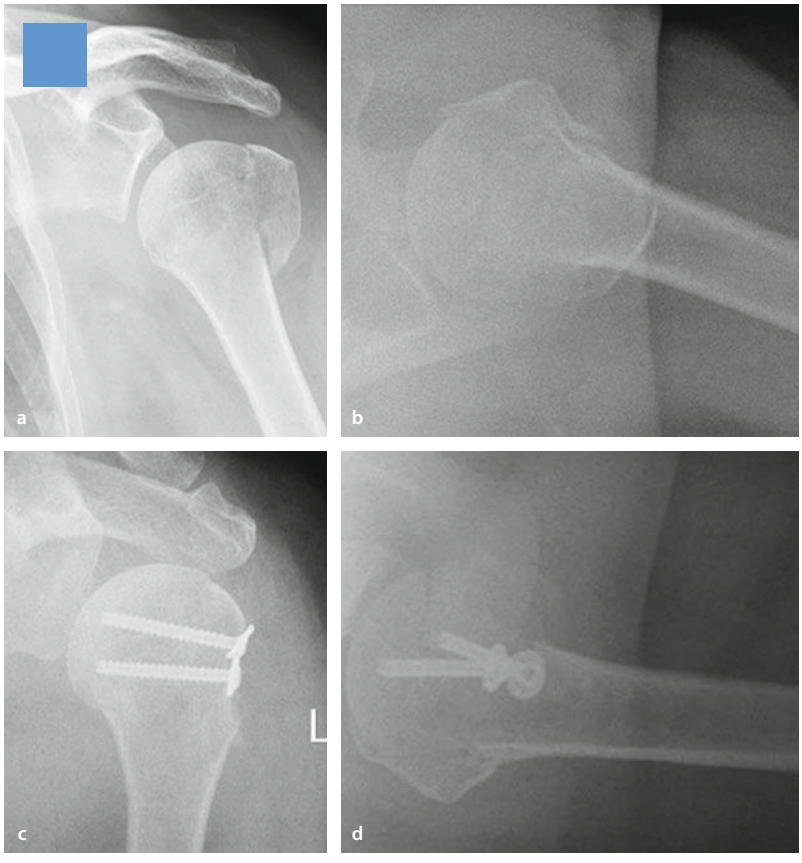


Abb. 2.6. 42 Jahre, weiblich. Abrissfraktur nach Sturz auf den abduzierten Arm. Isolierte Tuberculum-majus-Abrissfraktur links (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Osteosynthese mittels 2er kanülierter Zugschrauben mit Unterlegscheiben mit anatomischer Reposition und leichter Impression des lateralen Tuberculums aufgrund schlechter Knochenqualität (Osteoporose; **c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

11

und Retention nach Reposition erreicht werden kann. Diese Implantate sind der Kopfkontur anatomisch angepasst, die proximalen Schrauben divergieren im Kopf, und die Platten weisen ein flaches Profil auf, um ein postoperatives Impingement zu vermeiden.

Einige Systeme erlauben es, die Schrauben polyaxial winkelstabil zu verankern. Dies hat den Vorteil, dass sie in einzelnen Fragmenten und auch in den Orten mit höchster Knochendichte im Humeruskopf sicherer platziert werden können.

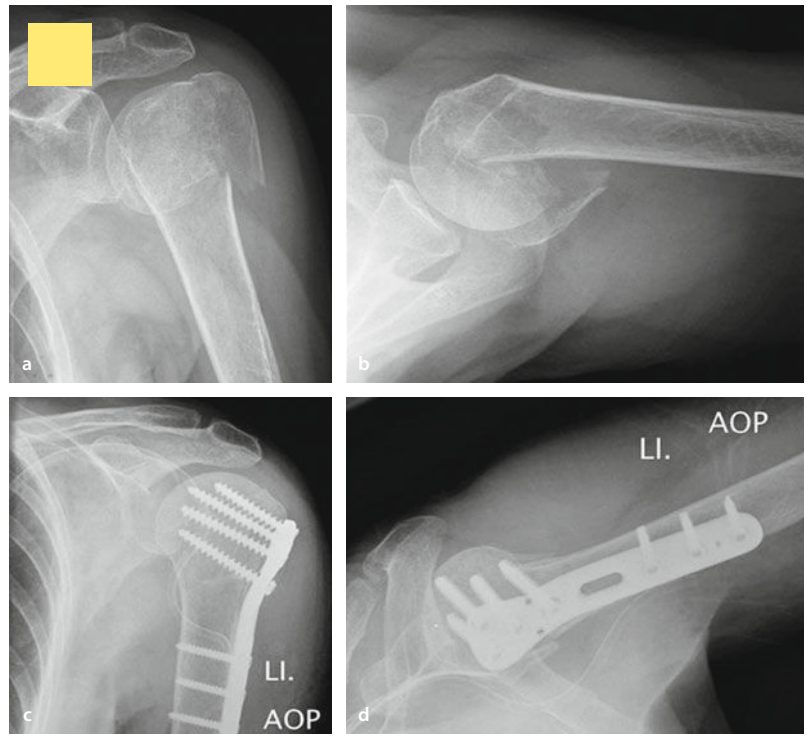


Abb. 2.7. 67 Jahre, weiblich. Sturz auf die oberere Extremität bei Glatteis. Dreifragmentfraktur mit deutlicher Dislokation des Humeruskopfes und des Tuberculum majus sowie Impaktierung. B1-Fraktur nach AO-Klassifikation, nach Neer Dreifragmentfraktur vom Typ IV (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte und anatomischer Rekonstruktion (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme, nicht ganz exakt eingestellt)

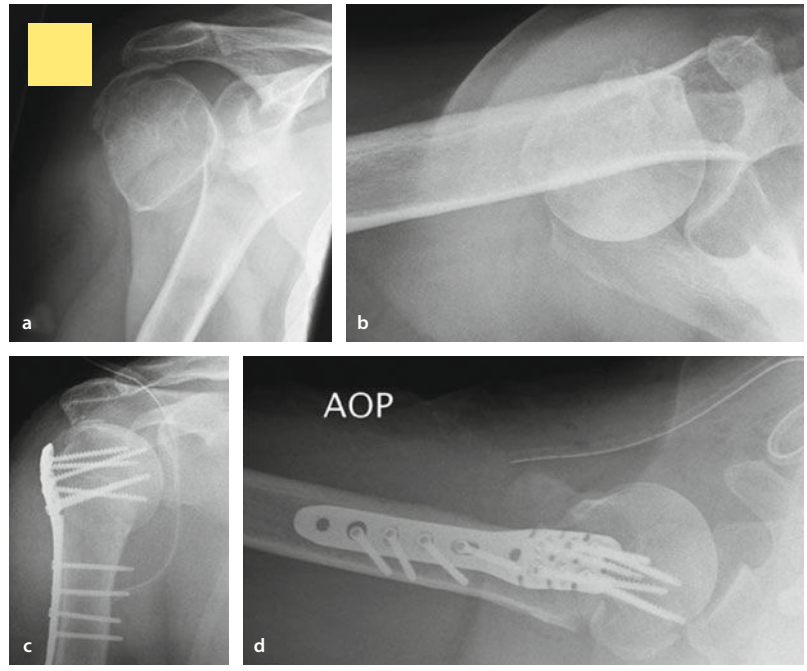


Abb. 2.8. 58 Jahre, männlich. Sturz mit dem Motorroller (Wegeunfall). Vollständig dislozierte subkapitale Humerusfraktur mit zusätzlichem schalenartigem Tuberculum-majus-Fragment rechts. B2-Fraktur nach AO-Klassifikation, nach Neer Dreifragmentfraktur vom Typ IV (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Rekonstruktion und Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme mit verbliebener funktionell unbedeutender Restfehlstellung)

Wichtig

Entscheidend ist, dass die proximalen Humeruskopfschrauben, die winkelstabil verankert werden, wenige Millimeter von der Kopfkalotte entfernt bleiben, da es durch die verminderte Knochendichte häufig zur Sinterung und Varisierung des Kopfes kommt. So wird eine Perforation ins Gelenk vermieden [13].

Neuere Studien zeigen, dass das Verhältnis von Implantatkosten im Vergleich zu nicht winkelstabilen Implantaten z. T. enorm ist und dass das funktionelle Ergebnis eher von der initialen Reposition und anatomischen Stellung der Fraktur abhängig ist als von der Verwendung des winkelstabilen Implantats [14, 15]. Auch Frakturen im Collum anatomicum können so versorgt werden (Abb. 2.9). Nach Reposition können *Knochendefekte* verbleiben, die aus Stabilitätsgründen mit *Knochenersatzstoffen* oder Knochentransplantaten aufgefüllt werden sollten.

Die Technik der Plattenimplantation umfasst zunächst einen *deltoideopectoralen Zugang*, leicht S-förmig verlaufend und etwas unterhalb des Acromioclaviculargelenks beginnend. Eingegangen wird in den Sulcus unter Schonung der V. cephalica. Medial in Höhe des Kopfs muss die Präparation vorsichtig geschehen, um die Perfusion nicht weiter zu kompromittieren. Eine gewisse Kopfimpaktion kann bei Osteoporose mitunter belassen werden. Es folgen der Ausgleich der Horizontalverschiebung, das Anheben der Kalotte und die Derotation. Bei jungen Patienten müssen Kalotten-Schaft-Achsenwinkel und Retrotorsion wiederhegestellt werden.

Abschließend werden die Tubercula eingepasst und die Platte 0,5–1 cm unterhalb des Supraspinatusansatzes aufgelegt. Sie wird zunächst mit einer Kortikalisschraube im Gleitloch fixiert. Nach Röntgenkontrolle und vollständigem Besetzen erfolgt die Fadenzuggurtung der Tubercula durch spezielle in der Platte vorhandene Löcher. Bei den Kopfschrauben ist aufgrund des insbesondere bei älteren Patienten beobachteten Nachsinterns eine Unterdimensionierung der Schraubenlänge von ca. 4 mm je nach Knochenqualität zu empfehlen. Auch ein minimalinvasives Platzieren der Platte ist unter bestimmten Bedingungen über einen kleinen Deltoid-Split-Zugang möglich [9].

Schlüsselfragmente bei der Osteosynthese sind Kopf und Schaft. Die Reposition beginnt mit dem Ausgleich der Horizontalverschiebung. Dann folgen Kalottenanhebung und Derotation. Bei jungen Patienten werden Kalotten-Schaft-Achsenwinkel und Retrotorsion wiederhegestellt. Die Reposition endet mit dem Einpassen der Tubercula. Die Platte liegt ca. 0,5–1 cm unterhalb der Tuberculum-majus-Spitze.

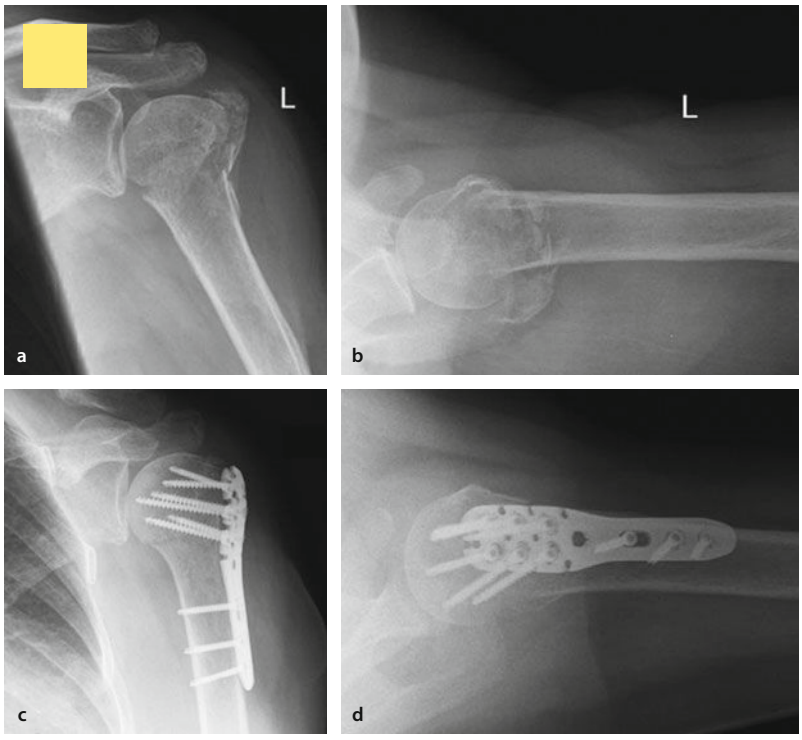


Abb. 2.9. 44 Jahre, weiblich. Skiunfall. Humeruskopfmehrfragmentfraktur impaktiert. C1-Fraktur nach AO-Klassifikation, nach Neer Dreifragmentfraktur vom Typ IV (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Versorgung der Fraktur mittels winkelstabilem Implantat und anatomischer Rekonstruktion (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

11

2.5.5 Marknagelosteosynthese

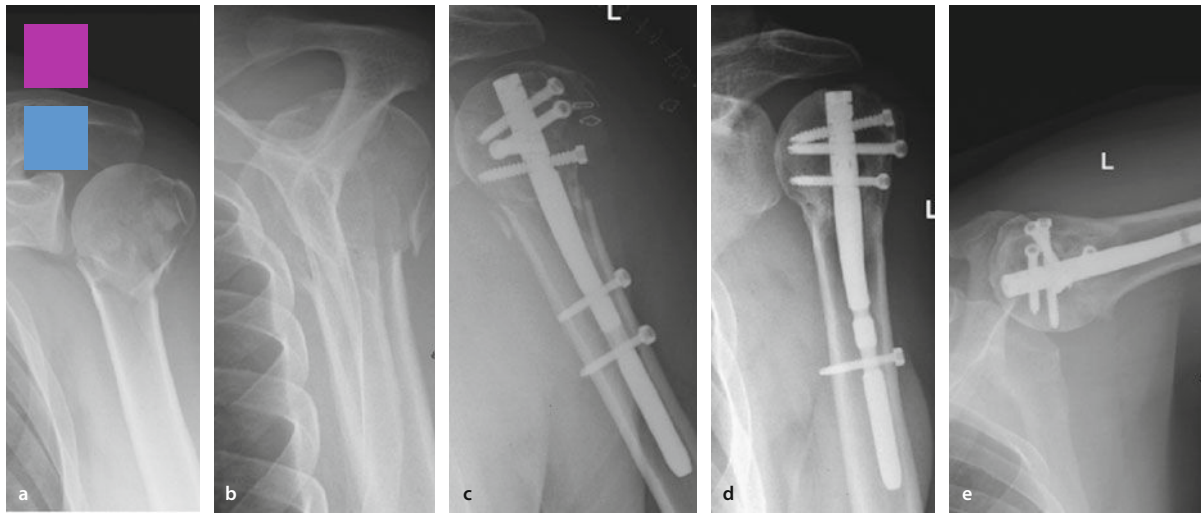
Für die Osteosynthese von Frakturen im proximalen Oberarmbereich sind spezielle *Marknagelsysteme* entwickelt worden, die sich aufgrund des Verankerungsprinzips *insbesondere* für den *osteoporotischen Knochen* eignen. Gut versorgt werden können subkapitale Zweifragmentfrakturen, wobei auch mehr und mehr Drei- und Vierfragmentfrakturen mittels proximalem Humerusnagel operiert werden [13]. Vorteile sind die höhere Stabilität und die weichteilschonende Technik der Implantation über einen relativ kleinen transdeltoidalen Zugang. Die Tubercula können bei Mehrfragmentfrakturen durch Verriegelungsschrauben am Nagel fixiert werden [16]. Gefahren sind ein proximales Überstehen des Implantates, wodurch ein subacromiales Impingement ausgelöst werden kann, aber auch eine Verletzung der Rotatorenmanschette, wenn zu traumatisch präpariert wird.

Prinzip der Marknagelosteosynthese der proximalen Humerusfrakturen ist die *hohe Primärstabilität* zwischen *Kalotten- und Schaftfragment*. Diese wird durch den Formschluss zwischen Kalotteneintrittsöffnung bei zentral im Kopffragment liegendem Eintrittspunkt und proximalem Nagelende erreicht. Zusätzlich wird das Kopffragment durch winkelstabile Verriegelungsschrauben, die wie Stellschrauben wirken, abgestützt [17]. Die Stabilität steigt mit der Anzahl der implantierten Schrauben. Die Verriegelungsschrauben stützen nicht nur das Kopffragment, sie dienen auch als Verankerungen für Fadenzuggurtungen der Tubercula (◘ Abb. 2.10). Alternativ kann ein lateraler Eintrittspunkt in den Kopf gewählt werden, wenn das Tuberculum majus nicht frakturiert ist.

Die Marknagelosteosynthese findet zweckmäßigerweise auf einem Schultertisch in Rückenlage statt. Auch eine Beach-chair-Position ist möglich. Der Zugang verläuft quer vor dem vorderen Acromion und kann bis zum AC-Gelenk bzw. in den M. deltoideus im Sinne eines Delta-Splits erweitert werden. Der M. supraspinatus wird mit einem kurzen Längsschnitt inzidiert. So kann das gesamte proximale Humerusdrittel dargestellt werden, wenn es die Situation erfordert.

Kontraindikationen für die Marknagelosteosynthese stellen Luxationsfrakturen, die sich geschlossen nicht reponieren lassen, Frakturen mit instabilem Knochen im Eintrittsbereich des Nagels und sog. Head-split-Frakturen dar. Hier ist die winkelstabile Plattenosteosynthese das Verfahren der Wahl.

Als *Sonderform* der endomedullären Osteosynthese kann die *Titanwendel* angesehen werden. Sie eignet sich für die Versorgung von Frakturen des älteren Patienten. Am ehesten geeignet sind einfache Zwei- oder Dreifragmentfrakturen, wenn die Kalotte ausreichend fixiert werden kann. Vierfragmentfrakturen zeigen eine hohe Komplikationsrate. Es handelt sich hierbei um ein Titanimplantat in verschiedenen Durchmessern von 9–12 mm. Ähnlich wie Kirschner-Drähte ist diese Osteosyntheseform als eher instabil zu werten. Sie hat sich daher nicht allgemein durchgesetzt und wird von den Autoren nicht empfohlen. Das Fixierungsprinzip ist hier wie auch bei der intramedullären Versorgung die elastische Dreipunktverklemmung [18, 19].



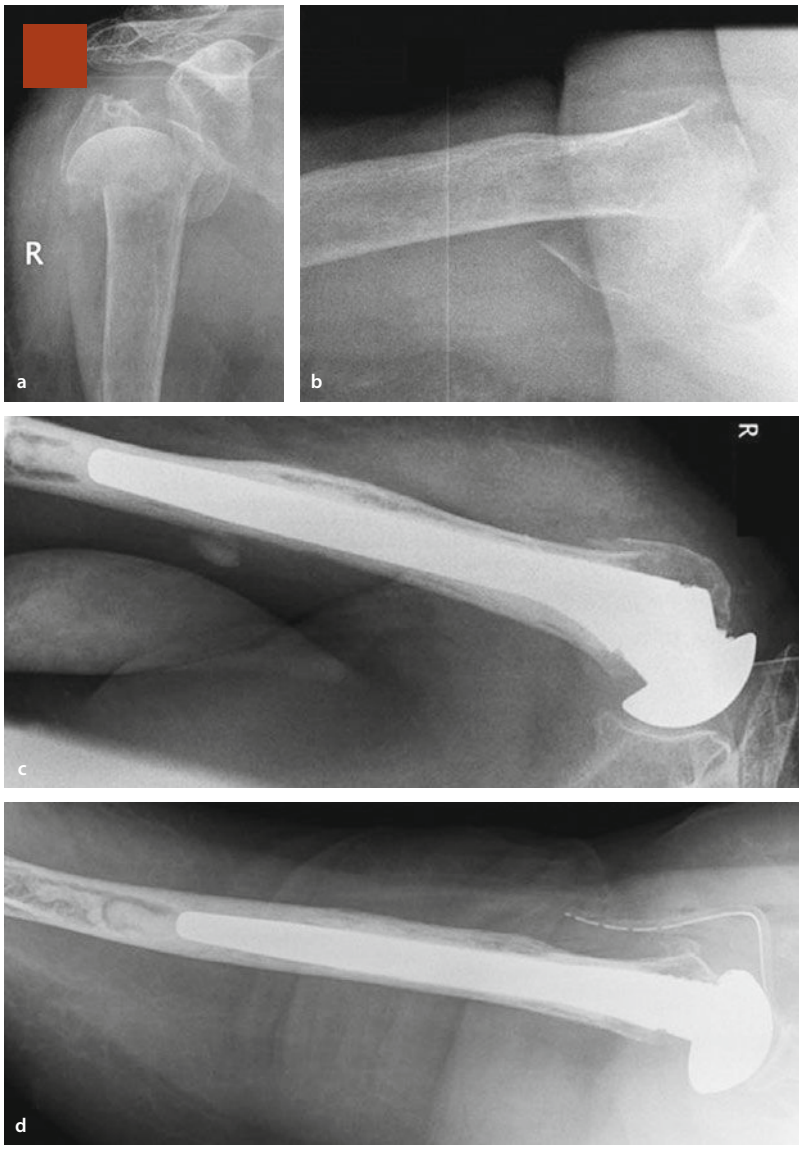
◘ Abb. 2.10. 49 Jahre, männlich. Direkter Sturz auf die linke Schulter beim Skifahren. B1-Fraktur nach AO bzw. Neer-IV-Dreifragmentbruch. Osteosynthese mit Marknagel über zentralen Zugang nach offener Reposition, Verriegelungsschrauben zur Stabilisierung des Kalottenfragments und Fadenzuggurtungen des getrümmerten Rotatorenmanschettenansatzes [26]

2.5.6 Prothetik

Die Indikation für diese Art der Versorgung einer proximalen Humerusfraktur ist an ein hohes Lebensalter des Patienten bei stark *verminderter Knochendichte* im Rahmen osteoporotischer Veränderungen gebunden, wenn die bewährten Verfahren der winkelstabilen Plattenosteosynthese oder des Marknagels nicht mehr einsetzbar sind. Eine typische Indikation stellt die *Mehrfragmentfraktur* mit dislozierem Kopffragment mit *medial am Collum anatomicum abgerissenem Periost* dar, da hier aufgrund der zerstörten Perfusion das Kopfnekroserisiko extrem hoch ist.

Verschiedenste *Frakturendoprothesen* sind auf dem Markt erhältlich. Prinzip ist hier nur der Ersatz des zertrümmerten Kopfes, wobei die die Muskelansätze tragenden Tubercula am proximalen Schaftanteil mit nicht resorbierbaren Nähten oder Cerclagen fixiert werden (◘ Abb. 2.11). Autogene Spongiosa aus dem Kopf sollte unterfüttert werden.

Nicht selten findet man beim Betagten auch vorbestehende Schäden der Rotatorenmanschette. In solchen Fällen sind *inverse Prothesen* indiziert. Hier werden im Gegensatz zur Frakturendoprothese Kopf und Pfanne ersetzt. Prinzip ist die *Lateralisierung des Drehzentrums*. Sie wird dadurch erreicht, dass der Kopfanteil der Prothese im Glenoid verankert wird und die Pfannenkomponente im Schaft. Der M. deltoideus kann dann bei der Armhebung die Funktion der Rotatorenmanschette teilweise kompensieren.



◘ Abb. 2.11. 76 Jahre, weiblich. Häuslicher Sturz nach Synkope; Osteoporose. Vierfragmentfraktur des Humeruskopfes (C2-Fraktur nach AO, Neer-V-Vierfragmentfraktur) mit völliger Destruktion des Kopfes und Impaktierung sowie Dislokation von Tuberculum majus und minus (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Operative Versorgung mittels zementierter Frakturendoprothese, da eine osteosynthetische Rekonstruktion nicht mehr möglich ist. Fixierung der Tubercula an den proximalen Prothesenschaft unterhalb des Kalottensegments mit nicht resorbierbaren Nähten (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

Typische *Indikationen* für die prothetische Versorgung stellen die valgisch impaktierte Vierfragmentfraktur dar, insbesondere bei Dislokation oder Luxation, verhakte Frakturen sowie der Verlust von >50% der artikulierenden Humeruskopffläche. Solche Verletzungen lassen keine andere sinnvolle Versorgung zu. Auch bei Humeruskopf-Split-Frakturen, die nicht rekonstruiert werden können, sind Endoprothesen oft die einzige Möglichkeit [21].

2.6 Nachbehandlung

Nicht dislozierte Frakturen (nach Neer bis 45° Abkippung oder bis 1 cm Versatz) können nach einer initialen Ruhigstellung bei konservativer Therapie nach etwa 10 Tagen mittels Pendelübungen beübt werden. Nach Röntgenkontrollen kann dann nach 2–3 Wochen eine passive Krankengymnastik durchgeführt werden. Nach 4 Wochen kann mit aktiv assistierter Krankengymnastik und nach 6 Wochen mit aktiver Krankengymnastik begonnen werden.

> Nicht dislozierte Frakturen (nach Neer bis 45° Abkippung oder bis 1 cm Versatz) können konservativ behandelt werden. Pendelübungen stellen den Beginn der Übungsbehandlung ab etwa dem 10. Tag nach Fraktur dar.

Perkutan versorgte Frakturen, z. B. durch Zugschraubenosteosynthese, Draht-Cerclage oder Kirschner-Drähte, können ebenfalls nach dem oben beschriebenen Schema beübt werden. Bei ausreichender Stabilität, z. B. nach Zugschraubenosteosynthese, kann dann bereits ab der 3. Woche passiv und aktiv assistiv beübt werden, und es kann nach 4–6 Wochen und Röntgenkontrolle eine aktive Krankengymnastik erfolgen.

Bei internen Fixationsverfahren wie Platten- oder Marknagelosteosynthese kann eine frühfunktionelle Behandlung mit sofortiger aktiv assistierter Krankengymnastik durchgeführt werden. Eine prospektiv randomisierte Untersuchung belegt, dass kein Vorteil einer 1- oder 3-wöchigen Ruhigstellung gegenüber der sofortigen Beübung besteht [22].

Metallentfernungen sind obligat bei Kirschner-Drahtosteosynthesen aufgrund der Weichteilirritation und Dislokationstendenz der Drähte. Zu empfehlen ist diese Operation bei Zugschraubenosteosynthesen, wenn sie zu lokalen Beschwerden führen. Nach Nagel- oder Plattenosteosynthesen sind Metallentfernungen aufgrund des überwiegend betagten Klientels nur bei Beschwerden (z. B. Impingement) oder bei Jüngeren mit funktionell höherem Anspruch zu empfehlen.

2.7 Sonderformen

Besondere Therapiestrategien ergeben sich für Schwerverletzte, Kinder und bei pathologischen Frakturen.

Schwerverletzte/Polytrauma. So steht beim Schwerverletzten und insbesondere beim polytraumatisierten Patienten die Stabilisierung der Vitalfunktionen im Vordergrund. Die operative Versorgung von Frakturen im Bereich des proximalen Oberarms erfolgt daher nach den oben genannten Prinzipien erst nach Stabilisierung der Allgemeinsituation nach der endgültigen Versorgung der großen Röhrenknochen. Eine intermediäre Lösung mittels Fixateur externe ist nicht sinnvoll.

Kinder. Bei Kindern ist der typische Verletzungsmechanismus der Fall auf den nach rückwärts ausgestreckten Arm. Selten finden sich direkte Traumata am proximalen Humerus des Kindes. Eine spezielle Form ist die proximale Humerusfraktur des Neugeborenen bei hyperextendiertem oder derotiertem Arm während der Geburt.

Die Einteilung der Fraktur erfolgt bei Kindern und Jugendlichen nach *Salter u. Harris* [23] mit

- Typ I: Lösung der Epiphyse (typische Geburtsverletzung).
- Typ II: Epiphyse mit einem metaphysären Fragment, welches meistens posteromedial zu finden ist.

Diese Frakturen sind typischerweise bei Kinder >12 Lebensjahren zu finden.

- Typ III: Intraartikuläre Frakturen, die selten mit Dislokationen assoziiert sind.
- Typ IV: Sehr selten; intraartikuläre transepimetaphysäre Frakturen.

Die Behandlung erfolgt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle *konservativ*, da die proximale Epiphyse des Oberarms ein großes Wachstumspotenzial aufweist und damit ein *großes Korrekturpotenzial* mitbringt.

Die Neugeborenenverletzungen – meistens vom Typ Salter-Harris Typ I – haben eine exzellente Prognose bei konservativer Behandlung. Selten muss eine geschlossene Reposition durchgeführt werden. Die Immobilisation erfolgt nur so lange, bis beginnender Callus in der Röntgenkontrolle zu erkennen ist. Dies kann bereits nach 3–4 Tagen der Fall sein. Bei älteren Kindern müssen diese Frakturen nach Reposition 2–3 Wochen ruhiggestellt werden, wobei auch hier eine frühfunktionelle Behandlung nach Erkennen von Callusformation begonnen werden kann.

Salter-Harris Typ-II-Frakturen können durch *intramedulläre Nagelung* (elastisch-stabile intramedulläre

Nagelung; ESIN) versorgt werden (Abb. 2.12). Ferner besteht die Indikation zur Operation bei offenen Frakturen, Frakturen mit begleitenden neurovaskulären Verletzungen oder auch nicht reponierbare Frakturen durch z. B. Interponate von Weichgewebe (Bizepssehne). Die Prognose dieser Frakturen ist relativ gut, da ein hohes Remodelling-Potenzial der proximalen Humerusepiphyse besteht.

Wichtig

Grundregel ist hier: Je jünger der Patient, desto höher das Potenzial für die Korrektur, sodass auch deutliche Fehlstellungen z. T. akzeptiert werden können, da durch das Längenwachstum ein enormer Ausgleich von Fehlstellungen erfolgen kann.

Pathologische Frakturen. Diese Frakturen werden nach Standards der onkologischen Chirurgie behandelt. Hier eignet sich die Verbundosteosynthese (Knochenzement und interne Fixation, z. B. über geeignete Plattenosteosynthesen).

2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Entwicklung von Implantaten zur Versorgung von Humeruskopffrakturen hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Insbesondere die stabile Retention wird als Voraussetzung für die Revaskularisation der Fragmente angesehen. Winkelstabile Versorgungen wie die Marknägel der neueren Generation und Plattenosteosynthesen weisen Vorteile zu herkömmlichen Implantaten auf. Die früher häufig beobachteten Komplikationen wie mangelnde mechanische Stabilität mit konsekutivem Repositionsverlust oder Nagelmigration werden deutlich seltener gesehen. Nach funktionellen Gesichtspunkten liegen die heute erzielten Ergebnisse nach entsprechenden Scores um 15–20 Punkte besser als noch vor 10 Jahren [24].

Aber auch mit den neuen Implantatsystemen bleiben Prognose und die funktionellen Ergebnisse stark abhängig vom Frakturtyp und der Frakturversorgung. So erzielten Neer-III-Frakturen im Constant-Murley-Score nach 1 Jahr im Mittel einen Punktwert von 75 und die Neer-IV-Segementfrakturen von 63 [24]. Misserfolge werden patientenabhängig bei Osteoporose, fehlender Mitarbeit bei der Nachbehandlung und Durchblutungsstörungen (Periostdestruktion des medialen Kopffragments) beobachtet. Probleme in Anhängigkeit vom operativen Vorgehen treten auf, wenn eine erhebliche Weichteilschädigung vorliegt, die Reposition nicht ausreichend ist oder die Fixation der Fragmente nicht ausreichend war.

Wichtig

Wichtig ist eine konsequente Nachbehandlung. Bis zu etwa 1 Jahr nach der Fraktur werden noch funktionelle Verbesserungen beobachtet [24].

Nicht wesentlich dislozierte Frakturen sowie Zweifragmentfrakturen im Collum chirurgicum zeigen eine gute Prognose, Vierfragmentfrakturen zeigen häufig eine persistierende Bewegungseinschränkung und eine weniger gute Prognose. Bei der Nachuntersuchung nach Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte wurden bei Zwei- und Dreifragmentfrakturen im Constant-Murley-Score um 60% gute und sehr gute Ergebnisse erzielt. Bei Vierfragmentfrakturen erreichten nur etwa 48% der Patienten solche Ergebnisse.

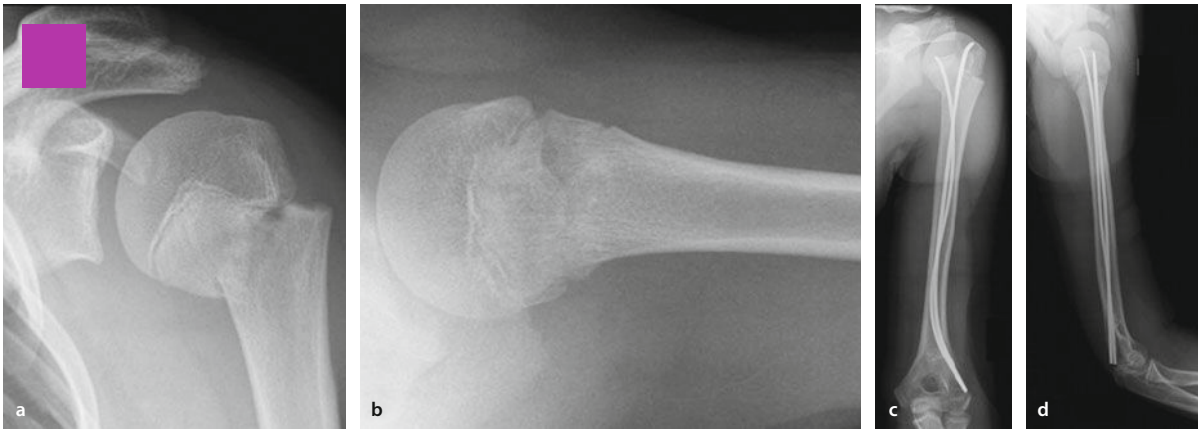


Abb. 2.12. 14 Jahre, männlich. Sturz von einem Baum. Subkapitale Humerusfraktur links mit metaphysärem Keil, Typ Salter-Harris II (**a** a.-p.-Aufnahme, **b** axiale Aufnahme). Versorgung der Fraktur mittels zweier von lateral eingebrachter Prévot-Nägel (ESIN) als intramedullärer Krafträger (**c** a.-p.-Aufnahme, **d** axiale Aufnahme)

2.8.1 Komplikationen

Auch die Komplikationsrate stieg mit zunehmender Komplexizität der Fraktur erheblich von etwas mehr als 12% bei Zweifragmentfrakturen bis 100% bei Vierfragmentfrakturen [9].

Frühkomplikationen

Typische Frühkomplikationen nach Plattenosteosynthese mit Angabe der Häufigkeiten nach [9] stellen bei einer Gesamtkomplikationsrate von bis zu 76%

- unzureichende Repositionen,
- Implantatfehllagen (um 20%),
- Repositionsverluste (20%) und
- sekundäre Implantatfehllagen (bis 27%) dar [25].

Bei den Implantatfehllagen sind insbesondere den Kopf perforierende Schrauben, die zu einer Destruktion der Gelenkfläche führen können, und die zu kranial platzierte Platte zu nennen. Repositionsverluste treten bei nicht ausreichender Reposition oder medial fehlender Abstützung auf. Operationspflichtige Serome/Hämatome sind selten.

Spätkomplikationen

Bei den Spätkomplikationen treten auf:

- Pseudarthrosen (3%),
- avaskuläre Knochennekrosen (etwa 15%) und
- heterotope Ossifikationen (ca. 5%).
- Infekte werden im Verlauf bei etwa 5% der Patienten beobachtet.

Ein CRPS postoperativ stellt die Ausnahme dar. Insbesondere Frakturen im Collum anatomicum haben ein hohes Risiko der Kopfnekrose, sodass weiterführende Eingriffe oder der prothetische Ersatz erfolgen müssen. Insgesamt wird in der Literatur über Folgeoperationen in etwa 1/3 der Fälle berichtet [25].

2.8.2 Outcome

Abhängig von der Versorgung zeigt sich bei Plattenosteosynthese sowohl winkelstabil als auch nicht winkelstabil ein ähnliches Ergebnis, wobei hier das Patientenalter von Bedeutung ist. Allerdings gibt es Hinweise darauf, dass die Rate sekundärer Dislokationen bei winkelstabilen Platten geringer ausfällt. Eine besondere Komplikation bestimmter winkelstabiler Platten mit besonders geringer Dicke ist der Plattenbruch. Je älter der Patient ist, desto schlechter wird das funktionelle Ergebnis [15]. Bei plattenosteosynthetischen Versorgungen werden sekundäre Dislokationsraten von 16–50% berichtet [25].

Bei jungen Patienten mit guter physiotherapeutischer Nachbehandlung werden gute Ergebnisse der Beweglichkeit im Schultergelenk erzielt. Beim älteren Patienten sind Bewegungseinschränkungen insbesondere in der Elevation der Schulter so gut wie nicht vermeidbar.

Die Marknagelosteosynthese hat in den letzten Jahren eine erhebliche Entwicklung erfahren. Bei den ersten Nagelsystemen war die Rate mechanischer Komplikationen hoch. Die Stabilität war nicht ausreichend, es kam zu Repositionsverlusten und Nagelmigrationen. Die Rotationsstabilität war insbesondere distal mangelhaft. Neuere Implantate verringern diese Problematik erheblich, z. B. durch die Winkelstabilität der Verriegelungsbolzen und Kunststofffassungen für die Bolzen im Nagel, die ein Zurücklaufen weitgehend vermeiden. Trotzdem scheinen mechanische im Vergleich zu »biologischen« Komplikationen zu überwiegen.

Nach Marknagelosteosynthese mit den heute verwendeten Systemen werden überwiegend erfolgversprechende Ergebnisse gesehen. So berichten Mittlmeier et al. [7] über einen durchschnittlichen Constant-Score-Wert von 74 entsprechend 80% der gesunden Gegenseite bei einem allerdings relativ uneinheitlichen Kollektiv. An Komplikationen fielen avaskuläre Kopfnekrosen (8%; 6% waren partielle Nekrosen), Impingement-Syndrome durch das Nagelende oder Schrauben, Fragmentdislokationen, Infekte, posttraumatische Arthrofibrosen und distale Schraubenlockerungen auf. In 5% der Fälle war ein sekundärer Verfahrenswechsel (meistens Prothese) erforderlich [24]. Ein abschließender Vergleich mit den Ergebnissen der winkelstabilen Plattenosteosynthese steht noch aus.

2.9 Begutachtung

Postoperative Bewegungseinschränkungen im Bereich des Schultergelenks nach Humeruskopffrakturen können in der gesetzlichen Unfallversicherung einen Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) bis 30 erreichen (Schultergelenksbeweglichkeit in der Abduktion bis maximal 90° entsprechen 20). In der privaten Unfallversicherung erzielt eine solche Bewegungseinschränkung bis zu 1/5 Armwert. Additive neurologische oder Weichteilschäden müssen gesondert begutachtet werden.

Eine Metallentfernung kann möglicherweise auch nach einer initialen Begutachtung noch zu einer Besserung des funktionellen Ergebnisses beitragen, sodass eine Überprüfung von GdB/MdE nach Ablauf von 2 Jahren erfolgen sollte. Langfristig kann es zu Omarthrosen

mit deutlicher Bewegungseinschränkung kommen, die dann weiterführende Therapien benötigen, wobei hier in Abhängigkeit des Schweregrades eine Nachbegutachtung erfolgen sollte.

Literatur

1. C.M. Court-Brown, A. Garg, M.M. McQueen, The translated two-part fracture of the proximal humerus. Epidemiology and outcome in the older patient. J Bone Joint Surg 83-B: 799–804 (2001)
2. J. Horak, B.E. Nilsson, Epidemiology of fracture of the upper end of the humerus. Clin Orthop & Relat Res 112: 250–253 (1975)
3. B. Hintermann, H.H. Trouillier, D. Schafer, Rigid internal fixation of fractures of the proximal humerus in older patients. J Bone Joint Surg 82-B: 1107–1112 (2000)
4. H. Lill, C. Josten, Konservative oder operative Versorgung der Humeruskopffraktur beim alten Menschen? Chirurg 72: 1224–1234 (2001)
5. C.M. Bono, R. Renard, R.G. Levine, A.S. Levy, Effect of displacement of fractures of the greater tuberosity on the mechanics of the shoulder. J Bone Joint Surg 83-B: 1056–1062 (2001)
6. E.A. Codman, Fractures in relation to the subacromial bursa. In: E.A. Codman, The shoulder, Krieger, Malabar, 1934
7. T.W. Mittlmeier, H.W. Stedtfeld, A. Ewert, M. Beck, B. Frosch, G. Gradl, Stabilization of proximal humeral fractures with an angular and sliding stable antegrade locking nail (Targon PH). J Bone Joint Surg 85-A (Suppl. 4): 136–146 (2003)
8. C.S. Neer 2nd, Displaced proximal humeral fractures: part I. Classification and evaluation. 1970. Clin Orthop & Relat Res 442: 77–82 (2006)
9. C. Voigt, H. Lill, Versorgung proximaler Humerusfrakturen. Trauma & Berufskrankh 9 (Suppl 1): S43-S47 (2007)
10. R. Szyszkowitz, W. Seggl, P. Schleifer, P.J. Cundy, Proximal humeral fractures. Management, techniques and expected results. Clin Orthop & Relat Res 292: 13–25 (1993)
11. H. Lill, J. Korner, S. Glasmacher, P. Hepp, A. Just, P. Verheyden, C. Josten, Die gekreuzte Schraubenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen. Unfallchirurg 104: 852–859 (2001)
12. U. Brunner, L. Schweiberer, Humeruskopffrakturen. In: P. Habermeyer, Schulterchirurgie, Urban & Schwarzenberg, München, 1996
13. H. Resch, Die Humeruskopffraktur. Unfallchirurg 106: 602–617 (2003)
14. T.M. Frangen, M. Dudda, D. Martin, S. Arens, S. Greif, G. Muhr, T. Kälicke, Operative und klinische Erfahrungen mit winkelstabilen Implantaten bei proximalen Humerusfrakturen – Wirklich alles besser? Zentralbl Chir 132: 60–69 (2007)
15. T.M. Frangen, E.J. Müller, M. Dudda, S. Arens, G. Muhr, T. Kälicke, Proximal humeral fractures in geriatric patients. Is the angle-stable plate osteosynthesis really a breakthrough? Acta Orthop Belg 73: 571–579 (2007)
16. R. Beickert, O.M. Trapp, V. Bühren, Versorgung instabiler proximaler Humerusfrakturen – Möglichkeiten und Grenzen der Marknagelung. Trauma & Berufskrankh 9 (Suppl. 1): S54-S60 (2007)
17. D. Togninalli, A. Remiger, Antegrade or retrograde intramedullary nailing in diaphyseal or sub-capital humeral fractures in the adult. Swiss Surg 9: 193–197 (1998)
18. H. Traxler, R. Surd, K.A. Laminger, A. Windisch, M.C. Sora, W. Firbas, The treatment of subcapital humerus fracture with dynamic helix wire and the risk of concommitant lesion of the axillary nerve. Clin Anat 14: 418–423 (2001)
19. J. Erhart, T. Heinz, R. Schuster, M. Greitbauer, V. Vecsei, Die Stabilisierung von proximalen Humerusfrakturen mit der intramedullären Titanwendel Helix-Wire. Wien Klin Wochenschr 114: 859–865 (2002)
20. O. Beickert, M. Trapp, V. Bühren, Versorgung instabiler proximaler Humerusfrakturen – Möglichkeiten und Grenzen der Marknagelung. Trauma & Berufskrankh 9 (Suppl 1): S54–S60 (2007)
21. U. Bosch, M. Skutek, R.W. Fremerey, H. Tscherne, Outcome after primary and secondary hemiarthroplasty in elderly patients with fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg 7: 479–484 (1998)
22. B. Kristiansen, U.L. Anderson, C.A. Olsen, J.E. Varmarken, The Neer classification of fractures of the proximal humerus. An assessment of interobserver variation. Skeletal Radiol 17: 420–422 (1988)
23. R.B. Salter, W.R. Harris, Injuries involving epiphyseal plates. J Bone Joint Surg 45-A: 587–622 (1963)
24. T. Mittlmeier, D. Arndt, M. Beck, G. Gradl, Komplikationen der Nagelosteosynthese am proximalen Humerus. Trauma & Berufskrankh 9 (Suppl. 1): S61-S68 (2007)
25. M. Kettler, V. Braunstein, P. Biberthaler, M. Krammer, W. Mutschler, Komplikationen winkelstabiler Plattenosteosynthesen am Humeruskopf, Trauma & Berufskrankh 9 (Suppl. 1): S48-S53 (2007)
26. M. Speck, F.J. Lang, P. Regazzoni, Proximal humeral multiple fragment fractures – failures after T-plate osteosynthesis. Swiss Surg 2: 51–56 (1996).

3 Oberarmschaft

R. Hennes

Definition

Oberarmschaftfrakturen betreffen die mittleren 3/5 des Humerus. Sie finden sich am häufigsten im mittleren Schaftdrittel (ca. 60%), zu 30% im proximalen Drittel und zu 10% im distalen Drittel. Oberarmschaftfrakturen liegen in bis zu 3% aller Frakturen vor [1]; nur wenige sind offene Frakturen. Betroffen sind junge Menschen gleichermaßen wie ältere. Bei Kindern handelt es sich um seltene Verletzungen.

3.1 Mechanismus

Oberarmschaftfrakturen werden durch indirekte oder direkte Gewalteinwirkung verursacht. Insbesondere bei Hochrasanztraumata sind Brüche infolge *direkter Gewalteinwirkung* zu beobachten. Bei *indirekten Gewalteinwirkungen*, die etwa 2/3 ausmachen, beobachtet man häufig Spiralbrüche mit oder ohne Drehkeil. Direkte Gewalteinwirkungen führen eher zu Stück-, Biegungs- und Querfrakturen mit mehr oder weniger ausgeprägten Trümmerzonen. Bei Betagten genügen oft Bagatelltraumata im Rahmen einer manifesten Osteoporose oder bei Skelettmetastasen im Rahmen von Tumorerkrankungen, die dann als pathologische Frakturen zu beobachten sind [1, 2]. Die osteoporotischen Brüche finden sich oft im proximalen Drittel in Form von Biegungs- oder Torsionsbrüchen. Sie laufen nicht selten bis in den Kopf aus, sodass hier auch lange winkelstabile Platten oder spezielle Nagelsysteme erforderlich werden können, die den Kopf mitversorgen.

3.2 Klinik

Infolge einer direkten Gewalteinwirkung finden sich oft begleitende *Weichteilverletzungen* mit ausgeprägtem Hämatom, Prellmarken, Schwellung, Ödem und den typischen indirekten Frakturzeichen. Die klinische Untersuchung zeigt hierbei oft die deutliche Instabilität mit ausgeprägten Schmerzen.

Ein *primärer N.-radialis-Schaden* ist nicht selten, bedingt durch den anatomischen Verlauf. Insbesondere Patienten mit Quer- und Spiralbrüchen direkt unterhalb des Deltoideusansatzes und deutlicher Fehlstellung sind gefährdet (ca. 10%) sowie Patienten mit Frakturen in Schaftmitte (etwa 20%) und mit Brüchen am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel (20%). Hier tritt der Nerv durch die Membrana interossea und ist relativ fixiert, sodass insbesondere Torsionsbrüche im distalen

Drittel (Holstein-Lewis-Typ) zum Distraktionsschaden führen.

Wichtig

Die Häufigkeit von Radialisschäden wird mit über 10% aller Fälle angegeben. Daher ist die neurologische Untersuchung bezüglich einer N.-radialis-Verletzung auch direkt postoperativ von besonderer Bedeutung [3, 4].

Eine *Fallhand* und Fühlstörungen, z. B. am radialen Handrücken, sind auszuschließen.

Bei distalen Frakturen sind auch Verletzungen des *N. ulnaris* möglich. Ein dezidierter Befund ist zu erheben und zu dokumentieren, der sehr häufig forensische Bedeutung hat. Hier sind die klinischen Befunde bei der Erstuntersuchung genauso wie im Heilverlauf nach Durchführung von therapeutischen Maßnahmen zu dokumentieren. Gerade nach Manipulationen am betroffenen Arm durch Repositionsmanöver, Ruhigstellungsmaßnahmen und nach operativer Intervention sind Befundänderungen mit neurovaskulären Symptomen möglich. Repositionsmanöver vor der operativen Versorgung sind daher nicht zu empfehlen.

Auch die in der Frühphase oft deutliche Hämatomausbildung allein kann Druckproblematiken im Sinne eines Kompartmentsyndroms auslösen, wobei Kompartmentsyndrome am Oberarm selten vorkommen.

Infolge der direkten Gewalteinwirkung ist an Begleitverletzungen der *angrenzenden Gelenke* zu denken, und diese sind entsprechend zu untersuchen. Neben dem Schulter- und Ellbogengelenk sind aber auch Verletzungen des Thorax, der Scapula und der Clavicula nicht selten.

Cave

Geschlossene Repositionsversuche zur Ruhigstellung im Gilchrist-Verband zur konservativen oder vor der operativen Versorgung sind zu unterlassen, da die Gefahr des iatrogenen Radialisschadens besteht.

3.3 Diagnostisches Vorgehen

Die Diagnostik umfasst nach Erhebung der möglichst genauen Anamnese zum Unfallhergang die dezidierte Untersuchung der oberen Extremität. Hier ist insbesondere die Beurteilung und Dokumentation von *neurovaskulären Störungen* wichtig. Bei manifesten Symptomen ist eine konsiliarische neurologische Untersuchung zu empfehlen.

Die *Röntgendiagnostik* umfasst eine seitliche und eine a.-p.-Aufnahme unter Abbildung der ganzen Länge des Humerus einschließlich der angrenzenden Gelenke. Da oftmals Frakturen vorliegen, die den Humeruskopf und damit das Schultergelenk bzw. den distalen Humerus und das Ellbogengelenk betreffen, sollten diese Gelenke zusätzlich jeweils durch eine seitliche und eine a.-p.-Aufnahme dokumentiert werden.

3.4 Klassifikation

3.4.1 AO-Klassifikation

Die Klassifikation der Humerusschaftfrakturen nach der AO [5] unterteilt wie bei allen Schaftbrüchen:

Frakturen Typ A. Es handelt sich um einfache Zweifragmentfrakturen.

Frakturen Typ B. Dreifragmentkeilfrakturen; sie werden mit dem Buchstaben B versehen.

Frakturen Typ C. Dies sind verschiedenartige komplexe Brüche (◘ Abb. 3.1).

Für alle genannten Bruchformen ist die Marknagelosteosynthese als Standard anzusehen; andere Verfahren bleiben Sonderfällen vorbehalten (◘ Abb. 3.2). Beispielhaft zu nennen sind hier der primäre Radialisschaden und die Versorgung mit Plattenosteosynthese oder der Fixateur externe bei Schwerverletzten oder offenen Frakturen und Weichteilschäden.

Alle Therapieoptionen haben einen sehr breiten Anwendungsbereich am Humerusschaft und sind prinzipiell bei fast allen Bruchformen anwendbar. Als Standard ist die Marknagelosteosynthese anzusehen. Es werden lediglich Präferenzen angegeben, die andere Optionen nicht ausschließen. Es muss immer in Abhängigkeit vom individuellen Fall eine begründete Indikation gestellt werden. Eine Aufklärung des Patienten über mögliche Alternativen hat zu erfolgen.

3.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Weitere Klassifikationen der Humerusschaftfrakturen spielen unserer Ansicht nach keine Rolle.

Einteilung der Weichteilverletzungen

Die Einteilung der Weichteilverletzungen erfolgt unserer Ansicht nach am genauesten nach Gustilo u. Anderson (◘ Tab. 3.1) [6]. Danach sollten Brüche ab dem Grad IIIB nicht primär mit einem Marknagel versorgt werden, wie an anderen Lokalisationen gezeigt werden konnte [7].

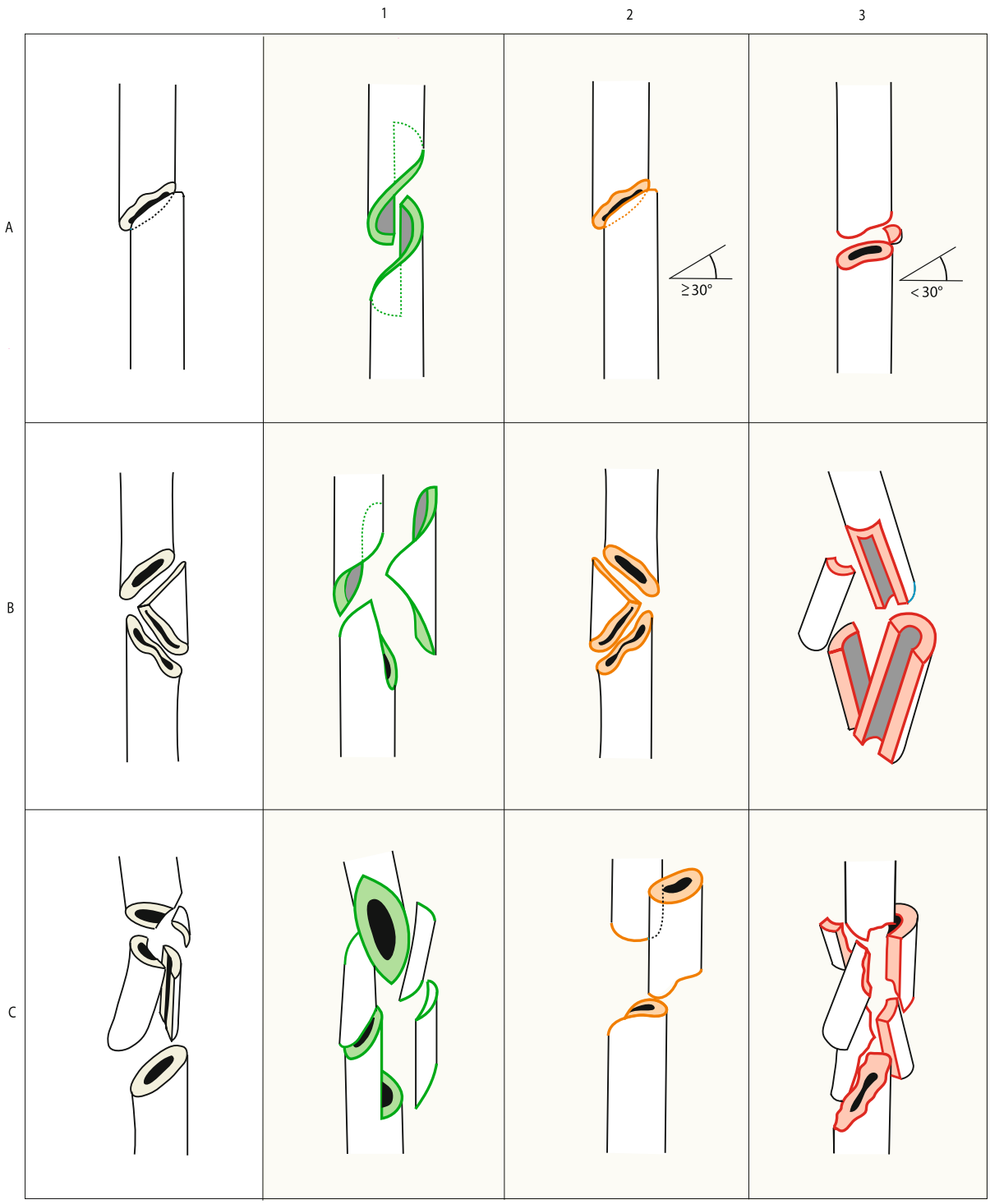


Abb. 3.1. AO-Klassifikation Humerusschaftfrakturen
a Zweifragmentfrakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3 je nach Höhe der Frakturlokalisation)
A1: Spiralförmige Bruchlinie
A2: Schrägfraktur (>30°)
A3: Querfraktur (<30°)
b Keilfrakturen, Dreifragmentbrüche (Untergruppen B1.1–B3.3 je nach Höhe der Frakturlokalisation)
B1: Drehkeil
B2: Biegungskeil
B3: Komplexer fragmentierter Keil
c Komplexe Fraktur (Untergruppen C1.1–C3.3 je nach Anzahl der Fragmente)
C1: Spiralförmig mit Zwischenfragmenten
C2: Etagenfraktur (Herausbrechen eines Segments)
C3: Irregulärer Verlauf

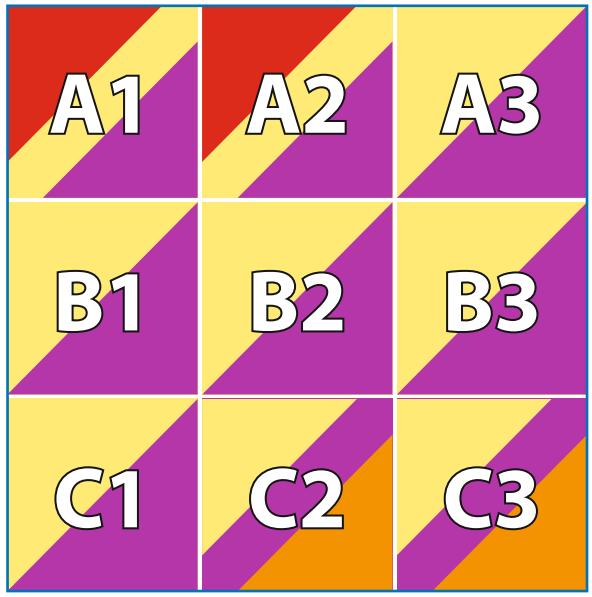


Abb. 3.2. Darstellung der Therapieoptionen bei Humerusschaftfrakturen, Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese

Tab. 3.1. Einteilung des Weichteilschadens nach Gustilo und Anderson [6]. Eine primäre Marknagelung verbietet sich spätestens ab Grad IIIB, da dann signifikant mehr Infekte zu erwarten sind [7]

Grad	Charakteristik
I	– Hautläsion ≤1 cm – Nicht verschmutzt – Durchspießung von innen – Minimale Muskelkontusion – Einfache Quer- oder kurze Schrägfraktur
II	– Hautläsion >1 cm – Ausgedehnter Weichteilschaden mit Lappenbildung oder Décollement – Geringe bis mäßige Muskelquetschung – Einfache Quer- oder kurze Schrägfraktur mit kleiner Trümmerzone
III	– Ausgedehnter Weichteilschaden unter Einbeziehung von Haut, Muskulatur und neurovaskulären Strukturen – Oft Rasanztrauma mit schwerer Gewebsquetschung
IIIA	– Ausgedehnter Weichteilschaden mit noch adäquater Knochendeckung – Stückfrakturen – Schussverletzungen
IIIB	– Ausgedehnter Weichteilschaden mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen – Massive Kontamination
IIIC	– Rekonstruktionspflichtige Gefäßverletzung

3.5 Therapeutisches Vorgehen

Das Therapieziel der Oberarmschaftfraktur ist die Wiederherstellung der Funktion. Seit den Arbeiten von Lorenz Böhler (»Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmbrüchen« [8]), hat sich ein Paradigmenwechsel zur operativen Behandlung vollzogen, der die konservative Behandlung mehr und mehr in den Hintergrund treten lässt.

Vorteil nach der operativen Behandlung ist die Einleitung einer frühen funktionellen Behandlung mit deutlicher Schmerzreduzierung nach stabiler Versorgung der Fraktur. Länge und Rotation des Humerus können durch die Implantate wiederhergestellt werden. Durch die Weiterentwicklung der intramedullären Verfahren mit retrograder sowie antegrader Marknagelosteosynthese konnte das operative Weichteiltrauma erheblich reduziert werden. Hierbei bleibt die Fragmentdurchblutung ungestört, die Fraktur wird nicht dargestellt, sodass sich eine Reduzierung des Infektrisikos und Verbesserung der Frakturheilung ergibt [9, 10]. Operationsindikationen zeigt die ▶ Übersicht.

Operationsindikationen

- Absolute Operationsindikationen:
  - offene Brüche
  - begleitende Gefäßverletzungen
  - Brüche bei Polytraumatisierten
  - Pseudarthrosen
- Relative Indikationen:
  - gleichzeitige Ober- und Unterarmbrüche
  - beidseitige Oberarmfrakturen
  - erhebliche Achsenabweichungen
  - Radialisparesen.

3.5.1 Konservative Therapie

Für die konservative Therapie unserer Erfahrung nach am besten geeignet ist der *Sarmiento-Brace* [11], wie er in der Abb. 3.3 dargestellt ist. Dieses Verfahren wird in vielen Kliniken als Standardtherapie mit guten Resultaten unter sorgfältiger Indikationsstellung angewendet. Insbesondere die Beachtung der Weichteile, die Mitarbeit des Patienten sowie die Begleitverletzungen sind mit zu berücksichtigen. Durch die Klettverschlüsse kann der Brace an die sich verändernden Weichteilverhältnisse angepasst werden.

Die Dauer bis zur vollständigen Konsolidierung beträgt etwa 3 Monate. Regelmäßige klinische wie radiologische Kontrollen zur Beurteilung des Heilungsverlaufs sind notwendig. Die Durchführung einer physiotherapeutischen Behandlung ist ein wesentlicher Bestandteil



Abb. 3.3. Korrekt angelegter Sarmiento-Brace bei Humerusschaftfraktur. (Sarmiento u. Latta 2007 [11])

des Behandlungskonzeptes. Insbesondere ist der Patient über die lange Behandlungsdauer, mögliche Komplikationen wie Pseudarthrosen, alternative Behandlungsmöglichkeiten und Ausheilungsergebnisse aufzuklären.

3.5.2 Plattenosteosynthese

Für die Plattenosteosynthese zu empfehlen ist die *schmale 4,5-mm-LCDCP* (»low contact dynamic compression plate«) oder eine entsprechende, wie ein Fixateur wirkende, *winkelstabile LCP* (»locking compression plate«).

Für eine ausreichende Stabilität sollten in jedem der beiden Hauptfragmente mindestens 6 Corticalisanteile gefasst bzw. 3 Schrauben eingebracht werden. Diese sollten in der Bohrrichtung leicht divergieren, um das Risiko von iatrogenen Schaftfissuren zu minimieren. Oft werden zusätzliche Schrauben notwendig, um die erforderliche Stabilität zu erreichen. Gerade bei dorsalem Zugang ist der Verlauf des N. radialis zu beachten, der in keinem Fall zu sehr aus dem umliegenden Gewebe mobilisiert werden darf und sorgfältig geschont werden muss. Eine Mobilisierung erfolgt so weit, dass die Platte unter dem Nerv platziert werden kann (Abb. 3.4). Im Operationsprotokoll ist die Höhe der Radialiskreuzung über der Platte zu vermerken. Der Nerv muss über der Platte spannungsfrei laufen, sonst ist die Mobilisation nicht ausreichend.

Zwischenfragmente sind ggf. mit Zugschrauben zunächst an die Hauptfragmente zu fixieren, um die Fraktur in eine Zweifragmentfraktur zu überführen (Abb. 3.5). Dann lässt sich die endgültige Reposition in aller Regel leicht durchführen, und die Platte kann angepasst werden.

> Es empfiehlt sich ein leichtes »Überbiegen« der Platte im Sinn einer Kompressionsplattenosteosynthese, sodass auch die der Platte abwandte Corticalis unter Kompression steht.

Trümmerzonen sind im Sinn einer »biologischen Osteosynthese« zu überbrücken; die einzelnen Fragmente werden nicht aus dem Verbund gelöst. Als Indikation ist aufgrund des relativ großen und traumatisierenden Zugangs v. a. die Verletzung mit primärer oder sekundärer Radialisläsion zu nennen, da bei dieser Art der Versorgung eine Radialisrevision und Neurolyse erfolgen kann.

Operative Zugänge

Der *dorsale Zugang nach Henry* in Bauchlage [12] sowie der *anterolaterale Zugang* haben sich bewährt. Ebenso besteht die Möglichkeit des eher selten gewählten medialen Zugangs.

Anterolateraler Zugang. Über den anterolateralen Zugang können Frakturen problemlos von proximal bis zur Schaftmitte versorgt werden, und ggf. kann die Schnittführung auch nach distal erweitert werden. Bei sehr proximalen Frakturen beginnt die Schnittführung über dem Sulcus deltoideopectoralis. Der M. brachialis wird in Faserrichtung im Übergang vom mittleren zum distalen Drittel gesplittet. Hierdurch wird der N. radialis

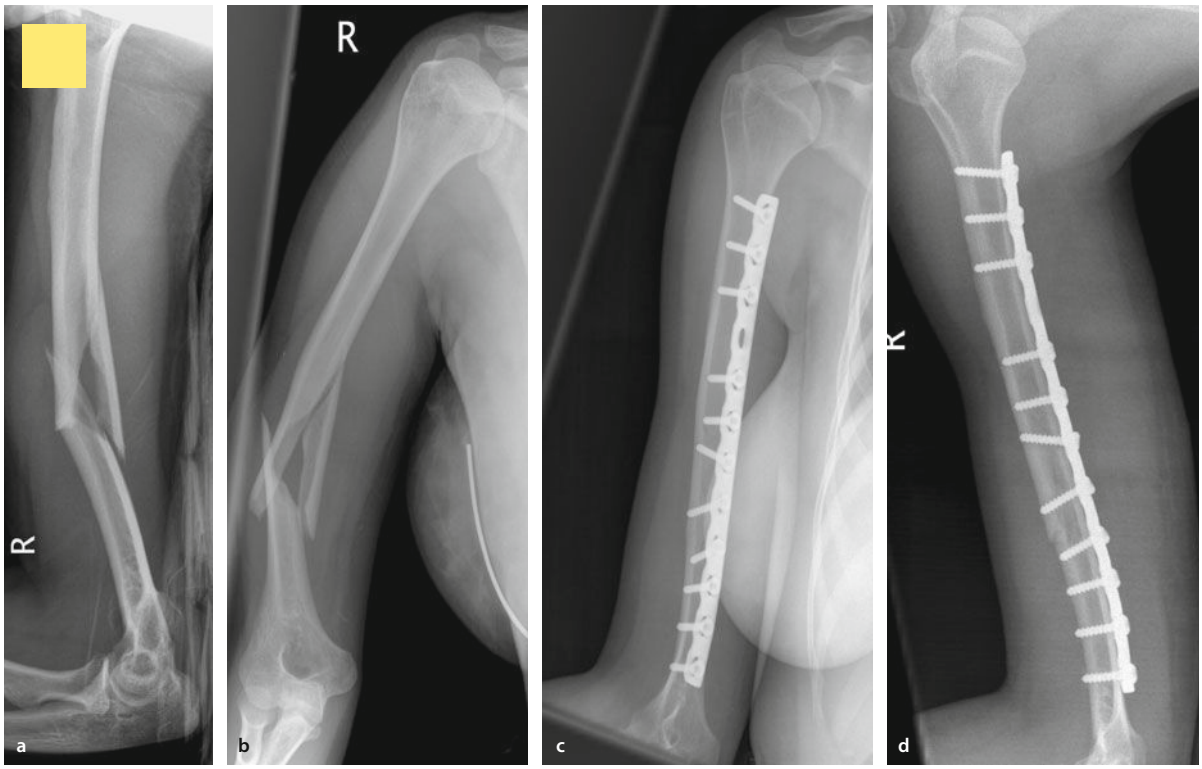


Abb. 3.4. 35 Jahre, weiblich. Motorradunfall, Sturz auf den rechten Arm. B1-Fraktur mit Drehkeil, primäre Radialisläsion. Offene Revision und Plattenosteosynthese mit 12-Loch-LCDC-Platte. 2 Zugschrauben wurden durch die Platte gesetzt. Übungsstabilität

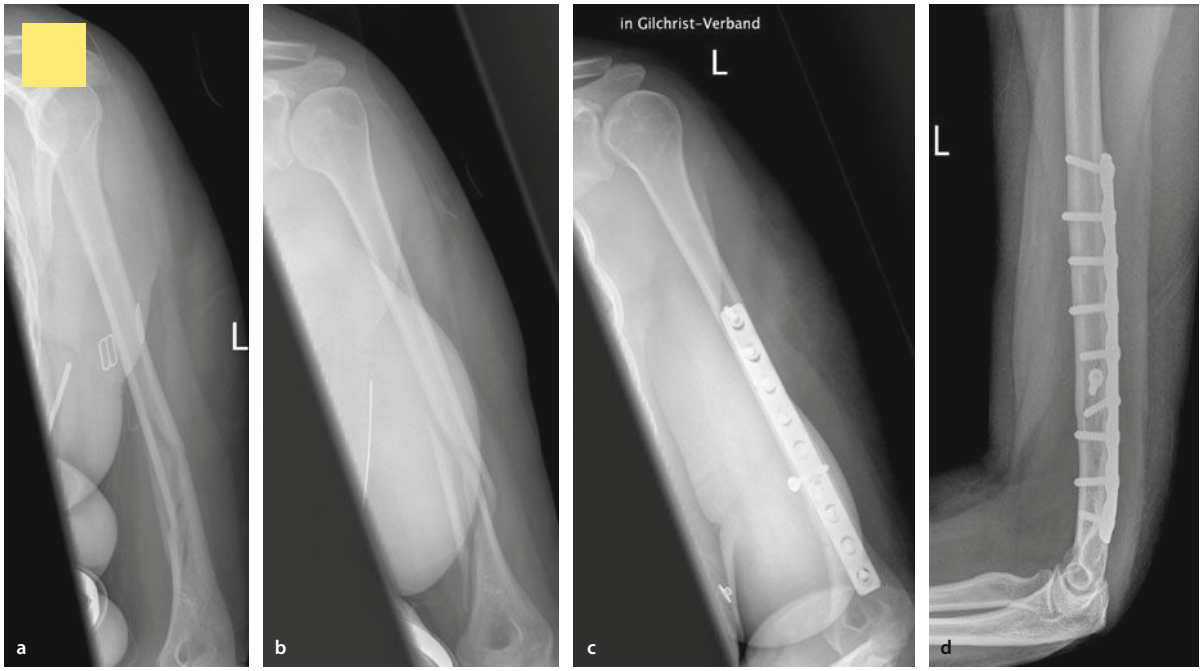


Abb. 3.5. 40 Jahre, weiblich, Sturz beim Bodenturnen. Komplexe Fraktur spiralförmig verlaufend mit 2 Zwischenfragmenten (C1.1 nach AO). 9-Loch-LCDC-Platte mit interfragmentärer Zugschraube für den Drehkeil. Übungsstabilität

bei seinem Durchtritt durch das Septum intermusculare laterale vom M. brachialis mit seiner Muskelmanschette geschützt.

Dorsaler Zugang nach Henry. Dieser Zugang wird für Frakturen im mittleren bis distalen Schaftdrittel verwendet. Der Deltoideusansatz limitiert den Zugang nach proximal. Insbesondere für Frakturen, bei denen die Indikation zur Radialisrevision bei Läsion des Nervs gestellt wurde, ist er der geeignete Zugang. Hierzu ist eine Bauchlagerung erforderlich, wobei der Arm auf einer Stütze so zu lagern ist, dass Schultergelenk und Unterarm 90° abgewinkelt sind. Der Arm ist damit frei beweglich abdeckbar. Nach dorsomedianer Inzision wird die Fascia superficialis durchtrennt und im Sulcus zwischen den beiden Tricepsköpfen eingegangen. Nach Spaltung des M. triceps muss in der Tiefe der N. radialis dargestellt und angeschlungen werden.

Medialer Zugang. Der Patient kann in Rückenlage verbleiben, und der Arm ist somit leicht zugänglich. Die Hautinzision erfolgt von der vorderen Axillarlinie bis zum Epicondylus ulnaris. Danach wird beugeseitig des Septum intermusculare mediale und die Oberarmfaszie inzidiert. Hier kann der N. ulnaris aufgesucht und mit dem Gefäß-Nerven-Bündel vom Humerus abgeschoben werden.

3.5.3 Marknagelosteosynthesen

Bei den intramedullären Verfahren unterscheiden wir, bezogen auf die Zugänge:

- die antegrade Marknagelung über einen anterolateralen transdeltoidalen Zugang und
- die retrograde Marknagelung über einen dorsalen Zugang in Bauchlage.

Antegrade Marknagelung. Bei der antegraden Marknagelversorgung hat sich die sog. Beach-chair-Position bewährt, also die halbsitzende Lagerung des Patienten mit frei beweglich abgedecktem Arm. Zur Vermeidung von Lagerungsschäden bei der sorgfältigen allgemeinen Lagerung ist zu beachten:

- die korrekte Abstützung und Fixierung des Kopfs (Drehung des Kopfs zur Gegenseite),
- die Lagerung der Arme,
- die Unterstützung der LWS .

Ebenso ist mittels präoperativer Durchleuchtungskontrolle mit dem C-Bogen auf Durchführbarkeit zu überprüfen, bevor die sterile Abdeckung des Patienten erfolgt. Eine klare röntgenologische Darstellung des gesamten Oberarms mit der Schulter muss gewährleistet sein.

Der operative Zugang erfolgt über einen deltoidalen Split nach kleinem anterolateralem Hautschnitt über dem Schultergelenk. Die Rotatorenmanschette wird längsgespalten und am besten mit Haltefäden markiert und danach der ideale Eintrittspunkt zur Eröffnung des Markraums aufgesucht. Für den UHN (»unreamed humerus nail«) liegt er etwas medial der Knorpel-Knochen-Grenze. Abhängig vom Design des Nagelsystems kann der Eintrittspunkt variieren und ein zentraler bis leicht lateraler Eintrittspunkt notwendig werden.

Die Verletzung der Rotatorenmanschette ist besonders zu beachten und zu minimieren. Eine sorgfältige und schonende Naht nach Implantation des Nagels zum Wiederverschluss der Rotatorenmanschette ist unverzichtbar.

Nach Eröffnung des Markraums werden abhängig vom Nagelsystem die Frakturfragmente mit einem Führungsdraht oder direkt mit dem Nagel aufgefädelt, und die Fraktur wird in Länge und Rotation korrekt eingestellt (◘ Abb. 3.6). Die Rotationsstabilität wird durch die Verriegelung gewährleistet. Eine Aufbohrung ist in der Regel nicht erforderlich.

Einige Systeme erlauben die *interfragmentäre Kompression über spezielle Kompressionsschrauben*, die nach distaler Verriegelung am proximalen Ende eingedreht werden. Die Kompression ist besonders bei *Querfrakturen* wichtig, da sonst nicht selten Pseudarthrosen beobachtet werden.

Über den gleichen Zugang kann auch der proximale Humerusnagel für Brüche im körpernahen Drittel angewendet werden. Bei Ausläufern des Bruchs bis weit in den metaphysären Bereich sind spezielle Verriegelungsoptionen möglich, wie z. B. mit dem antegrad eingebrachten UHN mit Spiralklinge, die über den Schlitz für die dynamische Verriegelung vor den anderen Verriegelungsbolzen eingebracht wird. Die Spitze der Spiralklinge sollte aus Stabilitätsgründen direkt subchondral liegen. Abschließend wird die Verschlusskappe eingebracht, die auch die Spiralklinge winkelstabil fixiert. Das Nagelende ist sicher im Humeruskopf zu versenken, da sonst erhebliche Probleme mit der Schulterbeweglichkeit sowie Schmerzen auftreten.

Retrograde Nagelung. Die retrograde Nagelung wird in Bauchlage des Patienten durchgeführt und ist für alle Brüche des Schafts bis etwa 5 cm vor der Fossa olecrani geeignet. Hierzu ist ein röntgendurchlässiger Armtisch erforderlich, auf dem der Patient so zu lagern ist, dass der gesamte Oberarm komplett mit dem Bildwandler einsehbar ist. Dabei sind Schulter- und Ellbogengelenk um jeweils 90° abgewinkelt. Eine Darstellung des gesamten Oberarms und Ellbogengelenks in 2 Ebenen muss möglich sein.



Abb. 3.6. 35 Jahre, männlich. Verkehrsunfall mit seitlichem Aufprall. A2-Fraktur. Nagelosteosynthese mit UHN mit proximaler und distaler Verriegelung. **a–d** Prä- und direkt postoperative Röntgenkontrollen. **e, f** Intraoperative Kontrolle bei der Einbringung der proximalen Verriegelung. Der Bolzen soll möglichst direkt subchondral enden (**e**). Eindrehen der Verschlusskappe (**f**). **g–i** Intraoperative Abschlusskontrollen proximal und distal, 2. Ebene distal nicht mit abgebildet

Der operative Zugang erfolgt über einen dorsalen Hautschnitt am distalen Oberarm. Danach wird die Längsspaltung der distalen Tricepssehne durchgeführt mit Darstellung des distalen Humerus und der Fossa olecrani. Das Ellbogengelenk sollte nicht eröffnet werden. Der Eintrittspunkt zur Eröffnung der Markhöhle befindet sich zwischen der lateralen und medialen supracondylären Kante und dem Dach der Fossa olecrani.

Die Insertionsbohrung des Markraums kann über 3,2- bzw. 4,5-mm-Bohrungen begonnen werden, die mit konischen/zylindrischen Fräsen ausgearbeitet werden. Hier ist eine besondere Sorgfalt unabdingbar, damit ohne Spannung und Zwang der Nagel durch Drehbewegungen ohne große Kraftanwendung in ein ausreichend abgeschrägtes und geglättetes Insertionsloch eingebracht werden kann. Wird dies nicht ausreichend beachtet, können beim Einführen des Nagels Fissuren und Frakturen entstehen (Abb. 3.7). Dies ist einer der technisch wesentlichen und anspruchsvollen Momente dieses operativen Verfahrens [10].

3.5.4 Fixateur externe

Die Versorgung einer Oberarmschaftfraktur durch einen Fixateur externe wird bei polytraumatisierten Patienten (Abb. 3.8) sowie bei ausgeprägten Weichteilverletzungen und offenen Frakturen angewandt. Zusätzlich dient das Verfahren als Rückzugsmöglichkeit bei Komplikationen [13].

Die Zugänge richten sich nach den neurovaskulären Strukturen und dem bestehenden Weichteiltrauma. Proximal eignet sich als Orientierung zum Einbringen der Schanz-Schrauben der Vorderrand des M. deltoideus, während distal-posterolateral am Rand der Tricepssehne einzugehen ist. Der Verlauf des N. radialis ist zu beachten.

Die Inzisionen sollten ausreichend lang sein, um Hautnekrosen und Druckstellen zu vermeiden. Im Zweifel empfehlen wir immer ein halboffenes Vorgehen, sodass die Schrauben nach Platzierung von Langenbeck-Haken unter Sicht eingebracht werden können.

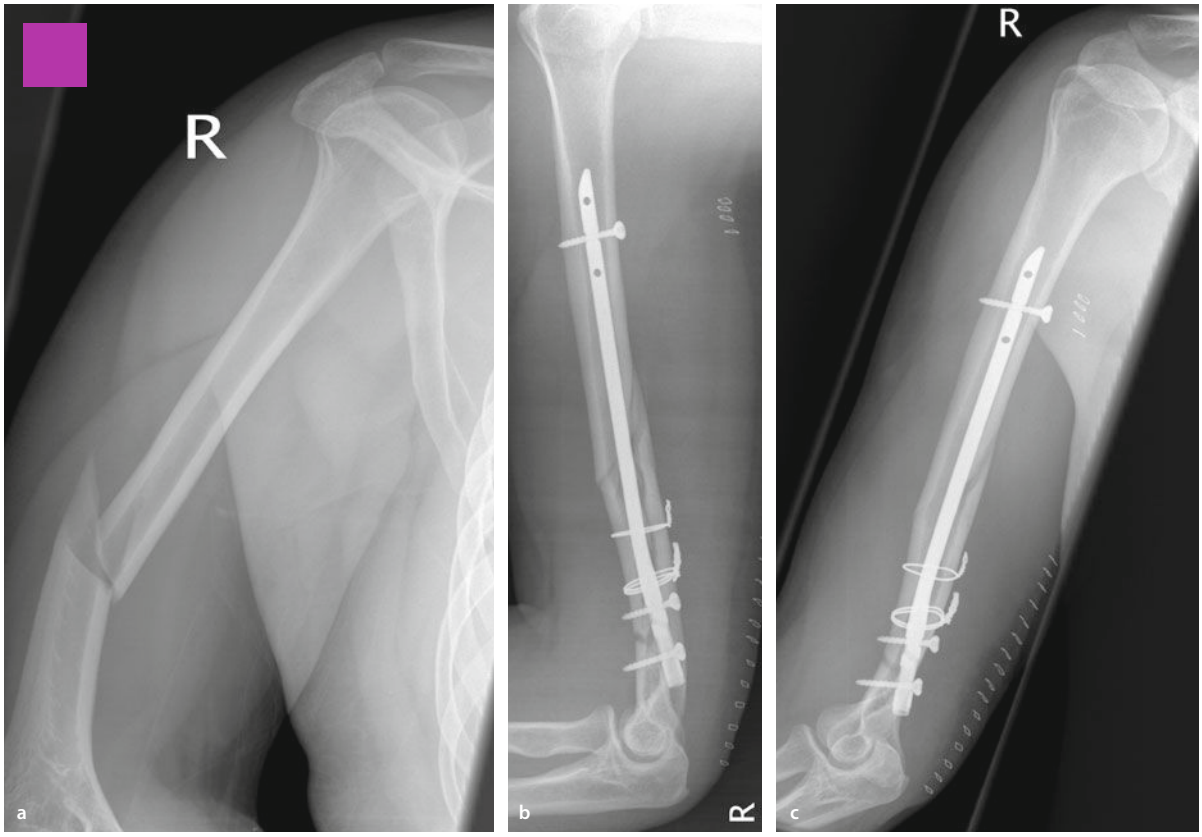


Abb. 3.7. 54 Jahre, männlich. Verkehrsunfall. Spiralförmige A1-Fraktur nach AO, retrograde Marknagelosteosynthese mit UHN. Intraoperativ iatrogene Fraktur distal beim Einbringen des Nagels durch ungenügende Aufbohrung des Insertionspunkts. Erweiterung der Operation mit Anlage von 2 Draht-Cerclagen. Proximal nur einfache Verriegelung bei sehr guter intramedullärer Nagelverklemmung

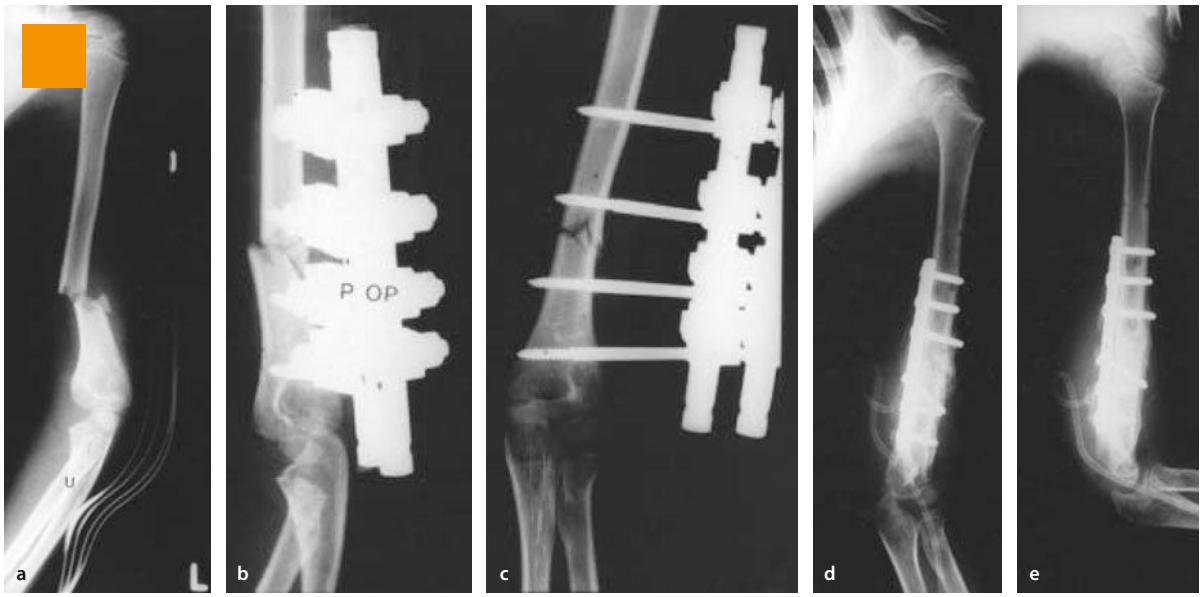


Abb. 3.8. Polytraumatisierter Patient, männlich; hämorrhagischer Schock. Distale Humerausschaftfraktur (**a**). Notfallmäßige Stabilisierung im Fixateur externe (**b, c**). Verfahrenswechsel auf Platte am 11. Tag nach dem Trauma (**d, e**)

Wichtig
Die Reposition der Fraktur und Fixateur-Anlage sollten so erfolgen, dass auch eine Ausbehandlung der Fraktur ohne Verfahrenswechsel erfolgen kann.

3.6 Nachbehandlung

Die frühfunktionelle Behandlung mit Muskelanspannungsübungen und Bewegung der angrenzenden Gelenke sollte bereits direkt postoperativ durchgeführt werden, soweit eine stabile Versorgung erreicht worden ist. Dabei sind äußere Ruhigstellungsmaßnahmen nicht förderlich und zu vermeiden, da Einsteifungen im Schulter- und Ellbogengelenk im Sinn eines Immobilisationsschadens relativ schnell auftreten können. Rotationsübungen sollten Anfangs vermieden werden.

Der Belastungsaufbau beginnt nach entsprechender röntgenologischer Dokumentation in der Regel ab der 8. Woche.

Die radiologische Kontrolle in 2 Ebenen ist unmittelbar postoperativ obligat und sollte in regelmäßigen Abständen erfolgen (z. B. 2, 6 und 12 Wochen postoperativ jeweils in 2 Ebenen mit angrenzenden Gelenken). Auch auf die bereits hingewiesene Prüfung des N. radialis unmittelbar postoperativ darf nicht verzichtet werden. Bei den klinischen Untersuchungen ist im Verlauf neben der Überprüfung von Funktion und Beweglichkeit die neurovaskuläre Untersuchung notwendig und zu dokumentieren.

Die Entfernung der Implantate ist meist nicht erforderlich und sollte gerade bei Plattenosteosynthesen wegen der Gefahr einer N.-radialis-Schädigung nur nach sorgfältiger Indikationsstellung bei mechanischer Irritation, Infekt oder am wachsenden Skelett durchgeführt werden.

3.7 Sonderformen

Kinder und Jugendliche. Humerusschaftfrakturen bei Kindern machen ca. 10% der Oberarmfrakturen aus und kommen zu 0,75% aller Frakturen im Kindesalter vor [14]. Die erste Option der Behandlung ist die konservative Behandlung mit Ruhigstellung im Gilchrist- oder Desault-Verband. Alternativ kann ein Sarmiento-Brace angelegt werden. Die Indikation zur operativen Behandlung ist abhängig von der Achsenfehlstellung. Achsenabweichungen über 10° oder sehr instabile Quer- und kurze Schrägbrüche sind Indikationen. Als Methode der Wahl dient die zur frühfunktionellen Nachbehandlung gut geeignete elastische intramedulläre Nagelung (ESIN; Abb. 3.9; [15]).

Pathologische Humerusschaftfrakturen. Diese treten insbesondere bei metastasiertem Mammakarzinom auf und werden nach den Richtlinien der onkologischen Chirurgie behandelt. Marknagelosteosynthesen sind prophylaktisch, also möglichst vor Frakturauftreten, durch-



Abb. 3.9. 16 Jahre, männlich. Sturz aus 1 m Höhe. Retrograde Prevot-Nagelosteosynthese (Titan, jeweils 2,5 mm). **a-d** Frakturaufnahmen und direkt postoperative Kontrolle. **e, f** Konsolidierung der Fraktur mit einliegenden Prevot-Nägeln *(Aufnahmen vor Metallentfernung)*

zuführen. Nach Auftreten eines Bruchs eignen sich Plattenosteosynthesen auch als sog. Verbundosteosynthese in Kombination mit Knochenzement.

3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die *operative Behandlung* der Humerusschaftfraktur konnte sich mit der Entwicklung der intramedullären Nagelosteosynthesen als rotationsstabiles Verfahren etablieren und hat die konservative Behandlung weitgehend verdrängt. Vorteile sind die umgehende Übungsstabilität mit rascher Wiederherstellung von Funktion und Form des Oberarms. Kleinere Rotations- oder Achsenfehler unter 20° werden gut kompensiert. Das Weichteiltrauma durch den Eingriff ist gering.

Es besteht die Möglichkeit der antegraden oder retrograden *Nagelung*, die jeweils Vor- und Nachteile mit sich bringen. Während bei der antegraden Marknagelung eine unverletzte Rotatorenmanschette traumatisiert wird, besteht bei der retrograden Nagelung der technische Anspruch, die Insertionsbohrung so anzulegen, dass beim Einbringen des Nagels keine Fissuren bzw. iatrogene Frakturen auftreten. Insgesamt werden für die retrograde Marknagelung Fissuren an der Insertionsstelle um 4% und zusätzliche Schaftfrakturen <1% beschrieben (Abb. 3.7).

Hauptproblem der Marknagelung ist das Auftreten von Pseudarthrosen, die zu etwa 7% in der Literatur beschrieben werden (2% nach Plattenosteosynthese). Die *Plattenosteosynthese* hat ebenso vielfältige Indikationen wie Trümmer- und Kettenbrüche. Hauptnachteil sind die Radialisläsionen, die in >15% der Operationen auftreten. Infekte sind insgesamt selten (<2%).

Die Indikation zur *Metallentfernung* bei Humerusschaftfrakturen ist insgesamt und ganz besonders nach Plattenosteosynthese zurückhaltend zu stellen, sofern keine Komplikationen durch das Implantat oder Infekte auftreten.

Nicht zu vergessen ist auch das *konservative* Behandlungskonzept, das bei Wunsch des Patienten oder hohem Narkoserisiko zum Tragen kommt. Die Beachtung der Weichteilverhältnisse und die aktive Mitarbeit des Patienten sind über den aufzuklärenden langen Behandlungszeitraum unerlässlich.

Zum Vorgehen bei Behandlung eines primären oder sekundären *N.-radialis-Schadens* gibt es keine eindeutigen Empfehlungen. Einige Autoren raten wegen der nachweislich hohen Rate einer Spontanremission und gleichzeitiger Schädigung des Nervs durch die Freilegung von einer solchen ab und indizieren bei definitiv unvollständiger Erholung des Nervs die Revision nach 4–8 Wochen. Andere Autoren sehen bei manifester, begleitender Radialisparese die Indikation zur sofortigen operativen Revision [3, 4]. Tritt eine *Parese postoperativ* (Häufigkeit um 4%, insbesondere durch traumatische Lagerung) auf, kann auf die Revision verzichtet werden, wenn der Nerv dargestellt worden ist.

Die Prognose ist gut; nach posttraumatischer Parese wird von mindestens partiellen Erholungsraten <80% berichtet, nach sekundärem Schaden von >90% und nach postosteosynthetischer Parese von bis zu 100% [16]. Eine

12

Revision hat bei dem Verdacht auf eine Einklemmung im Bruchspalt oder auf Durchtrennung zu erfolgen. Eine Regeneration wird im Mittel ab 6 Monaten erreicht. Ist noch keine Regeneration nach 7 Monaten erreicht, ist mit keiner weiteren Verbesserung zu rechnen.

Bei Verdacht auf einen gravierenden Radialisschaden sollte die Indikation zur zeitnahen Revision und Versorgung über eine Plattenosteosynthese gestellt werden. Hinweise auf einen gravierenden Nervenschaden sind nach [16] offene Brüche und hochgradige Weichteilschäden, die distale Spiralfraktur (Holstein-Lewis), begleitende Gefäßverletzungen, Schuss- und Stichwunden, aber auch die Parese nach geschlossener Reposition.

Pseudarthrosen von Humerusschaftfrakturen entstehen infolge von nicht stabil versorgten Frakturen als Indikations- und Behandlungskompromisse, besonders bei kurzen Schräg- bzw. Querfrakturen, die nur geringe Kontaktzonen der Frakturfragmente aufweisen [17, 18]. Die Revision mit Verfahrenswechsel nach Ablauf von 8 Monaten auf eine stabile Osteosynthese ist zu empfehlen. Bei hypertrophen Pseudarthrosen ist eine Spongiosaplastik nicht unbedingt erforderlich, bei den anderen Formen ist sie dringend zu empfehlen.

3.9 Begutachtung

Für die Bewertung ist – wie auch an anderen Lokalisationen – die funktionelle Einschränkung entscheidend. Achsenabweichungen werden bis etwa 30° gut toleriert und kompensiert, sodass meist keine rentenrelevanten Einschränkungen verbleiben. Pseudarthrosen im Schaftbereich können je nach funktioneller Bedeutung Einschränkungen um 30% erbringen; ist das permanente Tragen eines Hülsenapparates erforderlich, kann der Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) bis zu 50 betragen [19]. Auf den Bruch zurückzuführende Bewegungseinschränkungen der Schulter (z. B. nach langer Ruhigstellung) bedingen bei einer Abduktion von 120° einen GdB/MdE von 10, bei 90° von 20. Bei zusätzlich eingeschränkter Drehung kann auch ein GdB/MdE von 30 gerechtfertigt erscheinen.

Funktionelle Einschränkungen im Ellbogengelenk finden sich weniger häufig im Zusammenhang mit einer Humerusschaftfraktur und sind in den entsprechenden Kapiteln nachzuschlagen. Begleitende Radialisparesen bedingen einen GdB/MdE um 30 in Abhängigkeit von der Höhe der Schädigung.

Die Invaliditätsgrade der privaten Unfallversicherung sind in Bruchteilen in entsprechender Höhe anzusetzen.

Literatur

1. G. Tytherleigh-Strong, N. Walls, M.M. McQueen, The epidemiology of humeral shaft fractures. J Bone Joint Surg 80-B: 249–253 (1998)
2. D. Loitz, H. Könnecker, A. Illgner, H. Reilmann H, Retrograde Marknagelung von Humerusfrakturen mit neuen Implantaten – Analyse von 120 konsekutiven Fällen. Unfallchirurg 101: 543–550 (1998)
3. E. Brug, A. Joist, R. Meffert, Postoperative Radialisparese. Schicksalhaft oder fahrlässig, zuwarten oder revidieren? Unfallchirurg 105: 82–85 (2002)
4. W. Wawro, K. Brehme, W. Otto, Radialislähmung bei Oberarmschaftfrakturen. Trauma & Berufskrankh 4 (Suppl 1): 551–554 (2002)
5. M.E. Müller, S. Nazarian, P. Koch, J. Schatzker, The comprehensive classification of fractures of the long bones. Springer Heidelberg New York, Berlin, 1990
6. R.B. Gustilo, J.T. Anderson, Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones. J Bone Joint Surg 58-A: 453–458 (1976)
7. C.M. Court-Brown, J.F. Keating, M.M. McQueen, Infection after intramedullary nailing of the tibia. Incidence and protocol for management. J Bone Joint Surg 74-B: 770–774 (1992)
8. L. Boehler, Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmschaftbrüchen. Langenbecks Arch Klin Chir 308: 465–475 (1964)
9. J. Blum, H. Machemer, M. Högner, F. Baumgart, U. Schlegel, D. Wahl, P.M. Rommens, Biomechanik der Verriegelungsmarknagelung bei Oberarmschaftfrakturen. Unfallchirurg 103: 183–190 (2000)
10. J. Blum, P.M. Rommens, H. Janzing, H.S. Langendorff, Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem UHN: Eine internationale Multizentrische Studie. Unfallchirurg 101: 342–352 (1998)
11. A. Sarmiento, L.L. Latta, Funktionelle Behandlung bei Humerusschaftfrakturen. Unfallchirurg 110: 824–832 (2007)
12. A.K. Henry, Extensible exposure. Wiliams & Wilkins, Baltimore, 1970
13. J. Blum, E. Gercek, M. Hansen, P.M. Rommens PM, Operative Versorgungsstrategien von Frakturen an der oberen Extremität beim Polytrauma. Unfallchirurg 108: 843–849 (2005)
14. P.P. Schmittenbecher, J. Blum, S. David, P. Knorr, I. Marzi, W. Schlickewei, G. Schönecker, Die Behandlung von Humerusschaftfrakturen und subkapitalen Humerusfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 107: 8–14 (2004)
15. L. von Laer, Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 4. Aufl. Thieme, Stuttgart, 2007
16. W. Daecke, F. Geiger, Radialisparese – gesicherte Literaturergebnisse. Trauma & Berufskrankh 10 (Suppl. 2): 267–271 (2008)
17. H.A. Fattah, E.E. Halawa, T.H.A. Shafy, Non union of the humeral shafts: a report of 25 cases. Injury 14: 255–262 (1983)
18. C. Qeitsch, M.E. Wenzel, M. Wurm, C. Jürgens, K. Seide, Therapie der Humerusschaftpseudarthrose. Trauma & Berufskrankh 8: 120–124 (2006)
19. F. Mehrhoff, G. Muhr, Unfallbegutachtung. de Gruyter, Berlin

4 Distaler Oberarm

G. Heinrichs, A.P. Schulz, M.M. Kaiser

Definition

Es handelt sich um körperferne Brüche des Oberarms. Diese können entweder einzeln oder kombiniert extraartikulär, mono- oder diacondylär oder vollständig artikulär sein. Des Weiteren können sie ein- oder multifragmentär sein.

Die genaue Klassifikation der Frakturen ist entscheidend, da die Ergebnisse bei komplexen Brüchen mit Gelenkflächenbeteiligung oftmals unbefriedigend sind. Osteoporose und Ausdehnung der Verletzung (offene Frakturen) haben ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf das Ausheilungsergebnis, aber auch auf die Wahl des operativen Vorgehens.

Die kondyläre Humerusfraktur ist bei Erwachsenen eine seltene Frakturform und meist Folge eines direkten Anpralltraumas [1, 2]. Demgegenüber ist die supracondyläre Humerusfraktur die häufigste ellbogengelenknahe Verletzung im Wachstumsalter (50–60%); davon sind 98% Extensionsfrakturen und nur 2% Flexionsfrakturen [3]. Der linke Ellbogen ist häufiger betroffen. Die zweithäufigste Ellbogengelenksverletzung im Kindesalter ist die Fraktur des Condylus radialis humeri (10–15%), sie betrifft eher kleinere Kinder zwischen 4 und 8 Jahren. Die Epicondylus-ulnaris-Fraktur (Apophysenverletzung) hingegen betrifft eher ältere Kinder zwischen 9 und 15 Jahren. Sie kann sowohl isoliert auftreten als auch als Begleitverletzung einer (stattgehabten und spontan reponierten) Ellbogenluxation.

4.1 Mechanismus

Meist handelt es sich um *direkte Anpralltraumata*. Vereinzelt kommen auch indirekte Traumata wie ein *Sturz auf den ausgestreckten Arm* vor. Bei *Kindern* begünstigt die physiologische Überstreckbarkeit die Frakturentwicklung. Durch eine zusätzliche Rotation entsteht eine dislozierte Fraktur. Eine genaue Anamnese ist wichtig, um Krafteinwirkung und Verletzungsausmaß abzuschätzen.

Häufiger als andere Frakturen sind distale Humerusfrakturen mit Gefäß- und Nervenverletzungen im Bereich des Ellbogens assoziiert. Im Vordergrund stehen dabei Verletzungen des N. ulnaris bzw. radialis. Darüber hinaus drohen Schädigungen der A. brachialis.

Aus diesem Grund empfiehlt sich immer die genaue Dokumentation des neurologischen Status bei der initialen Untersuchung. Gegebenenfalls sollte – wenn möglich – ein neurologisches Konsil durchgeführt werden.

4.2 Klinik

Es finden sich die typischen *indirekten Frakturzeichen* mit

- Hämatomen,
- Ödembildung,
- Schwellungen und
- Druckschmerz.

Darüber hinaus finden sich bei direkter Gewalteinwirkung auch Prellmarken oder Weichteilverletzungen. Bei Kindern kann die massive Schwellung, besonders bei einer supracondylären Fraktur mit Dislokation, eine Luxation vortäuschen.

Die Beweglichkeit im Ellbogengelenk ist schmerzbedingt eingeschränkt. Oftmals hält der Patient den Arm in einer *Schonhaltung* in Beugung und stabilisiert ihn mit dem Arm der Gegenseite. Eventuell zeigt sich eine Fehlstellung. Bei *Begleitverletzungen* finden wir entsprechende weitere klinische Zeichen. Bei Nervenschädigungen sind dies z. B. Parästhesien oder Lähmungen, bei Gefäßschädigungen z. B. Blässe und fehlende periphere Pulse. In bis zu 30% der Fälle handelt es sich um Mehrfachverletzte. Andere Verletzungen sind durch eine genaue Analyse des Unfallhergangs und Untersuchung auszuschließen.

4.3 Diagnostisches Vorgehen

Neben der Anamnese (Mechanismus weist auf Art der Fraktur und damit evtl. auf Begleitverletzungen hin) und der Inspektion ist die radiologische Diagnostik obligat. Es werden *Röntgenaufnahmen* des Ellbogengelenks in 2 streng senkrecht zueinander stehenden Ebenen angefertigt (a.-p. in Steckstellung und Supination, seitlich in 90° Beugung und Supination), wobei die seitliche Aufnahme häufig schwierig einzustellen ist. Diese Ebene ermöglicht eine Beurteilung der Gelenkfläche und ist bei Fehlprojektion zu wiederholen. Die beiden Ebenen können bei unklarem Ergebnis durch *Schrägaufnahmen* ergänzt werden.

> Besteht der Verdacht auf eine Gelenkbeteiligung, ist die Durchführung einer CT – ggf. mit 3-D-Rekonstruktion – empfehlenswert, da die Art der Osteosynthese und der operative Zugang von der genauen Klassifikation der Fraktur abhängen.

Eventuelle Begleitverletzungen erfordern eine weitere präoperative Diagnostik. So sollte beim Verdacht einer Nervenschädigung eine *neurologische Diagnostik* mittels Untersuchung und ggf. EMG/ENG erfolgen. Dies dient auch der Abgrenzung einer evtl. vorbestehenden Nervenschädigung gegenüber einem akut traumatischen Ereignis. Eine Gefäßdarstellung ist dopplersonographisch oder durch eine *Angiographie* möglich. Differenzialdiagnostisch kommen Ellengelenkluxationen und proximale Unterarmfrakturen in Betracht.

4.4 Klassifikationen

4.4.1 AO-Klassifikation

Die allgemein gültige AO-Klassifikation (◘ Abb. 4.1) unterteilt bei Erwachsenen auch die Brüche am distalen Humerus in:

- extraartikuläre (A),
- partiell intraartikuläre (B) und
- artikuläre (C) Frakturen.

Frakturen vom Typ A. Die *extraartikulären* A-Frakturen *sind* extraartikuläre *Ausrissfrakturen der Condylen*. Oftmals sind sie von einer Subluxation oder Luxation begleitet. Die Behandlung der Luxationsstellung steht im Vordergrund der Primärversorgung. Dabei muss verhindert werden, dass es bei der Reposition zu einer Interposition von Knochenfragmenten oder Weichteilgeweben im Gelenkspalt kommt. Im Allgemeinen ist der Ellbogen nach Reposition stabil, sodass eine *konservative Versorgung* möglich ist. Bei größeren Fragmenten empfiehlt sich eine Fixation mit 3,5- oder 4,5-mm-*Schrauben* und einer *monocondylären Platte*. Diese Verfahren sind stabiler als die auch mögliche Kirschner-Drahtosteosynthese.

Frakturen vom Typ B. Bei den partiell intraartikulären B-Frakturen handelt es sich oftmals um sagittal verlaufende Brüche, bei denen entweder die mediale (ulnare) oder die laterale (radiale) Condyle betroffen ist und die bis in die Gelenkfläche reichen können (B1 und B2). B3-Frakturen verlaufen in der Frontalebene. Hier bieten sich die oben erwähnten Verfahren der *Schrauben-* oder *Plattenosteosynthese* zur sicheren Stabilisierung nach stufenfreier Reposition der Gelenkfläche an.

Frakturen vom Typ C. C-Frakturen des distalen Humerus beinhalten *immer* eine *Gelenkbeteiligung* und sind oftmals Mehrfragmentfrakturen.

4.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Die Extensionsfrakturen können nach *Gartland* [4] subklassifiziert werden (◘ Abb. 4.2). Im Kindesalter findet v. a. die Klassifikation der supracondylären Frakturen nach von Laer (◘ Abb. 4.3) Anwendung [3, 5].

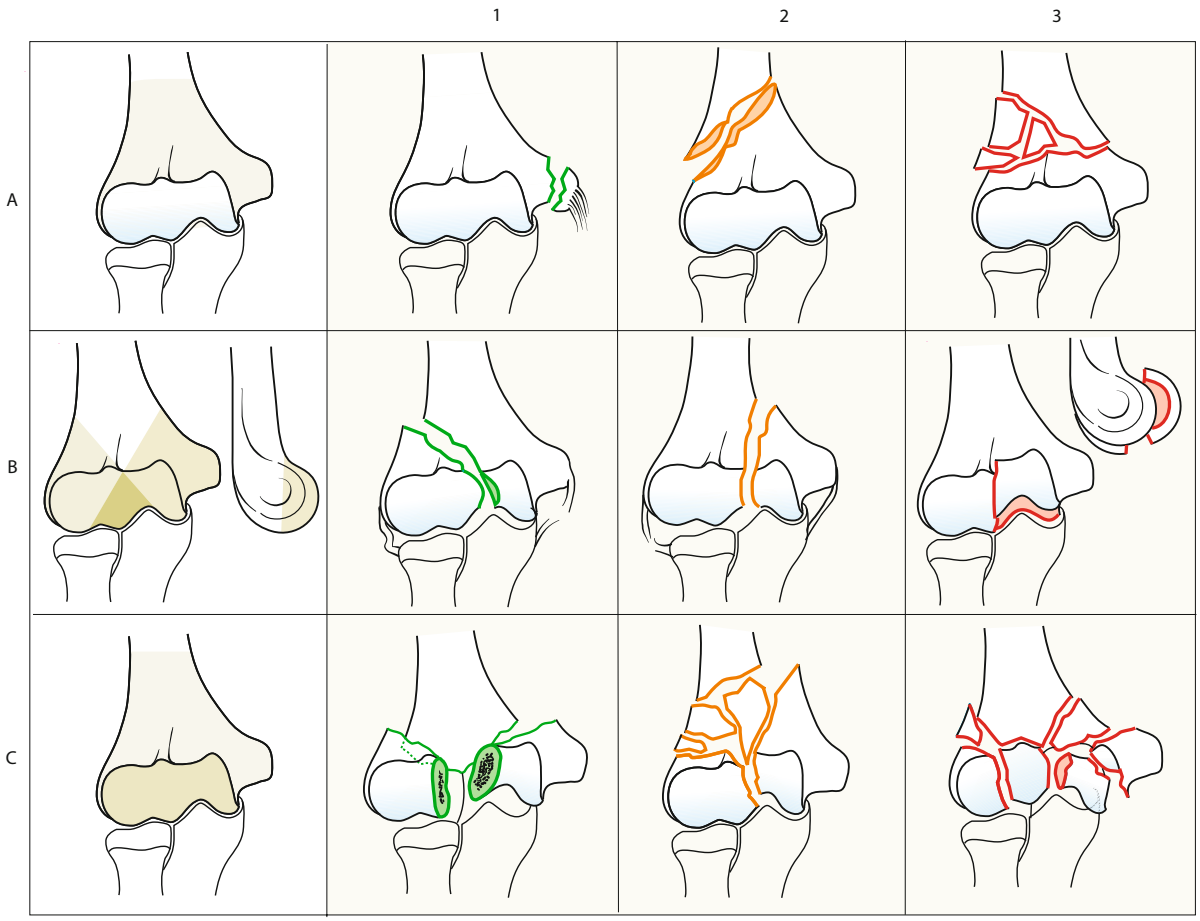


Abb. 4.1. Extra- und intraartikuläre Frakturen, distaler Oberarm
a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Apophysär
A2: Metaphysär einfach (supra- oder transcondylär)
A3: Metaphysär mehrfach fragmentiert
b Intraartikuläre einfache Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Radialer (lateraler) Condylus
B2: Medialer (ulnarer) Condylus
B3: Abscherung in der Frontalebene
c Intraartikuläre vollständige Frakturen (je 3 Untergruppen C1.1–C3.3)
C1: Intraartikulär und metaphysär einfach (T- oder Y-förmig, intercondylär)
C2: Intraartikulär einfach, metyphysär mehrfach
C3: Intraartikulär mehrfach und metyphysär mehrfach

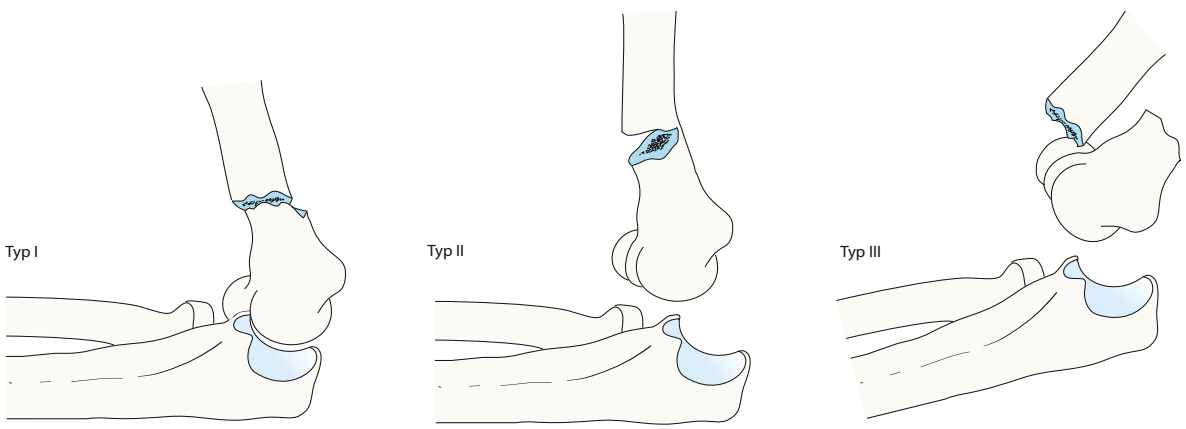


Abb. 4.2. Gartland-Klassifikation der Extensionsfrakturen. Diese unterscheidet: Typ I: unverschobene Brüche, Typ II: verschobene Brüche bei erhaltenem posteriorem Kortex und Typ III: und vollständig dislozierte Brüche. (Nach [4])

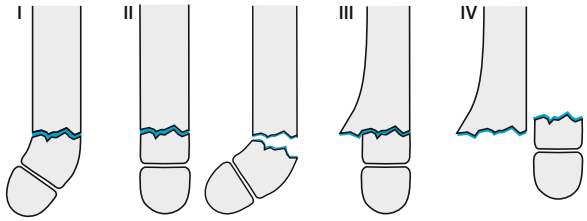


Abb. 4.3. Von-Laer-Klassifikation. Abgegrenzt werden 4 Formen: Typ I: undisloziert, Typ II: Dislokation nur in 1 Ebene, Typ III: Dislokation in 2 Ebenen, meist mit Rotationsfehler und Typ IV: komplette Dislokation. (Nach [6])

4.5 Therapeutisches Vorgehen

Ziel der operativen Versorgung ist die anatomische Rekonstruktion der Fragmente und v. a. der Gelenkfläche sowie eine dauerhafte Retention der Reposition bis zur knöchernen Konsolidierung. Die Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Oberarms anhand der Einteilung nach der AO-Klassifikation zeigt im Überblick Abb. 4.4.

Eine operative Therapie ist bei Dislokation, Mehrfragmentfraktur und Beteiligung der Gelenkfläche immer gegeben. Undislozierte A-Frakturen können ggf. konservativ behandelt werden.

Bei Gelenkfrakturen vom C-Typ wird die Fraktur durch Schrauben oder K-Drähte zunächst in eine A-Fraktur umgewandelt, im Anschluss erfolgt dann eine Plattenosteosynthese. Eine relative Kontraindikation besteht bei fehlender Verankerungsmöglichkeit der Schrauben bei ausgedehnter Gelenkzertrümmerung und/oder zusätzlicher schwerer Osteoporose. Intraoperativ darf der N. ulnaris nicht geschädigt werden. Eine direkte Verletzung durch die Präparation oder durch Einklemmen in Bruchspalten ist möglich, aber auch eine indirekte Schädigung durch zu großen Zug im Sinne eines Traktionsschadens. Es kann daher postoperativ zu Parästhesien, die jedoch meistens nicht persistieren, kommen. Es gilt also, intraoperativ einen Zug auf den mobilisierten Nerv zu vermeiden.

Eine sekundäre Schädigung des Nervs ist durch die Bildung heterotoper Ossifikationen möglich. Diese treten gehäuft nach Schädel-Hirn-Trauma oder verspäteter Versorgung auf. Eine *Prophylaxe periartikulärer Ossifikationen (PAO)* für mindestens 14 Tage postoperativ wird unbedingt empfohlen.

Weiterhin ist auf eine ausreichende, in jedem Fall übungsstabile Fixation der Bruchstücke zu achten. Nur so kann die vermehrte Bildung von Pseudarthrosen vermieden werden. Bei älteren Patienten oder generell schlechter Knochenqualität ist zudem ein Versagen der Osteosynthese, z. B. im Sinne einer Schraubenauslockerung, vermehrt zu beobachten. Hier empfiehlt sich die konsequente Ruhigstellung des Arms postoperativ unter Vermeidung einer frühzeitigen Belastung, ggf. durch zusätzliche Versorgung mit einem Fixateur externe neben der eigentlichen Osteosynthese für 3–5 Wochen.

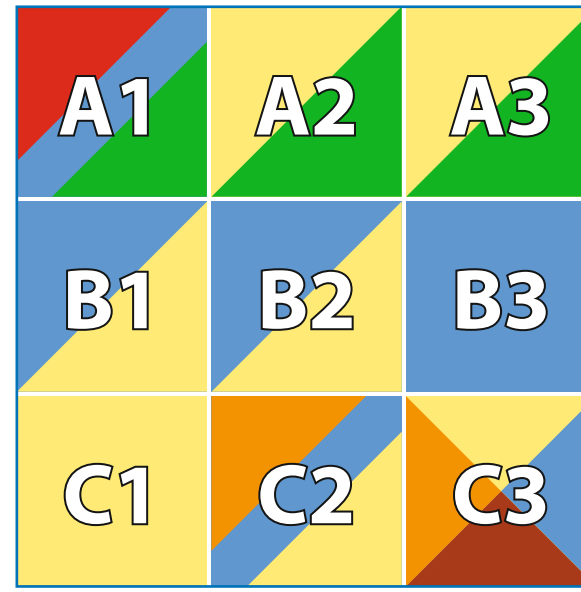


Abb. 4.4. Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Oberarms. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese
- Fixateur externe
- Prothese

Postoperative PAO-Prophylaxe bedenken!

4.5.1 Konservative Therapie

Wie bereits erwähnt, ist eine konservative Therapie beim Erwachsenen nur selten indiziert [7]. Nach Reposition der Fraktur ist eine Versorgung mit einem Oberarmgips in sog. Spucknapf- oder Neutralstellung des Unterarms nötig. Zur Reposition ist eine ausreichende Analgesie oder ggf. eine Analgosedierung empfehlenswert. Bei starker Schmerzhaftigkeit oder mangelnder Mitarbeit des Patienten ist alternativ eine Kurznarkose zu erwägen.

Während der Reposition ist eine Rotation zu vermeiden. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die mediale Trochlea etwas größer ist als der laterale Anteil, was anatomisch zu einer leichten Valgusstellung (ca. 6°) zwischen Humerus und Antebrachium führt.

Bei *Kindern* finden sich auch undislozierte Frakturen; manchmal sind diese Brüche nur anhand der Klinik und des sog. *Fettpolsterzeichens* (Abhebung von üblicherweise nicht darstellbaren kleinen Fettpolstern durch das subperiostale Hämatom im vorderen und hinteren Anteil des distalen Humerus) radiologisch darzustellen. In diesen Fällen kann auch die Sonographie zur Detektion hilfreich sein. Nicht dislozierte supracondyläre Frakturen Typ I nach von Laer sowie stabile Frakturen vom Typ II (<20° ventrale Aufklappung bei Patienten unter 6 Jahren) werden im Oberarmgips oder in der Blount-Schlinge behandelt (Abb. 4.5–4.7). In der Blount-Schlinge (»cuff and collar«) wird das Handgelenk über eine Schlaufe am Hals fixiert und so eine ca. 120°-Beugung des Ellbogengelenks erzielt. Undislozierte Frakturen des Condylus radialis (<2 mm Gelenkstufe) und des Epicondylus ulnaris (<1 cm Dehiszenz) können im Oberarmgipsverband behandelt werden.

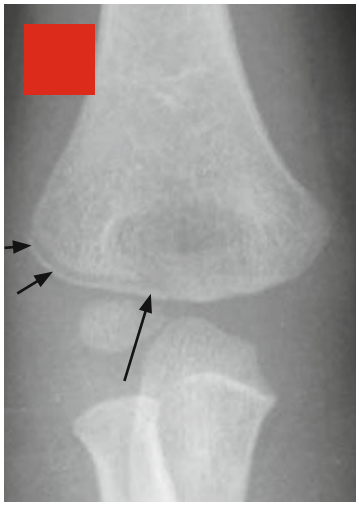


Abb. 4.5. 7 Jahre, männlich. Fahrradsturz. Schalenförmige inkomplette Fraktur des Condylus radialis, zentral undisloziert (*Pfeile*). Konservative Behandlung im Oberarmgips. Erneute Röntgenkontrolle gipsfrei nach 5 Tagen erforderlich. Bei unveränderter Stellung Fortführung der konservativen Behandlung

4.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese, Schraubenosteosynthese

Der Ellbogen des Erwachsenen toleriert eine Immobilisierung selbst für wenige Tage nicht gut; es treten Bewegungseinschränkungen bei zu langer Immobilisierung (insbesondere Streckhemmung) auf. Höhergradige Funktionseinschränkungen sind oft bei Trümmerbrüchen oder Polytraumatisierten aufgrund periartikulärer Verkalkungen die Folge. Aus diesem Grund ist bei Frakturen eine übungsstabile Versorgung anzustreben.

Minimalinvasive Verfahren wie die K-Draht- oder Schraubenosteosynthese führen als alleiniges Verfahren meist weder zu einer anatomischen Reposition noch zu einer ausreichenden Stabilität. Aus diesem Grund ist eine alleinige K-Drahtfixation beim Erwachsenen nicht indiziert, eine Schraubenosteosynthese bietet jedoch bei einigen Frakturformen ausreichend Stabilität, z. T. auch zur vorsichtigen Beübung (Abb. 4.8). Im Gegensatz dazu sind bei kindlichen Frakturen Kirschner-Draht- und Zugschraubenosteosynthesen etablierte Verfahren.

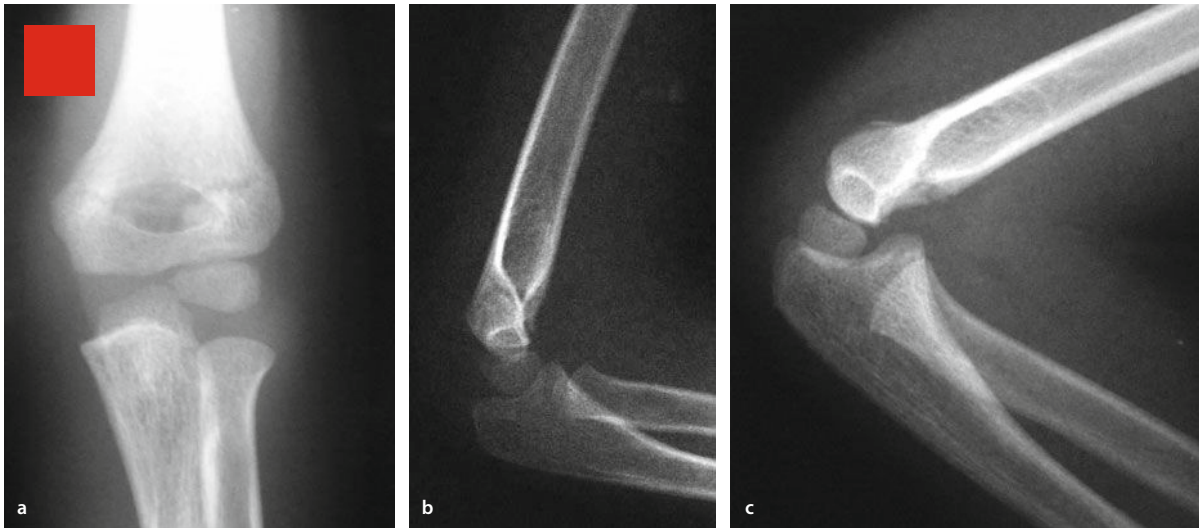


Abb. 4.6. 7 Jahre, männlich. Sturz vom Skateboard. Undislozierte supracondyläre Humerusfraktur (**a**, **b**). Problemlose Behandlung in der Blount-Schlinge (Cuff und Collar). Röntgenkontrolle nach 1 Woche nach dem Nachspannen der Blount-Schlinge (**c**)



Abb. 4.7. 6-jähriges Mädchen. Sturz vom Klettergerüst. a, b Fraktur des Humerus supracondylär, nicht disloziert *(Pfeile: Frakturverlauf)*. **c, d** Röntgenkontrolle nach 1 Woche im Gips. **e, f** Röntgenkontrolle 4 Wochen nach dem Unfall

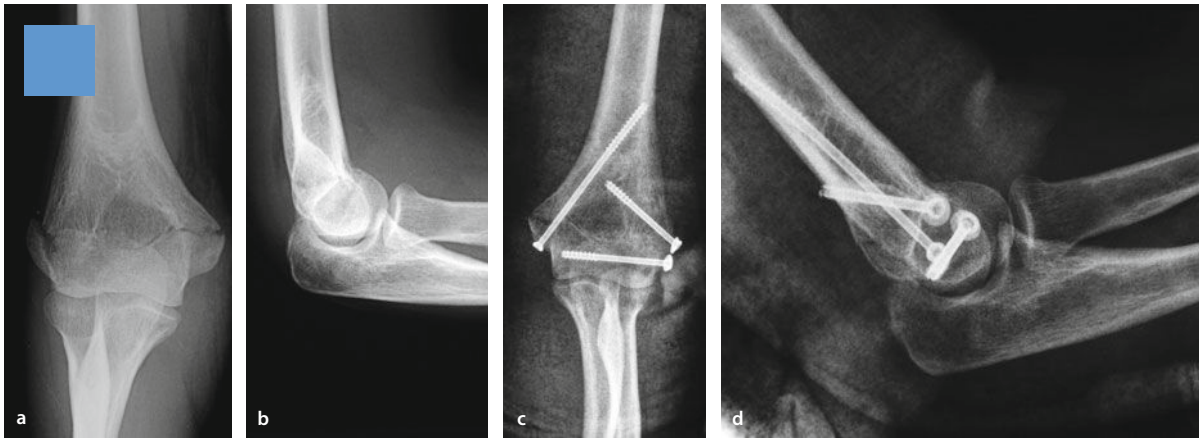


Abb. 4.8. 29 Jahre, weiblich. Sturz auf den ausgestreckten Arm. Frakturtyp 13-A3 nach AO, wenig disloziert. Keine Neurologie. Nach offener Reposition bei guter Knochenqualität Zugschraubenosteosynthese. Eine vorsichtige Beübung war postoperativ möglich

Supracondyläre Humerusfrakturen (immer Typ III und IV nach von Laer sowie instabile Typ-II-Frakturen) werden geschlossen reponiert und das Ergebnis mit gekreuzten *K-Drähten* retiniert. Die Drähte werden nach Reposition unter Durchleuchtung perkutan über den Condylus radialis und den Epicondylus ulnaris eingebracht, kreuzen jenseits der Fraktur und gehen über die Gegenkortikalis hinaus (Abb. 4.9).

Entscheidend ist hierbei zusätzlich, den ulnaren Draht über den sicher palpierten Epicondylus zu platzieren, um eine Verletzung des N. ulnaris zu vermeiden. Bei schlanken Kindern und geringer Schwellung ist der Nerv selbst sicher vor dem Eintritt in den Sulcus palpierbar. Der Vorteil der gekreuzten Anwendung der Drähte ist die stabilere Versorgung gegenüber 2 Drähten nur über den radialen Pfeiler. Abschließend erfolgt die Anlage einer Oberarmgipsschiene unter Aussparung der mit Kompressenverband versorgten Drähte [8–10].



Abb. 4.9. Fraktur des Condylus radialis. Nach offener Reposition mit 2 versenkten Kirschner-Drähten versorgt

Offene Operationen sind über einen ulnaren oder besser radialen Zugang möglich. Der dorsale Zugang erbringt selten zusätzliche Vorteile und kann zu periartikulären Verklebungen führen. Die *geschlossene Reposition* ist auch bei grob dislozierten Frakturen möglich (Abb. 4.10). Grundsätzlich vereinfacht die offene Technik die Reposition nicht, und die Ergebnisse der offenen Reposition sind selbst bei grob dislozierten Frakturen nicht besser als beim geschlossenen Vorgehen [11]. Weitere Möglichkeiten sind der 1–2 cm quere Zugang in der Ellenbeuge und Manipulation mittels Daumen oder eine Stichinzision anteromedial mit Stieltupfer als Repositionshilfe [12].

Alternativen der operativen Versorgung sind hier der radiale Minifixateur oder die Osteosynthese mit deszendierenden elastischen Marknägeln (ESIN) mit dem Vorteil der gipsfreien Nachbehandlung. Entscheidend sind immer das optimale Repositionsergebnis und die stabile Fixierung der Fraktur, da nur dann sehr gute funktionelle und kosmetische Ergebnisse erzielt werden können.

Das Repositionsergebnis wird immer am sichersten in der exakt eingestellten seitlichen Ebene überprüft. Findet sich hier ventral am proximalen Hauptfragment bei der Extensionsfraktur eine Stufe, so ist die Rotation nicht exakt.

Durch die meist 4-wöchige Gipsruhigstellung nach Kirschner-Drahtosteosynthese sind bei Kindern keine Komplikationen zu befürchten. In seltenen Fällen kann es jedoch trotz optimaler Frakturstellung aufgrund von Wachstumsstörungen zu einer Achsenänderung kommen oder bedingt durch Weichteilschäden ein Bewegungsdefizit verbleiben.

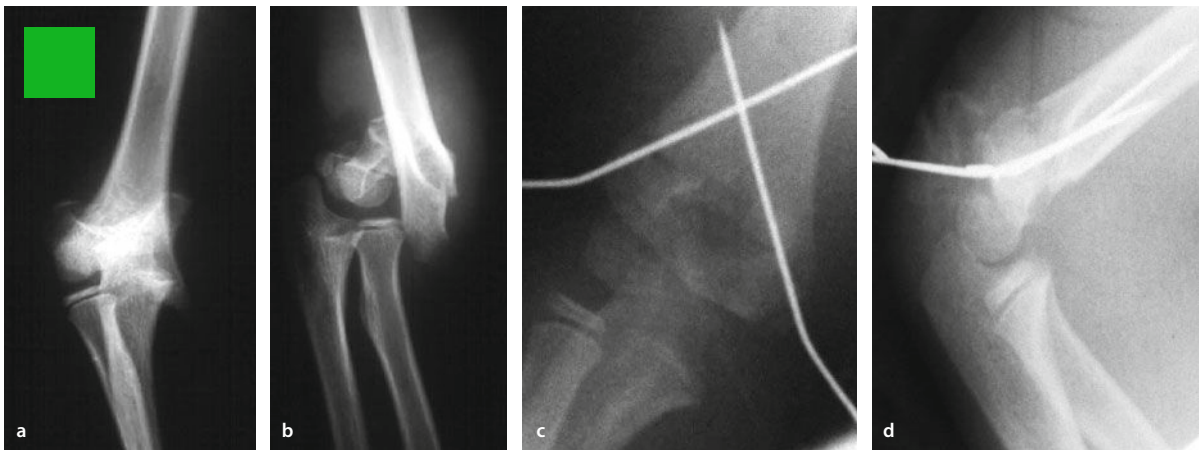


Abb. 4.10. 7 Jahre, männlich. Sturz vom Skateboard. Supracondyläre Humerusfraktur Typ IV nach von Laer. Die Reposition war geschlossen möglich, die intraoperativen Bilder zeigen die perkutan eingebrachten gekreuzten K-Drähte. Seitliche Ebene nicht exakt eingestellt

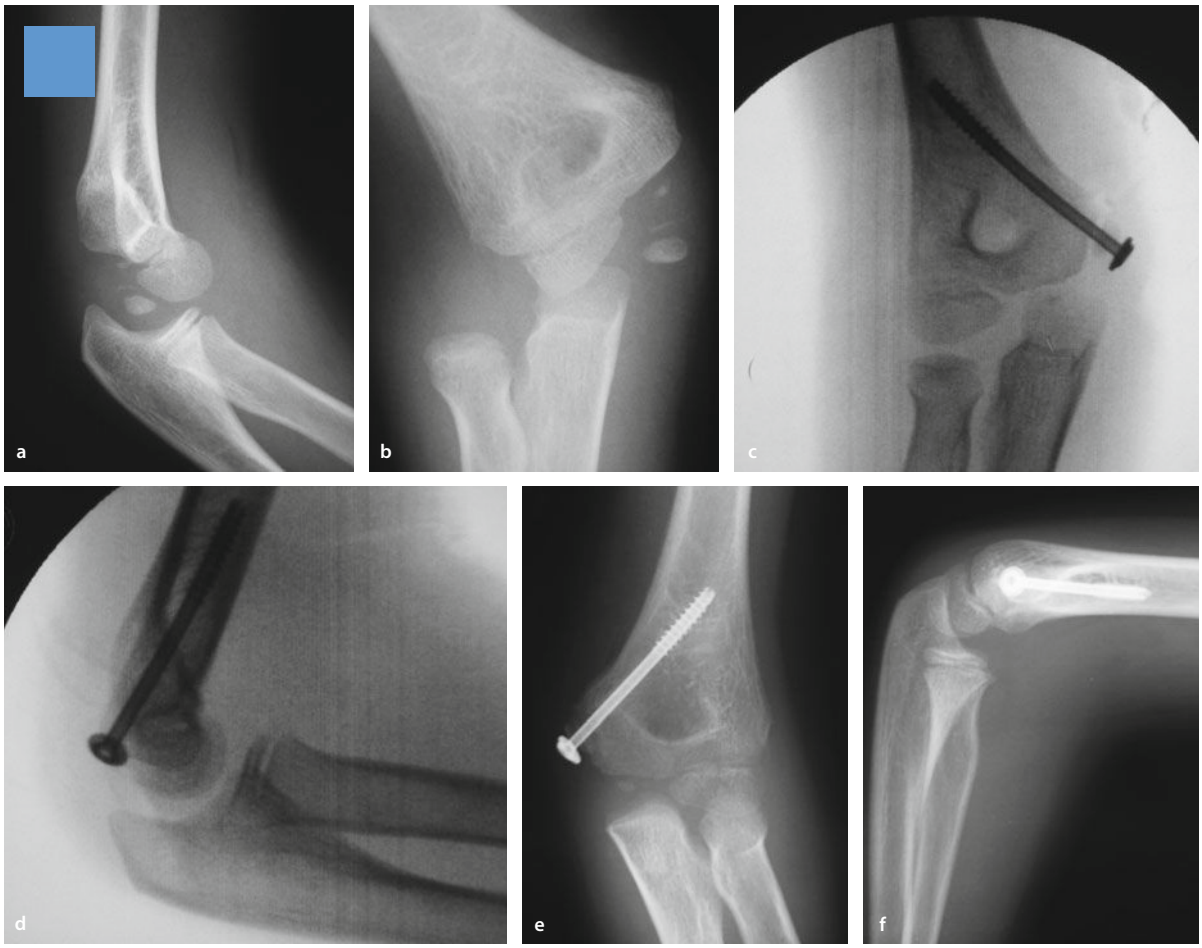


Abb. 4.11. 9-jähriges Mädchen. Sturz vom Pferd. a, b Luxiertes Ellbogengelenk, Epicondylus ulnaris in den Gelenkspalt disloziert. **c, d** Intraoperative Durchleuchtung nach geschlossener Reposition sowie offener Fixierung des Epicondylus ulnaris. **e, f** Röntgenkontrolle vor Metallentfernung nach 2,5 Monaten

Die *Zugschraubenosteosynthese* stellt ein sehr gutes Verfahren für condyläre und epicondyläre kindliche Frakturen dar (Abb. 4.11).

Bei Dislokation des Condylus radialis >2 mm (zentral!) wird eine offene Reposition und übungsstabile Zugschraubenosteosynthese durchgeführt: Dies ist fast immer möglich, da das Fragment immer größer ist als auf dem Röntgenbild dargestellt. Gegenüber der Kirschner-Drahtversorgung wird auf diese Weise das Pseudarthroserisiko minimiert, und es ist eine gipsfreie Nachbehandlung möglich.

Über einen ca. 5 cm langen Schnitt über den Epicondylus radialis wird im Septum intermusculare zwischen Streck- und Beugemuskulatur des Oberarms eingegangen. M. triceps und M. anconaeus werden nach dorsal gedrängt, Strecker und Mm. brachialis et brachioradialis nach beugeseitig. Danach ist eine adäquate Darstellung der vorderen Gelenkfläche möglich. Das Ergebnis der Reposition muss eine Gelenkfläche ohne Stufe erbringen. Die Position wird mit einer Zange oder einem Draht gehalten. Über den exakt positionierten Draht wird die kanülierte Schraube eingedreht.

Bei der Fraktur des Condylus radialis ist zu beachten, dass bei Kindern initial eine nur schalenförmige Frakturlinie nicht übersehen wird (Abb. 4.5). Liegt nach dem Unfall keine Dislokation vor, muss unbedingt nach 5 Tagen eine gipsfreie Röntgenkontrolle erfolgen, um eine sekundäre Dislokation nicht zu übersehen.

Nach von Laer [6] können undislozierte Frakturen in komplette und inkomplette Frakturen unterteilt werden. Inkomplette oder sog. »hängende« Frakturen stellen Brüche dar, bei denen der wesentliche Teil der Trochlea intakt geblieben ist. Bei den kompletten Brüchen verläuft die Fraktur durch den gesamten Trochleabereich in das Gelenk. Letztere sind für die sekundäre Dislokation prädestiniert.

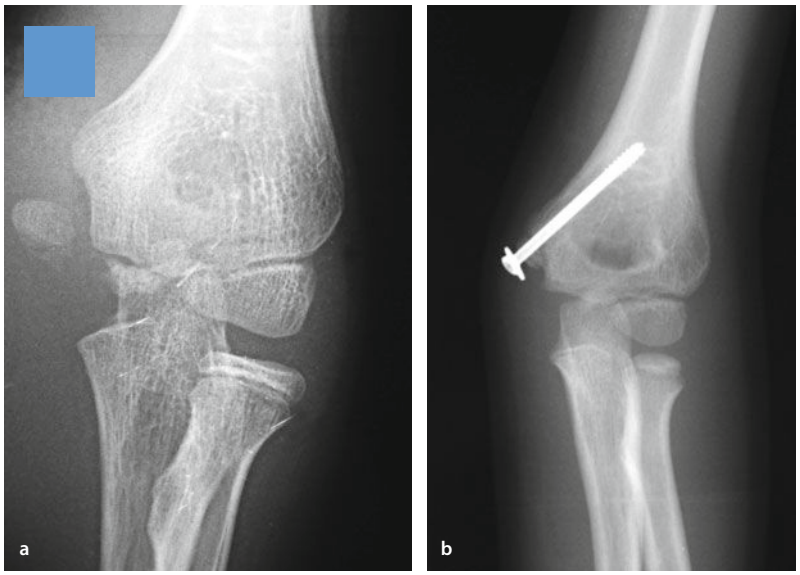


Abb. 4.12. 7 Jahre, weiblich. Sturz vom Klettergerüst als Schulunfall. Dislozierte und rotierte Fraktur des Epicondylus ulnaris (**a**). Versorgung mit offener Reposition und Zugschraubenosteosynthese (Hohlschraube, **b**). Gipsfreie Nachbehandlung und problemlose Heilung

Gering dislozierte Frakturen des Epicondylus ulnaris (deutlich weniger als 2 cm Abstand) werden konservativ behandelt. Bei Dehiszenz ist in ungefähr 50% der Fälle eine Pseudarthrose zu erwarten, die jedoch nur in ca. 10% Beschwerden verursacht. Eine absolute *Operationsindikation* besteht somit nur bei der Einklemmung im Gelenk (*Cave:* Übersehen bei der Betrachtung des Röntgenbildes!) oder der Kombination mit einer persistierenden Luxation. Relative Indikationen sind eine Dehiszenz deutlich über 1 cm sowie der Wunsch nach Übungsstabilität, die dem geringen Risiko eines späteren Extensionsdefizits entgegenwirkt. Eine Redislokation des Gelenks nach Luxation ist seltener als eine Bewegungseinschränkung.

Der dislozierte Epicondylus ulnaris wird nach offener Reposition und Darstellung des N. ulnaris mit einer Zugschraubenosteosynthese versorgt. Das reponierte Fragment wird in Flexion und Pronation mit einer kleinen Klemme oder temporär mittels eines Kirschner-Drahts gehalten. Dann ist der Einsatz einer selbstschneidenden Hohlschraube empfehlenswert (Abb. 4.12).

Bei Einklemmung des Epicondylus im Gelenk kann die »Robert-Technik« zum Einsatz kommen: Valgusstress des Ellbogengelenks bei supiniertem Unterarm und Dorsalflexion der Finger und des Handgelenks.

4.5.3 Plattenosteosynthese

Grundsätzlich benötigen Frakturen des distalen Humerus eine *»klassische« offene Reposition* und osteosynthetische Versorgung. Bei einfachen isolierten Frakturen nur eines Pfeilers (B1/B2-Frakturen nach AO) ist eine einzelne Platte meist ausreichend. Komplexere Frakturen sollten in der Regel mittels zweier Platten versorgt werden, um eine übungsstabile Situation zu erreichen.

Die Operation sollte in Bauchlage durchgeführt werden. Die Reposition der Fragmente erweist sich oftmals als schwierigster Teil der Operation. Bei Mehrfragmentfrakturen sollte zunächst eine Reposition der gelenkbildenden Abschnitte erfolgen. Eine temporäre K-Drahtfixierung erleichtert oft das Halten des Repositionsergebnisses. Alternativ können Repositionszangen verwendet werden.

Der wiederhergestellte Gelenkblock kann mit Hilfe einer oder mehrerer Zugschrauben fixiert werden. Die Zugschrauben sollten außerhalb des geplanten Plattenlagers parallel zum Gelenkspalt eingebracht werden (Abb. 4.13). Im Anschluss kann der Block mittels K-Drähten am Schaft fixiert werden, um in der Folge ulnar und/oder radial die Platten aufzubringen (Abb. 4.14).

Als mögliche Platten kommen Kleinfragment-(LC)-DC-Platten und Rekonstruktionsplatten zur Anwendung (Abb. 4.13, 4.15). Unserer Erfahrung nach sind Rekonstruktionsplatten jedoch vorzuziehen. Winkelstabile Implantate sind bei osteoporotischem Knochen oder Trümmerfrakturen empfehlenswert. Einige Hersteller bieten inzwischen auch anatomisch vorgeformte Implantate an. Bei Verwendung zweier Platten sollte die dorsoradiale Platte zunächst provisorisch platziert werden, sodass die Anteversion des Capitulums wiederhergestellt wird. Im Anschluss wird die ulnare Platte an der ulnaren Kante aufgebracht, sodass die Platten nahezu im rechten Winkel zueinander stehen. Wenn diese Platte platziert wurde, empfiehlt sich eine Kontrolle der trochlearen Fragmente einschließlich Durchleuchtung. Im Anschluss kann die dorsoradiale Platte endgültig fixiert werden.

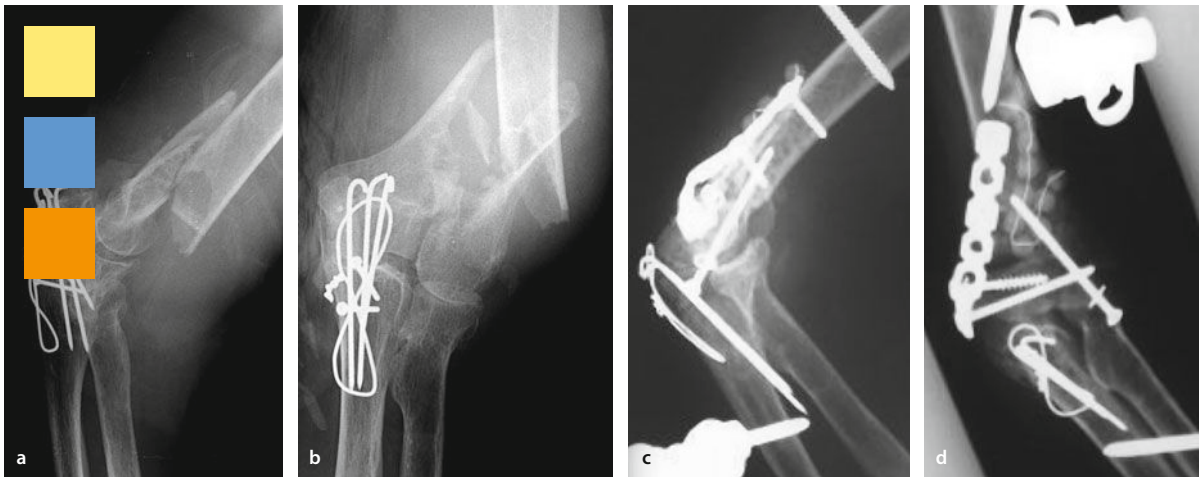


Abb. 4.13. 72 Jahre, weiblich. Treppensturz; Olecranonfraktur vor 4 Jahren. Transcondyläre Fraktur, metaphysär mehrfach und artikulär einfach (C2 nach AO). Versorgung mit ulnar einliegender Rekonstruktionsplatte, transcondylärer Zugschraube sowie zusätzlicher radialer Schraube. Bei offener Fraktur zusätzliche Einlage einer Antibiotikumkette, bei osteoporotischem Knochen belassen des Fixateur externe für 3 Wochen zur besseren Stabilisierung. Auslockerung der radialen Schraube; diese wurde nach 12 Wochen frühzeitig entfernt

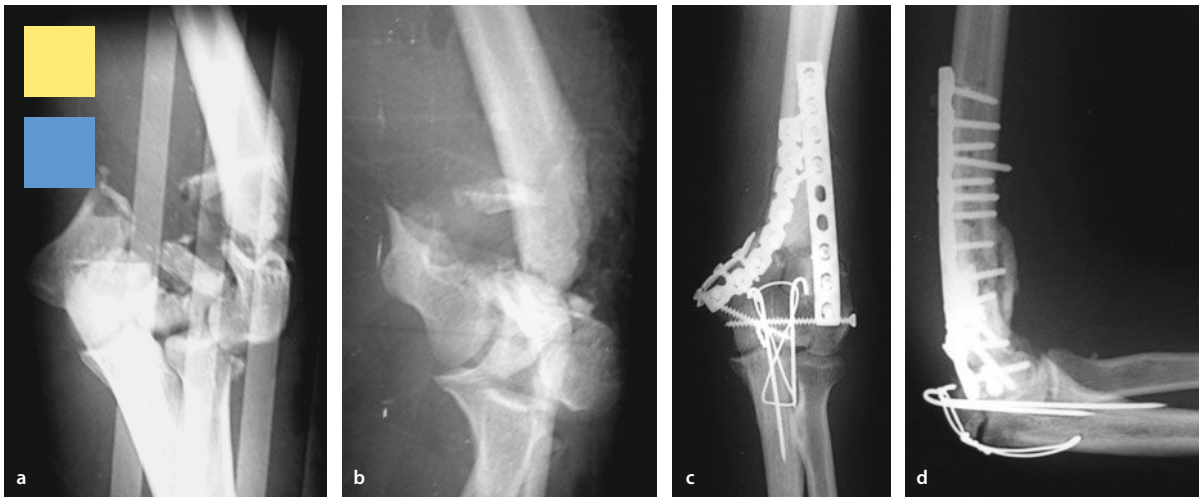


Abb. 4.14. 72 Jahre, weiblich. Sturz direkt auf den Ellbogen beim Absteigen vom Rad. C3-Fraktur nach AO, Trümmerfraktur intraartikulär und metaphysär, Versorgung mittels kombinierter Platten- und Schraubenosteosynthese, zusätzlich Olecranonzuggurtung nach Olecranonosteotomie. Die radiale Platte liegt dorsal und die ulnare medial, sodass die Fraktur in 2 Ebenen durch die Platten stabilisiert wird. Ergänzende Zugschraube über den Condylus radialis zur Kompression der gelenkbildenden Fragmente und weitere ulnare Platte wegen zusätzlicher Fragmente. Zuggurtungsosteosynthese nicht optimal mit Spaltbildung; demzufolge nach 4 Monaten Revision bei ausbleibender Heilung

Die größte Stabilität bei der Plattenosteosynthese wird erreicht, wenn man die Platten nicht in einer Ebene einbringt, sondern sich beide in ihrer Längsebene im Winkel von 90° gegenüberliegen (Abb. 4.14, 4.16), also in der Sagittal- und Koronarebene.

Kleinere Fragmente können meist gut eingepasst und ggf. zwischen größeren Fragmenten passgenau verkeilt werden. Spongiosaplastiken sind selten notwendig. Der Patient wird für die Operation auf der Seite oder besser auf dem Bauch gelagert. Eine sterile Blutsperre am proximalen Oberarm erleichtert die Präparation wichtiger Strukturen. Der dorsale Zugang führt leicht geschwungen *radial um das Olecranon* herum und beginnt ca. 10 cm proximal davon.

Zunächst empfiehlt sich die Präparation bis auf den Sulcus N. ulnaris und die Darstellung des Nervs nach Spaltung des Sulkusdachs. Im Anschluss erfolgt eine nach

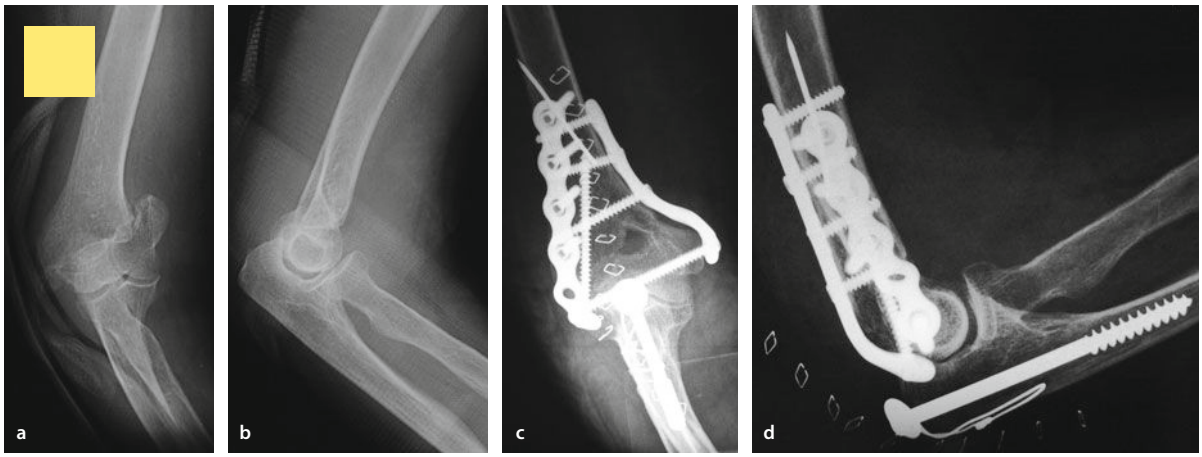


Abb. 4.15. 74 Jahre, weiblich. Direkter Sturz auf den Ellbogen im Rahmen eines Treppensturzes. AO-C1-Fraktur. Bei mäßigem Weichteiltrauma erfolgte die Ruhigstellung für 5 Tage im Oberarmgips, gefolgt von einer Osteosynthese mit winkelstabilen Rekonstruktionsplatten über eine Olecranonosteotomie. Die Platten sind exakt 90° zueinander angeordnet. Bei Begutachtung 18 Monate nach Trauma Bewegungsausmaß 0–10–120°, dies entsprach 1/10 Armwert

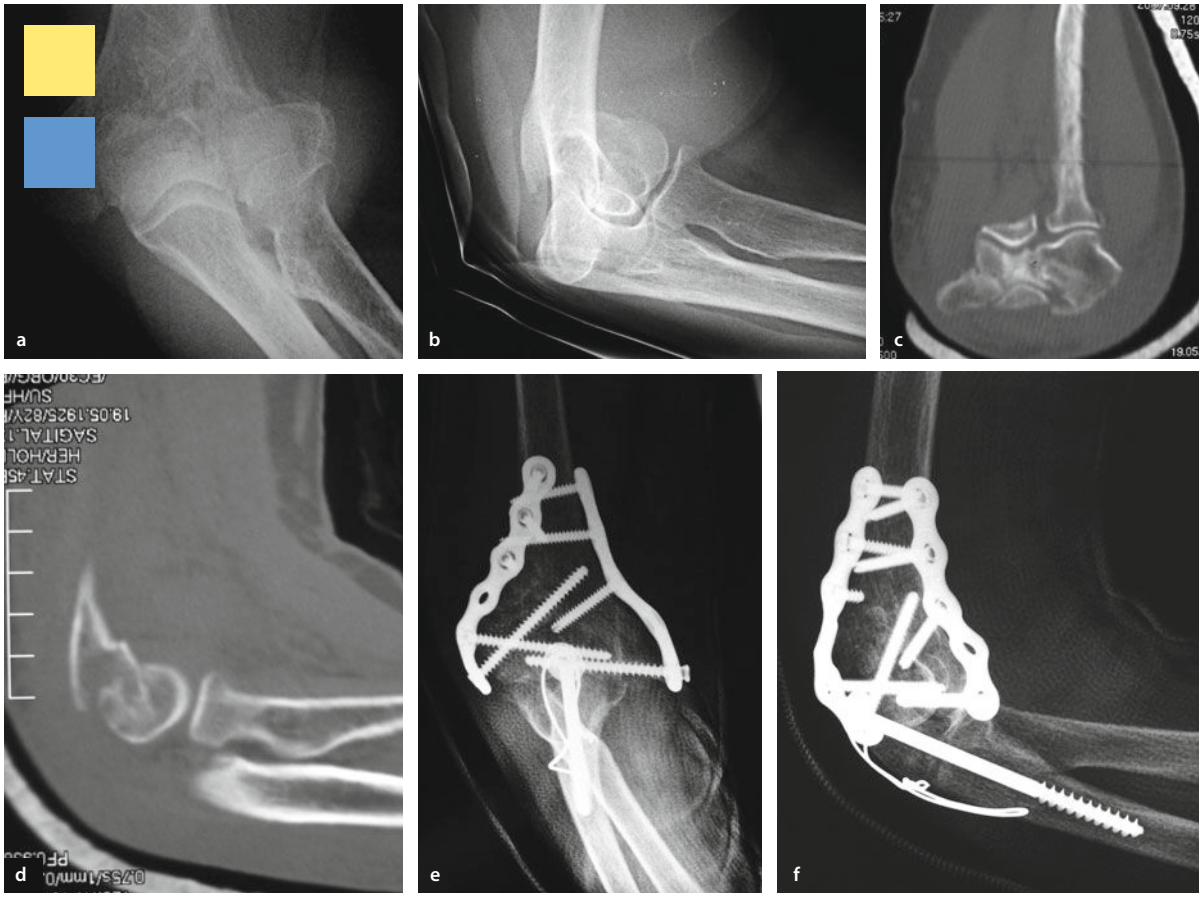


Abb. 4.16. 78 Jahre, weiblich. Direkter Sturz auf den Ellbogen bei Tragen einer Einkaufstasche am gleichen Arm. Bei 13-C1-Fraktur nach AO erfolgten eine Olecranonosteotomie, Rekonstruktion der Gelenkfläche und winkelstabile Plattenosteosynthese. Die Platten sind aus mechanischen Gründen exakt 90° zueinander positioniert. Verschluss der Olecranonosteotomie mit Zugschraubenosteosynthese und Cerclage. Frühfunktionelle Beübung

distal gerichtete V-förmige Olecranonosteotomie (Olecranon-Chevron-Osteotomie; Abb. 4.14, 4.16). Diese bietet in der Folge die bestmögliche Aufsicht auf die Fraktur bzw. die Gelenkfläche. Am Ende des Eingriffs erfolgt die Rekonstruktion des Olecranons mittels zweier Kirschner-Drähte und einer Zuggurtungsosteosynthese. Es ist darauf zu achten, dass die Zuggurtungsdrähte gut versenkt werden, damit eine uneingeschränkte Tricepsfunktion (Olecranonextension) und stabile Fixation des Olecranons erreicht werden kann. Ansonsten ist mit einem verstärkten Auftreten von Pseudarthrosen zu rechnen. Bei Frakturen nur eines Pfeilers genügt ggf. ein radialer oder ulnarer Zugang ohne Olecranonosteotomie.

4.5.4 Fixateur externe

Bei polytraumatisierten Patienten oder ausgeprägten Weichteildefekten ist die oben beschriebene Primärversorgung meist nicht möglich. Hier wird eine Versorgung mit dem Fixateur externe angestrebt. Die endgültige Versorgung erfolgt dann im weiteren Behandlungsverlauf in der Regel über eine Plattenosteosynthese wie unter ▶ 4.5.3 beschrieben.



Abb. 4.17. Distale offene Humerustrümmerfraktur. Fixateur externe. Schanz-Schrauben im Unterarm in der Ulna zur Sicherung einer freien Umwendbewegung

Bei der Platzierung der Schanz-Schrauben am Humerus ist der Verlauf des N. radialis zu beachten; es empfiehlt sich, diese von dorsolateral, ggf. in einer »Mini-open-Technik«, einzubringen. Eine Dreieckskonstruktion erhöht die Stabilität. Am Unterarm werden die Schanz-Schrauben in die Ulna eingebracht; die Drehbewegung ist damit erhalten (Abb. 4.17).

4.6 Nachbehandlung

Postoperativ ist das Anlegen eines Oberarmgipses in vielen Fällen empfehlenswert. Dieser kann nach Weichteilkonsolidierung auch durch eine Oberarmgipsschiene bei entsprechender Versorgung ersetzt werden und sollte für 2–4 Wochen zumindest zur Nacht getragen werden. Ab dem 2. postoperativen Tag sollte eine passive krankengymnastische Beübung erfolgen, um höhergradigen Bewegungseinschränkungen vorzubeugen. Das Schultergelenk sollte bei der Behandlung stets mitbewegt werden. Übungen gegen Widerstand sollten erst nach 4 Wochen und in Abhängigkeit von Röntgenkontrollen durchgeführt werden.

Generell sind regelmäßige Röntgenkontrollen in 2 Ebenen, a.-p. und streng seitlich, obligat. Röntgenkontrollen empfehlen wir zum Abschluss der Operation postoperativ und nach ca. 2 bzw. 4–5 Wochen.

Nach K-Drahtosteosynthese von supracondylären Humerusfrakturen des Kindesalters wird die Gipsschiene nach 4 Wochen abgenommen und die perkutanen K-Drähte ambulant (fast immer) ohne Narkose entfernt. Danach beginnt der Patient mit spontaner Mobilisation. Eine Physiotherapie ist gelegentlich erforderlich. Bei übungsstabilen Osteosynthesen des Condylus radialis und isolierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen ist die sofortige Mobilisation möglich (Abb. 4.18).

Lag eine Luxation als Begleitverletzung des Epicondylus-ulnaris-Abrisses vor, wird für 10 Tage in einer Oberarmgipsschiene ruhiggestellt und danach unter Physiotherapie aus der Schiene heraus bewegt. Die Metallentfernung erfolgt üblicherweise nach 3 Monaten.

4.7 Sonderformen

Polytrauma. Bei Polytraumatisierten empfiehlt sich meist die temporäre Versorgung mit Fixateur externe. Eine langandauernde Osteosynthese in Bauchlage ist bei diesen Patienten zu vermeiden, diese erfolgt dann nach Stabilisierung der Allgemeinsituation nach 6–10 Tagen (Abb. 4.19). Diese Patienten profitieren sehr von einer Prophylaxe gegen periartikuläre Ossifiaktionen (z. B. Diclofenac für 3 Wochen postoperativ).

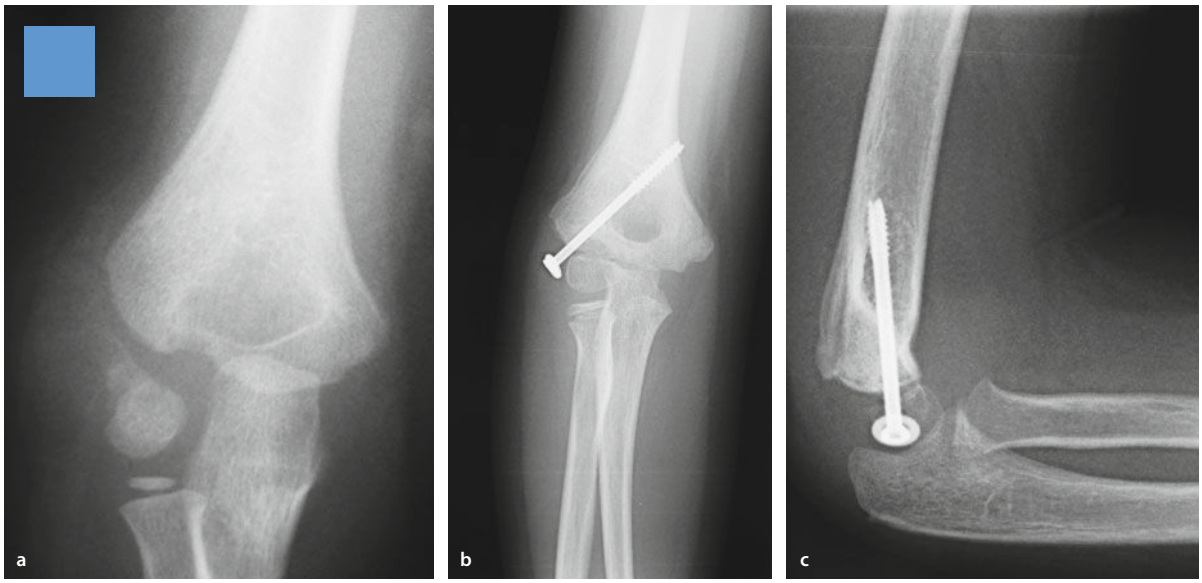


Abb. 4.18. 9 Jahre, weiblich. Sturz vom Trampolin. Dislozierte Fraktur des Condylus radialis (**a**). Am Aufnahmetag offene Reposition und Zugschraubenosteosynthese (**b**). Röntgenaufnahme a.-p. nach 2,5 Monaten vor der Metallentfernung (**c**)

Osteoporose. Bei osteoporotischen Frakturen ist aufgrund der eingeschränkten Knochenqualität ein Ausreißen der Schrauben zu befürchten; es hat sich deshalb die Versorgung mit winkelstabilen Implantaten etabliert (Abb. 4.15). Auch die Versorgung mittels Endoprothese sollte bei Komplexfrakturen mit höhergradiger Osteoporose erwogen werden.

4.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Versorgung distaler Humerusfrakturen ist oft schwierig, da es sich in vielen Fällen um komplizierte Brüche (C2- oder C3-Frakturen nach AO) handelt. Des Weiteren steht man oft vor dem Problem, dass es sich in einem relativ hohen Prozentsatz – bis zu 30% – um Mehrfachverletzte handelt.

Wichtig

Im Fall einer mehrfragmentären Gelenkbeteiligung ist fast immer mit einem bleibenden Funktionsdefizit zu rechnen.

Auch sonst berichten die Autoren einheitlich von mindestens 15% eher schlechter Ergebnisse mit Funktionsverlust oder anhaltenden Beschwerden. Die Ergebnisse sind jedoch in den verschiedenen Studien uneinheitlich und eine vergleichende Beurteilung aufgrund unterschiedlicher Kriterien schwierig. Als hilfreich hat sich die Cassebaum-Klassifikation erwiesen [13], nach der ein »ausgezeichnetes« Ergebnis vorliegt, wenn der Patient schmerzfrei ist und die Bewegungseinschränkung <15° Flexion oder Extension beträgt. Ein »gutes« Ergebnis liegt bei einem Bewegungsausmaß von 40–120° vor, »mäßig« ist eine Flexion <110°. Bei kooperativen Patienten ist in maximal 80% der Fälle ein gutes oder ausgezeichnetes Ergebnis zu erwarten.

Eine Pseudarthrose tritt in bis zu 5% auf, eine Revision führt in ca. 80% zum Erfolg, bei den verbleibenden Patienten sollte eine Endoprothese erwogen werden.

Bei Kindern tritt in bis zu 7% ein Cubitus varus, seltener eine Valgusdeformität auf [4]. Meist liegt ein suboptimales Repositionsergebnis vor, selten ist auch eine Stimulation der Wachstumsfuge möglich.

4.9 Begutachtung

In vielen Fällen treten bleibende Funktionseinschränkungen auf. Ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 10–20 in der gesetzlichen Unfallversicherung ist zu rechtfertigen bei Funktionsdefizit (gemessen nach der Neutral-Null-Methode) von ca. 0–30–120°. Bei Werten darüber und signifikanter Einschränkung der Rotation sollten höhere Einstufungen erwogen werden [14]. Auch beim Auftreten von Komplikationen oder sekundären Schädigungen, beispielsweise des N. ulnaris, kann der resultierende GdB/MdE darüber hinausgehen. In der privaten Unfallversicherung ist mit einer Invalidität von 1/10–3/10 Armwert zu rechnen.



Abb. 4.19. 44 Jahre, männlich. Offene C1-Fraktur 2. Grades nach AO im Rahmen eines Verkehrsunfalls neben einem Schädel-Hirn-Trauma und Rippenserienfraktur mit Lungenkontusionen. Primär Débridement, Anlage AO-Fixateur externe sowie Intensivbehandlung. Nach 8 Tagen war eine Plattenosteosynthese mit Rekonstruktionsplatten möglich, danach unauffällige Wundheilung

Literatur

1. J.M. Rueger, A. Rucker, D. Briem, Distale Humerusfraktur. Chirurg 78: 959–971 (2007), quiz 972.
2. E.J. Strauss, M. Alaia, K.A. Egol, Management of distal humeral fractures in the elderly. Injury 38, Suppl. 3: S10-S16 (2007)
3. L. von Laer, Die supracondylare Humerusfraktur im Kindesalter. Arch Orthop Trauma Surg 95: 123–140 (1979)
4. J.J. Gartland, Management of supracondylar fractures of the humerus in children. Surg Gynecol Obstet 109: 145–154 (1959)
5. L. von Laer, Epiphysenfrakturen. Zentralbl Chir 111: 1217–1227 (1986)
6. L. von Laer, Frakturen und Luxationen im Kindesalter. 4. Auflage, 2001, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
7. J.M. Rueger, A. Janssen, F. Barvencik, D. Briem, Distale Humerusfraktur. Unfallchirurg 108: 49–57 (2005), Quiz 58
8. J. Beaty, J. Kasser, Rockwood and Wilkins Fractures in Children. 5th edn, 2001: Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore
9. M.M. Kaiser, L.M. Wessel, Kindertraumatologie, in: Pädiatrie. 2007. Elsevier u. Urban & Fischer, München Jena
10. L.M. Wessel, S.M. Gunter, M. Jablonski, M. Sinnig, A.M. Weinberg, Wie lässt sich die Wachstumsprognose nach kindlicher suprakondylarer Humerusfraktur erfassen? Orthopäde 32: 824–832 (2003)
11. K. Kaewpornsawan, Comparison between closed reduction with percutaneous pinning and open reduction with pinning in children with closed totally displaced supracondylar humeral fractures: a randomized controlled trial. J Pediatr Orthop-B 10: 131–137 (2001)
12. S.W. Suh, C.W. Oh, V.U. Shingade, M.K. Swapnil, B.C. Park, S.H. Lee, H.R. Song, Minimally invasive surgical techniques for irreducible supracondylar fractures of the humerus in children. Acta Orthop 76: 862–866 (2005)
13. T.-L. Huang, C., F.-Y. Chiu, T.-Y Chuang, T.-H. Chen, Tain-Hsiung, The Results of Open Reduction and Internal Fixation in Elderly Patients with Severe Fractures of the Distal Humerus: A Critical Analysis of the Results. J Trauma-Injury Infection & Critical Care 58: 62–69 (2005)
14. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane. 4. Aufl. 2004, Stuttgart, Thieme

5 Proximaler Unterarm

G. Heinrichs, M. Faschingbauer, A.-P. Schulz

Definition

Bei den proximalen Unterarmfrakturen handelt es sich um Verletzungen der an der Bildung des Ellbogens beteiligten Strukturen. Dabei können Ulna oder Radius oder beide Knochen betroffen sein. Des Weiteren können bis zu 3 Gelenke bei einer Fraktur geschädigt werden:

- Humeroulnargelenk
- Humeroradialgelenk,
- proximales Radioulnargelenk.

Insgesamt machen Frakturen des Ellbogengelenks nur 7% aller Frakturen des Erwachsenen aus, sind also relativ selten. In 38% der Fälle ist das Olecranon und in 20–30% das Radiusköpfchen betroffen [1]. Bei Kindern sind diese Brüche selten; so sind nur etwa 1–2% aller kindlichen Frakturen am proximalen Radiusende lokalisiert, davon mehr als 2/3 am Radiushals. Von diesen zeigt etwa 1/3 eine Beteiligung der Wachstumsfuge. Isolierte Brüche des Olecranons machen <1% aus.

5.1 Mechanismus

Meist handelt es sich um ein direktes Trauma durch Sturz bei gestrecktem Arm oder andere *direkte* Gewalteinwirkung. Eine direkte Krafteinwirkung führt häufig zu Mehrfragmentfrakturen durch axiale Krafteinleitung mit Impaktion von Teilen der Gelenkfläche am Olecranon und Abrissfrakturen des Proc. coronoideus.

Gelegentlich kommt es bei Stürzen auf den gestreckten Arm zu einer Luxation in den 3 ellbogenbildenden Gelenken, die mit einer Fraktur einhergehen können. Hochenergietraumata können mit weiteren Verletzungen kombiniert sein, z. B. bei axialer Gewalteinwirkung mit distalen Radiusfrakturen, einer Ruptur der Membrana interossea und/oder einer Luxation im distalen Radioulnargelenk (*Essex-Lopresti-Läsion* [2]). Bei Kindern sind indirekte Mechanismen wie auf den Ellbogen einwirkender Valgusstress häufiger auslösend.

5.2 Klinik

Als klinisches Zeichen ist, neben einer entsprechenden Anamnese, die Funktionseinschränkung das führende Symptom. Oftmals sieht man eine Fehlstellung besser in Streckung des Ellbogengelenks, sofern dies noch möglich ist. Hinzu kommen Schmerzen, evtl. auch Abschürfungen und Décollement-Verletzungen.

Bei Frakturen des Olecranons ist ggf. die Funktion des M. triceps brachii aufgehoben, es besteht eine *Streckunfähigkeit* sowie eine *palpable Delle*. Bei Frakturen des Radiusköpfchens ist v. a. die Pro- und oft mehr noch die Supination eingeschränkt. Es besteht ein deutlicher Druckschmerz über dem Köpfchen, insbesondere bei passiver Rotation.

Immer sind *Begleitverletzungen* mitzubeurteilen, wie z. B. Nervenschädigungen – v. a. des N. ulnaris – oder *Bandverletzungen* mit höhergradigen *Instabilitäten* und Luxationsneigung. Des Weiteren kann es auch zu Verletzungen der zum Unterarm ziehenden Gefäße kommen.

Neurologische Begleitverletzung und Pulsstatus sicher abklären, im Zweifel einen neurologischen Konsiliarius hinzuziehen. Auch am distalen Unterarm müssen weitere Verletzungen ausgeschlossen werden.

5.3 Diagnostisches Vorgehen

Die klassische Diagnostik umfasst neben der Anamnese und der körperlichen Untersuchung v. a. die *Röntgendiagnostik in 2 Ebenen*, wobei auf eine streng seitliche Aufnahme zur Beurteilung des Gelenkspalts zu achten ist. Als 2. Ebene dient meist eine a.-p.-Aufnahme. Bei Verdacht auf eine Radiusköpfchenfraktur kann zusätzlich eine Radiusköpfchenzielaufnahme veranlasst werden. Zum Ausschluss von Begleitverletzungen sollten bei entsprechendem Verletzungsmuster (starke axiale Gewalt, z. B. Sturz aus großer Höhe) die angrenzenden Gelenke des distalen Vorderarms ebenfalls der Röntgendiagnostik zugeführt werden.

Bei komplexeren Frakturen mit Gelenkbeteiligung und z. B. fraglich im Gelenkspalt liegenden freien Bruchstücken empfiehlt sich die Durchführung einer *CT* zur besseren Abschätzung des Verletzungsausmaßes. Wenn eine erste Diagnostik keine Fraktur, aber z. B. eine fragliche Impression der Gelenkfläche hervorbringt, ist die Durchführung einer Arthroskopie zu erwägen.

Sollte nach erfolgter Reposition bei Luxation eine Reluxationstendenz in 30–60° Flexion bestehen, ist eine ergänzende *MRT-Diagnostik* zur Beurteilung der Bandverletzungen erforderlich. Bei begleitenden Nervenverletzungen ist eine präoperative neurologische Diagnostik, evtl. mit EMG und ENG, durchzuführen. In vollständiger Streckung sind diese Verletzungen primär fast immer instabil. Dies spricht nicht gegen eine frühzeitige vorsichtige frühfunktionelle Beübung.

Klinisch lassen die Verletzungen des proximalen Unterarms meist keine sichere Abgrenzung zu Verletzungen des distalen Oberarms sowie des Unterarmschaftes zu. Zur Abklärung der Differenzialdiagnosen kommt es meist erst nach radiologischer Erstdiagnostik.

Um Begleitfrakturen bis hin zur Essex-Lopresti-Verletzung sicher ausschließen zu können, ist eine radiologische Diagnostik des gesamten Unterarms inkl. angrenzender Gelenke nötig, insbesondere bei großen axial einwirkenden Kräften. Zur präoperativen Planung bei komplexen Frakturen ist eine CT hilfreich.

5.4 Klassifikationen

5.4.1 AO-Klassifikation

Bei der Klassifikation der proximalen Unterarmfrakturen hat sich die sonst allgemein gültige AO-Klassifikation (Abb. 5.1) nicht wirklich durchsetzen können, auch wenn eine Einteilung vorgenommen worden ist.

Laut AO unterscheidet man auch hier zwischen:

- *A-Frakturen*, die extraartikulär verlaufen und entweder einen Knochen (A1/A2) oder beide Knochen (A3) betreffen,
- *B-Frakturen*, bei denen einer der Knochen unter Beteiligung der Gelenkfläche isoliert frakturiert ist (B1/B2) und der zweite Knochen ggf. extraartikulär ebenfalls gebrochen sein kann (B3) sowie
- *C-Frakturen*, bei denen beide Knochen mit Gelenkbeteiligung gebrochen sind. Dabei sind bei C1-Frakturen beide Knochen einfach gebrochen, bei C2-Frakturen ist ein Knochen einfach und der andere komplex frakturiert, und bei den C3-Frakturen handelt es sich um komplexe Mehrfragmentfrakturen beider Anteile mit Gelenkbeteiligung.

In der klinischen Anwendung sind jedoch andere Einteilungen häufiger.

5.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Mason

Bei dieser Einteilung für die Radiusköpfchenfrakturen werden nach Dislokationsgrad und Anzahl der Fragmente 3 Typen unterschieden (Abb. 5.2 [3]):

- Mason I mit einfacher Fraktur und ohne wesentliche (<2 mm große) Dislokation,
- Mason II mit dislozierter einfacher Fraktur,
- Mason III mit fast immer dislozierten Mehrfragmentfrakturen.

Regan und Morrey

Bei Frakturen des Proc. coronoideus wird am häufigsten diese Klassifikation angewendet (Abb. 5.3), die über die Größe des Fragments indirekt auch einen Rückschluss auf die Instabilität des Gelenks zulässt.

- Typ-I-Frakturen sind isolierte Abscherfrakturen der Coronoidspitze.
- Typ-II-Frakturen umfassen bis zu 50% des Proc. coronoideus.
- Bei Typ III geht die Fragmentgröße darüber hinaus [4].

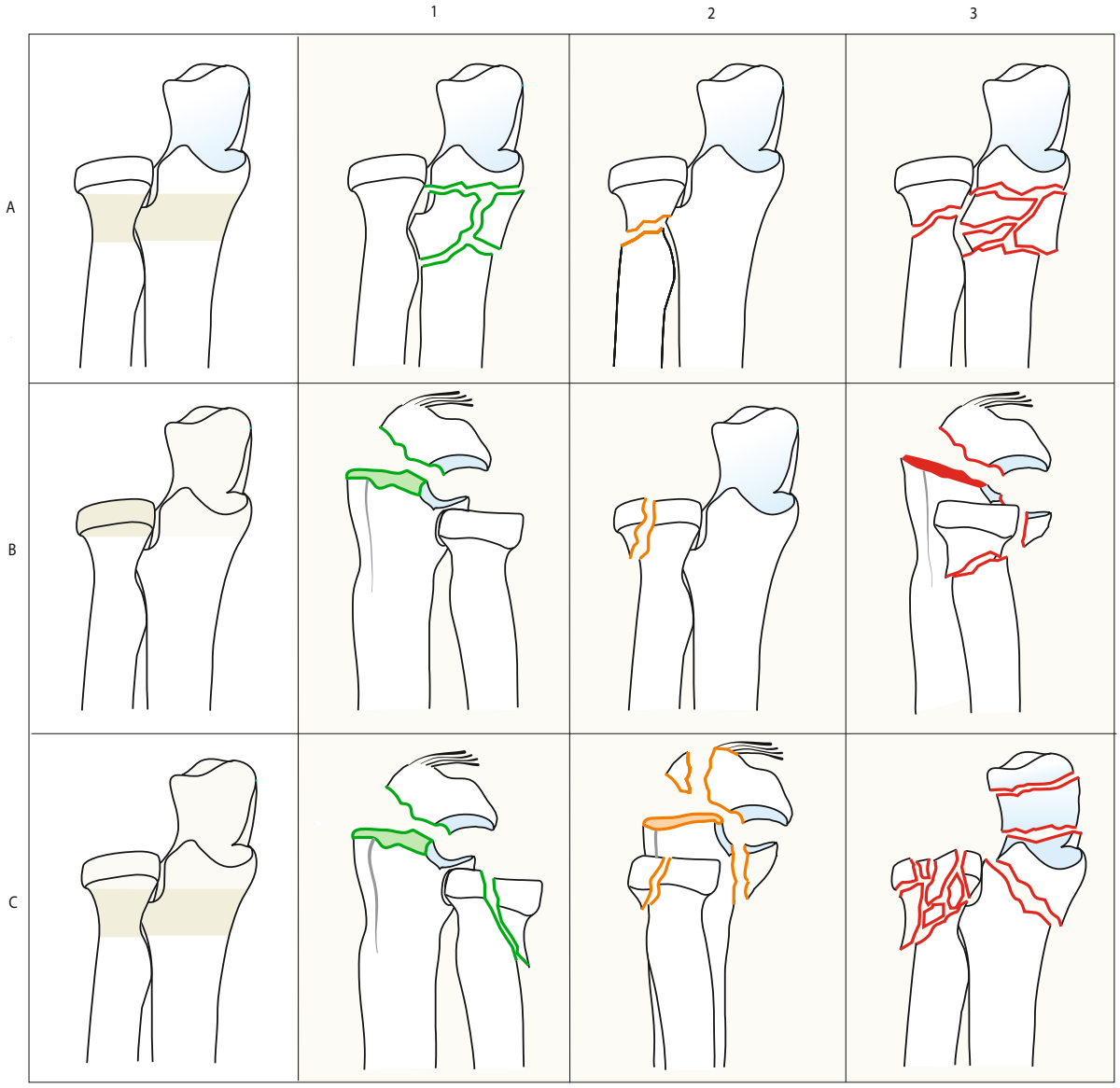


Abb. 5.1. AO-Klassifikation der proximalen Unterarmfrakturen
a Extraartikuläre Frakturen, proximaler Unterarm (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Isolierte extraartikuläre Ulnafraktur, Radius intakt
A2: Isolierte extraartikuläre Radiusfraktur, Ulna intakt
A3: Beide Knochen extraartikulär
b Intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Isolierte intraartikuläre Ulnafraktur, Olecranonfraktur, Radius intakt
B2: Isolierte intraartikuläre Radiusköpfchenfraktur, Ulna intakt (B2.1 einfach, B2.2 multifragmentär ohne Impression, B2.3 multifragmentär 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

Morrey

Bei der Klassifikation der Olecranonfrakturen wird nach Dislokationsgrad von 1–3 unterschieden, wobei mit A und B jeweils die Subtypen einfache Frakturform/ Mehrfragmentfraktur differenziert werden (Abb. 5.4).

Schatzker

Diese Klassifikation der Olecranonfrakturen unterteilt nach Verlauf der Fraktur und Anzahl der Fragmente 6 Subtypen (Abb. 5.5). Typ F beschreibt dann im Prinzip eine Monteggia-Läsion.

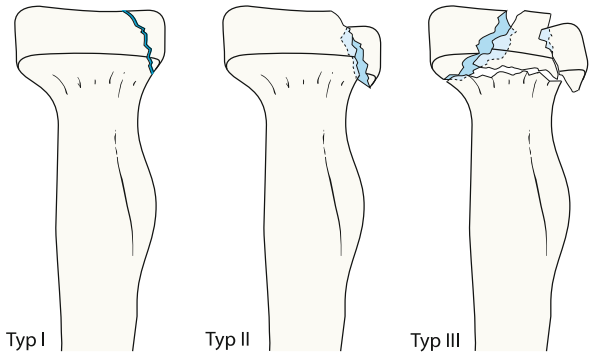


Abb. 5.2. Mason-Klassifikation. Die Mason-Klassifikation unterteilt die Radiusköpfchenfrakturen nach Anzahl der Fragmente und Dislokationsgrad genauer als die AO-Klassifikation

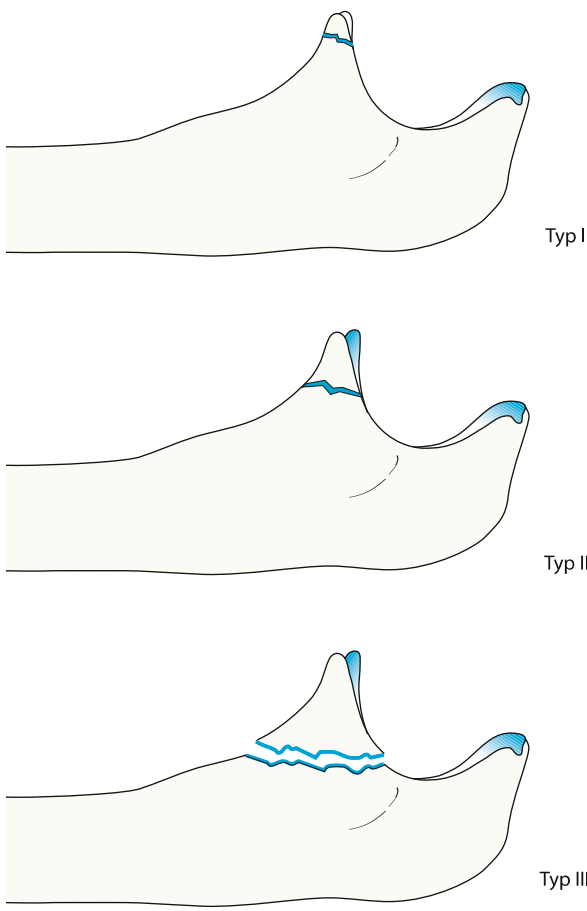


Abb. 5.3. Regan-und-Morrey-Klassifikation der Coronoidfrakturen. Es wird über die Größe des Fragments indirekt ein Rückschluss auf die Instabilität des Gelenks abgeleitet. Typ-I-Frakturen sind isolierte Abscherfrakturen der Coronoidspitze, Typ-II-Frakturen umfassen bis zu 50% des Proc. coronoideus, bei Typ III mehr als 50%. (Nach [4])

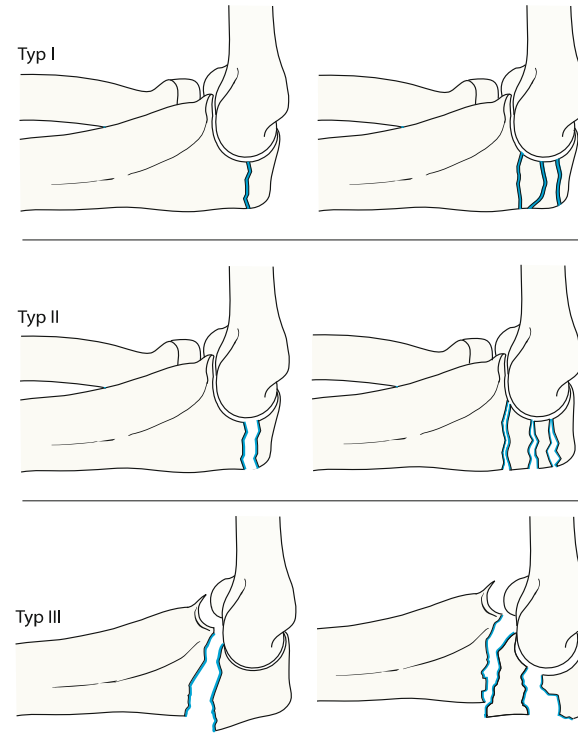


Abb. 5.4. Morrey-Klassifikation bei Olecranonfrakturen. Typ-I-Frakturen sind undislozierte Brüche, Typ-II-Frakturen stellen wenig dislozierte Brüche dar, und Typ-III-Frakturen sind vollständig dislozierte Formen mit Luxationskomponente. A und B beschreiben bei jedem Typ jeweils einfache bzw. mehrfragmentäre Frakturen

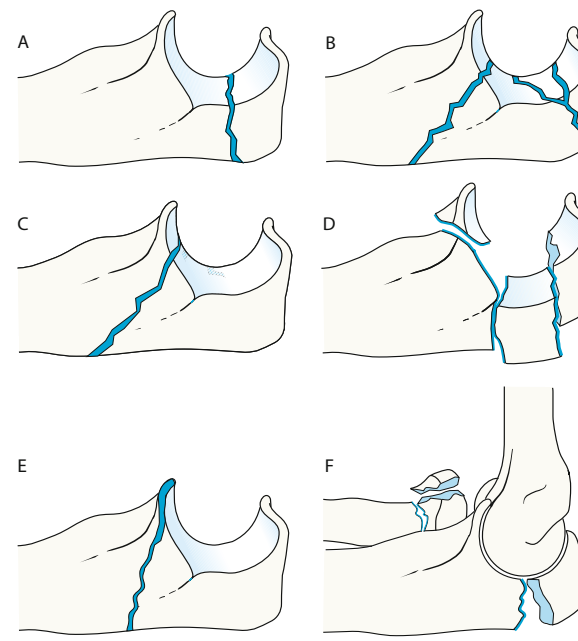


Abb. 5.5. Schatzker-Klassifikation der Olecranonfrakturen nach Verlauf der Frakturlinie und Fragmentzahl

Judet

Einteilung kindlicher Radiushalsfrakturen nach dem Grad der Dislokation und Abkippung mit prognostischer Aussagekraft im Hinblick auf Folgestörungen wie Deformierungen des Radiusköpfchens, Achsenfehlstellungen und funktionelle Einschränkungen:

- Typ I undisloziert,
- Typ II Verschiebung bis halbe Schaftbreite und Kippung bis 30°,
- Typ III Abkippung 30–60° mit variabler Dislokation,
- Typ IV vollständige Dislokation mit Abkippung >60°.

5.5 Therapeutisches Vorgehen

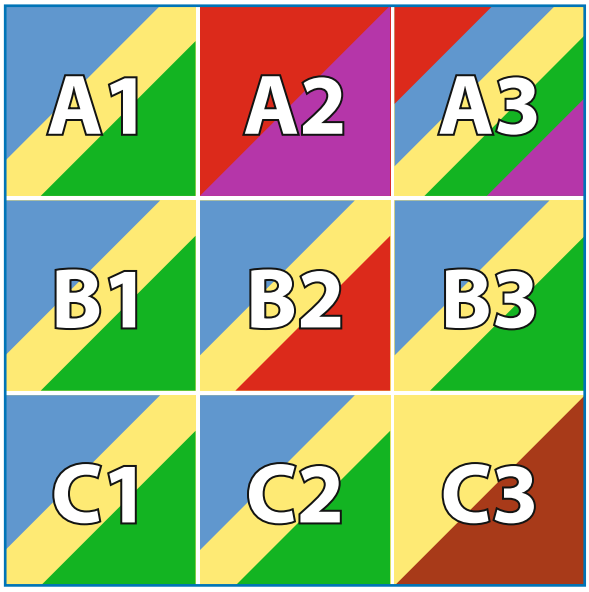
Die Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Unterarms anhand der Einteilung nach der AO-Klassifikation zeigt im Überblick ◘ Abb. 5.6.

Wie bei allen anderen gelenknahen Frakturen ist eine anatomisch korrekte Wiederherstellung der Gelenkfläche das vorrangige Ziel, um nach Ausheilung eine bestmögliche Funktion zu erreichen. Bei Luxationen ist eine zügige Reposition und anschließende Ruhigstellung nötig, im Verlauf folgt dann die Beurteilung von Bandläsionen und ggf. bei Reluxationstendenz die notwendige operative Versorgung des Bandapparates. Bei Frakturen des Olecranons kommt es durch den Zug des M. triceps brachii fast immer zu einer Dislokation des Fragments. Hier ist ein konservatives Vorgehen kontraindiziert.

Frakturen des Proc. coronoideus können bei Typ-I-Frakturen nach Regan und Morrey (isolierte Abscherung der Coronoidspitze) meist konservativ versorgt werden. Sollten Hinweise auf eine Instabilität auftreten, sollte jedoch auch hier die operative Versorgung vorgezogen werden. Bei Typ-II-Frakturen ist der Verlauf der Fraktur entscheidend, um abzuschätzen, ob die Fraktur stabil oder instabil ist. Läuft die Fraktur nach medial zum knöchernen Ansatz des ulnaren Seitenbandes aus, dann resultiert in der Regel eine Instabilität. Bei Typ-III-Frakturen ist in der Regel von einer instabilen Fraktur mit der Notwendigkeit einer operativen Versorgung auszugehen.

Bezüglich der Radiusköpfchenfrakturen empfiehlt sich bei Typ-II- und -III-Frakturen nach Mason die operative Versorgung. Typ-I-Frakturen dagegen können in der Regel konservativ behandelt werden.

Bei allen ellbogengelenksnahen Frakturen und Luxationen ist als wichtiges Kriterium für oder gegen eine operative Versorgung die begleitende Bandverletzung mit daraus resultierender Instabilität zu prüfen.



◘ Abb. 5.6. Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Unterarms. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)

- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese
- Fixateur externe
- Prothese
- Marknagelosteosynthese

5.5.1 Konservative Therapie

Eine konservative Therapie bei proximalen Vorderarmfrakturen ist bei undislozierten, stabilen Frakturen möglich. Dazu zählen in der Regel Abscherfrakturen der *Coronoidspitze* (Regan und Morrey Typ I) und *undislozierte Radiusköpfchenfrakturen* (Mason Typ I). Jedoch ist auch hier eine Prüfung der Stabilität vorzunehmen. Bei Luxationstendenz durch begleitende Bandverletzungen ist auch bei diesen Frakturen eine Operationsindikation gegeben.

Methode der Wahl ist bei der konservativen Behandlung die Ruhigstellung in einer Oberarmgipsschiene bzw. im Oberarm-Cast in 90° Beugung des Ellbogengelenks bei Neutralstellung oder, sofern sie toleriert wird, Supination (»Spucknapfstellung«) des Unterams. Bei Frakturen des Radiusköpfchens sollte der angelegte Gips eine Pro- und Supination zunächst verhindern. Eine frühfunktionelle Beübung des Ellbogens nach ca. 1 Woche ist empfehlenswert, um eine bestmögliche Funktion nach Ausheilung zu erzielen.

In einigen Fällen kommt es bei der Radiusköpfchenfraktur zur Bildung eines Hämarthros. Hier ist die Entlastung durch Punktion nur bei massiver Schwellung und Schmerzhaftigkeit indiziert.

21

5.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese

Die Zuggurtungsosteosynthese empfiehlt sich bei einfachen proximalen Schrägfrakturen und *Querfrakturen des Olecranons*. Sollte es sich um eine Mehrfragmentfraktur des Olecranons handeln, ist eine Zuggurtung auch dann möglich, wenn das zusätzliche Fragment gut zwischen den Hauptfragmenten eingeklemmt werden kann. Durch die Zuggurtungsosteosynthese soll der Tricepszug in interfragmentäre Kompression umgewandelt werden.

Gegebenenfalls ist es bei bestimmten Schrägfrakturen möglich, die Zuggurtung durch eine zusätzliche Zugschraube zu ergänzen, wobei hier zusätzlich zum Zuggurtungsprinzip interfragmentäre Kompression durch die Schraube ausgeübt werden soll. Verwendung finden zumeist 2 parallel von dorsal eingebrachte Kirschner-Drähte (1,6 oder 1,8 mm) in Verbindung mit einer 8-ertourigen Drahtschlinge, die durch ein 2-mm-Bohrloch der Ulna geführt wird und bei korrekter Lage nahe an der Gelenkfläche Zug in interfragmentären Druck auf die gesamte Fraktur umwandelt. Das Prinzip der Zuggurtung funktioniert nur zuverlässig, wenn die Kirschner-Drähte parallel gelenkflächennah eingebracht sind und die Gegenkortikalis perforieren (◘ Abb. 5.7).

Radiushalsbrüche können prinzipiell mit gekreuzten Kirschner-Drähten behandelt werden. Diese bieten wenig Stabilität und sind problembehaftet, sodass sie von den Autoren nicht empfohlen werden.

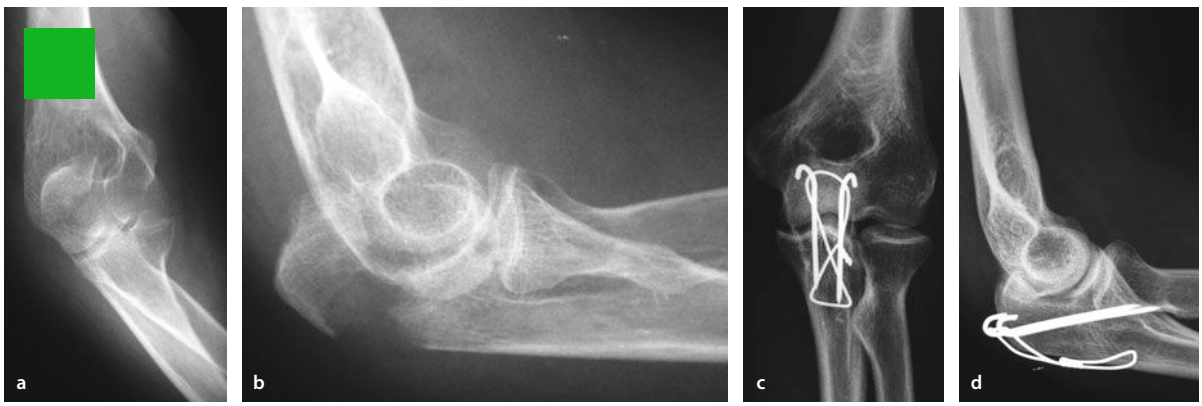
5.5.3 Schraubenosteosynthese

Sowohl die dislozierten Frakturen des *Proc. coronoideus* als auch die des *Radiusköpfchens* stellen eine Indikation zu einer schraubenosteosynthetischen Versorgung dar. Dabei kommen Mini- oder Kleinfragmentschrauben (meist 1,5–2,7 mm) zum Einsatz. Ist neben dem Proc. coronoideus auch das Olecranon frakturiert, so kann der Proc. mit einer Schraube durch die Olecranonplatte mitversorgt werden (▶ s. 5.5.4). Sollte das Coronoidfragment hochgradig zerstört sein und gleichzeitig eine Radiusköpfchenfraktur vorliegen, so kann ein Teil des Radiusköpfchens als Ersatz des Proc. verwendet werden, ggf. ist eine Anheftung mit der anhängenden Kapsel über Fadenanker möglich. Bei Meißelfrakturen des Radiusköpfchens findet man des Öfteren ein eingeklemmtes Knorpelfragment vom Capitulum im Frakturspalt. Dieses muss zur korrekten Reposition entfernt werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Schraubenköpfe im Knorpel versenkt werden, damit bei Pro- und Supination die Drehung des Radiusköpfchens im Lig. anulare nicht behindert wird. Bei Impressionsfrakturen und seitlicher Einstauchung des Radiusköpfchens können verbleibende Defekte nach der Anhebung des Radiusköpfchens mit Spongiosa aus dem lateralen Epicondylus oder mit Knochenersatzstoffen aufgefüllt werden.

Im Anschluss an die Osteosynthese wird das Lig. anulare radii genäht und die Stabilität bei voller Bewegung geprüft. Sollte eine Luxationsneigung bestehen, muss der laterale und evtl. der mediale Bandkomplex ebenfalls versorgt werden. Bei guter Knochenqualität und einfachen Frakturformen ist manchmal eine einfache Schraubenosteosynthese von Olecranonfrakturen möglich (◘ Abb. 5.8).

Manche Operateure verwenden zur Zuggurtungsosteosynthese bei Olecranonfrakturen eine Großfragmentzugschraube anstatt der K-Drähte, hier ist dann auf eine ausreichende Länge der Spongiosadrittelgewindeschraube zu achten. Dieses Vorgehen wir von uns nicht empfohlen.



◘ **Abb. 5.7. 55 Jahre, weiblich. Alkoholisiert Sturz auf den gebeugten Ellbogen.** B1-Fraktur nach AO. Zuggurtungsosteosynthese am Unfalltag, seitliche Ebenen nicht exakt eingestellt. Es erfolgte eine aktiv assistierte Beübung

Wichtig

Die Schraubenköpfe müssen bei Radiusköpfchenfrakturen mittels Kopfraumfräse sicher unter das Knorpelniveau versenkt werden, damit bei Pro- und Supination die Drehung des Radiusköpfchens im Lig. anulare nicht behindert wird.

5.5.4 Plattenosteosynthese

Bei distal gelegenen Frakturen und *Trümmerfrakturen des Olecranons* ist eine Plattenosteosynthese empfehlenswert. Gleiches gilt bei stark osteoporotischen Knochen, bei denen keine ausreichende Stabilität durch eine Zuggurtung erreicht wird (Abb. 5.9). Unserer Meinung nach ist die Versorgung mit einer LCDC-Platte oder einer Rekonstruktionsplatte sinnvoll, eine Drittelrohrplatte bietet weniger Stabilität (Abb. 5.10). Zunehmend finden auch winkelstabile LC-Platten Verwendung.

Die Platten müssen immer anatomisch korrekt dem Olecranon angepasst werden. Zusätzliche Zugschrauben sind denkbar und können durch Umbiegen des Plattenendes über das proximale Plattenloch platziert werden. Die Platten werden meist von *dorsal* angelegt. Bei zusätzlichen Proc.-coronoideus-Frakturen ist es möglich, den Processus mit einer Schraube durch die Platte mitzufassen.

Bei Frakturen des Radiusköpfchens und des Proc. coronoideus ist eine Plattenosteosynthese nicht das Mittel der Wahl. In besonderen Fällen ist jedoch auch hier die Versorgung mit Miniplatten möglich. Bei der Radiusköpfchenfraktur ermöglicht die Miniplatte bei Mehrfragmentfrakturen manchmal den Erhalt des Radiusköpfchens, v. a. wenn der Radiushals mitbetroffen ist. Allerdings geht dies oftmals mit einer Beeinträchtigung der Unterarmdrehung einher. Es ist daher bei der Plattenosteosynthese zu überlegen, das Lig. anulare radii nicht zu nähen, um die Pro- bzw. Supination nicht noch weiter einzuschränken. Dadurch ist jedoch das Risiko einer Luxation erhöht.

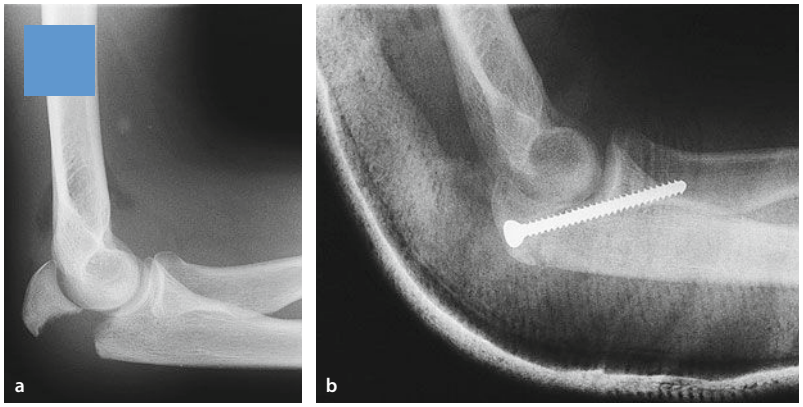


Abb. 5.8. 17 Jahre, weiblich. Sturz auf den Ellbogen beim Kitesurfen. AO-B1-Fraktur. Zugschraubenosteosynthese am Unfalltag. Typische Klinik mit tastbarer Delle und eingeschränkter Streckfähigkeit. Problemlose Ausheilung und freies Bewegungsausmaß

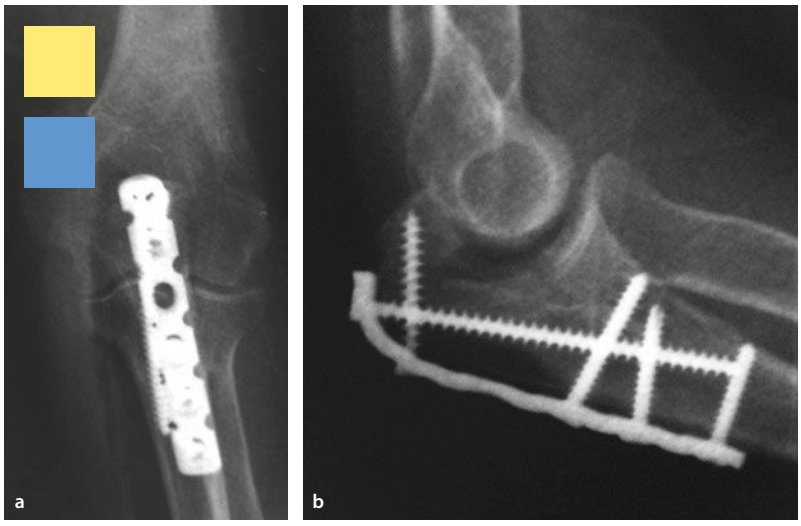


Abb. 5.9. 54 Jahre, weiblich. Olecranonfraktur nach Sturz auf den Ellbogen. Bei chronischer Polyarthrose und Osteoporose Entschluss zur Plattenosteosynthese und Schraubenosteosynthese. Eine vermeintliche Gelenkstufe zeigte sich bei Revision als arthrotische Deformität im Rahmen der Grunderkrankung

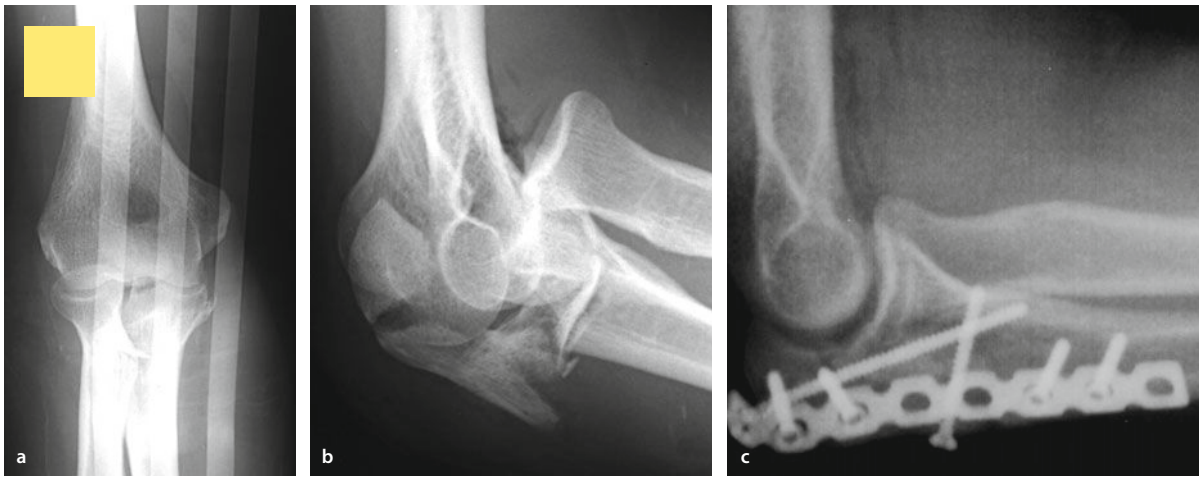


Abb. 5.10. 23 Jahre, weiblich. Sturz als Sozia im Rahmen eines Verkehrsunfalls. Nachweis einer Olecranonfraktur Typ 21 B1.3, Schatzker D. Die palmare Luxation des Radiusköpfchens (häufigster Fall, ca. 2/3) zeigt eine Monteggia-Verletzung an (**a, b**). Beachte die proximale lange Schraube, die durch Umbiegen des ersten Plattenloches möglich ist (**c**). Exakte Einstellung des Radiusköpfchens auf das Capitulum nach Osteosynthese

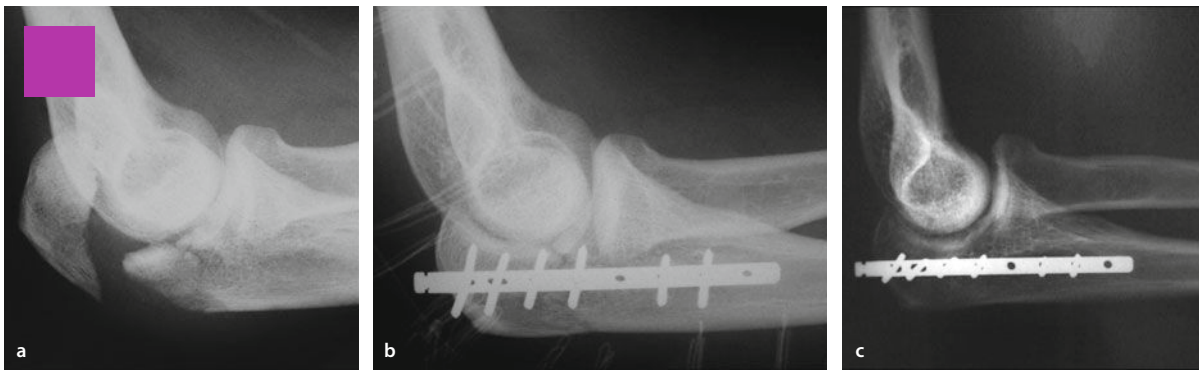


Abb. 5.11. 37-jähriger Maurer. Sturz vom Gerüst. Offene Fraktur I° vom Typ AO 21 B1, Morrey 3B (**a**). Primäre Versorgung weitab der Weichteilverletzung mittels Nagel, gutes Repositionsergebnis ohne Stufe (**b**), problemlose Ausheilung (**c**). (Bilder: W. Friedl, Aschaffenburg)

5.5.5 Marknagelosteosynthese

Diese Form der Versorgung des Olecranons wird von einigen Autoren bei z. B. osteoporotischem Knochen oder begleitenden Weichteilproblematiken empfohlen, von den Autoren bisher jedoch nicht angewendet. Diese Technik ist auch zur Revision bei hoher Stabilität des Osteosynthesematerials geeignet. Eine abschließende Beurteilung steht noch aus (Abb. 5.11, 5.12).

5.5.6 Fixateur externe

Komplexe Frakturen im Ellbogenbereich, oftmals im Sinne kombinierter Verletzungen mit distalen Oberarmfrakturen, bei *polytraumatisierten Patienten* oder ausgedehnten Weichteilverletzungen, erfordern häufig zunächst die Anlage eines Fixateur externe zur primären Stabilisierung. Eine primäre Fixierung ist zur Vermeidung sekundärer Begleitverletzungen – v. a. Nervenschädigungen – unvermeidbar. Eine endgültige Versorgung im Fixateur ist bei Verletzungen des proximalen Unterarms in den seltensten Fällen möglich. Anzuraten ist eine temporäre Behandlung bei *offenen Verletzungen* und hochgradiger Instabilität auch in Kombination mit anderen Verfahren (Abb. 5.13). Bei Kindern ist manchmal die Ausbehandlung möglich, besonders bieten sich hier Umstellungen bei verzögerter Behandlung an [5].

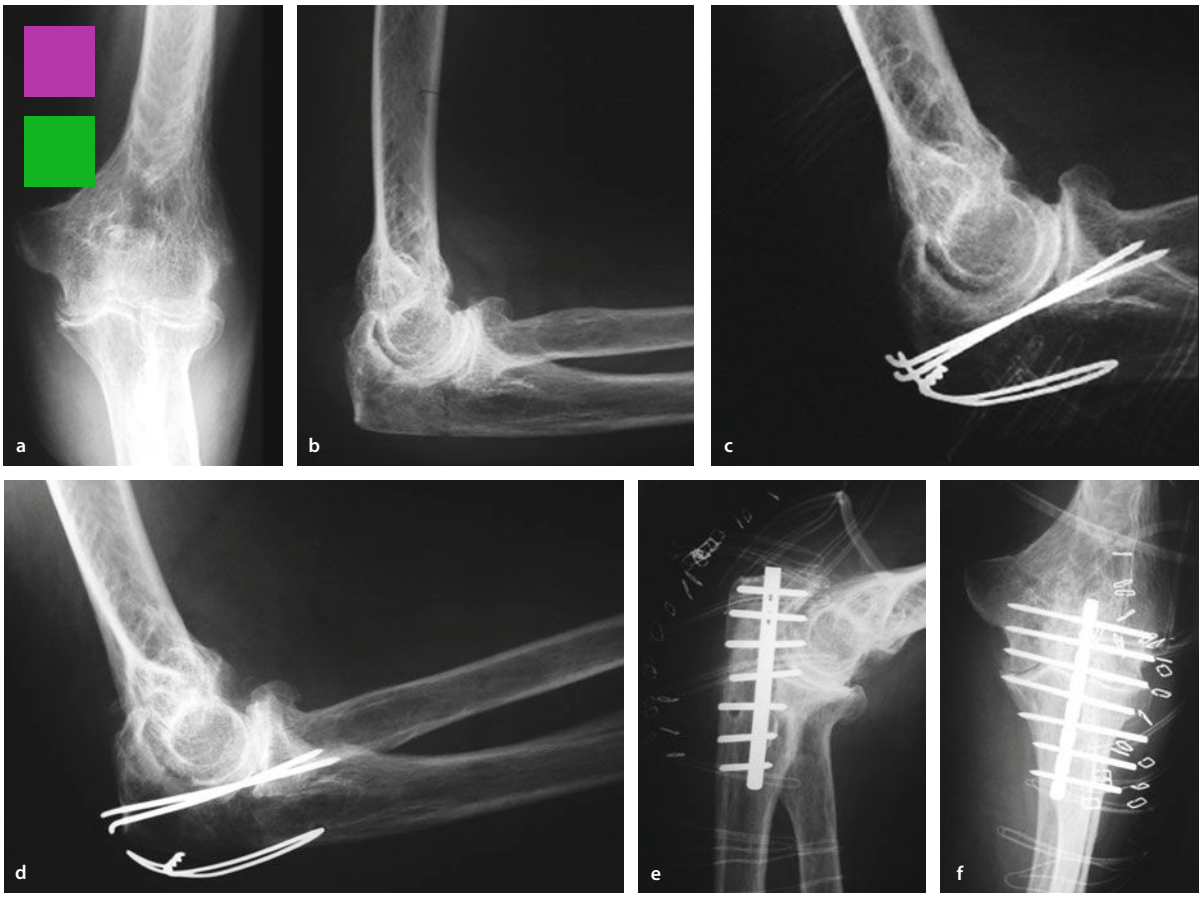


Abb. 5.12. 68 Jahre, männlich. Bei Gartenarbeiten rückwärts auf den Arm gestürzt. Es zeigt sich eine AO B1- oder Schatzker-E-Fraktur (**a, b**). Nebenbefundlich schwere chronische Polyarthrose. Problemlose Durchführung einer Zuggurtungsosteosynthese (**c**). Bei aktiver Beübung kommt es nach 10 Tagen zum Materialversagen, zunächst Abrutschen des Zuggurtungsdrahts (**d**), daher Reosteosynthese mit intramedullärem XXS-Nagel (**e, f**). Hiermit Durchbau. (Bilder: W. Friedl, Aschaffenburg).

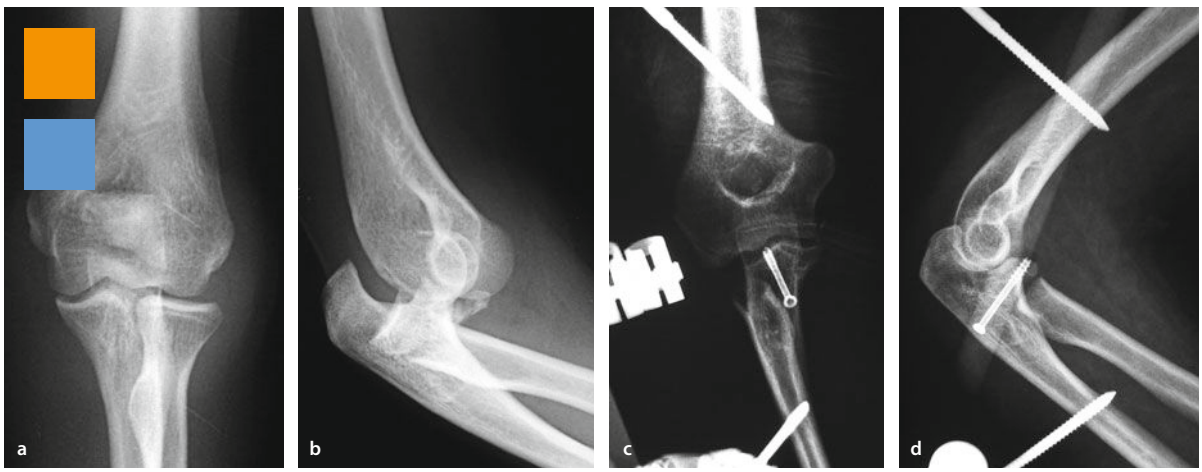


Abb. 5.13. 68 Jahre, weiblich. Sturz auf den ausgestreckten Unterarm. Ellbogenluxation mit Fraktur des Proc. coronoideus Typ III nach Regan und Morrey (**a**, **b**). Reposition und Ruhigstellung im Fixateur externe für 4 Wochen, Schraubenosteosynthese des Proc. coronoideus (**c**, **d**). Bei Nachuntersuchung nach 12 Wochen noch deutliche Bewegungseinschränkung

5.6 Nachbehandlung

Es empfiehlt sich bei fast allen beschriebenen Frakturen für 24 h die Einlage einer Redon-Drainage und Anlage einer Oberarmgipsschiene. Bei guter Knochenqualität und Versorgung mittels Zuggurtungsosteosynthese sollte bei diesem Wirkprinzip auf die Ruhigstellung verzichtet werden. Standardmäßig sollte eine postoperative Röntgenkontrolle erfolgen. In der exakt seitlich eingestellten Ebene ist bei Beteiligung der Olecranongelenkfläche die stufenfreie Reposition zu dokumentieren.

Je nach Ausmaß der Verletzung kann am 2. postoperativen Tag mit der frühfunktionellen Beübung begonnen werden. Bei schlechter Knochenqualität oder komplexen Frakturen sollte die Ruhigstellung für 1–2 Wochen erfolgen und im Anschluss zunächst eine passive Beübung erfolgen. Bei einfachen Olecranonfrakturen sollte für 4 Wochen eine aktiv assistierte physiotherapeutisch angeleitete Mobilisation durchgeführt und möglichst gipsfrei behandelt werden. Es empfiehlt sich die Bewegung in den ersten Wochen auf eine Extension/Flexion von 0/30/100° zu limitieren. Gleiches gilt für die Nachbehandlung der Proc.-coronoideus-Fraktur. Bei der Radiusköpfchenfraktur sollte ebenfalls eine frühfunktionelle Beübung erfolgen.

Bei einfachen Frakturen und stabilen Bandverhältnissen ist eine Nachbehandlung ohne Gips mit sofortiger freier Supination und Pronation schmerzadaptiert möglich. Bei der Verwendung von Miniplatten im Radiusköpfchenbereich empfiehlt sich eine frühzeitige Materialentfernung mit nachfolgender intensiver Physiotherapie, um einen befriedigenden Bewegungsumfang bei Pro- und Supination zu erreichen.

Kindliche proximale Radiusfrakuren, die operativ reponiert und retiniert worden sind, sollten für 2 Wochen im Oberarm-Cast ruhiggestellt und anschließend aus dem Gips beübt werden. Die Entfernung der retrograden Nägel empfiehlt sich nach etwa 3 Monaten.

Des Weiteren ist bei Erwachsenen auf die Entstehung *periartikulärer Ossifikationen* mit nachfolgender Neuropathie im Bereich des N. ulnaris oder Bewegungseinschränkungen zu achten [6]. Es empfiehlt sich postoperativ eine *Prophylaxe*, z. B. mit Diclofenac, für mindestens 14 Tage durchzuführen [7, 8].

5.7 Sonderformen

Radiusköpfchenfrakturen Typ Mason III. Bei diesen Frakturen ist es oftmals nicht möglich, die Fragmente adäquat zu rekonstruieren. Auch eine zwischenzeitliche Entnahme der Fragmente mit externer Verschraubung und Replantation mit nachfolgender plattenosteosynthetischer Stabilisierung hat nur selten den gewünschten Erfolg. Daher empfiehlt sich bei ausgeprägten Trümmerfrakturen eine (Teil-)Resektion des Radiusköpfchens. Unserer Erfahrung nach ist eine primäre Prothesenversorgung des Radiusköpfchens nicht empfehlenswert. Bei bestehender Bandstabilität ist auch nach einer alleinigen Resektion ein gutes Spätergebnis zu erzielen. Findet sich jedoch bereits intraoperativ oder im Verlauf eine Instabilität mit erhöhter Luxationsneigung, z. B. bei Versagen der Osteosynthese, so ist die Implantation einer Radiusköpfchenprothese das Mittel der Wahl (◘ Abb. 5.14).

Essex-Lopresti-Läsion. Eine Sonderform der Radiusköpfchenfraktur weit schwereren Verletzungsausmaßes ist die Essex-Lopresti-Läsion. Hier handelt es sich um eine kombinierte Läsion aus Radiusköpfchentrümmerfraktur, Ruptur der Membrana interossea und einer Dissoziation im distalen Radioulnargelenk mit konsekutivem Ulnavorschub. Wird bei dieser Situation das Radiusköpfchen reseziert, kommt es zu einer weiteren Migration des Radius nach proximal mit nachfolgender Schmerzsymptomatik und Bewegungseinschränkung im distalen Gelenk [8]. Um dies zu verhindern, ist in diesem Sonderfall die primäre Implantation einer Radiusköpfchenprothese als Spacer zu empfehlen. Dabei scheinen Modelle ohne feste Verankerung im Radius aufgrund der schwierigen Anatomie dieser Region bessere Ergebnisse zu bringen.

Eine zu große Länge ist zu vermeiden. Diese kann zu Knorpelzerstörungen, erhöhtem Abrieb und Subluxationsstellungen führen.

> Eine Essex-Lopresti-Läsion ist immer bei großer axial auf den Unterarm einwirkender Gewalt sicher auszuschließen. Auch das Handgelenk ist in 2 Ebenen abzubilden (Ulnavorschub!)

»Terrible triad of the elbow«. Diese weitere Sonderform ist eine Kombination aus

- Radiusköpfchenfraktur,
- Fraktur des Proc. coronoideus und
- Ruptur des ulnaren Kollateralbandes, das für die posteroulnare Stabilität im Gelenk verantwortlich ist [9, 10].

Um eine ausreichende Stabilität und frühfunktionelle Behandlung zu ermöglichen ist auch hier bei nicht rekonstruierbarem Radiusköpfchen die primäre Prothesenversorgung sinnvoll.

Monteggia-Fraktur. Abzugrenzen ist am proximalen Oberarm eine Luxationsfraktur, die nicht übersehen werden darf. Diese nach dem Erstbeschreiber genannte Verletzung (◘ Abb. 5.10) ist relativ selten und macht nur



Abb. 5.14. 21 Jahre, männlich. Fahrradsturz auf den ausgestreckten Arm. In der Primärdiagnostik wurde eine extraartikuläre Radiusköpfchenfraktur Typ 21 A2 (**a–c**) vermutet, bei der CT-Untersuchung (**d, e**) stellte sich diese als intraartikuläre B2-Fraktur oder Mason Typ 3 heraus. Es erfolgte eine Plattenosteosynthese (**f, g**). Nach Beübung am 10. postoperativen Tag Versagen der Osteosynthese. Aufgrund des Alters Entschluss zur Implantation einer Prothese. Bei der Nachuntersuchung nach 12 Monaten (**h, i**) freie Rotation, 10° Streckverlust, radiologisch Verkalkung des Bandapparates bei ungelockert einliegender Osteosynthese

etwa 1–5% der Frakturen des proximalen Unterarms aus [11]. Die Diagnose ergibt sich in der exakt seitlich eingestellten Röntgenbildgebung. Hier zeigt das luxierte Radiusköpfchen nicht mehr auf das Capitulum humeri. Die Behandlung besteht in der exakten, also anatomischen Reposition der Ulnafraktur. In der Regel erfolgt dadurch die spontane Reposition des Radiusköpfchens. Nur in seltenen Fällen muss eine operative Reposition durchgeführt werden.

Radiusfrakturen bei Kindern. Proximale Radiusfrakturen kommen um das 9.–10. Lebensjahr gehäuft vor. Sie treten als metaphysäre Brüche oder auch als Fugenlösungen oder Aitken-I-Frakturen mit metaphysärem Keil auf. Abkippungen bis ca. 50° können bis zum 10. Lebensjahr belassen werden, ansonsten erfolgt eine möglichst schonende geschlossene Reposition und Fixierung mittels aufsteigender elastisch stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN) bzw. Prévot-Nagel.

Ab dem 10. Lebensjahr ist das Korrekturpotenzial deutlich eingeschränkt, sodass Kippungen von >20° (Judet Typ II) reponiert und retiniert werden müssen. Offene Repositionen sind, wenn immer möglich, zu vermeiden, um die über die Gelenkkapsel von distal über periostale Gefäße kommende Durchblutung nicht zu gefährden. Gelingt die geschlossene Reposition nicht, kann nach der sog. Joystick-Methode das Radiusköpfchen über einen perkutanen Kirschner-Draht auf den Schaft gehebelt werden; verbleibender Seitversatz kann durch Drehung des bereits im Köpfchen platzierten Prévot-Nagels und seines gebogenen Endes um seine Längsachse verbessert werden [12]. Verbleiben größere Fehlstellungen, sind Deformierungen des Radiusköpfchens, Kopfnekrosen und Achsenfehlstellungen möglich, die zu funktionellen Einschränkungen führen.

Durch vorzeitigen Epiphysenschluss kann ein gestörtes Längenwachstum bedingt werden. Ein Cubitus valgus führt über den sog. Nockenwelleneffekt zu einer exzentrischen Drehung des Radiusköpfchens mit funktionellen Defiziten in der Pro- und Supination. Bei der retrograden Marknagelung hat es sich bewährt, das proximale Implantatende durch geringe Kürzung mit dem Seitenschneider anzuspitzen, da dann das Radiusköpfchen sicher aufgefädelt werden kann. Operationstrauma, zu lange Ruhigstellung oder Physiotherapie können die schon physiologisch mäßige Blutversorgung verschlechtern und über eine ausgeprägte Umbaustörung des Radiusköpfchens zu Einschränkungen der Unterarmdrehbewegungen (Pro-/Supination) führen.

Osteoporose. Eine hochgradige Osteoporose gefährdet oft das operative Ergebnis während der postoperativen Nachbehandlung. Es ist auf eine sichere Verankerung der Osteosynthesematerialien im Knochen zu achten, ggf. sind winkelstabile Implantate vorzuziehen. Auch intramedulläre Kraftträger wie der XXS-Nagel kommen zum Einsatz. Im Zweifel sollte eine postoperative Ruhigstellung erfolgen, eine Einschränkung der Beweglichkeit wird damit jedoch in Kauf genommen.

5.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Wichtig
Entscheidend für die Prognose und das funktionelle Ergebnis ist die korrekte anatomische Reposition.

Bei den meisten unkomplizierten Olecranonfrakturen ist ein gutes Ergebnis zu erzielen, oft jedoch mit einem leichten Extensionsdefizit, das meist ohne Konsequenzen für den Patienten ist. Bei den Radiusköpfchenfrakturen und den Abrissfrakturen des Proc. coronoideus werden durch die Schraubenosteosynthese gute Ergebnisse erzielt. Vor allem im Radiusköpfchenbereich sind begleitende Bandschädigungen und die damit verbundene Luxationstendenz ein wichtiges prognostisches Zeichen. Bei guter Stabilität wird in der Regel ein gutes oder sehr gutes Ergebnis erzielt [13, 14]. Auch bei Radiusköpfchenprothesen sind die Ergebnisse überwiegend gut bis befriedigend.

Bei komplexeren, kombinierten Verletzungen oder polytraumatisierten Patienten ist ein deutlich höherer Anteil schlechterer Ergebnisse beschrieben. Gleiches gilt für den osteoporotisch vorgeschädigten Knochen. In beiden Fällen ist einerseits mit einer erhöhten Inzidenz an Pseudarthrosen und Osteosyntheseversagen zu rechnen, andererseits muss oft ein ausgeprägtes bleibendes Bewegungsdefizit in Kauf genommen werden [15]. Dabei überwiegt meist die Einschränkung der Extension/Flexion gegenüber der Pronation/Supination. Auch die geringe Weichteildeckung im Bereich des Olecranons kann ein Problem darstellen.

Die kindlichen Verletzungen des proximalen Radius auch nach starker Dislokation zeigen bei entsprechender operativer Reposition und Stabilisierung zu über 70% exzellente Ergebnisse [16].

5.9 Begutachtung

Bewegungseinschränkungen treten nach ellengelenknahen Frakturen häufig auf und sind der führende Grund für eine Minderung der Erwerbsfähigkeit bzw. Invalidität. Insbesondere die Unterarmdrehfähigkeit bleibt oft endgradig eingeschränkt. Eine Bewegungseinschränkung von 0–30–120° Extension/Flexion ist keine Seltenheit, bei freier Unterarmdrehfähigkeit kann von einem Grad

der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 10 ausgegangen werden. Bei einer Einschränkung von 0–30–90° kann ein GdB/MdE von 20 zugestanden werden. Eine Ellengelenkversteifung, insbesondere mit Verlust der Drehfähigkeit, bedingt einen GdB/MdE von 30–40 [17].

Die Einschätzung des Armwertes der privaten Unfallversicherung erfolgt in analoger Höhe. Nervenverletzungen sollten ggf. durch eine fachneurologische Zusatzbegutachtung abgeklärt werden.

Literatur

1. C.M. Court-Brown, B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: A review. Injury 37: 691–697 (2006)
2. P. Jungbluth, T.M. Frangen, S. Arens, G. Muhr, T. Kälicke, The undiagnosed Essex-Lopresti injury. J Bone Joint Surg 88-B: 1629–1633 (2006)
3. M.L. Mason, Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases. Br J Surg 42: 123–132 (1954)
4. W. Regan, B.F. Morrey, Classification and treatment of coronoid process fractures. Orthopedics 15: 845–848 (1992)
5. M.M. Kaiser, L.M. Wessel, Kindertraumatologie, in: Pädiatrie, 2007, Elsevier, Amsterdam
6. O.A. Ilahi, D.W. Strausser, G.T. Gabel, Post-traumatic heterotopic ossification about the elbow. Orthopedics 21: 265–268 (1998)
7. E.E. Pakos, J.P. Ioannidis, Radiotherapy vs. nonsteroidal anti-inflammatory drugs for the prevention of heterotopic ossification after major hip procedures: a meta-analysis of randomized trials. Int J Radiat Oncol Biol Phys 60: 888–895 (2004)
8. N.C. Tejwani, H. Mehta, Fractures of the radial head and neck: current concepts in management. J Am Acad Orthop Surg 15: 380–387 (2007)
9. D.M. Pugh, M.D. McKee, The »terrible triad« of the elbow. Tech Hand Up Extrem Surg 6: 21–29 (2002)
10. D. Ring, D. Hannouche, B. Jupiter, Surgical treatment of persistent dislocation or subluxation of the ulnohumeral joint after fracture-dislocation of the elbow. J Hand Surg 29-A: 470–480 (2004)
11. J.L. Bado, The Monteggia lesion. Clin Orthop Rel Res 50: 71–86 (1967)
12. S. Yarar, D.W. Sommerfeldt, S. Gehrmann, J.M. Rueger, Stark dislozierte Radiushalsfrakturen nach minimal-invasiver Joystick-Reposition und Prévot-Nagelung – Langzeitverlauf im Kindesalter. Unfallchirurg 110: 460–466 (2007).
13. F. Michels, N. Pouliart, F. Handelberg, Arthroscopic management of Mason type 2 radial head fractures. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15: 1244–1250 (2007)
14. U. Nalbantoglu, B. Kocaoglu, A. Gereli, S. Aktas, O. Guven, Open reduction and internal fixation of Mason type III radial head fractures with and without an associated elbow dislocation. J Hand Surg 32-A: 1560–1568 (2007)
15. G.G. Konrad, K. Kundel, P.C. Kreuz, M. Oberst, N.P. Südkamp, Monteggia fractures in adults: long-term results and prognostic factors. J Bone Joint Surg 89-B: 354–360 (2007)
16. P. Schmittenbecher, B. Havernick, A. Herold, P. Knorr, E. Schmitt, Treatment decision, method of osteosynthesis, and outcome in radial neck fractures in children: a multicenter study. J Pedriatr Orthop 25: 45–50 (2005)
17. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane. 4. Aufl, 2004, Thieme, Stuttgart

6 Unterarmschaft

C.M. Müller-Mai, E. Mielke

Definition

Es handelt sich um Brüche beider Unterarmknochen oder jeweils eines Knochens isoliert, die durch direkte oder indirekte Mechanismen verursacht werden und als Begleitverletzungen sehr unterschiedliche Weichteilschäden aufweisen. In fast 1/3 der Fälle liegen offene Verletzungen vor [1]. Sie treten oft bei Kindern mit zweigipfliger Inzidenz auf (8. und 12. Lebensjahr [2]); bis zum 11. Lebensjahr als Grünholzbruch oder unvollständige Fraktur, bei älteren Kinder eher in Form vollständiger Frakturen. Hier können sie bis zu 1/4 aller Brüche ausmachen [3]. Bei Kindern ist überwiegend das distale Drittel betroffen, und es liegen in über der Hälfte der Fälle Grünholzbrüche vor [4]. Beim Erwachsenen ist dagegen meist das mittlere Drittel betroffen [5], der Altersgipfel liegt bei jungen Erwachsenen [6].

Die bindegewebige Membrana interossea verbindet die beiden Knochen im Sinne einer Syndesmose und trennt beuge- und streckseitige Muskulatur. Die Unterarmdrehung findet im proximalen und distalen Radioulnargelenk statt. Dabei dreht sich die Speiche um die Elle.

Frakturen beider Knochen beim Erwachsenen werden operiert, bei Kindern ist neben endomedullären Verfahren auch die konservative Therapie möglich.

6.1 Mechanismus

Es handelt sich beim Erwachsenen sowohl bei Unterarmbrüchen als auch bei isolierten Frakturen nur eines Knochens meist um ein *direktes Trauma* mit Schlag auf den Arm (*Parierfraktur*) oder direktem Anprall im Rahmen von Verkehrsunfällen (ca. 40% der Fälle [6]) oder Stürze aus größerer Höhe, sodass Weichteilverletzungen nicht selten sind. Die Luxationsfrakturen (▶ Kap. 6.7 »Sonderformen«) sollen überwiegend durch direkte Gewalteinwirkung als Parierfrakturen entstehen. Die Monteggia-Fraktur soll dabei in Pronation des Unterarms entstehen, die Galeazzi-Fraktur bei supiniertem Unterarm. Wie bei Schlägen kommen Stich- und Schnittverletzungen im Rahmen von Abwehrbewegungen vor. Liegt die Schädigung nicht im mittleren Drittel des Schaftbereichs, ist immer an eine Luxationsfraktur zu denken (Galeazzi, Monteggia; ▶ Kap. 6.7). Bei *Kindern* ist meisten der *Sturz auf die ausgestreckte Hand* ursächlich.

6.2 Klinik

Bei der instabilen Fraktur ist in der Regel eine *Fehlstellung* zu beobachten, die aber bei Brüchen nur eines Knochens

auch fehlen kann. Eine *schmerzhafte Bewegungseinschränkung* liegt fast immer vor. Bei proximalen Brüchen steht das körpernahe Radiusfragment in Supination und Flexion, durch Zug der Mm. supinator et biceps. Das distale Fragment steht proniert (Zug der Mm. pronator teres et quadratus). Die Reposition gelingt in Supination. Distale Schaftbrüche zeigen distale supinierte Fragmente durch den Zug des M. brachioradialis. Isolierte Brüche des Radius zeigen oft einen Valgus, die der Ulna eine Varusfehlstellung.

Oft zu finden sind indirekte Frakturzeichen, die aufgrund des meist direkten Unfallmechanismus in Form von Weichteilschädigungen direkt über der Stelle der einwirkenden Gewalt liegen. Es werden alle Formen der Weichteilverletzung wie Schürfungen oder z. T. erhebliche Kontusionsmarken, Schnitt- oder Stichwunden oder das vollständige klinische Bild eines *Kompartmentsyndroms* gesehen. Auch zeigen sich weitere *indirekte Frakturzeichen* wie Schwellung, Hämatom, Ödem, Spontan- und Druckschmerzhaftigkeit.

Die Funktion von *Sehnen* und *Nerven* ist primär zu überprüfen und zu dokumentieren. Nervenschäden sind besonders bei nach dorsal dislozierten distalen Frakturen zu finden. Ein prominentes Ulnaköpfchen findet sich bei der Galeazzi-Fraktur. Kettenverletzungen sind besonders bei axialer Krafteinwirkung auszuschließen.

Begleitverletzungen von *Muskeln/Sehnen, Nerven und Gefäßen* sind primär zur adäquaten Primärversorgung zu sichern und mitzuversorgen.

Auch ist auf ein primär vorliegendes oder sekundär (ggf. auch postoperativ) sich entwickelndes *Kompartmentsyndrom* zu achten. Besonders gefährdet ist der *Parona-Raum* mit der tiefen Beugemuskulatur. Wegweisend sind Sensibilitätsstörungen, passiver Dehnungsschmerz (Fingerstreckung) der betroffenen Muskulatur, Glanzhaut und später auftretende Spannungsblasen. Eine intrakompartimentelle Druckmessung kann bei Unsicherheit erfolgen. Unserer Ansicht nach ist die Klinik entscheidend; im Zweifelsfall soll immer eine Druckentlastung der Logen durch vollständige Spaltung der Fascien erfolgen. Ergänzend soll die betroffene Extremität in Herzhöhe gelagert werden. Eine Eisstraße ist zu empfehlen. Ein Überwachungsbogen muss angelegt werden.

Ein primär vorliegendes *Kompartmentsyndrom* (insbesondere nach stumpfer Gewalt!) ist durch Fascienspaltung mitzubehandeln. Eine sekundäre Entwicklung darf nicht übersehen werden. Regelmäßige Kompartmentkontrollen sind postoperativ durchzuführen. Frakturierte Unterarmknochen sind im Rahmen der Kompartmentspaltung mitzuversorgen.

6.3 Diagnostisches Vorgehen

Die Diagnostik umfasst nach der Anamnese (Mechanismus) und der lokalen Inspektion und Palpation bzw. der genauen Untersuchung der Nerven und Gefäße sowie der Muskelfunktion die *Röntgendiagnostik* in zwei exakt eingestellten Ebenen, entweder auf das Handgelenk oder das Ellbogengelenk zentriert. Gelegentlich empfiehlt sich die Röntgendiagnostik des Unterarms mit Ellbogen- und Handgelenk in jeweils 2 Ebenen. Die Bilder müssen sich überlappen, damit der gesamte Unterarm abgebildet wird. Insbesondere ist auf Luxationsfrakturen oder die seltene Essex-Lopresti-Läsion nach axialem Stauchungstrauma bei Hochrasanzmechanismus (▶ Kap. 5 »Proximaler Unterarm«) zu achten, da sie häufig übersehen werden (Übersehen nach Angaben in der Literatur bis 50%). Daher sind die benachbarten Gelenke immer mitabzubilden.

Eine CT ist im Schaftbereich in der Regel verzichtbar. Eine MRT ist nur bei Verdacht auf Nerven- oder Gefäßverletzung in Sonderfällen wie z. B. bei nicht sicherem Nachweis einer Essex-Lopresti-Läsion notwendig. Sie darf die operative Versorgung nicht verzögern. Eine Angiographie ist bei mit dem Trauma assoziierten Durchblutungsstörungen obligat.

Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind v. a. Prellungen, aber auch isolierte Verletzungen von Nerven oder Gefäßen. Im Zweifel ist eine neurologische konsiliarische Untersuchung obligat.

Die angrenzenden Gelenke sind in exakt eingestellten Ebenen (insbesondere seitlich) abzubilden, um Luxationsfrakturen sicher auszuschließen, sonst werden sie übersehen.

6.4 Klassifikationen

A-Frakturen. Nach der alphanumerischen AO-Klassifikation (Abb. 6.1) eingeteilt zeigen die A-Frakturen (Zweifragmentfrakturen eines oder beider Knochen) in aller Regel ein gutes funktionelles Resultat nach adäquater Behandlung. Nicht dislozierte stabile Frakturen der Ulna (weniger als 1/2 Schaftbreite) können auch konservativ behandelt werden, ebenso wie kindliche Grünholzbrüche.

Bei operativer Versorgung eignen sich insbesondere 3,5 mm-LCDC-Platten, die als *Kompressionsplattenosteosynthese* angebracht werden sollten. Andere Osteosynthesen wie auch intramedulläre Verfahren haben sich beim Erwachsenen nicht bewährt. Bei Kindern werden intramedulläre Nägel mit Erfolg angewendet (z. B. Prévot).

B-Frakturen. Die B-Frakturen folgen den gleichen Prinzipien wie die A-Frakturen (Keilbrüche eines oder beider

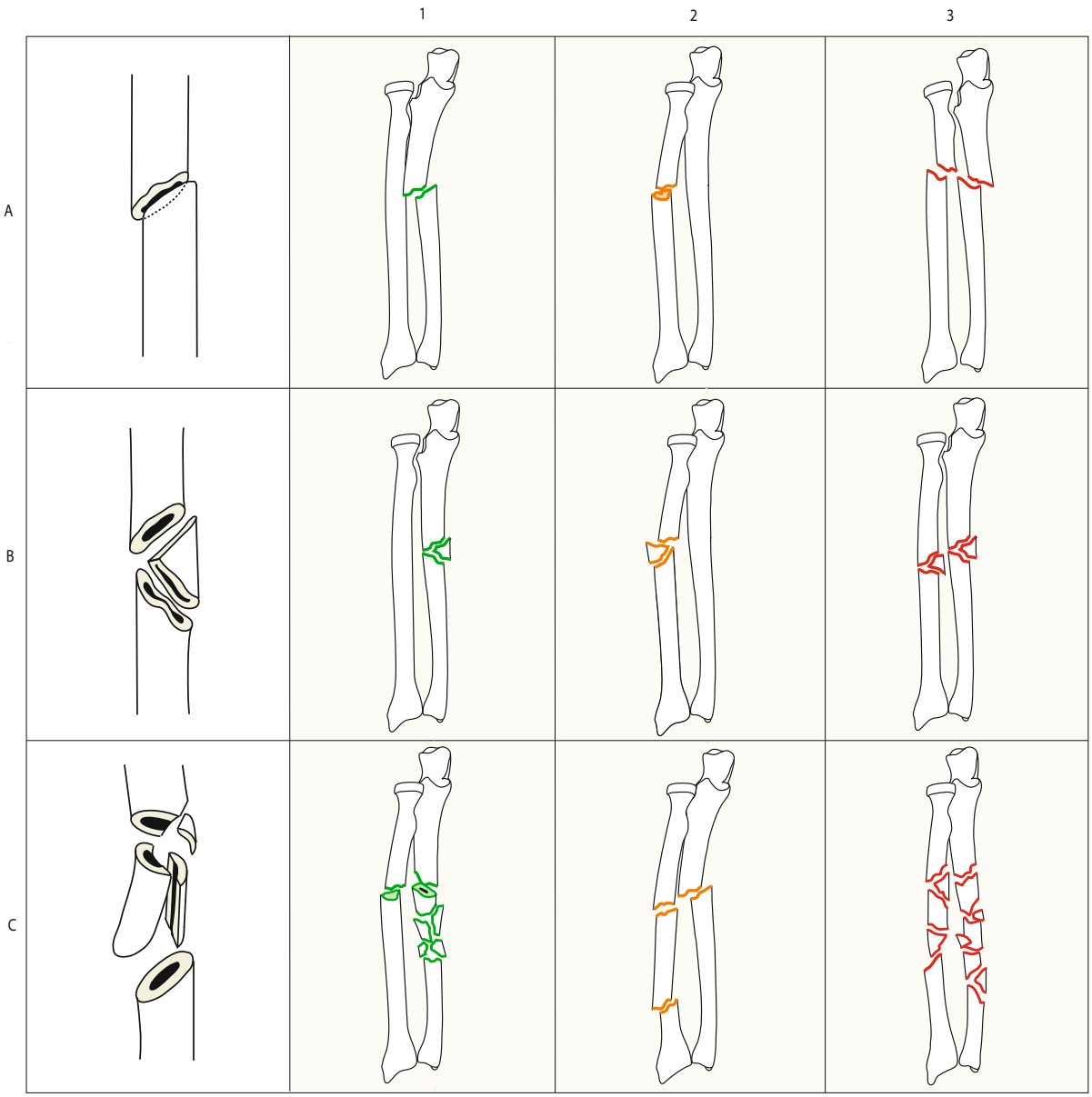


Abb. 6.1. AO-Klassifikation der Region 22 Unterarmschaft
a Zweifragmentfrakturen des Unterarms
A1: Zweifragmentfraktur der Ulna, Radius intakt
A2: Zweifragmentfraktur des Radius, Ulna intakt
A3: Zweifragmentfraktur beider Knochen
b Keilfrakturen des Unterarms
B1: Keilbruch der Ulna, Radius intakt
B2: 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

Knochen). Bei der Plattenosteosynthese ist der Keil durch eine möglichst in der Platte gesetzte Zugschraube unter Kompression zu bringen, die Platte fungiert als Neutralisationsplatte und liegt nicht auf der Basis des Keils, um die Vaskularisation zu erhalten. Kindliche Brüche sollten durch intramedulläre Verfahren stabilisiert und frühfunktionell behandelt werden.

C-Frakturen. Bei den C-Frakturen (komplexe Fraktur eines Knochens mit einfachem Bruch des anderen oder

komplexer Bruch beider Knochen) sollte immer operativ versorgt werden. Verwendet werden die bei den A-Frakturen genannten Implantate. Bei ausgedehnten Trümmerzonen kann ohne weitere Deperiostierung eine Platte – vorzugsweise »locking compression plate« (LCP), winkelstabil – im Sinne einer biologischen Osteosynthese eingeschoben werden.

6.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen:

Bado

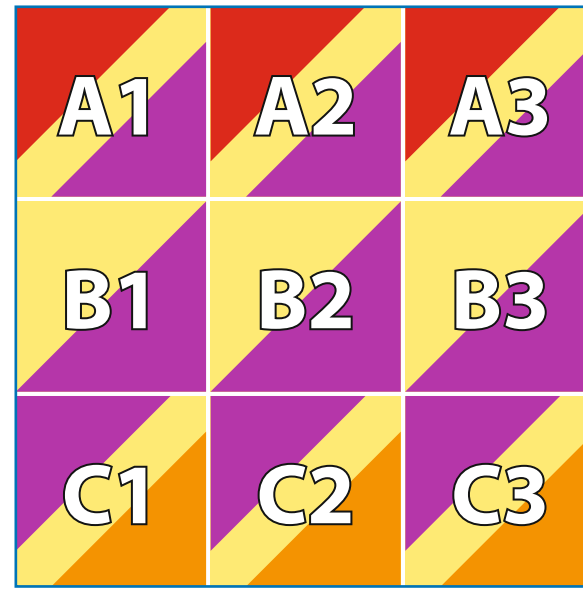
Einteilung der Monteggia-Frakturen in Typ I–IV in Abhängigkeit von der Luxationsrichtung des Radiusköpfchens:

- I: Palmar mit Angulation des Bruchs nach palmar (etwa 70%).
- II: Dorsal mit dorsaler Knickbildung.
- III: Radial mit metaphysärer Fraktur (sind meist den proximalen Brüchen zuzuordnen, nach AO 21).
- IV: Fraktur beider Knochen mit palmarer Radiusköpfchenluxation.

Weitere Klassifikationen der Schaftfrakturen sind unserer Ansicht nach nicht von Bedeutung.

6.5 Therapeutisches Vorgehen

Eine schematische Übersicht der Therapieoptionen in Abhängigkeit vom Frakturtyp gibt ◘ Abb. 6.2.



◘ **Abb. 6.2. Therapieoptionen bei Unterarmfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation** *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich; eine konservative Behandlung ist z. B. bei jeder nicht dislozierten Fraktur oder wenig verschobenen Brüchen eines Knochens denkbar)*

- Konservativ
- Plattenosteosynthese
- endomedulläre Verfahren (Prévot-Nagel u. a.)
- Fixateur externe (Der Fixateur externe ist am Unterarm ausschließlich als temporär begrenztes Verfahren anzuwenden, z. B. bei erheblichen Weichteilverletzungen. Daher erfolgt die Zuordnung im Farbschema zu den C-Frakturen)

Beim *Erwachsenen* wird fast ausschließlich *operativ* behandelt. Indikationen sind alle dislozierten Unterarmbrüche, isolierte Radiusschaftfrakturen, isolierte instabile Ulnafrakturen oder Ulnafrakturen mit einer Angulation von >10°, alle Luxationsfrakturen (Monteggia, Galeazzi, Essex-Lopresti), offene Brüche und Frakturen mit bestehendem oder sich entwickelndem Kompartmentsyndrom. Ausnahmen stellen lediglich einige wenig bis nicht dislozierte Brüche der Ulna dar.

Die Gründe für das überwiegend operative Vorgehen liegen in der schwierigen Reponierbarkeit und Retention, der langen Ruhigstellungsdauer und der funktionellen Einschränkung insbesondere in der Unterarmdrehung durch gegenseitige Sperrwirkung der beiden Knochen.

Ziele sind die freie Beweglichkeit und Funktion sowie eine zeitnahe knöcherne Konsolidierung. Häufig resultieren Pseudarthrosen oder ein CRPS (»chronic regional pain syndrome«) nach wiederholten Repositionen. Ziel der Therapie ist die Wiederherstellung der Länge beider Knochen und die unveränderte Stellung in den beteiligten Gelenken.

Operiert wird zeitnah aufgrund der Kompartmentgefährdung; *Luxationsfrakturen* werden *immer sofort operiert*. Auch offene Brüche oder die Essex-Lopresti-Läsion sind notfallmäßig bzw. dringlich zu versorgen. Unter antbiotischer Abschirmung wird eine definitive Osteosynthese angestrebt. Fixateure werden nur in Ausnahmefällen benötigt. Auch nur geringe Fehlstellungen in den beiden Radioulnargelenken führen zu erheblichen funktionellen Einschränkungen, z. B. in der Unterarmdrehung und Handgelenkbeweglichkeit. Die suffiziente Retention des Repositionsergebnisses nach anatomischer Reposition kann konservativ oder operativ über Platten oder intramedulläre Verfahren durchgeführt werden.

Konservative Behandlungen beim Erwachsenen sind absolute Ausnahmen, da die Brüche beider Knochen eine ausgeprägte Dislokationstendenz aufgrund der ansetzenden Muskeln (insbesondere Pronatoren und Supinatoren) aufweisen und eine lange Ruhigstellung erfordern. Verzögerte Heilungen und Pseudarthrosen werden mit bis zu 30% angegeben [6]. Isolierte Ulnaschaftfrakturen (Parierfraktur) können, wenn sie unter Durchleuchtung bei der Umwendbewegung stabil und nicht mehr als um 1/2 Schaftbreite verschoben sind, konservativ behandelt werden [7].

Anzustreben ist immer eine *frühfunktionelle Nachbehandlung*, um Immobilisationsschäden zu vermeiden. Diese Prinzipien sind für einen adäquat belastbaren Unterarm und ein gutes funktionelles Ergebnis von entscheidender Bedeutung.

Intramedulläre Verfahren sind von einigen Kliniken etabliert worden [8], haben sich jedoch aufgrund bestimmter Nachteile nicht allgemein akzeptiert durchsetzen können. Bei der Beschreibung der Indikationen wird aus diesem Grund auf diese Verfahren nicht detailliert eingegangen.

Wichtig

Bei Weichteilverletzungen wie Schürfungen oder Kontusionen soll innerhalb von 6 h nach dem Trauma oder erst nach Weichteilkonsolidierung operiert werden, sonst ist aufgrund der Weichteilkontamination die Infektgefahr erhöht.

6.5.1 Konservative Therapie

Konservative Verfahren eignen sich fast nur für *Kinder*; geeignet sind »bowing fractures« und »bowing deformations« (konvexe Corticalis gestaucht oder »infraktioniert«, konkave Corticalis nicht vollständig frakturiert bzw. lediglich Achsenabweichung sichtbar), Grünholzbrüche oder andere Frakturformen mit bis zu 20° Achsenabweichung [9]. Bei *Grünholzbrüchen* ist eine kurze *Überkorrektur zum Brechen der Gegencorticalis* erforderlich, damit spannungsfrei retiniert werden kann. Nachteil ist allerdings, dass damit ein definitionsgemäß instabiler Bruch geschaffen wird.

Vollständig dislozierte kindliche Brüche eignen sich nur dann zur konservativen Therapie, wenn eine sichere Retention nach Reposition in Spucknapf- oder Neutralstellung im gespaltenen Oberarmgips erreicht werden kann (Abb. 6.3, 6.4). Der Oberarmspaltgips wird für 6–8 Wochen belassen. Bei isolierten Brüchen eines Knochens kann nach anfänglicher Oberarmgipsbehandlung für 2–3 Wochen ein Sarmiento-Brace bis zur Konsolidierung angelegt werden.

Bei Erwachsenen ist die Osteosynthese Standard. Ist nur die Ulna im mittleren oder distalen Drittel betroffen, kann bei Dislokation <1/2 Schaftbreite und Angulation <10° wie oben beschrieben ebenso konservativ behandelt werden (Abb. 6.5 [7]). Eine kurze Behandlung im

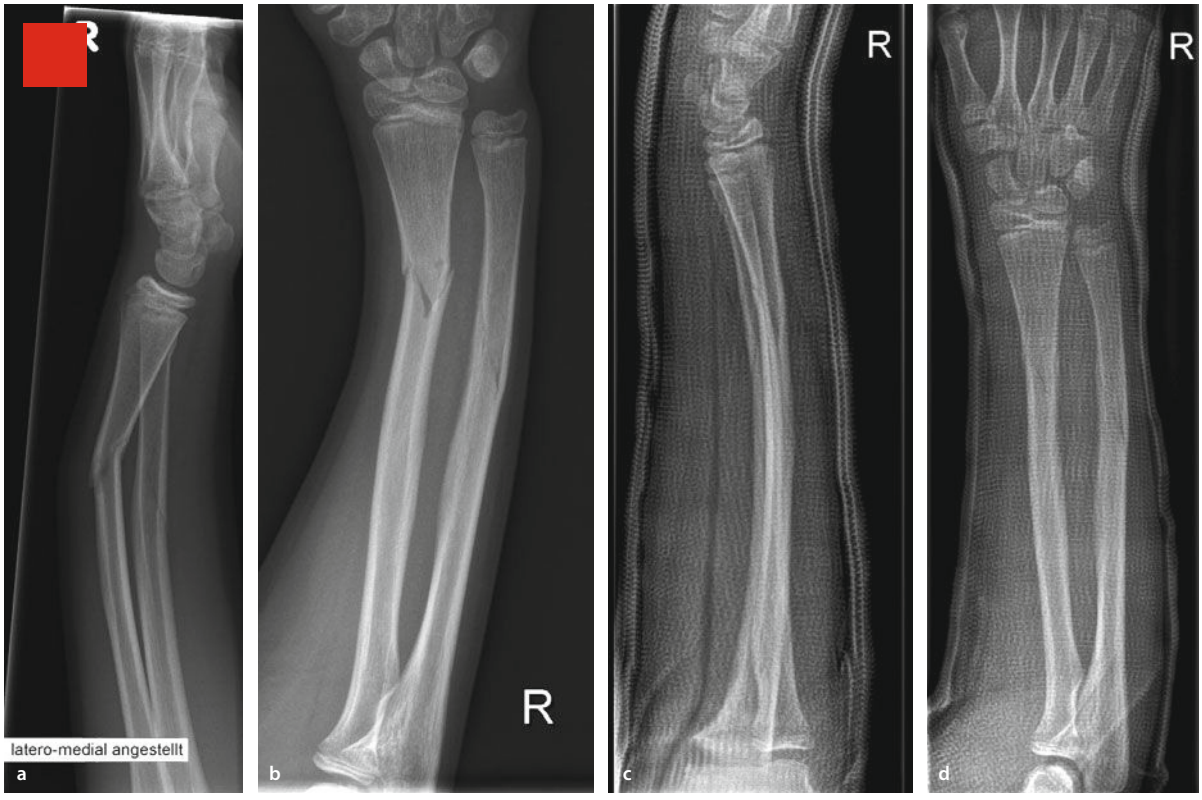


Abb. 6.3. 13 Jahre, weiblich. Direkter Sturz auf den Unterarm. Unterarmschaftfraktur (A3). Geschlossene Reposition. Ruhigstellung für 3 Wochen, Sportkarenz für 2 Monate

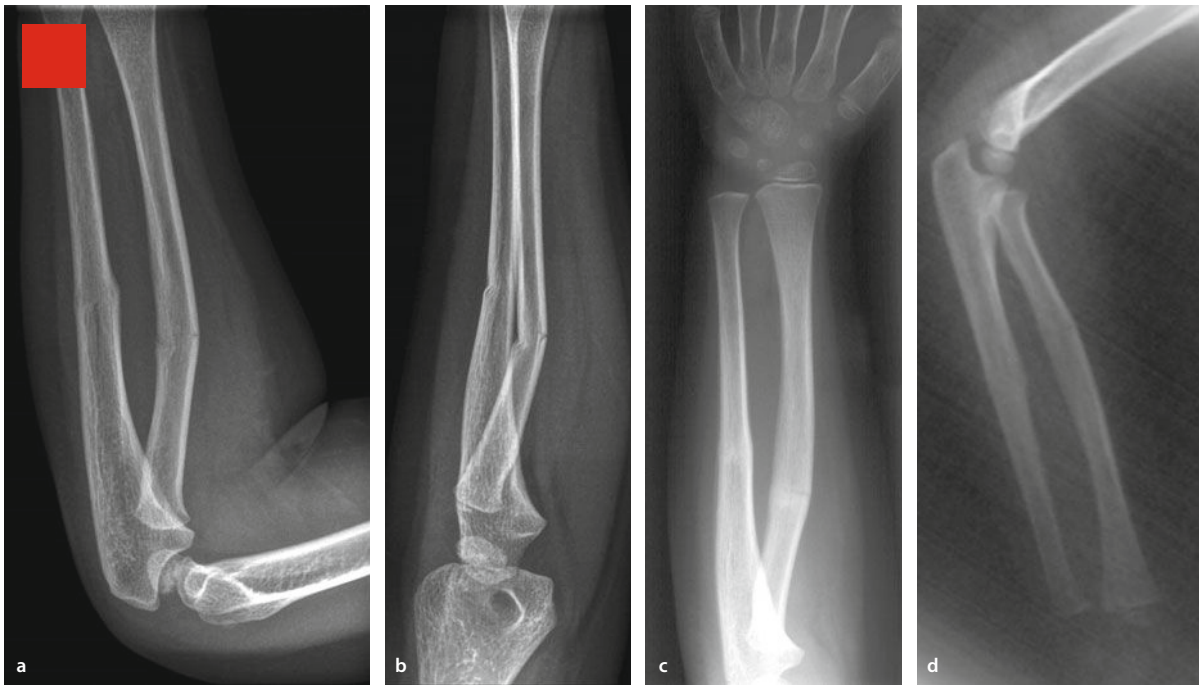


Abb. 6.4. 7 Jahre, männlich. Zustand nach Sturz und Abstützen mit dem linken Arm. Nicht dislozierte Ulnafraktur und Radiusschaftfraktur mit 20° Angulation (A3). Konservative Therapie durch Reposition und Gipsretention. Auswärtige Kontrolle nach 8 Wochen

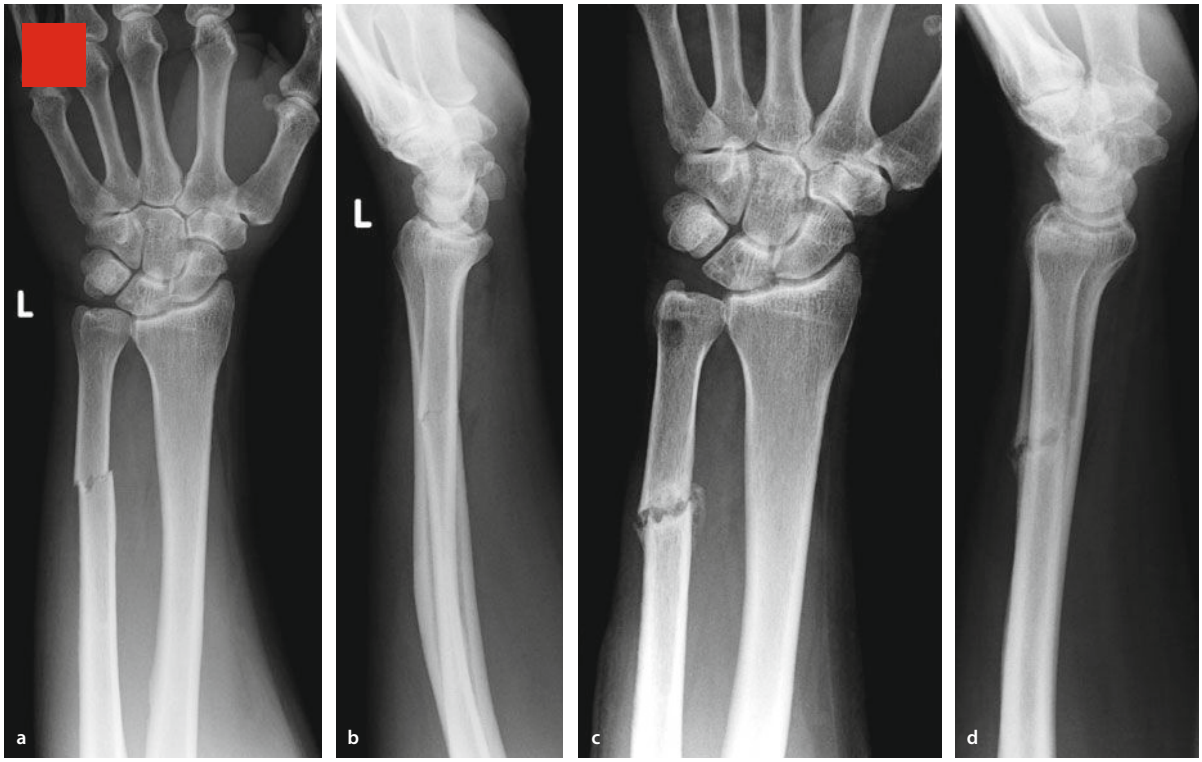


Abb. 6.5. 54 Jahre, männlich. Verkehrsunfall (im Rahmen eines Wegeunfalls als Rollerfahrer mit einem Lkw zusammengeprallt). Schädel-Hirn-Trauma, offene Unterschenkelfraktur und gering dislozierte distale Ulnaschaftfraktur (A1). Konservative Behandlung. Kontrolle nach 8 Wochen mit Kallusbildung noch ohne stabile Konsolidierung

gespaltenen Oberarmgips in Neutralstellung oder Spucknapfstellung ist bei Polytraumatisierten bis zur Osteosynthese möglich. Dies erfordert jedoch eine konsequente Weichteilkontrolle durch den behandelnden Arzt, um Druckschäden auszuschließen.

Als instabil gelten kindliche Unterarmschaftbrüche mit Dislokation >1/2 Schaftbreite, mit vollständigem Kontaktverlust der Frakturfragmente oder mit Verkürzung. Stabile Frakturen betreffen nur einen Knochen, sind Grünholzbrüche oder stehen nicht disloziert.

6.5.2 Plattenosteosynthese

Zielsetzung sind die exakte anatomische Reposition und die übungsstabile Osteosynthese zur frühfunktionellen Nachbehandlung.

Die Operation erfolgt in Blutleere und Rückenlage unter Auslagerung des Arms auf einem Beistelltisch. Die Platten werden in der Regel als Neutralisationsplatten von dorsoulnar (Ulna) und dorsoradial (Radius) platziert. Die Platte wirkt an der Ulna wie eine Zuggurtung. Platten können aber auch als Kompressionsplatten insbesondere bei Querbrüchen aufgebracht werden. Sie müssen dazu exakt vorgebogen werden. Auf der plattenabgewandten Seite kann Kompression durch geringfügiges »Überbiegen« erzeugt werden. Auf jeder Seite der Fraktur sind mindestens 3 Schrauben bikortikal zu verankern, sonst steigt die Pseudarthroserate. Langstreckige Expositionen des Knochens sind zu vermeiden, da sonst Störungen der Heilung beobachtet werden. Fragmente sind im Weichteilverbund zu belassen. Implantat der Wahl ist die 3,5-mm-LCDCP (»low contact dynamic compression plate«; Abb. 6.6–6.10).

Alternativ kann mit nicht ganz so überzeugenden Ergebnissen auch eine DCP (»dynamic compression plate«) oder bei Mehrfragment- und Trümmerbrüchen eine LCP (»locking compression plate«) verwendet werden. 1/3- oder 1/2-Rohrplatten sind nicht zu empfehlen, da sie nicht genügend Stabilität bringen und damit komplikationsbehaftet sind (bis zu 85% Pseudarthrosen [1]).

Eine Bauchlage ist auch möglich; u. U. ist die Reposition bei frei hängendem Arm in Supination erleichtert. Spongiosaplastiken sind bei Defekten oder bei Replattenosteosynthesen im Rahmen von Pseudarthrosen indiziert. Knochenersatzmaterialien empfehlen wir nicht oder nur in Kombination mit autologer Spongiosa, da diese Implantate bei Brüchen im Schaftbereich Weichteilkontakt bekommen und eine bindegewebige Einheilung nicht ausgeschlossen ist [10].

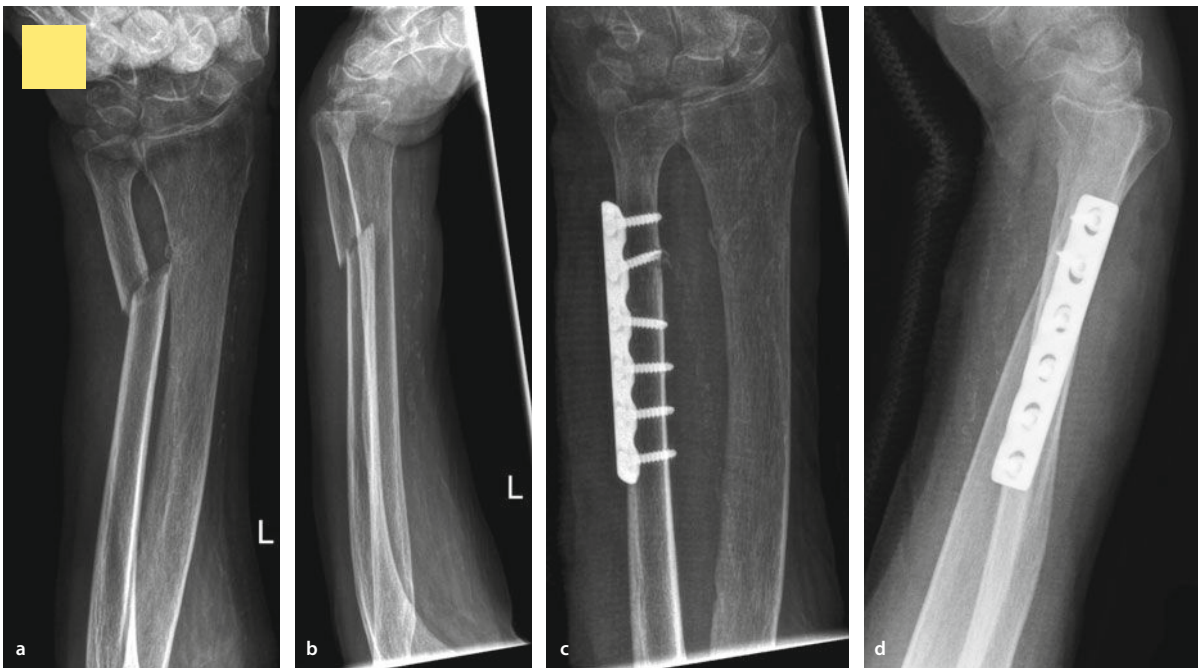


Abb. 6.6. 84 Jahre, männlich. Hemiplegie links nach cerebralem Insult. Sturz mit direktem Anpralltrauma auf den ulnarseitigen Unterarm. Dislozierte distale Ulnafraktur (A1-Fraktur im Schaftbereich) und nicht dislozierte distale Radiusfraktur. Primärversorgung mit dorsoulnarer LCDC-Plattenosteosynthese. Die 3. Schraube von distal ist als Zugschraube durch die Platte gesetzt

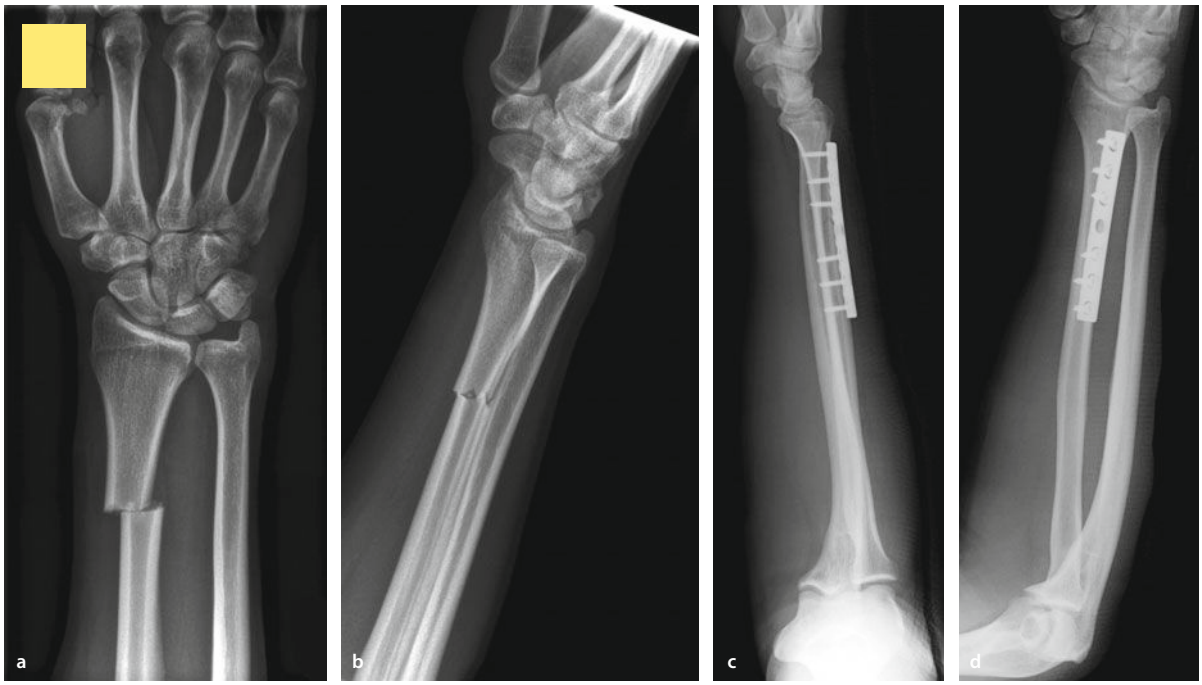


Abb. 6.7. 49 Jahre, männlich. Zustand nach alkoholbedingtem Sturz; unklarer Mechanismus. Distale Radiusschaftfraktur (A2). Offene Reposition und Osteosynthese mit 7-Loch-Platte

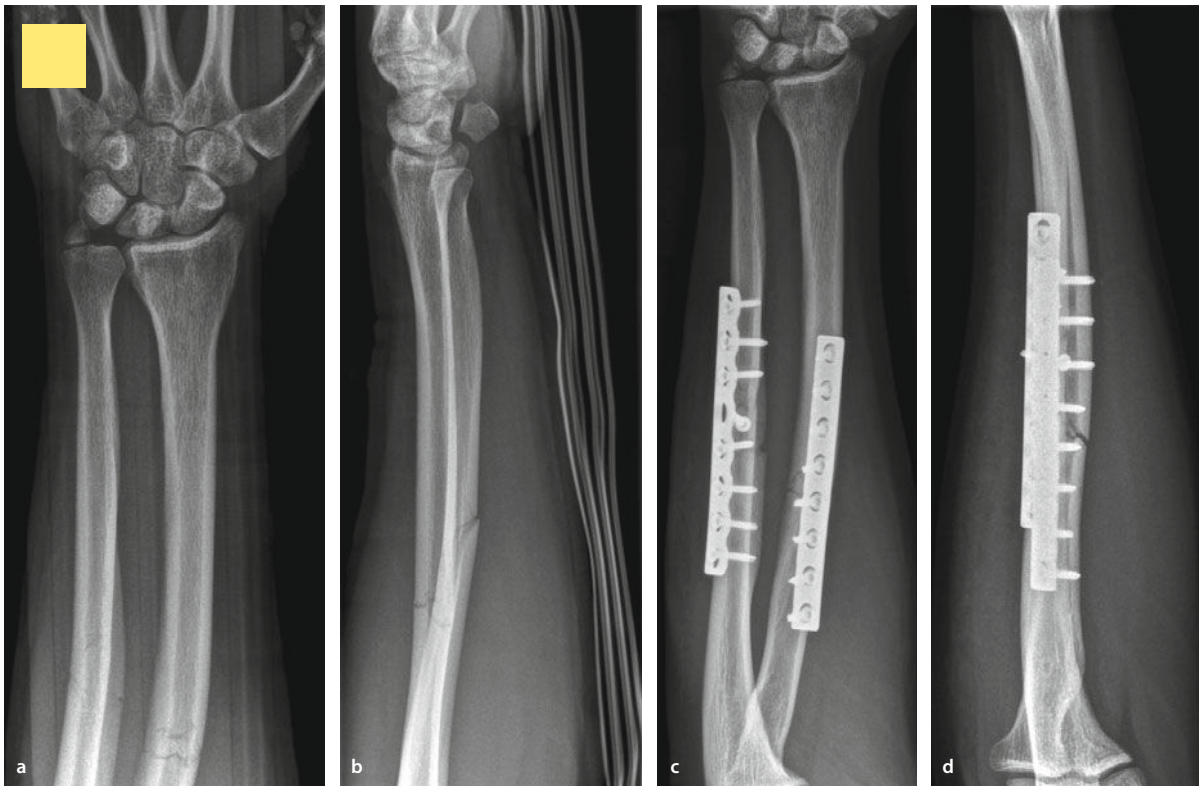


Abb. 6.8. 25 Jahre, männlich. Sturz beim Fußballspielen auf den linken Arm. Unterarmschaftfraktur links mit angedeutetem Keilfragment der Ulna (B3-Fraktur). Osteosynthetische Versorgung mit 8-Loch-Titan-LCDCP-Kleinfragmentplatte



Abb. 6.9. 46 Jahre, männlich. Zustand nach Sturz auf den rechten Arm. Unterarmfraktur in Form einer erstgradig offenen Ulnaschaftfraktur rechts (B1-Fraktur im Bereich des Ulnaschafts) und distaler Radiusextensionsfraktur. Offene Reposition und Osteosynthese der Ulnaschaftfraktur nach Abstrichentnahme und Débridement mit 7-Loch-Kleinfragment-LCDCP und geschlossene Reposition und Osteosynthese der Radiusfraktur mit 3 Kirschner-Drähten der Stärke 1,8 mm

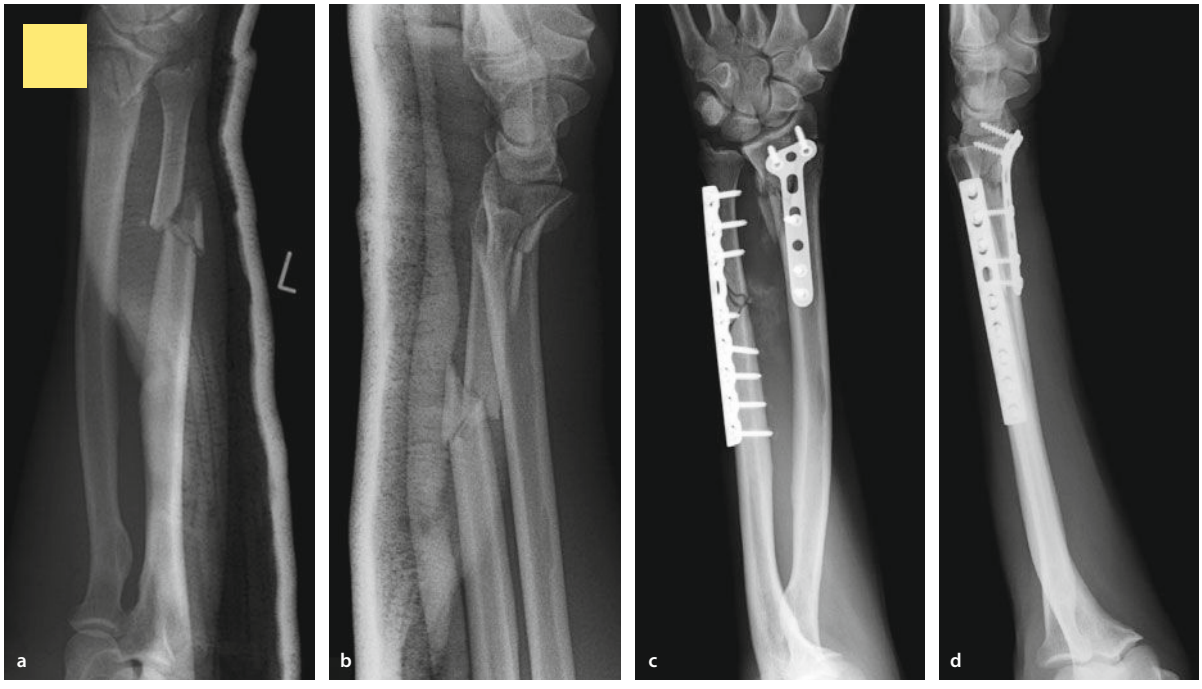


Abb. 6.10. 54 Jahre, männlich. Zustand nach Verkehrsunfall mit multiplen knöchernen Verletzungen. Keilfraktur der Ulna (B1-Fraktur), Frykman-VII/C1-Fraktur des distalen Radius. Primäre Osteosynthese mit offener Reposition und Plattenosteosynthese der Ulna über 9-Loch-LCDC-Platte und offener Reposition und Plattenosteosynthese des Radius über palmare 5-Loch-Platte mit schrägem Bügel

22

Bei der Operation werden die beiden Knochen über separate Zugänge dargestellt. Die Hautbrücke soll eine Mindestbreite von 5 cm aufweisen, um Durchblutungsstörungen zu vermeiden. Die Fascien werden beim Wundverschluss aufgrund der relativ großen Gefahr der Entwicklung eines Kompartmentsyndroms offen gelassen. Die Membrana interossea darf nicht verletzt werden. Dies fördert die Bildung von sog. Brückenkallus, der die Umwendbewegung vollständig aufheben kann und eine große Rezidivneigung aufweist.

Der *Radius* ist von den Handgelenk- und Fingerstreckern bedeckt. Es existieren je nach Verletzungslokalisation mehrere Standardzugänge. Der dorsoradiale Zugang nach *Thompson* ermöglicht die Darstellung des *distalen* und *mittleren* Radius. Die Darstellung erfolgt bei proniertem Unterarm. Er verläuft längsgestellt zwischen Epicondylus radialis und der Mitte der dorsalen radialen Gelenkfläche. Eingegangen in die Tiefe wird zwischen M. extensor digitorum communis und M. extensor carpi radialis brevis. Die kreuzenden Muskeln (M. abductor pollicis longus und M. extensor pollicis brevis) werden unterminiert, angeschlungen und beiseite gehalten. Im proximalen Zugangsbereich ist der M. supinator darzustellen und der R. profundus nervi radialis zu schonen. Dieser ist bis zum Supinatorschlitz gefährdet.

Die Schnittführung nach *Henry* (vorderer, beugeseitiger Zugang zum Radius) ermöglicht bei supiniertem Unterarm und Auslagerung auf einem Beistelltisch die Darstellung des *proximalen* Radiusanteils. Sie verläuft *palmarseitig* gebogen, proximal radial am Ellbogengelenk beginnend, dieses nach ulnar kreuzend, um dann schräg in Richtung auf den Proc. sytyloideus radii zu verlaufen. Der Endast des N. musculocutaneus (N. cutaneus antebrachii lateralis) und der R. superficialis nervi radialis werden dargestellt, angeschlungen und beiseite gehalten. Eingegangen wird medial am M. brachioradialis, proximal ist ggf. der Lacertus fibrosus einzukerben. Mm. supinator und pronator teres werden subperiostal abgeschoben, und der Radiusschaft ist dargestellt.

Eine Alternative zum *proximalen Radius,* aber auch zur proximalen Ulna stellt der *dorsale* Zugang nach *Boyd* dar. Dieser beginnt mittig zwischen Epicondylus radialis humeri und Olecranon in Höhe der Olecranonspitze und verläuft dann dorsal entlang der Ulnakante in Pronationsstellung des Unterarms. M. extensor carpi ulnaris und M. anconaeus werden von der Ulna abgeschoben. Der M. supinator wird scharf vom ulnaren Ansatz gelöst, da der R. profundus nervi radialis sonst verletzt werden kann.

Die Schnittführung über der Ulna ist unproblematisch, da die Hinterkante direkt unter der Haut palpabel ist. Der Zugang erfolgt in Längsrichtung in einer gedachten Linie zwischen Olecranon und Processus styloideus ulnae in Höhe der Fraktur. Die Ulna wird in ihrem gesamten Verlauf über diesen Schnitt erreicht. Der Knochen wird durch Eingehen zwischen Mm. extensor und flexor carpi ulnaris erreicht. Die Platte wird dorsoulnar unter den Flexoren platziert.

Die Plattenosteosynthese wird am einfacher zu reponierenden Knochen begonnen. Die Reposition gelingt am leichtesten in vollständiger Supination des Unterarms. Standardimplantat ist die 3,5-mm-LCDCP.

6.5.3 Intramedulläre Verfahren

Marknägel haben sich beim Erwachsenen bisher nicht bewährt. Sie führen bei anspruchsvoller Implantationstechnik nicht zu besseren Resultaten im Vergleich zu den Plattenosteosynthesen [11]. Neben der Aufbohrung ist ein anatomiegerechtes Vorbiegen erforderlich. Einen hohen Stellenwert haben Drähte oder Nägel bei *kindlichen Unterarmfrakturen*, z. B. Prévot-Nägel, ESIN (elastische, stabile intramedulläre Nagelung) oder TEN-Nägel (»titanium elastic nail«) u. a. Die Nageldicke sollte bis maximal 2/3 der minimalen Markraumweite des zu versorgenden Unteramknochens betragen. Ein Vorbiegen wie bei anderen Lokalisationen entfällt am Unterarm. Prinzip ist hier daher die innere Schienung.

Die Reposition gelingt meist geschlossen. Sollte dies jedoch nach mehreren Versuchen unmöglich sein, liegt ein Muskelinterponat vor, und es ist offen über eine kleine Hilfsinzision zu reponieren (Abb. 6.11–6.14).

6.5.4 Fixateur externe

Die Stellung von Unterarmfrakturen ist mit einem Fixateur nach Reposition nicht zu sichern. Eine solche Behandlung eignet sich daher nur als *temporäre Fixierung* bei ausgedehnten Weichteilschäden, wenn eine primär definitive Osteosynthese nicht möglich ist, beim Polytrauma oder bei Kettenverletzungen der oberen Extremität (Abb. 6.15).

Die Schanz-Schrauben werden ulnar proximal und distal radial verankert. Die Montage sollte aus Stabilitätsgründen gelenküberbrückend am Ellbogen- und Handgelenk erfolgen. Begleitende Weichteilschäden werden notfallmäßig so umfassend wie möglich saniert. Nach Konsolidierung der Weichteilsituation wird die endgültige Versorgung mit einem internen Verfahren frühestmöglich angeschlossen.

Wichtig

Der Fixateur externe am Unterarm ist ausschließlich zur temporären Stabilisierung von offenen Brüchen oder bei Polytraumatisierten zu verwenden. Es folgt immer die frühsekundäre endgültige operative Versorgung.

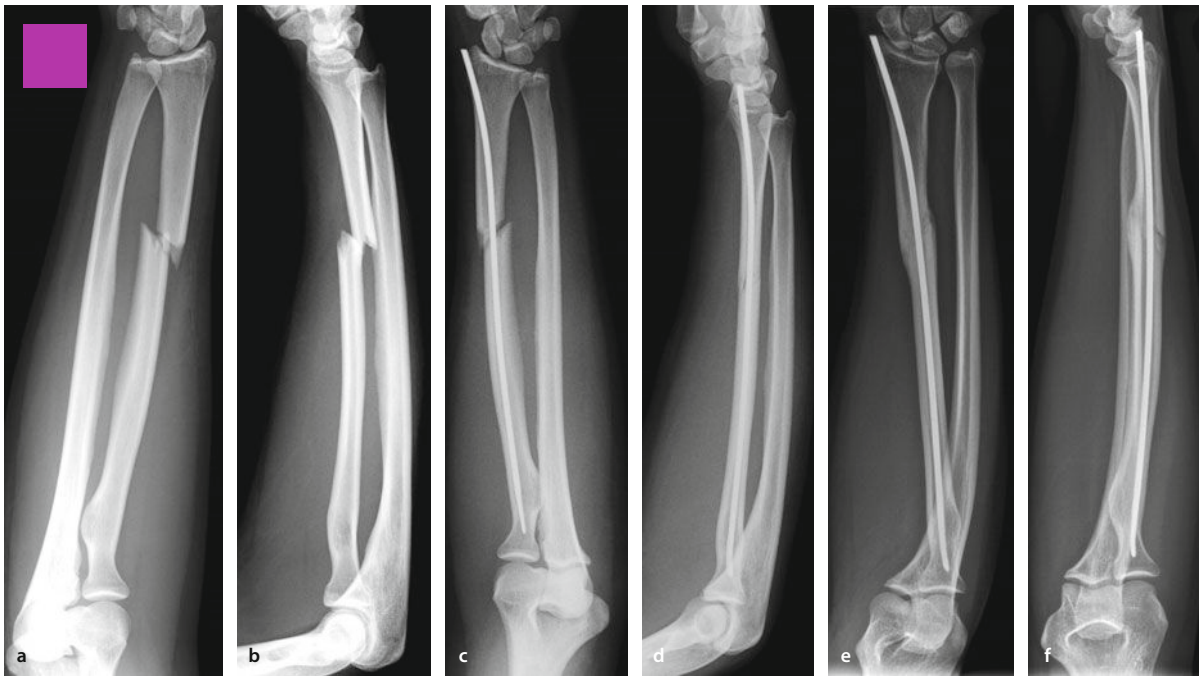


Abb. 6.11. 28 Jahre, weiblich. Sturz vom Motorroller im Urlaub. Isolierte Radiusschaftschrägfraktur (A2-Fraktur). Primär Schienung und Verlegung heimatnah. Sekundärversorgung innerhalb von 5 Tagen mit Prévot-Nagel

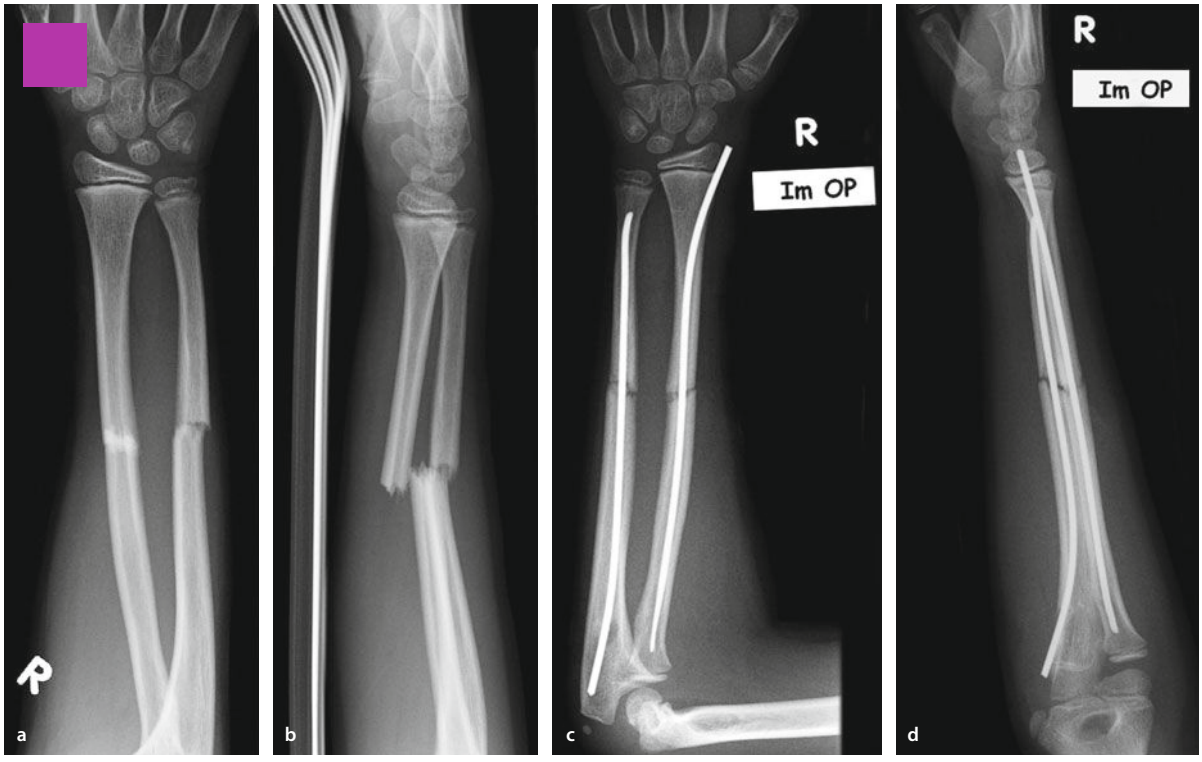


Abb. 6.12. 11 Jahre, männlich. Zustand nach Treppensturz auf den rechten Unterarm. Ad latus dislozierte Unterarmschaftfraktur (A3-Fraktur). Offene Reposition des Radius und Osteosynthese mit 2,5-mm-Prévot-Nagel von radial distal sowie geschlossene Reposition und Osteosynthese der Ulna mit 2,5-mm-Prévot-Nagel von proximal-ulnar. Die Autoren empfehlen eine Einbringung des Prévot-Nagels von proximal-radial an der Ulna, um eine Gefährdung des N. ulnaris zu vermeiden

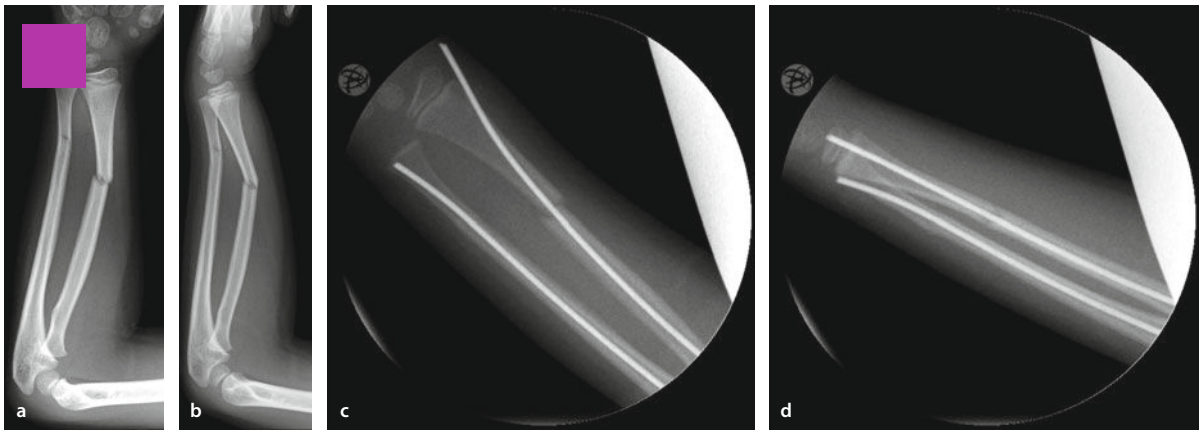


Abb. 6.13. 6 Jahre, männlich. Sturz aus dem Hochbett auf den linken Arm. Ad axim dislozierte Unterarmschaftfraktur links. Geschlossene Reposition frustran. Operative Versorgung mit Prévot-Nägeln nach offener Reposition wegen Muskelinterponats

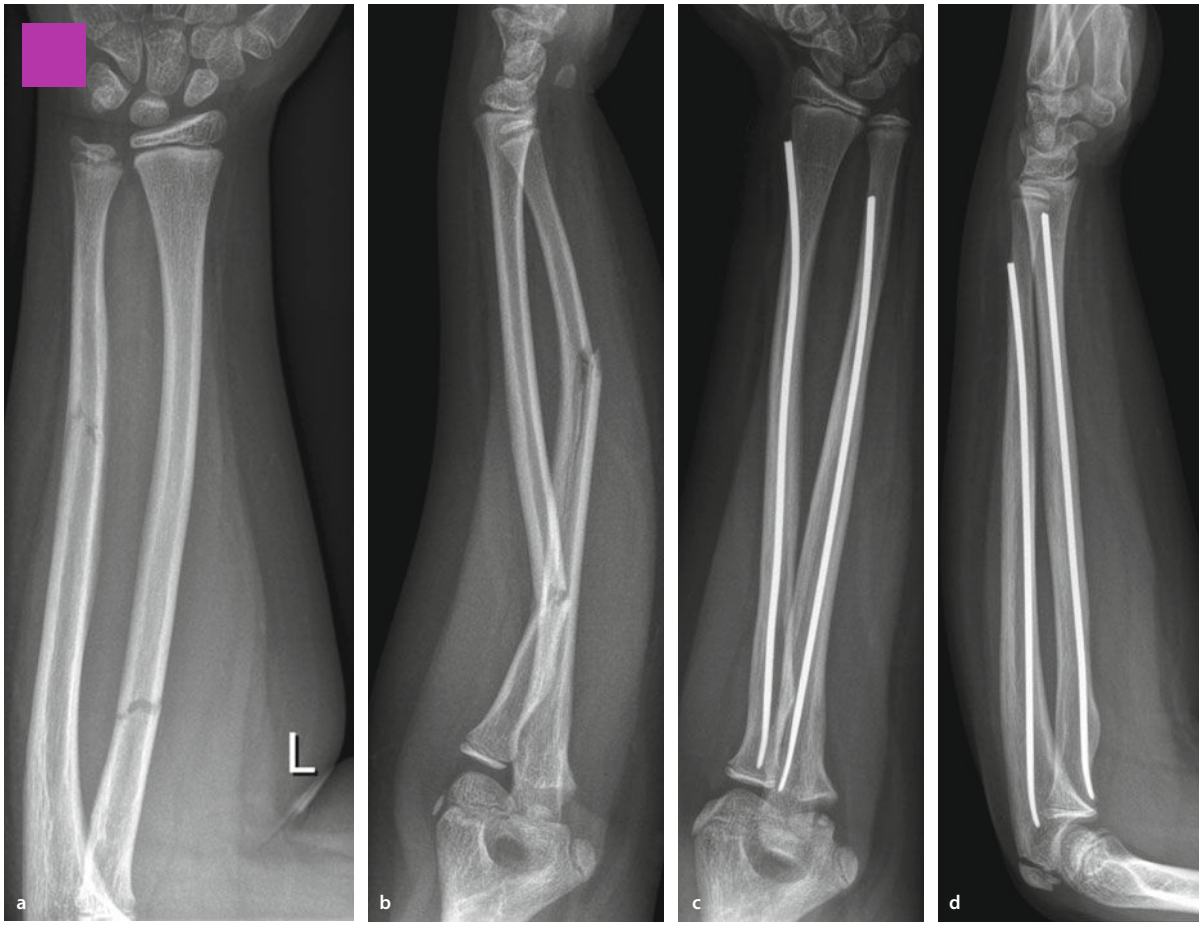


Abb. 6.14. 10 Jahre, weiblich. Sturz von einer Turnstange auf den linken Unterarm. Ad axim dislozierte Unterarmschaftfraktur (A3-Fraktur). Geschlossene Reposition und intramedulläre Prévot-Nagelung des Radius und der Ulna. Einbringung des ulnaren Nagels von proximal-radial

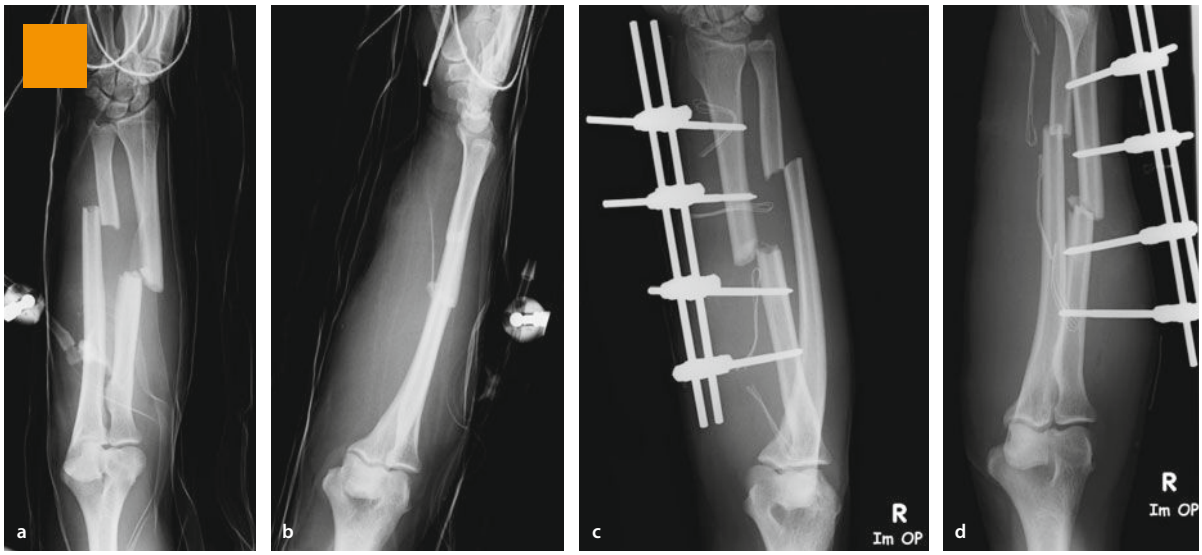


Abb. 6.15. 66 Jahre, männlich. Grunderkrankung Lymphom; Sprung von einer Brücke in suizidaler Absicht. Polytrauma mit geschlossenem Schädel-Hirn-Trauma und Unterschenkelfraktur links u. a. erstgradig offene Fraktur des Unterarmschaftes rechts (A3). Nach Débridement der Unterarmwunde mit Drainage und Naht rein radiale Montage eines Fixateur externe am rechten Unterarm nach den Prinzipien des »damage control orthopedics«. Unzureichende Stabilität der Fraktur aufgrund der rein radialen Montage

6.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung wird je nach Knochenzustand, Osteosyntheseverfahren und Stabilität durch den Operateur festgelegt. Prinzipiell ist eine *frühfunktionelle Behandlung* nach Osteosynthese anzustreben. Diese umfasst ab dem 1. postoperativen Tag eine gipsfreie Beübung unter Einschluss von Isometrie und Bewegung der Gelenke der operierten Extremität. Bei Kindern ist eine zusätzliche Gipsanlage oder auch eine krankengymnastische Behandlung nur in Ausnahmefällen erforderlich. Wir empfehlen Röntgenkontrollen nach 1 Woche oder nach Aufnahme der Unterarmbewegung sowie vor Metallentfernung nach 6–16 Wochen in Abhängigkeit vom Konsolidierungszustand und vom Alter.

Metallentfernungen sind beim Erwachsenen nur bei lokaler Irritation oder bei jungen Patienten zu empfehlen. Eine Entfernung beider Platten sollte frühestens nach 2 Jahren durchgeführt werden, da nicht selten Refrakturen beobachten werden [5]. Bei früherer Metallentfernung kann auch in einem Eingriff die erste und nach einem weiteren halben Jahr die zweite Platte entfernt werden. Es empfiehlt sich immer ein röntgenologischer Konsolidierungsnachweis; der Frakturspalt sollte nicht mehr sichtbar sein. Gegebenenfalls sind vor der Metallentfernung zusätzlich Schrägaufnahmen durchzuführen.

6.7 Sonderformen

Luxationsfrakturen. Luxationsfrakturen sind wesentlich seltener als die typischen Schaftbrüche. Sie dürfen allerdings keinesfalls übersehen werden, da erhebliche funktionelle Folgen auftreten. Sie werden sofort operiert. Eine anatomische Rekonstruktion ist unabdingbar, um die Funktion der Radioulnargelenke wiederherzustellen. Es werden dieselben Prinzipien und Implantate (LCDCP, LCP) wie oben beschrieben angewendet.

Die Luxationskomponente kann in aller Regel geschlossen reponiert werden. Verbleibt allerdings eine Reluxationstendenz im distalen Radioulnargelenk (DRUG) in der exakt eingestellten seitlichen Ebene, ist das Gelenk für 5 Wochen mit einem Kirschner-Draht der Stärke 2,0 mm in Supinationsstellung temporär ruhigzustellen. Eine Gipsbehandlung ist für diesen Zeitraum erforderlich zur Ausschaltung der Rotation, sonst ist der Drahtbruch vorprogrammiert. Alternativ kann auch eine Kleinfragmentschraube verwendet werden. Der Gips wird nach Entfernung des Drahts abgenommen.

Luxationsfrakturen sind immer sofort zu operieren. Eine anatomische Reposition ist anzustreben, um die Funktion der Radioulnargelenke nicht zu beeinträchtigen. In der jeweils exakt seitlich eingestellten Ebene erfolgt die Stellungskontrolle der distalen Ulna bzw. des proximalen Radius.

Monteggia-Fraktur. Diese Frakturform kombiniert eine Ulnafraktur üblicherweise im proximalen Drittel mit einer Radiusköpfchenluxation. Nach anatomischer Reposition und übungsstabiler Plattenosteosynthese steht das Radiusköpfchen in aller Regel stabil reponiert. Dies ist in der streng exakt seitlich stehenden Ebene zu überprüfen. Bei verbleibender Fehlstellung ist über einen separaten Zugang zum Radiusköpfchen dieses zu reponieren und ggf. das Lig. anulare zu nähen. Begleitverletzungen des Proc. coronoideus und des Capitulum radii dürfen nicht übersehen werden.

Geleazzi-Fraktur. Bei dieser Fraktur liegt ein Bruch im Bereich der distalen Radiushälfte mit Ulnaköpfchenluxation vor. Es wird ein dorsaler Thompson-Zugang empfohlen. Der trianguläre fibrokartilaginäre Komplex (TFCC) ist aufgrund der Luxation verletzt, die Verletzung ist instabil. Für die Versorgung gelten die gleichen Prinzipien wie bei der Monteggia-Verletzung. Auch hier ist die streng seitlich eingestellte Bildwandlerkontrolle nach Plattenosteosynthese obligat. Bei verbleibender Subluxation ist diese bei supiniertem Unterarm zu beseitigen und das Repositionsergebnis mit einem perkutanen Kirschner-Draht der Stärke 2,0 mm zu fixieren. Es folgt die Gipsbehandlung in Spucknapfstellung (Supinationsstellung der Unterarmknochen) bis zur Drahtentfernung nach 5 Wochen. Bei Kindern kann eine Aitken-I-Fraktur an der distalen Ulnaepiphyse vorliegen, die mit einem intramedullären Draht nach Reposition zu retinieren ist.

Divergierende radioulnare Luxation. Diese Form der Luxation ist sehr selten. Hierbei kommt es zu einer Zerreißung der Membrana interossea mit Interposition des Carpus zwischen distaler Ulna und Speiche. Demzufolge besteht eine Separation im distalen Radioulnargelenk (DRUG).

Kinder. Besondere Prinzipien der Behandlung, die auch im Rahmen einer Leitlinie publiziert sind [2], finden sich bei Kindern. Prinzipiell zu unterscheiden sind stabile oder inkomplette Brüche (»bowing deformation/fracture«, Grünholz- oder Wulstfrakturen) und instabile oder komplette Brüche. Hier kann bis zum 10. Lebensjahr konservativ behandelt werden. Gut eignen sich Grünholzbrüche, die nach Reposition bis zur leichten Überkorrektur mit einem gespaltenen Oberarmgips in Neutral- oder Spucknapfstellung ausbehandelt werden können. Der Gips kann nach Röntgenkontrolle oft schon nach 3 Wochen auf Unterarmlänge gekürzt werden, um Immobilisationsschäden zu minimieren. Nach 5–6 Wochen ist in der Regel eine Ausheilung erreicht.

Gelingt die Reposition nicht, sollte operativ behandelt werden. Achsenfehler >20° sollten nicht toleriert werden, da das Korrekturpotenzial der kindlichen Unterarmdiaphyse sonst nicht mehr ausreicht. Rotationsfehler dürfen gar nicht verbleiben, da sie nicht korrigiert werden. Bei offenen Brüchen, Begleit- oder Mehrfachverletzungen wird wie beim Erwachsenen immer operativ vorgegangen.

Um eine frühfunktionelle Behandlung zu ermöglichen, haben sich in den letzten Jahren *intramedulläre Drähte bzw. Nägel* (z. B. *Prévot* u. a., s. oben) zunehmend bewährt. Über eine ulnar-radiale proximale Stichinzision wird die Ulnakortikalis in ≤45° oder flacher zur Längsachse des Knochens perforiert und ein an der Spitze leicht vorgebogener Titannagel nach distal bis zur Epiphysenfuge mit leicht rotierenden Bewegungen zunächst bis zur Bruchstelle vorgeschoben. Das distale Fragment wird dann, ggf. unter Röntgenkontrolle oder unter Zuhilfenahme eines Kirschner-Drahts als Joystick, aufgefädelt und das Implantat bis zur Epiphysenfuge vorgeschoben. Am Radius erfolgt die intramedulläre Schienung in gleicher Weise über einen Zugang radial distal zwischen dem 1. und 3. Strecksehnenfach über dem Processus styloideus radii. Die Implantate sollten etwa 2/3 des endostalen Durchmessers ausmachen. Beidseits aszendierende Techniken sind jedoch auch möglich.

Plattenosteosynthesen stellen hier absolute Ausnahmeindikationen dar, für z. B. Korrekturosteotomien oder die distale Schaftfraktur des Jugendlichen.

Ältere Personen. Betagte Patienten mit osteoporotischem Knochen werden nach denselben Prinzipien wie Erwachsene versorgt. Bei erheblicher Osteoporose wird ggf. eine Verbundosteosynthese oder auch eine zusätzliche Gipsbehandlung erforderlich.

Polytrauma. Bei Polytraumatisierten wird nach primärer Stabilisierung und initialer Gips- oder Fixateur-Behandlung plattenosteosynthetisch wie oben beschrieben versorgt. Bei begleitendem Schädel-Hirn-Trauma ist der Kopf bei der Lagerung anzuheben, z. B. durch die sog. Beach-chair-Position.

Pathologische Frakturen. Pathologische Brüche sind die Ausnahme, diese werden bei Corticalisarrosion möglichst vor dem Eintritt des Bruchs versorgt. Verfahren der Wahl ist die Verbundplattenosteosynthese.

6.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Ergebnisse der Behandlung von Unterarmfrakturen sind gut. Begleitende Weichteilschäden wie ein Kompartmentsyndrom oder Nerven- und Gefäßverletzungen bestimmen daher oft die Prognose und das funktionelle Ergebnis. Weichteilverletzungen sollten daher möglichst

einer sofortigen und umfassenden Behandlung zugeführt werden.

Bei *konservativer Therapie* sind sekundäre Dislokationen und verzögerte Heilungen bei Grünholzbrüchen nicht selten, die zu erheblichen funktionellen Einschränkungen führen können. Bei Redislokationen ist eine operative Versorgung indiziert. Das Refrakturrisiko konservativ behandelter Grünholzbrüche wird in der Literatur mit bis zu 30% angegeben [2]. Nachrepositionen sind zu vermeiden, es ist dann die definitive Osteosynthese anzustreben. Insgesamt wird die Komplikationsrate bei konservativer Behandlung der kindlichen Unterarmschaftfraktur mit bis zu 50% angegeben [12].

Nach *Plattenosteosynthesen* wurden bei 90% der Patienten gute bis befriedigende Ergebnisse erzielt. Die Ellbogen- und Handgelenkbeweglichkeit waren deutlich besser als die Umwendbewegung [1]. Bei Erwachsenen ist ein klarer Vorteil von Kompressionsplattenosteosynthesen bewiesen (etwa um 10 Wochen verkürzte Konsolidierungszeit), sodass A-Frakturen unter Kompression gesetzt werden müssen [13]. Verzögerte Heilungen oder Pseudarthrosen sind nicht selten (bis etwa 30%). Die Ursache liegt in zu einer zu großen Devaskularisierung während der Operation oder in nicht ausreichender Stabilität der Osteosynthese [1].

Eine weichteiltraumatisierende Operationstechnik führt nicht selten zur Bildung von Brückenkallus im Sinne einer Synostose (etwa 1–2% der Operierten), der die Unterarmumwendung vollständig aufheben kann. Prädisponierende Faktoren sind Frakturen beider Knochen auf derselben Höhe, schwere Weichteilverletzungen, ein Zugang zu beiden Knochen, eine verzögerte Versorgung und das schwere Schädel-Hirn-Trauma.

Reosteosynthesen sind je nach Patientengut in bis 10% der Fälle möglich. Radialisläsionen sind bei proximalen Schaftfrakturen denkbar.

Wichtig

Am wichtigsten ist eine genaue Rekonstruktion der Anatomie. Nur geringe Fehlstellungen führen zu Beeinträchtigungen der Ellbogen-, Hand- und v. a. der Unterarmumwendbewegungen.

Die Einschränkung der Funktion in der Pro- und Supination ist am häufigsten [5]. Eine genaue Wiederherstellung der Länge hat zu erfolgen, um nicht die Gebrauchsfähigkeit der Hand einzuschränken und um eine präarthrotische Deformität zu verhindern. Achsenfehler von >10° sollten nicht belassen werden, da auch hieraus eine erhebliche Einschränkung der Umwendbewegung resultieren kann.

Die Entfernung von Platten darf nicht zu früh vorgenommen werden, da sonst Refrakturen in 4,5% der Fälle beobachtet wurden [5].

Die von einigen Kliniken verwendeten *intramedullären Versorgungen* [14] zeigen bei relativ anspruchsvoller Operationstechnik inzwischen der Plattenosteosynthese nahezu vergleichbare Ergebnisse. So wurden in einer prospektiven Studie bei 37 Patienten, die nach mindestens 24 Monaten nachuntersucht wurden, 2 Pseudarthrosen und 2 verzögerte Knochenheilungen sowie 2 radioulnare Synostosen gefunden. Die mittlere Konsolidierungszeit betrug 4,3 Monate, und mit dem DASH-Score betrug der Durchschnittswert 12,9 Punkte. 78% der Patienten erreichten ein sehr gutes funktionelles Ergebnis [8]. Refrakturen wurden hier nicht beobachtet. Als Vorteil gegenüber der Plattenosteosynthese wird die reduzierte Invasivität hervorgehoben.

Bei *Kindern* treten Längenzunahmen der Speiche nicht selten auf, wenn der Bruch im körperfernen Abschnitt liegt. Die sachgerechte konservative Therapie führt in fast allen Fällen zu einer komplikationsfreien Ausheilung. Die funktionellen Ergebnisse sind bei >94% der Kinder exzellent. In seltenen Fällen werden Einschränkungen der Unterarmdrehfähigkeit beobachtet, die dann im Bereich einer Einschränkung von 25° lagen. Besonders betroffen sind hier die seltenen Brüche im proximalen Drittel [4]. Auch die Ergebnisse der Behandlung mit Prévot-Nägeln sind bei Kindern sehr gut [15–17], sodass immer auf das alternative auch mögliche Verfahren bei der Aufklärung der Eltern hingewiesen werden muss. Die minimalinvasive Operation ist damit nur bei instabilen Frakturen eindeutig oder bei Kindern im Alter von >10 Jahren vorzuziehen.

6.9 Begutachtung

Wie oben erwähnt ist die Prognose in der Regel gut, sodass bei exakter Reposition eine gute Funktion ohne verbleibende wesentliche Funktionseinschränkungen erreicht wird. Die funktionelle Beurteilung umfasst die *Umwendbewegung*, die *Beweglichkeiten* und *Kraftentwicklungen* in Hand- und Ellbogengelenk und die Greiffunktion der Hand. Brückenkallus kann die Umwendbewegung vollständig aufheben. Bei den Luxationsfrakturen sind mögliche verbliebene Subluxationstendenzen zu erfassen. Pseudarthrosen werden berücksichtigt (radial oder ulnar jeweils 20–30% in der gesetzlichen Unfallversicherung).

Beispielwerte sind am Ellbogen eine Beweglichkeit von 0–30–90° Extension/Flexion, die mit einem Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 30 taxiert wird. Ein Bewegungsumfang von 0–90–135° wird mit einem GdB/MdE 20 bewertet. Die Umwendbewegung führt zu stärkeren funktionellen Defiziten und wird daher bei Aufhebung in Mittelstellung mit GdB/MdE 30, bei Aufhebung in 70° Pronation mit GdB/

MdE 20 und bei 70° Supination mit GdB/MdE 40 bewertet. Auch kann bei Verkürzungen oder Achsenfehlstellungen die Beweglichkeit im Handgelenk eingeschränkt sein. Eine Reduktion um 40° im Vergleich zur Gegenseite induziert einen GdB/MdE von 10, bei 80° Reduktion wird ein GdB/MdE von 30 angesetzt [18].

In der privaten Unfallversicherung ist je nach Funktionseinschränkung wie oben beschrieben ein entsprechender Armwert anzusetzen.

Literatur

1. J. Zirknitzer, J. Obrist, F. Genelin, A. Kröpfl, Die operative Behandlung der Unterarmschaftfraktur. Unfallchirurgie 15: 122–128 (1989)
2. Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter, AWMF online, Leitllinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie, AWMF/11/006–062.ht
3. A.M. Weinberg, H. Reilmann, Frakturen der Diaphyse im Kindesalter. Unfallchirurg 103: 144–155 (2000)
4. P.A. Ostermann, D. Richter, K. Mecklenburg, A. Ekkernkamp, G. Muhr, M.P. Hahn, Kindliche Unterarmfrakturen: Indikationen, Technik und Grenzen der konservativen Behandlung. Unfallchirurg102: 784–790 (1999)
5. C. Müller-Mai, C. Voigt, R. Rahmanzadeh, Funktionelle Ergebnisse nach Osteosynthese von meta- und diaphysären Unterarmschaftfrakturen. In: Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Vorderarms, R. Rahmanzadeh, A. Meißner, C. Würtemberger, M. Fell (Hrsg), Einhorn, Reinbeck, 1996, pp 77–82
6. A. Rüter, O. Trentz, M. Wager, Unfallchirurgie, Urban & Schwarzenberg, München, 1995
7. A. Ekkernkamp, G. Muhr, Der »stabile« Ellenschaftbruch. Unfallchirurg 91: 551–556 (1988)
8. A. Weckbach, C. Weißer, Marknagelung am Unteram – Kommentar zum Vortrag. Trauma & Berufskrankh 6 (Suppl 2): S235 (2004)
9. F. Russe, Konservative Therapie von kindlichen Unterarmfrakturen. In: Hefte zur Unfallheilkunde 201: 375–385 (1989)
10. C. Müller-Mai, Bioaktive Granulate in der Unfallchirurgie – Experimentelle Grundlagen und klinische Anwendung, VNM Science, München, Deutschland, 2003
11. C. Weißer, A. Weckbach, Die Verriegelungsnagelung von Unteramfrakturen mit dem ForeSight™–Ulna/Radius-Nagel. Operative Orthop Traumatol 2: 151–169 (2003)
12. D. Mann, M. Schnabel, M. Baacke, L. Gotzen, Ergebnisse der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) bei Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 106: 102–109 (2003)
13. C.T. Stevens, H.J. Duis, Plate osteosynthesis of simple forearm fractures: LCP versus DC plates. Acta Orthop Belg 74: 180–183 (2008)
14. A. Weckbach, C.H. Weißer, T.R. Blattert, Marknagelung am Unteram. Trauma & Berufskrankh 3 (Suppl. 2): S297-S302 (2001)
15. J.R. Rether, intramedulläre Stabilisierung von Schaftfrakturen im Wachstumsalter. Trauma & Berufskrankh 7: 112–117 (2005)
16. D. Richter, P.A.W. Ostermann, A. Ekkernkamp, G. Muhr, M.P. Hahn, Elastic intramedullary nailing: A minimally invasive concept in the treament of unstable forearm fractures in children. J Pediatric Orthop 18: 457–461 (1998)
17. P. Lascombes, J. Prevot, J.N. Ligier, J.P. Metaizeau, T. Poncelet, Elastic stable intramedullary nailing for forearm shaft fractures in children: 85 cases. J Pediatr Orthop 10: 167–171 (1990)
18. F. Mehrhoff, G. Muhr, Unfallbegutachtung. De Gruyter 1999

7 Distaler Unterarm

C.M. Müller-Mai, M. Frank

Definition
Es handelt sich um körperferne Brüche der Elle bzw. der Speiche, jeweils allein oder in Kombination auftretend.

Die körperferne Fraktur des Radius ist die häufigste Fraktur des Menschen und macht etwa 20% aller Knochenbrüche aus. Bei einer Inzidenz von 2:1000 ist in etwa 80% der Fälle das weibliche Geschlecht über 50 Jahre betroffen [1].

7.1 Mechanismus

In aller Regel handelt es sich um *Stürze auf den ausgestreckten Arm*

- in Streckstellung des Handgelenks (Extensionsfraktur nach Poteau-Colles, fractura loco typico sive classico, etwa 90% der distalen Speichenbrüche) oder
- in Beugestellung (Flexionsfraktur nach Goyrand-Smith, ca. 10%).

Allerdings sind auch direkte Gewalteinwirkungen möglich. Hierbei sind besonders häufig Begleitverletzungen von Gefäßen oder Nerven bzw. von Sehnen oder benachbarten Strukturen [distales Radioulnargelenk (DRUG) oder triangulärer fibrokartilaginärer Komplex (TFCC)] sowie erhebliche Weichteilschäden und Schwellungen zu beobachten.

7.2 Klinik

Es finden sich die *typischen indirekten Frakturzeichen* mit

- Schwellungen,
- Hämatomen,
- Ödem,
- Druckschmerzhaftigkeiten

sowie bei direkt auf den Ort einwirkender Gewalt auch

- Prellmarken oder
- Weichteilverletzungen.

Die Beweglichkeit des Handgelenks bzw. der Finger ist schmerzbedingt eingeschränkt. Typisch ist die Fehlstellung nach radial (Bajonett) oder nach dorsal (Fourchette).

Bei *Begleitverletzungen* finden sich entsprechende klinische Zeichen, z. B. ein Klaviertastenphänomen der distalen Ulna bei Verletzung des DRUG. Bei begleitender Scaphoidfraktur besteht ein Druckschmerz im Bereich der Tabatière. Weitere Begleitverletzungen stellen die perilunäre Luxationsfraktur de Quervain oder die skapho-

lunäre Dissoziation nach Ruptur des Lig. scapholunatum (SL-Ruptur) dar.

Oft besteht ein Abriss des Proc. styloideus ulnae mit entsprechendem Druckschmerz. Dieser ist für die Stabilität des ulnaren Handgelenks wichtig, da er als Ansatz für wesentliche Anteile des TFCC dient. Daher wird er von einigen Autoren über eine Zuggurtungsosteosynthese u. a. versorgt. Wir halten dieses Vorgehen für meist verzichtbar, da der Griffelfortsatz knöchern oder als stabile Pseudarthrose ausheilt. Durchblutungsstörungen und sensorische Einschränkungen (N. medianus, R. superficialis nervi radialis) sind möglich und müssen – wie auch ein Kompartmentsyndrom – ausgeschlossen werden.

7.3 Diagnostisches Vorgehen

Die Diagnostik umfasst nach der Anamnese (Mechanismus) und der lokalen Inspektion bzw. Untersuchung die *Röntgendiagnostik* in 2 exakt eingestellten Ebenen. Hier werden in aller Regel seitliche und a.-p. eingestellte Aufnahmen durchgeführt.

Besteht nach dem Röntgenbild der Verdacht auf Gelenkbeteiligung, wird bei komplexen Frakturen eine CT-morphologische Untersuchung empfohlen, um die Stellung der Fragmente beurteilen zu können.

Besonders gut können Fossa lunata und das DRUG beurteilt werden. Sollte keine *CT* möglich sein, sind Schrägaufnahmen in 45° Pronation/Supination möglich, da so die Fossa lunata et scaphoidea besser beurteilt werden können. Dieses Vorgehen verbessert die Durchführung der Osteosynthese wesentlich. Zum einen wird die Auswahl des Implantats erleichtert, zum anderen die Planung der Operation. Basisnahe Abrisse des Proc. styloideus oder Dislokationen im Bereich des DRUG können einen Hinweis auf eine Verletzung des TFCC darstellen. Einige Autoren empfehlen dann die separate Osteosynthese über Kirschner-Drähte, Zuggurtungsosteosynthese oder eine kanülierte Zugschraube.

Eine zusätzliche MRT ist bei Verdacht auf Verletzung der karpalen Bandstrukturen oder des TFCC erforderlich. Ein Verdacht auf Verletzungen des intrinsischen Bandapparates ergibt sich aus Frakturverläufen im Bereich der Fossa lunata.

Besonderer Verdacht auf eine SL-Bandläsion ergibt sich bei zusätzlich bestehendem Abriss des Proc. styloideus ulnae und einem Frakturverlauf in die Crista zwischen Fossa lunata et scaphoidea. Hier sind in etwa 1/3 der Fälle SL-Bandläsionen zu beobachten. In diesen Fällen hat die dynamische Bildwandleruntersuchung vor und nach einer Osteosynthese einen hohen Stellenwert.

Auch das lunotriquetrale Band (LT-Band) ist in ca. 10% betroffen. Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind reine Prellungen, Schmerzen aufgrund degenerativer Veränderungen sowie Entzündungen der Sehnen und Sehnenscheiden (Paratendinitis). In aller Regel ist hier die Anamnese wegweisend. Statische SL- und LT-Rupturen sollten mit temporärer Kirschner-Drahtfixierung oder offener Naht und temporärer Drahtung versorgt werden. Es empfehlen sich 1,4-mm-Drähte, die von radial über das Scaphoid im Lunatum und im Capitatum verankert werden. LT-Instabilitäten werden von ulnar über 2 parallele Drähte versorgt. Anschließend ist ein Unterarmgips für 6 Wochen zu empfehlen.

Bei Verdacht auf Nervenläsionen wird eine *neurologische Untersuchung*, evtl. einschließlich EMG und ENG, erforderlich. Insbesondere der N. medianus ist durch die oben genannten Fehlstellungen im Sinne eines posttraumatischen Karpaltunnelsyndroms (KTS) betroffen. Differenzialdiagnostisch ist das chronische Karpaltunnelsyndrom abzugrenzen, wegweisend sind hier oft beidseitig und bereits länger bestehende Symptome.

7.4 Klassifikationen

Die AO-Klassifikation (Abb. 7.1) unterscheidet:

- extraartikuläre (A),
- partiell intraartikuläre (B) sowie
- vollständig intraartikuläre Brüche (C).

Frakturen vom Typ A. Die extraartikulären A-Frakturen sind in aller Regel gut zu reponieren. Hier bieten sich konservative oder minimalinvasive Verfahren wie die perkutane Bohrdrahtosteosynthese an. Nur in Ausnahmefällen (A3-Frakturen) sind Plattenosteosynthesen, insbesondere bei sekundären Dislokationen, zu empfehlen.

Frakturen vom Typ B. Die partiell intraartikulären B-Frakturen können konservativ oder mit K-Drähten bzw. Zugschrauben behandelt werden (B1-Frakturen). B2- (Barton-Fraktur) und B3-Frakturen (»reverse Barton«) sind eine Domäne der Plattenosteosynthese aufgrund ihrer Instabilität mit Dislokation der Kantenfragmente [1].

Frakturen vom Typ C. Bei den vollständig intraartikulären C-Frakturen reicht das Spektrum von K-Drähten (C1-Frakturen) über Plattenosteosynthesen bis hin zum Fixateur externe [2].

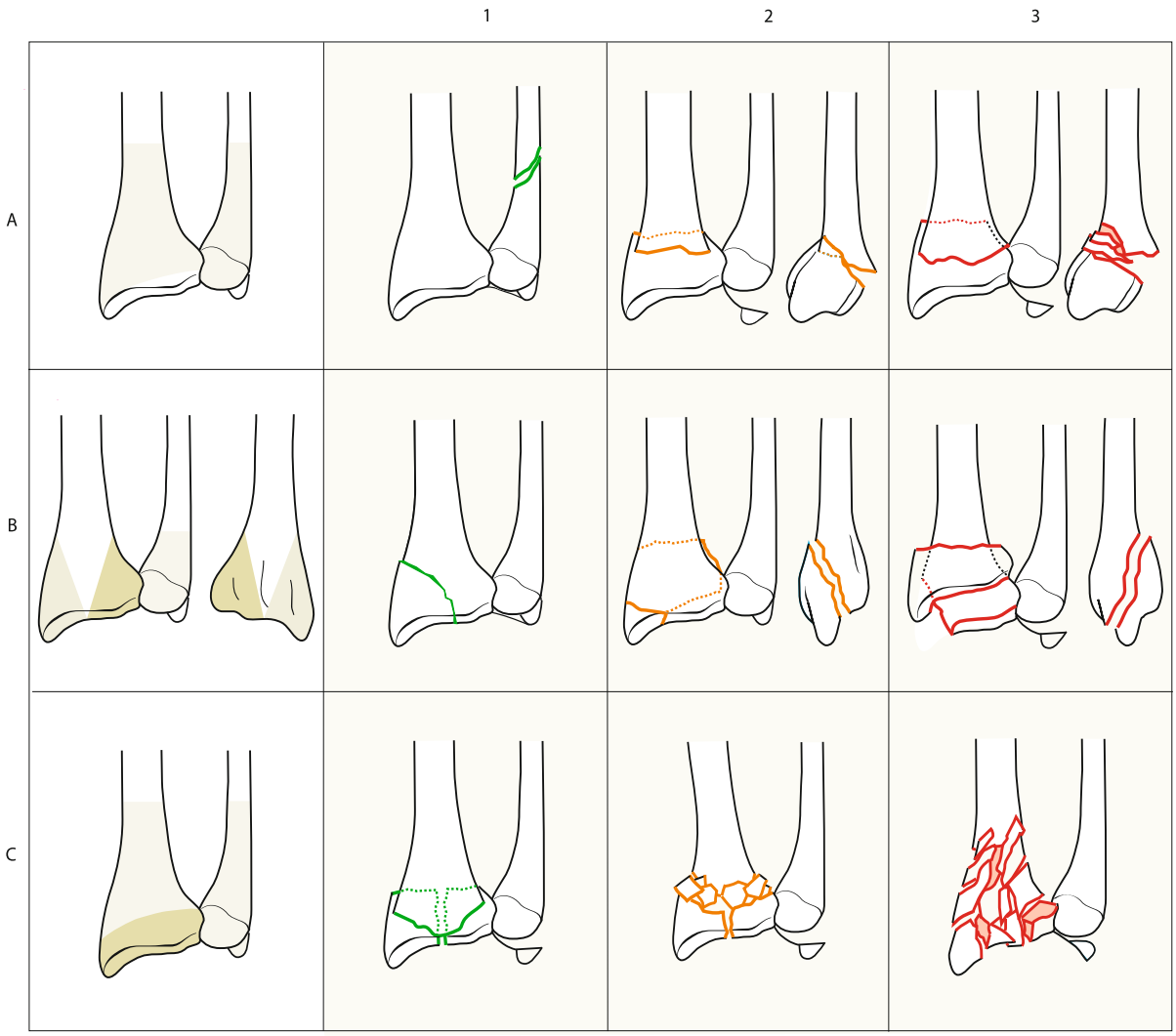


Abb. 7.1. AO-Klassifikation der distalen Unterarmfrakturen
a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3; [3])
A1: Ulnafraktur, Radius intakt (eine Operationsindikation für diese Brüche ergibt sich bei Instabilität des DRUG)
A2: Radius extraartikulär, einfach
A3: Radius extraartikulär, mehrfach
b Partiell intraartikuläre Frakturen (Untergruppen B1.1–B3.3; [3])
B1: Radius sagittal
B2: Dorsale Kantenfraktur (Barton)
B3: Palmare Kantenfraktur (»reverse Barton«)
c Vollständig artikuläre Fraktur (Untergruppen C1.1 bis C3.3; [3])
C1: Artikulär und metaphysär einfach
C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfach
C3: Artikulär und metaphysär mehrfach

Eine schematische Übersicht in Abhängigkeit vom Frakturtyp gibt (Abb. 7.2).

7.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen

Frykman

Einteilung nach Beteiligung der Radiusgelenkflächen und des Proc. styloideus ulnae.

Melone

Klassifikation nach der Dislokation von 4 Hauptfragmenten (proximaler Radius, Proc. styloideus, dorsomediales und ventromediales Fragment). Geeignet zur weiteren Klassifikation komplexer, instabiler, intraartikulärer Frakturen.

Thomas

Unterteilung der Flexionsfrakturen (Goyrand-Smith).

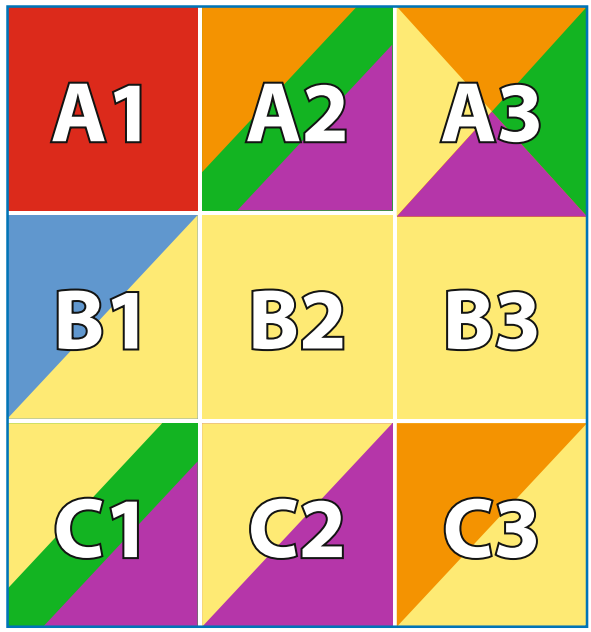


Abb. 7.2. Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Unterarms. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese*
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese

* Die Zuggurtungsosteosynthese wird von einigen Autoren bei Fraktur des Proc. Styloideus ulnae angewandt.

7.5 Therapeutisches Vorgehen

Ziele jeder Therapie sind
- die Wiederherstellung der Gelenkmechanik,
- die Rekonstruktion der Gelenkfläche und
- die suffiziente Retention des Repositionsergebnisses.

Dazu müssen Achsenfehler ausgeglichen und die Länge der Unterarmknochen angeglichen werden. Die Reposition muss dauerhaft retiniert werden. Dies ist bei zunehmenden Anforderungen im Berufsleben an manuelle Fähigkeiten sowie zum Erhalt der Selbstversorgung älterer Patienten von entscheidender Bedeutung.

Zur Beurteilung der *Operationsindikation* werden neben einer aussagefähigen Frakturklassifikation *Instabilitätskriterien* herangezogen, die sich aus den Röntgenaufnahmen ableiten lassen (▶ Übersicht). Je mehr dieser Instabilitätskriterien gesehen werden und je ausgeprägter deren Grad ist, desto größer ist die Instabilität [4–6]. Auch die zusätzliche distale Ulnafraktur führt zu mehr Instabilität.

Instabilitätskriterien
- Dorsalabkippung des distalen Fragments um >20°
- Palmarabkippung bei schrägem Frakturverlauf
- Abbruch der palmaren Gelenkkante
- Dorsale oder palmare Kantenfragmente
- Trümmerzonen (besonders dorsal, wenn >50% des dorsopalmaren Durchmessers betroffen sind)
- Ulnavorschub ≥3 mm
- Sprengung des DRUG
- Fraktur des Proc. styloideus ulnae
- Verkürzungen um >5 mm und grobe Dislokationen um >1 cm

Einen wichtigen Einfluss auf die posttraumatische Beweglichkeit hat das Längenverhältnis zwischen Radius und Ulna, also die Stellung des DRUG. Gelenkstufen von >1 mm, radiale Verkürzungen von >2 mm und dorsopalmare Verkippungen >10° stellen präarthrotische Deformitäten dar [7].

Bei Instabilität im DRUG ist nach der Reposition und Osteosynthese eine Transfixierung mit einem Kirschner-Draht für 5 Wochen vorzunehmen.

7.5.1 Konservative Therapie

Konservative Verfahren werden heutzutage nur noch selten angewendet, da zumeist eins oder mehrere der oben genannten Kriterien nachweisbar sind. Die konservative Therapie ist daher differenzierteren Versorgungen gewichen. A1- oder A2-Frakturen (Abb. 7.3), selten A3-, B1- oder C1-Frakturen sind jedoch konservativ versorgbar.

Ähnliches gilt für *kindliche Frakturen*, die auch heute noch eine Domäne der konservativen Therapie darstellen. Prinzipiell bietet sich bei Dislokation eine Reposition mit dem sog. Mädchenfänger bei rechtwinklig abduziertem Schultergelenk und rechtwinklig gebeugtem Ellbogengelenk an. Die Reposition erfolgt umgekehrt der einwirkenden Gewalt durch manuellen Druck. Der Aushang erfordert eine Gewichtsbelastung je nach Muskelapparat des Patienten zwischen 4 kg und 8 kg. Der Längszug erfolgt über den Daumen und den 2. sowie evtl. den 3. Finger. Gewichte sind im Aushang bei Kindern nicht zu empfehlen.

Bei *starker Schmerzhaftigkeit* kann eine Bruchspaltanästhesie unter streng sterilen Kautelen durchgeführt werden. Alternativ stehen die Verfahren der Anästhesie bis zur Kurznarkose zur Verfügung. Bei der Reposition sollte die jeweils kontralaterale Corticalis des distalen Fragments, bezogen auf die Dislokationsrichtung, über die proximale Corticalis gehebelt werden. Dieses Vorgehen reduziert die sekundäre Dislokationsrate.

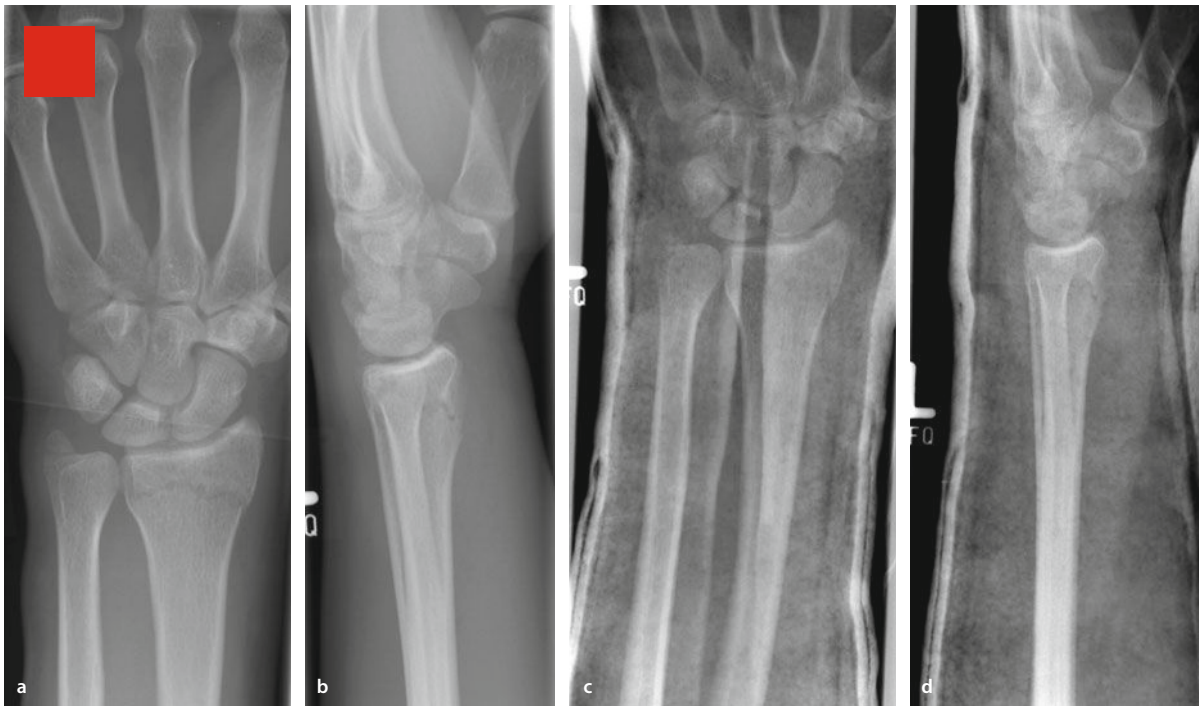


Abb. 7.3. 23 Jahre, männlich. Ball gegen die Hand beim Fußballspielen. Dorsal kaum abgekippte metaphysäre Fraktur (A2). Geschlossene Reposition. dorsoradiale Gipsschiene; konservative Behandlung

Eine konservative Weiterbehandlung bietet sich nur an, wenn nach dem Nachlassen des Längszugs die Reposition erhalten bleibt.

Die weitere Behandlung erfolgt durch sorgsam anmodellierte dorsoradiale *Gipsschienen*. Hier sollten nur die Knochenvorsprünge dünn gepolstert werden. Alternativ kann ein gespaltener Unterarmgips in Funktionsstellung angelegt werden. Streng ist darauf zu achten, dass dieser in Höhe der distalen Beugefalte der Handfläche endet, um eine freie Beweglichkeit der Grundglieder der Finger zu ermöglichen. Die Gipsanlage ist in Supination zu empfehlen, da die Unterarmknochen dann parallel stehen. Faustschluss und Opposition sollten nach Gipsanlage nicht eingeschränkt sein.

Sekundärdislokationen sind insbesondere bei schlechter Knochenqualität möglich.

7.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese

Als einfachste operative Verfahren stehen die Kirschner-Drahtosteosynthese, extrafokal nach *Willenegger* (Abb. 7.4), oder intrafokal nach *Kapandji* (Abb. 7.5, 7.6) zur Verfügung [8–9]. Die letzgenannte Technik schafft eine dorsale Barriere, die das Abrutschen des distalen Hauptfragments verhindern soll. In der von uns angewendeten modifizierten Kapandji-Technik werden die Drähte palmar-proximal durch die Gegencorticalis gebohrt, um eine bessere Verankerung und Stabilität zu erreichen. Beide Verfahren lassen sich gut kombinieren.

Beide Verfahren können im Aushang im sog. Mädchenfänger oder auch im Operationssaal durchgeführt werden. Für den Operationssaal ist generell eine Lagerung auf dem Armtisch zu empfehlen. Ein zusammengerolltes Tuch kann im Bereich des Handgelenks als Hypomochlion zur besseren Reponierbarkeit eingesetzt werden.

Bei den Kirschner-Drähten nach Willenegger ist darauf zu achten, dass diese über den Proc. styloideus radii in beiden Ebenen, d. h. unter Durchleuchtung in der a.-p.- und in der seitlichen Ebene jeweils gering divergieren. Dies verspricht eine bessere Stabilität und eine geringere sekundäre Dislokationsrate.

Auf jeden Fall ist ein Kreuzen in Höhe des Frakturspalts zu vermeiden, da dann eine Rotationsinstabilität gegeben ist.

In Fällen deutlicher *Verkürzung* ist die Reposition oft erschwert, insbesondere dann, wenn das Trauma nicht mehr ganz frisch ist. In solchen Fällen hat es sich

23

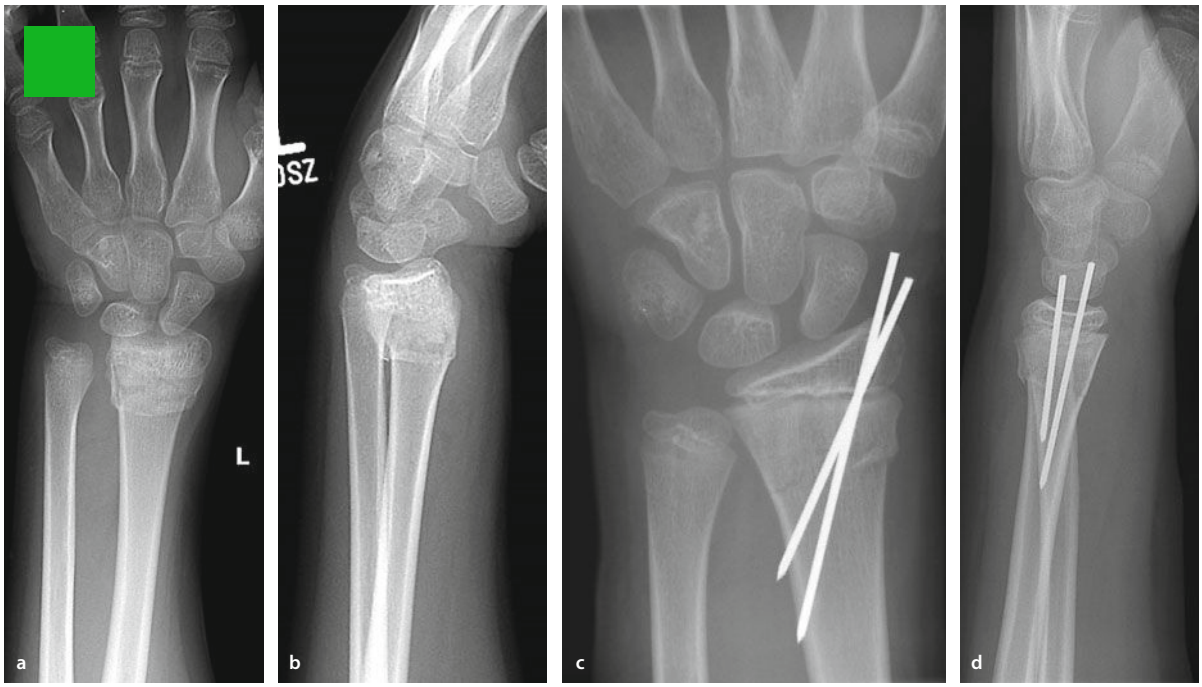


Abb. 7.4. 11 Jahre, männlich. Sturz auf den linken Unterarm. Dorsal abgekippte metaphysäre Fraktur (A2). Geschlossene Reposition. Kirschner-Drahtosteosynthese in der Technik nach Willenegger über den Proc. styloideus radii. Die Drähte müssen die kontralaterale Corticalis perforieren. Bei jugendlichem Alter und mäßiger Instabilität sind 2 Drähte ausreichend

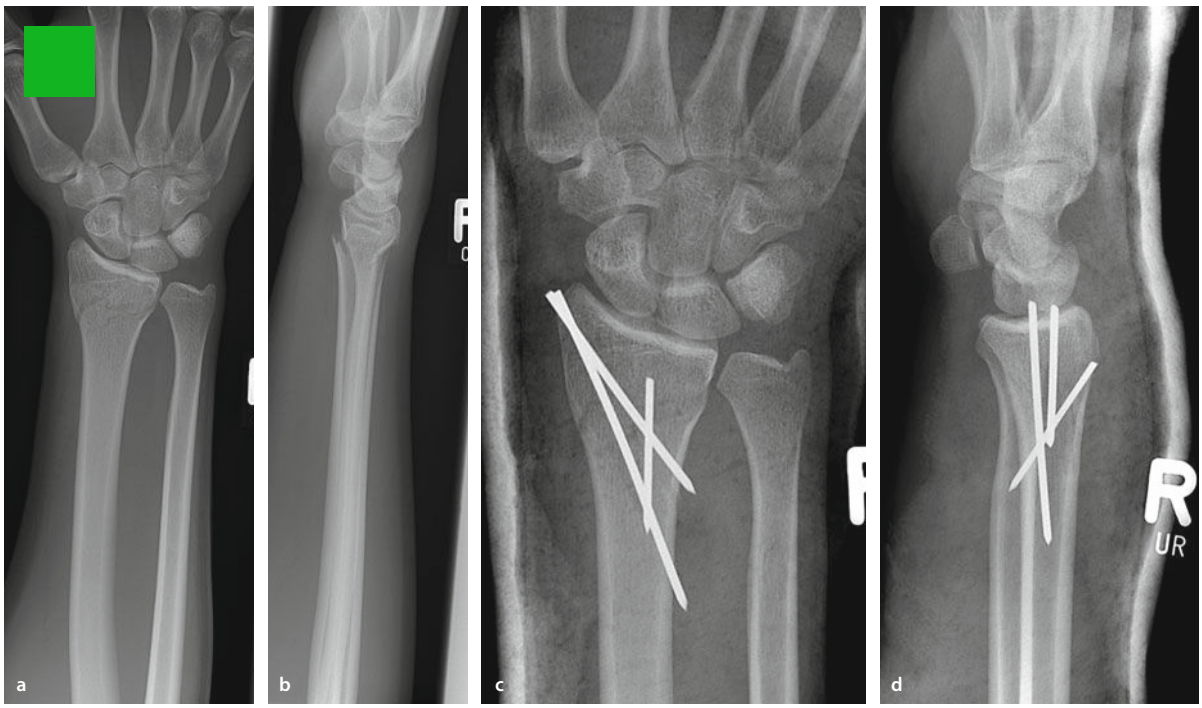


Abb. 7.5. 26 Jahre, männlich. Ball gegen die hyperextendierte Hand. Metaphysäre Fraktur (A2). Geschlossene Reposition. Kirschner-Drahtosteosynthese in der Technik nach Willenegger über den Proc. styloideus radii sowie modifiziert nach Kapandji zur dorsalen Abstützung. Der Kapandji-Draht perforiert die Gegencorticalis und ist am distalen Ende des Schaftfragments einzubohren

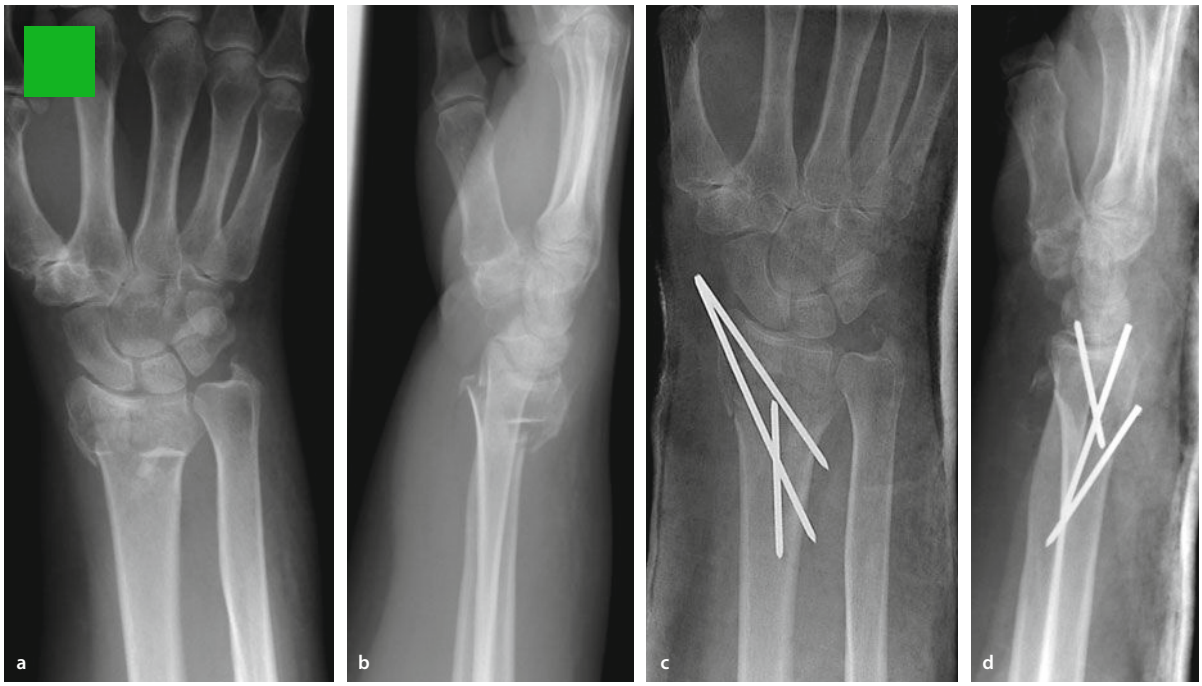


Abb. 7.6. 57 Jahre, weiblich. Sturz bei Glatteis auf die dorsal extendierte Hand. Metaphysäre Fraktur mit dorsoulnarem Kantenfragment (C1). Geschlossene Reposition. Kirschner-Drahtosteosynthese, dorsoradiale Gipsschiene. Osteosynthese nicht optimal. Styloidale Drähte in der seitlichen Ebene aufgrund der Kreuzung in Frakturnähe mit reduzierter Rotationsstabilität; Kapandji-Draht stützt nicht das dorsoulnare Kantenfragment ab (**c**)

bewährt, über einen stärkeren Kirschner-Draht (2 mm) in der Kapandji-Technik von dorsal in den Bruchspalt proximal einer möglichen Trümmerzone einzugehen. Über diesen kann dann das distale nach dorsal dislozierte Fragment einschließlich der Trümmerzone reponiert werden.

Generell empfehlen wir zur Osteosynthese Drähte der Stärke 1,8 mm; Abweichungen in Abhängigkeit von der Situation sind jedoch möglich.

Bei den *Extensionsfrakturen* empfehlen wir in aller Regel einen zusätzlichen Draht in der Kapandji-Technik. Die Nachbehandlung erfolgt im Gips wie oben beschrieben.

Bei jeder Kirschner-Drahtosteosynthese ist die Perforation der Gegencorticalis unbedingt sicherzustellen, da nur dann eine ausreichende Stabilität erreicht wird (Abb. 7.7).

Prinzipiell ist das Einbringen der Kirschner-Drähte über längsgestellte Stichinzisionen zu empfehlen, um eine Verletzung, z. B. des R. superficialis N. radialis im Bereich des Proc. styloideus radii, zu vermeiden.

Bei deutlich dislozierten Frakturen kann nach Reposition und Kirschner-Drahtosteosynthese ein *metaphysärer Knochendefekt* verbleiben. Dieser erhöht das Risiko für eine sekundäre Dislokation deutlich. Daher können in solchen Fällen perkutan Biomaterialien zur Verbesserung der Abstützung des distalen Fragments eingebracht werden (z. B. injizierbarer Kalziumphosphatzement) [10, 11].

Schraubenosteosynthese

Bei den partiellen Gelenkfrakturen bzw. den kompletten Gelenkfrakturen (B- und C-Frakturen nach AO) treten die Kirschner-Drähte in den Hintergrund. Allein angewendet ist ihre Stabilität oft nicht ausreichend, sodass sie in Kombination mit anderen Verfahren eingebracht werden. Eine Ausnahme stellt die B1-Fraktur dar, die nicht disloziert ist. Hier kann ggf. mit Kirschner-Drähten oder aber – besser – mit einer interfragmentären Zugschraube versorgt werden (Abb. 7.8).

7.5.3 Plattenosteosynthese

Wichtig

Die palmaren oder dorsalen Kantenabbrüche (B3- oder B2-Frakturen nach AO) sind eine Domäne der Plattenosteosynthese, in Sonderfällen sind auch andere Versorgungen möglich (Abb. 7.8).

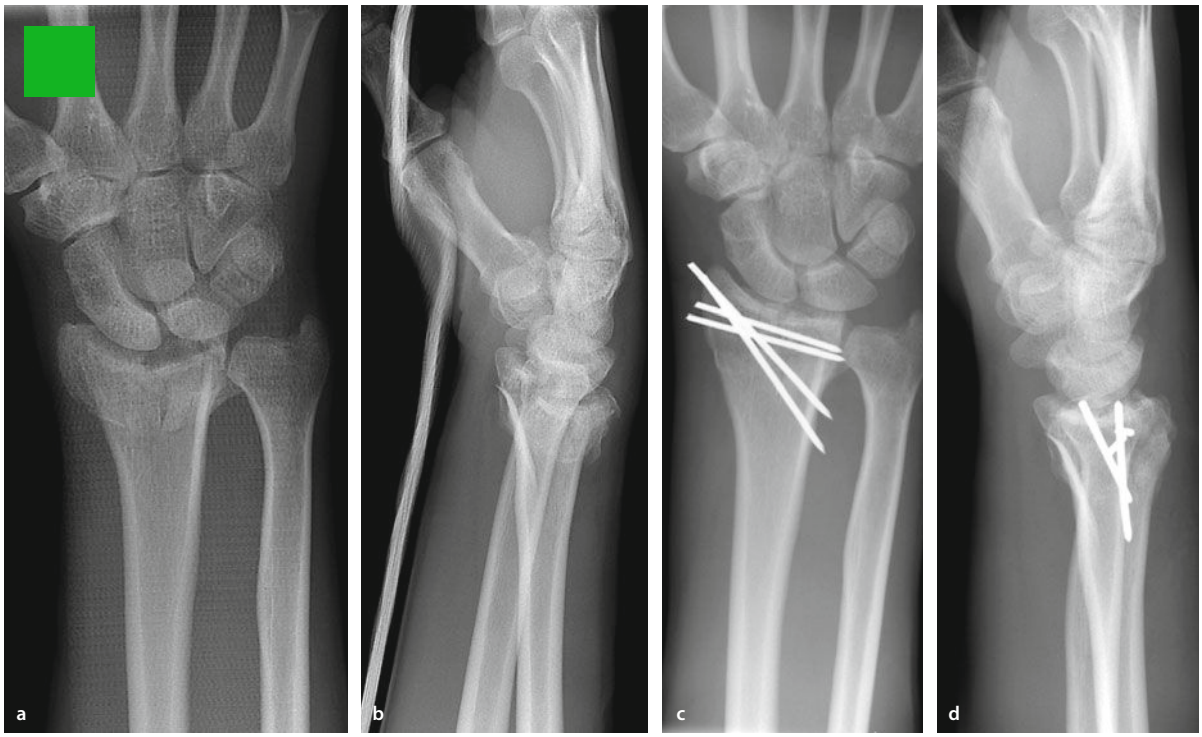


Abb. 7.7. 27 Jahre, männlich. Sturz beim Mountainbikefahren. Artikulär und metaphysär einfache Fraktur (C1). Geschlossene Reposition. Kirschner-Drahtosteosynthese, 2 quer verlaufende Drähte zur sicheren Fixierung des dorsoulnaren Kantenfragments. Radiale Drähte nicht optimal platziert, da Kreuzung nahe des Bruchspalts (**d**)

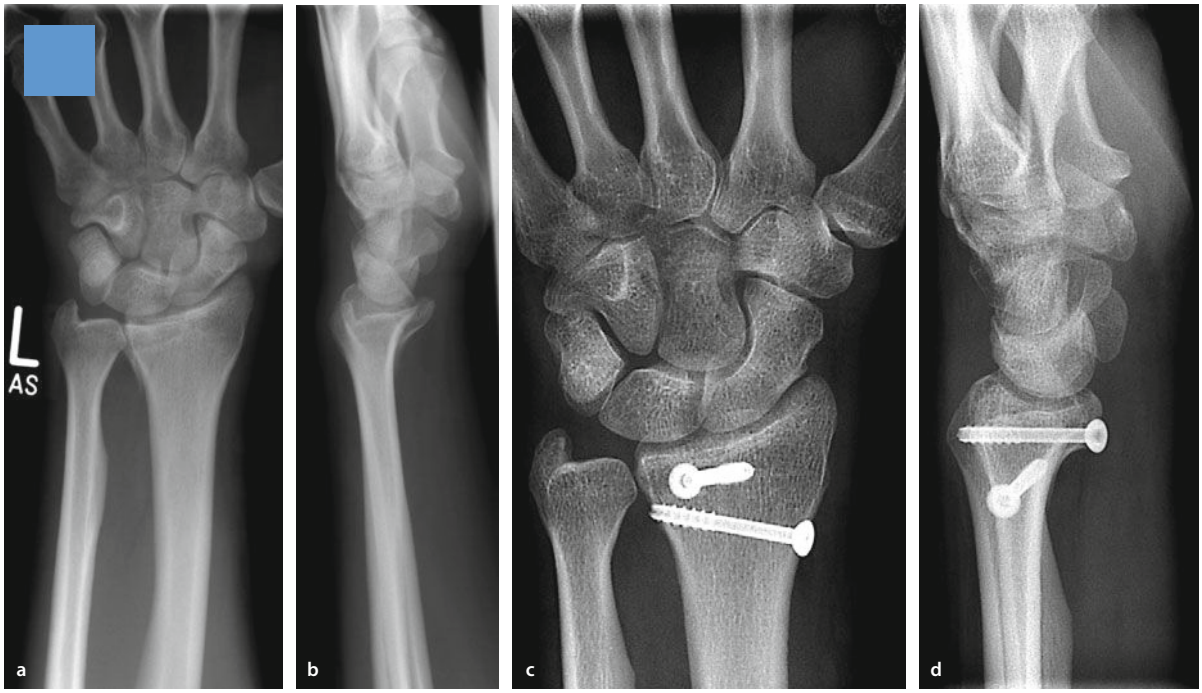


Abb. 7.8. 39 Jahre, männlich. Sturz beim Mountainbikefahren. Radiopalmares bis nach ulnar verlaufendes Kantenfragment (B3). Offene Reposition. Aufgrund der besonderen Lokalisation Zugschrauben- statt Plattenosteosynthese mit kanülierten 4-mm-Zugschrauben

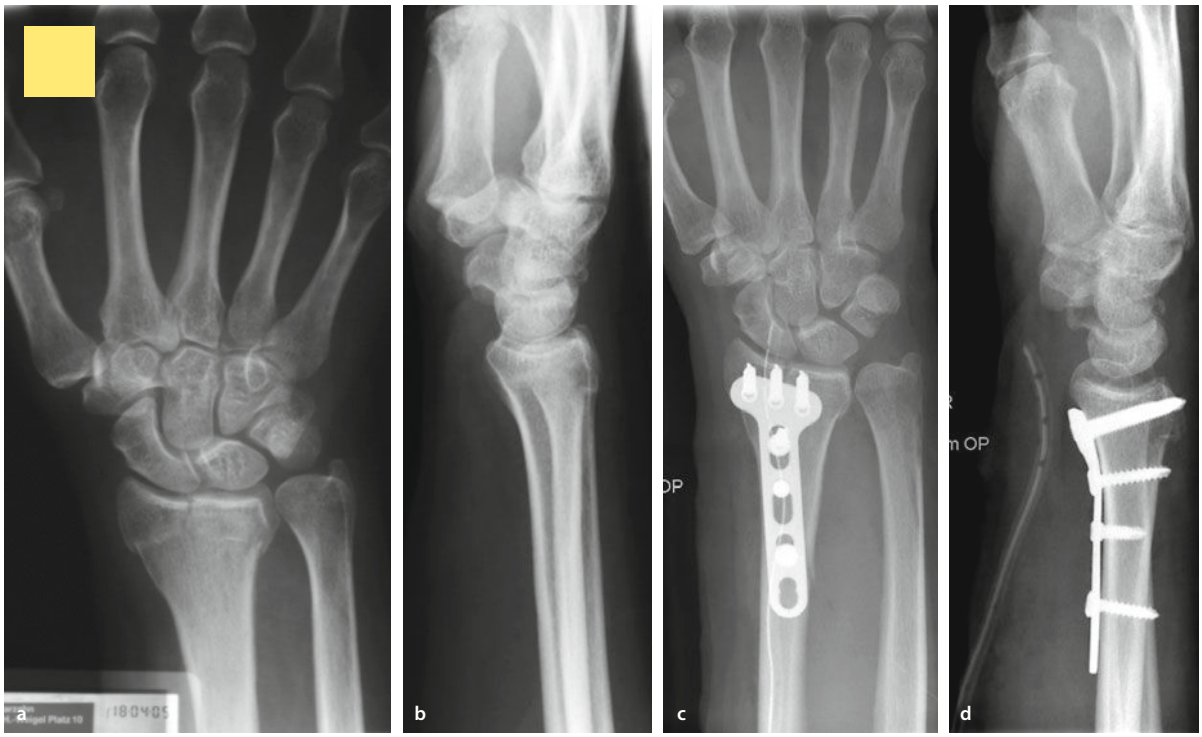


Abb. 7.9. 60 Jahre, weiblich. Sturz auf den rechten Unterarm. Artikuläre und metaphysäre Fraktur (C1). Offene Reposition. Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese, 3,5 mm mit schrägem Bügel

Zur Plattenosteosynthese bieten sich z. B. 2,4- oder 3,5-mm-T-Plättchen mit schrägen Bügeln an, die exakt anmodelliert werden oder bereits eine vorgeformte anatomische Form besitzen. Im Fall der genannten Kantenabbrüche sind die Plattenosteosynthesen als obligat anzusehen, da diese Frakturen instabil sind und in fast allen Fällen dislozieren.

Heute wird meist die *palmare Plattenlage* bevorzugt (Abb. 7.9). Winkelstabile Platten, die dem Funktionsprinzip des Fixateur interne entsprechen (»Plattenfixateur«), ermöglichen ohne wesentliche Kompromittierung der periostalen Durchblutung bei geringem Knochenkontakt auch die Versorgung komplexer Extensionsfrakturen über einen einfacheren palmaren Zugang. Bei Flexionsfrakturen wirken sie als Abstützplatten.

Der Abstand der Platte sollte vom Knochen nicht zu groß sein, da es sonst zu einer Einengung der Gleiträume von Sehnen und anderen Strukturen (N. medianus, postoperatives KTS) kommen kann. Eine Metallentfernung ist nicht regelhaft erforderlich.

Wir empfehlen bei stark dislozierten Extensionsfrakturen oder bei Brüchen mit dislozierten *dorsoulnarem Kantenfragment* jedoch die dorsale Plattenlage, da die Platte zugleich abstützend wirkt und der dorsale Zugang einen leichten Einblick in das Gelenk ermöglicht [12]. Insbesondere *schmale dorsale Kantenfragmente* eignen sich zur Versorgung mit einer *dorsalen π-Platte* (Abb. 7.10). Die bisher notwendige Abtragung des Tuberculum listeri kann bei dieser Platte oder der dorsalen Doppelplattenosteosynthese entfallen.

Zusätzliche Drähte oder Zugschrauben können bei komplexen Frakturverläufen erforderlich werden (Abb. 7.11, 7.12).

Auch C3-Frakturen sind mit Plattenosteosynthesen gut zu versorgen (Abb. 7.13, 7.14).

Standardzugänge sind längsgestellte oder auch angedeutet S-förmige Zugänge, die sich dorsal in einer gedachten Linie zwischen der 2. Zwischenfingerfalte und dem Epicondylus radialis humeri erstrecken bzw. palmar radial längsgestellt in Höhe der Sehne des M. flexor carpi radialis verlaufen. Palmar ist bei der Präparation auf die Schonung der A. radialis sowie des N. medianus zu achten. Bei Kompression des N. medianus kann über diesen Zugang mit geringfügiger Erweiterung nach hohlhandwärts eine Spaltung des Retinaculum flexorum erfolgen. Der Nerv ist damit komplett druckentlastet. Besteht keine Irritation des N. medianus, sollte die Handgelenkbeugefalte nicht gekreuzt werden.

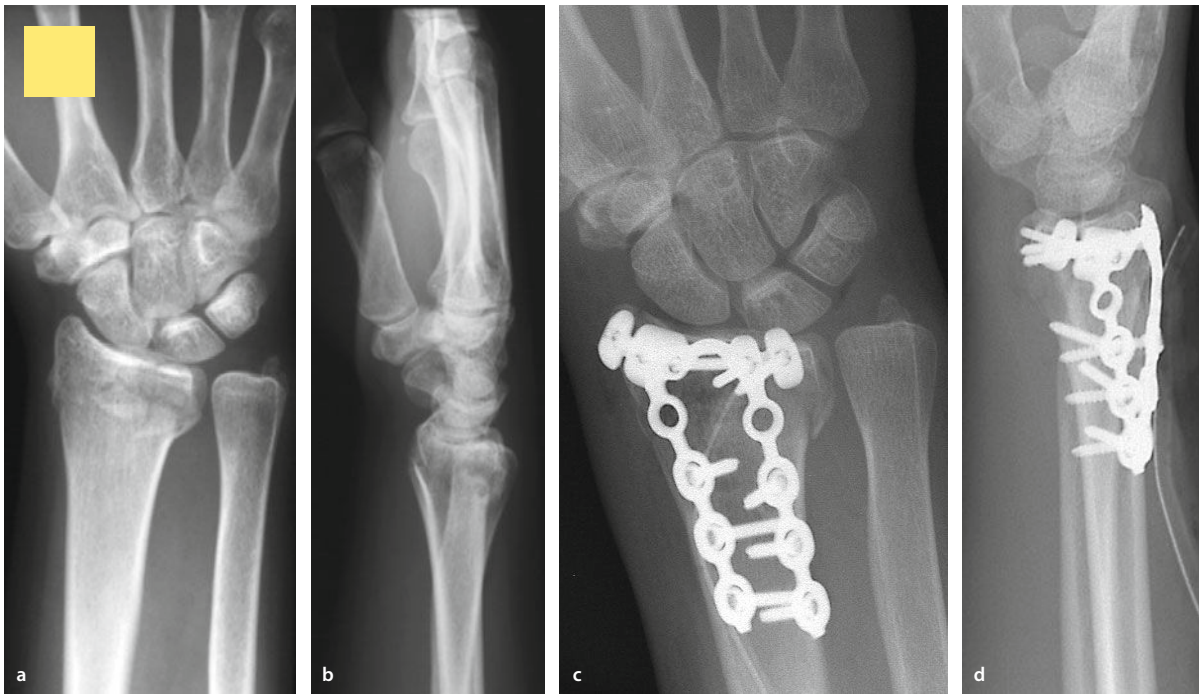


Abb. 7.10. 27 Jahre, weiblich. Sturz beim Snowboardfahren. Intraartikuläre metaphysäre Fraktur mit dorsoulnarem Kantenfragment (C1), dorsale Plattenosteosynthese mit π-Platte

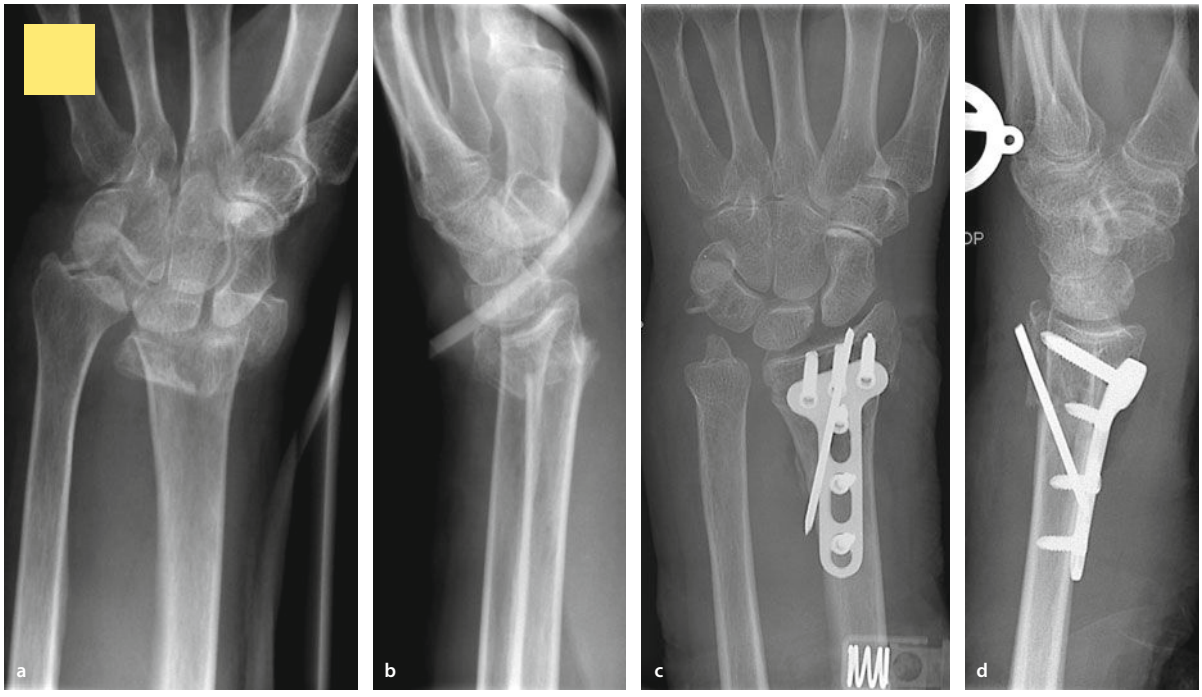


Abb. 7.11. 40 Jahre, weiblich. Sturz beim Spaziergang. Artikulär einfache und metaphysär komplexe Fraktur (C2). Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese, 3,5 mm mit schrägem Bügel; zusätzlicher Kapandji-Draht zur dorsalen Abstützung der Trümmerzone. Der Kapandji-Draht ist proximal der dorsalen Trümmerzone direkt am Schaftfragment einzubohren

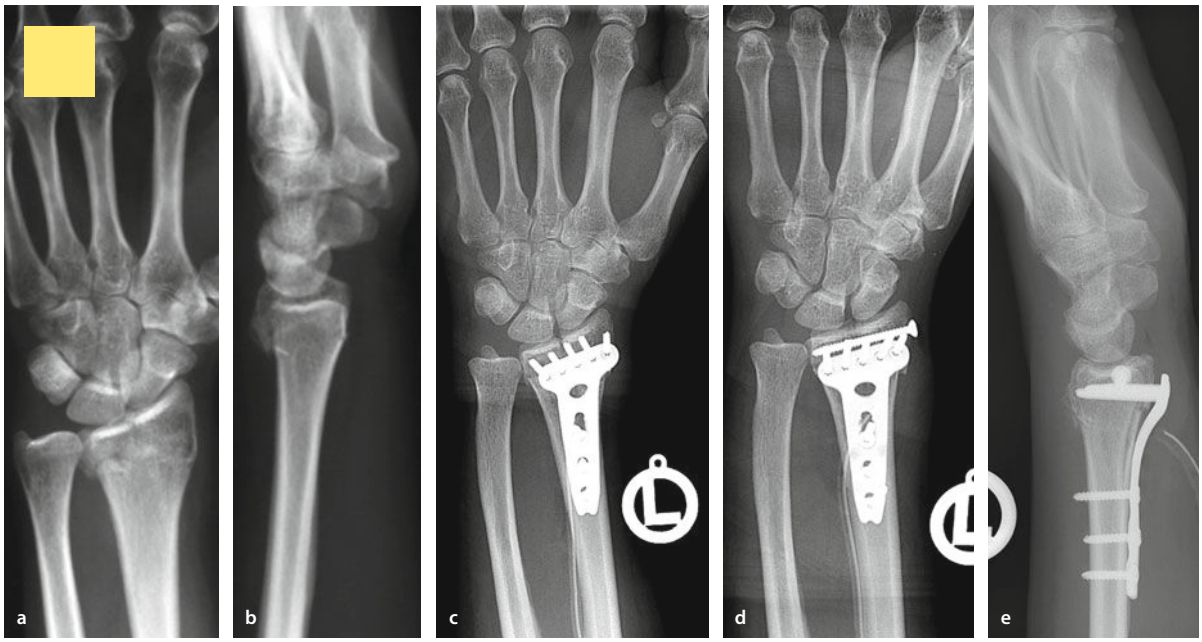


Abb. 7.12. 61 Jahre, weiblich. Sturz auf den Unterarm. Artikulär einfache und metaphysär komplexe Fraktur (C2). Palmare winkelstabile anatomisch vorgeformte Plattenosteosynthese, 2,4 mm. Im intraoperativen Röntgenbefund unzureichende Kompression des intraartikulären Spalts (**c**), daher zusätzlich Zugschraube von radial zur Kompression und Neubesetzung der Schrauben im radialen schrägen Bügel der Platte

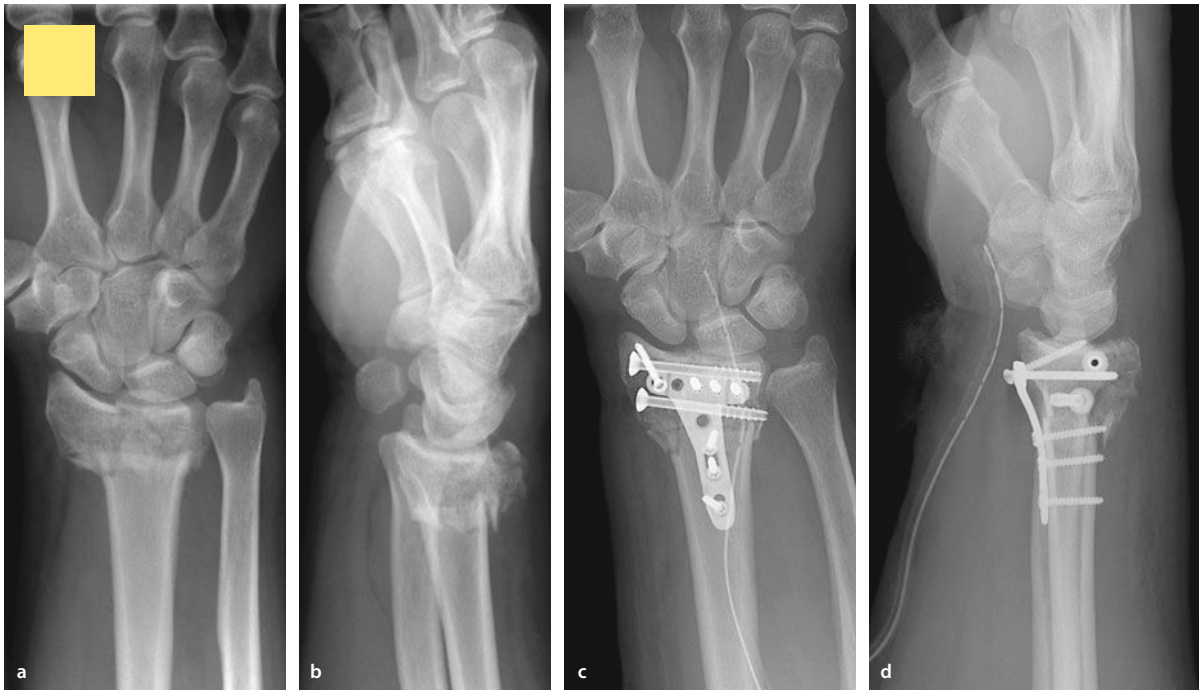


Abb. 7.13. 56 Jahre, männlich. Treppensturz. Metaphysäre und artikuläre Mehrfachfraktur (C3). Palmare winkelstabile anatomisch vorgeformte Plattenosteosynthese, 2,4 mm; 2 Zugschrauben (4 mm, kanüliert) zur Kompression der intraartikulären Frakturlinien. Palmarkippung der Gelenkfläche in der seitlichen Ebene (**d**) nicht optimal eingestellt

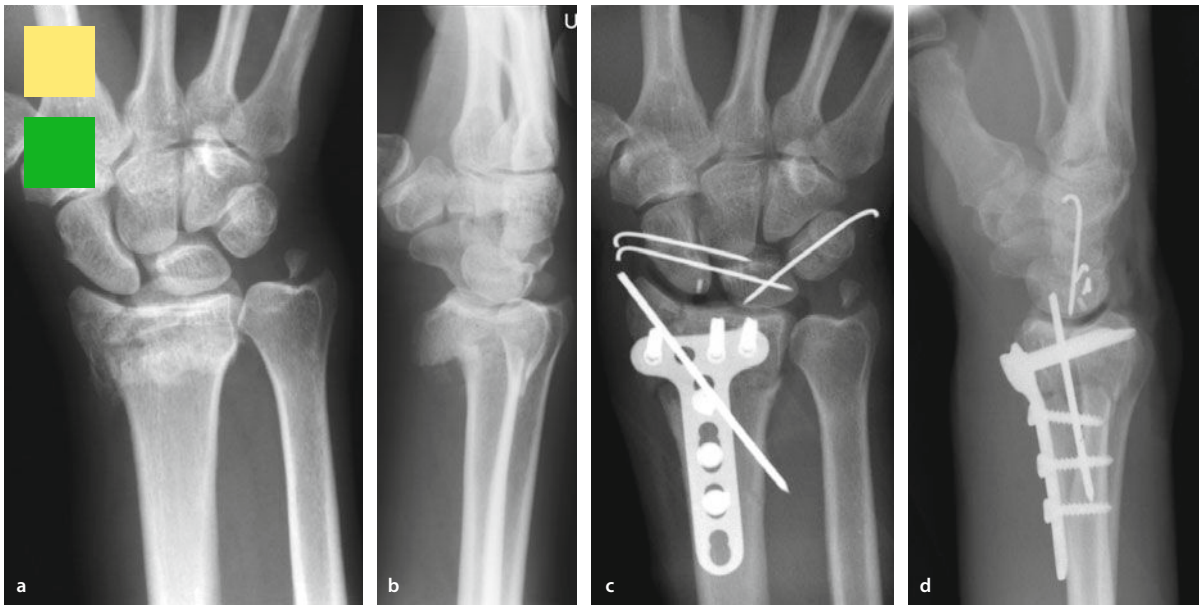


Abb. 7.14. 49 Jahre, männlich. Sturz auf die rechte Hand. Dorsoulnares, nach Reposition gut stehendes Kantenfragment, Impression der radiokarpalen Gelenkfläche, Abriss des radialen Griffelfortsatzes, SL-Bandläsion (C3). Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese, 3,5 mm, Kirschner-Draht zur Retention des Griffelfortsatzes, Rekonstruktion des SL-Bands, temporäre perkutane Kirschner-Drahtarthrodese der Handwurzel für 6 Wochen

Die *Reposition* erfolgt entweder direkt über eine sukzessive Reposition der Fragmente und temporäre Kirschner-Drahtfixierung oder eine indirekte Reposition über die am distalen Radiusfragment angelegte Platte und die anschließende Plattenverschraubung am proximalen Fragment. Die Schraubenlage sollte direkt subchondral sein, da dies bei mehr Stabilität meist eine frühfunktionelle Nachbehandlung auch bei Osteoporose zulässt.

Dorsal ist insbesondere auf die Sehne des M. extensor pollicis longus zu achten, der auch durch Frakturfragmente oder später nach Versorgung mittels Plattenosteosynthese – im Übrigen auch bei palmaren Platten – z. B. durch überstehende Schrauben verletzt werden kann.

Die Sehne ist während der Operation aus ihrer Sehnenscheide zu lösen und wird nach der Osteosynthese nach subkutan verlagert. Dann kann das dorsoulnare Schlüsselfragment dargestellt werden. Die Reposition wird, falls erforderlich, über temporäre Kirschner-Drähte gehalten. Das radial abgesetzte Retinaculum extensorum wird mittig gespalten und mit einer Hälfte über die Platte unter die Sehnen genäht, die zweite Hälfte wird ihrem anatomischen Verlauf entsprechend radial vernäht. So sind mechanische Komplikationen, die durch die dorsale Plattenlage bedingt sein können, minimiert, und zugleich ist die Anatomie der Strecksehnenfächer rekonstruiert. Kleinere Platten minimieren dieses Risiko (Abb. 7.15).

Eine Metallentfernung ist bei Strecksehnenirritationen zu empfehlen.

Auch bei Gipsanlage ist auf eine *frühfunktionelle Übung* insbesondere des Daumenendglieds zu achten, um Verklebungen zu vermeiden.

7.5.4 Augmentation von Knochendefekten

Insbesondere bei den Extensionsfrakturen entsteht häufig nach Reposition von C-Frakturen ein metaphysärer Knochendefekt. Dieser führt gelegentlich zu mangelhafter Durchbauung und zur Entwicklung von Pseudarthrosen, verschlechtert aber auch die Abstützung des gelenktragenden Fragments.

Bei manchen C3-Frakturen liegen zentral imprimierte Fragmente vor, die über eine Ligamentotaxis nicht reponierbar sind. Auch hier ist die *Plattenosteosynthese* kombiniert mit einer Augmentation durch *Biomaterialien* oder Spongiosa mit guten Ergebnissen das Verfahren der Wahl [10–15]. Als bioaktive Implantate eigenen sich z. B. Hydroxylapatit oder besser aufgrund der partiellen Umbaubarkeit in körpereigenen Knochen β-Trikalziumphosphat.

Typische Indikationen für die Plattenosteosynthese sind neben den B2- und B3-Frakturen C1- bis C3-Frakturen [15]. Die von bestimmten Autoren empfohlene

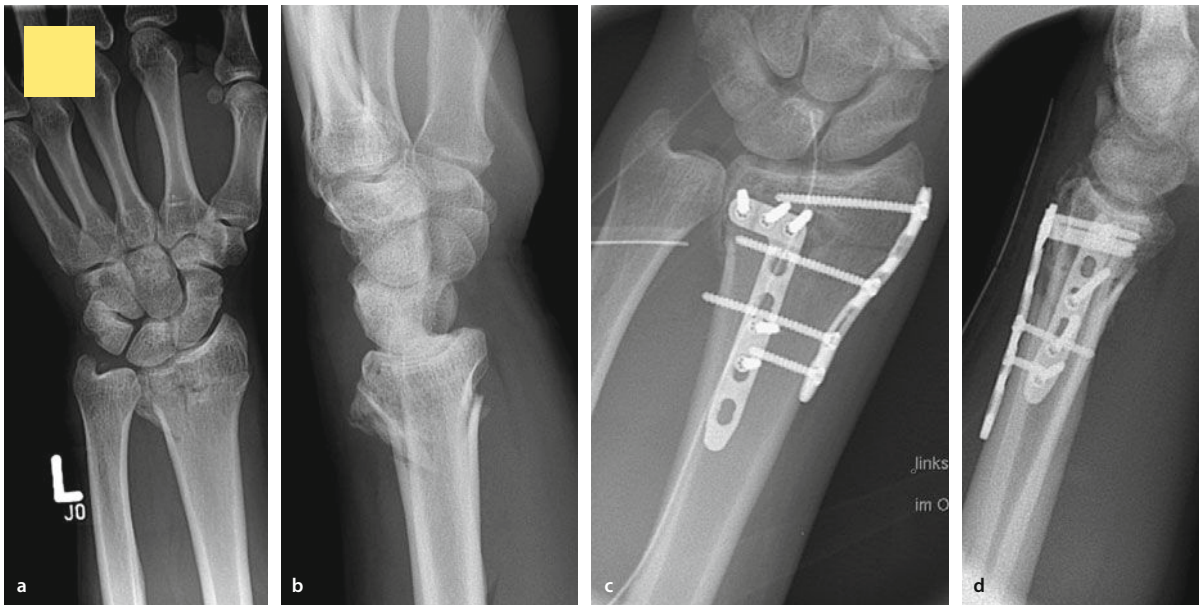


Abb. 7.15. 42 Jahre, männlich. Sturz beim Fußballspielen. Intraartikuläre Extensionsfraktur mit dorsoulnarem Schlüsselfragment (C3). Dorsale winkelstabile Plattenosteosynthese (2,4 mm), Retention des Proc.-styloideus-radii-Fragments mittels separater S-förmig gebogener Platte

Interposition eines kortikospongiösen Spans bei metaphysärer Stauchungszone im Rahmen einer instabilen Fraktur [16] ist unserer Ansicht nach weitestgehend verzichtbar, da eine Augmentation unter Verwendung der erwähnten Biomaterialien meist ausreichend und zudem kostengünstiger ist und die Morbidität am Entnahmeort beträchtlich ist [17, 18].

7.5.5 Fixateur externe

Dieses Verfahren wurde 1929 von Ombredanne beschrieben und in den folgenden Jahren mehrfach modifiziert [19]. Die Reposition erfolgt prinzipiell über Ligamentotaxis. Es werden die dorsalen und palmaren Bandstrukturen zum Lastentransfer von metacarpal nach radial genutzt.

Wichtig

Bei offenen Frakturen und bei Frakturen mit erheblichem Weichteilschaden ist der Fixateur das Verfahren der Wahl, da die Weichteilproblematik im Vordergrund steht. Es kann ohne Blutsperre operiert werden.

C3-Frakturen, aber auch Frakturen mit ausgedehnten Weichteilschäden werden primär mit dem Fixateur externe als Implantat der Wahl versorgt. Er kann *temporär* implantiert werden bis zur Konsolidierung der Weichteilverhältnisse. Dann kann ggf. ein Verfahrenswechsel durchgeführt werden (Abb. 7.16).

Die Fixateur-Montage findet über 4 Schanz-Schrauben statt, die von dorsal gesehen um etwa 40° nach radial gekippt werden. Des Weiteren wird empfohlen, insbesondere bei osteoporotischem Knochen, die jeweils distalen bzw. proximalen Schraubenpaare etwa um 45° konvergieren zu lassen, da dann die Verankerung mechanisch besser ist. Nach Stichinzisionen werden zwei 3–4 mm Schrauben im Os metacarpale 2 und 2 weitere im proximalen Fragment des Radius eingebracht.

Ergänzend können bei der Versorgung mit dem Fixateur externe perkutane Kirschner-Drähte angewendet werden, insbesondere dann, wenn dadurch eine *endgültige Versorgung* erreicht wird. Auf diese Weise können Fragmente, die noch keine gute Reposition zeigen, gestellt und fixiert werden. Die Anlage erfolgt in der Regel in Neutralstellung des Handgelenks, nur in Sonderfällen kann zum Halten der Reposition eine Palmarflexion und/oder Ulnaradduktion erforderlich sein (sog. Schede-Stellung). Bei solcher Stellung ist nach spätestens 2 Wochen in die Neutralstellung zu wechseln.

Wichtig

Der Fixateur externe sollte auch bei Ausbehandlung nach 4 Wochen entfernt werden.

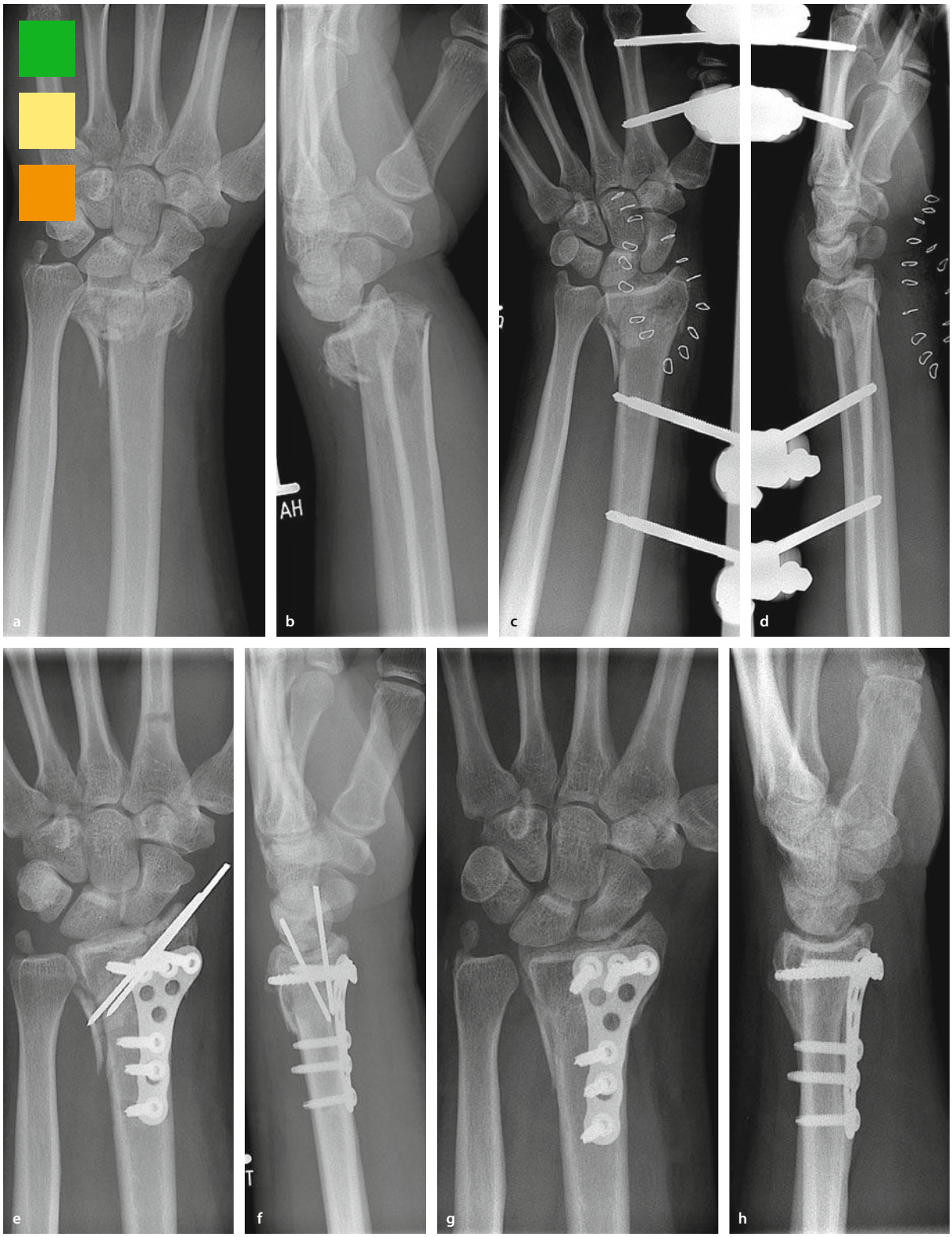


Abb. 7.16. 27 Jahre, männlich. Polytrauma nach Motorradunfall. Offene distale Radiusfraktur (C2) u. a. Initial Fixateur externe (**a–d**), radiopalmarer Weichteildefekt initial mit Vacuseal behandelt. Nach Konsolidierung der Weichteile kombinierte palmare winkelstabile Platten- und Kirschner-Drahtosteosynthese (**e–h**), Röntgenkontrolle 9 Monate postoperativ nach Entfernung der Kirschner-Drähte mit verbliebener geringer Dorsalabkippung (**g, h**). Funktionell kein Defizit im Vergleich mit der Gegenseite

7.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung wird je nach Knochenzustand, Osteosyntheseverfahren und Stabilität durch den Operateur festgelegt. Prinzipiell ist eine *frühfunktionelle Behandlung* nach Weichteilkonsolidierung anzustreben.

Jede Radiusfraktur, konservativ oder operativ behandelt, sollte engmaschig *röntgenkontrolliert* werden. Obligat sind direkt postoperative Kontrollen in streng senkrecht zueinander stehenden Ebenen (a.-p. und seitlich).

Hierbei empfehlen wir zur postoperativen Kontrolle im Operationssaal insbesondere bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung eine Anhebung des Handgelenks auf der Unterlage um etwa 10° in der a.-p.-Ebene und um ca. 25°–30° in der seitlichen Ebene, um mit dem Bildwandler einen Eindruck von der Rekonstruktion der Gelenkfläche zu erhalten. In dieser Technik wird der Gelenkspalt freiprojiziert.

So können noch verbliebene Stufen, aber auch eine intraartikuläre Implantatlage meist ausgeschlossen werden. Im Fall einer Unsicherheit ist auch postoperativ ein CT zu empfehlen.

Die weitere Röntgendiagnostik, insbesondere bei konservativ oder mit Bohrdrähten behandelten Radiusfrakturen, empfiehlt sich nach der *4711-Regel*. Es sollten also Bilder am 4., 7. und 11. postoperativen Tag angefordert werden.

Eine *Gipsbehandlung* ist in vielen Fällen zusätzlich zur Osteosynthese zu empfehlen. Diese richtet sich insbesondere nach der Art der Versorgung und dem Zustand des Knochens. Bei starker Osteoporose ist auch bei einer sicheren Plattenosteosynthese eine dorsoradiale Gipsschiene oder ein gespaltener Unterarmgips für 4–6 Wochen notwendig. In Sonderfällen kann eine konservativ behandelte Colles-Fraktur in der sog. *Schede-Stellung* (Palmarflexion) für maximal 14 Tage belassen werden. Dies soll einer sekundären Dislokation der Extensionsfraktur entgegenwirken.

Die distalen Radiusfrakturen treten insbesondere in höherem Alter auf, sodass eine adäquate *Osteoporosediagnostik* und *-prophylaxe* zum Therapiekonzept gehören.

7.7 Sonderformen

Besondere Prinzipien der Behandlung finden sich bei Kindern, bei älteren Menschen sowie bei pathologischen Frakturen und beim Polytrauma.

Kinder. Bei Kindern finden sich die Epiphysenfrakturen (Einteilung nach Aitken oder Salter), außerdem Stauchungs- oder Wulstfrakturen sowie Biegungs- oder Grünholzbrüche. Diese Frakturen stellen auch heute noch eine Domäne der konservativen Therapie dar, da aufgrund des hohen Wachstumsanteils der distalen Unterarmepiphysenfugen Seit-zu-Seit-Verschiebungen und Achsenknicke in der Frontal- und Sagittalebene weitgehend ausgeglichen werden. Von Laer gibt in der Seit-zu-Seit-Ebene Ausgleichsmöglichkeiten bis zur vollen Schaftbreite an [20]. Aufgrund der dadurch eingeschränkten Beweglichkeit sollten aber Dislokationen von >1/4 Schaftbreite reponiert werden. Abkippungen in der Frontal- oder Sagittalebene von bis zu etwa 40° werden bis zu einem Alter von 10–12 Jahren spontan korrigiert [20]. Bei stärkeren Dislokationen oder deutlichen Verkürzungen empfiehlt sich in Kurznarkose die Reposition und in der Regel die Stabilisierung mittels Kirschner-Drähten. In Sonderfällen können auch Plattenosteosynthesen bei noch offenen Epiphysenfugen erforderlich werden. Die Zugänge sind wie oben beschrieben zu wählen; es ist jedoch streng darauf zu achten, dass der Epiphysenspalt mit eingebrachten Schrauben nicht tangiert wird.

Ältere Personen. Die Fraktur des alten Menschen betrifft überwiegend das weibliche Geschlecht, ursächlich ist hier die postklimakterische Osteoporose. Die Therapieprinzipien richten sich hier im Besonderen nach dem biologischen Alter, dem Allgemeinzustand sowie der Knochenqualität. Insbesondere bei osteoporotischem Knochen ist eine Augmentierung mit entsprechenden Biomaterialien sinnvoll, um die Abstützung und auch die Verankerung der Osteosynthesematerialien zu verbessern [15]. Alternativ bieten sich winkelstabile Implantate an. Die pathologischen Frakturen werden nach den Richtlinien der onkologischen Chirurgie behandelt.

Polytrauma. Hier gelten die oben beschriebenen Therapieprinzipien, eine primäre Versorgung ist jedoch in aller Regel mit dem Fixateur externe aufgrund des minimalinvasiven Charakters der Methode und der Schnelligkeit zu empfehlen. Gipsbehandlungen sind prinzipiell möglich, bergen aber Risiken, wie z. B. Drucknekrosen, da der polytraumatisierte, intubierte Patient Druckbeschwerden dem untersuchenden Arzt nicht berichten kann. Eine endgültige Versorgung kann nach den oben beschriebenen Prinzipien im Verlauf nach Stabilisierung des Patienten erfolgen (Abb. 7.16).

Aufgrund der bekannten Probleme der Implantatverankerung wird nach Verbesserungen der Retention durch verändertes Implantatdesign gesucht. In letzter Zeit kommt daher der *distale Radiusnagel* zum Einsatz (Abb. 7.17). Er stellt ein Hybrid zwischen Marknagel und Platte dar und ermöglicht die winkelstabile Operation. Für A2- und A3- sowie C1- und C2-Frakturen scheint der Nagel gut geeignet zu sein. Der Zugang ist weich-

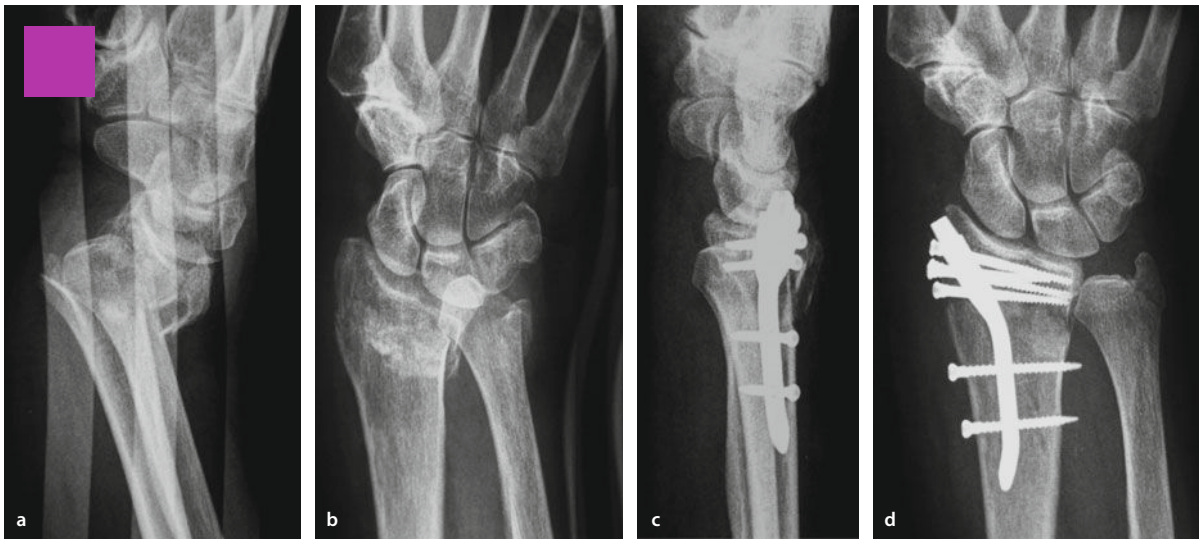


Abb. 7.17. Osteoporotische A3-Fraktur. Distaler Radiusnagel bei guter Reposition der Fragmente. (Bilder: G. Gradl, Universität Rostock)

teilschonender als bei der Plattenosteosynthese, und die Frakturfragmente sollen sich während der Implantation weitgehend selbst reponieren. Die Gefahr sekundärer Repositionsverluste soll aufgrund des Designs verringert sein. Aufgrund der Winkelstabilität ist eine zusätzliche Gipsbehandlung meist nicht erforderlich. Nicht geeignet für dieses Implantat sind C3-Frakturen sowie Brüche mit einem dislozierten dorsoulnaren Kantenfragment. Langzeitstudien zu den Ergebnissen fehlen jedoch noch, sodass eine endgültige Bewertung noch nicht möglich ist.

7.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Bei richtiger Behandlung mit exakter Rekonstruktion der Gelenkwinkel bzw. der stufenfreien Rekonstruktion der Gelenkfläche ist die Prognose der Radiusfraktur ausgesprochen gut.

Als Verfahren der Wahl bei den Plattenosteosynthesen wird derzeit von vielen Autoren die winkelstabile palmare Platte angesehen. Die Ergebnisse sind überwiegend gut. So wurden nach dem Score von Gartland und Werley bei überwiegend versorgten C-Frakturen nach der AO-Klassifikation nach mehr als 10 Monaten zwischen 85 und 90% sehr gute und gute Ergebnisse erreicht [21–23]. Sekundäre dorsale Dislokationen betrugen im Durchschnitt 3°, die sekundäre Verkürzung betrug durchschnittlich 1–1,5 mm, Gelenkstufen waren bei 10% der operierten Fälle zu beobachten [10, 21].

Die von einigen Autoren bei dorsaler Plattenanlage angegebene langfristige Irritation der Strecksehnen [21] bereitet, wie oben beschrieben operiert, unserer Erfahrung nach keine Probleme.

Ähnlich gute Ergebnisse bei geringeren Kosten [10, 14] wurden durch Kombination von palmarer bzw. dorsaler Abstützplatte (nicht winkelstabil) bei Flexions- und Extensionsfrakturen in Kombination mit einer Biomaterialaugmentation, insbesondere beim osteoporotischen Knochen, erreicht. Das Biomaterial ermöglicht dabei eine bessere Abstützung der Gelenkfragmente und verbessert die Implantatverankerung. Bei 46 im Mittel nach 15 Monaten untersuchten Patienten zeigten sich 83% sehr gute und gute Ergebnisse nach dem Score von Gartland und Werley bei einem Anteil von 93% C-Frakturen nach AO [10]. Die Kraftentfaltung liegt bei den angegebenen Untersuchungen im Bereich von 74–88% der Gegenseite. Das Bewegungsausmaß in den Ebenen Dorsalextension/Palmarflexion, Radial-/Ulnarabduktion und Pro-/Supination lag bei 77–91% der Gegenseite [10, 21–23]. Die Verfahren palmare winkelstabile Plattenosteosynthese und palmare bzw. dorsale Abstützplatte in Kombination mit einer Biomaterialaugmentation werden daher als gleichwertig eingestuft.

Bei einem direkten Vergleich von palmarer und dorsaler Plattenosteosynthese einer Klinik waren die Komplikationen bei der dorsalen Versorgung sogar geringer, außerdem waren die Ruhigstellungszeit und die Durchleuchtungszeit bei der dorsalen Osteosynthese kürzer [24]. Einige Autoren schlagen zur weiteren Verbesserung der Ergebnisse arthroskopisch gestützte Operationen vor [25].

Probleme können bei Begleitverletzungen der Gefäße, Sehnen oder Nerven auftreten. Diese werden nach

den für diese Fälle beschriebenen Therapieprinzipien möglichst primär behandelt. Belassene Fehlstellungen im DRUG oder der radialen Gelenkfläche führen zu chronischen Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Arthrosen oder Instabilitäten.

Zu beachten ist das posttraumatische Karpaltunnelsyndrom durch verbliebene Frakturdislokation oder durch auftretende Hämatome oder Ödeme. Dies äußert sich v. a. in der sog. Brachialgia paraesthetica nocturna, die vom chronischen Karpaltunnelsyndrom abzugrenzen ist. Hier ist die Anamnese häufig wegbereitend.

Differenzialdiagnostisch kommt auch ein Kompartmentsyndrom in Frage, das je nach Lokalisation insbesondere bei breitflächig auftretenden Krafteinwirkungen im Rahmen der Verletzung möglich ist. Hier ist ggf. je nach Lokalisation eine Spaltung sämtlicher Kompartimente der Hand oder des Unterarms zu erwägen. Sehr oft wird an der beschriebenen Lokalisation auch das CRPS (»chronic regional pain syndrome«) beobachtet (früher: »Reflexdystrophie«, »M. Sudeck«).

Die Inzidenz eines CRPS kann deutlich reduziert werden, wenn initial bereits eine endgültige Versorgung erreicht wird und das Auftreten mehrfacher Manipulationen oder sekundärer Dislokationen verhindert wird.

Häufig beobachtet werden auch begleitende Scaphoidfrakturen, die im Übrigen oft übersehen werden, oder aber scapholunäre Dissoziationen.

7.9 Begutachtung

Wie oben erwähnt ist die Prognose in aller Regel gut, sodass bei exakter Reposition eine gute Funktion ohne verbleibende Dauerschäden erreicht wird. Bei unkritischer Versorgung werden in 25–30% jedoch schlechte Ergebnisse erzielt [26], und es können Fehlstellungen im Handgelenk beobachtet werden, die bei geringer Funktionsbeeinträchtigung einen Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 10 in der gesetzlichen Unfallversicherung rechtfertigen können. Treten posttraumatische Arthrosen hinzu, ist je nach Funktionsbehinderung und Schweregrad sowie begleitender Fehlstellung ein GdB/MdE von 20–30 möglich. Einschränkungen der Unterarmdrehfähigkeit sind dabei höher zu bewerten. Versteifungen rechtfertigen je nach Fehlstellungen einen GdB/MdE von 30–40.

In der privaten Unfallversicherung ist je nach Funktionseinschränkung und Arthrosegrad mit einer Invalidität von 1/10–3/10 Handwert zu rechnen [27], bei erheblichen Fehlstellungen und Bewegungseinschränkungen oder Versteifungen 2/7–3/7 Armwert.

Literatur

1. T. Uzdil, K.H. Winker, Distale Radiusfrakturen. Orthop Unfallchir up2date 2: 1–20 (2007)
2. H.-J. Oestern, E. Hüls, Die differenzierte Behandlung distaler Radiusfrakturen. Zentralbl Chir 119: 521–532 (1994)
3. M.E. Müller, M. Allgöwer, R. Schneider, H. Willenegger, Manual der Osteosynthese, 3. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg New York 1992
4. J. Poigenfürst, A. Tuchmann, Bedeutung der ulnaren Bandverletzung beim Speichenbruch an typischer Stelle, Handchirurgie 10: 121–125 (1978)
5. J.L. Knirk, J.B. Jupiter, Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults, J Bone Joint Surg 68-A: 647–659 (1986)
6. J.B. Jupiter, Complex articular fractures of the distal radius: classification and management. J Am Acad Orthop Surg 5: 119–129 (1997)
7. M. Mentzel, H. Hoss, T. Ebinger, L Kinl, N.J. Wachter, Problematik der in Fehlstellung ausgeheilten distalen Radiusfraktur. Unfallchirurg 104: 210–214 (2001)
8. A. Kapandji, L'ostéosynthèse par double embrochade intra-focal. Ann Chir 30: 903–908 (1976)
9. H. Willenegger, A. Gugenbuhl, Zur operativen Behandlung bestimmter Fälle von distalen Radiusfrakturen. Helv Chir Acta 26: 81–94 (1959)
10. C. Müller-Mai, Defektfüllung mit Spongiosa oder Biomaterial bei der distalen Radiusfraktur, Vortrag, 3. Westdeutsches AO-Seminar, Die distale Radiusfraktur und Osteoporose, 27.3.2004, Solingen
11. C. Cassidy, J.B. Jupiter, M. Cohen, M. Delli-Santi, C. Fennell, C. Leinberry, J. Husband, A. Ladd, W.R. Seitz, B. Constanz, Norian SRS cement compared with conventional fixation in distal radial fractures – A randomized Study, J Bone Joint Surg 85–A: 2127–2137 (2003)
12. C. Voigt, R. Rahmanzadeh, Verletzungen des Handgelenks einschließlich der Handwurzel, Unfallchirurg 100: 56–68 (1997)
13. W. Linhart, D. Briem, N.D. Schmitz, M. Priemel, W. Lehmann, J.M. Rueger, Therapie des metaphysären Substanzdefektes nach distaler Radiusfraktur – mittelfristige Ergebnisse mit einem Kalziumphosphatzement (Biobon®) Unfallchirurg 106: 618–624 (2003)
14. A. Schupp, C. Tuttlies, T. Möhlig, H.R. Siebert, Der distale Speichenbruch – winkelstabile Osteosynthese mit 2,4 mm Formplatten. Ist der Aufwand gerechtfertigt? Chirurg 74: 1009–1017 (2003)
15. C. Müller-Mai, Bioaktive Granulate in der Unfallchirurgie – Experimentelle Grundlagen und klinische Anwendung, VNM Science, München, 2003
16. R. Zimmermann, M. Gabl, S. Pechlaner, R. Sailer, A. Kathrein, M. Wambacher, Distale, metaphysäre Kompressionsfrakturen des Radius – Ergebnisse nach offener Reposition, stabiler Defektauffüllung mit einem kortikospongiösen Beckenspan und Plattenosteosynthese. Unfallchirurg 101: 762–768 (1998)
17. T.A. St. John, A.R. Vaccaro, A.P. Sah, M. Schaefer, S.C. Berta, T. Albert, A. Hilibrand, Physical and monetery costs associated with autogenous bone graft harvesting. Am J Orthopedics 32: 18–23, 2003
18. J.C. Banwart, M.A. Asher, R.S. Hassanein, Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation. Spine 20: 1055–1060 (1995)
19. L. Ombredanne, L'ostheosynthese temporaire chez les enfants. Presse Med 52: 845–848 (1929)
20. L. von Laer, Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 4. Auflage, Thieme, Stuttgart, 2001
21. C. Dumont, M. Fuchs, E.K. Folwaczny, C. Heuermann, K.M. Stürmer, Ergebnisse der palmaren Plattenosteosynthese bei instabilen distalen Radiusfrakturen. Chirurg 74: 827–833 (2003)

22. K.-H. Thielke, T. Wagner, S. Bartsch, V. Echtermeyer, Winkelstabile, volare Plattenosteosynthese komplexer artikulärer Frakturen am distalen Radius – Lösung einer Porblemfraktur? Chirurg 74: 1057–1063 (2003)
23. M. Sakhaii, U. Groenewold, A. Klonz, H. Reilmann, Ergebnisse nach palmarer Plattenosteosynthese mit der winkelstabilen T-Platte bei 100 distalen Radiusfrakturen – eine prospektive Studie. Unfallchirurg 106: 272–280 (2003)
24. R.P. Zettl, S. Ruchholtz, G. Taeger, U. Obertacke, D. Nast-Kolb, Postoperative Morbidität der operativ behandelten distalen Radiusextensionsfraktur – eine Vergleichsstudie zwischen dorsaler und volarer Plattenlage. Unfallchirurg 104: 710–715 (2001)
25. K. Doi, Y. Hattori, K. Otsuka, Y. Abe, H. Yamamoto, Intra-articular fractures of the distal aspect of the radius: arthroscopicaly assisted reduction compared with open reduction and internal fixation. J Bone Joint Surg 81-A: 1093–1110 (1999)
26. O. Kwasny, G.R. Basiani, R. Schabas, H. Hetz, Ergebnisse und Analyse von Misserfolgen der konservativen Therapie der distalen Radiusfrakatur. Handchir Mikrochir Plast Chir 23: 240–244 (1991)
27. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane, 4. Aufl, Thieme, Stuttgart, 2004

8 Proximaler Oberschenkel

C. Müller-Mai, E. Mielke

Definition

Am proximalen Femur finden sich die hüftgelenknahen Frakturen der per- bis subtrochantären Region, des Schenkelhalses sowie die acetabulumnahen Brüche des Hüftkopfs. Per- und subtrochantäre Frakturen treten meist isoliert in hohem Alter auf, können aber auch bei Jüngeren bei Hochrasanztraumata vorkommen und mit einer Fraktur des dorsalen Pfannenpfeilers oder einer Luxation kombiniert sein.

Zu Region 31 nach der AO-Klassifikation zählen nur pertrochantäre Brüche, Schenkelhalsfrakturen und Brüche des Hüftkopfes. Die Region 31 stellt daher eine Ausnahme dar, da subtrochantäre Brüche generell der Region 32 Femurschaft zugeordnet werden. Für andere Lokalisationen gilt, daß die Brüche der Region zugeordnet werden, in der das Frakturzentrum liegt. Das proximale bzw. distale Segment ist dabei definiert als ein Quadrat, dessen Kantenlänge der größten Breite der Epiphyse entspricht (▶ Kap. 1). Das Frakturzentrum liegt bei einfachen Brüchen in der Mitte der Frakturlinie. Bei einer Keilfraktur wird es durch die breitete Stelle des Keils festgelegt. Aus historischen, anatomischen und praktischen Gründen (Unfallmechanismen, Differentialdiagnose, Versorgungsprinzipien etc.) weden die subtrochantären Frakturen in der Region 31 mitbesprochen.

Jeweils bis zu 45% der Knochenbrüche der genannten Region betreffen den Schenkelhalsbereich oder den pertrochantären Bereich. Bis zu 10% der Operationen an Traumazentren betreffen das coxale Femurende [1], und etwa 100.000 Brüche werden pro Jahr in Deutschland behandelt [2]. Die Inzidenz liegt bei 90 pro 100.000 Einwohner, bei den >65-Jährigen bei 600–900 pro 100.000 Einwohner. Das daraus berechnete Lebenszeitrisiko beträgt für Frauen und Männer 11–23% bzw. 5–11%.

Die perioperative Mortalität liegt bei ca. 7% und die Sterberate im 1. Jahr nach der Fraktur bei ca. 20%. Die dadurch verursachten Kosten liegen allein in Deutschland bei etwa 2,5 Mrd. Euro im Jahr [3]. Es handelt sich um die dritthäufigste Frakturlokalisation beim Erwachsenen.

8.1 Mechanismus

Bei den per- und subtrochantären Frakturen ist der typische Mechanismus der *Sturz auf die Hüfte*, wobei hier meist der Oberkörper gedreht wird, sodass Rotationskräfte am Trochantermassiv auftreten (*Niedrigenergietrauma*). Nur etwa 50% aller Patienten weisen zu diesem Zeitpunkt nach dem Singh-Index [4] noch eine gute Knochenstruktur auf, was auf die Wichtigkeit einer weiterführenden Diagnostik und Einleitung einer antiosteoporotischen Therapie hinweist.

Die *Schenkelhalsfrakturen* treten bei direktem Sturz auf die betroffene Hüfte auf. Bei jüngeren Patienten ist in aller Regel größere Gewalt mit Scherbelastung erforderlich, wie z. B. der Sturz aus größerer Höhe, aber auch ein Knieanprall am Armaturenbrett z. B. im Rahmen eines

Verkehrsunfalls (sog. »dashboard injury«). Auch Sportunfälle können zu solchen Frakturen führen.

Bei den *Hüftkopffrakturen* wird in aller Regel ein Knieanprall im Rahmen eines Hochrasanztraumas beobachtet. Ein typisches Beispiel ist der Anprall am Armaturenbrett, der durch Fortleitung der Kraft zu dieser Verletzung führt (*»dashboard injury«*). Dabei ist die Hüfte durch die sitzende Position flektiert, und es kommt typischerweise zu Abscherfrakturen im Femurkopfbereich, meist kombiniert mit einer dorsalen Luxation oder mit einer hinteren Pfeilerfraktur des Acetabulums. Die Kopffragmente betreffen den ventrocaudalen Anteil, wobei der abgescherte Kopfanteil meist in der Pfanne verbleibt.

8.2 Klinik

Wichtig

Der jeweils typische Mechanismus mit Sturz auf die Hüfte bei den Schenkelhals- und pertrochantären Brüchen mit charakteristischen Fehlstellungen sowie der Dashboard-Mechanismus bei Hüftkopffrakturen weisen den Weg.

Die Behandlung beginnt mit einer adäquaten Schmerztherapie und einer geeigneten Lagerung, z. B. in einer Schaumstoffschiene.

Die *pertrochantären Brüche* betreffen das hohe Alter, meist >70 Jahre bei Frauen und >80 Jahre bei Männern. Wegweisend sind hier die typische *Außenrotationsfehlstellung* und die *Verkürzung* des Beins, was eine Blickdiagnose erlaubt. Häufig liegt der laterale Fußrand direkt auf der Unterlage. Diese klinischen Zeichen können bei der Schenkelhalsfraktur vorhanden sein, sind aber weniger stark ausgeprägt oder fehlen bei der stabilen Abduktionsfraktur ganz.

Bei den *Schenkelhalsfrakturen* sind typischerweise Patienten in höherem Alter, meist ≥65 Jahren betroffen, die ca. 3/4 aller Patienten ausmachen. Bei diesen Patienten ist der funktionelle Status vor dem Ereignis zu klären, da er das therapeutische Vorgehen beeinflusst. Bei jüngeren Patienten ist große Gewalt wegweisend; oft treten diese Frakturen im Rahmen eines Polytraumas oder bei Mehrfachverletzten auf. Ermüdungsbrüche sind beschrieben worden, aber ausgesprochen selten. Wegweisend kann hier eine Coxa vara und die entsprechende Anamnese einer Dauerbelastung sein.

Der Schmerz ist in der Leistengegend lokalisiert und kann durch axiale Stauchung über das Kniegelenk ausgelöst oder verstärkt werden, das Bein steht in der typischen Fehlstellung in Außenrotation und Verkürzung, was aber bei Abduktionsbrüchen vollständig fehlen kann. Die aktive Beinhebung gelingt zumeist nicht, ausgenommen sind auch hier die stabilen Abduktionsbrüche, die klinisch fast inapparent verlaufen können. Zusätzlich findet sich ein Druck- oder Klopfschmerz in der Trochanter-major-Region. Weitere lokale Symptome bestehen meist nicht, können jedoch auch in Form von Hämatomen oder Prellmarken beobachtet werden. Im Seitenvergleich zeigt sich oft ein Trochanterhochstand.

Bei den *subtrochantären Brüchen* kommt es aufgrund des Muskelzugs zu typischen Fehlstellungen. Das proximale Fragment wird durch Zug der Glutäalmuskulatur und des M. ileopsoas in Abduktion, Außenrotation und Flexion gebracht. Der Femurschaft steht in Adduktion.

In aller Regel sind Hüftkopffrakturen von einer *Luxationsfehlstellung* im betroffenen Hüftgelenk begleitet. Wenn keine knöcherne Läsion des Acetabulums nachweisbar ist, findet sich bei den Hüftkopffrakturen meistens eine Luxatio iliaca mit typischer Fehlstellung. Die Luxationsrichtung ist hier nach hinten oben, wobei sich klinisch nur eine leichte *Adduktion und Innenrotation* sowie eine Beugung und Verkürzung im Hüftgelenk finden. Diese Form macht etwa 60% aller Hüftgelenksluxationen aus. Die Knie liegen in der Regel aneinander. Diese Luxation ist in der a.-p. eingestellten Beckenübersicht oft nicht darstellbar.

Vordere Luxationen sind ausgesprochen selten, wobei hier die Außenrotationsstellung und Verkürzung den Weg weisen. Selten wird auch eine Luxatio ischiadica nach hinten unten beobachtet, bei der eine ausgesprochen starke Adduktion klinisch führend ist. Das Bein liegt auf dem kontralateralen Oberschenkel, man findet – wie bei jeder Luxation – die typische federnde Fixation. In der Beckenübersicht steht der Kopf in Höhe des Sitzbeinhöckers.

Wichtig

Alle Hüftluxationen treten insbesondere bei Polytraumatisierten und Mehrfachverletzten auf. Begleitet sind alle hier beschriebenen Veränderungen von starken Schmerzen. Nervenausfälle und Durchblutungsstörungen sind möglich. Beides ist daher unbedingt zu überprüfen.

8.3 Diagnostisches Vorgehen

Bei den pertrochantären Brüchen und den Schenkelhalsfrakturen weisen Anamnese und Fehlstellung mit Ausnahme der oben genannten Abduktionsfrakturen den Weg. Die Diagnostik umfasst die Anfertigung von *Röntgenbildern* (Beckenübersicht, axiale Aufnahme oder Lauenstein-Aufnahme der betroffenen Seite). Gelegentlich ist eine Aufnahme unter Längszug und Innenrotation des betroffenen Beins erforderlich.

Eine CT-Untersuchung ist bei radiologisch manchmal nicht zu sichernden Abduktionsfrakturen zum Nachweis erforderlich.

Auch bei Hüftkopffrakturen ist der erste Schritt die Erhebung der *Anamnese* (Unfallmechanismus, bei Polytrauma Fremdanamnese), wobei das Hochrasanztrauma bei gebeugter Hüftgelenkstellung und Knieanprall, z. B. im Rahmen eines Verkehrsunfalls, sowie die typische Fehlstellung bei Luxation wegweisend sein können. Damit kommt der Inspektion nach der Anamnese eine entscheidende Bedeutung zu. Dies gilt auch für die Schenkelhals- und noch mehr für die pertrochantären Frakturen aufgrund der oben beschriebenen charakteristischen Fehlstellung.

Zusätzlich werden stärkste Schmerzen in der betroffenen Region beobachtet, und bei den Hüftkopffrakturen treten oft neurologische Ausfälle im Bereich des N.-ischiadicus-Versorgungsgebiets aufgrund der Luxationsrichtung auf. Die Durchblutung ist peripher in jedem Fall zu kontrollieren.

Wegweisend ist die Röntgendiagnostik, wobei hier eine Beckenübersicht durchgeführt werden soll sowie die entsprechende Seite axial geröntgt werden muss. Besteht der Verdacht auf eine zusätzliche Beckenringfraktur, sind Inlet- und Outlet-Pojektionen zu ergänzen, bei Acetabulumfrakturen Ala- und Obturator-Aufnahmen.

Bei Beckenbeteiligungen ist eine CT obligat, um die Fragmentstellung sichern und die Operation planen zu können. Auch bei Hüftkopffrakturen kann das CT wegweisend sein, da Kalottenfragmente in der Beckenübersicht häufig nicht sichtbar sind. Eine weitere CT-Untersuchung empfiehlt sich nach Reposition, insbesondere dann, wenn die eigentliche Frakturebene direkt im Strahlengang liegt.

Bei der *CT* sind Schichtdicken von 1–3 m zu empfehlen, um Verlauf und Anatomie der Fragmente beurteilen zu können. Des Weiteren können Repositionshindernisse wie Pfannenfragmente dargestellt werden. Auch die *MRT*-Diagnostik spielt eine Rolle nach Hüftkopffrakturen.

Eine häufige *Komplikation* stellt die avaskuläre Kopfnekrose dar und der begleitende Knorpelschaden, z. B. durch eine osteochondrale Fraktur (»flake fracture«). Des Weiteren können Ischiadicuskontusionen abgebildet werden sowie ein Abriss des hinteren Labrums. Auch werden interponierte Weichteile und trabekuläre Mikrofrakturen (»bone bruises«) erkannt.

Für die Verlaufsbeurteilung von Hüftkopfnekrosen ist eine erneute MRT zu empfehlen.

Differenzialdiagnostisch sind reine Hüftkopfluxationen ohne knöcherne Begleitverletzungen abzugrenzen, was nur in Einzelfällen zu beobachten ist. Bei den Schenkelhalsfrakturen können stärkere Prellungen zu einem ähnlichen klinischen Bild führen. Bei Beckenringfrakturen sollte eine Acetabulumeinstrahlung durch zusätzliche Ala- und Obturatoraufnahmen ausgeschlossen werden, eine Beteiligung des hinteren Beckenrings durch die Inlet- und Outlet-Projektion. Sicherer ist im Verdachtsfall jeweils eine CT. Auch Coxarthrosen führen zu einem typischen Leistenschmerz. In aller Regel ist in den genannten Fällen die Anamnese wegweisend. Weitere Differenzialdiagnosen umfassen die Synovitis und bakterielle Entzündungen mit den typischen Infektzeichen. Bei jugendlichen Patienten kommt auch eine Epiphyseolyse in Betracht; da diese Erkrankung auch beidseitig auftritt, muss auch die Gegenseite untersucht werden.

Bei den Luxationsfrakturen ist der *neurologische Status* präoperativ zu erheben. Zu zeitlichen Verzögerungen bei der Reposition oder Versorgung darf es dadurch jedoch nicht kommen.

8.4 Klassifikationen

Die AO-Klassifikation (Abb. 8.1) unterscheidet extraartikuläre Frakturen der

- Trochanterregion (A1–A3),
- intraartikuläre Schenkelhalsfrakturen (B) und
- intraartikuläre Brüche des Kopfs (C).

Andere Einteilungen sind in Abb. 8.2–8.6 näher erläutert.

Frakturen vom Typ A (pertrochantäre Frakturen). A-Frakturen lassen sich in aller Regel auf dem Extensionstisch oder, wenn sie frisch sind, auch auf dem Normaltisch problemlos reponieren. A2-Frakturen beziehen die mediale Corticalis mit ein, A3-Frakturen betreffen die mediale und laterale Corticalis. Sie sind osteosynthetisch z. B. mit dynamischen Schrauben oder entsprechenden Nagelsystemen zu versorgen.

Frakturen vom Typ B (Schenkelhalsfrakturen). Die B-Frakturen werden in der Regel über kanülierte Schrauben, dynamische Schrauben (B1- und B2-Frakturen) oder aber auch durch den Gelenkersatz oder -teilersatz (B3-Frakturen mit kleinem Kopffragment) versorgt. Nur in Ausnahmefällen sollten B1-Frakturen konservativ behandelt werden. Dies sollte nur bei Patienten, die ein erhebliches Operationsrisiko aufweisen, in Erwägung gezogen werden. Geeignet sind nur die um >15° valgisierten und impaktierten B1.1-Brüche (Abduktionsfraktur).

Frakturen vom Typ C (Hüftkopffrakturen). Bei den C-Frakturen sind im Rahmen der Abscherfrakturen häufig offene Repositionen, meist über einen vorderen Zugang, und Titanschraubenosteosynthesen zu empfehlen. Hierbei ist

31

darauf zu achten, dass die Schraubenköpfe sicher unter das Knorpelniveau versenkt werden. Titanschrauben sind obligat, um MRT-Kontrollen zu ermöglichen, da ein hohes Risiko der Entwicklung einer Hüftkopfnekrose besteht. Da die C-Frakturen in Abhängigkeit vom Mechanismus in typischen Verletzungskombinationen auftreten, hat sich hier auch die Klassifikation nach Pipkin bewährt.

Die AO-Klassifikation [5] wird von einigen Autoren durchaus negativ beurteilt, da lediglich der Verlauf der Frakturen mit der Dislokation im a.-p.-Bild beschrieben wird. Daher werde der Aussagewert für die Prognose, wie z. B. Pseudarthrose oder Hüftkopfnekrose, gemindert. Dies beschreibt das Problem unserer Ansicht nach jedoch nur zum Teil, da der jeweilige Schweregrad, welcher Ausdruck in der A-, B- oder C-Einteilung und auch in der weiteren Untergruppierung findet, sehr wohl neben dem erhöhten Schwierigkeitsgrad bei der Operation und Versorgung auch die erhöhte Komplikationsrate im Verlauf

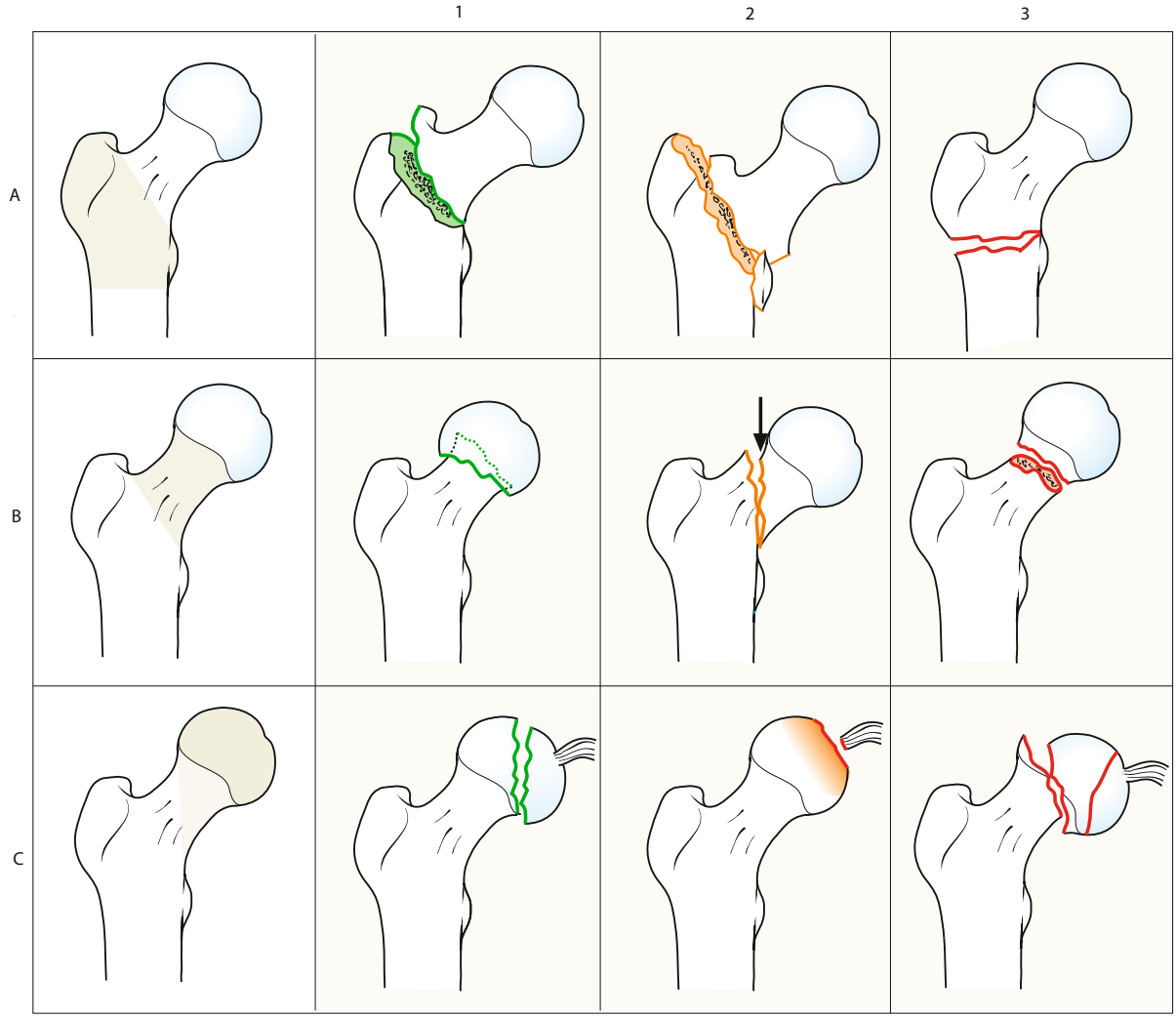


Abb. 8.1. AO-Klassifikation der proximalen Oberschenkelfrakturen
a Pertrochantäre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Pertrochantär einfach
A2: Pertrochantär mehrfragmentär
A3: Intertrochantär
b Schenkelhalsfrakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Impaktierte oder nicht impaktierte valgisierte Brüche (Abduktionsfrakturen, in impaktierter Form stabil, Pauwels I oder Garden I)
B2: Transcervicale Frakturen
B3: Subcapitale dislozierte Brüche
c Hüftkopffrakturen (je 3 Untergruppen C1.1–C3.3)
C1: Spaltbrüche (Pipkin I oder II)
C2: Impressionsbruch, auch in Kombination mit Spaltbruch C2.3
C3: Hüftkopffraktur in Kombination mit Schenkelhalsfraktur (Pipkin III)

beinhaltet. So wird insbesondere der Grad der Instabilität aufgrund fehlender medialer Abstützung bei A2-Frakturen oder die fehlende laterale Zuggurtung bei A3-Frakturen zum zugrunde liegenden Einteilungsprinzip.

8.4.1 Beispiele weiterer Klassifikationen

Einfache Einteilungen richten sich zunächst nach dem Mechanismus sowie nach der Lage des proximalen Frakturfragments. Unterschieden werden *Abduktionsbrüche*, die als stabil gelten und in einer eingestauchten Valgusfehlstellung stehen. Diese Brüche sind prinzipiell auch konservativ behandelbar, können jedoch sekundär auch nach mehreren Wochen noch dislozieren, was mit einer erhöhten Kopfnekroserate verbunden ist. Diese Frakturen sind von den *instabilen Adduktionsbrüchen* abzugrenzen, die generell operiert werden müssen.

Des Weiteren werden Einteilungen nach dem Frakturverlauf im Verhältnis zur Kapsel beschrieben. *Extraartikuläre Frakturen* besitzen in der Regel eine gute Prognose und kein Kopfnekroserisiko. Die *intraartikulären Frakturen* zeigen dagegen eine schlechtere Prognose bei erhöhtem Kopfnekroserisiko. Ursächlich ist die von distal kommende Perfusion aus den Aa. circumflexae.

Garden

Diese Einteilung (Abb. 8.2) beschreibt die Dislokation in der a.-p.-Röntgenaufnahme. Dies ermöglicht eine Beurteilung der *Stabilität* und hat prognostische Bedeutung in Bezug auf die Entwicklung einer avaskulären *Kopfnekrose*, da die zunehmende Abkippung die Durchblutung entsprechend stärker beeinträchtigt. Zusammen mit dem axialen *Alignement-Index nach Garden* (Abb. 8.3) ist sie zur Therapiebestimmung wichtig. Bei >20° Abkippung in der axialen Ebene sind weitere Dislokationen häufig. Bei Garden-I-Frakturen liegt die Nekroserate bei 10%, bei Garden-IV-Brüchen wird sie mit 50% angegeben [6]. Frakturen vom Typ I–III sind in aller Regel gut reponibel, Typ-IV-Brüche sind problematisch.

Pauwels

Bei der Einteilung nach Pauwels (Abb. 8.4) wird der Verlauf der Frakturlinie im Vergleich zur Horizontalen beschrieben. Die Einteilung gibt damit die *Stabilität* des Frakturverlaufs wieder. Eine prognostische Aussage wurde in Bezug auf das Pseudarthroserisiko postuliert. Logistische Regressionsanalysen konnten jedoch nachweisen, dass keinerlei Assoziation zwischen der Steilheit der Bruchlinie und dem Auftreten von Pseudarthrosen besteht [8].

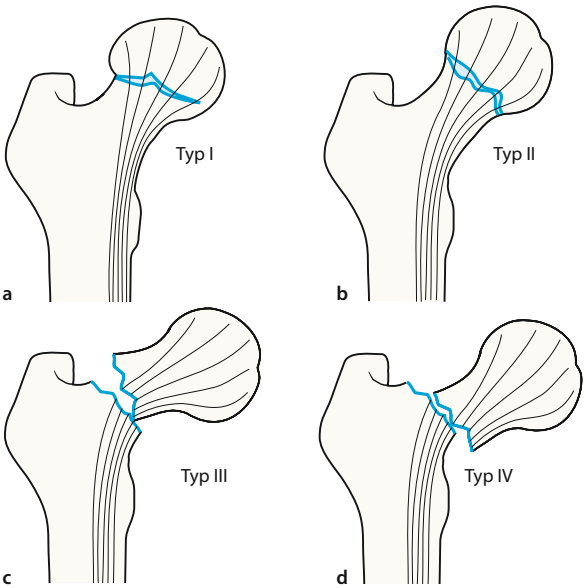


Abb. 8.2. Einteilung der Schenkelhalsfraktur nach Garden [7]. Diese Einteilung beschreibt die Dislokation in der a.-p.-Röntgenaufnahme. Die Bedeutung besteht in ihrem prognostischen Wert bezüglich der Hüftkopfnekrose.
a Typ I: Stabiler Abduktionsbruch in eingestauchter Valgusfehlstellung
b Typ II: Nicht dislozierte Fraktur
c Typ III: Teilweise Dislokation des distalen Fragmentes nach cranial, wobei noch ein partieller Fragmentkontakt am medialen Schenkelhals besteht; zusätzlich Varusfehlstellung und Retrotorsion des Kopfs
d Typ IV: Vollständige Dislokation des distalen Fragments nach dorsal

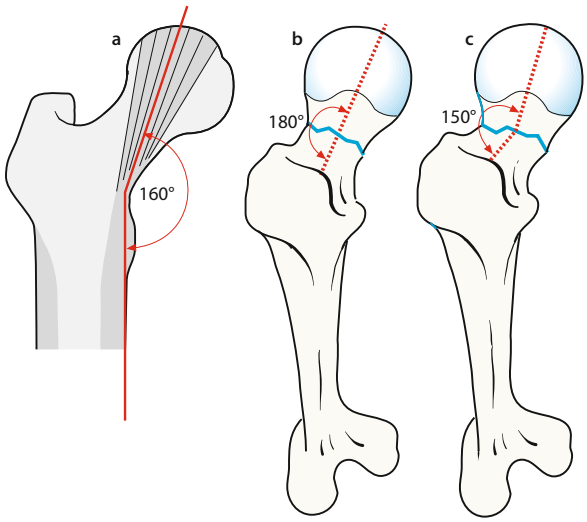


Abb. 8.3. Alignement-Index nach Garden zur Ermittlung der Ausrichtung der zentralen Trabekelstruktur (in der a.-p.-Röntgenaufnahme 160°-Winkel mit medialer Schaftcorticalis, in der axialen Aufnahme parallel zur medialen und lateralen Halscorticalis). Eine gute Reposition besteht bei einem Winkel von >160° in der axialen Aufnahme

31

Typ I. Frakturlinienverlauf um <30° von der Horizontalen abweichend (Abb. 8.4a). Prognostisch günstig, da es zu einer Druckbelastung der Fragmente kommt.

Typ II. Frakturverläufe von 30–50° Kippung im Vergleich zur Horizontalen (Abb. 8.4b). Hier treten Scherkräfte auf. Komplikationen wie Kopfnekrose, Pseudarthrose und sekundäre Dislokation kommen gehäuft vor.

Typ III. Frakturen mit einer Steilheit von >50° (Abb. 8.4c). Hier wirken Scherkräfte und ein varisierendes Kippmoment, sodass die genannten Komplikationen am häufigsten beobachtet werden. Die pelvitrochantäre Muskulatur zieht dabei das Schaftfragment nach cranial, sodass es zur typischen Verkürzung und Außenrotationsfehlstellung kommt. Eine valgisierende Korrekturosteotomie wurde früher häufig empfohlen.

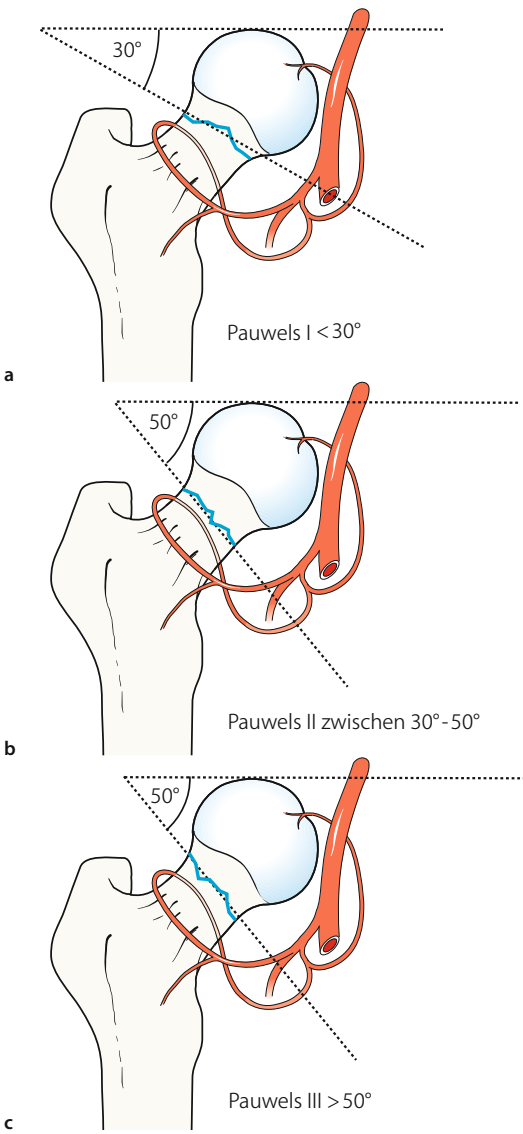


Abb. 8.4. Einteilung der Schenkelhalsfraktur nach Pauwels (1935). Verlauf der Frakturlinien im Vergleich zur Horizontalen: **a** stabile Abduktionsfraktur; **b, c** instabile Adduktionsbrüche

Verrenkungsfrakturen nach Pipkin

Die Einteilung nach Pipkin (Abb. 8.5) unterteilt die Hüftkopffrakturen mit begleitender Pfannenfraktur, dorsaler Luxation oder Schenkelhalsfraktur, meistens im Sinne einer Luxatio iliaca. Erfasst sind die hier typischen Begleitfrakturen.

Typ I. Kalottenfraktur unterhalb des Einstrahlens des Lig. capitis femoris. Das Kopffragment findet sich immer in der Pfanne, der Frakturverlauf ist in der Regel von mediocranial nach laterocaudal. Diese Fraktur liegt außerhalb der Belastungszone und ist in aller Regel mit einer hinteren oberen Luxation, einer Luxatio iliaca, kombiniert.

Typ II. Kalottenfraktur, welche oberhalb des Lig. capitis femoris beginnt. Das abgescherte Fragment schließt damit die Ansatzzone des Ligaments ein. Auch diese Fraktur ist häufig mit einer hinteren oberen Luxation vergesellschaftet, wobei es sich meist um größere mediocaudale Kopffragmente handelt. Trotz der Frakturmorphologie kann die Blutversorgung des Kopfs erhalten bleiben. Die Fraktur schließt die Belastungszone ein.

Typ III. Kombination von Typ I oder II mit einer Schenkelhalsfraktur. Ursächlich ist hier meist ein Doppelmechanismus, d. h. zweizeitig kurz aufeinander folgende kraftvolle Ereignisse, wobei zunächst eine Luxation mit Kalottenfraktur, z. B. im Rahmen eines Dashboard-Mechanismus auftritt, die dann von einer zweiten Krafteinwirkung gefolgt wird, die zur Fraktur des Schenkelhalses über dem Pfannenrand führt. Dieser wirkt dann im Sinne eines Hypomochleons.

Typ IV. Kombination aus Typ I oder Typ II mit einer Acetabulumfraktur. Auch hierbei handelt es sich um ein zweizeitiges Ereignis. Das Zweitereignis beinhaltet eine Kraft von lateral oder eine axiale Kraft, die zum Abbrechen des Pfannenhinterrandes führt.

Evans-Klassifikation

Bei der Evans-Klassifikation (Abb. 8.6) wird Grad der Instabilität anhand des Frakturverlaufs und der Anzahl der Fragmente beschrieben.

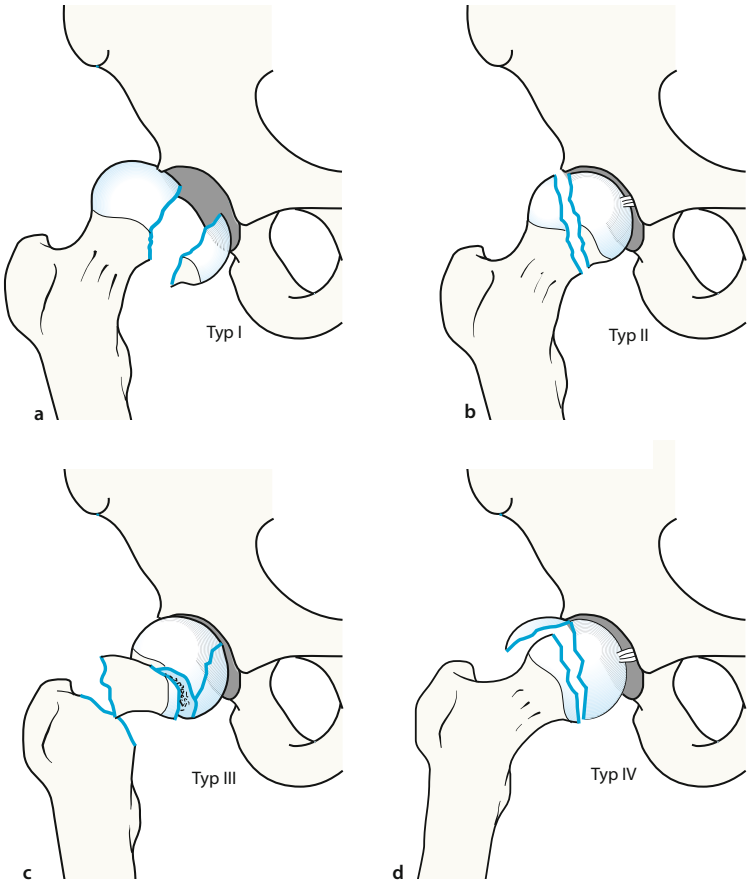


Abb. 8.5. Einteilung der Hüftkopffrakturen nach Pipkin. Typ III und IV umfassen Begleitfrakturen des Schenkelhalses und des dorsalen Pfannenrandes

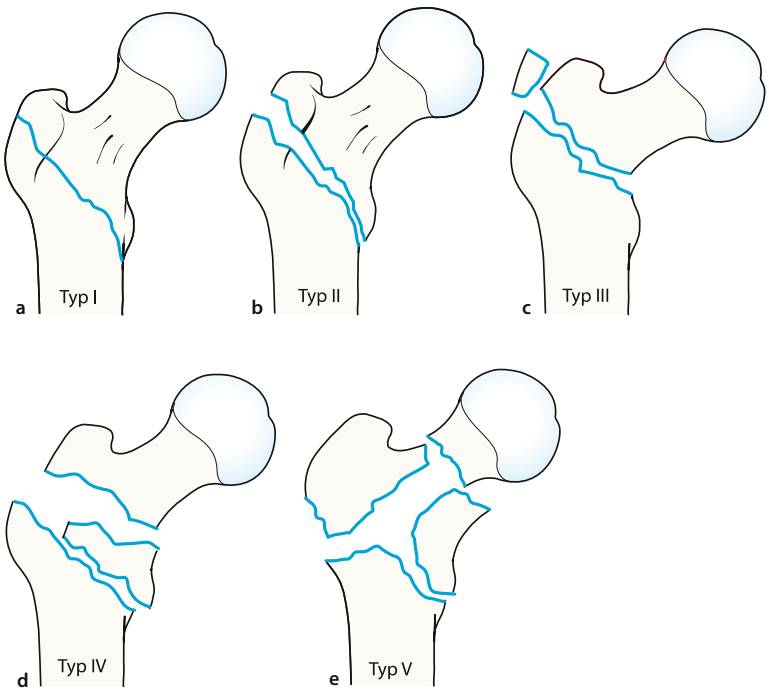


Abb. 8.6. Einteilung der pertrochantären Frakturen nach Evans
a Typ I: Nicht dislozierte Zweifragmentfraktur
b Typ II: Dislozierte Zweifragmentfraktur
c Typ III: Dislozierte Dreifragmentfraktur mit dorsolateraler Trümmerzone
d Typ IV: Dislozierte Dreifragmentfraktur mit dorsomedialer Trümmerzone
e Typ V: Dislozierte Vierfragmentfraktur mit Separation beider Trochanteren

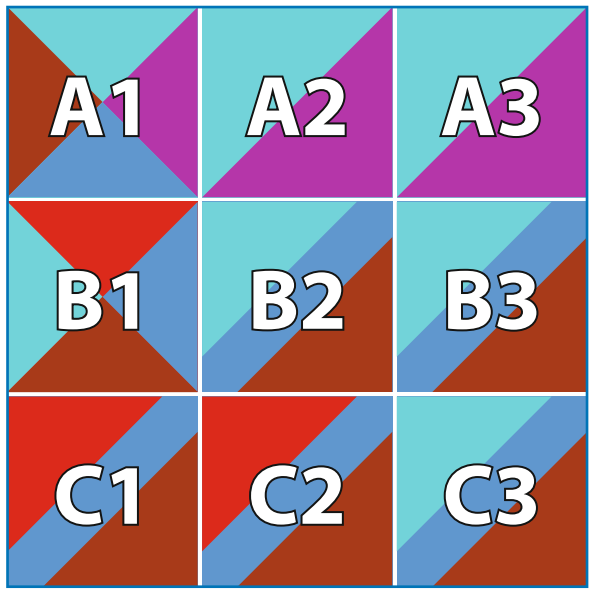
31

8.5 Therapeutisches Vorgehen

Einen schematischen Überblick über die Therapieoptionen zeigt ◘ Abb. 8.7.

Wie bei allen gelenknahen Frakturen ist auch hier die Wiederherstellung der Gelenkfläche und -geometrie, falls diese direkt betroffen ist, oberstes Ziel. Dieses Ziel kann ggf. auch durch eine Form des Gelenkersatzes erreicht werden; die Wiederherstellung der Mobilität kann bei betagten Patienten lebensrettend sein.

Genauso wichtig ist allerdings die Rekonstruktion der Gelenkmechanik. Dazu müssen Achsenfehler ausgeglichen werden. Bei dynamischen Verfahren wie der dynamischen Hüftschraube (DHS) u. a. kann insbesondere beim osteoporotischen Knochen und bei steilem Verlauf der Frakturlinie (Pauwels II und III) eine leichte Überkorrektur im Sinne einer Valgisierung zur besseren Einstauchung nach Osteosynthese erfolgen. Bei sehr steilen Frakturverläufen wurden durch einige Autoren auch primäre intertrochantäre Valgisierungsosteotomien empfohlen [6]. Bei jüngeren Patienten ist dagegen eine anatomische Reposition anzustreben, damit im Verlauf keine Coxarthrose entsteht [9].



◘ Abb. 8.7. Therapieoptionen bei proximalen Femurfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren). *Abweichungen wie Kombinationen von Verfahren sind möglich, z. B. DHS und Antirotationsschraube bei B1-Brüchen oder Kombination mit einer Trochanterabstützplatte bei Schweregraden ab A2*

- Konservativ
- Kanülierte Zugschraubenosteosynthese (vorzugsweise Großfragmentinstrumentarium ab 6,5 mm)
- Prothesen, Hemiprothesen
- Marknagelosteosynthese
- Dynamische Hüftschraube (DHS)

Die Reposition kann in den allermeisten Fällen bei den pertrochantären oder Schenkelhalsfrakturen geschlossen erfolgen. Eine Extension ist nicht mehr zeitgemäß, da zeitnah operiert werden soll und außerdem der intrakapsuläre Druck unter der Extension ansteigt [10]. Sie bleibt damit gut begründeten Ausnahmefällen vorbehalten.

Eine postoperative Thromboseprophylaxe ist obligat und sollte bis zum sicheren Erreichen der Vollbelastung oder 5 Wochen postoperativ gegeben werden.

Die Reposition umfasst mit oder ohne Extensionstisch die Innenrotation und Adduktion unter Längszug (Umkehrung des Mechanismus). Dabei wird die Einstellung der Faktur in der a.-p.- und exakt seitlichen Ebene kontrolliert.

Schenkelhalsfrakturen müssen in aller Regel operativ versorgt werden. Grundlage dafür ist die Fehlstellung des Kopffragments oder die sekundäre Dislokationsrate bei konservativ behandelten Abduktionsfrakturen. Die Prognose nach operativer Versorgung der Schenkelhalsfrakturen wird durch die Probleme der Komplikationen bestimmt. Die Komplikationsrate ist insgesamt hoch, Prognosekriterien stellen das Alter, Geschlecht, Allgemeinzustand, präoperative Mobilität, Frakturtyp und insbesondere auch die Zeit bis zur operativen Versorgung dar. Von Bedeutung sind auch die Art der Versorgung und Grunderkrankungen des Patienten, sodass insgesamt eine sehr differenzierte Planung zu erfolgen hat.

Trotz aller Probleme ist möglichst immer die *zeitnahe Operation* anzustreben (Eingriffe der dringlichen Frühversorgung, insbesondere B- und C-Frakturen sollten möglichst innerhalb von 6 h operiert werden) [11].

Aufgrund der Nebendiagnosen ist bei den oft alten Patienten häufig eine Vorbereitung, z. B. durch die internistisch konsiliarische Vorstellung und anschließende Optimierung, erforderlich, die allerdings nicht zu einer wesentlichen Verzögerung der Operation führen darf, da sonst die Sterblichkeit ansteigt. Insgesamt beträgt die Krankenhausletalität <10%.

Wichtig

Ein Cephalosporin der 2. Generation als Single-Shot 30 min vor der Operation zur Senkung der Infektrate ist obligat.

Bei den *kopferhaltenden Osteosynthesen* ist eine sofortige Operation innerhalb der ersten 6–8 h zwingend erforderlich. Auf die Reduktion der Blutversorgung und die erforderliche Punktion bzw. *Kapsulotomie* wird ausdrücklich hingewiesen. Indikationen für die kopferhaltende Zugschraubenosteosynthese ist neben der oben genannten Mobilität eine Lebenserwartung von >15 Jahren, ein

geringes Pseudarthrose- bzw. Nekroserisiko aufgrund der Morphologie der Fraktur: Zu nennen sind hier Pauwels-I-, aber auch Garden-I- und -II-Frakturen, die <20° axiale Kippung aufweisen. Insbesondere in der letztgenannten Gruppe ist das schnelle Handeln von besonderer Wichtigkeit. Bei sofortiger Operation wurde keine Kopfnekrose beobachtet, wurde die Operation erst nach >6 h durchgeführt, mussten 30% Kopfnekrosen hingenommen werden [12].

Auch die Einnahme gerinnungshemmender Substanzen stellt keine Kontraindikation zur Operation dar. Für die Implantation von Prothesen wird ein Quick-Wert von mindestens 50% gefordert, für osteosynthetische Verfahren von 40% [11].

Leitsätze zur Behandlung hüftgelenknaher Frakturen

- Eine Operation innerhalb von 6 h verbessert die Ergebnisse der Osteosynthese.
- Eine Operation innerhalb von 24 h reduziert allgemeine Komplikationen.
- Eine Operation innerhalb von 48 h senkt die Mortalität.
- Bei jungen und aktiven Patienten soll das Gelenk erhalten werden.
- Betagte und Gebrechliche sollen postoperativ sofort voll belasten können.
- Betagte Aktive erhalten eine Totalendoprothese, nicht Aktive eine Duokopfprothese.
- Stabile Abduktionsfrakturen des Schenkelhalses sollen prophylaktisch operiert werden.

Bei den seltenen *Hüftkopfverletzungen* ist zur Wiederherstellung der Gelenkfläche ein offenes chirurgisches Vorgehen, z. B. über einen vorderen Zugang zum Hüftgelenk, notwendig. Bei den Hüftkopffrakturen ist *immer* die *Notfallreposition* oberstes Ziel, denn je kürzer das Intervall zwischen Ereignis und Reposition ist, desto geringer ist die *Kopfnekroserate*. Auch bei regelrechter Durchführung der Osteosynthese werden >10% Kopfnekrosen beobachtet [6].

Die Reposition wird in einer Kurznarkose am schonendsten durchgeführt. Da eine geschlossene Reposition nicht immer möglich ist, muss ggf. schnellstmöglich die offene Reposition und Osteosynthese durchgeführt werden; diese ist dann obligat. Bei mehrfachverletzten oder polytraumatisierten Patienten ist die Reposition der erste Schritt nach der Sicherung der Vitalfunktionen.

Generell kommen auch bei Hüftkopffrakturen konservative Verfahrensweisen in Frage. Diese betreffen insbesondere Impressionen des Kopfes, z. B. bei der C2-Fraktur nach AO, aber auch bei den Pipkin-I-Frakturen außerhalb der Belastungszone, wenn hier eine anatomische Reposition erreicht werden kann. In der postrepositionellen CT-Kontrolle kann eine Stufe von <1 mm Ausdehnung, d. h. eine exakte Stellung durch die geschlossene Reposition, toleriert werden.

Die Reposition kann mit Dormicum und Dipidolor, aber zweckmäßigerweise auch in Intubationsnarkose durchgeführt werden.

Obligat ist die Stabilitätsprüfung der Hüft- und Kniegelenke in Narkose. Der neurovaskuläre Status ist prae und post repositionem unbedingt zu überprüfen.

Die Durchführung der Reposition erfolgt in Rückenlage sowie unter Längszug bei 90° Flexion in Hüft- und Kniegelenk. Eine zweite Person muss das Becken fixieren. Durch vorsichtigen Wechsel aus der Innen- in die Außenrotation sowie den genannten Zug kann eine Reposition (nach Allis) erreicht werden. Nach der Reposition ist eine Schaumstoffschienenlagerung in leichter Abduktion aufgrund der besseren Hüftkopfeinstellung zu empfehlen.

Operativ zu versorgende Hüftkopffrakturen müssen mit Titanzugschrauben stabilisiert werden, da dies MRT-Kontrollen im Verlauf ermöglicht. Klassisch bietet sich ein vorderer Zugang nach Smith-Peterson an. Dieser ermöglicht einen besonders guten Überblick bei einem ventralen Knochenfragment.

8.5.1 Konservative Therapie

Neben den oben genannten Formen der C2-Fraktur nach AO, aber auch der exakt reponierten Pipkin-I-Fraktur können nicht dislozierte Abduktionsbrüche des Schenkelhalses (B1 nach AO, Garden und Pauwels I) konservativ behandelt werden. Bei letztgenannter Fraktur ist dies jedoch nur in Ausnahmefällen, wie z. B. bei erheblicher Komorbidität, zu empfehlen. Die konservative Behandlung erfordert eine mindestens 5-wöchige Entlastungszeit bei der Schenkelhalsfraktur, bei der Pipkin-Fraktur sind 8–12 Wochen einzuhalten. Wichtig ist die zügige Mobilisation, zumindest in den Sessel, insbesondere bei alten Patienten, um die Mobilität zu erhalten und mögliche Komplikationen wie Decubitus oder Pneumonie einzuschränken. Etwa 30% der Patienten erleiden eine sekundäre Dislokation [13].

8.5.2 Schraubenosteosynthese

Jeder kopferhaltende Eingriff ist eine Notfallmaßnahme. Die klassische Indikation zur Implantation von Zugschrauben stellt die Schenkelhalsfraktur des jüngeren

Patienten dar, der postoperativ in der Lage ist, unter Teilbelastung mobilisiert zu werden.

Nach exakter Reposition beim jungen, in leichter Valgisierung und Einstauchung beim älteren Patienten können 3 (nach manchen Autoren 4; ◘ Abb. 8.8) Zugschrauben minimalinvasiv nach Stichinzision über den subtrochantären Bereich bis in das Kopffragment nach Einsetzen von Kirschner-Drähten eingebracht werden. Dabei sollte die untere Schraube zuerst gesetzt werden, parallel zum Schenkelhals, und direkt am Calcar verlaufend. Im axialen Bild ist eine zentrale Lage des Gewindes im Kopf anzustreben. Die 2. Schraube läuft cranial dazu parallel und wird weiter dorsal gesetzt. Die 3. Schraube liegt parallel ventral von der 2. Schraube.

Klassischerweise sollen die 3 Zugschrauben im Kopf leicht divergieren, eine Alternative ist das Divergieren zweier Schrauben, wobei die 3. Schraube fast horizontal eingebracht wird und die erstgenannten beiden Schrauben kurz vor dem Kopf kreuzt. Die zweite Art der Aufspreizung der Schrauben im Kopf soll die weitere Einstauchung des Kopfs minimieren und Problemen, z. B. bei der Mobilisation durch zu große Längenunterschiede der Beine vorbeugen. Das Gewinde der Schrauben muss im Kopffragment liegen, um die gewünschte interfragmentäre Kompression zu ermöglichen. Eine stabile Versorgung allenfalls in leichter Valgisation ist für diese Art der Versorgung Voraussetzung.

Idealerweise sollten Titanschrauben verwendet werden, um im Bedarfsfall eine MRT-Kontrolle zu ermöglichen. Typische Patienten für diese Versorgung sind junge und gut mobile Patienten, die die anschließende Entlastung unter Abrollbelastung durchführen können. Aufgrund eines intrakapsulären Hämatoms ist die Punktion oder auch die ventrale, längs gestellte Kapsulotomie zu fordern, um die Kopfnekroserate gering zu halten. Infektionen sollten die 1%-Rate nicht wesentlich überschreiten.

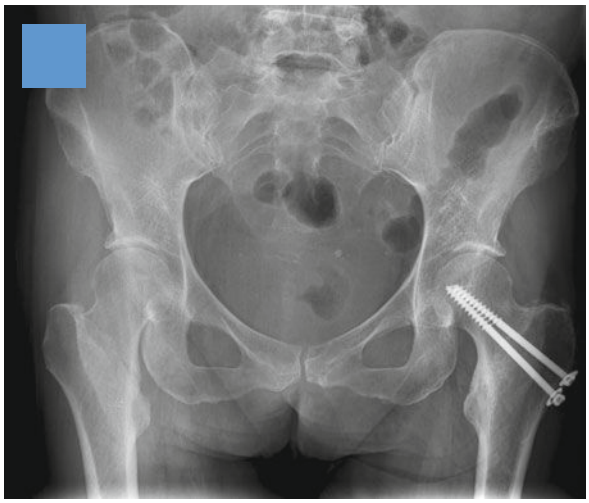
In den letzten Jahren werden aus Kostengründen Zugschrauben auch zunehmend bei Patienten >65 Jahren eingesetzt. Einige Studien weisen auf gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zur Endoprothese hin [14].

Eine weitere Indikation zur Schraubenosteosynthese ist die Abscherfraktur des Hüftkopfs. Ein gut geeignetes Implantat ist die kanülierte Titankleinfragmentschraube, die subchondral verankert und als Zugschraube gesetzt werden sollte. Der Zugang nach Smith-Peterson bietet sich in den meisten Fällen an, da es sich aufgrund des Mechanismus oft um ventral liegende Kopffragmente handelt. Er beginnt am Scheitelpunkt der Christa iliaca, zieht sich etwa 1,5 cm unterhalb dieser bogenförmig bis zur Spina iliaca anterior superior, um dann gerade nach distal über eine Länge von ca. 12 cm zu verlaufen (◘ Abb. 8.9).

In der Tiefe präpariert man am Vorderrand des M. tensor fasciae latae und luxiert schließlich das Bein in die sog. 4er-Position, d. h. eine Stellung in maximaler Außenrotation und Abduktion des Hüftgelenks bei 90° Kniegelenksbeugung. Bei über 60-jährigen Patienten empfiehlt sich bei den Pipkin-Frakturen in aller Regel die primäre Implantation einer Hüfttotalendoprothese, um die sofortige Mobilisation unter Vollbelastung zu garantieren. Ein weiteres Argument ist die in diesem Alter sehr hohe Kopfnekroserate. Hier können dann die Standardzugänge der Hüftendoprothetik zum Einsatz kommen. Alternativ kann bei den Pipkin-Brüchen ein anterolateraler Zugang nach Watson-Jones verwendet werden. Die Indikation ist hier die Femurkopffraktur mit intraartikulären Fragmenten.

Die operative Versorgung nach einer exakten Reposition stellt keine Notfallindikation mehr dar wie die initiale Reposition selbst. Sie kann nach Stabilisierung der Allgemeinsituation innerhalb weniger Tage erfolgen. Der dorsale Zugang nach Kocher-Langenbeck findet dann Anwendung, wenn Ischiadicusschäden, aber auch dorsale intraartikuläre Fragmente oder eine dorsale Pfannenrandläsion vorliegen.

Bei Pipkin-IV-Frakturen, d. h. bei der simultan auftretenden hinteren Pfeilerfraktur im Bereich des Acetabulums, ist nach Versorgung des Kopffragments immer die sofort sich anschließende offene Reposition der Pfannenfragmente und die osteosynthetische Versorgung in derselben Sitzung durchzuführen. Bei den seltenen vorderen Luxationen ist ein ilioinguinaler Zugang evtl. zusätzlich notwendig, wenn eine Versorgung über den lateralen Zugang nicht möglich ist.



◘ Abb. 8.8. 47 Jahre, weiblich. Sturz auf die linke Körperhälfte. Gering dislozierte laterale Schenkelhalsfraktur. Versorgung mit 2 kanülierten Zugschrauben mit Unterlegscheiben. Auf eine 3. Schraube wurde hier verzichtet. Dies wird von den Autoren nicht empfohlen, da die Stabilität reduziert ist



Abb. 8.9. 41 Jahre, männlich. Hüftkopffraktur mit Schenkelhalsfraktur und Luxation des Hauptfragmentes (C3, Pipkin III) aufgrund eines Motorradunfalls. Primäre Sofortversorgung am Unfalltag. In der Beckenübersicht Hüftkopffraktur und Verdacht auf Schenkelhalsfraktur (**a**). Zur Sicherung der Diagnose und Operationsvorbereitung CT unabdingbar. Die CT-Bilder (multiplanare Rekonstruktionen und halbtransparente VRT (»volume rendering technique« – zur Oberflächenrekonstruktion) veranschaulichen die dorsale Luxation des größeren Kopffragments und die Rotation des Fragments innerhalb der Pfanne (**b–d**). Weitere Fragmente sind nur in der CT zu erfassen. **e, f** Aufgrund des Alters Zugschraubenosteosynthese des Kopfs über Smith-Peterson-Zugang und perkutane Zugschraubenosteosynthese der Schenkelhalskomponente. **g, h** Im Verlauf Femurkopfnekrose und Verfahrenswechsel auf zementfreie Totalendoprothese

31

8.5.3 Dynamische Systeme (dynamische Hüftschraube, proximale Femurmarknägel)

Diese Implantate weisen den Vorteil der *interfragmentären dynamischen Kompression* auf (dynamisch durch die Belastung), und die Patienten sind nach allen Osteosyntheseverfahren bei pertrochantären Brüchen in der Regel direkt postoperativ voll belastbar. Typische Implantate sind die dynamische Hüftschraube (DHS), die ihre Standardindikation bei der unkomplizierten pertrochantären Fraktur (A1 nach AO) hat und in verschiedenen Winkeln, z. B. 130° oder 135°, erhältlich ist, um eine exakte Anpassung an den Winkel des Schenkelhalses zur Schaftachse nach Reposition zu ermöglichen. Verschiedene Autoren wenden die DHS in Form längerstreckiger Implantate auch bei komplexen pertrochantären oder subtrochantären Frakturen, z. T. in Kombination mit einer Trochanterabstützplatte an. Zur Operation frischer Brüche ist der Extensionstisch entbehrlich [15].

Bei den komplexeren Frakturen sowie den subtrochantären Brüchen empfehlen die meisten Autoren jedoch Nagelsysteme. Beispiele sind der proximale Femurmarknagel (PFN), der Klassiknagel oder γ-Nagel. Alle Verfahren besitzen einen Gleitmechanismus der Schenkelhalskomponente, wodurch die oben genannte interfragmentäre Kompression erzielt wird.

Alle dynamischen Implantate sind stabil genug für eine Sofortmobilisation. Je älter die Patienten sind und je steiler der Frakturverlauf ist, desto eher sollte die Stabilisierung in leichter Valgisierung erfolgen, insbesondere bei Osteoporose, um ein Cutting-out der Schraube zu vermeiden.

Dynamische Hüftschraube (DHS)

Der klassische Zugang für die DHS ist der laterale Schnitt am proximalen Femur etwas distal des Trochanter major beginnend. Nach Einbohren des Zieldrahtes in den Schenkelhals, welcher streng subchondral im Kopf liegen sollte, sind 10 mm abzuziehen, damit die Schraube den Knochen im weiteren Verlauf nicht so leicht perforiert. Die ideale Lage ist leicht unterhalb der Mitte des Schenkelhalses nahe dem Adam-Bogen in der a.-p.-Ebene sowie zentral oder leicht dorsal im Schenkelhals in der axialen Ebene. Das Gewinde darf nur im kontralateralen Kopffragment liegen.

Eine 2-Loch-DHS ist z. B. bei der prophylaktischen Operation der als stabil einzustufenden B1-Fraktur (Abduktionsbruch) indiziert (Abb. 8.10). Intramedulläre Implantate sind bei dieser Bruchform nicht geeignet, da sie die Reperfusion durch den proximalen Implantatanteil stören [11]. Bei pertrochantären Brüchen sind 2- bis 4-Loch-Platten je nach Knochenqualität zu empfehlen. Sollen subtrochantäre Frakturen versorgt werden, sind entsprechend längere Implantate zu verwenden. Hier ist allerdings die Zugangsmorbidität nicht zu vernachlässigen.

Der klassische Eingangswinkel für die Hüftkopfschraube ist 130°, aber je nach Anatomie der Gegenseite können bei Valgisierung auch 135°-Schrauben und andere Winkel verwendet werden. Die Nutzung der Kompressionsschraube ist fakultativ möglich, da das System dynamisch ist und meist eine gute Reposition erreicht werden kann. Ist die Rotationsstabilität aufgrund der Frakturmorphologie nicht sicher gegeben, empfiehlt sich eine Antirotationsschraube nach dem Gleitschraubenprinzip. Das Gewinde darf damit auch nur im Kopffragment fassen.

Die Schenkelhalsfrakturen, insbesondere der Frakturtypen III und IV nach Garden, bei über 60-Jährigen sind mit erheblichen Kopfnekroseraten vergesellschaftet.

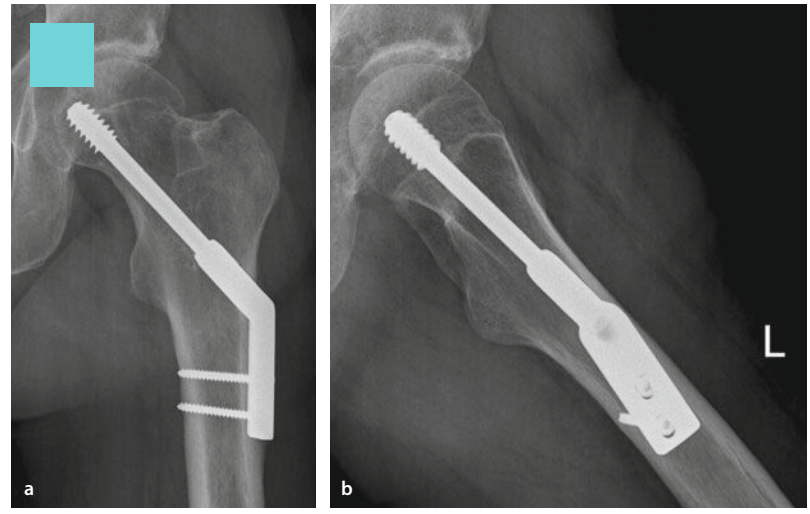


Abb. 8.10. 44 Jahre, männlich. Skiunfall. Impaktierte, valgisierte Schenkelhalsfraktur nach initialer Ruhigstellung (B1, Garden I, Pauwels I). Sekundär Übernahme zur prophylaktischen Stabilisierung mittels 2-Loch-DHS

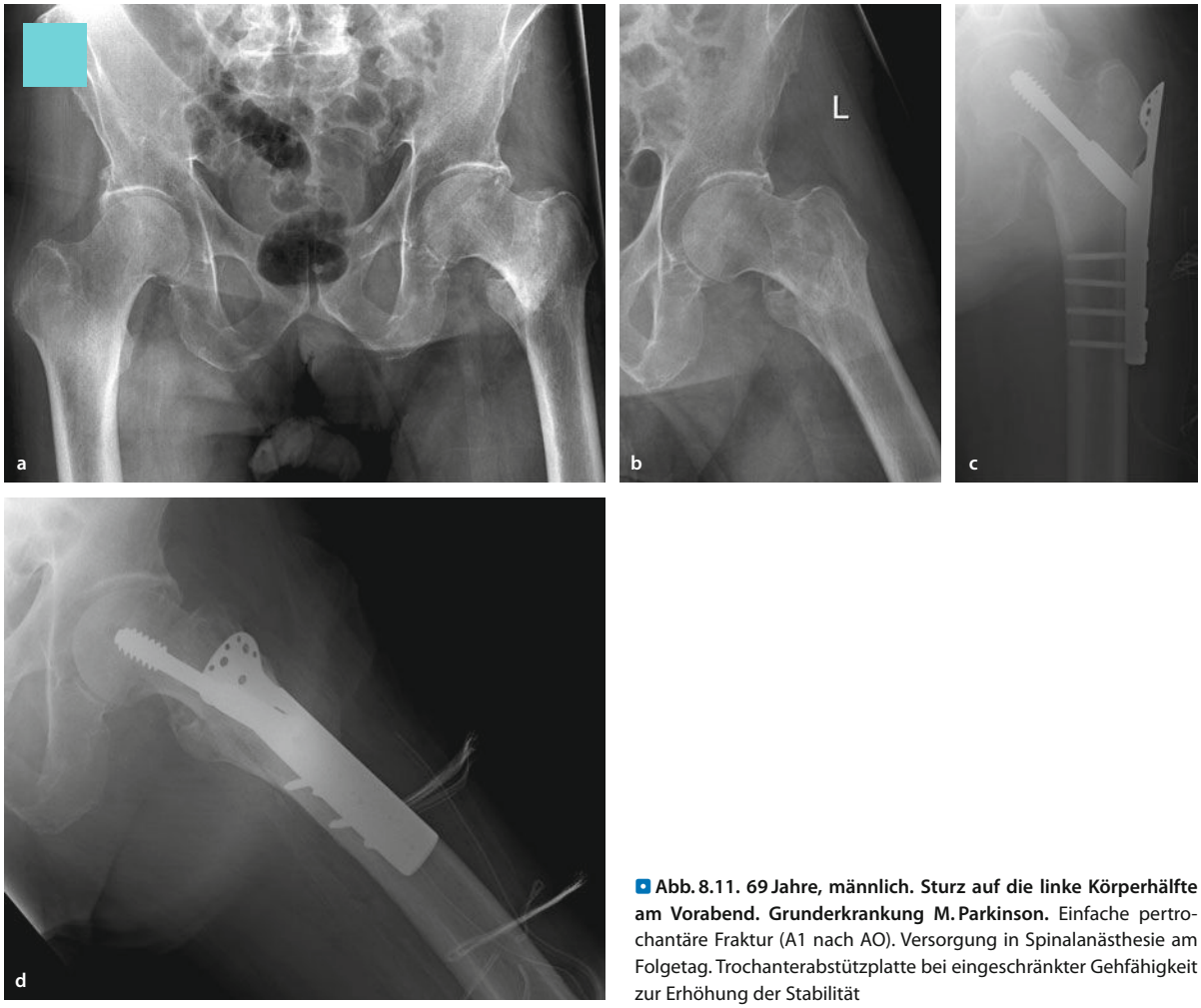
In der Literatur finden sich Werte bis >50% [6], daher sollte hier auch aus diesem Grund primär die Prothese angestrebt werden.

Auch für die pertrochantären Frakturen gilt prinzipiell, so früh wie möglich zu operieren, da sonst die typischen Komplikationen durch Immobilität auftreten. Früher häufig verwendete Verfahren – wie die Winkelplatte (lässt keine Kompression auf den Bruchspalt zu und stabilisiert den Hüftkopf nicht ausreichend) oder die dynamische Kompressionsschraube oder auch die Ender-Nagelung – sind mit vielen Problemen wie z. B. einer hohen Rate an Rotationsfehlern (um 20% Außenrotationsfehler [16]) oder persistierenden Schmerzen belastet. Sie sind durch modernere Verfahren zu ersetzen und unserer Ansicht nach nicht mehr zeitgemäß. Sie werden daher im Weiteren nicht näher beschrieben.

Das Prinzip der dynamischen Hüftschraube ist das einer lateralen Zuggurtung, wobei hier eine innere Schienung zusätzlich vorhanden ist. Biomechanisches Prinzip ist die interfragmentäre Kompression durch die Schraube, die den Bruch von innen her schient. Die Antirotationsschraube (6,5 mm) ist bei geradem Frakturverlauf zu empfehlen. Des Weiteren ist eine Sperre des dynamischen Mechanismus möglich, was bei jungen Patienten indiziert sein kann, um ein weiteres Zusammensintern des Bruchs zu verhindern.

In der Literatur werden Cerclagen oder Zugschrauben bei Trochanter-minor-Frakturen gelegentlich empfohlen. Dieses Vorgehen ist unserer Ansicht nach nicht erforderlich, da sie keinen wesentlichen Einfluss auf die Heilungstendenz haben und klinisch oft Schmerz verursachen. Bei Trochanter-major-Frakturen wird die DHS häufig mit einer Trochanterabstützplatte (TAP) kombiniert, was zusätzliche Stabilität gibt (◘ Abb. 8.11, 8.12). Bei Schenkelhalsbrüchen ist die TAP meist nicht erforderlich (◘ Abb. 8.13).

Einige Autoren empfehlen auch Zuggurtungen bei Abrissen des Trochantermassivs.



◘ Abb. 8.11. 69 Jahre, männlich. Sturz auf die linke Körperhälfte am Vorabend. Grunderkrankung M. Parkinson. Einfache pertrochantäre Fraktur (A1 nach AO). Versorgung in Spinalanästhesie am Folgetag. Trochanterabstützplatte bei eingeschränkter Gehfähigkeit zur Erhöhung der Stabilität

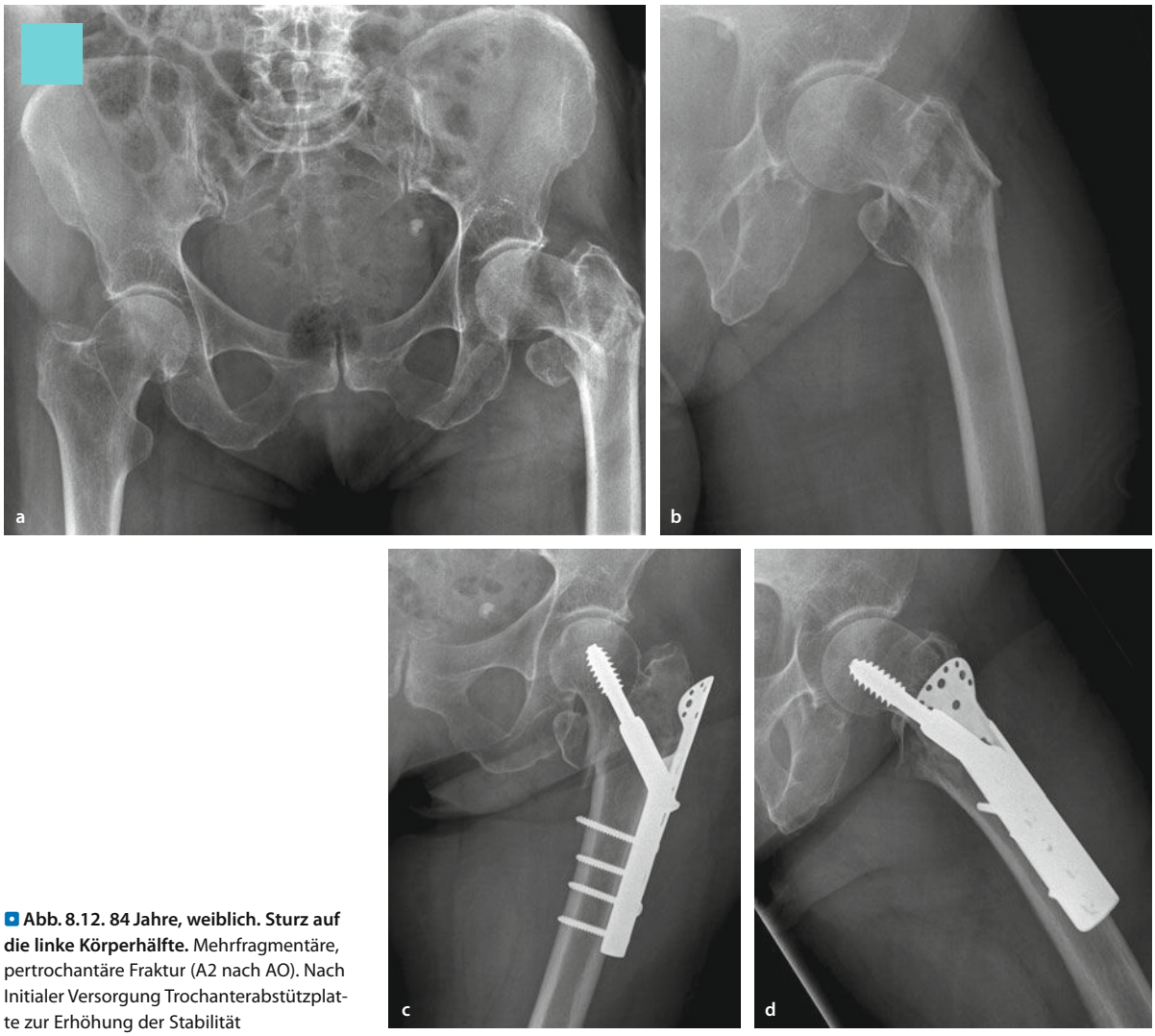


Abb. 8.12. 84 Jahre, weiblich. Sturz auf die linke Körperhälfte. Mehrfragmentäre, pertrochantäre Fraktur (A2 nach AO). Nach Initialer Versorgung Trochanterabstützplatte zur Erhöhung der Stabilität

Insgesamt weist die DHS einen wesentlichen Nachteil auf: Bei nicht exakter Platzierung der Schenkelhalsschraube ist maximal eine Korrekturbohrung mit dem Dreistufenbohrer möglich. Ein sog. Cutting-out der Schraube wird gelegentlich insbesondere bei osteoporotischen Knochen beobachtet. Insgesamt ist die Verankerung auch im osteoporotischen Knochen aufgrund der großvolumigen Gewindegänge gut. Es kommt zu einer erheblichen Spongiosazerstörung, somit ist insbesondere darauf zu achten, dass der Schraubenkopf nicht in der Trajectorienkreuzung der Hauptbelastungszone liegt.

Als Kontraindikation werden in der Literatur die intertrochantären Frakturen mit umgekehrtem Frakturverlauf, also A3.1-Frakturen nach AO, aber auch subtrochantäre Frakturen angesehen. Allerdings ist nach Ansicht der Autoren eine Versorgung bei guter Reposition durchaus möglich, wobei anzumerken ist, dass die mechanischen Voraussetzungen bei diesen Frakturtypen nicht günstig sind und lange Platten verwendet werden müssen (Abb. 8.14).

Die *Komplikationsrate* der DHS ist bei intraoperativen Komplikationen und einer Reoperationsrate von <2% gering.

Eine *Vollbelastung* ist bei den meisten Bruchformen auch bei Osteoporose möglich. Neuerungen am DHS-Design umfassen winkelstabile Schrauben zur Verankerung der Platte am Femurschaft und die verriegelbare Trochanterabstützplatte. Die neuen Implantate sind mit der herkömmlichen DHS kompatibel und sollen gerade bei osteoporotischem Knochen zur Verringerung von typischen Komplikationen wie dem sog. Cutting-out der Schraube, der Impaktierung und Medialisierung des Femurschafts (Z-Effekt) sowie der Varisierung und Verkürzung beitragen.

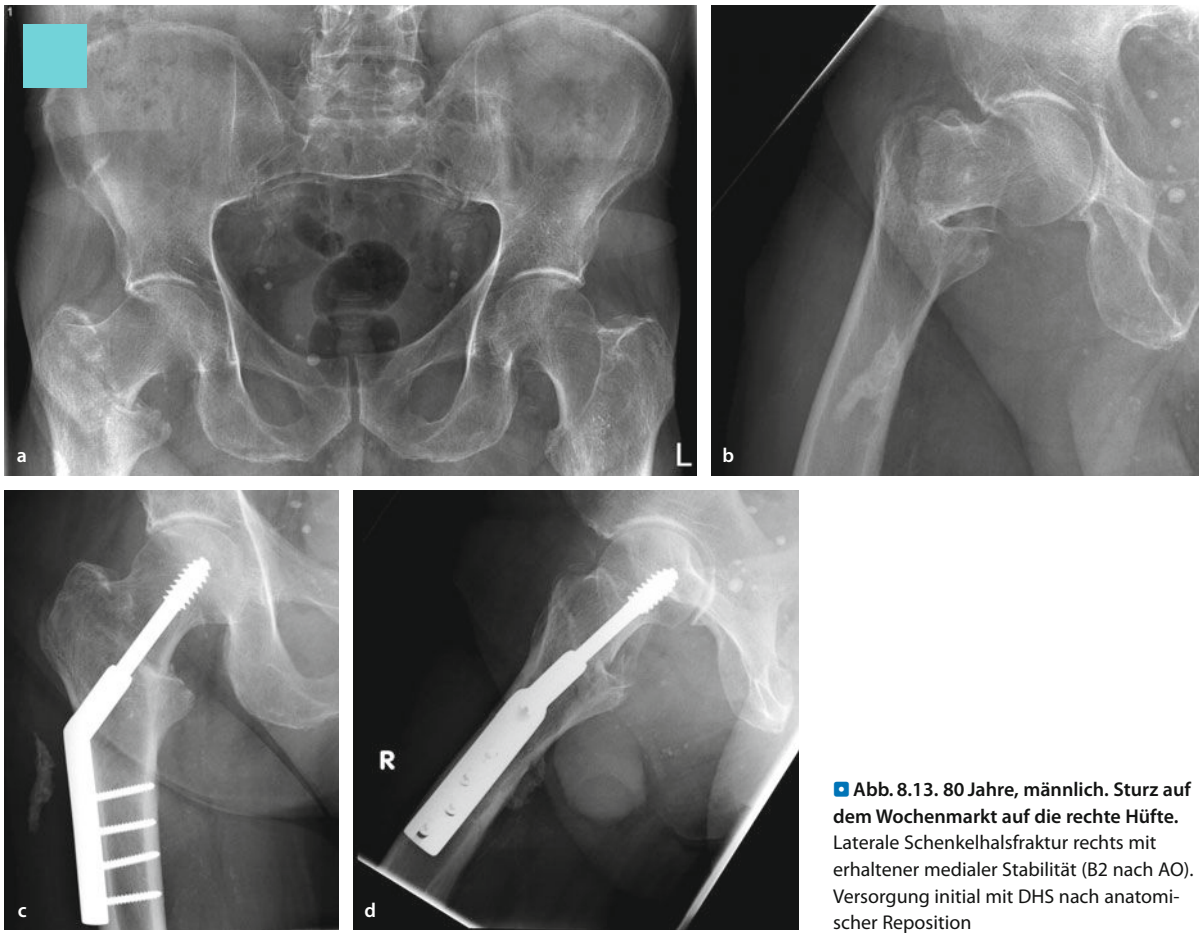


Abb. 8.13. 80 Jahre, männlich. Sturz auf dem Wochenmarkt auf die rechte Hüfte. Laterale Schenkelhalsfraktur rechts mit erhaltener medialer Stabilität (B2 nach AO). Versorgung initial mit DHS nach anatomischer Reposition

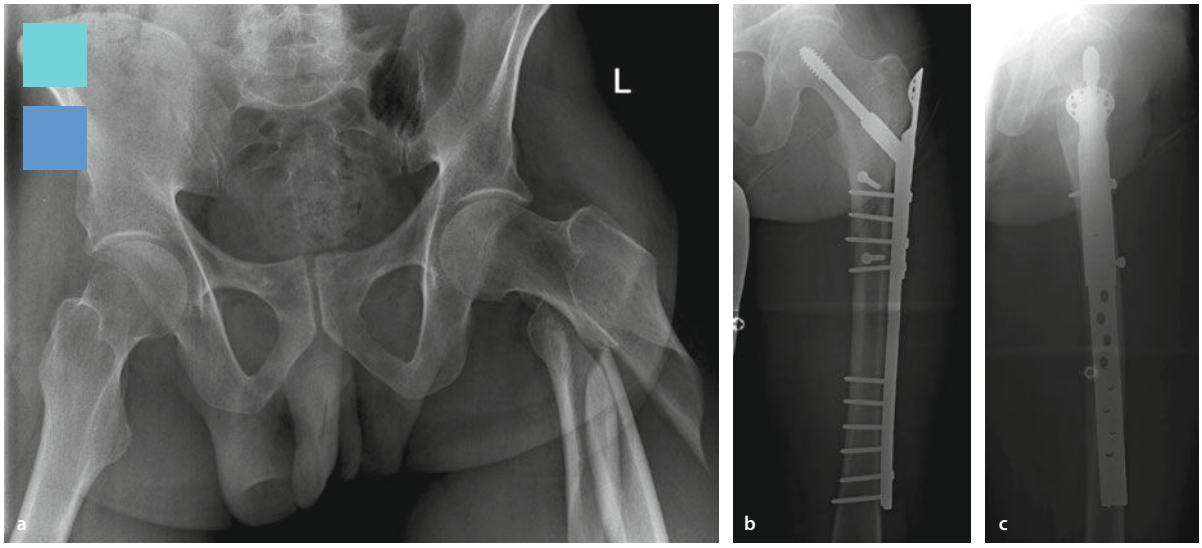


Abb. 8.14. 53 Jahre, männlich. Arbeitsunfall: Als Bergmann nach der Arbeit in der Waschkaue vor der Dusche ausgerutscht. Subtrochantäre Spiralfraktur links (nach A0 32 B1 Fraktur). Initiale Versorgung mit DHS und Trochanterabstützplatte (14-Loch-Platte 135°, DH-Schraube 100 mm) sowie 2 zusätzlichen Zugschrauben zur Anbindung des Zwischenfragments

31

Nagelsysteme

Dass Veränderungen im Design zu besseren Ergebnissen führen, ist belegt. So besitzt beispielsweise der *γ-Nagel* ein mechanisch sich besser im Knochen verankerndes Schraubengewinde als die DHS. Demzufolge ist die »cut-out resistance« verbessert und die Migration unter Last im Knochen vermindert [17].

Der γ-Nagel stellt eine Kombination aus Marknagel und Hüftschraube dar. Er sollte unter Anwendung eines Extensionstischs implantiert werden. Biomechanisch zeigt er eine bessere Belastbarkeit als die DHS [17]. Indikationen stellen hier die instabilen Vierfragmentfrakturen des Trochantermassivs dar (Evans-Typ V), aber auch subtrochantäre Frakturen. Alle Patienten sind direkt postoperativ unter Vollbelastung mobilisierbar. Nachteil ist eine deutliche Zerstörung im Bereich der Trochanterregion und das mögliche Auftreten von Fettembolien sowie Drehfehlern.

Typische intraoperative Fehler sind die zu craniale Platzierung der Schrauben oder Verriegelungsprobleme, die mit etwa 10% angegeben werden. Eine weitere wichtige Komplikation stellt die Femurschaftfraktur dar, welche intraoperativ aber auch bis mehrere Monate nach der Implantation beobachtet wird. Als Ursache wird eine Stresskonzentration am Nagelende angesehen. Diese Komplikation ist jedoch in ihrem Auftreten durch eine geringe Änderung des Nageldesigns reduziert worden. Insgesamt liegt die Reoperationsrate bei etwa 8%.

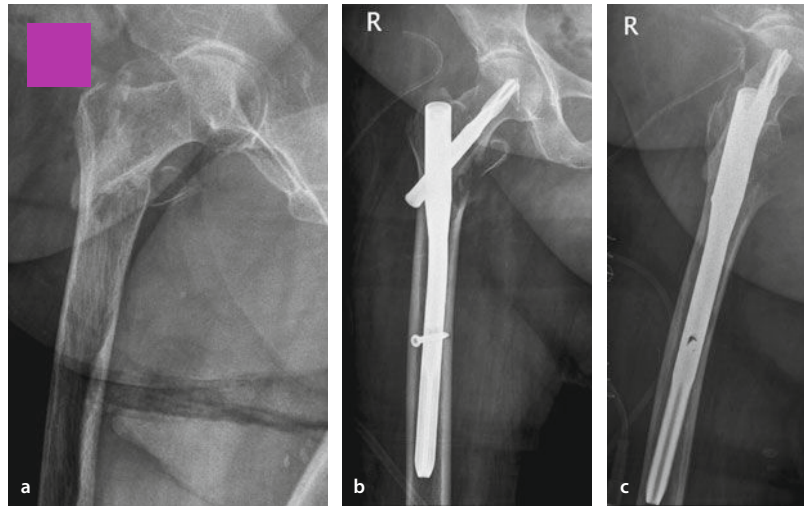
Ähnliche Ergebnisse werden mit dem *Klassiknagel* oder auch dem *proximalen Femurmarknagel* (PFN, ◘ Abb. 8.15) erzielt. Alle Nagelsysteme bieten den Vorteil einer direkten Krafteinleitung in den Femurschaft. Beide sind dem γ-Nagel ähnlich, weisen jedoch eine einfache Operationstechnik (unaufgebohrtes Einbringen) und eine geringe Frakturgefahr am Nagelende auf. Die Rotationsstabilität des PFN ist besonders hoch durch eine zusätzliche Schraube (◘ Abb. 8.16). Diese zusätzliche Schraube im Hüftkopf weist außerdem den Vorteil auf, dass der Operateur gezwungen ist, die Schenkelhalsschraube nahe am Adam-Bogen zu platzieren.

Eine neuere Entwicklung ist der PNF-α, der auf die Antirotationsschraube verzichtet und ein besonderes Design der Schenkelhalsschraube aufweist. Diese Schraube wird als besonderer Vorteil für osteoporotischen Knochen angesehen, da sie eine höhere Auflagefläche bietet, zu einer Impaktierung des umliegenden Knochens führt und damit mehr Stabilität gegen Varisierung und Rotation bieten soll (◘ Abb. 8.15). Die Schenkelhalskomponente wird in den Hals eingeschlagen und nicht mehr geschraubt. Typischer Eintrittspunkt ist die Trochanterspitze bei einem Nageldesign mit einem mediolateralen Winkel von 6°. Auch diese Systeme erlauben eine primäre Vollbelastung. Lange Versionen der beschriebenen Nagelsysteme sind für subtrochantäre Frakturen zu empfehlen (◘ Abb. 8.16).

8.5.4 Prothetik

Klassische Indikation für die Prothetik sind Frakturen älterer Patienten, d. h. also in den überwiegenden Fällen bei über 60-Jährigen. Des Weiteren kommen Totalendoprothesen bei vorbestehender Coxarthrose, Hüftdysplasie, pathologischen Frakturen oder bei chronischer Polyarthritis zur Anwendung, aber auch bei instabilen Trümmerfrakturen im Kopf- oder Schenkelhalsbereich oder beim Auftreten intraoperativer Komplikationen.

Die Prothetik hat den wesentlichen Vorteil, dass keine Heilungsstörungen wie Pseudarthrosen oder Kopfnekro-



◘ **Abb. 8.15. 79 Jahre, weiblich. Sturz auf ebenem Boden auf die Hüfte; Zustand nach Apoplex.** Mehrfragmentäre, pertrochantäre Fraktur (A2). Versorgung mit kurzem PFN-α

sen im Verlauf beobachtet werden. Auch kann hier initial meist voll belastet werden. Als Nachteil zeigen sich die typischen Prothesenkomplikationen wie sekundäre Lockerung, Luxationen, Dislokationen, Infekte und periartikuläre Ossifikationen, aber auch die Protrusio acetabuli bei der Hemialloarthroplastik (Duokopfprothese).

Die *unipolare Femurkopfendoprothese* weist als typischen Nachteil eine erhöhte Abriebrate bei fehlender Beweglichkeit des Kopfs auf. Die Folge ist eine sich schnell entwickelnde Protrusio acetabuli. Die Implantation solcher Systeme ist daher nicht mehr zu empfehlen.

Besser sind pfannenprotektive *bipolare Systeme* mit beweglichen Kopfprothesen, die direkt auf den Schaft aufgesetzt werden (Duokopfprothese). Protrusionen werden bei diesen Implantaten kaum mehr beobachtet. Ein solcher Eingriff ist deutlich geringer belastend als die Implantation einer Totalendoprothese (◘ Abb. 8.17, 8.18).

Bipolare Prothesen werden in der Regel zementiert implantiert, können jedoch auch bei Bedarf zementfrei eingebracht werden. Bezüglich der Gleitpaarungen oder des Oberflächenersatzes wird auf die spezielle Literatur verwiesen, da dies für die Langzeitergebnisse, insbesondere bei jüngeren Patienten, von Bedeutung ist und Implantate zum Oberflächenersatz eher Anwendung in der elektiven Prothetik bei Coxarthrosen finden.

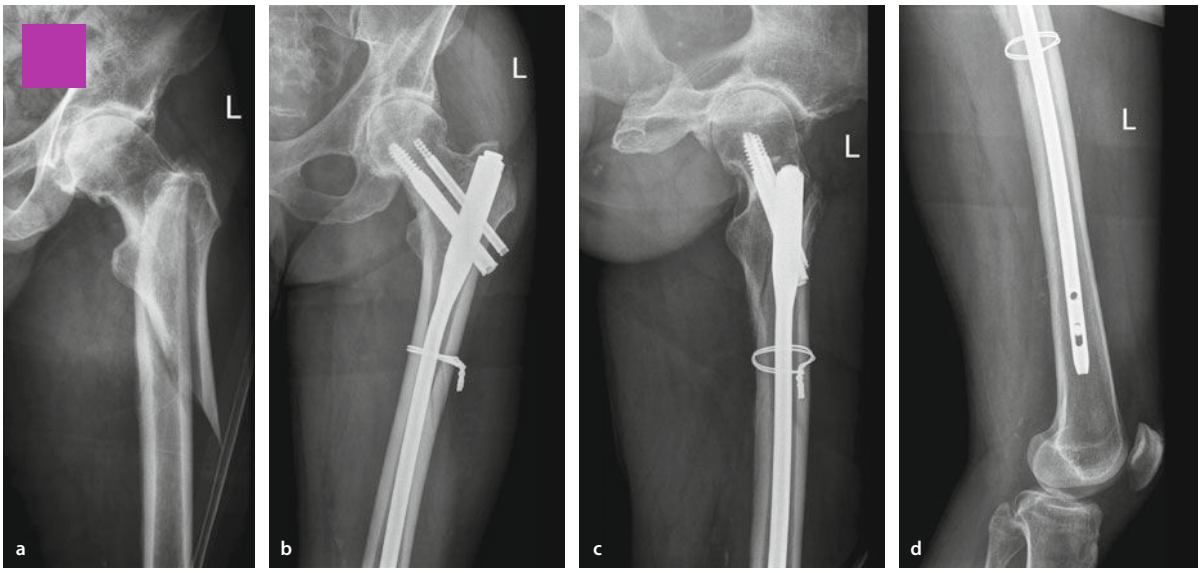
Totalendoprothesen weisen ein höheres Operationstrauma bei größerem Zugang und längerer Operationszeit mit höheren Blutverlusten und einer geringgradig erhöhten Infektrate auf. Verschiedenste Systeme wie Schraubpfannen, aber auch hemisphärische Pressfitsysteme konkurrieren miteinander.

Fixierung

Generell kann zementfrei implantiert werden. Diese Verfahrensweise bietet sich bei jungen Patienten mit guter Knochenqualität an. Hier ist in manchen Fällen eine Teilbelastung zu empfehlen, die einen Zeitraum von bis zu 5 Wochen umfassen sollte. Bei alten Patienten ist prinzipiell auch eine zementfreie Implantation möglich, wobei hier aufgrund des besseren Anwachsens eine Hydroxylapatitbeschichtigung der Titanschäfte zu empfehlen ist. Bei hemisphärischen Pfannen wird die zusätzliche Verschraubung aufgrund einer besseren Primärstabilität empfohlen. Dies ist bei gut sitzender Pfanne aufgrund der technisch ausgereiften Oberflächenstruktur der heutigen Implantate jedoch unserer Ansicht nach nicht mehr zwingend erforderlich.

Zementierten Systemen kann bei älteren Patienten mit einer geschätzten Lebenserwartung von <15 Jahren der Vorzug gegeben werden. Auch bei Nebenerkrankungen, wenn kurze Operationszeiten und eine sofortige postoperative Mobilisierbarkeit von besonderer Bedeutung sind, ist diese Verfahrensweise zu empfehlen. Kombinationen im Sinne von Hybridsystemen sind möglich.

Bei der Zementapplikation sollte das Aufraffeln des Schaftes etwa eine Nummer größer erfolgen, das Implantieren einer Markraumsperre ist obligat. Auch die Jet-Lavage des Knochenmarkraums ist unbedingt durchzufüh-



◘ **Abb. 8.16. 64 Jahre, weiblich. Sturz auf der Kellertreppe.** Subtrochantäre Femurfraktur (nach A0 32 A1 Fraktur). Versorgung mit langem PFN nach offener Reposition bei Interponat und Stabilisierung mittels Cerclage. Korrekte Platzierung der Schenkelhals- und Antirotationsschraube in beiden Ebenen (a.-p. und seitlich)

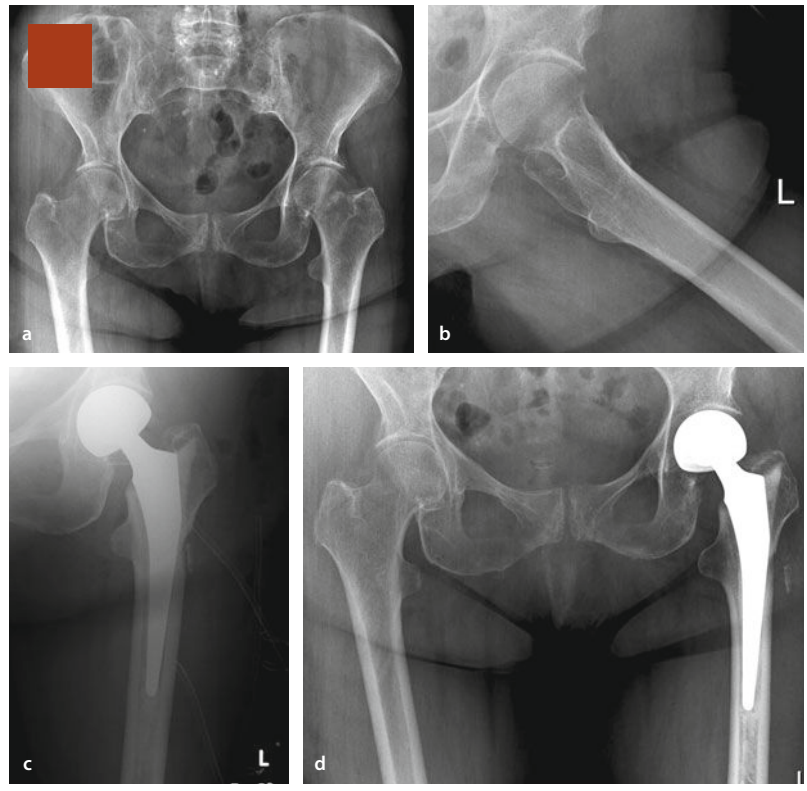


Abb. 8.17. 79 Jahre. Direkter Sturz auf die Hüfte. Grunderkrankung B-Zelllymphom unter Chemotherapie. Impaktierte, valgisierte Schenkelhalsfraktur (B1-Fraktur nach AO, Garden I, Pauwels I). Aufgrund der Abduktionsfraktur zunächst Versuch einer DHS-Implantation. Intraoperativ beim Beginn des Eindrehens in den Kopf Splitterung desselben; aufgrund dessen Verfahrenswechsel und Implantation einer zementierten Duokopfprothese

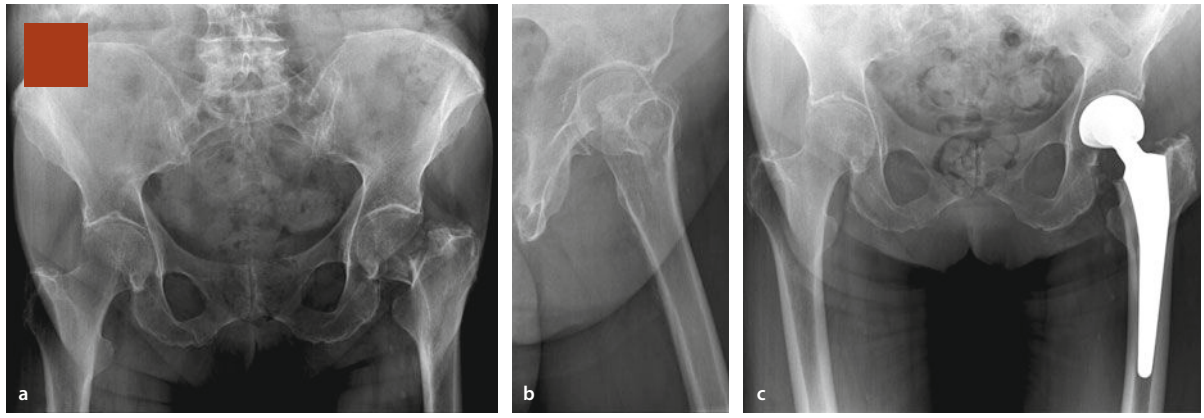


Abb. 8.18. 78 Jahre. Treppensturz auf die linke Hüfte. Transcervicale Schenkelhalsfraktur (B2 nach AO, Garden II). Versorgung initial mittels Duokopfprothese. Zement reicht nicht bis zur Prothesenspitze

ren, um eine exakte Verzahnung von Zement und trabekulären Strukturen zu ermöglichen. Die Vakuumtechnik zur Zementpräparation hat aufgrund einer reduzierten Blasenbildung zu einer entscheidenden Verbesserung der Langzeitstabilität geführt. Gleiches gilt für die Druckapplikation, die ebenso zum Standard der Implantationstechnik gehören sollte.

Zugang

Der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones und der transmuskuläre Zugang nach Bauer haben sich bewährt. Posteriore Zugänge (Kocher-Langenbeck) sind möglich, führen aber zu einer etwas erhöhten Luxationsrate. Intaoperative Frakturen/Fissuren treten insbesondere bei zementfreien Prothesen auf (<5%). Schaftperforationen

und eine Varusfehllage, die mit Frakturen an der Schaftspitze – auch noch nach Jahren – einhergehen kann, sind zu vermeiden.

Minimalinvasive Zugangswege sind in letzter Zeit in der Diskussion. Diese sollen zu einem geringeren Blutverlust und verminderten postoperativen Schmerzen führen, sodass die Rehabilitation verkürzt werden kann einschließlich des postoperativen stationären Aufenthalts. Verbesserte Werte bezüglich Schmerz und Funktion werden erzielt. So sollen die 6-Wochen-Ergebnisse dieser Methode den 6-Monats-Resultaten bei herkömmlichen Zugängen entsprechen [18]. Allerdings wird über Probleme mit der Wundheilung, Nervenverletzungen und sogar Fehlpositionierungen einzelner Implantatkomponenten berichtet. Abschließende Ergebnisse stehen noch aus. Daher sollte die Methode zunächst Zentren vorbehalten bleiben.

8.6 Nachbehandlung

Prinzipiell ist jede operativ versorgte Fraktur direkt nach Operationsende noch in der Narkosezeit *röntgenologisch zu kontrollieren*. Hier bieten sich 2 Ebenen an:

- die Beckenübersicht in der a.-p.-Ebene sowie
- eine exakt axial eingestellte Ebene.

Hiermit kann die zentrale Lage des Implantats im Hüftkopf überprüft werden.

Bei Hüftkopffrakturen ist ein *CT* postrepositionell obligat, um noch vorhandene intraartikuläre Fragmente auszuschließen und die Stellung zu kontrollieren.

Obligat ist auch die Stabilitätsprüfung auf dem Operationstisch in Narkose. Insbesondere bei Endoprothesen ist dies von Bedeutung, da so eine Luxationsneigung erkannt werden kann. Bei Schenkelhalsfrakturen oder auch bei Acetabulumfrakturen ist jedoch die Verfahrensweise zurückhaltend, da es zur Redislokation der Frakturfragmente kommen kann. Schraubenosteosynthetisch versorgte Hüftkopffrakturen sollten im Verlauf einer MRT-Untersuchung unterzogen werden, um die Vaskularität des Kopfs bzw. das Auftreten einer Kopfnekrose auszuschließen bzw. nachzuweisen.

Bei allen Hüftkopffrakturen, aber auch bei den Schenkelhalsfrakturen jedweder Versorgung ist direkt nach der Versorgung bzw. Behandlung eine *frühfunktionelle Therapie* mit möglichst sofortiger Mobilisation zu empfehlen. Das jeweilige Belastungsregime ist im entsprechenden operativen Kapitel ersichtlich. Teilbelastungen unter Verwendung von Gehstützen wirken sich im Gelenk allerdings kaum aus, stellen daher nur eine Vorsichtsmaßnahme dar, um Spitzenlasten, z. B. beim Stolpern oder bei unvorsichtiger Fortbewegung, zu reduzieren.

Des Weiteren bieten sich auch Verfahren wie die *Bewegungsschiene* an (»continuous passive motion«; CPM).

Wichtig

Dringend anzuraten ist eine Ossifikationsprophylaxe, z. B. mit Diclophenacpräparaten 2×1 Tbl. für mindestens 3 Wochen postoperativ.

Hüftkopffrakturen, aber auch Schenkelhalsfrakturen sollten teilbelasten oder sogar abrollbelasten. Bei Schenkelhalsbrüchen ist eine Zeit von 5 Wochen, bei den Hüftkopfverrenkungsbrüchen von 8–12 Wochen anzusetzen.

Generell sind *Bewegungsbäder* nach sicherer Wundheilung zu empfehlen, zusätzlich isometrische Übungen und eine Kräftigung der Oberschenkel- und rumpfstabilisierenden Muskulatur. Sollte bei Acetabulumbeteiligung auf dem Tisch noch eine provozierbare Subluxations- oder Luxationstendenz bestehen, ist eine supracondyläre Extensionsbehandlung für 3 Wochen postoperativ denkbar.

8.7 Sonderformen

Mehrfachverletzungen. Besonders häufig treten bei großer Gewalteinwirkung (Polytrauma, Mehrfachverletzte) mehrere Verletzungen der gleichen Extremität auf. Insbesondere bei Femurschaftfrakturen werden ipsilaterale proximale Femurfrakturen initial oft übersehen. Haas et al. geben hier eine Rate von >10% an [19].

Wichtig

Daher ist eine Beckenübersichtsaufnahme bei Schwerverletzten obligat.

Für die Versorgung stehen verschiedenste Marknagelsysteme mit der Option zur Schenkelhalsverriegelung zur Verfügung. Alternativ kann ein antegrader Femurmarknagel in der Miss-A-Nail-Technik oder ein retrograder Marknagel und eine separate Versorgung der Schenkelhalsfraktur (z. B. Zugschrauben, DHS) erfolgen. Die Enden der Implantate sollten mehrere cm voneinander entfernt liegen oder sich überlappen, um eine Sollbruchstelle im weiteren Behandlungsverlauf zu vermeiden.

Bei Dislokationsgefahr sollte zuerst die Schenkelhalsfraktur versorgt werden. Die Zugschrauben, z. B. der Stärke 6,5 mm können, variabel dorsal oder ventral des Marknagels implantiert werden. Wichtig ist, dass sie nicht im Hüftkopf zusammenlaufen, da dann eine Stabilitätsminderung resultiert. Ein geringes Divergieren ist anzustreben. Eine temporäre Sicherung mit Kirschner-Drähten vor Insertion des Nagels kann alternativ erfolgen.

Wie bereits oben erwähnt, sind die Hüftkopffrakturen ein Resultat höherer Gewalteinwirkungen. Sie treten demzufolge häufig bei mehrfachverletzten und bei polytraumatisierten Patienten auf. Daher ist auch auf begleitende Verletzungen, wie z. B. das häufige Schädel-Hirn-Trauma oder das Thoraxtrauma zu achten.

Wichtig

Generell sind zunächst die Vitalfunktionen zu sichern, dann erfolgt die Reposition der Fraktur.

Nach erfolgter Kreislaufstabilisierung und Reposition kann die Operation der gut reponiert stehenden Hüftkopffraktur erfolgen. Die durch Knochenfragmente oder Weichteilinterposition nicht reponierbaren hinteren Luxationen oder auch Subluxationen sind nach dem Versuch *einer* geschlossenen Reposition offen und so schnell wie möglich zu reponieren. Gleiches gilt natürlich auch für die Frakturen, die sofort irreponibel sind. Die Anzahl solcher komplizierten Verläufe liegt bei 20% der Fälle.

Des Weiteren werden bis zu 20% primäre *Ischiadicusläsionen* im Sinne von Traktions- oder Einklemmungsschäden beschrieben. Die Traktion kommt durch abgescherte hintere Pfannenfragmente, aber auch durch den luxierten Femurkopf zustande. Ist die Ischiadicusläsion direkt traumabedingt, ist dies keine Indikation zur notfallmäßigen Operation.

Wichtig

Sollte jedoch die Reposition eine neu aufgetretene Neurologie verursachen, ist eine Sofortoperation obligat.

Eine Restitutio ad integrum wird in bis zu 60% der Fälle beim genannten Vorgehen beschrieben. Ein neurologisches Konsil nach Reposition ist zu empfehlen. Bei Nervenschäden ist eine Peronaeusschiene zu verordnen sowie eine strikte Spitzfußprophylaxe durchzuführen. Selten kommt es auch im Spätverlauf zu Ischiadicusproblemen, insbesondere durch die Entwicklung heterotoper Ossifikationen, was die Verordnung einer Prophylaxe betont.

Hüftluxationen ohne Acetabulumfraktur oder Femurfraktur werden selten beobachtet. Sie betreffen insbesondere 20- bis 30-jährige Patienten, 80% davon sind Männer. Häufige Begleitverletzungen sind auch im Bereich der Füße zu beobachten, welche dann auftreten, wenn sich der Patient mit dem Fuß bei im Kniegelenk gestreckten Bein abstützt. Betroffen sind hier die Mittelfußknochen, aber auch der Calcaneus; nicht selten treten Luxationsfrakturen im Lisfranc-Gelenk auf. Bei den Schenkelhalsfrakturen sind insbesondere pathologische Frakturen, aber auch Schenkelhalsfrakturen im Rahmen eines Polytraumas zu verzeichnen.

Kinder und Jugendliche. Frakturen bei Kindern und Jugendlichen sind insgesamt selten und treten nur bei Einwirkung großer Gewalt auf. In etwa 75% der Fälle liegen Hochrasanztraumata und Mehrfachverletzungen zugrunde [20]. Sie stellen eine *Notfallindikation* dar, die zu einer schnellstmöglichen Versorgung mit anatomischer Reposition führen muss.

Eine Sonderform ist die *Epiphysiolyse*. Bis zum 9. Lebensjahr sind alle Brüche als Verletzungen der Wachstumsfuge anzusehen, da die Femurepiphyse und die Apophyse des Trochanter major als einzige gemeinsame quer liegende Epiphysenfuge angelegt sind. Wird verzögert operiert, treten gehäuft kaum beeinflussbare Kopfnekrosen und konsekutive Wachstumsstörungen auf. Ganz besonders wichtig ist hier die *Druckentlastung im Gelenk* durch Punktion, Kapsulotomie oder Anbohrung des Gelenks über den Führungsdraht bei Osteosynthese [11]. Die Hauptgefäßversorgung kommt aus der A. circumflexa femoris medialis, die dorsal den Schenkelhals kreuzt. Sie ist bei der Kapsulotomie nicht gefährdet [21].

Prinzipiell ist eine Reposition und definitive Versorgung sofort anzustreben. Die Therapie richtet sich nach dem Alter der Kinder. Bis zu 3 Jahren sind Kirschner-Dähte das Implantatmaterial der Wahl. Ein Becken-Bein-Gips sollte sichernd postoperativ angelegt werden. Bis zum etwa 8. Lebensjahr sind kanülierte Zugschrauben mit 4,0 mm und darüber von 6,5 mm Durchmesser zu empfehlen. Die Zugschrauben sollten die Epiphysenfuge des Hüftkopfs nicht tangieren. Bei der operativen Versorgung ist ein *Vorschneiden des Gewindes* grundsätzlich aufgrund der bei Kindern guten Knochenqualität zu empfehlen. Eine Sicherung der Rotation durch parallele Drähte ist erforderlich.

Prinzipiell hat die Sicherung der Stabilität Vorrang vor der Epiphyse. Die Stabilität ist absolut erforderlich, um Komplikationen gering zu halten, außerdem ist die Auswirkung einer Epiphysenverletzung gering, da diese Epiphyse nur zu ca. 13% am Längenwachstum der unteren Extremität teilnimmt [20]. Implantierte Kirschner-Drähte sollten nach Frakturkonsolidierung, andere Implantate nach 1 Jahr entfernt werden.

Ältere Personen. Sollte eine Totalendoprothese bei älteren Patienten erforderlich werden, umfasst dies mitunter eine sorgfältige Planung und Vorbereitung aufgrund möglicher Nebenerkrankungen des Patienten, sodass eine Operation innerhalb von 48 h toleriert werden kann. Die Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie sieht die nicht kopferhaltenden Verfahren als Eingriffe der dringlichen Frühversorgung [22]. Lange Warte- und Vorbereitungszeiten führen nicht nur zu einer erhöhten Morbidität, sondern auch zu einer

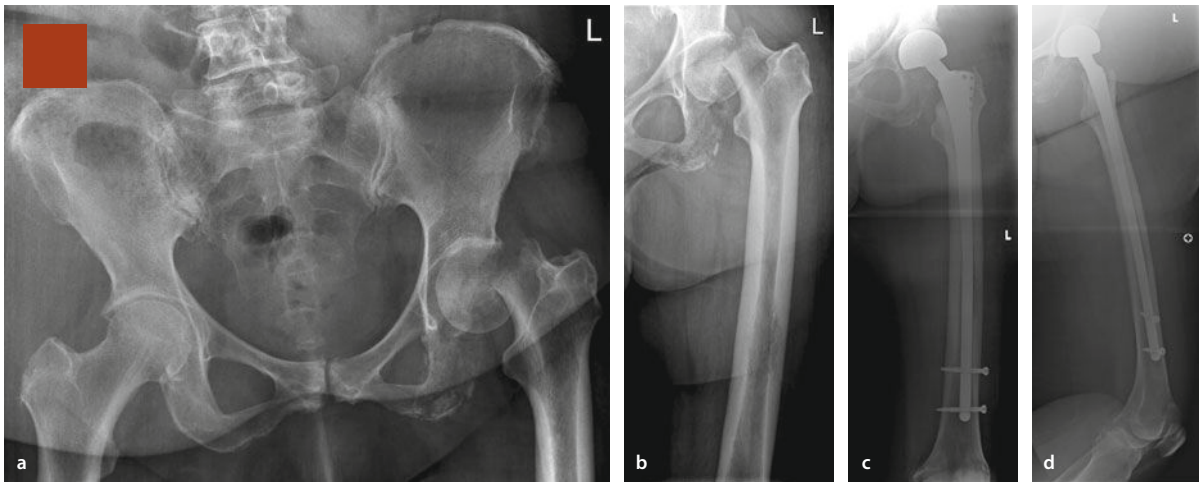


Abb. 8.19. 66 Jahre, weiblich. Während eines stationären Aufenthalts bei onkologischer Grunderkrankung pathologische Spontanfraktur des linken Schenkelhalses (**a**, **b**). Zustand nach Uteruskarzinom vor 2 Jahren, aktuell Primärtumorsuche aufgrund ossärer Clivusmetastase eines schlecht differenzierten Adenokarzinoms. Versorgung mit Duokopfprothese und distal verriegelbarem Langschaft (**c**, **d**) bei Metastase der lateralen Schaftcorticalis (**b**, **c**)

Zunahme von Frühkomplikationen (Anstieg der Revisionshäufigkeit [23]).

Pathologische Frakturen. Bei pathologischen Knochenprozessen sollte bei Stabilitätsgefährdung mit drohender Fraktur *vor* dem Eintreten der Fraktur operiert werden. Prinzip ist die marginale Resektion des Herdes im Gesunden bei mechanisch sicherer Stabilisierung. Das Behandlungsziel ist damit der Funktionserhalt bei lokaler Radikalität. Die Ergebnisse sind besser als nach Eintritt der Fraktur. Bei weit fortgeschrittenem Tumorleiden ist die Operation im Sinne eines nicht resezierenden stabilisierenden Verfahrens angezeigt (Abb. 8.19).

8.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Mortalität hüftgelenknaher Femurfrakturen während des stationären Aufenthalts wird mit etwa 5–7% angegeben [24,25]. Dass eine operative Versorgung erfolgen sollte, ist unstrittig. So wurden nach einer Untersuchung im Bereich der Ärztekammer Westfalen-Lippe aus dem Jahr 1999 nur noch 4,2% der Patienten konservativ behandelt [26]. Die Rate von Pseudarthrosen und Beinlängendifferenzen ist bei Operation signifikant geringer [27].

Bei den Schenkelhalsfrakturen hängt die Häufigkeit mancher Frühkomplikationen wie Revisionshäufigkeit sowie das Auftreten von revisionspflichtigen Seromen oder Hämatomen vom Operationszeitpunkt [23] und vom gewählten Verfahren ab. Bezüglich des Zeitpunkts sind kopferhaltende Operationen als Notfalleingriffe einzustufen, die möglichst innerhalb eines 6-h-Fensters operiert werden sollen. Die nicht kopferhaltenden Verfahren gelten als Operationen der dringlichen Frühversorgung [22, 28]. Dabei scheint es keinen negativen Einfluss auf das postoperative Ergebnis zu haben, ob nachts oder am Tag operiert wird [29].

Bezüglich der Morbidität, Mortalität, den Kosten sowie der Länge des stationären Aufenthalts in Abhängigkeit vom präoperativen stationären Intervall sind die Ergebnisse uneinheitlich [30–32]. Allerdings verteuert sich der stationäre Aufenthalt, wenn erst nach dem 2. Tag nach Aufnahme operiert wird [33].

Wichtig erscheint es uns, erneut auf die Reposition hinzuweisen. Um die Heilungsraten zu verbessern, sind Osteosynthesen in leichter Valgisierung empfohlen worden. Dies ist jedoch nicht generell zu favorisieren. Als Faustregel gilt: Je jünger der Patient ist, desto »anatomischer« sollte reponiert werden; oder je älter er ist, desto eher kann leicht valgisiert fixiert werden. Grundlage dafür ist, dass sich bei anatomischer Reposition in der Folge nur bei 21% der Fälle Coxarthrosen entwickelten (Operation in mehr als 5° Valgisierung: 56%). Auch wurde nach dem Merle-d'Aubigné-Score ein besseres funktionelles Resultat bei anatomischer Reposition erreicht [9].

Osteosynthesen führen häufig zu Hämatomen, die in ausgedehnten Fällen eine sekundäre Hämatomausräumung notwendig machen. Sekundäre Dislokationen werden in

etwa 5% der Fälle beschrieben, Kopfnekrosen in ca. 20% und Pseudarthrosen in 15%. Rund 15% der Patienten benötigen im weiteren Verlauf eine Endoprothese [11]. Die Infekthäufigkeit liegt im Bereich von wenigen Prozent [34]. Sie ist bei Frakturen etwas höher als bei elektiven Eingriffen wie z. B. bei der Coxarthrose. Es empfiehlt sich daher eine prophylaktische Resektion von durch die Fraktur eingeblutetem und nekrotisch gewordenem Gewebe. Des Weiteren werden Rotationsfehler, aber auch Schraubendislokationen beobachtet. Insgesamt zeigten in einer Metaanalyse 16% der Patienten nach Osteosynthese ein Implantatversagen, 32% eine Pseudarthrose und 16% avaskuläre Nekrosen [35].

Die intraoperativen Komplikationen und Reoperationsraten werden beim γ-Nagel höher angegeben als bei der DHS [16]. Ähnliches gilt für subtrochantäre Brüche; bei dieser Bruchform werden bis 80% zufriedenstellende Ergebnisse nach Operation angegeben, wobei die intramedullären Verfahren etwas bessere Resultate bringen als die extramedullären Implantate [36]. Beim γ-Nagel werden 10,5% intraoperative Komplikationen angegeben und bei der DHS 2,9%. Zusätzlich bestanden Verriegelungsprobleme und in 7,9% der Fälle waren Reoperationen erforderlich [16]. Dagegen werden Klassiknagel und DHS von den intraoperativen Komplikationsraten und den funktionellen Ergebnissen bis mehrere Monate postoperativ als gleichwertig angesehen [37]. Unterschiedliche Nagelsysteme wie PFN und γ-Nagel erzielen vergleichbare Ergebnisse; sekundäre Dislokationen waren nicht signifikant different.

Zu den Vorteilen des ursprünglich entwickelten PFN gehört die bessere Rotationsstabilität aufgrund des 2-Schrauben-Systems (Design in der Zwischenzeit geändert). Nachteilig kann das Nageldesign bei kurzen Femura sein, da die Nagelspitze die ventrale Corticalis erreichen kann und Schaftfrakturen im Verlauf in bis zu 4% der Fälle beobachtet wurden. Reoperationen waren zu etwa 5% erforderlich [38].

Beim Vergleich von DHS in Kombination mit einer Trochanterabstützplatte mit dem PFN bei instabilen trochantären Frakturen erzielte der PFN kürzere Operationszeiten und eine geringere Dauer des stationären Aufenthalts. Allerdings wurden bei intramedullären Verfahren mehr intraoperative Komplikationen beobachtet als bei der DHS [39]. Mehr Patienten konnten initial voll belasten. In der Literatur wird eine Belastungsstabilität von bis zu 90% nach intramedullärer Ostesynthese angegeben [40].

6 Monate postoperativ zeigten die mit dem Marknagel versorgten Patienten eine signifikant geringere Schmerzintensität [41]. Sekundäre Dislokationen wurden in 2,6% der Fälle nach Versorgung mit DHS beobachtet [40].

Wichtig

Bei A1-Frakturen die ist DHS, bei A2- und A3-Frakturen ein intramedulläres Verfahren als Implantat der Wahl anzusehen [42].

Die valgisierende intertrochantäre Osteotomie ist von deutlichen Problemen begleitet. In einer Untersuchung an 50 Patienten war ein axialer Kollaps bzw. eine klinisch apparente Beinverkürzung bei 74% und 6% der Operierten zu verzeichnen. Oberflächliche und tiefe Infektionen traten bei 6%, ein Cutting-out bei 4% und Außenrotationsfehler in 68% auf [43]. Diese Versorgung bleibt daher unserer Ansicht nach bei den heute vorhandenen Implantaten Ausnahmefällen vorbehalten.

Allgemeine Komplikationen stellen Lungenarterienembolien und tiefe Beinvenenthrombosen sowie Pneumonien und Harnwegsinfekte bei etwa 20% der Patienten dar. Es kann zu Infektionen im Bereich der Implantate, aber auch der Fraktur und des Gelenks kommen, ein prolongierter Ileus sowie die Decubitusentwicklung sind häufig, was die Wichtigkeit der *Frühmobilisation* unterstreicht. Im Fall der Prothetik ist die Lockerung als klassisches implantatbedingtes Problem zu nennen. Hier kommt es über einen aseptischen Mechanismus zur Knochenresorption, wobei verschiedene Interleukine zu einer Aktivierung und Rekrutierung von Osteoklasten führen. Frühlockerungen werden bei etwa 4% der Fälle beobachtet, was zu einer Wechseloperation zwingt.

Aufgrund der hohen Komplikationsrate empfehlen viele Autoren bei Patienten im hohen Lebensalter die großzügige Implantation von Hemiprothesen oder Totalendoprothesen [44]. Aufgrund der beschriebenen Vorteile ist bei den Schenkelhalsfrakturen die Hemiendoprothese die führende Versorgung (40,9% [25]). Die Infektrate bei Endoprothesen liegt bei etwa 0,5%, sofern eine Single-Shot-Antibiotikaprophylaxe durchgeführt wird. Der Vergleich zwischen Prothesen und DHS bzw. intramedullären Verfahren erbringt bei extrakapsulären Frakturen keinen eindeutigen Hinweis auf Vorteile eines der genannten Verfahren. Als einzige Unterschiede sind Operationsdauer und intraoperativer Blutverlust sowie die Notwendigkeit von Bluttransfusionen bei der Prothetik etwas erhöht [45].

Spätkomplikationen stellen Pseudarthrosen dar, die bei einer Nichtheilung von >6 Monaten diagnostiziert werden können. Die Ursachen sind meist mechanischer Art oder einer mangelhaften Biologie geschuldet. An mechanischen Ursachen ist eine verminderte Stabilität, ein Fragmentabstand oder eine frühe Belastung zu nennen. Biologische Ursachen stellen schlechte Vaskularisation oder Metabolik sowie bestimmte Medikamente wie Antiphlogistika und Zytostatika dar.

Die Kopfnekrose kann über verschiedene Zwischenstadien bis zur vollständigen Gelenkdestruktion führen. Bis zum Stadium III nach Ficat sind Revaskularisationsversuche möglich, wie z. B. der gefäßgestielte corticospongiöse Span, aber auch die intraossäre Druckentlastung durch Knochenentnahme. Eine weitere Option bildet das vaskularisierte Fibulafragment. Das Stadium IV stellt eine völlige Destruktion dar, wobei hier prinzipiell die Endoprothese erforderlich wird.

Unipolare Femurkopfendoprothesen weisen den typischen Nachteil einer erhöhten Abriebrate bei fehlender Beweglichkeit des Kopfs auf. Hier ist die Protrusio-acetabuli-Rate besonders hoch. Angegeben werden Werte bis zu 28% [46]. Die Implantation solcher Systeme wird daher von den Autoren als obsolet betrachtet, kann allenfalls bei Patienten mit einer geschätzten Lebensdauer von <5 Jahren erfolgen. Besser sind pfannenprotektive bipolare Prothesensysteme mit beweglichen Kopfprothesen, die direkt auf den Schaft aufgesetzt werden (Duokopfprothesen). Dem Polyethyleneinsatz wird eine stoßdämpfende Wirkung zugeschrieben. Der Vorteil dieser zwei Gelenke, d. h. des Gelenks zwischen Kopfprothese und Pfanne sowie zwischen Kopfprothese und Kopf des Schaftes ist die geringe Protrusionsrate von <1% [46].

Die Prognose der *Hüftkopffrakturen* ist generell nicht besonders gut. Ursächlich sind Mechanismus und Lokalisation der Fraktur. Daher werden bis 20% Ischiadicusläsionen beobachtet, wovon etwa 60% reversibel sind. Im Verlauf auftretende Spätläsionen des N. ischiadicus durch heterotope Ossifikationen oder ossifizierende Hämatome können ebenso problematisch werden.

Bei bis zu 25% der Patienten treten begleitende Knieverletzungen auf. Betroffen sind Frakturen des Tibiakopfes aber auch der Femurcondylen sowie der Kniescheibe. Häufig beobachtet werden auch ligamentäre Schäden der Kreuzbänder oder der Seitenbänder.

Die Zugangsmorbidität bei ausgedehnten Zugängen ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Diese ist erhöht bei zusätzlichem Schädel-Hirn-Trauma aber auch bei Cholestase sowie großen therapiefreien Intervallen. Daher ist eine weichteilschonende Operationstechnik besonders wichtig; Prostaglandininhibitoren zur Prophylaxe von Schäden sind unbedingt erforderlich.

Ein weiteres Problem stellt die Arthrose des Hüftkopfes bzw. des Hüftgelenks dar. Ursächlich sind Stufen, aber auch Knorpelschäden durch den Mechanismus. Die Arthroserate liegt bei <20%, wenn eine Luxation ohne Fraktur eingetreten ist. Werte bis zu 90% werden in der Literatur jedoch erwähnt bei Luxationen mit Frakturen. Besonders problematisch sind die Pipkin-II- und -IV-Frakturen, wobei hier etwa 50% der Fälle relevante Arthrosen aufweisen, die schlechteste Prognose haben die Pipkin-III-Frakturen. Langfristig ist hier häufig die Implantation einer Hüfttotalendoprothese nötig. Hintere Instabilitäten sind dann häufig, wenn es zum Verlust von hinteren Pfannenfragmenten gekommen ist. Mögliche Therapieoption ist die Implantation eines tricorticalen Beckenkammspans am hinteren Acetabulumrand.

Besonders problematisch ist auch die chronische Subluxation infolge einer Gelenkinkongruenz, die immer zur Früharthrose führt. Die avaskuläre Kopfnekrose wird insgesamt bei bis zu 15% der Luxationen ohne Frakturen beobachtet. Die Häufigkeit steigt bei zunehmender Länge des therapiefreien Intervalls.

> Kopfnekrosen können bis etwa 5 Jahre nach dem Unfall beobachtet werden, treten aber meist innerhalb der ersten beiden Jahre auf, sodass der oben genannte MRT-Verlauf dringend zu dokumentieren ist.

Bei den *kindlichen Frakturen* ist in den meisten Fällen nach 4–6 Wochen eine knöcherne Heilung erreicht. Nach radiologischer Sicherung kann der Belastungsaufbau erfolgen. Die Häufigkeit von Nekrosen wird mit 31% angegeben [20]. Symptome sind dann Schmerz und Einschränkung der Beweglichkeit durch die reaktive Synovitis. Auch Pseudarthrosen (etwa 7%) und Varusfehlstellungen werden beobachtet; beide können durch operative Maßnahmen korrigiert werden. Insgesamt werden in bis zu 60% der Fälle Komplikationen beschrieben [20].

MRT-Verlaufsuntersuchungen sind nach dem Belastungsaufbau und nach 1–2 Jahren zu empfehlen.

Eine Coxa vara tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 19% auf, und dies insbesondere nach konservativer Behandlung. Ursachen sind verzögerte Knochenheilungen, avaskuläre Nekrosen, vorzeitiger Epiphysenschluss oder Kombinationen. Typisch ist das Trendelenburg-Hinken bei Insuffizienz der Glutäalmuskulatur; Arthrosen sind im weiteren Verlauf häufig. Therapie der Wahl ist die intertrochantäre subtraktive valgisierende Osteotomie. Ein vorzeitiger Epiphysenschluss wird bei 28% der Fälle beobachtet, insbesondere dann, wenn Osteosynthesen die Epiphysenfuge überschreiten oder eine avaskuläre Nekrose auftritt.

8.9 Begutachtung

Wie bereits beschrieben, hängt die Prognose in aller Regel von der Qualität der operativen Versorgung ab. Gelenkstufen führen zu erheblichen Destruktionen bis hin zur Früharthrose oder aber auch zur Kopfnekrose. In solchen Fällen sind Endoprothesen erforderlich. Je nach funktionellem Status kann der Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) bei <10 bei einer Restitutio ad integrum liegen, kann aber auch Werte von 30 und mehr auf Dauer bei schmerzhaften

31

Bewegungseinschränkungen annehmen, wenn erhebliche Destruktionen des Gelenks verbleiben oder gar z. B. nach Infekten eine Girdlestone-Situation nach Explantation infizierter Prothesen erforderlich ist. Hier kann der GdB/MdE sogar 50 bei Osteomyelitiden oder persistierenden Girdlestone-Situationen betragen. Lockere Endoprothesen können einen GdB/MdE von 40–60, infizierte Prothesen von bis zu 80 bedingen.

Literatur

1. A. Dávid, G. Muhr, Frakturen des coxalen Femurendes. Zentralbl Chir 120: 831 (1995)
2. B. Häussler, H. Gothe, S. Mangiapane, G. Glaeske, L. Pientka, D. Felsenberg, Versorgung von Osteoporosepatienten in Deutschland: Ergebnisse der EVA-Studie. Dtsch Ärztebl 103: A-2542–2548 (2006)
3. U. Stöckle, M. Lucke, N.P. Haas, Der Oberschenkelhalsbruch. Dtsch Ärztebl 102: A3426-A3434 (2005)
4. M. Singh, A.R. Nagrath, P.S. Maini, Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. J Bone Joint Surg 52-A: 457–467 (1970)
5. M.E. Müller, M. Allgöver, R. Schneider, H. Willenegger, Manual der Osteosynthese / AO-Technik, 3. Aufl. Springer, 1992, Berlin Heidelberg New York
6. A. Dávid, J. Richter, T. Hüffner, Mediale Schenkelhalsfraktur – kopferhaltende Therapiekonzepte. Zentralbl Chir 120: 841–849 (1995)
7. R.S. Garden, Stability and union in subcapital fractures of the femur. J Bone Joint Surg 46-B: 630–647 (1964)
8. M.J. Parker, Y. Dynan, Is Pauwels classification still valid? Injury 29: 521–523 (1998)
9. B. Fuchtmeier, R. Hente, M. Maghsudi, M. Nerlich, Repositioning femoral neck fracture in younger patients. Valgus or anatomic reposition? Unfallchirurg 104: 1055–1060 (2001)
10. F. Bonnaire, A.T. Weber, The influence of hemarthrosis on the development of femoral head necrosis following intracapsular femoral neck fractures. Injury 33 (Suppl 3): 33–40 (2002)
11. F. Bonnaire, T. Lein, K.J. Engler, Behandlung der Schenkelhalsfrakturen. Chirurg 79: 595–612 (2008)
12. E.H. Kuner, W. Lorz, F. Bonnaire, Schenkelhalsfrakturen beim Erwachsenen: gelenkerhaltende Operationen. I. Ergebnisse der AO-Sammelstudie mit 328 Patienten. Unfallchirurg 98: 251–258 (1995)
13. R. Smektala, M. Wennig, A. Ekkernkamp, Die Schenkelhalsfraktur des jüngeren Patienten. Unfallchirurg 104: 820–826 (2001)
14. M. Galla, P. Lobenhoffer, Die minimal-invasive Schraubenosteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur im höheren Lebensalter. Unfallchirurg 107: 381–387 (2004)
15. R. Smektala, M. Luka, B. Claasbrummel, Gibt es das universelle Implantat zur Versorgung trochantärer Frakturen? Unfallchirurgie 25: 43–49 (1999)
16. K.M. Stürmer, K. Dresing, Pertrochantäre Frakturen. Zentralbl Chir 120: 862–872 (1995)
17. M.B. Sommers, C. Roth, H. Hall, B.C.C. Kam, L.W. Ehmke, J.C. Krieg, S.M. Madey, M. Bottlang, A laboratory model to evaluate cutout resistance of implants for pertrochanteric fracture fixation. J Orthop Trauma 18: 361–368 (2004)
18. H. Röttinger, Minimal-invasiver anterolateraler Zugang in der Hüftendoprothetik. Orthopäde 35: 708–715 (2006)
19. N.P. Haas, M. Schütz, C. Mauch, R. Hoffmann, N.P. Südkamp, Versorgung ipsilateraler Frakturen des Femurschaftes und des proximalen Femurs – Therapieübersicht und aktuelles Management. Zentralbl Chir 120: 856–861 (1995)
20. M.P. Hahn, P.A.W. Ostermann, D. Richter, A. Dávid, Klassifikation, Therapie, und Komplikationen der kindlichen Schenkelhalsfrakturen. Zentralbl Chir 120: 832–840 (1995)
21. J.A. Ogden, Changing patterns of proximal vascularity. J Bone Joint Surg 56-A: 941–950 (1974)
22. F. Bonnaire, E.H. Kuner, Schenkelhalsfraktur. In: Stürmer KM (Hrsg) Leitlinien Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart New York, 1998, 129–140
23. Müller-Mai C, U. Schulze Raestrup, A. Ekkernkamp, R. Smektala, Frühkomplikationen nach Versorgung der Schenkelhalsfraktur – Einfluss des Operationszeitpunktes – Analyse von 30254 Fällen der externen Qualitätssicherung in Westfalen-Lippe. Chirurg 77: 61–69 (2006)
24. R. Smektala, M. Wennig, M. Luka, Ergebnisse einer prospektiven Studie zur Frage des Operationszeitpunktes an 161 älteren Patienten. Zentralbl Chir 125: 744–749 (2000)
25. R. Smektala, M. Wennig, S. Paech, T. Windhorst, Schenkelhalsfraktur – Resultate externer Qualitätssicherung an 32000 Patienten. Z Ärztl Fortbild Qualitätssich 95: 209–218 (2001)
26. R. Smektala, M. Wennig, A. Ekkernkamp, Schenkelhalsfraktur: Analyse der Ergebnisse externer Qualitätssicherung – ein Bericht über 22556 Patienten. Chirurg 70: 1330–1339 (1999)
27. M.J. Parker, H.H.G. Handoll, A. Bhargara, Conservative versus operative treatment for hip fractures. Cochrane Database Syst Rev 1: CD000337 (2000)
28. F. Bonnaire, E.H. Kuner, W. Lorz, Schenkelhalsfrakturen beim Erwachsenen: gelenkerhaltende Operationen. II. Die Bedeutung des Operationszeitpunktes und des Implantats für die Genese der aseptischen Hüftkopfnekrose. Unfallchirurg 98: 259–264 (1995)
29. R. Dorotka, H. Schoechtner, W. Buchinger W, Auswirkungen von in der Nacht durchgeführten Stabilisierungsoperationen bei hüftnahen Femurfrakturen auf Mortalitätsrate und Komplikationen. Unfallchirurg 106: 287–293 (2003)
30. B.J.A. Lankester, M.P. Paterson, J. Capon, J. Belcher, Delays in orthopaedic trauma treatment: setting standards for the time interval between admission and operation. Ann R Coll Surg Engl 82: 322–326 (2000)
31. T. Dolk, Operation in hip fracture patients – analysis of the time factor. Injury 21: 369–372 (1990)
32. J.D. Zuckerman, M.L. Skovron, K.J. Koval, G. Aharonoff, V.H. Frankel, Post operative complications and mortality associated with operative delay in older patients who have a fracture of the hip. J Bone Joint Surg 77-A: 1551–1556 (1995)
33. S. Shabat, E. Heller, G. Mann, R. Gepstein, B. Fredman, M. Nyska, Economic consequences of operative delay for hip fractures in a non-pro fit institution. Orthopedics 26: 1197–1199 (2003)
34. A. Dávid, J. Richter, D. Visel, Diagnostik und Therapie lokaler Infektionen nach operativer Versorgung proximaler Femurfrakturen. Zentralbl Chir 120: 887–892 (1995)
35. G.L. Lu-Yao, R.B. Keller, B. Littenberg, J.E. Wennberg, Outcomes after displaced fractures of the femoral neck. A meta-analysis of one hundred and six published reports. J Bone Joint Surg 76-A: 15–25 (1994)
36. N.J. Craig, N. Maffulli, Subtrochanteric fractures: current management options. Disabil Rehabil 27: 1181–1190 (2005)
37. R. Hoffmann, G. Schmidmaier, R. Schulz, M. Schütz, N.P. Südkamp, Classic Nagel vs. Dynamische Hüftschraube. Eine prospektiv randomisierte Studie zur Behandlung pertrochantärer Femrufrakturen. Unfallchirurg 102: 182–190 (1999)
38. M. Müller, A. Seitz, L. Besch, R.E. Hilgert, A. Seekamp, Versorgung pertrochantärer Femurfrakturen. Unfallchirurg 111: 71–78 (2008)

39. R. Smektala, K. Hupe, S. Paech, Pertrochantäre Femurfrakturen – Analyse der Daten externer Qualitätssicherung im Rahmen einer Flächendeckenden Erfassung. Z Ärztl Fortbild Qualitätssich 99: 537–545 (2005)
40. A. Dávid, D. von der Heyde, A. Pommer, Therapiemöglichkeiten trochantären Frakturen. Orthopäde 29: 294–301 (2000)
41. S. Nuber, T. Schönweiss, A. Rüter, Stabilisierung von instabilen trochantären Mehrfragmentfrakturen. Vergleich zwischen PFN und DHS mit Trochanterabstützplatte. Unfallchirurg 106: 39–47 (2003)
42. G. Taeger, C. Schmidt, R. Zettl, L. Schweiberer, D. Nast-Kolb, Die stabile und instabile pertrochantäre Femurfraktur. Differenzierte Indikationsstellung für die dynamische Hüftschraube. Unfallchirurg 103: 741–748 (2000)
43. N.K. Magu, R. Singh, R. Mittal, R. Garg, A. Wokhlu, A.K. Sharma, Osteosynthesis and primary valgus intertrochanteric osteotomy in displaced intracapsular fracture neck of femur with osteoporosis in adults. Injury 36: 110–122 (2005)
44. A. Ekkernkamp, P.A.W. Ostermann, G. Muhr, Die Schenkelhalsfraktur des alten Menschen – differenziertes Vorgehen. Zentralbl Chir 120: 850–855 (1995)
45. M.J. Parker, H.H. Handoll, Replacement arthroplasty versus internal fixation for extracapsular hip fractures in adults. Cochrane Database Syst Rev 19: CD000086 (2006)
46. R Rahmanzadeh, Die Duokopfprothese. Hefte Unfallheilkd 174: 393–395 (1985)

9 Oberschenkelschaft

G. Heinrichs, A. Paech, A.P. Schulz, M.M. Kaiser

Definition

Ursprünglich handelte es sich in der klassischen Einteilung um Frakturen des mittleren Drittels des Oberschenkels. Aufgrund des Einsatzes moderner Verriegelungsnägel hat sich die operative Versorgung dieser Frakturen inzwischen auf 3/5 des Femurs und sogar darüber hinaus ausgeweitet und umfasst nun auch subtrochantäre Frakturen und distale, supracondyläre Frakturen. Supracondyläre Frakturen werden in der AO-Klassifikation jedoch separat behandelt.

Wie die Brüche des Femurs nach der AO-Klassifikation einer Region zugeordnet werden, ist im Detail in ▶ Kap. 1 ersichtlich. Zur Region 32 des Femurs zählen alle Brüche, deren Frakturzentrum außerhalb eines Quadrats liegt, dessen Kantenlänge der größten Breite der distalen bzw. proximalen Epiphyse liegt (▶ Kap. 1). Das Zentrum liegt bei einer einfachen Fraktur in der Mitte der Bruchlinie. Bei der Keilfraktur wird es durch die breiteste Stelle des Keils festgelegt. Weiter distal lokalisierte Frakturzentren sind der Region 33 distaler Oberschenkel zuzuordnen. Subtrochantäre Frakturen werden generell der Region 32 Oberschenkelschaft zugeordnet. Dies stellt eine Ausnahme innerhalb der AO-Klassifikation dar.

Der Oberschenkelschaftbruch ist vornehmlich eine Verletzung bei jungen Männern und wird i. Allg. nicht dem osteoporotischen Formenkreis zugeordnet. Einzige Ausnahme bilden hier die periprothetischen Frakturen, die bei bis zu 5% der Hüftendoprothesenträger auftreten [1–4].

9.1 Mechanismus

Mögliche Ursachen sind *direkte* Gewalteinwirkungen durch Sturz und nachfolgenden Anprall, aber auch *indirekte Gewalteinwirkung*, beispielsweise bei Hochrasanztraumata [1, 5].

Wichtig

Eine Femurfraktur bei einem jüngeren Menschen ist immer als Hinweis auf ein beträchtliches Trauma anzusehen, das oft mit zusätzlichen Verletzungen kombiniert ist. Empfehlenswert ist erfahrungsgemäß dabei v. a. der Ausschluss einer gleichzeitigen Schenkelhalsfraktur.

Bei älteren Patienten ist aufgrund von Osteoporose oder auch bei pathologischen Frakturen ein als Bagatelltrauma eingestuftes Geschehen ausreichend. Hier gilt es, das klinische Bild korrekt einzuordnen. Bei *Kindern* finden sich als Ursachen große *Torsionskräfte* oder direkte *Anpralltraumata*.

9.2 Klinik

Es finden sich oftmals die typischen *indirekten Frakturzeichen* wie
- Schwellung,
- Hämatombildung,
- Schmerzen.

Des Weiteren zu beobachten sind *klinische Zeichen* wie
- Achsenabweichung,
- Verkürzung,
- anormale Beweglichkeit,
- fehlende Funktion.

Bei erheblicher Krafteinwirkung finden sich häufig ausgeprägte *Weichteilverletzungen*. Offene Frakturen sind aufgrund des starken Weichteilmantels selten, meist handelt es sich um Durchspießungen von innen nach außen, also um erstgradige offene Verletzungen. *Muskelrisse* und subkutane Décollements dürfen nicht übersehen werden. Das Ausmaß des Weichteilschadens hat entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Versorgung.

Cave
Auch am Oberschenkel ist ein Kompartmentsyndrom möglich.

9.3 Diagnostisches Vorgehen

Das Standardverfahren ist eine *Röntgenaufnahme in 2 Ebenen* – a.-p. und seitlich. Dabei müssen die angrenzenden Gelenke mit abgebildet werden. Verpflichtend ist bei der körperlichen Untersuchung die Erhebung eines neurovaskulären Status der peripheren Regionen. Beim polytraumatisierten Patienten oder anderen vermuteten Zusatzverletzungen ist ein ausführlicher Untersuchungsalgorithmus – beispielsweise die Durchführung einer sog. Traumaspirale mittels CT – erforderlich, da mögliche Zusatzverletzungen einen Einfluss auf die Versorgung haben (z. B. Kontraindikation für endomedulläres Verfahren bei relevantem Thoraxtrauma; ▶ Kap. 9.5).

Wichtig
Schenkelhalsfraktur sicher ausschließen!

Bei *Kindern* sind Oberschenkelschaftfrakturen nahezu immer disloziert und imponieren durch eine sichtbare Fehlstellung (Verkürzung und Achsabweichung), sodass in der Notfalldiagnostik eine Röntgenaufnahme genügt. Wie immer ist die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität (DMS) zu prüfen.

9.4 Klassifikationen

9.4.1 AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation (Abb. 9.1) unterscheidet
- einfache (A),
- keilförmige (B) und
- komplexe (C) Frakturen.

Dabei können alle Frakturtypen spiralförmig (A1, B1, C1) verlaufen.

Frakturen Typ A. A-Frakturen können daneben schräg oder quer verlaufen. >30° im Vergleich zur Schaftebene verlaufend werden die Frakturen dem schrägen Typ zugeordnet (A2); <30° dem queren Typ. Bei den letzten Frakturen ist die Pseudarthroserate erhöht.

Frakturen Typ B. Der meist mediale Keil bei B-Frakturen kann zudem als Biegungskeil vorliegen (B2) oder in sich noch teils mehrfach gebrochen sein (B3). Die Lage des Keils gibt hierbei einen Hinweis auf die einwirkende Kraft (Spitze zeigt in die gleiche Richtung wie die einwirkende Kraft).

Frakturen Typ C. Komplexe C-Frakturen beinhalten neben dem spiralförmigen Verlauf (C1) entweder Brüche auf >1 Etage (C2, Etagenfraktur; entspricht dem Herausbrechen eines Femursegments) oder irregulär verlaufende Mehrfragmentfrakturen (C3).

9.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Winquist

Bei dieser Klassifikation wird nach dem Verlust des medialen Stützpfeilers klassifiziert (Abb. 9.2): Je weniger Abstützung vorhanden ist, desto komplexer die Behandlung [6]. Die Konzentration auf den medialen Pfeiler als Abstützung war sinnvoll, sie hat sich jedoch nicht durchsetzen können.

Vancouver

Klassifikation periprothetischer Femurfrakturen mit direktem Bezug zur Versorgungsform [7]. Unterteilt wird nach Lokalisation im Femurschaft, mitberücksichtigt wird die Knochenqualität und die Stabilität der Prothese (Abb. 9.3, Tab. 9.1).

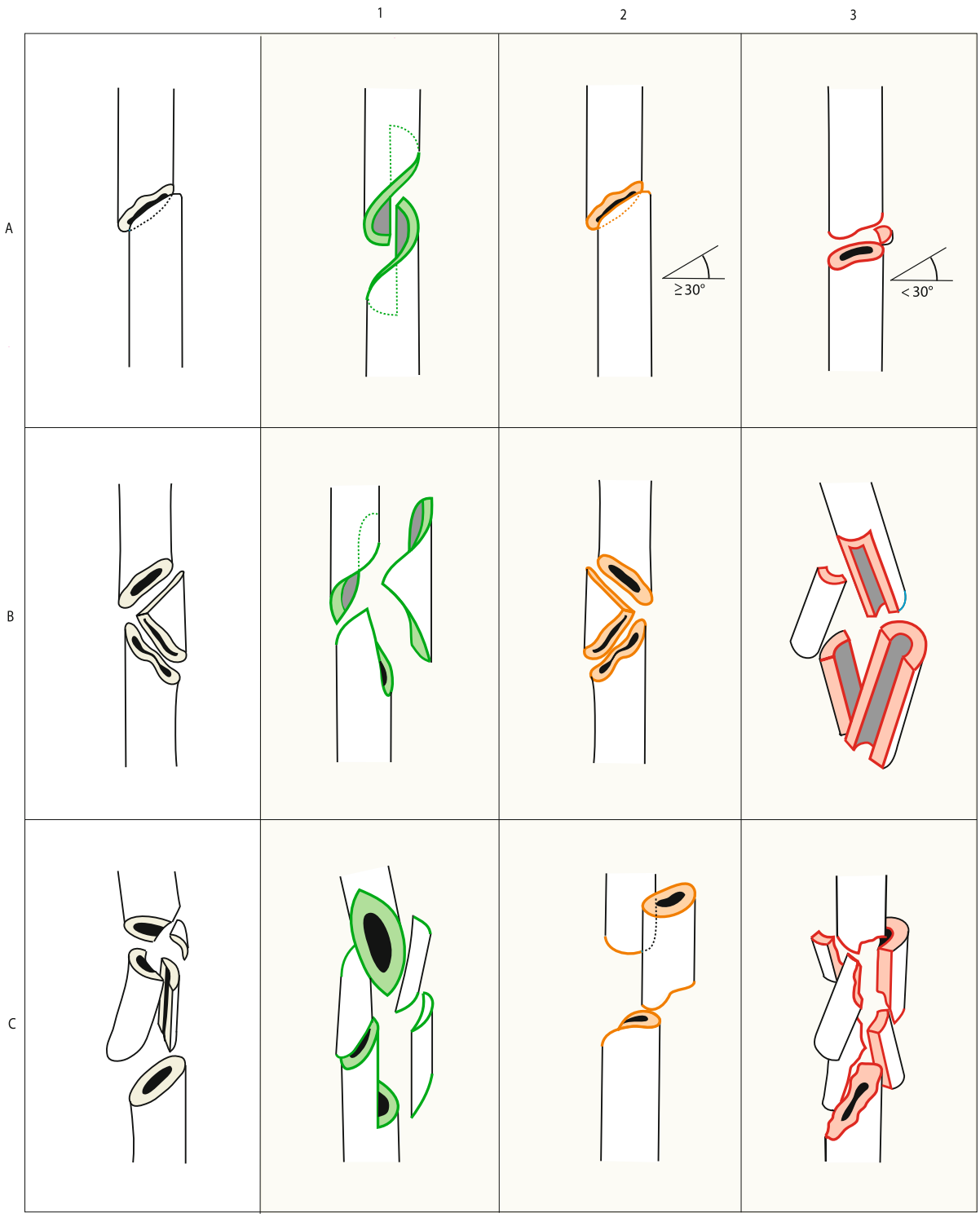


Abb. 9.1. AO-Klassifikation Femurschaftfrakturen
a A-Frakturen (Zweifragmentfrakturen)
A1: Einfache Spiralfraktur mit 2 Fragmenten
A2: Schrägfraktur, Winkel zur Schaftachse >30°
A3: Querfraktur
b B-Frakturen (Keilfrakturen)
B1: Spiralkeilfraktur
B2: Biegungskeilfraktur
B3: Komplexer Keilbruch
c C-Frakturen (komplexe Brüche)
C1. Komplexer Spiralbruch, Winkel zur Schaftachse <30°
C2: Etagenfraktur
C3: Komplexer Bruch, irregulär

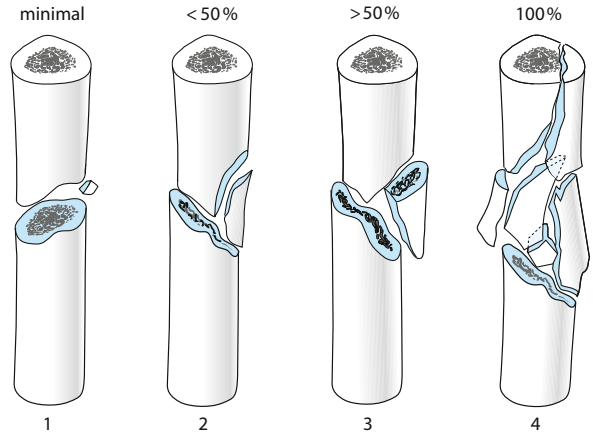


Abb. 9.2. Winquist Klassifikation. Einteilung nach Grad des Verlustes des medialen Pfeilers als hauptsächlichem Kraftträger im Bereich des Femurschafts. Im lateralen Pfeiler wirken im Wesentlichen Zugkräfte

Klassifikation der Weichteilschädigung bei geschlossenen Frakturen

Da bei den Oberschenkelschaftfrakturen der Weichteilschaden mitentscheidend ist, wird hier auf die *Klassifikation der Weichteilschädigung bei geschlossenen Frakturen* hingewiesen, die auf Tscherne u. Oestern zurückgeht [8]. Danach gibt es 4 Schweregrade, die von G0 mit nur geringem, unbedeutendem Weichteilschaden bis zu G3 mit ausgedehnter Hautkontusion, Hautquetschung sowie Zerstörung der Muskulatur und subkutanem Décollement mit oder ohne Kompartmentsyndrom reichen.

Wichtig

Periprothetische Frakturen können nicht sinnvoll mit der AO-Klassifikation eingeteilt werden. Die sog. Vancouver-Klassifikation hat sich hier durchgesetzt (Abb. 9.3); es existieren aber viele andere Klassifikationsformen.

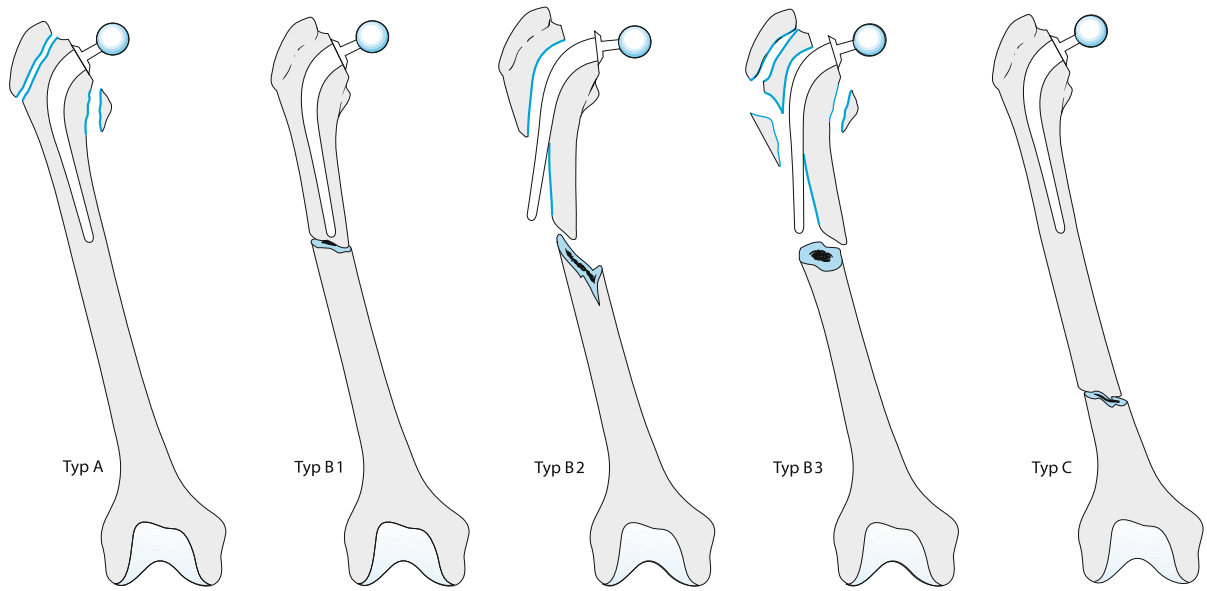


Abb. 9.3. Vancouver-Klassifikation nach Duncan u. Masri [7]

Tab. 9.1. Diagnostisches und therapeutisches Vorgehen bei periprothetischen Femurfrakturen anhand der Vancouver-Klassifikation nach Duncan u. Masri [7]

Typ	Frakturlokalisation	Subtyp	Therapie der Wahl
A	Regio trochanteria	A_G: Trochanter major	Konservativ
		A_L: Trochanter minor	
B	Distal des Trochanter major bis zur Region der Prothesenspitze	B_1: Stabile Prothese	Winkelstabile Plattenosteosynthese
		B_2: Lockere Prothese	Prothesenwechsel, meist mit Langschaftendoprothese
		B_3: Schlechte Knochenqualität	Meist komplexe Strategien notwendig, es empfiehlt sich die Weiterleitung in ein Zentrum
C	Weit unterhalb des Prothesenschafts		Wie bei normalen Femurschaftfrakturen

9.5 Therapeutisches Vorgehen

Eine Oberschenkelschaftfraktur im Erwachsenenalter muss operativ versorgt werden. Dabei muss der Operateur je nach Verletzungsmuster zwischen verschiedenen Optionen wählen (Abb. 9.4).

Wichtig
Standardverfahren ist heutzutage die intramedulläre Marknagelung.

Alternativ steht die Plattenosteosynthese zur Verfügung.

Bei ausgeprägtem Weichteilschaden oder bei Mehrfachverletzten ist eine temporäre Versorgung mit einem Fixateur externe möglich. Bei gleichzeitigem Thoraxtrauma ist die Gefahr einer Lungenembolie durch Fettmarkeinschwemmung möglicherweise erhöht [9]. Hier besteht in der Frühphase eine relative Kontraindikation gegenüber der intramedullären Versorgung [10]. Beim polytraumatisierten Patienten sollte deshalb zunächst die rasche Versorgung mit einem externen Fixateur-System erwogen werden. Nach intensivmedizinischer Behandlung und Stabilisierung der Allgemeinsituation erfolgt dann die definitive Versorgung meist nach 4–7 Tagen. Längere Zeiten bis zur endgültigen Versorgung sollten, wenn möglich, vermieden werden.

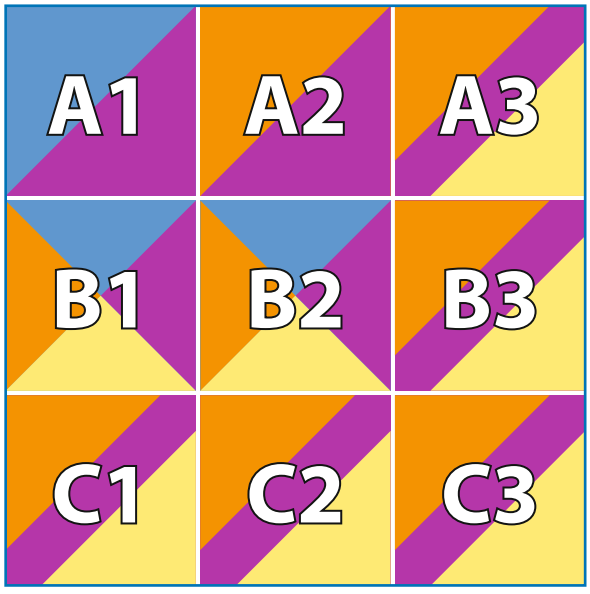


Abb. 9.4. Therapieoptionen bei Femurschaftfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese
- Schraubenosteosynthese

Bei isolierten Femurschaftfrakturen ist fast immer die Indikation zur raschen Primärversorgung gegeben. Behandlungsziel ist die Wiederherstellung der korrekten Beinlänge und der Beinachse. Rotationsfehler stellen dennoch eine relativ häufige Komplikation dar.

9.5.1 Konservative Therapie

Eine konservative Therapie ist beim Erwachsenen nur bei einer allgemeinen Operationsunfähigkeit durch den Patienten gegeben. Es drohen Fehlstellungen mit Malrotation und Verkürzung. Ansonsten stellt die Femurschaftfraktur beim Erwachsenen immer eine Indikation zur operativen Frühversorgung dar.

Bei *Säuglingen* und *Kleinkindern* ist eine Behandlung im Becken-Bein-Gips, evtl. auch in der Overhead-Extension, sowohl bei undislozierten als auch bei dislozierten Frakturen möglich. Verbliebene Verkürzungen und Achsenfehlstellungen werden in dieser Altersklasse durch Remodelling zuverlässig ausgeglichen. Der Trend bei dislozierten Frakturen geht jedoch zunehmend zur osteosynthetischen Versorgung bei Kindern ab 4 Jahren. Die Extension nach Weber ist nahezu verlassen worden.

9.5.2 Marknagelosteosynthese

Bei einer Fraktur im diaphysären Bereich ist der intramedulläre Marknagel heute die *Standardmethode* (Abb. 9.5). Die Operation erfolgt in Rückenlage entweder auf einem normalen OP-Tisch oder auf dem Extensionstisch. In jedem Fall ist eine intraoperative Bildwandlerkontrolle notwendig. Der Femurschaft wird in der Regel geschlossen reponiert. Das Einbringen des Nagels kann je nach genauer Frakturhöhe antegrad oder retrograd erfolgen.

Bei *proximal* gelegenen subtrochantären Frakturen sollte ein Nagel mit *Verriegelungsmöglichkeit im Schenkelhals* genutzt werden, um die Stabilität zu erhöhen (Abb. 9.6). Viele Nagelsysteme erlauben zusätzlich zu der rein statischen Verriegelung eine sog. dynamische Verriegelung. Hierbei wird der Nagel an einem Ende mit einer Schraube in einem Schlitzloch des Nagels verriegelt. Es besteht dann Rotationsstabilität. Da aber die Schraube in dem Schlitz beweglich ist, kann der Frakturspalt bei Belastung des Beins weiter komprimiert werden. Diese Methode sollte nur bei Querfrakturen angewandt werden [10].

Im Anschluss an die Reposition erfolgt bei antegrader Nagelung ein kleiner proximaler Zugang etwa 10 cm oberhalb der Trochanter-major-Spitze. Der korrekte Eintrittspunkt mit dem Eröffnungspfriem muss in 2 Ebenen mit dem Bildwandler kontrolliert werden. Gelingt dies

nicht, ist mit einem vermehrten Auftreten von Rotationsfehlern oder Achsenabweichungen zu rechnen. Als idealer Eintrittspunkt wird die Fossa piriformis oder der Bereich unmittelbar lateral der Fossa beschrieben.

Traditionell erfolgte eine Aufbohrung des Markraums mit Einschlagen des Nagels, der sich im Markraum verklemmen musste. Einzelne Studien zeigten einen möglichen Einfluss auf die Entwicklung von pulmonalen Komplikationen [9], sodass in den 1990-er Jahren zunehmend unaufgebohrte Marknagelsysteme mit relativ dünnen Nägeln entwickelt wurden. Aufgrund der daraus resultierenden erhöhten Pseudarthroseraten und mechanischen Komplikationen bohren die meisten Operateure heutzutage wieder sehr kontrolliert um wenige Millimeter im mittleren Abschnitt des Knochens auf (*limitierte Aufbohrung*). Es wird meist in 0,5-mm-Schritten aufgebohrt. Für die Bohrköpfe bis 12,5 mm dient die 8-mm-Welle, im Weiteren dann die 10-mm-Welle.

Bei Trümmerfrakturen wird die Welle im Bereich der Trümmerzone unter Bildwandlerkontrolle ohne zu

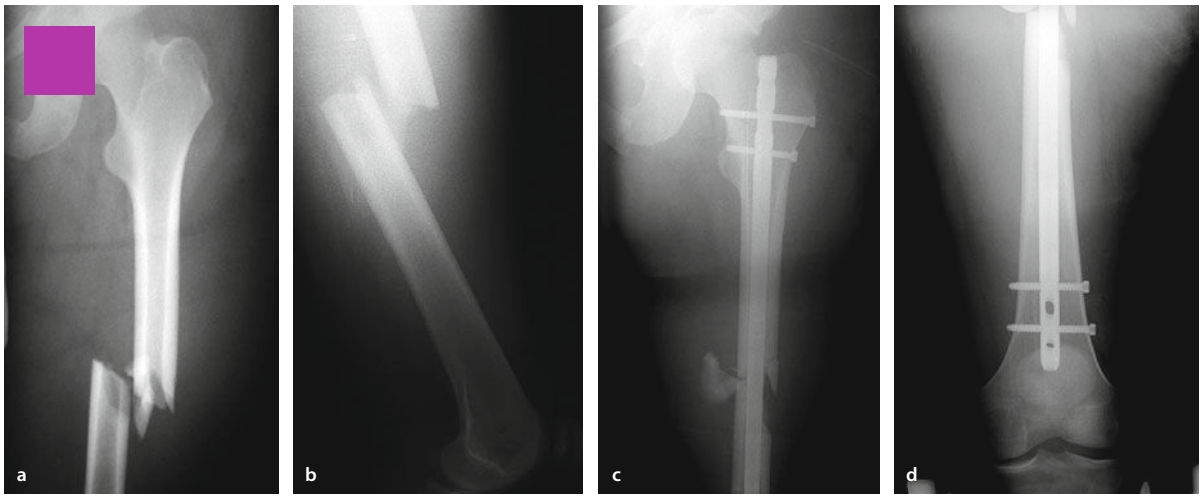


Abb. 9.5. 22 Jahre, männlich. Polytrauma nach Pkw-Unfall. Oberschenkelschaftfraktur links mit fragmentiertem Keil in Schaftmitte Typ AO B3. Operative Versorgung am Unfalltag (kein relevantes Thoraxtrauma) mit geschlossener Reposition und Implantation eines antegraden, statisch verriegelten Femurmarknagels

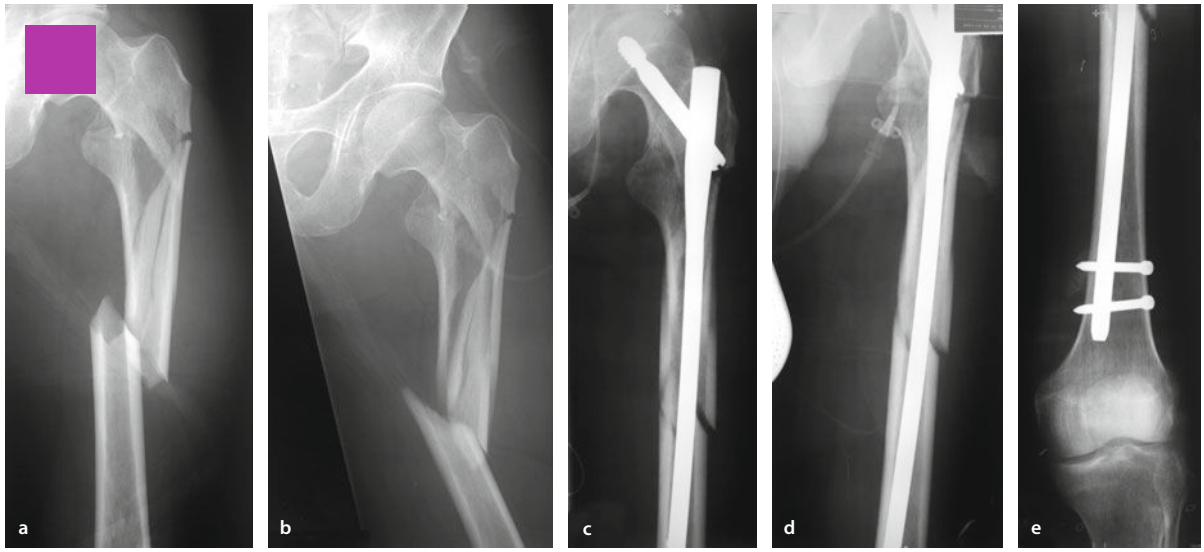


Abb. 9.6. 19 Jahre, männlich. Motorradsturz bei hoher Geschwindigkeit. Kurze Schrägfraktur Typ AO 32-A2, gleichzeitig trochantäre Trümmerfraktur AO 31-A3. Schädel-Hirn-Trauma und distale Radiusfrakturen beidseits. Primäre Versorgung mit einem langen γ-Nagel. Nach 6 Wochen Entlastung mit Sohlenkontakt erfolgte die schrittweise Aufbelastung

bohren vorgeschoben. Der Nagel muss bei diesen Frakturen distal und proximal statisch verriegelt werden. Bei Querfrakturen hingegen ist eine dynamische Verriegelung empfehlenswert [11]. Verschiedene Systeme unterschiedlichster Anbieter stehen zur Verfügung, die die Verriegelung meist durch ein entsprechendes Zielinstrumentarium vereinfachen. Auch ein retrogrades Einbringen des Nagels ist möglich und wird bei entsprechend lokalisierten distalen Frakturen angewendet.

Die Verriegelung kann mit einem röntgendurchlässigen Winkelgetriebe oder »frei Hand« durchgeführt werden. Bei der »Freihandverriegelung« wird der Bohrer nach Stichinzision leicht gekippt und bei senkrecht auf das Bohrloch eingestelltem Bildwandler auf den Knochen über dem Bohrloch zentrisch gesetzt. Anschließend wird senkrecht durch den Bildwandler geschwenkt und die zentrische Position des Bohrers überprüft bzw. korrigiert. Nun wird der Bohrer zentrisch unter dem Bildwandler eingestellt, und das Verriegelungsloch wird gebohrt. Nach Eindrehen des Bolzens ist die Lage zu überprüfen.

9.5.3 Plattenosteosynthese

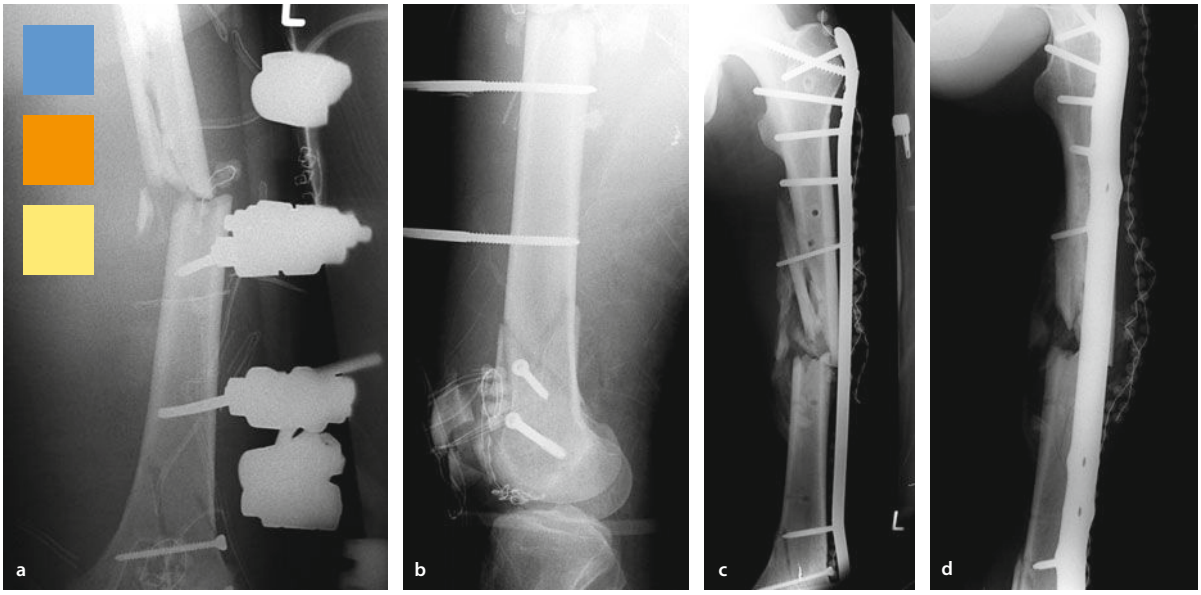
Die Versorgung mit einer Plattenosteosynthese (◘ Abb. 9.7) stellt inzwischen die Minderheit bei Femurschaftfrakturen dar. Dennoch liefert sie bei richtiger Indikationsstellung sehr gute Ergebnisse. Sie stellt eine übungs- oder lediglich teilbelastungsstabile Versorgung dar.

Als Platten stehen die dynamische Condylenschraube sowie LC-Platten (»low contact«) oder breite *LCDC-Platten* (»low contact dynamic compression«) zur Verfügung. Bei schlechter Knochenqualität haben sich im Sinn einer Überbrückungsosteosynthese minimalinvasive Verfahren mit *winkelstabilen Implantaten* bewährt, z. B. »less invasie stabilisation sytem« (LISS); Condylen-TiFix, Druckplattenfixateur. Moderne Systeme wie das LISS u. a. wirken im Prinzip wie ein Fixateur interne, auf eine anatomische Reposition kann verzichtet werden, und der Kontakt Platte/Knochen ist minimiert (◘ Abb. 9.7).

Bei Keilfrakturen kann mit Zugschrauben kombiniert versorgt werden (◘ Abb. 9.8). Als operativer Zugang wird hier ein Hautschnitt am lateralen Oberschenkel in der Linie zwischen Trochanter major und lateraler Femurcondyle gewählt. Die Fascia lata sowie der Tractus iliotibialis wirken als Zuggurtung am Femur und sind wichtige Leitstrukturen bei der Präparation.

Um auf das laterale Femur zu gelangen, wird die Fascia lata inzidiert und im Anschluss der M. vastus lateralis entlang des Septum intermusculare bis zur Linea aspera hin abgelöst. Bei der Präparation entlang des M. vastus lateralis ist auf die Perforansgefäße zu achten, die nach Möglichkeit geschont werden sollten. Alternativ müssen sie ligiert werden, um postoperative Nachblutungen zu reduzieren.

Die *minimalinvasive Technik* sieht eine ca. 4–5 cm lange anterolaterale Hautinzision am lateralen Femurcondylus vor. Von dort erfolgt die submuskuläre Präpara-



◘ **Abb. 9.7. 25 Jahre, männlich. Polytrauma nach Pkw-Unfall.** Oberschenkelschaftfraktur links (nach AO B3), distale Femurfraktur und zweitgradige offene Patellafraktur links. Zunächst Débridement, Antibiotikaträgereinlage, Schraubenosteosynthese und Anlage eines Fixateur externe. Versorgung am 8. Tag mit offener Reposition und winkelstabiler Plattenosteosynthese in »biologischer« Technik als eingeschobene Platte

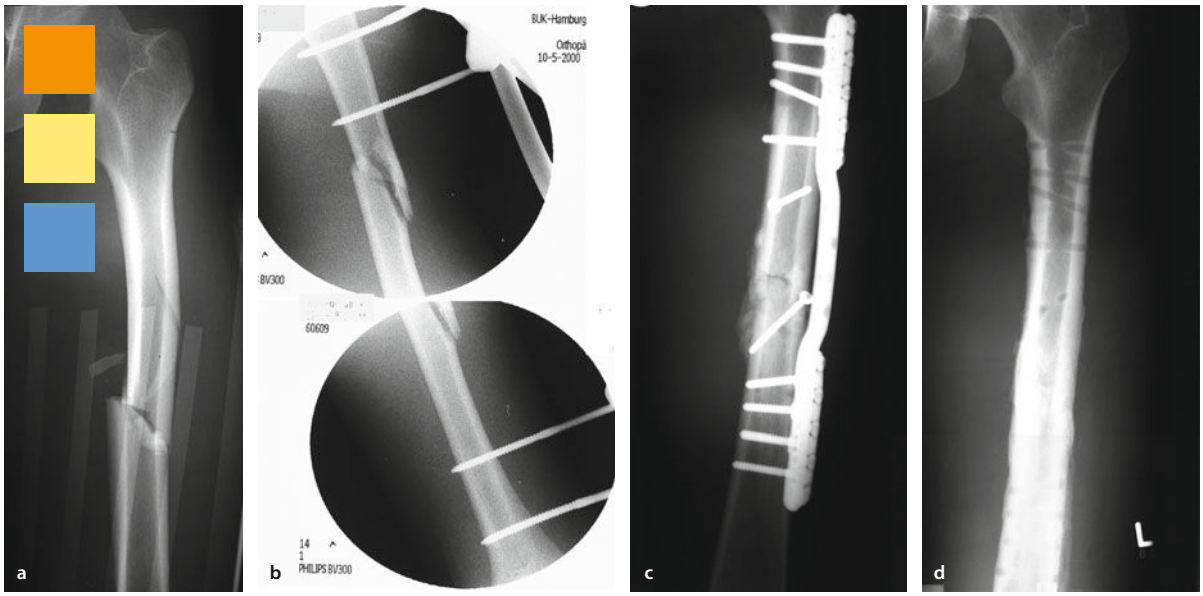


Abb. 9.8. 24 Jahre, männlich, Motorradfahrer. Zusammenstoß mit Pkw. Gleichzeitig Rippenserienfraktur, Claviculafraktur und schwere Lungenkontusion. AO-B2-Fraktur (Biegungskeil). Primär Fixateuranlage und Intensivbehandlung mit Beatmung über 15 Tage. Aufgrund der langen Fixateurbehandlung Entschluss zur Versorgung mittels winkelstabiler Wellenplatte und Zugschrauben (Druckplattenfixateur). Komplikationslose Heilung und Metallentfernung nach 24 Monaten

tion entlang des Femurschafts. Auf Höhe des proximalen Plattenendes wird die korrekte Positionierung durch eine weitere 3–4 cm lange Inzision kontrolliert. Die einzelnen Schrauben können dann über zusätzliche Stichinzisionen eingebracht werden. Einfache Frakturen können dabei mit *interfragmentärer Kompression* stabil versorgt werden, wenn eine Schraube möglichst senkrecht zum Frakturspalt entweder durch die Platte oder auch separat gesetzt wird. Größere Keile und/oder Fragmente können ggf. mit zusätzlichen Zugschrauben fixiert werden.

Trümmerfrakturen werden am besten stabilisiert mit einer Überbrückungsplatte im Sinne einer *biologischen Osteosynthese* (Abb. 9.7). Die Präparation und »wasserdichte« osteosynthetische Versorgung aller Fragmente ist wegen der dabei auftretenden Denudierung oft nicht sinnvoll. Dabei ist besonders die Einhaltung der Länge und der Rotation zu beachten. Es ist darauf zu achten, dass es zu einer ausreichenden Kompression kommt. Ansonsten ist die Inzidenz verzögerter Heilungsverläufe erhöht und das Auftreten von Pseudarthrosen begünstigt. Eine Spongiosaplastik ist initial auch bei komplizierten Frakturen in der Regel nicht notwendig.

9.5.4 Fixateur externe

Der Fixateur externe ist beim *Erwachsenen* in der Regel eine *temporäre Therapieoption* beim Mehrfachverletzten (Abb. 9.7). In der Regel erfolgt nach 5–7 Tagen der Umstieg auf die endgültige Versorgung. Bei Frakturen in Schaftmitte bietet sich eine laterale Lage der Pins an. Hier können ggf. Pins bis in den Schenkelhals platziert werden. Bei distalen Frakturen, insbesondere bei kniegelenkübergreifenden Konstruktionen, ist auch eine ventrale Lage der Pins möglich. Hier ist insbesondere bei den proximalen Pins Vorsicht geboten, um die neurovaskulären Strukturen zu schonen.

Wichtig

Auch am Oberschenkel ist auf das Vorliegen eines Kompartmentsyndroms zu achten. Es ist im Vergleich zu den Unterschenkelkompartments aufgrund der Anatomie seltener.

Bei *Kindern* kann der Fixateur externe als definitive Versorgung mit guten funktionellen Ergebnissen verwendet werden. Nachteilig sind die langen Konsolidierungszeiten (bei großen Kindern bis zu 10 Wochen), die das Risiko einer Knocheninfektion erhöhen. Weitere Probleme können Verlust der Reposition sowie Refrakturen sein. Beinlängendifferenzen können im Verlauf auftreten.

Zur Schonung der Muskulatur, hier v. a. des M. vastus lateralis, sollten die Pins posterolateral in der Ebene des intermuskulären Septums platziert werden. Je nach Frakturlokalisation ist es erforderlich, die angrenzenden Gelenke – Hüfte und/oder Knie – mit einzubeziehen.

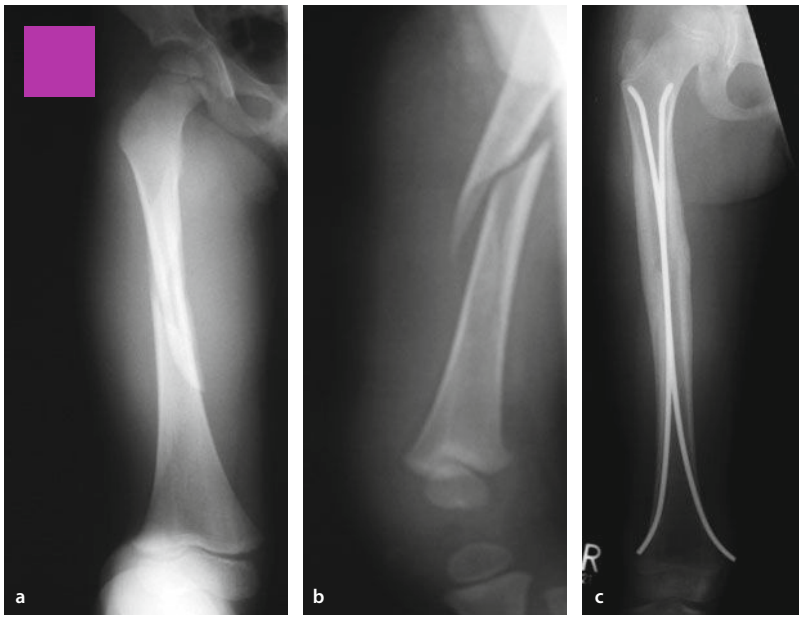


Abb. 9.9. 8-jähriges Mädchen, Sturz vom Klettergerüst. Eine kurze Spiralfraktur wurde am Aufnahmetag geschlossen reponiert und mittels ESIN (»Prevot-Nagel«) versorgt. Entlastung für 4 Wochen. Problemlose Ausheilung ohne wesentliche Fehlstellung. Metallentfernung nach 6 Monaten

9.5.5 Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)

Größere *Kinder* bedürfen der operativen Stabilisierung zur schnellen Mobilisation. Aufgrund der noch offenen Epi- und Apophysenfugen sind die in der Erwachsenentraumatologie verfügbaren Marknägel in ihrer bisherigen Form nicht einsetzbar, da sie eine avaskuläre Nekrose des Femurkopfs verursachen können. Die Plattenosteosynthese bedingt große Narben und ein erhöhtes Risiko einer Beinlängendifferenz.

Für Quer-, Schräg- und kurze Spiralfrakturen hat sich die ESIN-Versorgung etabliert (Abb. 9.9). Hierbei werden über kleine Inzisionen am distalen Femur medial und lateral 2 elastische Nägel *kranial der Wachstumsfuge* in den Markraum eingebracht, die durch eine *Dreipunktabstützung* (proximal und distal sowie durch Vorbiegen in Frakturhöhe) die Fraktur stabilisieren. Im proximalen Femur werden die Nägel im Trochanterbereich in der Corticalis verankert. Die am distalen Femur herausstehenden Nagelenden sollen eine Länge von 0,5–1 cm haben, um einerseits eine spätere Metallentfernung zu ermöglichen, aber andererseits nicht zu einer revisionspflichtigen Weichteilirritation zu führen.

Bei dieser scheinbar einfachen Technik gilt es, die *Prinzipien der Biomechanik* strikt zu befolgen:

- Verwendung zweier Nägel gleicher Stärke, die in identischer Weise (ca. 40°) vorgebogen werden.
- Identische Eintrittsstellen im distalen Femur.
- Aufspannung der Fraktur durch Anlegen der Nägel im entsprechenden Markraumbereich.
- Unbedingtes Vermeiden von Verdrehen der Nägel umeinander (»Korkenzieherphänomen«); bei der Implantation deformierte Nägel sind intraoperativ auszutauschen.

Bei komplexeren Frakturen wie Trümmer- oder langen Spiralbrüchen oder bei Jugendlichen mit einem Gewicht >50 kg kann eine optimale Versorgung sehr schwierig werden, und es muss eine Modifikation der Technik oder eine Fixateur-Anlage erfolgen.

9.6 Nachbehandlung

Die *Mobilisierung* beginnt beim definitiv versorgten Patienten möglichst am 1. postoperativen Tag, spätestens jedoch nach Entfernung der eingelegten Redon-Drainagen. Eine ausreichende Compliance des Patienten vorausgesetzt, ist eine Teilbelastung von maximal 20 kg in den meisten Fällen ratsam. Zur weiteren Physiotherapie gehören Bewegungs- und Anspannungsübungen. Wichtig ist die Beübung der angrenzenden Gelenke, um eine bleibende Funktionseinschränkung zu verhindern. Am Knie empfiehlt sich ggf. die Anwendung einer CPM-Schiene (Motorschiene, »continuous passive motion«). Eine Aufbelastung muss individuell vom Operateur festgelegt werden.

In der Regel ist bei einer *Marknagelosteosynthese* ein schnelleres Erreichen der Vollbelastung, meist nach 6–8 Wochen, zu erwarten. Generell sollten Querfrakturen zügig aufbelastet, ggf. bei Querfrakturen auch sofort vollbelastet werden.

Plattenosteosynthesen sind zunächst nur übungsstabil und werden in Abhängigkeit des Röntgenbefundes ab der 7. Woche aufbelastet. Sie erreichen meist nach 10–12 Wochen die volle Belastbarkeit.

Bei Anlage eines *Fixateur externe* ist die regelmäßige Pin-Pflege unverzichtbar. Krusten sind abzutragen, die angrenzenden Gelenke sind zu beüben. Hinzu kommen ggf. weitere Maßnahmen wie z. B. manuelle Lymphdrainage zur Konsolidierung der Weichteile vor der endgültigen Versorgung.

Nach *ESIN-Versorgung* im Kindes- und Jugendalter ist bei Querfrakturen meist frühzeitig eine Teilbelastung und zügige Steigerung bis zur Vollbelastung möglich. Komplexere Frakturen benötigen jedoch eine längere Entlastung des Beins. Die Dauer wird anhand der Fraktur, des Alters und des Körpergewichts des Patienten sowie der Kallusbildung festgelegt.

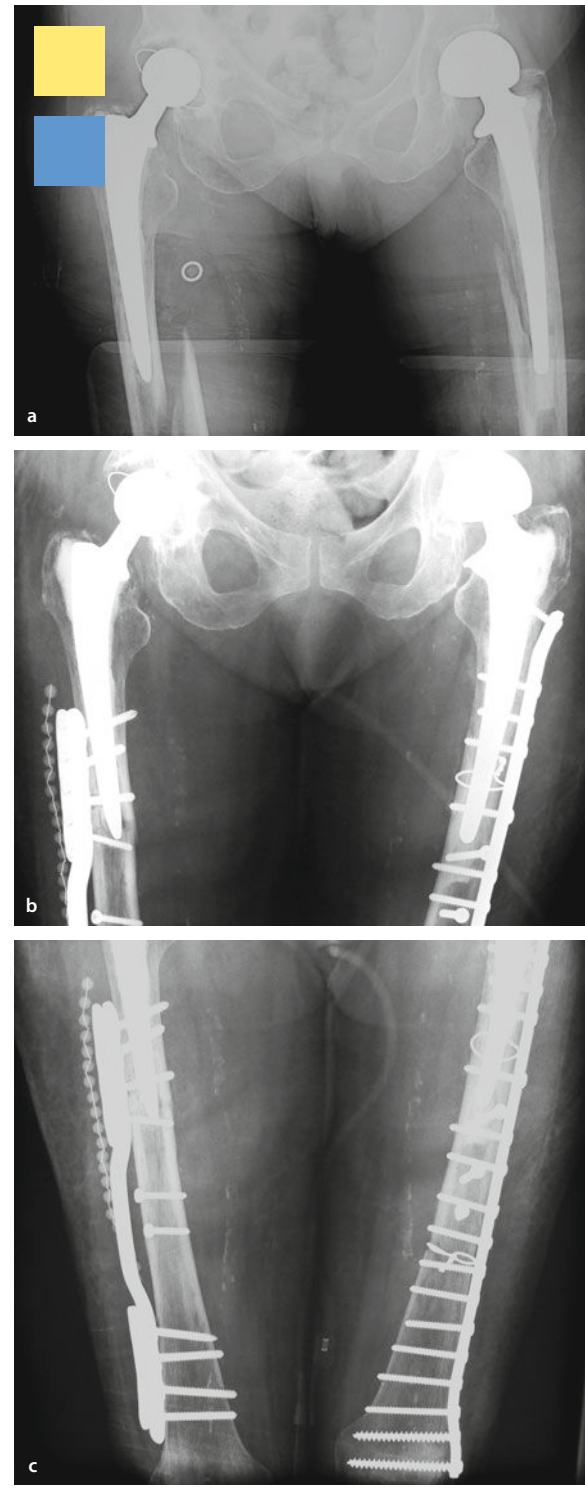
Metallentfernungen sollten bei Erwachsenen nach 1,5–2 Jahren durchgeführt werden. Der Bruchspalt darf nicht mehr zu sehen sein. Bei Kindern, insbesondere nach ESIN-Versorgung, kann die Metallentfernung deutlich früher geplant werden, z. B. nach etwa 6 Monaten.

9.7 Sonderformen

Pseudarthrose. Bei ausbleibender Frakturheilung im Sinne einer Pseudarthrose ist der Nagelwechsel Therapie der Wahl. Es sollte ein Nagel mit einem größeren Durchmesser verwendet werden. Das bei der Überbohrung anfallende Knochenmehl dient als »innere Spongiosaplastik«. Sollte nach einem Nagelwechsel weiter keine Frakturkonsolidierung erfolgen, so ist der Einsatz einer Wellenplatte (◘ Abb. 9.8) mit Spongiosaplastik zu erwägen [12]. Die Spongiosa ist langstreckig »straßenförmig« bis zum Erreichen vitalen Knochens anzulagern.

Subtrochantäre Fraktur. Bei dieser Fraktur hat sich die Versorgung mit einem proximalen Femurnagel oder einem Rekonstruktionsnagel bewährt (◘ Abb. 9.6; ▶ Kap. 8 »Proximaler Oberschenkel«). Der γ-Nagel wird ebenfalls über eine Hautinzision im Bereich oberhalb der Trochanter-major-Spitze eingebracht. Die Länge des Nagels hängt von der Lokalisation der Fraktur ab. Bei subtrochantären Brüchen sind lange Nagelversionen zu verwenden. Es erfolgt das Einbringen der Schenkelhalsschraube über das Zielgerät und im Anschluss die distale Verriegelung. Die Verriegelung der Schenkelhalsschraube kann statisch oder dynamisch erfolgen.

Periprothetische und osteoporotische Frakturen. Femurschaftfrakturen sind selten osteoporotisch bedingt. Eine Ausnahme stellen die periprothetischen Frakturen



◘ **Abb. 9.10. 85 Jahre, weiblich. Treppensturz.** Beidseitige periprothetische Femurschaftfrakturen, Vancouver Typ B1. Es erfolgte eine zweizeitige Versorgung der periprothetischen Femurschaftfrakturen: Rechte Seite versorgt mit Druckplattenfixateur, Schraubenosteosynthese und prophylaktischer Einlage von Septopalketten, linke Seite versorgt mit DC-Platte, Zugschraubenosteosynthese und Cerclagen. Postoperativ beidseits Entlastung für 12 Wochen

dar (Abb. 9.10). Die Frakturbehandlung bei Osteoporose erfolgt prinzipiell nach den gleichen Prinzipien. Es sollte winkelstabilen Implantaten der Vorzug gegeben werden. Einer zumindest teilbelastungsstabilen Osteosynthese ist bei dem meist geriatrischen Patientengut der Vorzug zu geben.

Pathologische Frakturen. Hier ist eine postoperative Bestrahlung zu diskutieren. Bei großen Defekten kann ggf. eine Auffüllung mit PMMA-Knochenzement im Sinne einer Verbundosteosynthese erfolgen.

9.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Bei richtiger Indikationsstellung und exakter Rekonstruktion der Achse und der Rotation sind bei mehr als 2/3 der Patienten mit einfachen Frakturen gute Ergebnisse zu erzielen. Dabei muss nochmals erwähnt werden, dass die Marknagelosteosynthese heute als Standardversorgung anzusehen ist.

Bei dem großen Anteil an Mehrfachverletzten sind das funktionelle Ergebnis und die Prognose durch die Begleitverletzungen beeinflusst. Bezüglich der Pseudarthrose berichtete Rüedi über eine Rate von 14% bei Plattenosteosynthesen mit einer DC-Platte [13]. Initiale Berichte über Pseudarthroseraten von 0% bei der modernen Marknageltechnik [14] scheinen bei realistischer Betrachtung in der Gegend von 6% angesiedelt zu sein, wobei keine wesentlichen Unterschiede zwischen begrenzt aufgebohrter oder vollständig unaufgebohrter Technik sowie ante- oder retrograder Technik zu bestehen scheinen [15]. Vergleichbare Pseudarthroseraten wurden für das »less invasive stabilisation system« (LISS) angegeben [16].

Bei Kindern und Jugendlichen ist zu beachten, dass belassene Fehlstellungen nach der Behandlung teilweise durch Modelling korrigiert werden. Bei 6- bis 12-Jährigen konnte nach 3–5 Jahren beobachtet werden, dass sich Varusfehlstellungen zu 77%, Valgusfehlstellungen zu 88% und Antekurvations- und Rekurvationsfehlstellungen zu 79% bzw. 90% spontan ausglichen [17]. Dieses Phänomen ist durch die Zeitdauer des Knochenwachstums limitiert. Für Jugendliche ist daher eine achsengerechte Reposition anzustreben.

Wichtig

Tolerable Fehlstellungen sind altersabhängig.

Bei Kleinkindern können sich Varus- und Valgusfehlstellungen bis 15°, bei 6- bis 10-Jährigen bis 10° und bei älteren Kindern bis 5° ausgleichen. Ante- bzw. Rekurvationen werden in den genannten Altersstufen bis 20°, 15° bzw. 10° korrigiert [18].

Zusätzlich muss bis zum Wachstumsabschluss an die Gefahr einer Beinlängendifferenz gedacht werden: Bei Kindern unter 10 Jahren führt die Fugenstimulation und das evtl. erforderliche Modelling eher zu einer Verlängerung, bei größeren Kindern tritt eher eine Verkürzung der betroffene Seite ein.

9.9 Begutachtung

Wenn eine Korrektur der Achsausrichtung gelingt und der Bruch ausheilt, besteht in der Regel ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von <10. Der GdB/MdE wird insgesamt v. a. durch auftretende Bewegungseinschränkungen in Knie und Hüfte bestimmt. Beim polytraumatisierten Patienten ergibt sich die Gesamteinschränkung individuell aus den addierten verbleibenden Einschränkungen und kann ggf. deutlich über der isolierten Femurschaftfraktur liegen.

Eine Achsenfehlstellung wird je nach Schwere mit GdB/MdE 10–30 eingeschätzt, die Beinlängenverkürzung von 2,5–4 cm wird mit 10, darüber mit 20 eingeschätzt. In der privaten Unfallversicherung wird analog verfahren (entsprechende Beinwerte).

Literatur

1. C.M. Court-Brown, B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: A review. Injury 37: 691–997 (2006)
2. C.M. Court-Brown, S. Rimmer, U. Prakash, M.M. McQueen, The epidemiology of open long bone fractures. Injury 29: 529–534 (1998)
3. M. Faschingbauer, C. Krüss, M.E. Wenzl, C. Jürgens, Die Versorgung periprothetischer Frakturen im Oberschenkelbereich mit Fixateur-interne- Systemen. Hefte zu Unfallchirurg 283: 367–368 (2001)
4. H. Lindahl, H. Malchau, A. Oden, G. Garellick, Risk factors for failure after treatment of a periprosthetic fracture of the femur. J Bone Joint Surg-Br. 88: 26–30 (2006)
5. L. Rennie, C.M. Court-Brown, J.Y. Mok, T.F. Beattie, The epidemiology of fractures in children. Injury 38: 913–922 (2007)
6. R.A. Winquist, S.T. Hansen, Jr., D.K. Clawson, Closed intramedullary nailing of femoral fractures. A report of five hundred and twenty cases. J Bone Joint Surg Am 66: 529–539 (1984)
7. C.P. Duncan, B.A. Masri, Fractures of the femur after hip replacement. Instr Course Lect 44: 293–304 (1995)
8. H. Tscherne, H.J. Oestern, A new classification of soft-tissue damage in open and closed fractures. Unfallheilkunde 85: 111–115 (1982)
9. H.C. Pape, A. Dwenger, G. Regel, M. Jonas, K. Krumm, G. Schweitzer, J.A. Sturm, Hat die Lungenkontusion und allgemeine Verletzungsschwere einen Einfluss auf die Lunge nach Oberschenkelmarknagelung? Ein tierexperimentelles Modell. Unfallchirurg 94; 381–389 (1991)
10. H.C. Pape, D. Rixen, J. Morley, E.E. Husebye, M. Mueller, C. Dumont, A. Gruner, H.J. Oestern, M. Bayeff-Filoff, C. Garving, D. Pardini, M. van Griensven, C. Krettek, P. Giannoudis, Impact of the method of initial stabilization for femoral shaft fractures in patients with multiple injuries at risk for complications (borderline patients). Ann Surg 246: 491–499 (2007), Discussion 499–501.

11. I. Kempf, L'apport du verrouillage des clous. Technique-indications-perspectives d'avenir. Chirurgie 122: 168–169 (1997)
12. G. Blatter, B.G. Weber, Wave plate osteosynthesis as a salvage procedure. Arch Orthop Trauma Surg 109: 330–33 (1990)
13. T.P. Ruedi, J.N. Luscher, Results after internal fixation of comminuted fractures of the femoral shaft with DC plates. Clin Orthop Relat Res 138: 74–76 (1979)
14. C. Krettek, J. Rudolf, P. Schandelmaier, P. Guy, B. Konemann, H. Tscherne, Unreamed intramedullary nailing of femoral shaft fractures: operative technique and early clinical experience with the standard locking option. Injury 27: 233–254 (1996)
15. W.M. Ricci, C. Bellabarba, B. Evanoff, D. Herscovici, T. DiPasquale, R. Sanders, Retrograde versus antegrade nailing of femoral shaft fractures. J Orthop Trauma 15: 161–169 (2001)
16. M. Schutz, M. Muller, C. Krettek, D. Hontzsch, P. Regazzoni, R. Ganz, N. Haas, Minimally invasive fracture stabilization of distal femoral fractures with the LISS: a prospective multicenter study. Results of a clinical study with special emphasis on difficult cases. Injury 32 (Suppl 3): SC48–54 (2001)
17. M.E. Wallace, E.B. Hoffman, Remodelling of angular deformity after femoral shaft fractures in children. J Bone Joint Surg Br. 74: 765–769 (1992)
18. M.M. Kaiser, L.M. Wessel, Kindertraumatologie, in: Pädiatrie, 2007, Elsevier Urban & Fischer, München, Jena

10 Distaler Oberschenkel

S. Hillbricht, A.P. Schulz, A. Paech

Definition

Es handelt sich um Frakturen im Bereich des distalen Anteils des Oberschenkelknochens, die zumeist durch eine erhebliche Krafteinwirkung, z. B. infolge von Hochenergietraumata (Verkehrsunfall, Sturz aus großer Höhe) entstehen. Dies trifft v. a. auf jüngere und insbesondere männliche Patienten zu; 1/3 dieser Patienten sind mehrfach verletzt [1].

Distale Femurfrakturen machen nur etwa 6% aller Femurfrakturen aus, sind aber oftmals durch schwerwiegende Begleitverletzungen gekennzeichnet [2]. Nur selten treten diese Frakturen als isolierte Verletzungen auf, dann meist bei Patienten höheren Alters, v. a. bedingt durch osteoporotischen Knochen oder bei einliegenden Endoprothesen [3]. Frakturen des distalen Femurs im Kindesalter mit Beteiligung der epiphysären Strukturen sind äußerst selten [4]; hier sollten die genauen Umstände erfragt werden.

10.1 Mechanismus

Das Kniegelenk wird durch Sehnen und Bandansätze sowie durch die Gelenkkapsel in einem komplexen System der Kraftübertragung stabilisiert. Die Gelenkkapsel und die Kollateralbänder haben an den Femurcondylen ihren Ursprung. Auch entspringt hier der M. gastrocnemius dorsal an den Femurcondylen; vorderes und hinteres Kreuzband finden sich in der zentralen Notch, und der M. popliteus inseriert mit seiner Sehne am lateralen Condylus. Diese Anatomie des distalen Femurs sowie die Nachbarschaft zu wichtigen neurovaskulären Strukturen sind bei den ggf. auftretenden schweren Begleitverletzungen zu beachten.

In den meisten Fällen kommt es zur *direkten Krafteinwirkung*. Betroffen sind oft Jugendliche und junge Erwachsene. Je nach Richtung der einwirkenden Kraft resultieren *verschiedene Frakturformen*:

- Bei Anprall von vorn wirkt die Patella als Keil, es resultieren percondyläre Frakturen, die oft von einer Patellafraktur begleitet werden.
- Bei Einklemmung des Femurs, z. B. unter dem Lenkrad, bei einem Frontalanprall oder seitlich einwirkender Kraft resultieren meist supracondyläre Frakturformen.
- Wirkt das Tibiaplateau gegen die Condylen in axialer Richtung, z. B. im Rahmen eines Anpralltraumas, entstehen meist supracondyläre Bruchformen mit Einstauchung des Femurschafts in das Condylenmassiv,

wobei bei zentrischer Krafteinleitung meist bicondyläre Brüche und bei exzentrischer Kraft unicondyläre Frakturen entstehen.

Bei osteoporotisch bedingten Frakturen resultieren oftmals simplere Brüche, ähnlich bei einliegender Knieendoprothese. Es handelt sich oft um Ermüdungsbrüche ohne adäquates Trauma oder inkorrekt platzierte Prothesen. Die Mechanismen beim Kind sind ebenfalls durch große Gewalt begründet. Es liegt meist eine direktes Trauma vor; ein »Battered-child-Syndrom« ist auszuschließen.

In Fällen von indirekt einwirkender Gewalt handelt es sich meist um axial wirkende Hochenergietraumata bei gestrecktem Kniegelenk, Begleitverletzungen liegen fast immer vor.

Meist handelt es sich um Hochenergietraumata mit direktem Anprall der Knieregion. Begleitverletzungen sind immer auszuschließen

10.2 Klinik

Die Diagnose der distalen Femurfrakturen lässt sich in den meisten Fällen rein klinisch stellen. Bereits die typischen *direkten und indirekten Frakturzeichen* mit *pathologischer Beweglichkeit*, Fehlstellung, Schwellung, Hämatom und deutlichem Druckschmerz lassen eine Fraktur in diesen Bereich vermuten. Ebenso kann ein z. T. erheblicher *Gelenkerguss* bei B- und C-Frakturen nach AO auftreten.

Die Prüfung des *neurovaskulären Status* ist obligat. In der initialen klinischen Untersuchung sind oftmals *Band- und Meniskusverletzungen* nicht exakt zu untersuchen aufgrund der Schmerzhaftigkeit und Frakturinstabilität. Typische Begleitverletzungen sind u. a. Gefäß- und Nervenverletzungen, Kreuzbandrupturen, Läsionen der Menisci und osteochondrale Frakturen in 8–12% sowie begleitende Patellafrakturen [5].

Bei *Luxationsverletzungen* resultiert ein komplexes Knietrauma, meist mit Ruptur des hinteren Kreuzbands und der Kapsel. Oft wird diese begleitet von einem Ausriss der Popliteussehne, Seitenbandausrissen und anderen Bandverletzungen. Die exakte Form der Instabilität lässt sich primär nicht untersuchen, hier erfolgt eine erweiterte Diagnostik nach primärer oder sekundärer Versorgung, die eine MRT und ggf. Angiographie einschließen muss.

10.3 Diagnostisches Vorgehen

Wichtig

Bei Hochenergietraumata steht der Ausschluss von neurovaskulären Verletzungen im Vordergrund.

Bei klinischem Verdacht oder bei jeder Kniegelenkluxation sollte prä- oder intraoperativ eine Angiographie zum Ausschluss einer Dissektion durchgeführt werden. Aufgrund der geringen Kollateralisierung ist die Extremität bedroht. Daher empfiehlt sich beim Nachweis einer Gefäßverletzung die sofortige Transfixation im Fixateur und anschließende Gefäßrekonstruktion. Die definitive Osteosynthese folgt im Verlauf.

Die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms ist bei diesen Verletzungen äußerst selten, im Zweifel sollte eine engmaschige Überwachung erfolgen. Bei Verdacht auf Fraktur im distalen Femurbereich sollten *nativradiologische Aufnahmen* a-p. und seitlich von Femur und Knie angefertigt werden. Die *Computertomographie* bietet Zusatzinformationen für B- und C-Verletzungen, insbesondere zur exakten Frakturanalyse, zur Planung des operativen Vorgehens und zur Bestimmung des Ausmaßes der Begleitverletzungen.

Eine Angiographie muss immer bei Kniegelenksluxation nach Reposition durchgeführt werden. Eine Dissektion kann zunächst symptomlos bleiben und darf daher nicht übersehen werden. Ein MRT ermöglicht die Diagnostik von Band- und Meniskusverletzungen, ist aber beim Hochenergietrauma meist nicht sinnvoll durchführbar und in der Initialphase wegen des Zeitverlustes kontraproduktiv.

10.4 Klassifikationen

Die distalen Femurfrakturen werden wie folgt eingeteilt (AO-Klassifikation, Region 33; Abb. 10.1):

Extraartikuläre Frakturen Typ A. Da bei den A-Frakturen eine Arthrotomie entfällt, eignen sich diese auch für ein minimalinvasives Verfahren. Zur Auswahl stehen:

- retrograde Nägel, z. B. supracondylärer Nagel (SCN), distaler Femurmarknagel (DFN) u. a. und
- eingeschobene winkelstabile Platten, z. B.
  - »less invasive stabilization system« (LISS),
  - Condylen-TiFix,
  - »non contact bridgeing plate« (NCB) etc.

Diese Systeme können auch bei periprothetischen Frakturen problemlos angewendet werden.

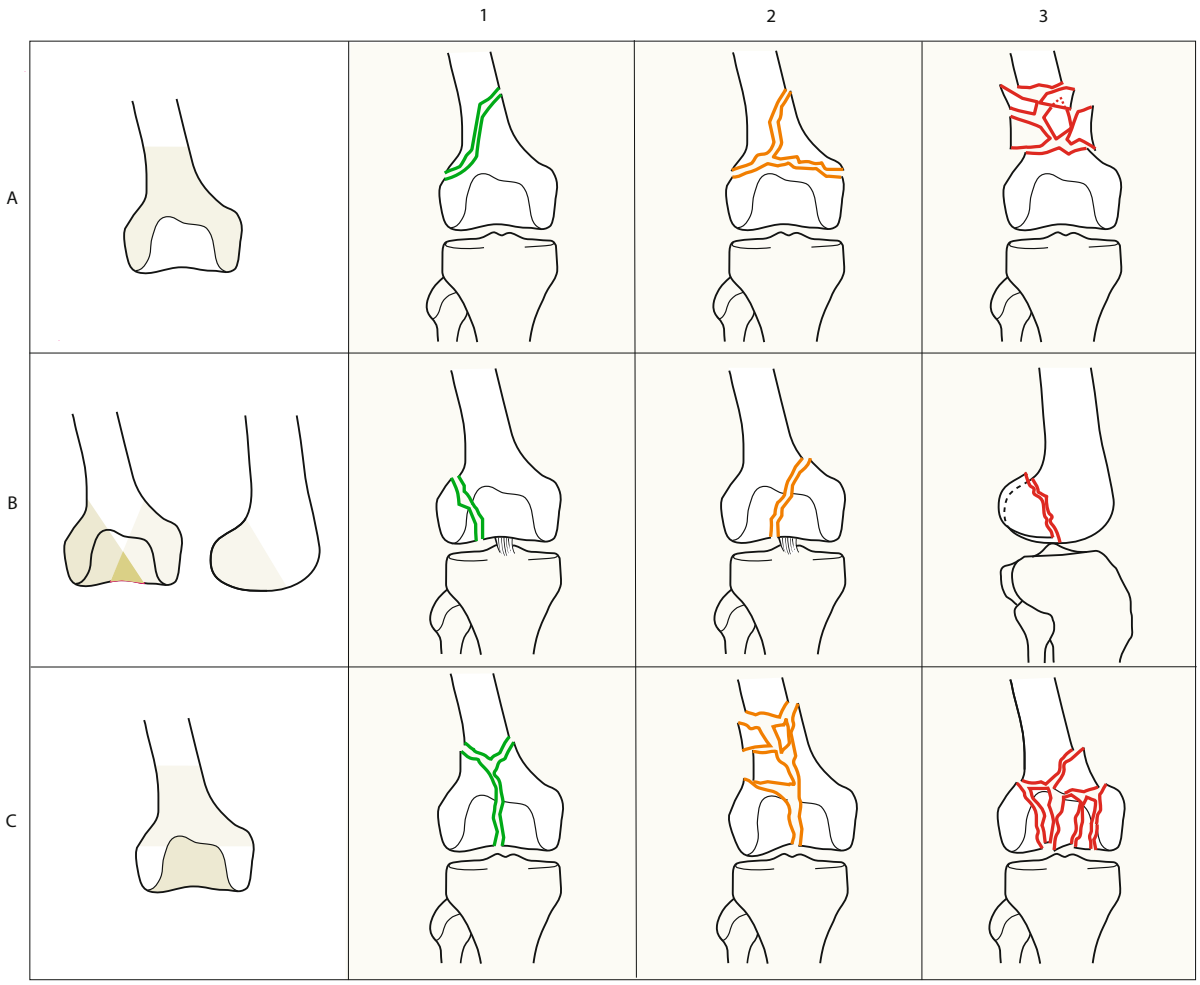


Abb. 10.1. AO-Klassifikation der Region 33 Distaler Oberschenkel
a Extraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Metaphysär einfach
A2: Metaphysärer Keil
A3: Metaphysär mehrfach
b Partiell intraartikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Sagittal unicondylär lateral
B2: Sagittal unicondylär medial
B3: Frontal unnicondylär (Hoffa)
c Vollständig artikuläre Frakturen (je 3 Untergruppen C1.1–C3.3)
C1: Artikulär und metaphysär einfach
C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfach
C3: Artikulär und metaphysär mehrfach

Intraartikuläre, monocondyläre Frakturen Typ B. Bei den B-Frakturen sind z. T. reine Schraubenosteosynthesen möglich. Bei osteoporotischem Knochen sollte jedoch eine Platte zur Abstützung verwendet werden. Eine Sonderform stellt hier die Hoffa-Fraktur dar (B3 nach AO), bei der eine Verschraubung (meist versenkt von ventral) die einzig sinnvolle Option ist.

Intraartikuläre, bicondyläre Frakturen Typ C. Bei den C-Frakturen wird zunächst die Rekonstruktion des Gelenkbocks, z. B. durch Zugschrauben, und damit eine »Umwandlung« in einen A-Typ empfohlen. Dann wird wie bei den A-Brüchen versorgt.

Weitere Frakturklassifikationen finden in dieser Region keine Anwendung.

10.5 Therapeutisches Vorgehen

Therapieziel ist die Rekonstruktion der Gelenkfläche und der Achsenverhältnisse; eine stabile Fixation der Condylen an den Femurschaft ist essenzielle Voraussetzung (Abb. 10.2).

Die Osteosynthese sollte eine frühfunktionelle Nachbehandlung ermöglichen und muss daher mindestens übungsstabil sein. Eine approximative anatomische Aus-

33

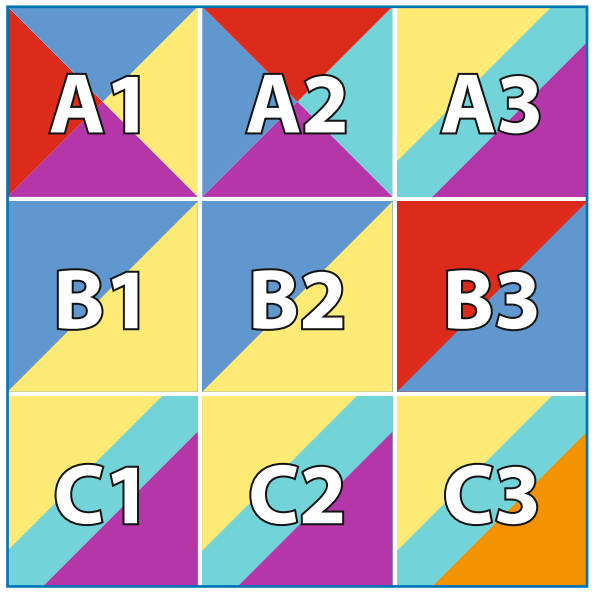


Abb. 10.2. Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Oberschenkels. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese
- Dynamische Condylenschraube (DCS)

richtung der Fraktur mit Wiederherstellung der Längsachsen sowie der Rotation und Beinlänge sollten vor der definitiven Osteosynthese erreicht werden.

Bei Trümmerfrakturen führen überbrückende Osteosynthesetechniken (»biologische Osteosynthese«) ohne weitere Denudierung der Frakturzone zu guten Konsolidierungsraten. Zur Reposition kann der auf die Fraktur wirkende Muskelzug des M. gastrocnemius und des M. adductor magnus durch eine Flexion des Kniegelenks der betroffenen Seite, z. B. über eine Knierolle, korrigiert werden. Oftmals lässt sich hierdurch bereits eine Reposition des Bruchs erreichen.

Die präoperative Planung der Operation erfolgt anhand des vorliegenden bildgebenden Materials. Hier kann die *kontralaterale Seite als Referenz* zur anatomischen Wiederherstellung herangezogen werden. Dies kann sich bei ausgedehnter Trümmerzone und/oder deutlicher Verkürzung schwierig gestalten. Bei der Reposition kann die *Joystick-Technik* angewandt werden, durch die über in größere Fragmente eingebrachte Schanz-Schrauben die Reposition erleichtert werden kann.

Der *Zugangsweg* zum distalen Femur ist implantat- und frakturabhängig. Aktuell wird auch bei dieser Art der Fraktur ein minimalinvasiver Zugang mit Schonung des umgebenden Weichteilgewebes favorisiert. Ziel der operativen Therapie und maßgeblich ausschlaggebend für die Länge der Inzisionen und das Ausmaß der Frakturexposition ist die präzise Rekonstruktion der Condylen und der Gelenkflächen, was oftmals den direkten Einblick in das Kniegelenk durch einen entsprechenden Zugang erforderlich macht. Typisch sind für die Marknägel ein transligamentärer ventraler Zugang, ein lateraler oder anterolateraler Hautschnitt für Plattenosteosynthesen und selten für mediale Verletzungen ein entsprechend medial positionierter Zugang.

Die primäre Versorgung der Fraktur mit einer internen Osteosynthese sollte auch bei geschlossenen Frakturen angestrebt werden. Nur bei *offenen Fakturen* sowie bei schweren Begleitverletzungen (*Gefäßschaden*) ist ein *sofortiger Eingriff* erforderlich. Bei polytraumatisierten, mehrfachverletzten Patienten bietet die sofortige Transfixation der Fraktur mit approximativer Reposition mittels Fixateur externe Vorteile in der intensivmedizinischen Behandlung bis zur definitiven operativen Frakturversorgung.

Bei *Gefäßverletzungen* hat sich nach Fixateur-Anlage und Gefäßrekonstruktion die sekundäre Osteosynthese bewährt. Bei *Nervenverletzungen* ist eine primäre Rekonstruktion nur dann sinnvoll, wenn eine definitive Osteosynthese zuvor durchgeführt wird und die entsprechenden mikrochirurgischen Techniken vorhanden sind. *Meniscusläsionen* können während der definitiven Osteosynthese mitversorgt werden. *Kreuzbandrisse* werden besser nach Konsolidierung versorgt. Ausgenommen sind knöcherne Ausrisse auch der *Seitenbänder*, die bei der Osteosynthese verschraubt werden.

10.5.1 Konservative Therapie

Als Standardbehandlung gilt heute die operative Versorgung mittels interner Osteosynthese. Eine konservative Therapie ist nur bei undislozierten extraartikulären Frakturen des distalen Femurs denkbar bei besonders kooperativen bzw. bei als inoperabel angesehenen Patienten. Bei Kindern können Stauchungsfrakturen und nichtdislozierte supracondyläre Frakturen mit gutem Ergebnis konservativ therapiert werden (Abb. 10.3).

10.5.2 Schraubenosteosynthese

Dieses Verfahren eignet sich v. a. für Frakturen mit einem schrägen Verlauf (A1 und A2, B1–B3) bei jüngeren Patienten mit guter Knochenqualität. Die Bruchstücke können so unter interfragmentäre Kompression

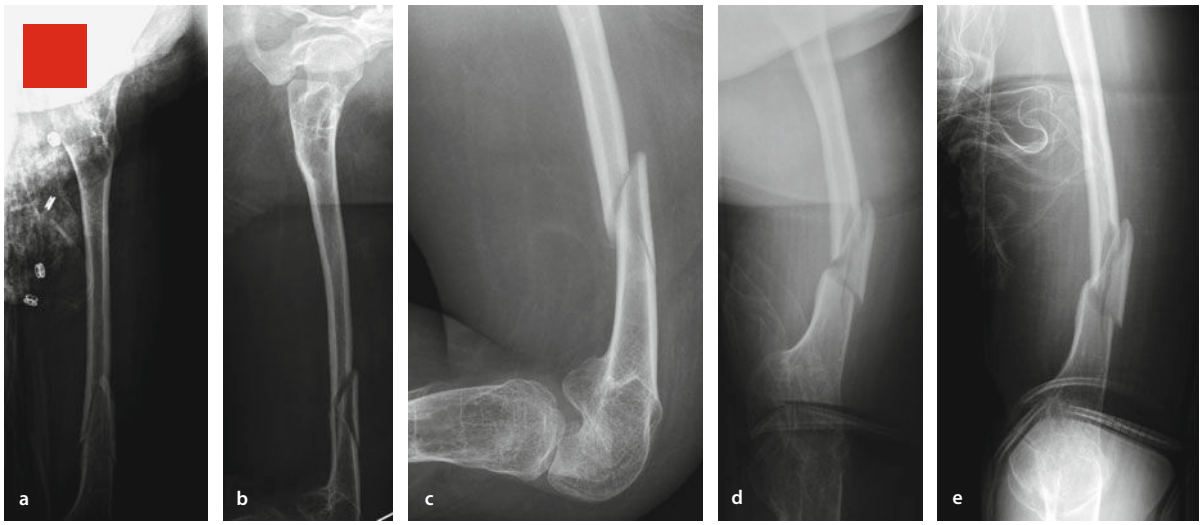


Abb. 10.3. 19 Jahre alte Patientin mit frühkindlichem Hirnschaden, infolgedessen Ausbildung massiver Kontrakturen an allen Extremitäten. Sturz aus dem Bett auf den linken Oberschenkel. Entscheidung zum konservativen Therapieverfahren mittels Cast-Tutor

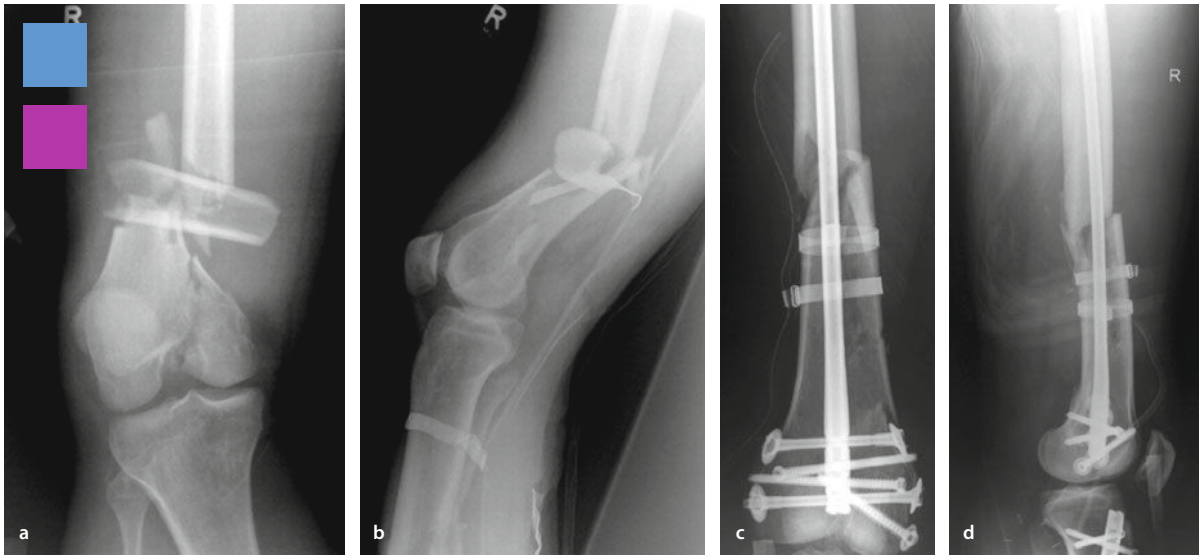


Abb. 10.4. 38 Jahre, männlich. Als Pkw-Fahrer polytraumatisiert mit seitlichem Anprall. Distale Femurfraktur Typ AO 33-C2 u. a. Operative Versorgung mit offener Reposition und Zugschraubenosteosynthese gefolgt von retrograder Marknagelung und Titanband-Cerclage am gleichen Tag

gebracht werden. Bei kurzen Schräg- und Spiralbrüchen (A1- und A2-Frakturen) sollte eine Kompressionsosteosynthese durch Schrauben nach offener Reposition erfolgen oder besser eine primäre retrograde Nagelung. Die Hoffa-Fraktur als Sonderform (B3) wird fast ausschließlich mit einer Schraubenosteosynthese (von ventral) versorgt. Zusätzliche Zugschrauben können auch zur Zusammenziehung des Condylenmassivs bei Platten- oder Marknagelosteosyntese verwendet werden (Abb. 10.4, 10.5).

Schraubenköpfe müssen immer unter das Knorpelniveau versenkt werden und möglichst außerhalb der Hauptbelastungszone liegen.



Abb. 10.5. 88 Jahre, weiblich. Sturz in der Altenpflegeeinrichtung. Im Anschnitt (*oberer Bildrand*) zeigt sich ein einliegender γ-Nagel. Frakturtyp AO A2, eine Fissur zieht allerdings bis in die intercondyläre Region. Die Patientin wurde am 4. Tag nach Aufnahme versorgt: Materialentfernung Trochanternagel und Implantation eines retrograden SCN mit additiver Stahldraht-Cerclage

10.5.3 Retrograder Marknagel

Retrograde Femurmarknägel, z. B. distaler Femurnagel (DFN) und supracondylärer Nagel (SCN), werden über eine mediane Arthrotomie transligamentär oder medial neben dem Lig. patellae bei gebeugtem Kniegelenk unter Bildwandlerkontrolle eingebracht. Das Knie wird mit einem Lagerungskissen unterstützt. Es resultiert ein transartikulärer Zugang, und der Markraum wird ventral der Kreuzbänder in der Notch eröffnet, sodass der distale Femurnagel über das montierte Zielgerät in den Markkanal eingebracht werden kann. Danach werden die Verriegelungsbolzen von lateral von distal nach proximal eingebracht. Falls notwendig, kann zusätzlich eine vorsichtige axiale Kompression der Frakturfragmente erfolgen. Dieses Verfahren ist indiziert bei allen A-Frakturen sowie in Kombination mit Zugschrauben bei C1- und C2-Frakturen. Hiermit kann eine höhere mechanische Stabilität durch den intramedullären Kraftträger erreicht werden (Abb. 10.4, 10.5).

Eine *intraoperative Kontrolle der Rotation* nach Anbindung des Gelenkblocks an den Schaft ist obligat. Dazu wird der Trochanter minor in Single-shot-Durchleuchtung beider Seiten mit jeweils streng nach ventral gerichteter Patella abgebildet. Die nebeneinander stehenden Konturdifferenzen des Trochanters weisen auf einen Rotationsfehler hin. Durchmesserdifferenzen der beiden Hauptfragmente proximal und distal des Frakturspalts

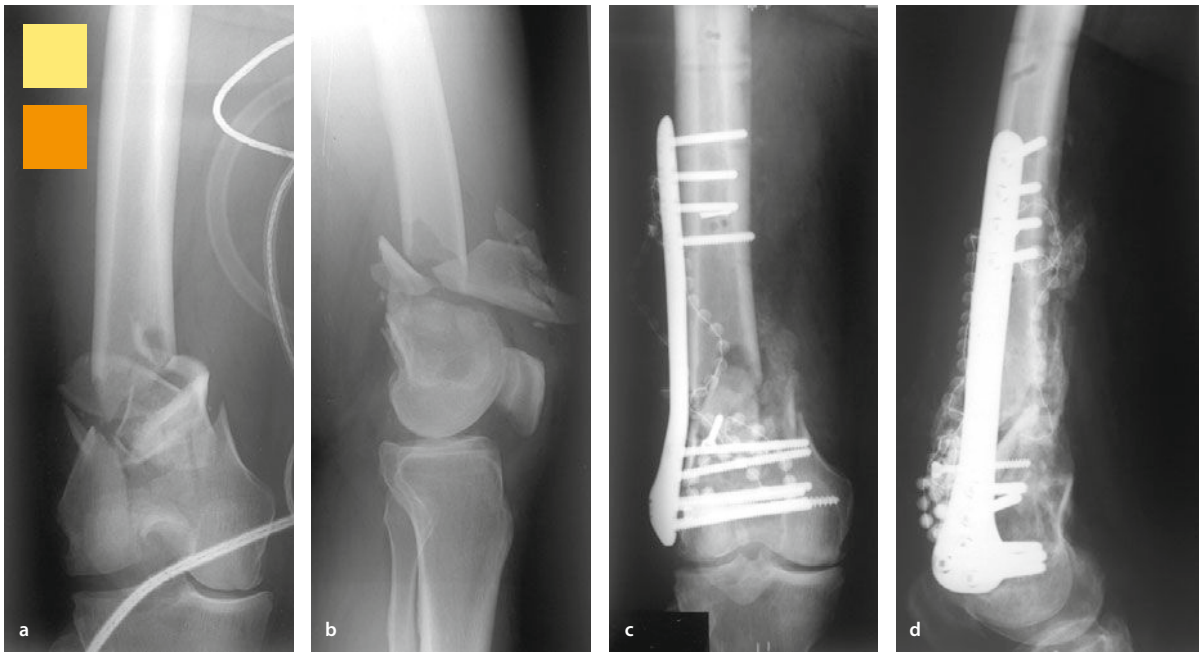


Abb. 10.6. 41 Jahre, männlich. Polytraumatisiert nach Pkw-Unfall mit Dashboard-Vverletzung. Drittgradige offene, distale Oberschenkelfraktur Typ AO 33-C3. Zweizeitige operative Versorgung, zunächst mit Fixateur externe, dann nach Weichteilkonsolidierung mit winkelstabiler Plattenosteosynthese (Condylen-TiFix) und Antibiotikaketten

können eine weiteren Hinweis geben, genauso wie das Corticalissprungzeichen (unterschiedliche Breite der Corticalis diesseits und jenseits des Frakturspalts).

Wichtig

Eine intraoperative Bildwandlerkontrolle der Rotation nach Anbindung des Gelenkblocks an den Schaft ist obligat. Rotationsfehler sind zu beheben.

10.5.4 Plattenosteosynthesen

Es existieren verschiedenste anatomisch vorgeformte Systeme auf dem Markt. Beispiele sind die

- »locking compression plate« (LCP) und
- Condylenabstützplatte, aber auch das
- »less invasive stabilization system« (LISS) oder die
- Non-contact-bridgeing-Platten (NCB).

Letzteres System hat den Vorteil, dass die Schrauben polyaxial winkelstabil einzubringen sind und dass eine Kaltverschweißung zwischen Platte und zu fest angezogener Schraube nicht mehr auftritt. Die LCP ist in L- oder T-Form in unterschiedlichen Längen erhältlich und bietet über sog. Kombilöcher die Möglichkeit, die Fixationsschrauben entweder winkelstabil oder auch konventionell einzubringen. Die Größe des Zugangs hängt hier vom Frakturverlauf und der ggf. notwendigen offenen Reposition ab. Es werden im distalen Bruchfragment möglichst viele winkelstabile multidirektionale Schrauben eingebracht.

Zu beachten ist, dass das distale Femur im Bereich der Condylen ventral schmaler als dorsal ist. Somit können in der a.-p.-Durchleuchtung ventral liegende Schrauben korrekt erscheinen, obwohl sie die mediale Corticalis überragen. Da dies zu Beschwerden führt, sollte nach der Schraubenplatzierung immer unter Durchleuchtung in einer schrägen Ebene (Bein in ca. 20° Innenrotation) die Länge der Schrauben überprüft werden.

Es ist auf eine ausreichende Plattenlänge proximal des Bruchs zu achten, diese sollte 10–15 cm betragen. Als winkelstabiles, multidirektionales Implantat bietet die Ti-Fix-Platte die Möglichkeit, einerseits das Condylenmassiv nach offener Aufrichtung zu stützen, und gleichzeitig die Möglichkeit, intercondyläre Frakturen über die Schraubenosteosynthese zu stellen (Abb. 10.6, 10.7).

Condylenplatten werden zwar im klinischen Alltag noch verwendet, sollten aber aufgrund der besseren Handhabung und der größeren Stabilität durch moderne Implantate ersetzt werden (Abb. 10.8).

Die Schraubenlänge ist immer unter Durchleuchtung in einer schrägen Ebene (Bein in ca. 20° Innenrotation) intraoperativ zu überprüfen, da medial überstehenden Schraubenenden klinisch Beschwerden verursachen.

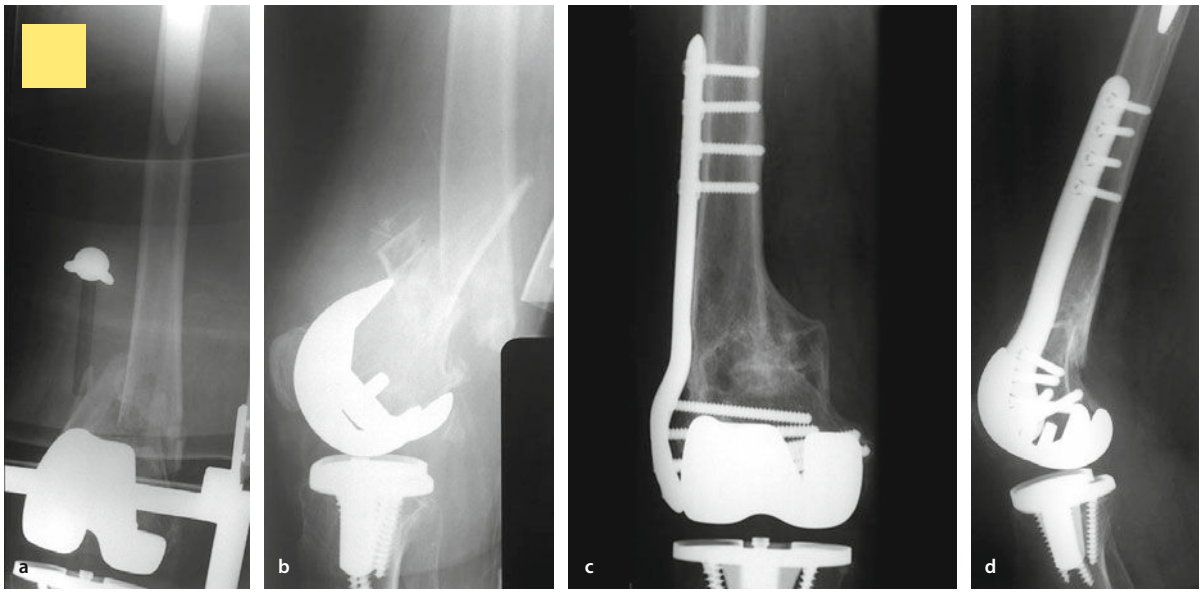


Abb. 10.7. 70 Jahre, männlich. Zustand nach Sturz auf der Toilette. Periprothetische distale Femurfraktur Typ AO 33-A3. Operative Versorgung mit winkelstabiler TiFix-Platte, rechts; Verlaufskontrolle nach Konsolidierung, im Anschnitt distales Schaftende der H-TEP sichtbar. Diese machte eine intramedulläre Versorgung unmöglich. *Auf einen ausreichenden Abstand zwischen den Implantaten oder ggf. eine entsprechende Überlappung ist zu achten, um keine Sollbruchstelle zwischen den Implantaten zu induzieren*

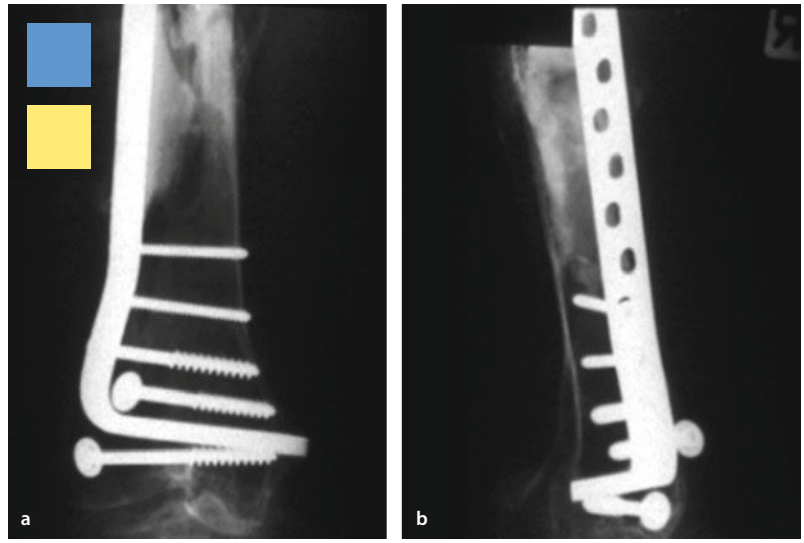


Abb. 10.8. 31 Jahre, männlich. Polytraumatisiert nach Sturz aus großer Höhe. Distale Femurfraktur Typ AO 33-C2 u. a. Osteosynthetisch versorgt am 2. Tag mit 95°-Condylenplatte. Hier erfolgte zunächst die Gelenkrekonstruktion mit 2 Zugschrauben vor Fixation mit der Platte. *Aufgrund der geringeren Stabilität ist der Versorgung mit winkelstabilen Platten der Vorzug zu geben*

10.5.5 Dynamische Condylenschraube (DCS)

Indiziert ist sie z. B. bei A3- und C1- bis C3-Frakturen sowie periprothetischen Frakturen.

Die DCS wird über einen lateralen Zugang über eine minimale Inzision eingebracht. Die Implantation der Condylenschraube erfolgt zuerst unter Zuhilfenahme des Zielgeräts und des Bildwandlers. Bei C-Frakturen muss der Gelenkblock zunächst mit Schrauben und K-Drähten wiederhergestellt werden. Die Platte wird danach nach proximal unter den M. vastus lateralis geschoben und auf die Schraube aufgesteckt. Eine möglicherweise noch bestehende Fehlstellung im seitlichen Strahlengang kann im Gegensatz zur 90°-Condylenplatte noch korrigiert werden, nachdem die Condylenschraube fixiert wurde. Im Folgenden werden die proximalen Schrauben perkutan

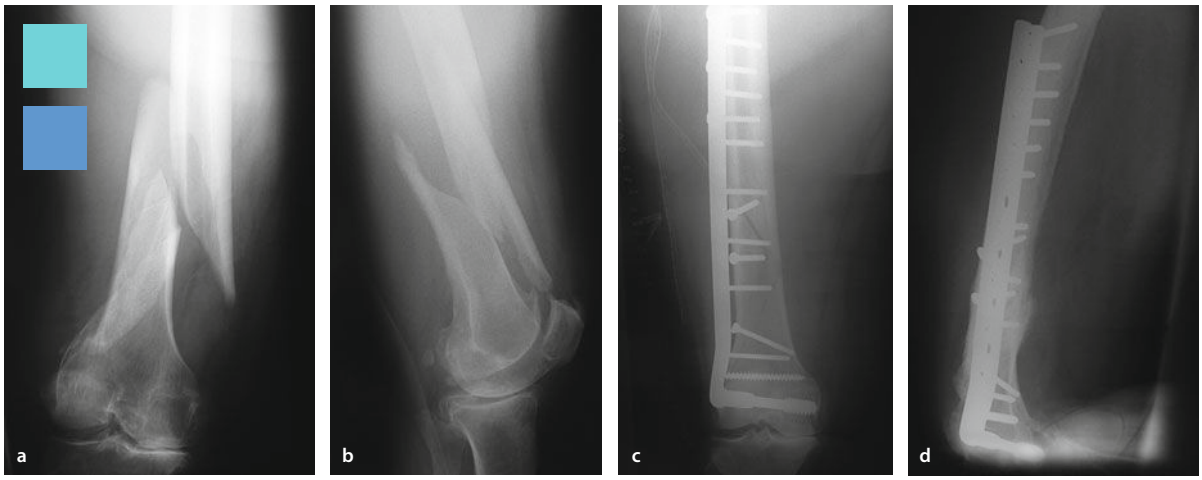


Abb. 10.9. 79 Jahre, weiblich. Treppensturz in der häuslichen Umgebung. Distale Mehrfragmentfraktur (33-A3 nach AO). Patientin wurde versorgt am 2. Tag nach Aufnahme mit 95°-Condylenschraube und additiver Schraubenosteosynthese *(seitliche Ebene nicht exakt eingestellt und Sitz der Condylenschraube daher nicht sicher beurteilbar)*

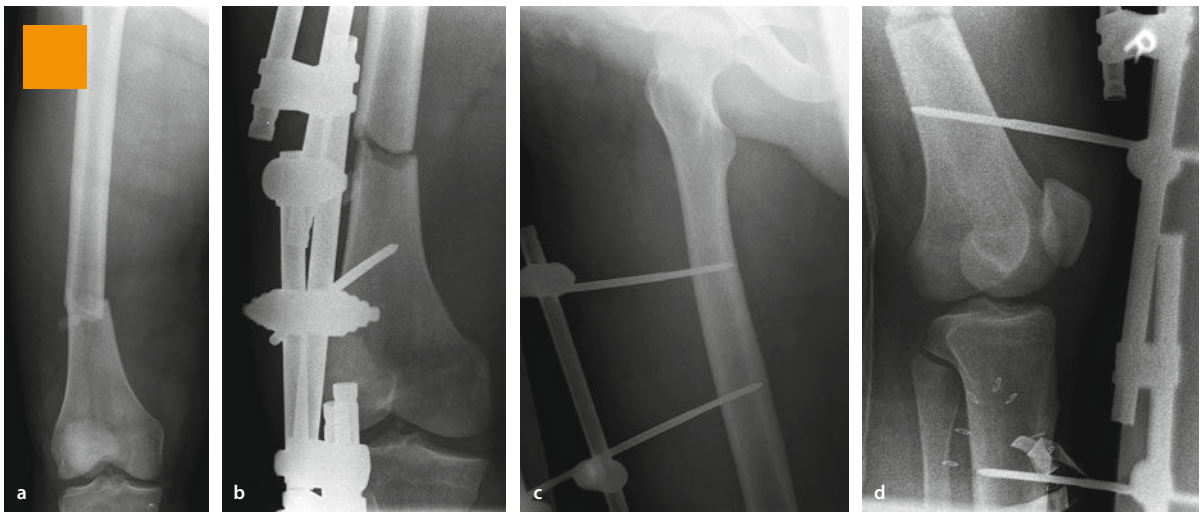


Abb. 10.10. 27 Jahre, männlich. Zustand nach Motorradunfall, u. a. mit distaler Femurfraktur. Versorgung des Patienten am Unfalltag mit einem kniegelenksübergreifenden Fixateur externe und anschließende intensivmedizinische Behandlung; die definitive Versorgung des Patienten erfolgte mit einem retrograden Marknagel

eingebracht. Auch hier ist bei medialer Defektzone eine Spongiosaplastik zu empfehlen.

Durch die vorgegebene Plattenkontur, die nahezu unveränderlich ist und z. T. nicht exakt mit der Condylenkontur übereinstimmt, kann das Condylenmassiv nach medial gedrängt werden und eine Fehlstellung entstehen. Insgesamt ist bei diesem Implantat aber eine höhere mechanische Belastung möglich als bei der Abstützplatte [6, 7] (Abb. 10.9). Die DCS wird bei diesen Frakturformen nur noch selten verwandt, meist wird winkelstabilen Systemen der Vorzug gegeben.

10.5.6 Fixateur externe

Die Versorgung erfolgt über einen lateral oder ventrallateral montierten kniegelenküberbrückenden Fixateur temporär bei Weichteilschäden oder Begleitverletzungen (Gefäßschaden). Die ventrale Montage am Oberschenkel führt häufig zu Irritationen am Quadriceps, sodass wir die rein laterale Anlage favorisieren. Zur Ausbehandlung ist der Fixateur bei dieser Bruchform wenig geeignet aufgrund der großen einwirkenden Kräfte und der nicht seltenen Auslockerung von Schrauben (Abb. 10.10).

10.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung ist von früh einsetzender *Physiotherapie* und effektiver *Schmerzausschaltung* bestimmt, sodass am 1. postoperativen Tag mit Bewegungstherapie und Mobilisation an Gehstützen unter (Teil-)Entlastung begonnen werden kann.

Unmittelbar postoperativ wird eine Lagerung mit einer Flexionsstellung des Kniegelenks in ca. 45° bevorzugt und vom Patienten als angenehm empfunden. Eine Streckhemmung ist zu vermeiden, die Krankengymnastik sollte früh v. a. in die *Streckung* therapieren.

Bei dieser Art der Fraktur ist eine Teilbelastung der verletzten Extremität zu empfehlen, da fast immer nur eine *übungsstabile Versorgung* erreicht wird. Bei C-Frakturen bietet sich eine Abrollbelastung über 12 Wochen unter entsprechender Thromboseprophylaxe an. Postoperativ ist die Weichteilsituation zu beobachten; Infektionen, Wundrandnekrosen und Hämatome sind möglich. Eine Thromboseprophylaxe sollte bis zur sicheren Vollbelastung durchgeführt werden.

Direkt postoperativ ist eine frühfunktionelle Nachbehandlung mit Hilfe der CPM-Motorschiene (»continuous passive motion«) wie auch eine Mobilisation an Unterarmgehstützen und Teilbelastung möglich, sofern dies vom Patienten umgesetzt werden kann und es sein allgemeiner Zustand erlaubt. Das Bewegungsausmaß sollte für die ersten 2 Wochen auf 0°–0°–60° Extension/Flexion nach der Neutral-Null-Methode eingeschränkt werden. Danach ist eine Beübung bis 90° Flexion im Kniegelenk möglich.

Eine adäquate analgetische Therapie ist für das frühfunktionelle Beüben des Gelenks entscheidend und für das Endergebnis ausschlaggebend. Weitere physikalische Therapiemaßnahmen sind u. a. die Lymphdrainage bei postoperativen Ödemen oder die elektrische Muskelstimulation des M. quadriceps femoris. Eine während der Nachbehandlung angestrebte Belastungssteigerung orientiert sich am Frakturtyp und der erreichten Reposition und Osteosynthesestabilität.

Radiologische *Kontrollen* sind unmittelbar postoperativ, nach Erstmobilisation sowie in 4-wöchentllichen Abständen anzuraten. Eine nach Frakturheilung noch notwendige ambulante *Physiotherapie* kann sinnvoll sein, um funktionelle Defizite auszugleichen. Eine *Metallentfernung* ist bei Platten oder Marknägeln bei sicherer Konsolidierung nach Ablauf eines Jahres zu empfehlen.

Eine *konservative Therapie* erfordert eine 6- bis 12-wöchige Behandlung im immobilisierenden Oberschenkelgips. Eine funktionelle Behandlung ist nicht möglich, und die lange Ruhigstellung mit entsprechendem Immobilisationsschaden ist keinem Patienten mehr zumutbar. Sie bleibt gut begründeten Ausnahmefällen vorbehalten.

10.7 Sonderformen

Osteoporotischer Knochen. Besonderheiten bei der Versorgung ergeben sich insbesondere beim älteren Menschen mit osteoporotischem Knochen sowie bei polytraumatisierten Patienten. Beim älteren Menschen gilt es, eine höchstmögliche Stabilität zu erreichen, da in der Nachbehandlung bezüglich der Umsetzung einer Ent- bzw. Teilbelastung besondere Ansprüche bestehen. Insbesondere die periprothetischen Frakturen bei liegender Knieendoprothese (◘ Abb. 10.7) werden im Rahmen des demographischen Wandels stetig zunehmen. Bei diesen vornehmlich osteoporotisch bedingten Frakturen hat sich je nach Form der einliegenden Prothese sowohl die retrograde Nagelung als auch die winkelstabile Plattenosteosynthese bewährt [8].

Polytrauma. Der polytraumatisierte Patient sollte je nach Verletzungsmuster gemäß den ETC- (»early total care«) oder den DC- (»damage control«) Richtlinien versorgt werden. Das Damage Control Prinzip beinhaltet ggf. ein mehrzeitiges Vorgehen mit einer zunächst temporären Versorgung durch einen Fixateur externe und einer später angewandten internen Versorgung. Eine endgültige osteosynthetische Versorgung sollte innerhalb von 14 Tagen angestrebt werden, da danach mit einem vermehrten Auftreten von Knocheninfekten gerechnet werden muss [9].

Kinder. Hier stehen in Abhängigkeit vom Alter intramedulläre Fixationsverfahren sowie schraubenosteosynthetische Verfahren zur Wahl. Insgesamt ist mit einer hohen Komplikationsrate dieser im Kindesalter seltenen Frakturform zu rechnen [10].

10.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Nach erfolgreicher anatomischer Rekonstruktion der Gelenkflächen ist die Prognose günstig. Bei unvollständiger Rekonstruktion, z. B. nach Impressionsfrakturen und Einschränkung der postoperativen Beweglichkeit, ist die Prognose entsprechend schlechter. Es können hier Sekundäreingriffe notwendig werden, bzw. es ist u. U. ein protrahierter Behandlungsverlauf zu beobachten.

10.8.1 Frühkomplikationen

Eine Entwicklung eines *Kompartmentsyndroms* im Bereich des Oberschenkels ist selten. Bei eindeutiger klinischer Diagnose und/oder bei erhöhtem Kompartment-

druck ist eine Spaltung der Kompartimente und anschließende offene Wundbehandlung unumgänglich.

Implantat- und *Schraubenlockerung* sowie *Implantatbrüche* sind ebenfalls möglich. Gelegentlich kann hier durch Reduktion der Belastung eine Frakturheilung bei gelockertem Implantat oder Schrauben noch möglich sein. Meist wird eine Revision mit Implantatwechsel erforderlich. Bei Implantatbruch sind eine Revision und Reosteosynthese unumgänglich.

Bewegungseinschränkungen verbleiben bei etwa 1/3 der Patienten, insbesondere bei intraartikulären Frakturen. Gelegentlich liegen Schraubenanteile intraartikulär. Dies kann bei entsprechender Durchleuchtungstechnik (s. oben) sicher vermieden werden. Es werden auch Lockerungen und Brüche beobachtet.

10.8.2 Spätkomplikationen

Bei *intraartikulären Frakturen* kann es zu intraartikulären Verklebungen v. a. im Bereich des Quadrizeps/oberen Knierecessus kommen. Sollte eine vorsichtige Narkosemobilisation nicht erfolgreich sein, so ist an einen Weichteileingriff mit Lösung der Verklebungen zu denken. Diese Eingriffe werden zunehmend auch arthroskopisch durchgeführt [11].

Verzögerte Frakturheilungen und *Pseudarthrosen* sind in der Nachbehandlungsphase durch klinische und radiologische Diagnostik zu erkennen. Anhaltende Schmerzen und Instabilität deuten neben einem Infekt auf eine drohende Pseudarthrose hin. Bei der Revision sind oftmals ein Implantatwechsel und eine Spongiosaplastik im Frakturbereich notwendig.

Infektion

Ein Infekt oder ein drohender Infekt zwingt immer zu einer sofortigen Revision. Bei B- und C-Frakturen und bei Fraktur mit einer intraartikulären Ausbreitung der Infektion ist mit einer schnell folgenden Gelenkdestruktion zu rechnen. Hier schließt die Revision die Gelenkinspektion und Synovektomie mit ein. Das Auftreten einer Infektion wird nicht vom gewählten Verfahren beeinflusst [9].

Beinverkürzungen

Diese treten bei stark einstauchender Fraktur bzw. Substanzverlust auf. Verkürzungen der gesamten Extremität von 1,5–2 cm können toleriert werden. Eine Revision mit erhöhter Komplikationsrate bei sekundären Eingriffen muss gründlich abgewogen werden. Gegebenenfalls kann nach Frakturheilung eine Verlängerung erfolgen.

Achsenfehler

Bei korrekturbedürftigen Achsenfehlern, die in bis zu 30% zu beobachten sind und die erst postoperativ bemerkt werden oder in der frühen postoperativen Phase auftreten, ist ebenfalls die Korrektur mit dem Patienten gemeinsam abzuwägen. Rotationsfehler über 10° sollten auf Dauer nicht akzeptiert werden, da die Gehfähigkeit des Patienten erheblich eingeschränkt werden kann und die benachbarten Gelenke vermehrt beansprucht werden. Außenrotationsfehler werden bis 20/30° besser toleriert. Bei Kindern ist in vielen Fällen mit Beinlängendifferenzen und Bewegungseinschränkungen zu rechnen [10].

Bei Erwachsenen ist der Vorteil moderner Nagel- und Plattensysteme gegenüber der DCS nachgewiesen. Ein Nachweis, ob retrograde Nägel oder winkelstabile Platten geeigneter sind, steht noch aus. Ebenso sieht es aus bei der Wahl zwischen sofortiger definitiver Versorgung (ETC) im Vergleich zu einer primären Fixateur-Versorgung mit nachfolgender endgültiger Osteosynthese (DCO) [5, 7–9, 12]. Bei relevanten pulmonalen Begleitverletzungen im Rahmen eines Polytraumas sind endomedulläre Verfahren initial nicht indiziert. Hier ist über den Fixateur externe temporär zu stabilisieren.

10.9 Begutachtung

Im Wesentlichen hängt die Einstufung von der Einschränkung der *Kniegelenkbeweglichkeit* ab. Auch die *Stabilität* des verletzten Kniegelenks sollte bei der Begutachtung Beachtung finden. Bei A-Frakturen ohne Gelenkbeteiligung ist nach knöcherner Konsolidierung mit einem Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) <10 zu rechnen. Bei vorliegender Streckhemmung ist das funktionelle Defizit insbesondere im Gang und Stand bedeutsam, sodass ein GdB/MdE von 10 bis maximal 30, je nach Ausprägung, gerechtfertigt sein können. Bei Gelenkbeteiligung und bei Verkürzung und Fehlstellung kann ein GdB/MdE in seltenen Fällen bis zu 30 betragen, es sollte aber beachtet werden, dass eine Knieversteifung in günstiger Stellung mit 30 eingeschätzt wird.

Die Einschätzung für die private Unfallversicherung beträgt bei freier Streckung und Beugung von 100° 1/10 Beinwert, bei 0–10–90° kann man von 2/10 Beinwert ausgehen [13]. In Ausnahmefällen ist bis zu 4/7 Beinwert möglich; die Entwicklung einer Arthrose ist im Verlauf zu berücksichtigen.

33

Literatur

1. P.M. Rommens, P.L. Broos, H.H. Delooz, Preclinical and clinical care of extremity lesions in polytraumatized patients. Acta Chir Belg 90: 32–38 (1990)
2. C.M. Court-Brown, S. Rimmer, U. Prakash, M.M. McQueen, The epidemiology of open long bone fractures. Injury 29: 529–534 (1998)
3. C.M. Court-Brown, B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: A review. Injury 37: 691–697 (2006)
4. L. Rennie, C.M. Court-Brown, J.Y. Mok, T.F. Beattie, The epidemiology of fractures in children. Injury 38: 913–922 (2007)
5. P.J. Kregor, J.A. Stannard, M. Zlowodzki, P.A. Cole, Treatment of distal femur fractures using the less invasive stabilization system: surgical experience and early clinical results in 103 fractures. J Orthop Trauma 18: 509–520 (2004)
6. T.F. Higgins, G. Pittman, J. Hines, K.N. Bachus, Biomechanical analysis of distal femur fracture fixation: fixed-angle screw-plate construct versus condylar blade plate. J Orthop Trauma 21: 43–46 (2007)
7. P. Duffy, K. Trask, A. Hennigar, L. Barron, R.K. Leighton, M.J. Dunbar, Assessment of fragment micromotion in distal femur fracture fixation with RSA. Clin Orthop Rel Res 448: 105–113 (2006)
8. M.R. Bong, K.A. Egol, K.J. Koval, F.J. Kummer, E.T. Su, K. Lesaka, J. Bayer, P.E. Di Cesare, Comparison of the LISS and a retrograde-inserted supracondylar intramedullary nail for fixation of a periprosthetic distal femur fracture proximal to a total knee arthroplasty. J Arthroplasty 17: 876–881 (2002)
9. P.J. Harwood, P.V. Giannoudis, C. Probst, C. Krettek, H.C. Pape, The risk of local infective complications after damage control procedures for femoral shaft fracture. J Orthop Trauma 20: 181–189 (2006)
10. A. Arkader, W.C. Warner, Jr., B.D. Horn, R.N. Shaw, L. Wells, Predicting the outcome of physeal fractures of the distal femur. J Pediatr Orthop 27: 703–708 (2007)
11. M.S. Dhillon, A.K. Panday, S. Aggarwal, O.N. Nagi, Extra articular arthroscopic release in post-traumatic stiff knees: a prospective study of endoscopic quadriceps and patellar release. Acta Orthop Belg 71: 197–203 (2005)
12. J. Seifert, D. Stengel, G. Matthes, P. Hinz, A. Ekkernkamp, P.A. Ostermann, Retrograde fixation of distal femoral fractures: results using a new nail system. J Orthop Trauma 17: 488–495 (2003)
13. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane, 4. Aufl, Thieme, Stuttgart, 2004

11 Proximaler Unterschenkel

A.S. Taheri, M. Dudda, L. Özokyay

Definition

Es handelt sich um körpernahe Brüche des Schienbeins mit oder ohne Gelenkbeteiligung. Liegt das Frakturzentrum innerhalb eines Quadrats, dessen Kantenlänge der Breite des Tibiakopfs entspricht, wird der Bruch der Region 41 zugerechnet. Bezogen auf alle Tibiafrakturen treten die Frakturen des proximalen Drittels mit einer Inzidenz von ca. 10% auf [1].

Aufgrund der häufig vorkommenden Begleitverletzungen der benachbarten Gelenkbinnenstrukturen stellen die proximalen Tibiafrakturen oft schwere Kniegelenkverletzungen dar, die ohne adäquate Therapie beträchtliche Folgen nach sich ziehen. In der posttraumatischen Frühphase kommen Gefäß-, Nerven- und Weichteilschäden, Kompartmentsyndrome und später Gelenksteifen und ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS) vor. Langfristig kann es zu einem posttraumatischen Gelenkverschleiß kommen [2], bedingt durch eine nicht exakt rekonstruierte Gelenkfläche, eine intra- und/oder extraartikuläre Achsenfehlstellung oder aufgrund von Begleitverletzungen, z. B. Band- und Meniscusschäden. Deshalb ist ein differenziertes Therapiekonzept erforderlich, das sich nach der Frakturmorphologie, den Weichteilkonditionen, dem biologischen Alter und Gesamtzustand des Patienten richtet. Ziele der Therapie sind die Wiederherstellung der Gelenkflächen und Achsenverhältnisse sowie die Rekonstruktion der Weichteile. Um eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen, sollte die Osteosynthese mindestens übungsstabil sein.

Die Frakturen im proximalen, metaphysären Anteil der Tibia sind selten, aber dann häufig mit einer simultanen Verletzung der Fibula vergesellschaftet. Sie nehmen aufgrund anatomischer und pathomorphologischer Besonderheiten eine Sonderstellung ein. Diese Verletzungen stellen bei der Versorgung eine spezielle Herausforderung dar.

11.1 Mechanismus

Die funktionelle Kongruenz der beiden gelenkbildenden Hauptkomponenten des Kniegelenks – Femorotibialgelenk und Femoropatellargelenk – wird durch unterschiedliche anatomische Strukturen und eine komplexe Biomechanik bestimmt. *Gelenkbeteiligende* Tibiakopffrakturen entstehen

- durch direkte Gewalteinwirkung, insbesondere durch axiale Kompression, oder
- durch seitliche oder rotatorische Krafteinwirkung (Varus- oder Valgusstress, z. B. von der Seite angefahren werden).

Durch *exzentrische Scherbelastung*, aber auch *nicht zentrierte axiale Kompression* sind die konsolenartig überstehenden Ränder des Tibiakopfes besonders gefährdet. Ein typischer Mechanismus ist die leicht exzentrisch einwirkende axiale Gewalteinwirkung bei gestrecktem Knie, wobei bei lateraler Krafteinwirkung Frakturen im lateralen Kompartiment beobachtet werden und mediale Brüche bei dort überwiegend wirkender Kraft. Bei zentrischer Krafteinleitung werden bicondyläre Bruchformen beobachtet.

Je nach Unfallmechanismus, Knochenqualität und Rasanz der Verletzung werden im Bereich des Tibiakopfes *Stauchungs-*, *Luxations-* und *Trümmerfrakturen* unterschieden. Unter *Komplexverletzungen* des Kniegelenks mit begleitender Tibiakopffraktur versteht man eine schwere Verletzung mit Beteiligung mindestens einer weiteren funktionellen Komponente des Kniegelenks (Femurcondylen, Kapsel-Band-Apparat, Weichteilmantel).

Die häufigsten Ursachen für Tibiakopffrakturen sind Stürze und Verkehrsunfälle; nur 5–10% der Frakturen treten im Rahmen von Sportunfällen auf. Seltene Bruchformen wie rein metaphysäre Frakturen oder die proximale Tibiaetagenfraktur sind in der Regel Folge von Hochrasanztraumata. Pathologische Frakturen und Ermüdungsbrüche finden sich selten.

Es können zwei Altersgipfel charakterisiert werden:

- Beim *jugendlichen Patienten* werden gehäuft Luxations- und Trümmerfrakturen gesehen (meistens im Rahmen von Rasanztraumata). Der überwiegende Teil der Kreuzbandverletzungen und der Seitenbandinstabilitäten tritt bei Luxationsfrakturen auf. Aufgrund der harten Knochenstruktur entstehen im jungen Alter häufiger auch Spaltbrüche.
- Der *betagte Patient* erleidet vermehrt Plateaufrakturen im Sinne von *Impressions-Depressions-Frakturen* [3], die mit metaphysären Substanzdefekten und Meniscusläsionen assoziiert sind.

Definition

Die Depressionsfraktur ist ein Spaltbruch eines Kompartiments mit Absinken des frakturierten Plateaus. Beim Impressionsbruch kommt es zum Einsinken eines begrenzten Gelenkflächenanteils.

Stufen von >2 mm bei Depressions- und Impressionsfrakturen sind Indikationen zur operativen Versorgung.

Die Entstehung *extraartikulärer Tibiafrakturen* im proximalen metaphysären Anteil beruht im Wesentlichen auf *direkter Krafteinwirkung*, v. a. bei Rasanztraumata, *indirekter Krafteinwirkung* durch Biegung und Rotation und *Quetschverletzungen* mit höhergradigem Weichteilschaden. Im Vergleich zu anderen Abschnitten der Tibia sind im proximalen Bereich die dislozierenden Kräfte erheblich größer. Im kurzen proximalen Fragment mit Ansatzpunkten von ligamentären Strukturen, deren Zugrichtung sowohl nach proximal (M. quadriceps femoris, M. sartorius, M. gracilis, M. semimembranosus, Tractus iliotibialis) wie auch nach distal (M. soleus, M. popliteus) gerichtet sind, besteht eine starke Dislokationstendenz. Darüber hinaus ist das tibiale Gelenkplateau gegenüber der Ebene der Tibiaschaftachse zurückversetzt (Retroposition) und zusätzlich um 5° nach dorsal gekippt (Retroversion). Daher führt eine Stauchungsbelastung zu einer starken *Dorsalkippungstendenz* des Tibiakopffragments, welche noch durch die Krafteinleitung des M. quadriceps femoris an der Tuberositas tibiae ventral und des M. soleus dorsal verstärkt wird. Das Zusammenwirken der Dorsalkippungstendenz mit den ventralseitigen Zugkräften, die im proximalen Abschnitt der Tibia am stärksten sind, verursacht bei metaphysären Tibiafrakturen eine hohe Dislokationsneigung des proximalen Fragments und stellt die Hauptschwierigkeit bei der Behandlung dar.

11.2 Klinik

Es finden sich die typischen *indirekten Frakturzeichen* wie Schwellung, Hämatom, Schmerzen, z. T. auch Kontusionsmarken oder Schürfverletzungen. *Direkte Frakturzeichen* wie Crepitation, abnorme Beweglichkeit, Fehlstellung bei Luxationsfrakturen und freiliegende Knochenfragmente bei offenen Brüchen sind ebenfalls zu beobachten. Eine exakte Untersuchung des Kniegelenks ist meistens schmerzbedingt nicht möglich.

Neben der Fraktur können auch Verletzungen des *Kapsel-Band-Apparats* vorliegen. Eine Untersuchung ist präoperativ nicht immer sicher möglich, daher ist sie in Narkose nach der Osteosynthese erneut durchzuführen. Bei einer intraartikulären Fraktur ist oft ein *Hämarthros* zu beobachten. Im Rahmen der primären klinischen Untersuchung kommt der genauen Überprüfung der peripheren *Durchblutung* der betroffenen Extremität, des *neurologischen Status* und des *Weichteilschadens* eine wesentliche Bedeutung zu. Ein besonderes Augenmerk ist auf das *Kompartmentsyndrom* zu richten, da es häufiger als eine direkte Nervenverletzung vorkommt und daher oft als solche fehlinterpretiert wird. Die genaue Dokumentation des Untersuchungsergebnisses ist obligat.

Bei der Anamneseerhebung kommt dem Verletzungsmechanismus eine wichtige Bedeutung zu. Das Wissen über die Intensität und die Richtung der einwirkenden Kraft kann wesentliche Hinweise auf die Art und die Schwere der Verletzung liefern.

11.3 Diagnostik

Die Diagnostik beginnt mit der Anamnese (Unfallmechanismus), Inspektion und orientierenden Beurteilung des Weichteilschadens. Aufgrund der anatomischen Situation ist v. a. bei *Luxationsfrakturen* der proximalen Tibia das *popliteale Gefäß-Nerven-Bündel* besonders *gefährdet*. Daher ist eine akribische Erhebung des neuromuskulären Befundes und des Gefäßstatus unerlässlich. Bei geringstem Verdacht auf eine Gefäßverletzung, z. B. nicht tastbare Fußpulse oder im Seitenvergleich divergierende Befunde, muss eine *dopplersonographische Untersuchung* durchgeführt werden. Bei erhärtetem Verdacht einer Gefäßläsion ist eine selektive *Femoralisangiographie* der betroffenen Extremität obligat. Bei begleitenden Frakturen des Fibulaköpfchens ist auf eine Schädigung des N. peronaeus zu achten.

Die frühzeitige Erkennung und Behandlung eines *Kompartmentsyndroms* ist ebenfalls ein wesentlicher Aspekt. Bei klinischem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom empfiehlt sich die Messung des Gewebedruckes in allen Muskellogen. Eine Differenz <30 mm Hg (4 kPa) zwischen dem arteriellen Mitteldruck und dem Gewebedruck erhärtet die Diagnose.

Bei klinischem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom kann die invasive Messung des Gewebedruckes in allen Muskellogen die Diagnose erhärten. Eine Fascienspaltung ist bei entsprechenden Symptomen unverzüglich einzuleiten.

Die konventionelle *Röntgendiagnostik* des Kniegelenks in 2 exakt eingestellten Ebenen erlaubt eine schnelle orientierende Beurteilung des Frakturtyps. Die *Computertomographie* ermöglicht eine präzise Darstellung des Frakturverlaufs und ist mittlerweile bei schwereren Verletzungen bereits in der primären Diagnostik unverzichtbar. Sagittale und frontale Rekonstruktionen sind für eine exakte Operationsplanung sinnvoll. Die dreidimensionale CT-Rekonstruktion des Tibiakopfes erlaubt eine rasche Beurteilung der knöchernen Gesamtsituation und ist für die weitere therapeutische Planung hilfreich. Zur Beurteilung der Verletzungen des Kapsel-Band-Apparates sowie der Menisci ist eine *Kernspintomographie* geeignet. Zusätzlich lassen sich hier über das subchondrale Ödem nicht oder wenig verschobene Kantenfragmente, v. a. im posterioren Abschnitt, nachweisen, welche bei der konventionellen Röntgendiagnostik häufig schwer zu erkennen sind.

Die Stabilität des Kniegelenks und das Ausmaß der Schädigung des Kapsel-Band-Apparates sind bei der Tibiakopffraktur in der Initialphase nach Trauma klinisch schlecht beurteilbar. Daher ist die MRT-Diagnostik eine sinnvolle Ergänzung wie auch die Überprüfung des Kapsel-Band-Apparates intraoperativ nach der Osteosynthese.

11.4 Klassifikationen

Zur Einteilung der Tibiakopffrakturen bestehen im Schrifttum verschiedenste Klassifikationen, von denen die meisten allerdings keine weite Verbreitung gefunden haben. Die im deutschsprachigen Raum am häufigsten angewendete und sich zunehmend durchsetzende Klassifikation ist die der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO, *AO-Klassifikation*) [4]. Diese Einteilung orientiert sich an der radiologischen Frakturmorphologie, wobei hier Weichteilschäden und Bandverletzungen nicht berücksichtigt werden. Komplexe Frakturen als Folge eines Hochrasanztraumas lassen sich häufig nicht eindeutig in die gängigen Klassifikationen einordnen.

11.4.1 AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation (Abb. 11.1) unterscheidet extraartikuläre Brüche (A), unicondyläre Spalt- und Impressionsfrakturen (B), bicondyläre und Trümmerbrüche (C). Die zusätzliche Einteilung nach dem Schweregrad 1, 2 und 3 beschreibt den Grad der Fragmentierung.

A-Frakturen. Isolierte Eminentiaausrisse werden in der Gruppe A berücksichtigt (AO 41 A1). Die Eminentiaausrisse werden den extraartikulären Frakturen zugerechnet, da sie nicht die belastete Gelenkfläche betreffen. A2- und A3-Frakturen stellen einfache oder mehrfragmentäre Brüche der proximalen Tibiametaphyse dar.

Die Behandlung reicht von *konservativen Maßnahmen* bis zur *Plattenosteosynthese.*

B-Frakturen. Es handelt sich hier um unicondyläre Spalt-, Impressionsbrüche oder Kombinationen beider Formen. Die Behandlung ist in der Regel operativ und reicht von der einfachen Zugschraubenosteosynthese bis hin zur Plattenosteosynthese, ggf. mit Unterfütterung zuvor imprimierter und intraoperativ angehobener Gelenkflächenanteile.

C-Frakturen. Dies sind Verletzungen unter Einbeziehung der gesamten Gelenkfläche und der Metaphyse, die operativ versorgt werden. Sie sind eine Domäne der Plattenosteosynthese, ggf. in Kombination mit Zugschrauben oder gemeinsam mit geeigneten Biomaterialien oder autologer Spongiosa zur Auffüllung von Knochendefekten (▶ Kap. 7 »Distaler Unterarm«).

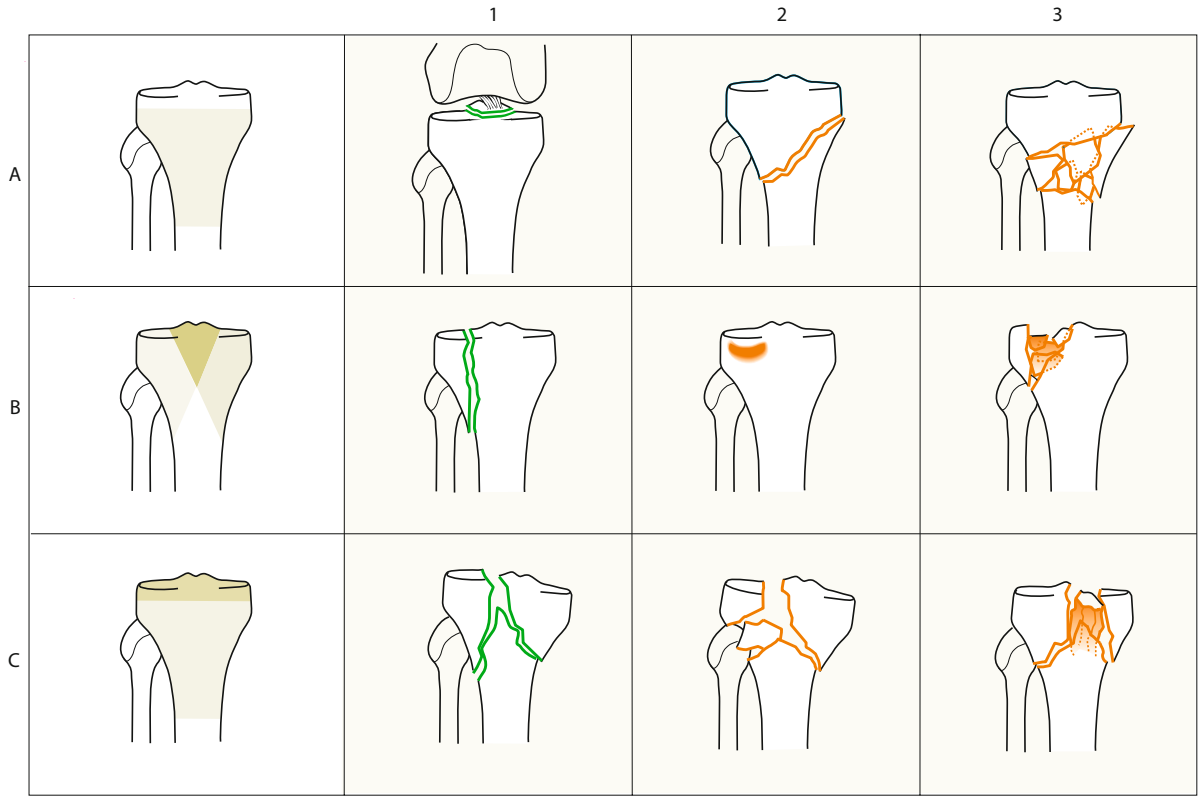


Abb. 11.1. AO-Klassifikation der Region 41 Tibiakopffraktur
Typ A: Extraartikuläre Fraktur, das Gelenk ist nicht direkt betroffen, und die Gelenkflächen sind nicht mit einbezogen
Typ B: Partiell intraartikuläre Fraktur, das Gelenk ist nur zu einem Teil betroffen, andere Anteile des gelenktragenden Knochens 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

11.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Meyers u. McKeever [5]

Unterteilung der reinen Eminentiaausrisse nach Dislokation und betroffenem Anteil (Abb. 11.2). Meistens sind Kinder und Jugendliche betroffen, da die mechanische Festigkeit des Bandapparates höher als die des wachsenden Knorpels und Knochens ist. Eine Erweiterung wurde von Seitz u. Hofmann vorgeschlagen [6].

Schatzker [7]

Diese Klassifikation enthält wesentliche Elemente der AO-Klassifikation, ist jedoch weniger ausführlich. Die Einteilung basiert auf morphologischen, therapeutischen und prognostischen Überlegungen. Es werden 6 Typen unterschieden (Abb. 11.3).

Tscherne u. Lobenhoffer [8]

Es werden Plateau-, Luxations- und Trümmerfrakturen unterschieden. Bei den Plateaufrakturen werden Spaltbrüche (P1), Impressionsbrüche (P2), Spalt-Impressions-Brüche (P3) und bicondyläre Brüche (P4) unterschieden (Abb. 11.4). Bei den Luxationsfrakturen wird in L1–L5 unterteilt (entspricht den Luxationsfrakturen nach Moore, s. oben).

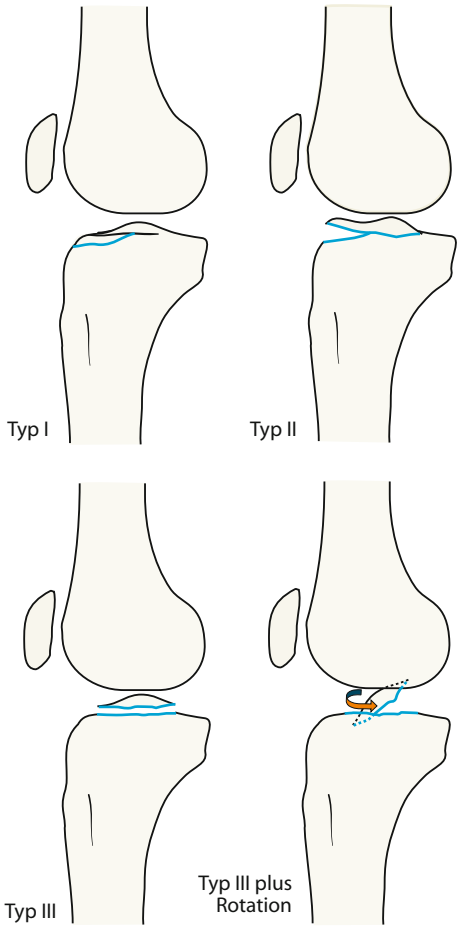


Abb. 11.2. Unterteilung der Eminentiaausrisse nach Meyers u. McKeever [5]
Typ I: Kaum dislozierte Fraktur, allenfalls minimale Anhebung des vorderen Fragmentrands
Typ II: Heraushebung des Fragments aus der Tibia, noch knöcherner Kontakt
Typ III: Kompletter Ausriss ohne Fragmentkontakt, beim Typ IIIa zusätzlich zur Diastase Fragmentverdrehung
In Erweiterung dieser Einteilung wird der isolierte Ausriss des medialen Tuberculums als Typ IV und der des lateralen als Typ V bezeichnet [6]

Moore [9]

Die mit begleitender Verletzung der ligamentären Strukturen und mit Subluxation/Luxation einhergehenden Bruchformen (Abb. 11.5) werden nach einem funktionellen Schema klassifiziert.

Sonstige

Bei geschlossenen Verletzungen wird die Weichteilsituation nach dem von *Tscherne u. Oestern* aufgeführten Schema klassifiziert [10]. Offene Frakturen werden nach *Gustilo u. Anderson* eingeteilt (▶ Kap. 3 »Oberamschaft«; [11]).

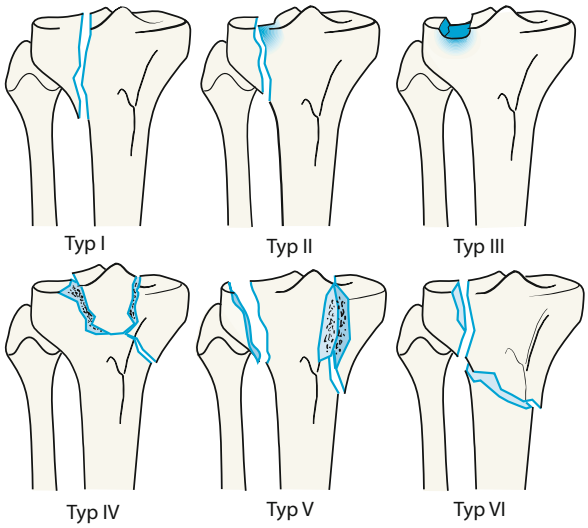


Abb. 11.3. Unterteilung der Tibiakopffrakturen nach Schatzker
Typ I: Keilfraktur des lateralen Plateaus
Typ II: Keilfraktur des lateralen Plateaus mit Impression der angrenzenden Gelenkfläche
Typ III: Zentrale Impressionsfraktur (ohne Keilbruch)
Typ IV: Spaltbruch des medialen Plateaus, oft mit Fraktur der Eminentia intercondylaris
Typ V: Bicondyläre Fraktur des medialen und lateralen Plateaus
Typ VI: Metaphysäre Fraktur mit variabler Tibiaplateaufraktur

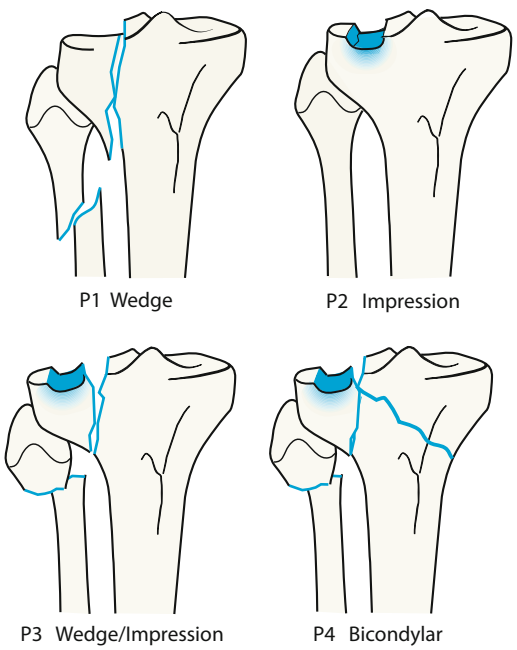


Abb. 11.4. Unterteilung der Tibiakopffrakturen nach Tscherne und Lobenhoffer
P1: Spaltbrüche
P2: Impressionsfrakturen
P3: Spalt-Impressions-Brüche
P4: Bicondyläre Brüche

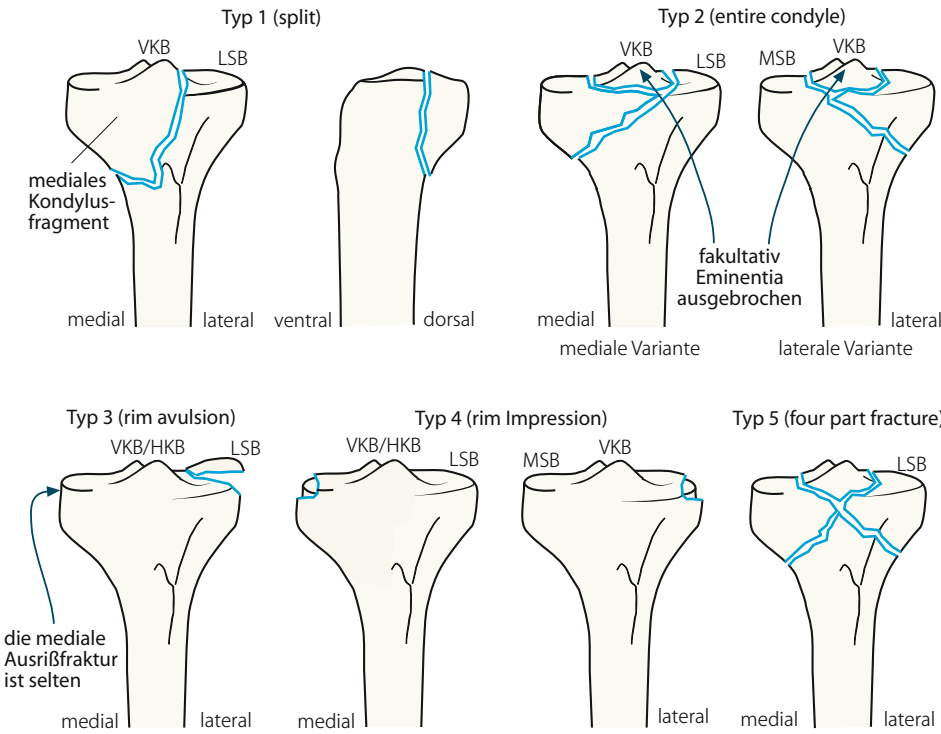


Abb. 11.5. Unterteilung der Tibiakopfluxationsfrakturen nach Moore
Typ I: Spaltbruch (»*split*«); stellt einen dorsalen Condylenspaltbruch dar, bedingt durch den luxierenden Femurcondylus nach hinten; häufigste Form, ausschließlich medial
Typ II: Fraktur eines kompletten Condylus (»*entire condyle*«); ist der komplette Condylenbruch unter Einschluss der Eminentia intercondylaris, betrifft daher auch das kontralaterale Kompartiment; häufig Seitenband- und Kreuzbandverletzungen sowie Gefäß- und Nervenverletzungen
Typ III: Randfrakturen (»*rim avulsion*«); beschreibt meist laterale Kapsel-Band-Risse wie z. B. das Segond-Fragment [12], oft begleitet von Kreuz- und Seitenbandrupturen sowie von Fibulaköpfchenfrakturen und Eminentiaausrissen
Typ IV: Randimpression (»*rim compression*«); ist die Kantenimpression mit Bandausriss, oft Fibulaköpfchenabrisse bei medialer Fraktur, laterale Impressionen mit medialer Seitenbandruptur u. a.
Typ V: Vierteilefraktur (»*four part*«); stellt Trümmerfrakturen mit Separation der Eminentia intercondylaris, von beiden Condylen und vom Schaft dar; begleitend Fibulaköpfchenfrakturen und in etwa 50% neurovaskuläre Probleme

11.5 Therapeutisches Vorgehen

Bei der Therapie von Tibiakopffrakturen werden die in der ▶ Übersicht genannten Ziele verfolgt.

Wichtig
Bei dislozierten Frakturen können die Therapieziele nur durch eine zeitnahe operative Therapie erreicht werden. Vor allem bei jüngeren Patienten ist die Operationsindikation bei einer geringgradigen Stufenbildung im Gelenk zu stellen.

Nach Abschluss der klinischen Untersuchung und Diagnostik wird die *Therapiestrategie* vom *Frakturtyp* und vom Ausmaß des initialen *Weichteilschadens* bestimmt. Eine überwiegend an der Frakturschwere orientierte Übersicht über mögliche Versorgungsstrategien gibt Abb. 11.6.

Oft ist bei den komplikationsträchtigen Verletzungen ein abgestuftes Management erforderlich. Vor einer geplanten osteosynthetischen Maßnahme sollten die Weichteile zunächst konditioniert werden. Bei schweren Weichteilschäden ist auf ein mögliches Kompartmentsyndrom zu achten. Die Indikation zur Kompartmentspaltung sollte großzügig gestellt werden. Bei einer operativen Fasziotomie müssen unbedingt alle 4 Kompartimente des Unterschenkels gespalten werden.

Wichtig
Die offene Fraktur, das Kompartmentsyndrom und begleitende Gefäßverletzungen sind Notfallindikationen und müssen sofort operativ versorgt werden.

Bei höhergradig instabilen Frakturen sollte eine *temporäre Transfixation* mittels Fixateur externe erfolgen.

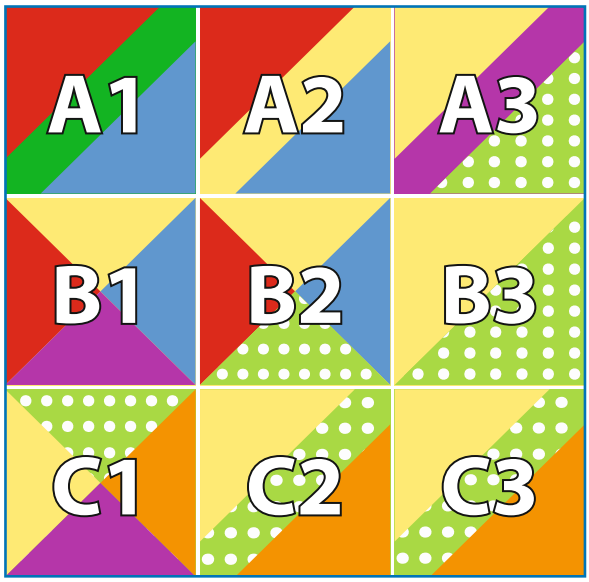


Abb. 11.6. Therapieoptionen bei körpernahen Brüchen des Unterschenkels. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren. *Abweichungen sind möglich). Der Fixateur externe (verschiedene Formen,* ▶ Kap. 11.5.4) *wird in aller Regel als temporäres Implantat verwendet. Indikationen sind Polytraumatisierte oder Mehrfachverletzte mit proximaler Tibiafraktur, offene Brüche oder Frakturen mit erheblichem Weichteilschaden. Solche Situationen werden in den meisten Fällen bei höhergradigen Frakturen beobachtet. Daher wird der Fixateur den C-Frakturen zugeordnet, andere Anwendungen sind möglich*
- Konservativ
- Zugschraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese
- Augmentation mit Knochenersatzmaterialien/Knochentransplantaten

Ziele der Therapie von Tibiakopffrakturen

- Wiederherstellung der tibialen Gelenkflächenkongruenz, v. a. der Hauptbelastungszone, die nicht von den Meniscen bedeckt ist
- Wiederherstellung der Achsenverhältnisse, da eine Fehlbelastung eines Gelenkkompartiments zu einem posttraumatischen degenerativen Gelenkschaden führen kann
- Vermeidung einer längerfristigen Immobilisation, um eine Minderernährung des Gelenkknorpels zu vermeiden; eine weitere Komplikation der Immobilisation ist die Arthrofibrose mit konsekutiver Gelenksteife
- Adäquate Therapie der Begleitverletzungen, z. B. der ligamentären Instabilitäten und der Meniscusverletzungen
- Schmerzfreiheit (-armut)

Durch *Ligamentotaxis* kann hiermit die Geometrie des Tibiakopfes wiederhergestellt und eine gewisse *Entstauchung* der Frakturzone erzielt werden. Offene Frakturen sollten notfallmäßig débridiert und mechanisch ausgiebig gespült werden (Jet-Lavage), wobei bei einer zweit- oder drittgradigen Weichteilschädigung ein mehrzeitiges Vorgehen zu empfehlen ist. Bei Zerstörungen des Streckapparates sollte dieser bereits bei der Erstversorgung rekonstruiert werden.

Wichtig
Ein insuffizienter Streckapparat kann die Ursache für einen sekundären Repositionsverlust sein. Eine Rekonstruktion ist bei der Erstversorgung anzustreben.

11.5.1 Konservative Therapie

Nicht verschobene, stabile Brüche [13] und kleine *Impressionsfrakturen* (bis 2 mm Stufe) können konservativ behandelt werden (nach AO-Klassifikation z. B. A1-, A2-, B1- und B2-Frakturen, Abb. 11.7). Weitere Beispiele sind nicht oder wenig verschobene Kantenfragmente (posteromediales Kantenfragment, anterolaterales Kantenfragment, sog. Segond-Fraktur).

Wichtig
Bei konservativer Behandlung von Tibiakopffrakturen kommen ligamentäre und andere Begleitverletzungen vor, die bei entsprechender Indikation primär oder sekundär versorgt werden. Sie müssen mit entsprechender Diagnostik (z. B. MRT) ausgeschlossen bzw. gesichert werden.

Die konservative Therapie besteht aus der Anlage eines in der Initialphase bis auf die letzte Faser gespaltenen Oberschenkelgipsverbandes, alternativ sind auch entsprechende Klettschienen möglich. Das Knie sollte gering gebeugt sein. Unterstützend sind neben lokalen, abschwellenden Maßnahmen Analgetika und Antiphlogistika und nach Abklingen der akuten Schmerzphase Bewegungsübungen auf der Motorschiene (»continuous passive motion«; CPM) indiziert. Weiter sind isometrisches Muskeltraining und nach Rückgang der Schwellung eine aktive Bewegungstherapie erforderlich. Die Patienten sollen frühzeitig mobilisiert und die Frakturen weitgehend entlastet werden. Patienten mit einer impaktierten Tibiakopffraktur können wenige Tage nach dem Unfall an Gehstützen mit Abrollbelastung mobilisiert werden. Diese Frakturen sind in der Regel nach 8–10 Wochen konsolidiert. Dies ist mittels Röntgenkontrollen zu sichern.

Wird eine sekundäre Dislokation befürchtet, so ist eine (Minimal-)Osteosynthese anzustreben [14, 15]. Gelenkergüsse sollten aufgrund des Infektionsrisikos nur

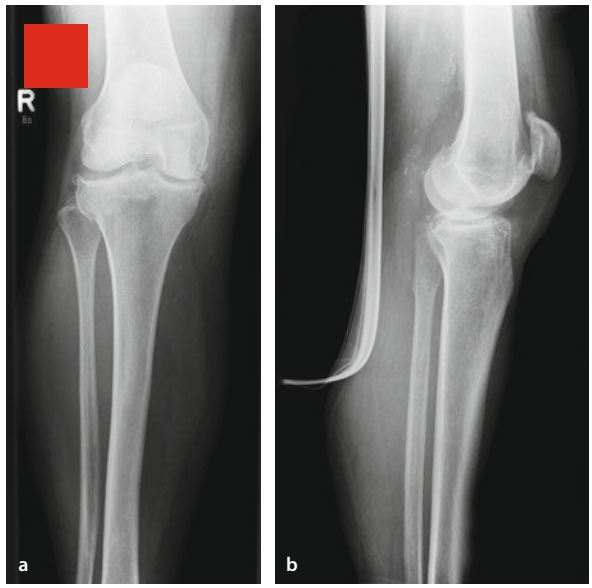


Abb. 11.7. 73 Jahre, weiblich. Stolpersturz und Verdrehtrauma des Kniegelenks. Laterale gering dislozierte Tibiakopffraktur. B3-Fraktur nach AO. Fortgeschrittene medial betonte Varusgonarthrose. Aufgrund der oben genannten Befundkonstellation konservative Therapie, v. a. weil die Fraktur eine traumatische Valgisierung des Kniegelenks bedingt

dann abpunktiert werden, wenn sie ausgeprägt sind und zu deutlichen Beschwerden führen.

11.5.2 Minimalinvasive Verfahren

Bestehen hohe Operationsrisiken, so müssen auch dislozierte bzw. instabile Tibiakopffrakturen ohne ein größeres operatives Vorgehen behandelt werden. Dies wird mittels einer *Extension* durch calcanearen Dauerzug, Modellierung der Tibiacondylen sowie durch gedeckte Reposition unter Bildverstärkerkontrolle mit Hilfe von *Kirschner-Drähten* oder transkutan eingebrachten *Schrauben* erreicht (Abb. 11.8). Auch unter Extensionsbedingungen ist eine »modellierende« Bewegungsbehandlung möglich und wünschenswert [15, 16]. Die Weiterbehandlung erfolgt unter Extension (3–4 kg) für 4–6 Wochen mit oder ohne Oberschenkelgipsverband. Anschließend kann auf einen Oberschenkelgehgipsverband für weitere 6–8 Wochen gewechselt werden.

Bei gering dislozierten Spaltbrüchen, bei Impressionen im mittleren oder hinteren Gelenkabschnitt oder bei Eminentiafrakturen (AO A1, B1–3) können arthroskopisch gestützte Operationstechniken eingesetzt werden. Die *arthroskopische Reposition und interne Fixation (ARIF)* besitzt Vorteile gegenüber offenen Verfahren und hat mittlerweile gute Ergebnisse geliefert [13, 17–21]. Die Reposition und die Osteosynthese können mit einem geringeren Operationstrauma schonend über Stichinzisionen durchgeführt werden, und Weichteilkomplikationen kommen hier sehr viel seltener als bei offenen Verfahren vor [17]. Aufgrund der geringeren Morbidität ist die postoperative Mobilisation erleichtert und somit die Inzidenz postoperativer Arthrofibrosen geringer als bei offenen Verfahren (Abb. 11.9).

Die Arthroskopie ermöglicht die exakte optische Beurteilung der Gelenkflächen und damit der Qualität der erzielten Reposition. Die arthroskopisch gestützte Operation ist bei allen nicht stark verschobenen oder getrümmerten Frakturen (z. B. B-Frakturen nach AO) indiziert.

Außerdem erlaubt die Kniegelenksarthroskopie die Erfassung osteochondraler, ligamentärer und meniscaler Schäden, die bei Tibiakopffrakturen in 20–30% der Fälle begleitend auftreten. Im Gegensatz zu ligamentären Instabilitäten können Meniscusläsionen simultan operativ behandelt werden.

Bei isolierten Frakturen der *Eminentia intercondylaris (AO 41-A1)* besteht die Indikation zur arthroskopischen Reposition und internen Fixation [5]. Eine minimalinvasive Schraubenosteosynthese [22] ist hier möglich, aber aus biomechanischer Sicht nicht immer sinnvoll [23]. Beim Setzen dieser Schraube im Sinne einer Zugschraube kann mitunter interfragmentäre Kompression erreicht werden. Bei Kirschner-Drahtversorgung ist dies nicht möglich. Daher sollte das Fragment gut reponiert stehen. Einige Autoren empfehlen die Reposition durch »Überstreckung« unter Narkose. Bei Refixation der Eminentia mit einem nicht resorbierbaren Material (z. B. Ethibond 1 mm) [23] wird ein K-Draht in der Mitte des Eminentiafragments, also im Insertionsgebiet des vorderen Kreuzbandes, platziert [24]. Der K-Draht wird mit einem Bohrer (4,5 mm) überbohrt, und über eine lange Kanüle oder einen K-Draht mit Öse wird nun der Nahtfaden in das Gelenk gebracht. Anschließend wird der Nahtfaden am Periost oder extraossär an einem Scheibchen fixiert. Bei Kindern wird resorbierbares Material bevorzugt.

Arthroskopisch gestützte Operationstechniken können auch zur Behandlung von *unicondylären Spaltbrüchen (AO 41-B1)* angewandt werden. Zur Reposition von Spaltbrüchen eigenen sich ein Kugelspieß oder eine große Repositionszange. Über eine Stichinzision kann die Fraktur von lateral oder medial mit Schrauben (z. B. 7,3-mm-Großfragmentschrauben) stabilisiert werden. Das Einbringen der Schrauben erfolgt unter Bildverstärkerkontrolle. Die mediale Corticalis sollte, wenn immer möglich, nicht überschritten werden, da dies häufig zu Schmerzen im postoperativen Verlauf führt.

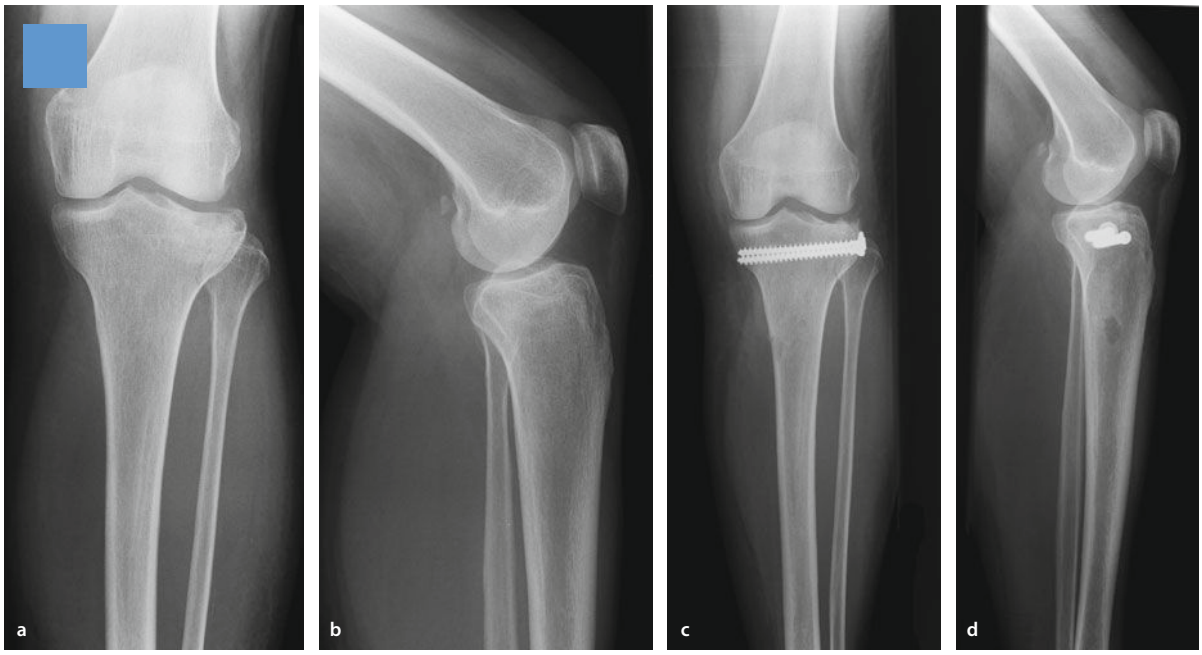


Abb. 11.8. 56 Jahre, weiblich. Stolpersturz mit valgisierendem Moment. Kaum dislozierter Spaltbruch (B1 nach AO). Minimalinvasive Zugschraubensynthese mit Übungsstabilität

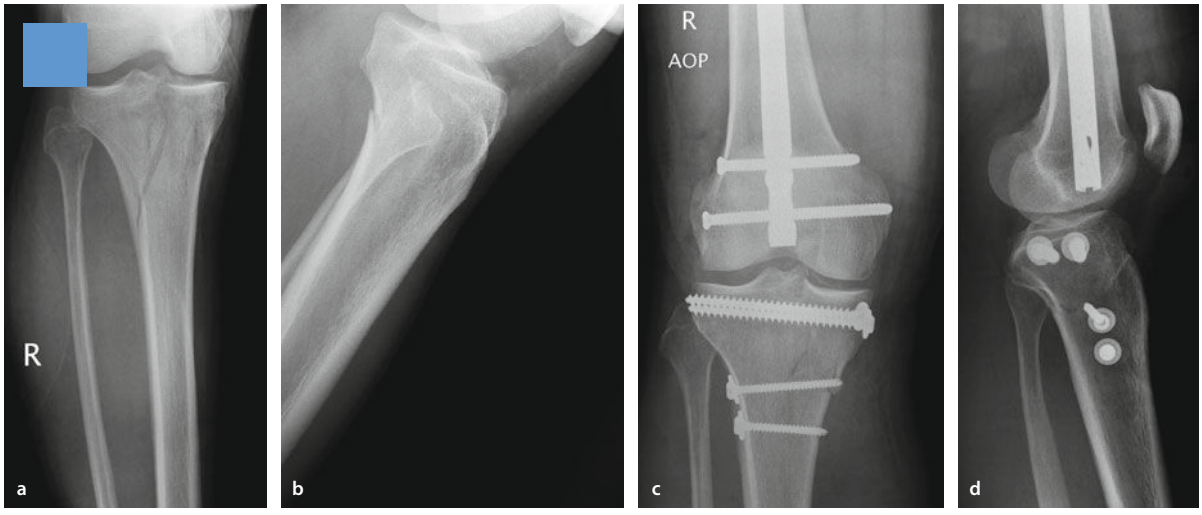


Abb. 11.9. 44 Jahre, männlich. Pkw-Unfall, direkter Anprall mit gleichzeitiger Femurschaftfraktur (»dashboard injury«). Luxationsfraktur vom Typ II nach Moore (»entire condyle«). Minimalinvasive arthroskopisch gestützte Zugschraubenosteosynthese jeweils mit Unterlegscheiben der proximalen Tibia und retrograde Marknagelosteosynthese des Oberschenkels

Die Reposition von unicondylären Spaltbrüchen kann temporär über einen K-Draht gesichert werden. Vorteilhaft sind kanülierte Schrauben, da sie über den vorgelegten K-Draht eingebracht werden können.

Bei der als »Jail-Technik« bekannten Methode kann, um die Stabilität zu erhöhen, eine weitere Schraube unterhalb der eigentlichen Osteosyntheseschrauben in das Hauptfragment eingebracht werden. Diese zusätzliche Schraube verläuft im 90°-Winkel und dient als Widerlager [25].

Die Frakturen nach *AO 41-B2* bzw. *-B3 (isolierte unicondyläre Impressionsfraktur* sowie *Impressionsspaltfraktur)* werden von intraartikulär mit einem Zielgerät sondiert, ein K-Draht wird bis dicht unter den subchon-

dralen Knochen platziert und die Position arthroskopisch und radiologisch kontrolliert. Die laterale oder mediale Tibiakopfcorticalis wird vorsichtig mit einem Bohrer eröffnet, und die Impression wird unter Bildwandlerkontrolle hochgestößelt. Dabei ist eine minimale Überkorrektur anzustreben. Die Impression wird durch eine Spongiosa- oder Knochenersatzmaterialunterfütterung reponiert und abgestützt.

Besteht die Notwendigkeit, stark dislozierte Fragmente transkutan zu reponieren, können kräftige Kirschner-Drähte oder Steinmann-Nägel als Joysticks manipulativ verwendet werden und Imprimate mit geraden oder gebogenen Stößeln (z. B. aus dem Wirbelsäuleninstrumentarium) oder Kugelspießen bzw. Elevatorien gehoben werden. Große Repositionszangen aus dem Beckeninstrumentarium erleichtern auch hier die Reposition [13]. Bei geschlossener Reposition stark dislozierter Frakturen ist eine Extensionslagerung zu empfehlen, da die »Ligamentotaxis« die Reposition wirkungsvoll unterstützt.

Gelegentlich kann es erforderlich sein, die Impressionszone mit zusätzlicher autologer Spongiosa oder den Bohrkanal mit Knochenersatzmaterial (z. B. Tricalciumphosphat) zu unterfüttern. Anschließend erfolgt die Osteosynthese mit kanülierten Abstützschrauben. Dieses Vorgehen muss durch Bildverstärkerkontrolle überprüft werden, da ein alleiniges arthroskopisches Vorgehen wegen der optischen Unterschiede die Gefahr einer Fehlreposition beinhaltet. Randimpressionen (posteromedial oder posterolateral) oder Randabrisse kommen häufig in Kombination mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes vor.

Das laterale *»Segond-Fragment«* ist nahezu pathognomonisch für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes. In diesen Fällen ist eine Schraubenosteosynthese nur bei größeren gelenktragenden Fragmenten erforderlich. Im Vordergrund steht bei diesen Verletzungen der Kreuzbandersatz mit einem autologen Sehnentransplantat, der jedoch nicht akut oder subakut erfolgen muss.

11.5.3 Plattenosteosynthese

Die bei proximalen Tibiafrakturen direkt nach dem Trauma häufig bestehende Schwellung ist durch das Fraktur- und Weichteilhämatom bedingt, das durch den operativen Eingriff entlastet werden kann und dann einen spannungsfreien Wundverschluss erlaubt. Die günstigsten lokalen Voraussetzungen sind bis zu 6 h nach dem Unfall vorhanden, denn die anschließende Weichteilschwellung ist überwiegend durch das sich erst entwickelnde Gewebsödem bedingt und kann somit eine operative Rekonstruktion der Weichteile unmöglich machen. Dann ist bis zum Rückgang der Schwellung zu warten. Die Ruhigstellung der betroffenen Extremität, ggf. mittels Fixateur externe, Extension, entsprechenden Klettschienen und zusätzlich abschwellende Maßnahmen führt zur Konsolidierung der Weichteile im Frakturgebiet.

Wichtig

Als Faustregel gilt: Tibiakopffrakturen werden aufgrund der schnellen und massiven Weichteilschwellung nicht zwischen 6 h und 6 Tagen nach dem Trauma operiert.

Die Auswahl eines geeigneten Operationsteams ist wichtiger als eine Sofortoperation, wenn nicht eine absolute Indikation zu einer Notoperation (schwerer Weichteilschaden, offene Fraktur, Kompartmentsyndrom, Gefäßverletzung usw.) diese unverzüglich erforderlich macht.

Die Vaskularisation des Tibiakopfes wird im Wesentlichen durch die dorsalen epiphysären Gefäße (A. inferior lateralis genus) gewährleistet. Bei den operativen Zugängen wird auf ausgedehnte Freilegungen des Knochens über große Zugänge verzichtet [3, 26]. Bei der Präparation werden Hautweichteillappen gebildet, die nicht in Schichten voneinander gelöst sind. Präparationsebene ist die Grenze zum Lig. patellae bzw. zur Kniescheibenvorderfläche mit den Retinacula. Nach Möglichkeit werden Periost und Muskulatur an den Fragmenten belassen. Randständige, vom Hauptfragment gelöste Condylenfragmente werden zur Reposition nur partiell von den Weichteilverbindungen gelöst.

Erweiterte Zugänge sollten lediglich absoluten Sonderindikationen vorbehalten werden und haben in der akuten Frakturversorgung keinen Stellenwert. Der Y-förmige Zugang mit der großen Freilegung des Tibiakopfes und Osteotomie der Tuberositas tibiae ist wegen der hohen Rate von Hautnekrosen verlassen worden. Standardzugänge sind der *anterolaterale* und bei medial stärker ausgeprägter Fraktur auch der *anteromediale Zugang*. Eine *mediane Längsinzision* ist schweren Frakturen vorbehalten, die durch einen unilateralen Zugang nicht sicher rekonstruiert werden können. Dies sind in der Regel C3-Frakturen nach AO. Bei diesem Zugang ist ganz besonders auf eine weichteilschonende Präparationstechnik zu achten.

Wichtig

Standardzugänge zum Tibiakopf sind der anterolaterale und der anteromediale Zugang je nach Lokalisation der wesentlichen Frakturpathologie. Eine mediane Längsinzission ist schwersten, anders nicht rekonstruierbaren Frakturen vorbehalten.

Für den *anterolateralen Standardzugang* wird eine S-förmige Schnittführung gewählt. Der Tractus iliotibialis

wird am Vorderrand subperiostal mit den Extensoren vom Knochen gelöst. Nach der Durchtrennung der meniscotibialen Bänder kann der Außenmeniscus an seiner Basis angehoben und somit eine gute Einsicht auf die Gelenkfläche erreicht werden. Nun kann die Fraktur unter direkter Einsicht reponiert werden.

Über einen *posterolateralen Zugang* können Frakturen der hinteren Anteile des Tibiaplateaus operativ angegangen werden. Bei diesem Zugang erfolgt ein Längsschnitt in Höhe der Fibula. Nach der bogenförmigen Ablösung der Extensoren vom Tibiakopf kann die Fibula subkapital osteotomiert werden. Eine Alternative ist die scharfe Ablösung der Fibula von der Tibia [26]. Dieser Zugang wird wegen der Gefahr einer iatrogenen Peronaeusläsion selten benutzt. Bei der Präparation der Fibula ist die Darstellung des N. peronaeus obligat.

Der *anteromediale Zugang* beginnt mit einem geraden Hautschnitt ca. 2 cm medial der Tuberositas tibiae. Gelegentlich kann es notwendig sein, den Pes anserinus an der Tuberositas tibiae mit einer Knochenschuppe abzulösen. Über eine kleine mediale Arthrotomie kann die Gelenkfläche eingesehen werden.

Über einen *posteromedialen Zugang* können posteriore Luxationsfrakturen erreicht werden. Der Hautschnitt beginnt auf Höhe des Epicondylus medialis und zieht bis an die Hinterkante der Tibia. Hierbei wird der Pes anserinus mit einem Haken nach distal gehalten.

Zur Darstellung des posterioren medialen Tibiaplateaus bei hinteren Luxationsfrakturen, aber auch zur direkten Fixation dislozierter dorsaler Eminentiafragmente im Sinne eines knöchernen Ausrisses des hinteren Kreuzbandes kann der *direkte posteriore Zugang nach Trickey* erforderlich sein. Hier erfolgt der Hautschnitt S-förmig mit Beginn proximal des medialen Kopfs des M. gastrocnemius. Er verläuft diagonal über die Fossa poplitea und endet am distal-lateralen Unterschenkel. Nach Durchtrennung der Faszie wird der M. popliteus nach caudal abgeschoben. Anschließend erfolgt eine Querinzision im Bereich der Fossa poplitea, die bogenförmig nach oben und unten verlängert werden kann. Diesen Zugang sollte man ohne Blutsperre durchführen, um bei der Präparation die Poplitealgefäße palpieren zu können. Der N. suralis ist zwischen den Gastrocnemiusköpfen darzustellen. Der N. peronaeus und N. tibialis werden dargestellt und angezügelt; das popliteale Gefäß-Nerven-Bündel wird nach medial gehalten. Nach Durchtrennung der hinteren Kniegelenkskapsel zwischen den beiden Gastrocnemiusköpfen werden die hinteren Anteile der Eminentia intercondylaris sichtbar.

Das oberste *Ziel* der Reposition ist die stufenlose Wiederherstellung der Gelenkfläche. Knorpeltragende osteochondrale Fragmente werden eingepasst. Imprimierte Fragmente werden mit Stößeln angehoben und unterfüttert. Zur Reposition großer Fragmente werden großbogige, den Tibiakopf umspannende Repositionszangen (»Beckenrepositionszangen«) verwendet. Die Reposition der Fraktur sollte weichteilschonend erfolgen. Bei Darstellung der Fraktur sollte auf Deperiostierungen verzichtet und indirekte Repositionstechniken bevorzugt werden [3, 19, 26].

Zur korrekten Längenausrichtung wird mit der distalen Fragmentreposition begonnen (große Schlüsselfragmente). Die reponierten Fragmente werden temporär mit Kirschner-Drähten gehalten, und die Überprüfung der Achsenstellung kann einfach mit dem Elektrokauterkabel entlang des Tibiaschafts erfolgen. Erst dann erfolgt die Plattenanlage. Verwendet werden *T- oder besser L-förmige Platten* oder anatomisch vorgeformte *winkelstabile Platten* (Abb. 11.10–11.12).

Zur Reposition sind die größeren Schlüsselfragmente zu identifizieren. Durch deren Reposition lässt sich die Ausrichtung der kleineren Fragmente kontrollieren.

Bei korrekt wiederhergestellter Gelenkfläche und Achse wird eine anatomisch vorgeformte, bei osteoporotischem Knochen auch winkelstabile Platte eingebracht und die subchondrale Gelenkzone mit parallel zur Gelenkfläche platzierten subchondralen (winkelstabilen) Schrauben fixiert. Die Platte wird anschließend am Tibiaschaft und zuletzt an der metaphysären Tibia winkelstabil fixiert (Abb. 11.12). Die Platte sollte der Schwingung des Tibiakopfes angepasst sein, um keine Verwerfungen oder Achsenfehler zu produzieren. Bei den winkelstabilen Systemen ist eine exakte Anmodellierung nicht erforderlich, da sie funktionell wie ein Fixateur interne wirken und dem Knochen nicht direkt anliegen.

Die Platten werden bei monocondylären Frakturen anteromedial oder anterolateral angebracht. Die abstützend wirkende Platte ist auf der Seite der Fraktur zu platzieren. Bei bicondylären Trümmerfrakturen empfiehlt es sich gelegentlich, die kontralaterale Seite ebenfalls osteosynthetisch mit einer additiven Abstützplatte zu stabilisieren, damit beide Säulen rekonstruiert werden können. Hierzu kann eine mediane Längsinzision oder ein bilateraler Zugang gewählt werden (Abb. 11.13).

Um ein späteres Absinken der reponierten Gelenkfläche zu verhindern, muss bei größeren Knochensubstanzdefekten die eingestauchte Fraktur häufig mit autologer Spongiosa, z. B. aus dem vorderen Beckenkamm, abgestützt werden. Als Alternativen bieten sich auch bei ausreichend zur Verfügung stehendem autologem Material Hydroxylapatit oder Tricalciumphosphat an. Ein allseitiger Knochenkontakt dieser Knochenersatzmaterialien ist sicherzustellen.

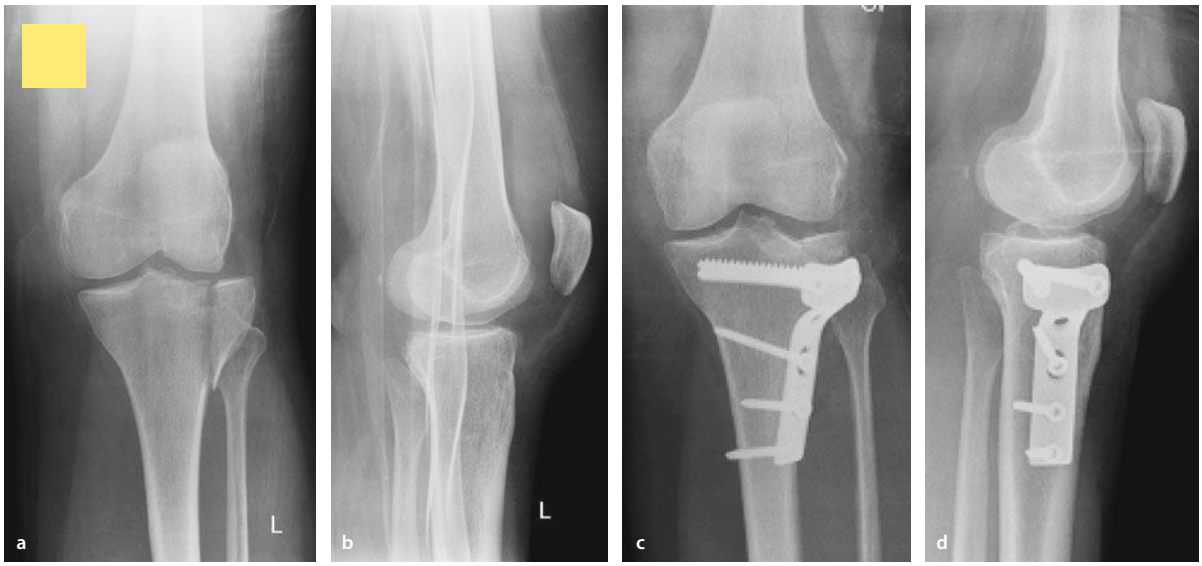


Abb. 11.10. 70 Jahre, weiblich. Sturz in häuslicher Umgebung. Depressions-Spalt-Fraktur (B1 nach AO). Osteosynthese nach offener Reposition über anterolateralen Zugang mit konventioneller T-Platte. Reposition im medialen Anteil des lateralen Gelenkkompartiments nicht ganz optimal

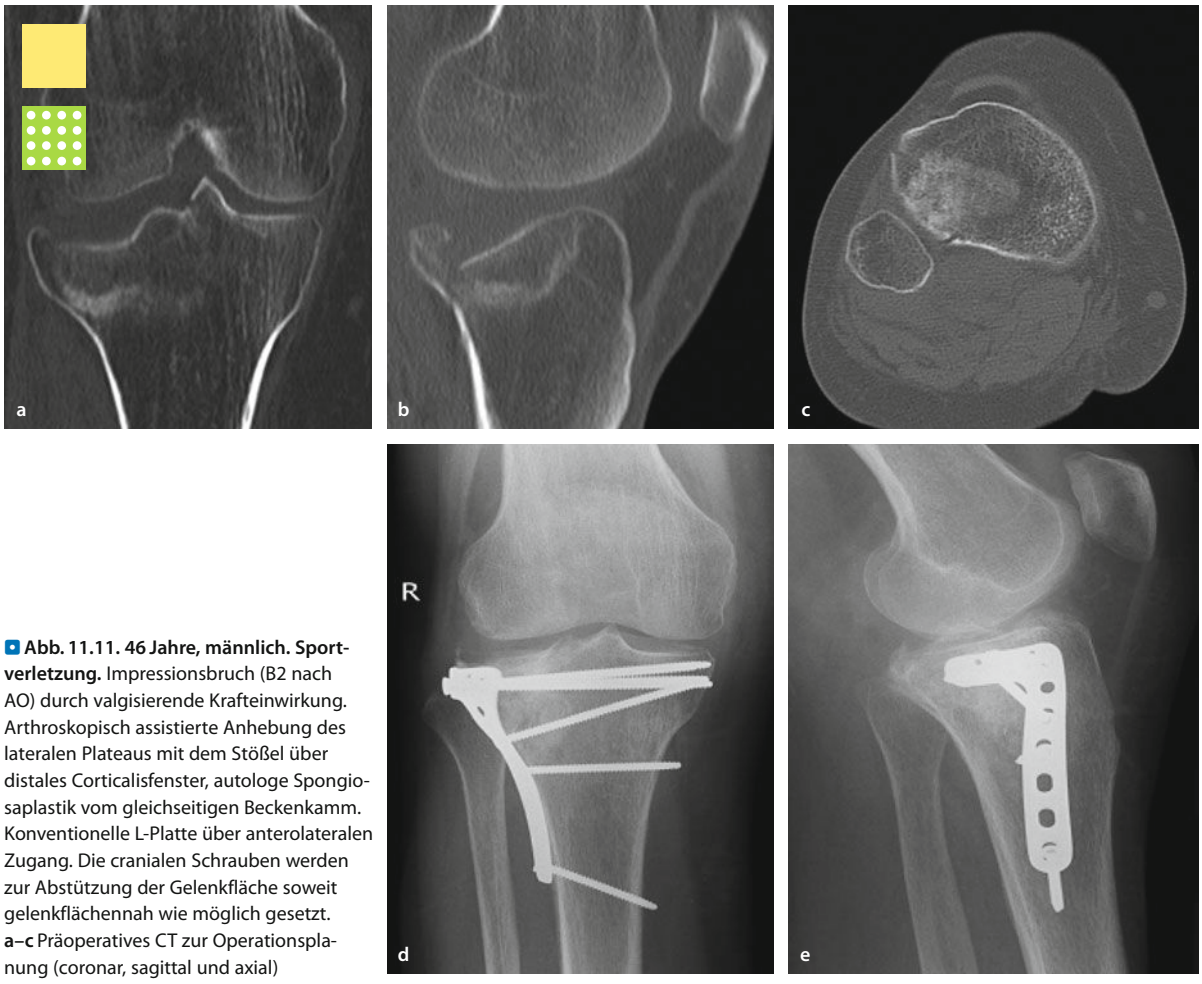


Abb. 11.11. 46 Jahre, männlich. Sportverletzung. Impressionsbruch (B2 nach AO) durch valgisierende Krafteinwirkung. Arthroskopisch assistierte Anhebung des lateralen Plateaus mit dem Stößel über distales Corticalisfenster, autologe Spongiosaplastik vom gleichseitigen Beckenkamm. Konventionelle L-Platte über anterolateralen Zugang. Die cranialen Schrauben werden zur Abstützung der Gelenkfläche soweit gelenkflächennah wie möglich gesetzt. **a–c** Präoperatives CT zur Operationsplanung (coronar, sagittal und axial)

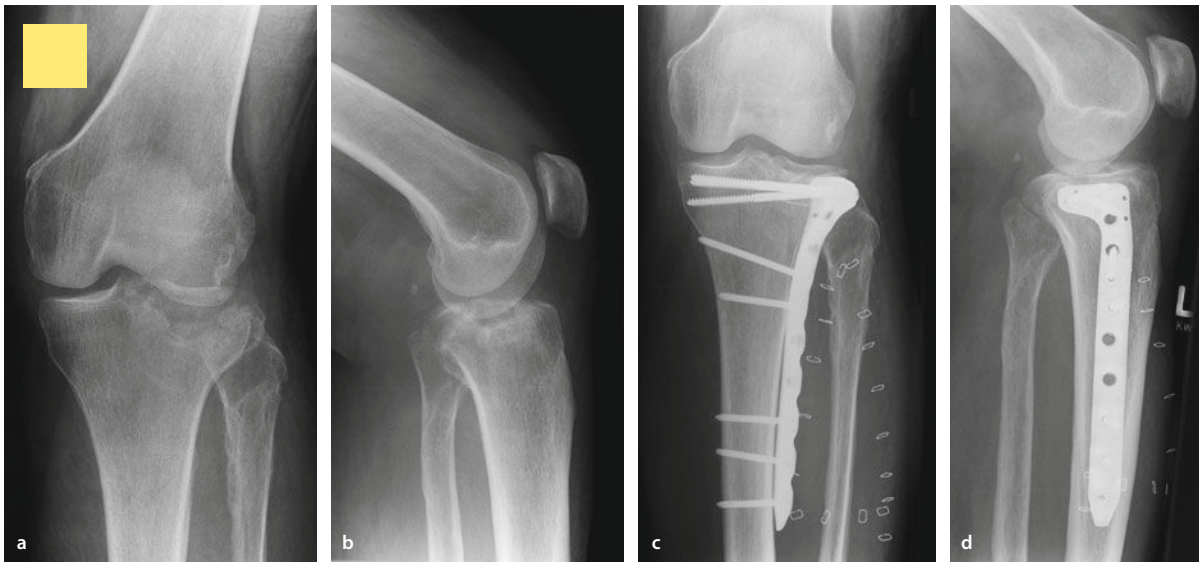


Abb. 11.12. 62 Jahre, männlich. Valgisierendes Anpralltrauma. Impressionsbruch des lateralen Kompartiments (B2 nach AO). Kompartmentspaltung, Osteosynthese mit winkelstabiler Platte nach Anhebung der Gelenkfläche. Temporäre Deckung mit Vakuumverband

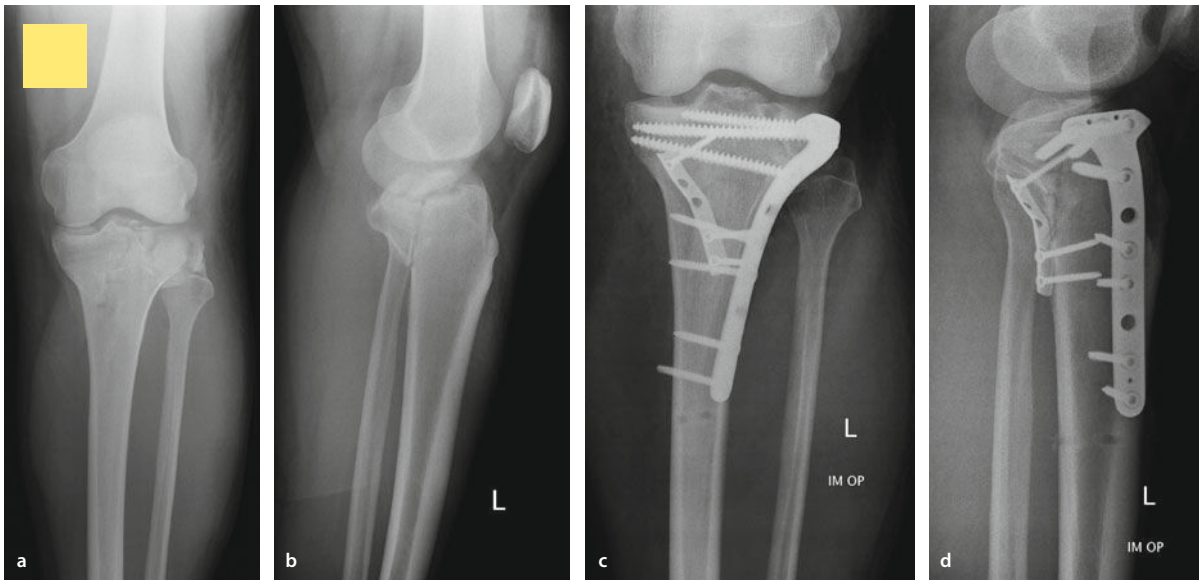


Abb. 11.13. 38 Jahre, männlich. Sprung aus 2 m Höhe. Laterodorsale Impressions-Depressions-Fraktur (B3 nach AO). Versorgung mit einer lateral angebrachten winkelstabilen Platte und einer dorsalen 1/3-Rohrplatte über separaten Zugang zur Stabilisierung des dorsalen Fragments

Fixateur interne

Eine weichteilschonende Osteosynthese wird durch das Konzept des Fixateur interne mit winkelstabiler minimalinvasiver perkutaner Plattenosteosynthese *(MIPPO)* oder »less invasive stabilisation system« *(LISS)* ermöglicht. Die Vorteile dieses Implantats liegen in einer kurzen Operationszeit bei minimaler Strahlenbelastung und einer weichteilschonenden, geschlossenen Operationstechnik. Die Platte kann über einen anterolateralen Hautschnitt am Tibiakopf unter den Weichteilen zwischen dem Periost und der Muskulatur hindurchgeschoben werden. Hierbei kann durch das Wegfallen der Plattenkompression gegen den Knochen die periostale Perfusion geschont, eine Durchblutungsstörung des Knochens vermindert und da-

41

mit die Porosierung am Plattenlager reduziert werden. Wegen fehlender Mobilisation von Frakturfragmenten aus dem Weichteilverbund findet keine Devastierung der Fragmente statt. Die Frakturzone wird nicht freigelegt, und große Expositionen werden vermieden.

Es findet eine beschleunigte knöcherne Konsolidierung der Frakturen mit geringerer Infektinzidenz statt. Die Schraubenimplantation erfolgt über Stichinzisionen über den Plattenlöchern nach radiologischer Lagekontrolle. Die knochennahe Fixation der Platte wird durch speziell anatomisch für den Tibiakopf geformte Implantate ermöglicht. Mit den langen Platten können auch Mehretagenfrakturen oder Frakturen, die weit in den metaphysären Bereich hineinziehen, versorgt werden.

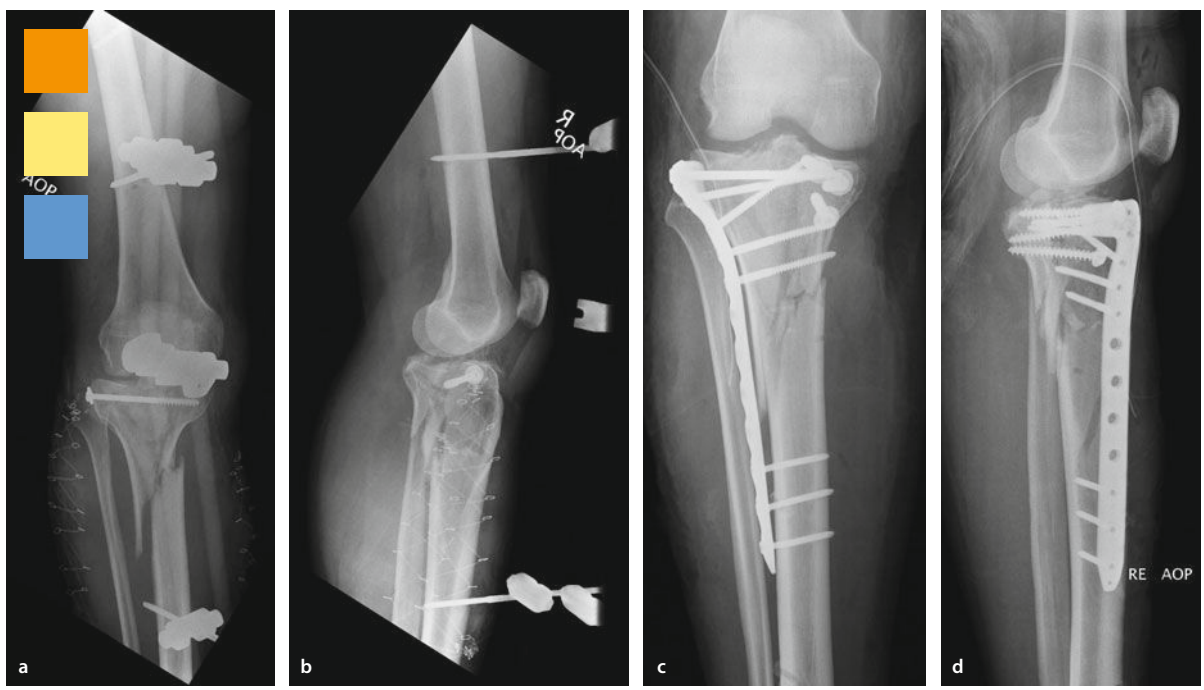
11.5.4 Fixateur externe

Zur Stabilisierung ausgedehnter Trümmerfrakturen, ggf. kombiniert mit desolaten Weichteilverhältnissen, bei Infektionen und bei der Versorgung Polytraumatisierter sind initial Fixateure die Versorgungsart der Wahl. Auch höhergradig instabile Frakturen, offene Frakturen und Luxationsfrakturen bedürfen einer *temporären Transfixation* bis zur definitiven operativen Versorgung nach Weichteilkonsolidierung (◘ Abb. 11.14–11.16). Der Fixateur externe erfüllt primär als Notfall- und Kurzzeitimplantat ebenfalls die Forderungen der *biologischen Osteosynthese*. Er zeichnet sich durch eine einfache Operationstechnik, hohe Steifigkeit und geringe Weichteiltraumatisierung aus. Durch Ligamentotaxis kann die Geometrie des Tibiakopfs verbessert oder auch wiederhergestellt und eine Entstauchung der Frakturzone erzielt werden.

Hybridfixateur

Der Hybridfixateur ist eine weitere Therapieoption [27]. Er setzt sich aus 2 Modularsystemen (Ringmodul und AO-Fixateur) zusammen. Bei diesem Verfahren wird nach der Frakturreposition das proximale Gelenkfragment – ggf. mittels kanülierten Schrauben oder Olivendrähten – mit Kleinfragmentunterlegscheiben, die parallel zur tibialen Gelenkfäche eingebracht und an einem horizontal liegenden Carbonring verankert werden, perkutan stabilisiert (◘ Abb. 11.17). Die Letzteren ermöglichen eine interfragmentäre Kompression bei erhöhter Auflagefläche. Der Gelenkblock wird somit über diesen Carbonring gehalten.

Die Reposition und die Retention der Unterschenkelachse werden durch eine Verbindung der Ringkon-



◘ **Abb. 11.14. 31 Jahre, männlich. Polytrauma nach einem Motorradunfall.** Unter anderem erstgradig offene proximale Tibiafraktur (C3 nach AO) und Kompartmentsyndrom. Primäre Stabilisierung mit einem Fixateur externe und einer perkutan quer eingebrachten Schraube am Tibiakopf zur Stellung des Tibiakopfs; Spaltung aller Kompartimente des Unterschenkels und Anlage eines Vakuumverbands. Definitive winkelstabile Platten- und Schraubenosteosynthese der Tibia mit verbliebener minimaler Varusfehlstellung mit endgültigem Wundverschluss nach Stabilisierung des Allgemeinzustands

struktion mit den in der Diaphyse distal der Fraktur verankerten Schanz-Schrauben erreicht. Die Vorteile der Hybridfixation liegen in einem weichteilschonenden Verfahren mit schneller und *gelenkflächennaher Applikation*, der Möglichkeit sekundärer, geschlossen durchführbarer Korrekturen und sofortiger Lagerungs-- und Belastungsstabilität. Dieses Verfahren eignet sich besonders auch als *temporäre Osteosynthese*, die nach Konsolidierung in ein geschlossenes System konvertiert werden kann.

Sonstige

Der *Hexapodfixateur* und der *Ilisarov-Fixateur* treten bei der Akutversorgung der proximalen Tibiafraktur mit den anderen Verfahren nicht in Konkurrenz. Diese Verfahren werden bei geplanten, längerdauernden Knochenbehandlungen eingesetzt. Die Indikationen für diese Fixateure sind komplexe Fehlstellung, Fehlbildungen der langen Röhrenknochen und Verkürzungen nach Frakturen oder Infektionen.

11.5.5 Marknagelosteosynthese

Tibiakopffrakturen in Kombination mit Schaftfrakturen der Tibia stellen eine therapeutische und operative Herausforderung dar. Diese kombinierten Verletzungen sind oft mit erheblichen Begleit- und Weichteilverletzungen behaftet. Eine initial häufig indizierte externe Fixation wird vom Patienten längerfristig schlecht toleriert und



Abb. 11.15. 36 Jahre, weiblich, Autounfall, C3 Fraktur durch direkten Anprall, geschlossener ausgeprägter Weichteilschaden ohne Kompartmentsyndrom (**a, b**). Passagere Ruhigstellung mit einem Fixateur externe (**c, d**). Nach Weichteilkonsolidierung offene Reposition und mediale als auch laterale Plattenosteosynthese (**e, f**). Kontrollaufnahmen nach 2 Monaten (**g, h**)

41

zwingt nach Konsolidierung der Weichteile und operativer Sanierung der Begleitverletzungen (Gefäßläsionen, Kompartmentsyndrom) zu einem Verfahrenswechsel. Trotz langer winkelstabiler Plattensysteme bieten diese nicht selten distal geringe Fixationsoptionen. Hier besteht die Möglichkeit der Kombination von Plattensystemen mit modernen Nagelsystemen. Bei dieser Verfahrenskombination muss zunächst der Gelenkblock optimalerweise mit einer winkelstabilen Platte stabilisiert werden. Bei der Nagelimplantation sollte der Nageleintrittspunkt möglichst distal gewählt werden, um keine weitere Dislokation zu produzieren.

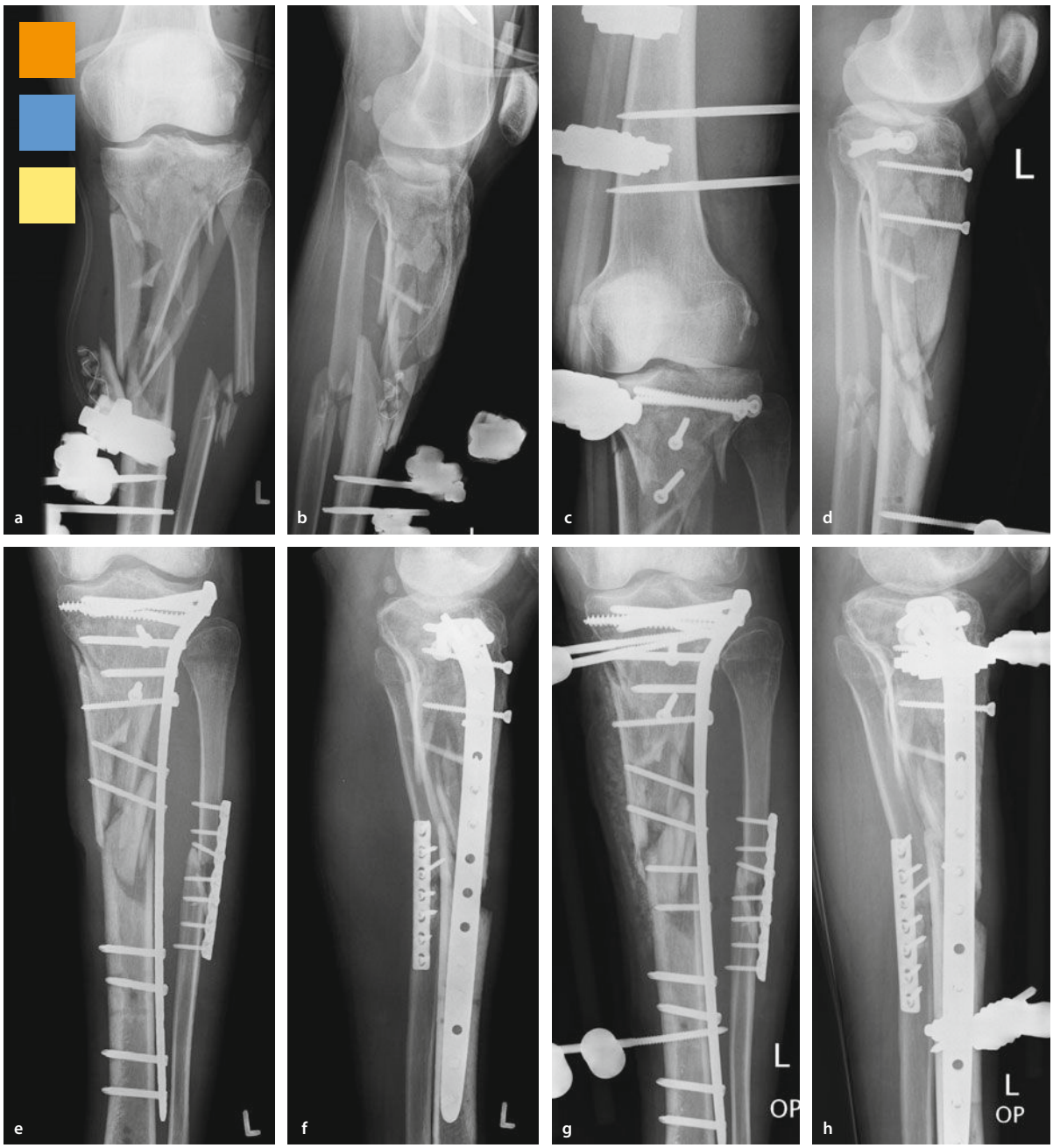


Abb. 11.16. 49 Jahre, männlich. Drittgradig offene Fraktur nach Motorradunfall. Primärversorgung mit Fixateur externe und Antibiotikaketten (**a, b**). 2. Operation mit passagerer Schraubenosteosynthese und Entfernung der Antibiotikakette (**c, d**). 3. Operation mit überbrückender winkelstabiler Plattenosteosynthese der Tibia und LCDCP der Fibula (**e, f**). Bei Instabilität und fehlender Konsolidierung 4. Operation mit rigider Osteosynthese und autologer Spongiosaplastik vom gleichseitigen Beckenkamm (**g, h**)

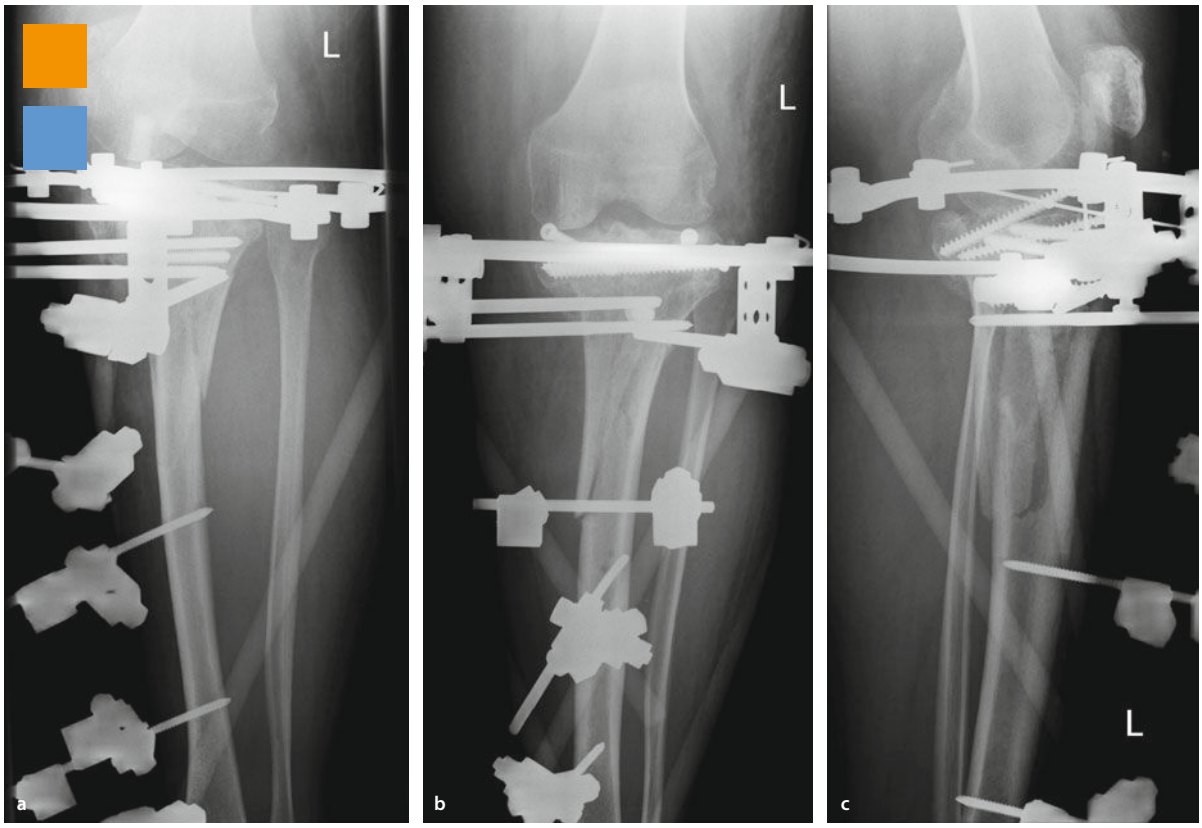


Abb. 11.17. 74 Jahre, männlich. Polytrauma als Fahrradfahrer, der von einem PKW erfasst wurde. Versorgung einer zweitgradig offenen proximalen Unterschenkelfraktur mit einem Hybridfixateur und perkutanen Schrauben

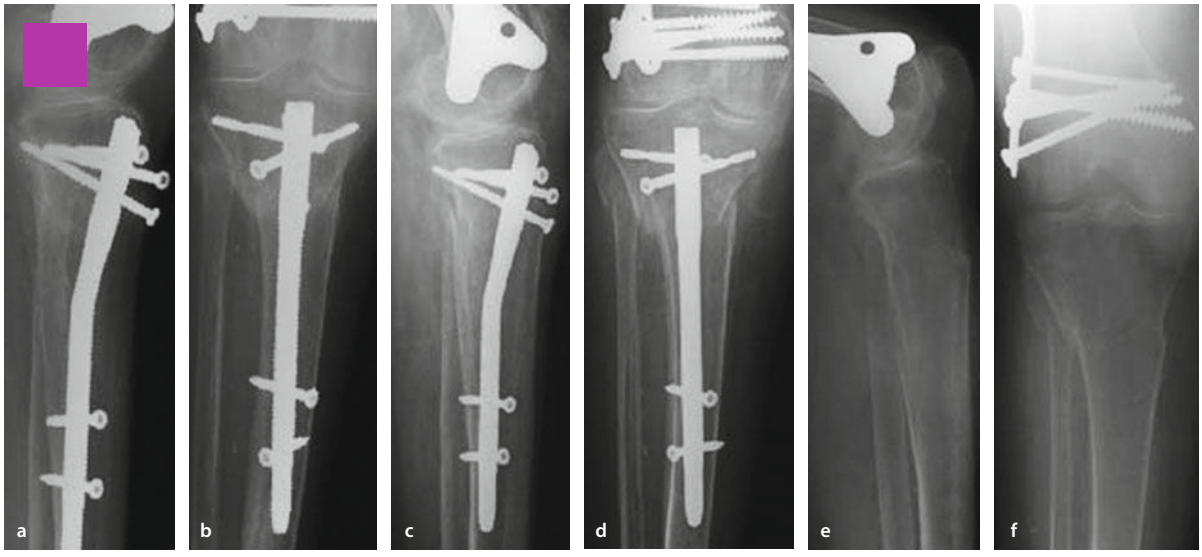


Abb. 11.18. 91 Jahre, weiblich. Bilaterale proximale Tibiafrakturen beidseits nach Sturz bei erheblicher Osteopoprose. Rechtsseitige Fraktur, nach AO-Klassifikation 41 A3-Bruch. Versorgung mit proximalem Tibiamarknagel (PTN). **a b** Unfallbilder (a.-p. und seitlich). **c, d** Versorgungsaufnahmen (a.-p. und seitlich), die proximalen Frakturfragmente wurden mit 3 Verriegelungsschrauben stabilisiert. **e, f** Verlaufskontrolle nach 12 Wochen, knöcherne Konsolidierung mit achsengerechter Stellung und Längenausgleich (a.-p. und seitlich) [28]

Die Versorgung von Frakturen im proximalen metaphysären Anteil der Tibia (nach AO 41-A2 und -A3) durch Marknagelung ist mit spezifischen anatomischen Problemen verbunden. Dazu zählen der trichterförmige Markraum des Tibiakopfs, der dem Implantat keine ausreichende Verankerungsmöglichkeit bietet, und die Führung des Nagels auf der Corticalis des Einschlaglochs und der tuberositasnahen Spongiosa.

Die Grenzen für die Marknagelosteosynthese liegen bei im proximalen Fünftel der Tibia gelegenen extraartikulären Frakturen [1]. Für solche Frakturen sind spezielle proximale Tibianägel entwickelt worden (Abb. 11.18). Eine abschließende Bewertung steht noch aus.

11.5.6 Augmentation von Knochendefekten

Frakturen des Tibiakopfes sind häufig mit Knochendefekten vergesellschaftet. Insbesondere nach Reposition von C-Frakturen entstehen metaphysäre Knochendefekte. Diese führen gelegentlich zu mangelhafter Durchbauung und zur Entwicklung von Pseudarthrosen, verschlechtern aber auch die Abstützung der gelenktragenden Fragmente. Die Augmentation von Knochendefekten ist in solchen Fällen indiziert und verbessert die Prognose. Bei Impressionsfrakturen muss die Gelenkfläche unterfüttert werden. Auch hier ist die Plattenosteosynthese kombiniert mit einer Augmentation durch Spongiosa oder Knochenersatzmaterial mit guten Ergebnissen das Verfahren der Wahl (Abb. 11.11, 11.19).

Als bioaktive Implantate eigenen sich z. B. Hydroxylapatit oder aufgrund der partiellen Umbaubarkeit in körpereigenen Knochen Tricalciumphosphat [29]. Eine *Augmentation* unter Verwendung der erwähnten *Knochenersatzmaterialien* ist einer Transplantation autogenen Knochens gleichwertig bei *allseitigem Knochenkontakt*, vermeidet die typischen Entnahmekomplikationsmöglichkeiten und ist zudem kostengünstiger [30]. Kommt Weichgewebe in Kontakt zum Knochenersatzmaterial, führt dies zur Bindegewebsneubildung und nicht zur Bildung von Knochen in diesem Bereich.

Die Morbidität am Entnahmeort der autogenen Spongiosa aus dem Beckenbereich ist beträchtlich [31]. Typische Indikationen für die Osteosynthese kombiniert mit Augmentation von Knochendefekten sind neben den *C1- bis C3-Frakturen* die *A3-, B2- und B3-Frakturen*. Wenn hierfür autogene Spongiosa aus dem Beckenbereich verwandt werden soll, ist bei der sterilen Abdeckung des Operationsgebiets auf eine gute Akzessibilität zu achten.

Wichtig

Bei der Defektauffüllung mit Knochenersatzmaterialien ist auf allseitigen Knochenkontakt zwingend zu achten. Gegebenenfalls muss autogene Spongiosa aus dem Tibiakopf dem Biomaterial angelagert werden, um ein Einwachsen von Weichgewebe zu verhindern.

11.6 Nachbehandlung

Allgemeine Maßnahmen wie eine suffiziente Schmerztherapie, die korrekte Lagerung und abschwellende Maßnahmen (Hochlagerung, Kryotherapie, Antiphlogistika) sind Voraussetzungen für eine erfolgreiche Rehabilitation. Postoperativ ist die *Weichteilsituation* engmaschig zu beobachten, um Infektionen, Wundrandnekrosen und Hämatome rechtzeitig zu erfassen und ggf. eine adäquate Behandlung einzuleiten. Eine *Thromboseprophylaxe* sollte bis zur sicheren Vollbelastung durchgeführt werden.

Wichtig

Das Ergebnis der endgültigen Versorgung sollte eine falladaptierte frühfunktionelle Nachbehandlung mit sofortiger Mobilisation gestatten.

Die postoperative Nachbehandlung muss adaptiert an das gewählte Osteosyntheseverfahren und den Zustand des Patienten erfolgen. In Abhängigkeit von Fraktur- und Osteosyntheseverfahren und der damit erreichten Stabilität sollte die *Physiotherapie* eine Frühmobilisation und wenn möglich eine Teilbelastung anstreben. Dazu zählen Bewegungsübungen auf der Motorschiene (»continuous passive motion«; CPM), isometrisches Muskeltraining und nach Rückgang der Schwellung aktive Bewegungstherapie, Gehschulung, Lymphdrainage und ein dosierter Belastungsaufbau.

Die aggressive und konsequente Nachbehandlung verhindert postoperative Adhäsionen der Gleitschichten sowie Kontrakturen. Ein zusätzliches Muskelaufbautraining mit begleitenden Koordinationsübungen zur Verbesserung der dynamischen Gelenkstabilisation ist für eine schnelle Rehabilitation entscheidend.

Radiologische Verlaufskontrollen sollten direkt postoperativ und nach 2 bzw. 6 Wochen erfolgen, um die Frakturheilung zu beurteilen bzw. Komplikationen wie sekundäre Dislokationen zu erfassen. Abhängig von der Frakturform und der durchgeführten Osteosynthese ist mit einem Durchbau der Fraktur nach 8–16 Wochen zu rechnen.

Eine *Implantatentfernung* kann nach abgeschlossener knöcherner Heilung individuell nach 12–18 Monaten erfolgen. Teilimplantatentfernungen können, je nach gewähltem Verfahren, auch früher erforderlich werden.

11.7 Sonderformen

Besondere Prinzipien der Behandlung finden sich bei proximalen metaphysären Tibiafrakturen, bei Frakturen im Wachstumsalter, bei älteren Menschen sowie bei pathologischen Frakturen und beim Polytrauma.

Polytrauma. Die proximale metaphysäre Tibiafraktur ist häufig Begleitverletzung beim Polytrauma oder Teil von Kettenverletzungen. Anatomische und pathomechanische Besonderheiten der Frakturen am proximalen Tibiaschaft mit einer starken Dorsalkippungstendenz und hohen Dislokationsneigung des Tibiakopffragments und der daraus resultierenden Achsenfehlstellungen und Instabilitäten mit verzögerter Heilung stellen in unterschiedlicher Gewichtung Probleme für alle verfügbaren Osteosyntheseverfahren dar. Der zeitliche Faktor bei der Frakturstabilisierung spielt zur Vermeidung von Sekundärkomplikationen eine entscheidende Rolle. Das häufig direkte Trauma ist oftmals mit einem Weichteilschaden verbunden, was den Zugang zum frakturierten Knochen limitiert und das Risiko der zur Verfügung stehenden Implantate determiniert.

Aufgrund des minimalinvasiven Charakters, der Einfachheit und der Schnelligkeit der Methode ist eine primäre Versorgung des polytraumatisierten Patienten in aller Regel mit dem *Fixateur externe* zu empfehlen. Eine kniegelenkübergreifende Ruhigstellung in einem Gipsverband ist prinzipiell möglich, birgt aber Risiken, wie Weichteildrucknekrosen, da der häufig nicht kontaktfähige Patient keine Schmerzen äußern kann. Beim Polytrauma gelten die in ▶ Kap. 11.5.4 bereits beschriebenen Therapieprinzipien. Eine endgültige Versorgung kann im Verlauf nach Stabilisierung des Patienten erfolgen.

Ein mögliches adäquates Therapieverfahren zur Behandlung von metaphysären Tibiafrakturen ist der *Hybridfixateur*. Insbesondere die einfache Handhabung, implantatspezifische, intraoperative Korrekturmöglichkeiten und geringe operative Traumatisierung des proximalen Fragments zeichnen die Hybridfixation aus [32].

Alternativen stellen die MIPPO (minimalinvasive perkutane Plattenosteosynthese) und das LISS (»less invasive stabilisation system«) dar. Beide Verfahren vermeiden die häufig auftretenden Fehlstellungen bei Nagelung und finden daher weite Verbreitung [33].

Kinder und Jugendliche. Frakturen im Wachstumsalter sind meist Folge stärkerer Gewalteinwirkung. Bei allen Tibiakopffrakturen muss mit Wachstumsstörungen gerechnet werden. Epiphysenlösungen und Aitken-I- bzw. Salter-0-Frakturen werden in der Regel geschlossen reponiert und konservativ therapiert. Eine operative offene Reposition ist bei Hindernissen, z. B. einem Weichteilinterponat, notwendig. Um eine kallusbedingte Epiphysiodese zu verhindern, erfordern die Epiphysenfrakturen vom Typ Aitken II und III eine exakte anatomische Reposition und eine Draht- oder Zugschraubenosteosynthese. Die Reposition muss häufig offen erfolgen.

Dislozierte Apophysenausrisse treten in der Regel in der Adoleszenz auf und bedürfen ebenfalls häufiger einer offenen Reposition und einer Zugschraubenosteosynthese. Eine genauere Unterteilung der Frakturen der Tuberositas tibiae nach Gelenkflächenbeteiligung und Anzahl der Fragmente ist von Ogden et al. vorgeschlagen worden. Die Indikation zur operativen Versorgung wird bei Fragmentdislokation oder Beteiligung der tibialen Gelenkfläche gesehen [34].

Die *metaphysären Biegungsbrüche* der proximalen Tibia neigen zu einer *Valgusfehlstellung* und müssen daher ebenfalls *anatomisch reponiert* werden. Falls dies in geschlossener Weise nicht gelingt oder die Reposition unter konservativer Therapie nicht hält, muss hier ebenfalls eine offene Reposition mit Osteosynthese erfolgen. Kirschner-Drähte dürfen die Epiphysenfuge perforieren, ohne dass Folgen befürchtet werden müssen. Dies gilt auch für Kleinfragmentschrauben, wenn diese keine Kompression der Epiphyse verursachen. Voraussetzung ist eine frühzeitige Metallentfernung [19].

Wichtig

Die Rekonstruktion der Gelenkfläche hat Vorrang vor der Versorgung von begleitenden Bandverletzungen und auch Vorrang vor der Schonung der Epiphysenfuge.

Bei isolierten Eminentiafrakturen ist die arthroskopisch kontrollierte Reposition das Verfahren der Wahl [35]. Große Fragmente können mit Zielgeräten vom Tibiakopf aus verschraubt werden. Auch eine direkte transartikuläre Verschraubung oder Drahtfixation ist möglich. Jährliche Nachkontrollen sind notwendig, die eine Inspektion der Achsverhältnisse und Längenkontrolle einschließt, um ggf. resultierende Wachstumsstörungen frühzeitig zu erkennen.

Ältere Personen. Betagte Patienten erleiden vermehrt Plateaufrakturen im Sinne von Depressions- und Impressionsfrakturen, die mit metaphysären Substanzdefekten und Meniscusläsionen assoziiert sind. Ursächlich hierfür ist die Osteoporose [3]. Die Therapieprinzipien richten sich hier im Besonderen nach dem biologischen Alter, dem Allgemeinzustand sowie der Knochenqualität. Insbesondere bei osteoporotischem Knochen ist eine Augmentation mit entsprechenden Biomaterialien sinnvoll, um die Abstützung und auch die Verankerung der Osteosynthesematerialien zu verbessern (◘ Abb. 11.19).

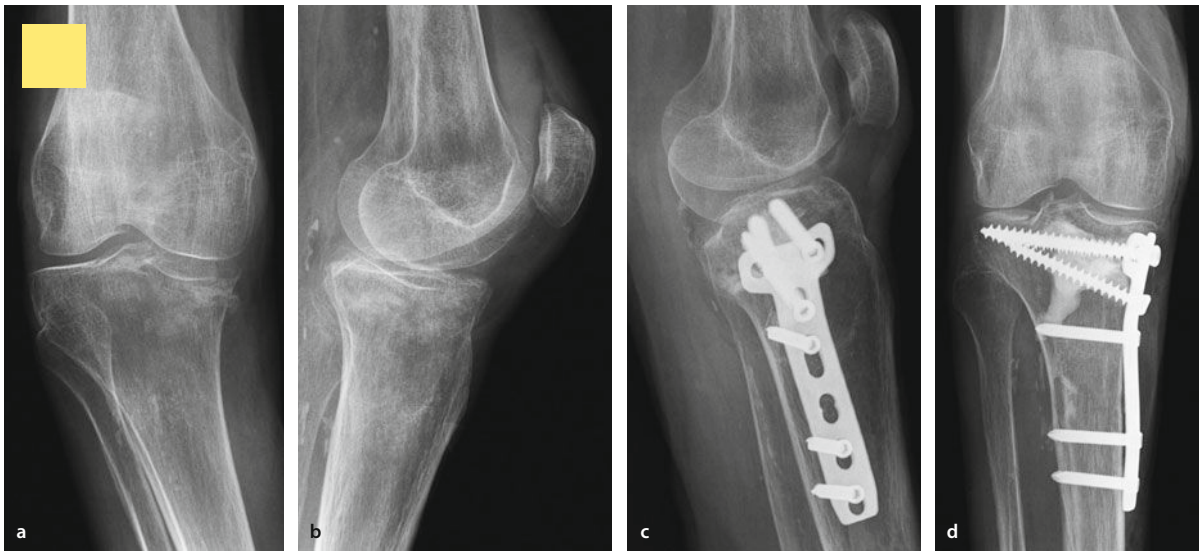


Abb. 11.19. 91 Jahre, weiblich. Impressionsfraktur des lateralen Tibiakopfs bei erheblicher Osteoporose. Frakturtyp B2 nach AO. Verbundosteosynthese (PMMA-Zement) zur Abstützung des angehobenen Plateaus und zur besseren Verankerung der Schrauben. Plattenosteosynthese mit T-Platte über anteromedialen Zugang

Pathologische Frakturen. Diese Frakturen werden in der Regel nach den Richtlinien der onkologischen Chirurgie behandelt. Hier kommt die Verbundosteosynthese häufig zur Anwendung.

11.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Prognose ist wesentlich vom Ausmaß des Weichteilschadens und von der Frakturschwere abhängig. Schon beim *begründeten Infektverdacht* nach Osteosynthese auch ohne Keimnachweis ist die *offene Revision* des Operationsgebiets indiziert. Im Rahmen der Revisionsoperation muss über den Verbleib des Osteosynthesematerials entschieden werden. Bei unzureichender Remission müssen auch mehrmalige operative Revisionen eingeplant werden. Bei chronischen Weichteil- und Knocheninfektionen ist eine ausgedehnte Weichteil- und Knochensanierung notwendig, gefolgt von weichteilplastischen Maßnahmen (z. B. Gastrocnemiustransfer).

Das Ausmaß des Weichteilschadens wird entscheidend vom operativen Vorgehen bestimmt. Die geringsten Infektraten weisen externe Fixierungen und minimalinvasive Osteosynthesen auf. Akzeptable Komplikationsraten werden auch mit den Standardzugängen erreicht, während die Infektrate bei der medianen Längsinzision deutlich ansteigt. Daher favorisieren einige Autoren einen bilateralen Zugang [36].

Mechanische Probleme durch die starke Dorsalkippungstendenz und die insgesamt hohe Dislokationsneigung des Tibiakopffragments bedingen schlechte Verläufe. Achsenfehlstellungen und Instabilitäten mit verzögerter Heilung sind ebenfalls zu beobachten. Insbesondere das Einsinken der medialen Säule bei bicondylären Frakturen führt zu einer Varusfehlstellung. Hier haben die winkelstabilen Plattenosteosynthesen und insbesondere die sog. Plattenfixateure (z. B. LISS oder NCB=«non contact bridgeing«, polyaxial verriegelbarer Plattenfixateur) eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse gebracht. Die funktionellen Ergebnisse sind überwiegend gut bis sehr gut bei akzeptablen Problemen wie 6% Infektionsrate und 15% sekundären Repositionsverlusten [37].

Für die Nachbehandlung von osteosynthetisch versorgten Tibiakopffrakturen gilt: Wenn man an eine Revision denkt, sollte man sie auch machen.

Die Reoperationsrate wird in einer Studie an komplexen Etagenfrakturen der proximalen Tibia mit 12,5% angegeben; die Heilungsraten liegen bei >90% [38]. Bei postoperativ verbleibenden oder erneut auftretenden Fehlstellungen muss über eine sofortige oder spätere Rekonstruktion entschieden werden. Eine Sofortkorrektur ist immer vorzuziehen, wenn der Verlauf der Primäroperation sowie die Weichteilverhältnisse eine Korrektur ermöglichen. In den ersten 2–3 Wochen nach der Fraktur ist eine operative Korrekturrevision ohne komplizierende Callusosteotomien möglich. Achsenkorrekturverluste von <10° bei erhaltener Gelenkflächenkongruenz sollten hingegen einer späteren Korrektur vorbehalten bleiben. Verbleibende Gelenkstufen von bis zu 2 mm sind tolerabel.

Verletzungen des tibiofibularen und des poplitealen Gefäß-Nerven-Bündels können primär traumatisch oder operativ entstehen. Auch bei fehlender Ischämie sollte die A. poplitea immer rekonstruiert werden. Postoperative Nervenläsionen sind meist Dehnungsschäden, die sich komplett oder weitgehend regenerieren.

Tibiakopffrakturen mit großen Trümmerzonen und weit in den Schaftbereich auslaufenden Frakturlinien sind von einem *Kompartmentsyndrom* bedroht. Im Zweifel muss eine Faszienspaltung aller betroffenen Muskellogen sehr zeitnah erfolgen.

Auch nach korrekt ausgeführter Primärversorgung kann es zu einem frühzeitigen Zusammenbruch des betroffenen Tibiakopfbereiches kommen [7]. Ebenfalls bildet sich nach Tibiakopffrakturen häufig eine *Spätarthrose* [2, 15, 38]. Als Ursachen kommen hier avaskuläre Knochen-Knorpel-Nekrosen, Gelenkstufen, Achsenfehlstellungen sowie Bandverletzungen in Betracht. Bei älteren Patienten ist hier ein prothetischer Ersatz, bei jungen Patienten eine Umstellungsosteotomie bzw. ein Condylenaufbau mit Knorpelreparation (osteochondrale Transplantation, Chondrozytentransplantation) anzustreben.

Pseudarthrosen können als Folge von Defektheilungen im spongiösen Knochen entstehen. Bei guter Knochenqualität können diese durch die üblichen Verfahren (Dekortikation, d. h. Ausräumung der sklerosierten Randbereiche bis zum gesunden Knochen, überlappende Spongiosaplastik, Kompressionsosteosynthese, Umstellungsosteotomie) zur Ausheilung gebracht werden.

Die funktionellen Spätergebnisse korrelieren mit der Entwicklung einer *Arthrose.* Die Arthroserate ist nach operativen und konservativen Behandlungen ähnlich hoch (ca. 50% [39]), und ein weiterer Anstieg ist im Verlauf von Jahren anzunehmen [2]. Die operative Therapie sollte die exakte Gelenkreposition und die funktionelle Stabilität als oberstes Ziel haben. Anders als im Schaftbereich ist die Ruhe im spongiösen Frakturbereich die Voraussetzung für eine ungestörte Bruchheilung [40]. Deshalb sind auch bicondyläre Operationsverfahren von besonderem Wert, da sie die mechanische Ruhe verbessern. Bei spongiösen Defekten ist primär auf eine Transplantation mit autogenem oder homologem Spongiosamaterial oder Knochenersatzmaterial [29] zu achten. Für größere spongiöse Zerstörungen ist die Unterfütterung mit fest strukturierten, kortikospongiösen Spänen (z. B. »Tortenspan« aus dem Beckenkamm) besonders gut eignet.

Da Weichteilkomplikationen sehr viel seltener als bei offenen Verfahren vorkommen, sind minimalinvasive Verfahren besonders indiziert [17]. Aufgrund der geringeren Morbidität ist die postoperative Mobilisation erleichtert, und somit ist die Inzidenz postoperativer Arthrofibrosen geringer als bei offenen Verfahren.

Begleitende Verletzungen der Kreuzbänder (2–21%) und der Kollateralbänder (12–55%) sind offenbar, anders als die Meniscusresektion, hinsichtlich des Ergebnisses kein wesentlicher prognostischer Faktor [41]. Das bedeutet, dass die Kollateralbänder intraoperativ zumindest partiell abgelöst werden und Bandrekonstruktionen zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen können.

11.9 Begutachtung

Funktionsmindernde und somit begutachtungsrelevante Faktoren nach einer proximalen Tibiafraktur sind

- posttraumatische Arthrosen – Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) je nach Schweregrad 10–30,
- Achsfehlstellungen – GdB/MdE 10,
- Pseudarthrosen – GdB/MdE 20–50,
- Kniegelenksteife – GdB/MdE 30–60,
- Kniegelenkinstabilitäten – Wackelknie je nach Instabilität GdB/MdE 10–50
- mögliche Folgen eines Kompartmentsyndroms wie ischämische Kontrakturen und Narbenbildungen – GdB/MdE 10–30,
- Nervenlähmungen – GdB/MdE 20–30,
- postthrombotisches Syndrom – GdB/MdE 10–50.

Bei funktionell guten Ergebnissen ohne oder mit endgradiger Bewegungseinschränkung ist ein GdB/MdE von maximal 10 (z. B. bei Restbeweglichkeit 0–0–90° in Extension/Flexion) je nach Frakturtyp gerechtfertigt. Eine Beweglichkeit von bis zu 0–0–90° kann einen GdB/MdE von 20 bedingen. Posttraumatische Defektzustände können im ungünstigen Fall bis zu einem GdB/MdE von ca. 60 kumulieren.

Die Werte der privaten Unfallversicherung entsprechen dem weitgehend.

Literatur

1. A. Gruner, T. Hockertz, H. Reilmann, Die proximale Tibiafraktur. Unfallchirurg 103: 668–684 (2000)
2. H.O. Dustmann, K.P. Schulitz, Das Problem der Arthrose nach Schienbeinkopffrakturen. Chirurg 46: 358–362 (1975)
3. W. Petersen, T. Zantop, M. Raschke, Tibiakopffraktur. Unfallchirurg 109: 219–232 (2006)
4. M.E. Müller, S. Nazarian, P. Koch, J. Schatzker, The comprehensive classification of fractures of long bones. Springer, Berlin Heidelberg New York (1990)
5. M.H. Meyers, F.M. McKeever, Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. J Bone Joint Surg 41-A: 209–222 (1959)
6. W. Seitz, S. Hofmann, Die Brüche der Eminentia intercondylica im Kindesalter. Z Kinderchir 14: 104–112 (1974)
7. J. Schatzker, Fractures of the tibial plateau. In: J. Schatzker, M. Tile (Hrsg) The rationale of operative fracture care. Springer, Berlin, 279–295 (1987)

8. H. Tscherne, P. Lobenhoffer, Tibial plateau fractures. Management and expected results. Clin Orthop & Rel Res. 292: 87–100 (1993)
9. T.M. Moore. Fracture-dislocations of the knee. Clin Orthop & Rel Res 156: 128–140 (1981)
10. H. Tscherne, H.J. Oestern, Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. Unfallheilkunde 85: 111 (1982)
11. R.B. Gustilo, J.T. Anderson, Prevention of infection in the treatment of thousend and twenty five open fractures of long bones: retrospective and prospective analysis. J Bone Joint Surg 58-A: 453–458 (1976)
12. P. Segond, Recherches cliniques et experimentales sur les epanchements sanguins du genou par entors. Prog Med 7 (1879)
13. P. Lobenhoffer, M. Schulze, H. Tscherne, Die minimalinvasive Osteosynthese von Tibiakopffrakturen. Unfallchirurg 99: 569–575 (1996)
14. H. Jahna, E. Vlasich, B. Zifko, Spätergebnisse von primär stark verschobenen Schienbeinkopfbrüchen. In: J. Probst, E. Jonasch, E. Baur (Hrsg.) 2. Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Unfalltagung in Berlin. Springer, Berlin Heidelberg New York, p 299 (1976)
15. G. Muhr, K. Neumann, Konservative Frakturbehandlung des Tibiakopfes. Chirurg 61: 767–771 (1990)
16. R. Bimler, Band-, Knorpel- und Spongiosaheilung unter frühfunktioneller Behandlung auf der Bewegungsschiene am Beispiel der Tibiakopftrümmerfraktur. Monatsschr Unfallheilkd 81: 568 (1978)
17. V. Bobic, K. O'Dwyer, Tibial plateau fractures: the arthroscopic option. Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy 1: 239–242 (1993)
18. R.B. Caspari, P.M. Hutton, T.L. Whipple, J.F. Meyers, The role of arthroscopy in the management of tibial plateau fractures. Arthroscopy 1: 76–82 (1985)
19. P. Hertel, Tibiakopffraktur. Unfallchirurg 100:508–523 (1997)
20. P. Lobenhoffer, M. Schulze, T. Gerich, Closed reduction/percutaneous fixation of tibial plateau fractures: arthroscopic versus fluoroscopic control of reduction. J Orthop Trauma 13: 426–431 (1999)
21. H.H. Trouillier, M. Krüger-Franke, C. Strähnz, B. Rosemeyer, Die operative Behandlung der Tibiakopffraktur. Aktuel Traumatol 25: 148–152 (1995)
22. B. Zaricznyj, Avulsion fracture of the tibial eminence: treatment by open reduction and pinning. J Bone Joint Surg 59-A: 1111–1114 (1977)
23. A.K. Eggers, C. Becker, A. Weimann, Biomechanical evaluation of different fixation methods for tibial eminence fractures. Am J Sports Med 35: 404–410 (2007)
24. W. Petersen, T. Zantop, M. Raschke, Tibiakopffraktur – Offene Reposition und Osteosynthese – arthroskopische Reposition und Osteosynthese (ARIF). Unfallchirurg 109: 235–244 (2006)
25. M. Raschke, T. Zantop, W. Petersen, Tibiakopffraktur. Chirurg 78: 1157–1171 (2007)
26. P. Lobenhoffer, T. Gerich, T. Bertram, Spezielle posteromediale und posterolaterale Zugänge zur Versorgung von Tibiakopffrakturen. Unfallchirurg 100: 957–967 (1997)
27. M. Raschke, R. Hoffmann, C. Khodadadyan, Supportive composite-hybridfixation perkutan verschraubter Tibiakopffrakturen. Unfallchirurg 99: 855–860 (1996)
28. M. Hansen, D. Mehler, W.Voltmer, P.M. Rommens, Die proximale extraartikuläre Tibiafraktur. Unfallchirurg 105: 858–872 (2002)
29. C. Müller-Mai, Bioaktive Granulate in der Unfallchirurgie – Experimentelle Grundlagen und klinische Anwendung, VNM Science, München, Deutschland, (2003)
30. T.A. St. John, A.R. Vaccaro, A.P. Sah, M. Schaefer, S.C. Berta, T. Albert, A. Hilibrand, Physical and monetery costs associated with autogenous bone graft harvesting. Am J Orthopedics 32: 18–23 (2003)
31. J. C. Banwart, M. A. Asher, R. S. Hassanein, Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation. Spine 20: 1055–1060 (1995)
32. L.S. Weiner, Kelley, The use of combination internal fixation and hybrid external fixation in severe proximal tibia fractures. J Orthop Trauma 9: 244–250 (1995)
33. G.J. Lang, B.E. Cohen, M.J. Bosse, J.F. Kellam, Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? Clin Orthop & Rel Res 315: 64–74 (1995)
34. J.A. Ogden, R.B. Tross, M.J. Murphy, Fractures of the tibial tuberosity in adolescents. J Bone Joint Surg 62-A: 205–215 (1980)
35. P. Hertel, Operative Behandlung von Frakturen im Wachstumsalter. In: Breiter – Chirurgische Operationslehre Band VIII – Traumatologie 1. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, S 139–164 (1987)
36. R.L. Uhl, J. Gainor, J. Horning, Treatment of bicondylar tibial fractures with lateral locking plates. Orthopedics 31: 473–477 (2008)
37. A. Partenheimer, T. Gösling, M. Müller, C. Schirmer, M. Kääb, S. Matschke, C. Ryf, N. Renner, U. Wiebking, C. Krettek, Versorgung von bikondylären Tibiakopf-Frakturen mit einem unilateral platzierten winkelstabilen Plattensystem. Unfallchirurg 110: 675–684 (2007)
38. M. Beck, G. Gradl, P. Gierer, R. Rotter, M. Witt, T. Mittlmeier, Versorgung der komplikationsbelasteten proximalen Tibia-Etagenfraktur mit dem Less-invasive-stabilization-System. Unfallchirurg 111: 493–498 (2008)
39. W. Friedl, W. Ruf, H. Krebs, Korrelationsuntersuchungen nach konservativer und operativer Tibiakopffrakturbehandlung. Unfallchirurgie 13: 192–206 (1987)
40. K.M. Stürmer, Die elastische Plattenosteosynthese, ihre Biomechanik, Indikation und Technik im Vergleich zur rigiden Osteosynthese. Unfallchirurg 99: 816–829 (1996)
41. H.E. Wagner, R.P. Jakob, Zur Problematik der Plattenosteosynthese bei bikondylären Tibiakopffrakturen. Unfallchirurg 89: 304–311 (1986)

12 Unterschenkelschaftfrakturen

A.S. Taheri, M. Dudda, L. Özokyay

Definition

Es handelt sich um Brüche im Schaftbereich des Schienbeins mit oder ohne Beteiligung des Wadenbeins. Die Fibula kann auch selten allein betroffen sein. Die Art der Traumatisierung, direkt oder indirekt, hat bei Unterschenkelschaftfrakturen einen wesentlichen Einfluss auf die Frakturform und die begleitende Weichteilschädigung.

Die Behandlung dieser Verletzungen richtet sich
- nach der Frakturmorphologie,
- den Weichteilkonditionen,
- dem biologischen Alter und
- dem Gesamtzustand des Patienten.

Bei der Therapie sollten die Wiederherstellung der Stabilität und Achsenverhältnisse gleichsam wie die Rekonstruktion der Weichteile erfolgen. Um eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen, sollte die Osteosynthese mindestens Übungsstabilität besitzen.

Ähnlich der Architektur des Unterarms bilden Tibia und Fibula den knöchernen Rahmen des Unterschenkels. Sie sind gelenkig im oberen und unteren Tibiofibulargelenk verbunden. Die bindegewebige Membrana interossea verbindet die beiden Knochen im Sinne einer Syndesmose und trennt beuge- und streckseitige Muskulatur. Die mediale Fläche der Tibia weist eine schlechte Weichteildeckung auf und ist daher bei direkten Krafteinwirkungen besonders gefährdet.

Die Muskulatur verläuft in *4 Kompartimenten*. Die Logen umfassen
- die anterioren Dorsalextensoren des Fußes,
- die peronäalen Elevatoren und
- tiefe und oberflächliche Plantarflexoren.

Die Perfusion erfolgt über eine A. nutricia, die aus der A. tibialis posterior entspringt und in Höhe des Soleusursprungs in den Tibiamarkraum eintritt. Nur ein Ast verläuft nach distal. Dies scheint der Grund – neben der schlechten Weichteildeckung – zu sein, warum die Tibia in ihren distalen Abschnitten eine schlechte Heilungstendenz aufweist.

12.1 Mechanismus

Unterschenkelschaftfrakturen entstehen durch *direkte oder indirekte Gewalteinwirkung* mit jeweils typischen Verletzungsmustern. *Direkte* Mechanismen umfassen oft seitliche (Varus- oder Valgusstress), aber auch von ventral kommende Krafteinwirkungen (Stoßstangenanprall beim Fußgänger). Eine Sonderform ist die penetrierende Gewalt, z. B. im Rahmen von Schussverletzungen.

Unterschenkelschaftfrakturen sind daher gekennzeichnet durch

- komplexe Bruchformen,
- erhebliche Weichteiltraumatisierungen,
- offene Brüche und
- Kompartmentsyndrome.

Bei großen Deformationskräften wird die Weichteilschädigung entweder primär durch das äußere Trauma oder sekundär durch das innere Trauma, z. B. durch Fragmentdislokation, verursacht. Bei starken Dislokationen, v. a. im mittleren Drittel des Schafts, kommt es häufig zu begleitenden Gefäß- und Nervenverletzungen. Die A. tibialis anterior ist hier gehäuft betroffen. Häufige *Ursachen* sind Hochenergie- bzw. Rasanztraumata insbesondere bei Pkw-Unfällen, Motorradfahrern und Fußgängern, die v. a. bei jungen und aktiven Erwachsenen auftreten.

Im Rahmen *direkt* einwirkender Kräfte werden auch *isolierte Fibulafakturen* beobachtet. Diese dürfen auf keinen Fall mit durch Distorsion verursachten Brüchen des Sprunggelenks (*Cave* Maisonneuve-Fraktur; ▶ Kap. 14 Oberes Sprunggelenk) verwechselt werden.

Als Folge eines *indirekten* Traumas (Torsionsbewegungen) entstehen meistens *Spiralfrakturen*, aber auch *lange Schrägfrakturen* (76,5%) mit *geringen Weichteilschäden* [1]. Die Tibia kann isoliert betroffen sein, und Kompartmentsyndrome sind selten. Solche *Niedrigenergietraumata* kommen bei Sportverletzungen oder Drehstürzen aus niedriger Höhe insbesondere bei Kindern vor.

12.2 Klinik

Es finden sich *indirekte Frakturzeichen* wie Schwellung, Hämatom, Schmerzen direkt über der Frakturzone, die insbesondere bei Bewegung stark zunehmen z. T. auch Kontusionsmarken oder Schürfverletzungen. *Direkte Frakturzeichen* wie Instabilität, Crepitation, Fehlstellung bei dislozierten Frakturen und freiliegende Knochenfragmente bei offenen Brüchen sind ebenfalls zu beobachten. Isolierte Brüche nur eines Knochens können sich einer primären Blickdiagnose entziehen. Im Rahmen der primären klinischen Untersuchung kommt der genauen Überprüfung der *peripheren Durchblutung* der betroffenen Extremität, des *neurologischen Status* und des *Weichteilschadens* eine wesentliche Bedeutung zu. Ein besonderes Augenmerk ist auf das *Kompartmentsyndrom* zu richten, da es häufiger als eine direkte Nervenverletzung vorkommt und daher als solche fehlinterpretiert werden kann. Die genaue *Dokumentation* des Untersuchungsergebnisses ist obligat.

Wichtig

Bei der Anamneseerhebung ist der Verletzungsmechanismus entscheidend. Intensität und die Richtung der einwirkenden Kraft geben wesentliche Hinweise auf die Art und die Schwere der Verletzung.

12.3 Diagnostisches Vorgehen

Die Diagnostik beginnt mit der *Anamnese* (Unfallmechanismus), *Inspektion* und orientierenden Beurteilung des Weichteilschadens. Die *konventionelle Röntgendiagnostik* des Unterschenkels in 2 exakt eingestellten Ebenen mit zusätzlicher Darstellung des proximalen und distalen Gelenks erlaubt eine schnelle orientierende Beurteilung des Frakturtyps. Besonderes Augenmerk am Unterschenkel gilt den *Begleitverletzungen*. Eine akribische Erhebung des *neuromuskulären Befundes* und des *Gefäßstatus* ist unverzichtbar. Bei geringstem Verdacht auf eine Gefäßverletzung, z. B. nicht tastbare Fußpulse oder im Seitenvergleich divergierende Befunde, muss eine *doppler-sonographische* Untersuchung durchgeführt werden. Bei erhärtetem Verdacht einer Gefäßläsion ist eine *selektive Femoralisangiographie* der betroffenen Extremität obligat. Bei begleitenden Frakturen des Fibulaköpfchens ist auf eine Schädigung des N. peronaeus zu achten.

Der Weichteilschaden ist genau zu klassifizieren. Kann durch den übergebenden Notarzt keine genaue Einschätzung abgegeben werden, ist eine einmalige Darstellung unter sterilen Kautelen statthaft, da diese die Therapie entscheidend beeinflussen kann.

Der Weichteilschaden ist für die Therapie entscheidend und daher genau zu klassifizieren. Die Einteilung nach Gustilo u. Anderson ist am genauesten und gibt eine wichtige Entscheidungshilfe für die Therapie. Kann durch den übergebenden Notarzt keine genaue Einschätzung abgegeben werden, ist eine einmalige Inspektion unter sterilen Kautelen statthaft mit anschließendem sterilem Verband.

Die frühzeitige Erkennung und Behandlung eines *Kompartmentsyndroms* ist ein wesentlicher Aspekt. Die Diagnose wird klinisch gestellt. Es zeigt sich eine brettharte Schwellung der betroffenen Loge, im Endstadium mit livider Verfärbung der Haut. Es besteht stärkster Schmerz insbesondere bei passiver Dehnung der betroffenen Muskulatur. Dieser passive Dehnungsschmerz ist besonders wichtig, wenn die tiefe Beugerloge betroffen ist, da sie der klinischen Untersuchung nicht anders zugänglich ist. Erstsymptom am Unterschenkel kann die aufgehobene Sensibilität im 1. Zwischenzehenraum sein (sensibles Versorgungsgebiet des N. peronaeus profundus). Es besteht eine Schwäche oder ein Ausfall der Fußhebung. Bei klini-

schem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom (»drohendes Kompartmentsyndrom«) kann die Messung des Gewebedrucks in allen 4 Muskellogen durchgeführt werden. Bei Gewebedrücken >30 mm Hg (4 kPa) oder einer Differenz von <30 mm Hg (4 kPa) zwischen dem arteriellen Mitteldruck und dem Gewebedruck ist die Diagnose eines Kompartmentsyndroms zu stellen. Die Druckmessung ist von besonderer Bedeutung, wenn der Zustand des Patienten eine klinische Beurteilung nicht erlaubt (Schädel-Hirn-Trauma, Polytrauma, Intubierte etc.).

Wichtig

Bei klinischem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom findet sich als Erstsymptom die aufgehobene Sensibilität im 1. Zwischenzehenraum (Versorgungsgebiet des N. peronaeus profundus). Bei klinisch nicht sicherer Diagnose muss die invasive Messung des Gewebedruckes in allen Muskellogen durchgeführt werden.

Bei der klinischen Untersuchung sollten die *benachbarten Gelenke* (Knie und Sprunggelenk) unbedingt mit einbezogen werden. Am oberen Sprunggelenk ist auf eine *Syndesmosenverletzung* oder eine *begleitende Fibulafraktur* zu achten. Bei Hochenergietraumata sollte v. a. auf zusätzliche *ipsilaterale Verletzungen* geachtet werden.

Nur bei einem dringenden Verdacht einer ossären Verletzung eines der benachbarten Gelenke kann die *Computertomographie* zur präzisen Darstellung des Frakturverlaufs nötig sein. Bei Unterschenkelschaftfrakturen ohne Gelenkbeteiligung ist eine (Computer-) Tomographie nicht notwendig. Nur bei vermuteter Begleitverletzung eines der benachbarten Gelenke ist zur Beurteilung der intra- und extraartikulären Weichteile eine *Kernspintomographie* geeignet.

12.4 Klassifikationen

12.4.1 AO-Klassifikation

Zur Einteilung der Unterschenkelfrakturen wird im deutschsprachigen Raum die am weitesten verbreitete Klassifikation nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) benutzt [2]. Diese Einteilung orientiert sich an der radiologischen Frakturmorphologie, wobei hier Weichteilschäden und Bandverletzungen nicht berücksichtigt werden. Die AO-Klassifikation des Unterschenkelschafts (◘ Abb. 12.1) unterscheidet *einfache (A), keilförmige (B) und komplexe Brüche (C)*. Dabei können alle Frakturtypen spiralförmig (A1, B1, C1) verlaufen (meist indirekt einwirkende Kraft). Bei den B-Frakturen ist eine Corticalis nur einmal gebrochen, die Kontralaterale dagegen mehrfach. Bei den C-Brüchen sind beide Corticales mehrfach frakturiert. Die den Buchstaben ergänzende Einteilung 1, 2 oder 3 beschreibt den Frakturverlauf (A-Frakturen) oder den Grad der Fragmentierung (B- oder C-Frakturen).

A-Frakturen. A-Frakturen können spiralförmig, schräg oder quer verlaufen. >30° im Vergleich zur Horizontale verlaufend, stellen sie Schrägfrakturen dar (A2), <30° handelt es sich um Querfrakturen. Bei den Querfrakturen ist die Pseudarthroserate erhöht.

B-Frakturen. Der meist nach medial zeigende Keil bei B-Frakturen kann spiralförmig sein (B1), zudem als Biegungskeil vorliegen (B2) oder in sich mehrfach gebrochen sein (B3). Die Lage des Keils gibt hierbei einen Hinweis auf die einwirkende Kraft (die Spitze zeigt in die gleiche Richtung wie die einwirkende Kraft gleich einem Pfeil, der das Gewebe durchschneidet).

C-Frakturen. Komplexe C-Frakturen beinhalten neben dem spiralförmigen Verlauf mit mehrfachem Brechen beider Corticales im Sinne mehrerer Drehkeile (C1) entweder Brüche auf mehr als einer Etage (C2), Etagenfraktur (entspricht dem Herausbrechen eines Femursegments, d. h. die Zirkumferenz dieses Segments bleibt erhalten) oder irregulär verlaufende Mehrfragmentfrakturen (C3). Die Zusatzziffer hinter dem Punkt beschreibt das Vorliegen einer begleitenden Fibulafraktur. Bei Biegungsbrüchen liegen Fibula- und Tibiafraktur meist auf gleicher, bei Drehbrüchen dagegen auf unterschiedlicher Höhe. Für alle Formen und Schweregrade von Schaftfrakturen am Unterschenkel gilt als Standardverfahren die Marknagelosteosnythese in verschiedenen Varianten. Konservative Versorgungen und Plattenosteosynthesen sind möglich, stellen aber gut zu begründende Indikationen dar.

Bei den Keilbrüchen gibt die Lage des Keils den entscheidenden Hinweis auf die Richtung der einwirkenden Kraft. Die Spitze des Keils zeigt dabei in die gleiche Richtung wie die einwirkende Kraft (meist nach medial, da es sich oft um einen lateralen Anprall handelt)

Von ganz besonderer Bedeutung am Unterschenkel ist neben der Beurteilung der Frakturschwere die exakte Einteilung des *Weichteilschadens*, da dieser die Therapieauswahl entscheidend beeinflusst. Bei *geschlossenen* Verletzungen wird die Weichteilsituation nach dem von *Tscherne u. Oestern* [3] aufgeführten Schema klassifiziert (◘ Tab. 12.1). *Offene* Frakturen werden nach *Gustilo u. Anderson* eingeteilt (Einteilung ▶ Kap. 3 Oberarmschaft [4]). Diese Einteilung ist von besonderer Bedeutung, da sie eine klare Hilfe bei der Auswahl des richtigen Verfahrens liefern kann.

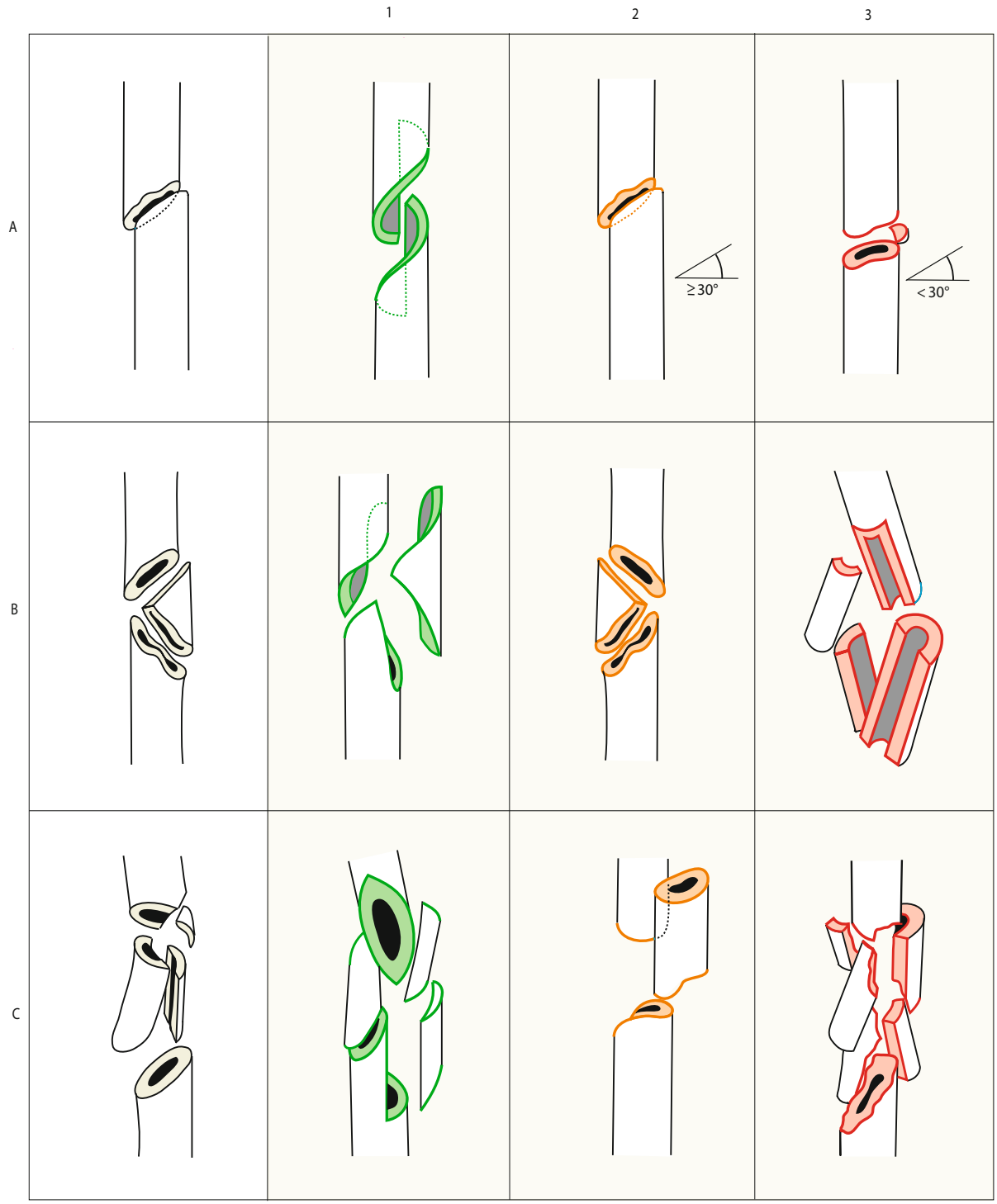


Abb. 12.1. AO-Klassifikation der Region 42 Unterschenkelschaftfrakturen nach Müller
a Tibiadiaphyse
A1: Spiralförmige Fraktur
A2: Schrägfraktur
A3: Querfraktur
b Tibiadiaphyse, Keilfraktur
B1: Drehkeil
B2: Biegungskeil
B3: Keilfragment
c Tibiadiaphyse, Komplexfraktur
C1: Spiralförmige Fraktur
C2: Etagenförmige Fraktur
C3: Irreguläre Fraktur

Tab. 12.1. Klassifikation des Weichteilschadens bei geschlossenen Brüchen des Unterschenkels nach Tscherne u. Oestern [3]

Grad	Charakteristik
0	– Fehlende/unbedeutende Weichteilverletzung – Indirekter Verletzungsmechanismus – Einfache Frakturformen (z. B. Unterschenkelfraktur durch Torsionsmechanismus)
I	– Oberflächliche Schürfung/Kontusion durch Fragmentdruck von innen – Einfache bis mittelschwere Frakturform (z. B. OSG-Luxationsfraktur)
II	– Tiefe kontaminierte Schürfung – Haut- oder Muskelkontusion durch direkte Krafteinwirkung – Drohendes Kompartmentsyndrom mit mittelschweren bis schweren Frakturformen (z. B. Etagenfraktur der Tibia bei Stoßstangenanprall)
III	– Ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur – Subkutanes Décollement – Manifestes Kompartmentsyndrom – Verletzung eines Hauptgefäßes – Schwere Frakturformen (z. B. Trümmerfraktur)

12.5 Therapeutisches Vorgehen

Bei der Therapie von Unterschenkelfrakturen sollte der Unterschenkel als Einheit frei von Infekten oder Weichteilproblematiken wiederhergestellt werden. Dies beinhaltet auch nach Sanierung eine freie Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke. Dazu sollten folgende *Ziele* verfolgt werden:

- Wiederherstellung der Extremitätenlänge,
- Wiederherstellung der Achsenverhältnisse (Abweichungen von >10° sind zu vermeiden),
- Vermeidung einer Rotationsfehlstellung,
- Vermeidung einer längerfristigen Immobilisation, d. h. mindestens Übungsstabilität sollte gegeben sein,
- adäquate Therapie der Begleitverletzungen (Weichteile!),
- Schmerzfreiheit bzw. -armut.

Aufgrund der Besonderheiten am Unterschenkel mit erheblichen Weichteilproblematiken und eingeschränkter Heilungstendenz der Tibia gilt bei der Frakturbehandlung der Grundsatz: »So konservativ wie möglich und so operativ wie nötig«.

Die Behandlung beginnt am Unfallort. Hier sind *primäre Grobreposition*, Retention (z. B. *Luftschiene*) und *sterile Wundabdeckung* bei offenen Verletzungen wichtige erste Schritte, um die spätere Komplikationsrate deutlich zu reduzieren. Generell bietet die schnelle operative Versorgung Vorteile. Dazu zählen die deutlich höhere Stabilität bis hin zur sofortigen Belastungsfähigkeit und die frühere und daher bessere Funktionalität. Demzufolge ist der Behandlungskomfort für den Patienten ungleich höher, und Wiedereingliederungen in den Arbeitsprozess sind schneller möglich.

Nach Abschluss der genauen Untersuchung und Diagnostik wird die *Therapiestrategie* vom *Frakturtyp* und vom *Ausmaß des initialen Weichteilschadens* bestimmt. Vor einer geplanten osteosynthetischen Maßnahme sollten die Weichteile zunächst konditioniert werden.

Bei schweren Weichteilschäden ist auf ein mögliches *Kompartmentsyndrom* zu achten. Beim drohenden Kompartmentsyndrom empfehlen wir die Anlage eines Überwachungsbogens nach Messung des Logendrucks. Die betroffene Extremität sollte in Herzhöhe in einer die Schwellung mindernden Eisstraße (kein direkter Hautkontakt) gelagert werden, da sowohl Hoch- als auch Tieflagerung den Verlauf durch ein Absinken des Perfusionsdrucks ungünstig beeinflussen. Die Hochlagerung führt zu einem Absinken des arteriellen Drucks, die Tieflagerung zu einer Behinderung des venösen Abstroms. Die Indikation zur Kompartmentspaltung sollte großzügig gestellt werden. Bei einer operativen *Dermatofasziotomie* müssen unbedingt alle 4 Kompartimente gespalten werden. Ein bilateraler oder lateral-unilateraler längsgestellter Zugang ist möglich. Wir ziehen den *bilateralen Zugang* vor, da so eine bessere Druckentlastung für alle Logen möglich ist. Dem längsgestellten Hautschnitt folgt zunächst ein queres Einkerben der Fascien. So lassen sich die Grenzen der Kompartimente lateral und medial sicher identifizieren. Dann erfolgt durch Längsschlitzung der Fascien die vollständige Eröffnung aller 4 Kompartimente. Die Wunden werden offen gelassen und mit Vakuumverbänden o. Ä. spannungsfrei geschlossen. Die Sekundärnaht erfolgt nach Abschwellung. Ist ein Verschluss nicht möglich, kann vorbereitend eine Dermatotraktion angelegt werden.

Wichtig

Die offene Fraktur, die Fraktur mit schwerem geschlossenem Weichteilschaden, das Kompartmentsyndrom und begleitende Gefäßverletzungen sind Notfallindikationen und müssen sofort operativ versorgt werden. Brüche bei Polytraumatisierten und Komatösen sollten immer operativ versorgt werden.

Der richtige *Operationszeitpunkt* ist am Unterschenkel von erheblicher Bedeutung. *Generell* ist eine *primäre Versorgung* anzustreben, bevor die Schwellung und der Weichteilschaden zu groß werden. Ist dieser Zeitpunkt verpasst, kann der Fixateur als intermediäres Implantat dienen. Dann ist eine *frühsekundäre Marknagelosteosynthese* erst 5–10 Tage nach

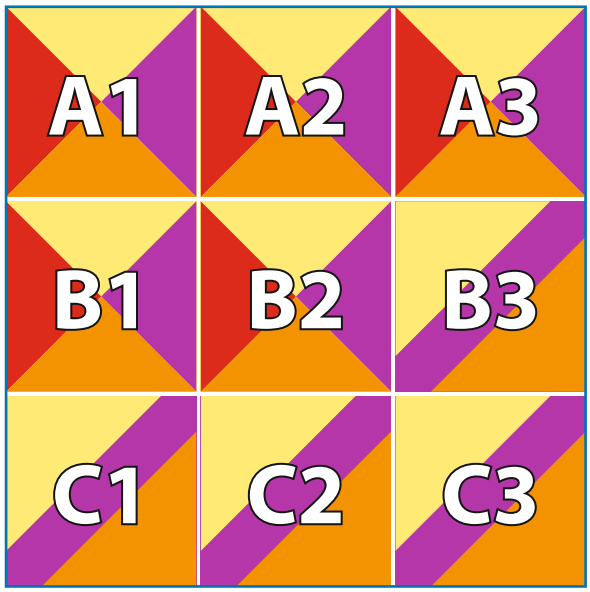


Abb. 12.2. Therapieoptionen bei Brüchen des Unterschenkelschafts. Einteilung nach der AO-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe
- Marknagelosteosynthese

dem Unfall wieder möglich. Davor ist meist die Schwellung aufgrund der Ödemphase meist zu groß. Nach längeren Zeiträumen empfiehlt sich eine *spätsekundäre Versorgung*. Dabei wird eine mindesten 5-tägige Gipsbehandlung zwischengeschaltet, um mögliche Infektprobleme (Fortleitung von Keimen über die Eintrittspunkte der Schanz-Schrauben) zu vermeiden.

Eine schematische Darstellung der Therapieoptionen bei Unterschenkelschaftfrakturen liefert Abb. 12.2.

12.5.1 Konservative Therapie

Alle *stabilen, nicht dislozierten Frakturen* sowie dislozierte, jedoch reponible Frakturen vom Typ *A1–A3,* evtl. auch B1 und B2, können mit einem primär bis auf die letzte Faser gespaltenen Oberschenkelgips oder einer Oberschenkelgipsschiene behandelt werden (Abb. 12.3). Nach 10–14 Tagen kann auf einen zirkulären Oberschenkelgips gewechselt werden. Meist kann ab der 5. Woche auf (Teil-) Belastung übergegangen werden. Alternativ können Orthesen angewendet werden.

Obwohl das Legen einer *Calcaneusextension nach Böhler* als invasive Maßnahme einzustufen ist, wird sie der konservativen Therapie zugerechnet. Sie kann in lokaler Betäubung angelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass das Gefäß-Nerven-Bündel am Innenknöchel nicht verletzt wird und dass die Rotation korrekt eingestellt ist. Das angelegte Gewicht sollte 3–4 kg betragen. Das kontralaterale Bein erhält ein Fußbrett zum Abstützen, und das Kopfende wird etwas abgesenkt, damit der Patient nicht fußwärts rutscht. Auch instabile geschlossene Frakturen, die aus diversen Gründen (Polytrauma, allgemeine medizinische Kontraindikationen usw.) als primär inoperabel gelten, können nach geschlossener Reposition bis zur endgültigen Ostheosynthese mit einer Calcaneusextension oder mit einem Extensionsgips therapiert werden. Diese Behandlungsmethode ist v. a. für Frakturtypen *B1* und *B2* nach AO geeignet. Soll konservativ ausbehandelt werden, wird die Extension für 3–4 Wochen belassen. Anschließend kann auf einen Oberschenkelgehgipsverband für weitere 6–8 Wochen gewechselt werden.

Eine *frühfunktionelle* konservative Behandlung ist *nur* bei durch ein direktes Anpralltrauma entstandenen *isolierten Fibulaschaftfrakturen* möglich (*Cave* Differenzialdiagnose Sprunggelenkfraktur).

Aufgrund der oben genannten Vorteile wird jedoch die operative Versorgung in Deutschland in der Regel vorgezogen, sodass sich Indikationen für das konservative Vorgehen für Kinder oder bei Risikopatienten mit z. B. manifesten Durchblutungsstörungen, langjährigem Diabetes mellitus, chronischem Alkoholabusus etc. ergeben.

Nach erfolgter Reposition gelten eine Verkürzung der Fraktur um höchstens 12 mm und eine Achsenabweichung von <8° als Voraussetzung für eine frühfunktionelle konservative Behandlung geschlossener bzw. erstgradig offener Unterschenkelschaftfrakturen mit geringem Weichteilschaden. Hierfür kann man eine *Brace-Manschette nach Sarmiento* [5] verwenden. Es handelt sich um einen zirkulären Unterschenkelgips, der am Tibiakopf seitlich und ventral exakt anmodelliert wird. Damit wird die Belastung des Femurs auf den Gips übertragen, sodass zumindest eine partielle Entlastung des Unterschenkels erreicht wird. Vorteil bei dieser Technik ist, dass das Kniegelenk nicht unnötig ruhig gestellt ist. Die Sarmiento-Technik ist bei Verfahrenswechsel nach Extensionsbehandlung oder Oberschenkelgips sowie nach einem Fixateur externe indiziert.

Einfache Drehfrakturen oder Drehfrakturen mit einem Drehkeil sowie eine Vielzahl von Mehrfragmentfrakturen lassen sich in einem Dauerzugverband automatisch reponieren. Ansonsten müssen die anderen Frakturformen unter Bildwandler manuell gerichtet werden.

Wenn eine konservative Behandlung indiziert ist und durchgeführt wird, muss diese klinisch und radiologisch engmaschig und konsequent kontrolliert werden. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk auf die *Achsenstellung* zu richten.



Abb. 12.3. 18 Jahre, weiblich. Sturz von Skateboard. a, b Nicht dislozierte, geschlossene Unterschenkelschaftquerfraktur (A3 nach AO-Klassifikation). **c, d** Kontrolle nach Anlage eines Oberschenkelliegegipses in 2 Ebenen. **e** Kontrolle 4 Wochen nach dem Unfallereignis vor Anfertigen eines Oberschenkelgehgipses. **f** Kontrolle nach 8 Wochen: beginnende knöcherne Konsolidierung. **g, h** Vollständige Belastungsstabilität mit ovalärer Kallusbildung nach 4 Monaten [6]

Die konservative Therapie besteht neben lokalen, abschwellenden Maßnahmen und nach Abklingen der akuten Schmerzphase in isometrischem Muskeltraining und nach Rückgang der Schwellung in aktiver Bewegungstherapie. Die Patienten sollen so frühzeitig wie möglich mobilisiert werden. Einfache Drehbrüche sind in der Regel nach 8–10 Wochen, Drehbrüche mit Drehkeilen sowie Quer- und Biegungsbrüche nach 10–12 Wochen konsolidiert. Nach ausreichender Konsolidierung der Fraktur wird eine systematische Übungsbehandlung durchgeführt. Begleitende Röntgenkontrollen sind notwendig. Wird eine *sekundäre Dislokation* befürchtet, so ist eine Osteosynthese anzustreben.

12.5.2 Marknagelosteosynthese

Intramedulläre Kraftträger sind indiziert bei geschlossenen und erstgradig offenen Schaftfrakturen der *Typen A–C nach AO, Pseudarthrosen* (aufgebohrter Marknagel) und beim *Verfahrenswechsel* nach Fixateur-externe-Behandlung oder bei *Versagen der konservativen Therapie.*

Eine Marknagelung sollte nach Möglichkeit *am Unfalltag* erfolgen. Bei allen Unterschenkelschaftfrakturen wird ein *intramedullärer Kraftträger* als die operative Therapie der 1. Wahl angestrebt. Alle anderen Verfahren einschließlich der modernen Plattensysteme sind prinzipiell möglich, aber zu begründen. Dies gilt auch für die im angloamerikanischen Raum oft propagierte konservative Therapie. Die intramedulläre Stabilisierung bietet im Schaftbereich der Tibia die besten Bedingungen für die Knochenheilung. Verschiedenste aufgebohrte und unaufgebohrte Systeme sind auf dem Markt erhältlich. Beide Methoden verfolgen unterschiedliche Prinzipien.

Der *aufgebohrte Marknagel* führt zu einer *endomedullären Verklemmung* und bedingt daher eine *hohe Stabilität.* Ein Vorteil bei der Einbringung des Nagels in das distale Fragment ist die Verwendung eines Olivendrahts. Er kann vor der Nageleinbringung an der Spitze leicht vorgebogen bis in das distale Fragment vorgeschoben werden. Über den liegenden Olivendraht wird dann der Nagel eingebracht. Dieses Vorgehen erleichtert die Reposition im Vergleich zum unaufgebohrten Marknagel erheblich. Bei Verwendung eines aufgebohrten Marknagels sollte jedoch auf ein exzessives Aufbohren des Markraums verzichtet werden, da Nekrosen auftreten können; vorzuziehen ist die *»limitierte« Aufbohrung* nur der engsten Stelle des Markraums. Dadurch wird eine deutlich



Abb. 12.4. 50 Jahre, männlich. Distorsionstrauma des rechten Unterschenkels. Geschlossene Spiralfraktur (A1 nach AO), kein Weichteilschaden. Verriegelungsmarknagelosteosynthese mit anatomischer Reposition nach limitierter Aufbohrung (**a, b** Unfallbilder, **c, d** Aufnahmen 2 Monate nach Versorgung, achsengerechte Stellung)

bessere mechanische Stabilität durch längerstreckige Verklemmung erzielt, und *Frakturen reponieren sich* häufig spontan durch den endomedullär bündig anliegenden Nagel (Abb. 12.4). So werden auch nicht im Mitteldrittel gelegene Frakturen stabil versorgt.

Die *Verriegelungsoptionen* sollten unbedingt genutzt werden. Proximal geschieht dies über den entsprechenden Zielbügel, distal kann frei Hand verriegelt werden oder unter Nutzung des röntgendurchlässigen Winkelgetriebes. Vor der Bohrung muss das zu besetzende Loch kreisrund unter Durchleuchtung eingestellt werden. Rutscht der Bohrer aufgrund der Rundung des Knochens ab, kann mit einem Kirschner-Draht angekörnt werden. Der aufgebohrte Nagel kann verriegelt (B- und C-Frakturen) und nicht verriegelt (A1- bis A3-Frakturen nach AO) implantiert werden.

Instabile Brüche (B- und C-Frakturen nach AO) werden *statisch verriegelt*; d. h. die Verriegelung lässt keine Kompression durch die Belastung auf den Bruchspalt zu. Hier wird die eingestellte Länge gehalten. Bei Quer- oder Schrägfrakturen kann alternativ auch *dynamisch verriegelt* werden, sodass die Fraktur in diesem Fall durch die Belastung unter Kompression gerät. Auch kann eine statische Verriegelung durch Entfernung des proximalen statischen Verriegelungsbolzens in eine dynamische Verriegelung (Dynamisierung) überführt werden (Abb. 12.5). Der proximale Verriegelungsbolzen sitzt dabei in einem Gleitloch, sodass die Belastung der operierten Extremität zu einer Einstauchung der Fraktur führt. Dynamisch verriegelte aufgebohrte Marknägel eignen sich zur Behandlung von Pseuarthrosen, die z. B. nach Implantation eines unaufgebohrten Nagels entstanden sind.

Instabile Frakturen der Tibia ohne knöcherne Abstützung können gut mit einem *Verriegelungsmarknagel* osteosynthetisch operiert werden. Beispiele hierfür sind langstreckige Spiralfrakturen, Etagenfrakturen, Trümmerfrakturen und Frakturen am Übergang zur Metaphyse und in Gelenknähe. Fissuren, die bis an ein Gelenk heranreichen, müssen vor Einbringung des Nagels mit Schrauben stabilisiert werden (Abb. 12.6).

Ebenfalls sind Schaftfrakturen mit größeren Knochendefekten zur Marknagelung mit Verriegelung geeignet. Die Indikationen zum aufgebohrten Marknagel *ohne Verriegelung* sind kurze *Quer- und Schrägfrakturen (Typ A1* und *A2* nach AO) und Pseudarthrosen im mittleren Schaftdrittel der Tibia. Wichtig ist hierbei, dass der Nagel so dick wie möglich gewählt werden muss. Hier ist jedoch ein kompensatorisch erhöhter *extramedullärer Blutfluss* [7] zu berücksichtigen. Ein perioperatives Kompartmentsyndrom wird konstant mit 1,5% angegeben [8].

Der *unaufgebohrte Marknagel (UTN)* dient dagegen nur als *Markraumschiene*, die *Stabilität* ist deutlich *verringert*. Er muss daher immer verriegelt werden (Abb. 12.7). Er ist solide, sodass die Verwendung eines Führungsdrahts zur Reposition des distalen Fragments (Olivendraht) nicht möglich ist. Dies führt in manchen

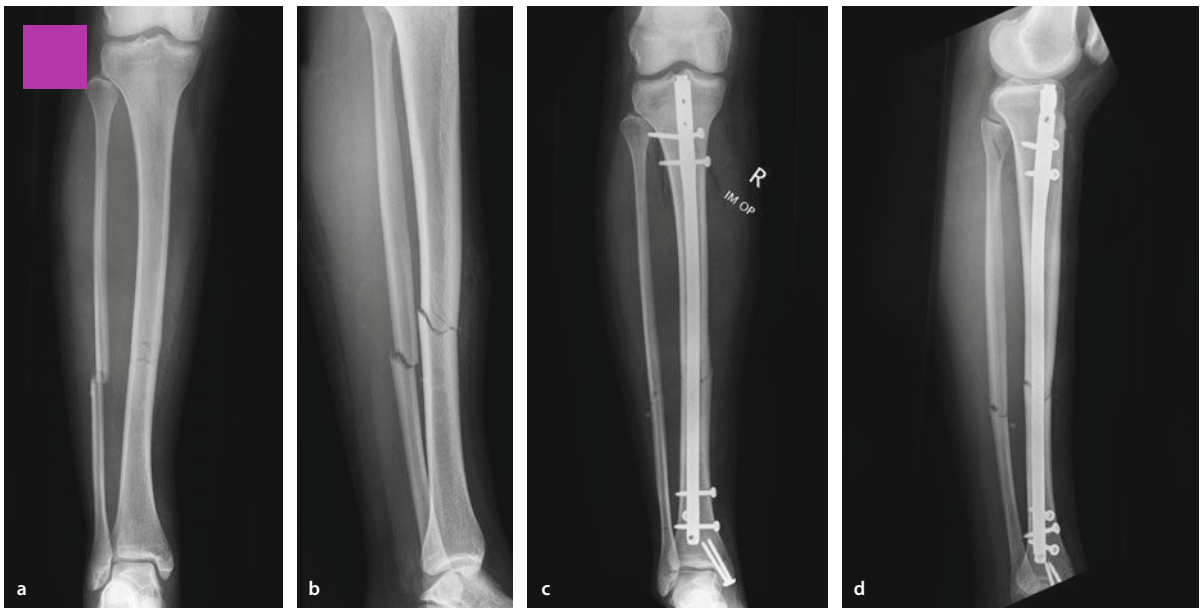


Abb. 12.5. 15 Jahre, weiblich. Unfall beim Tanzen, Distorsionstrauma. Unterschenkelschaftschrägfraktur (A2 nach AO), Fibulafraktur in gleicher Höhe und simultane Fraktur des Innenknöchels. Limitiert aufgebohrter Verriegelungsmarknagel und Schraubenosteosynthese des Innenknöchels. Spätere Dynamisierung durch Entfernung des statischen proximalen Verriegelungsbolzens möglich (**a, b** Unfallbilder, **c, d** Versorgungsbilder direkt postoperativ mit anatomischer Stellung)

42



Abb. 12.6. 73 Jahre, weiblich. Distorsionstrauma. Spiralfraktur (A1 nach AO), zusätzlich bestehende Fissur im distalen Fragment. Vor dem Einschlagen des Nagels Schraubenfixierung des distalen Tibiaplateaus, um eine Dislokation zu verhindern (**a, b** Unfallbilder, **c, d** Versorgungsbilder im OP)

Fällen zu einer erheblich schwereren Reposition des distalen Fragments. Da bei Verwendung des UTN auf das Aufbohren des Markraums verzichtet werden kann, wird die endostale Durchblutung geschont. Darüber hinaus ist hier die Gefahr einer Fettembolisation aus dem Markraum geringer. Die Nachteile stellen das technikbedingte Ausbrechen von inkompletten Frakturfragmenten und die geringe Dicke des Nagels und somit die geringe Stärke der Verriegelungsbolzen dar. Es werden daher häufiger implantatbedingte mechanische Probleme beobachtet.

Die *Begleitfraktur der Fibula* lässt sich normalerweise bei der Reposition der Tibia problemlos spontan stellen. In ca. 7% aller Unterschenkelschaftfrakturen ist eine zusätzliche *operative Stabilisierung* der distalen Fibula indiziert (Abb. 12.8). Häufig mit Querfrakturen der Tibia vergesellschaftet, kommt es zu *verhakten Fehlstellungen* der distalen Fibulafrakturen. Hier muss die distale Fibula offen reponiert und plattenosteosynthetisch versorgt werden. Geeignet sind 1/3-Rohrplatten, Rekonstruktionsplatten oder die LCDCP. Wenn die Fibulafraktur im distalen Drittel liegt, empfehlen wir eine zusätzliche Platte, da eine Stabilitätsverbesserung erreicht und die Rotation gesichert wird. Dieses Vorgehen wird von uns auch beim limitiert aufgebohrten Marknagel bevorzugt. Insbesondere ist die zusätzliche Plattenosteosynthese zu empfehlen, wenn die Instabilität hoch ist. Beispiele sind Mehrfragment- oder Trümmerfrakturen und die Verwendung unaufgebohrter Nägel.

Leitsätze für die Marknagelosteosynthese der Tibia

- Indikationen für *unverriegelte Marknägel* sind kurze Spiral-, Schräg- und Querfrakturen (A1- bis A3-Frakturen nach AO) sowie Pseudarthrosen im Mitteldrittel.
- *Statisch verriegelte Marknägel* eignen sich für Keil- und komplexe Brüche (B- und C-Frakturen) sowie für außerhalb des Mitteldrittels gelegene Brüche.
- Bei Quer- und Schrägfrakturen sowie Pseudarthrosen im Mitteldrittel (A2, A3) kann *dynamisch verriegelt* werden.
- Generell ist eine *limitierte Aufbohrung* nur des engsten Markraumbereichs zu empfehlen. Dies verbessert die Stabilität durch einen verlängerten Nagel-Knochen-Kontakt.
- *Unaufgebohrte Marknägel* haben ihre Indikation bei *Weichteilschäden*. Sie werden *immer verriegelt*. Weichteilschäden mit freiliegendem deperiostiertem Knochen (Grad IIIB nach Gustilo u. Anderson) sind Kontraindikationen für die Marknagelosteosynthese.

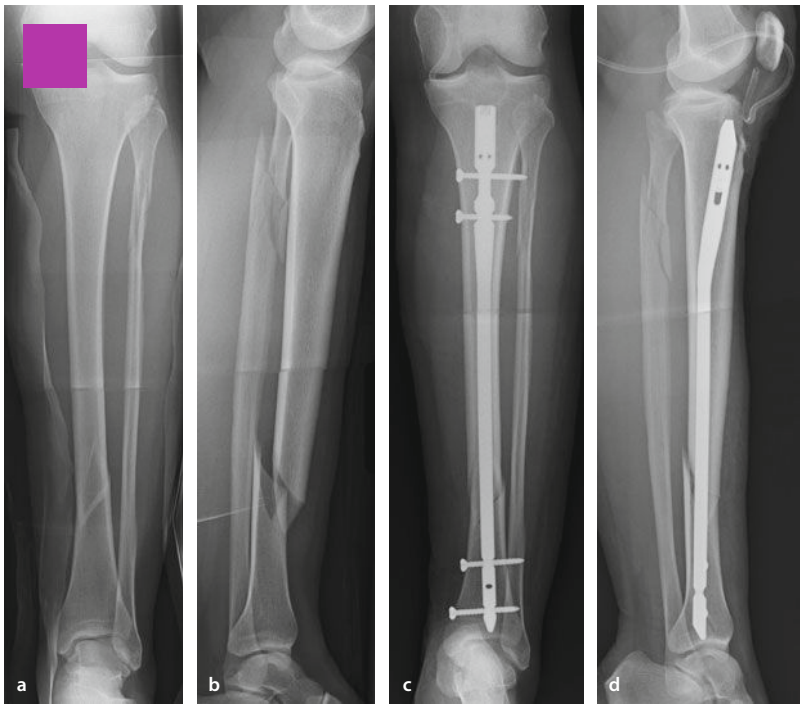


Abb. 12.7. 43 Jahre, weiblich. Unterschenkeldistorsion links bei ebenerdigem Verdrehtrauma. A1.2-Fraktur nach AO-Klassifikation (Spiralbruch mit Fibulafraktur auf anderer Höhe). Marknagelosteosynthese am Aufnahmetag mit UTN und 4 Verriegelungsbolzen im Sinne einer statischen Verriegelung. Der proximale Bolzen besetzt das Gleitloch, sodass eine Dynamisierung technisch nach 6 Wochen durch Entfernung des darunterliegenden Bolzens möglich wäre. *Die Autoren empfehlen dieses Vorgehen nicht, da sich Querfrakturen besser zur Dynamisierung eignen.* In der seitlichen postoperativen Ebene minimal verbliebene Retrokurvation (**c**). *Eine höhere Stabilität und bessere Reposition dieser Fraktur wäre durch Verwendung eines limitiert aufgebohrten Nagels möglich gewesen.* (Abb. von C.M. Müller-Mai, mit frdl. Genehmigung)

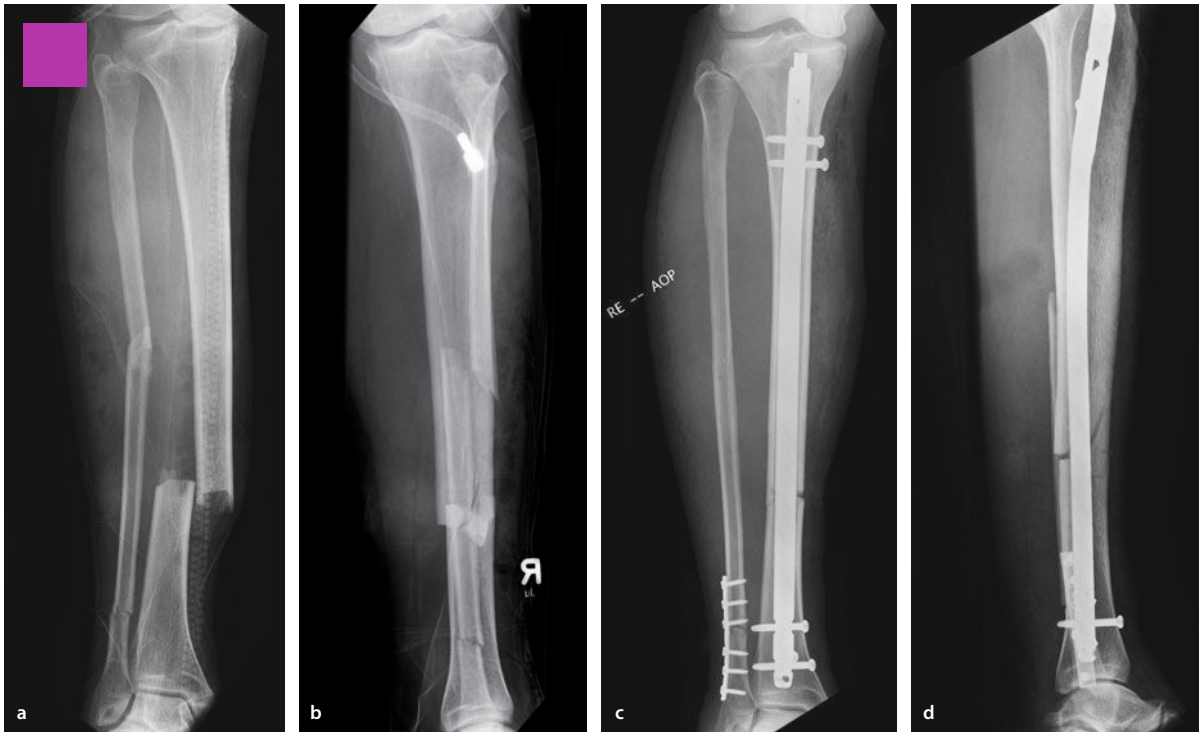


Abb. 12.8. 45 Jahre, männlich, direktes Anpralltrauma als PKW-Beifahrer (»dashboard injury«). Unterschenkelfraktur mit Tibiaquerfraktur (A3 nach AO) und Etagenverletzung der Fibula, zweitgradig geschlossener Weichteilschaden. Nach 1/3-Rohplatte zur Sicherung der Länge und Rotation sowie zur Stabilitätsverbesserung Osteosynthese der Tibia mit limitiert aufgebohrtem Marknagel (**a, b** Unfallbilder, **c, d** intraoperativ direkt nach Versorgung)

Bei gleichzeitiger Ruptur der vorderen *Syndesmose*, ggf. sogar der *Membrana interossea,* als Begleitverletzung einer distalen Fibulafraktur kommt es zu einer konsekutiven Instabilität der Malleolengabel und somit des oberen Sprunggelenks. Neben einer offenen Reposition und Plattenosteosynthese der distalen Fibula sind eine Syndesmosennaht und/oder die Anlage einer interossären *Stellschraube* notwendig, die allerdings den Weg des Marknagels in der Tibia nicht verstellen darf.

Die weit *endständig* gelegene *Schaftfraktur* wirft aufgrund ihrer Dislokationstendenz erhebliche Probleme auf. Moderne Marknagelosteosynthesen erlauben die Osteosynthese extrem weit distal oder proximal gelegener Frakturen, da die Verriegelungsbolzen bei manchen Systemen winkelstabil verankert werden und direkt am Ende des Nagels platziert werden können. Auch Trümmerfrakturen, die außerhalb des mittleren Schaftdrittels liegen, können mit dieser Methode osteosynthetisch adäquat behandelt werden.

Bei einem nennenswerten *Weichteilschaden* oder *offenen Unterschenkelfrakturen* wird eine *unaufgebohrte Marknagelung* empfohlen, da manche Autoren bei der Verwendung von unaufgebohrten Verriegelungsnägeln eine geringere Infektionsrate sehen. Bis zum Grad IIIA nach Gustilo u. Anderson kann primär versorgt werden. Ab dem Grad IIIB (ausgedehnter Weichteilschaden mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen) steigt die Infekthäufigkeit erheblich.

Bei *offenen Unterschenkelfrakturen* ist eine medikamentöse *intravenöse antibiotische Abdeckung* zeitnah indiziert. Die Auswahl und die Dauer der Antibiotikagabe sind vom Befund und dem Verlauf der Heilung abhängig. Intraoperativ ist nach *Wundabstrich* zur mikrobiologischen Untersuchung eine *Wundrandexzision* und ein radikales Wunddébridement durchzuführen. Bei stark kontaminierten Wunden empfiehlt sich ein *Jet-Lavage* zur mechanischen Wundreinigung. Bei offenen Unterschenkelfrakturen können als Alternative zum Marknagel die eingeschobenen winkelstabilen Platten (Fixateur interne in MIPPO-Technik) verwendet werden. Bei größeren Verletzungen der Unterschenkelweichteile ist im weiteren Verlauf eine plastische Deckung notwendig. Hier kommt als Muskellappenplastik primär ein *lokoregionärer Lappen* (Gastrocnemius- oder Soleuslappen) in Frage. Bei Bedarf können auch anspruchsvollere Techniken, wie *freie mikrovaskuläre Lappen* oder *Rotationslappenplastiken,* durchgeführt werden.

Bei Trümmerfrakturen (Typ C nach AO) sollte der Markraum im proximalen Fragment aufgebohrt werden, anschließend wird der Nagel über die Trümmerzone nach distal geschoben und statisch möglichst unter Nutzung aller vorhandenen Optionen verriegelt. Bei fehlendem oder sparsamem Aufbohren des Markraums sind die Voraussetzungen für eine *Revaskularisation* auf Frakturhöhe am günstigsten. Die zusätzliche Verriegelung erlaubt eine *frühzeitige Belastung* und somit die Möglichkeit eines *axialen Drucks* auf die Fraktur. Folglich sind Heilungsstörungen im Sinne einer verzögerten Konsolidierung, Pseudarthrose oder Refraktur hier seltener.

Der operative Zugang des intramedullären Kraftträgers am Unterschenkel erfolgt über einen längsverlaufenden Hautschnitt knapp proximal der Tuberositas tibiae. Die Eröffnung des Markraums knapp distal der tibialen Gelenkfläche kann fakultativ *transligamentär* durch die Längsspaltung des Lig. patellae oder *extraligamentär* direkt medial der Patellarsehne erfolgen. Bezogen auf das Lig. patellae hat keiner der oben beschriebenen Zugänge dem anderen gegenüber einen signifikanten Vorteil [9].

Mit Hilfe des Pfriems wird die Markhöhle im Verlauf der Längsachse eröffnet. Anschließend kann fakultativ der Markraum aufgebohrt werden. Wird unaufgebohrt implantiert, wird der Marknagel direkt nach Markraumeröffnung unter drehenden und schiebenden Bewegungen in den Markraum eingebracht. Nach Reposition der Fraktur unter Bildwandlerkontrolle wird der Nagel proximal und distal verriegelt. Bei einer weiter bestehenden Diastase der Fraktur sollte diese mit der sog. *Rückschlagtechnik* bei ausschließlich liegenden distalen Verriegelungsbolzen korrigiert werden. Neuere Modelle besitzen im proximalen Anteil des Nagels die Möglichkeit einer Kompression mittels einer speziellen Schraube.

Die *proximale metaphysäre Tibiafraktur* ist eine häufige Begleitverletzung bei Polytrauma oder bei Kettenverletzungen. Anatomische und pathomechanische Besonderheiten der Frakturen am proximalen Tibiaschaft mit einer starken *Dorsalkippungstendenz* und hohen *Dislokationsneigung des Tibiakopffragmentes* und der daraus resultierenden Achsenfehlstellungen und Instabilitäten mit verzögerter Heilung stellen in unterschiedlicher Gewichtung Probleme für alle verfügbaren Osteosyntheseverfahren dar.

Der zeitliche Faktor bei der Frakturstabilisierung spielt zur Vermeidung von Sekundärkomplikationen eine entscheidende Rolle. Das häufig direkte Trauma ist oftmals mit einem Weichteilschaden verbunden, was den Zugang zum frakturierten Knochen limitiert und das Risiko der zur Verfügung stehenden Implantate determiniert. Ist der Weichteilschaden gering, kann eine mediodorsal auf die Tibia aufgebrachte Platte die korrekte Achse sichern.

Einfacher und v. a. weichteilschonender ist das Einbringen einer *Pollerschraube*, die frakturnah im proximalen Fragment auf der Konkavseite der Fehlstellung eingebracht wird. Der daran vorbeigeführte Nagel wird damit in die korrekte Bahn gelenkt. Die intramedulläre Stabilisierung galt lange Zeit als das weichteilschonendere Verfahren für die proximalen Frakturen. Ein Nachteil

hierbei ist, dass kein direkter Kontakt zwischen dem Marknagel und dem Knochen entsteht, was zu einer geringeren Konsolidierungsrate führt. Weitere Nachteile sind die schwierige Reposition und die höhere Komplikationsrate. Durch Einsatz von Pollerschrauben konnte die Nagelinsertion und die primäre Stabilisierung dieser Frakturen verbessert werden [10].

12.5.3 Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese besitzt bestimmte Vorteile gegenüber der Marknagelversorgung. Prinzipiell ist eine anatomische Reposition ohne Fehlstellung möglich. Auch bei sehr engem Markraum, wie er gelegentlich bei jungen Frauen beobachtet wird, ist sie sicher anwendbar wie auch bei Pseudarthrosen. Allerdings sollten die Nachteile nicht unterschätzt werden. So ist der iatrogene *zusätzliche Weichteilschaden* nicht unerheblich. Die anatomische Reposition erfordert eine Präparation im Bereich der Fraktur mit Denudierung, was bis zur Sequesterbildung und bis zum Infekt führen kann. Wir sehen daher die Marknagelosteosynthese als das Verfahren der Wahl an.

Es werden verschiedene Arten von Plattenosteosynthesen unterschieden. Die *konventionelle Kompressionsplattenosteosynthese* soll eine interfragmentäre Kompression bei möglichst anatomischer Reposition ermöglichen. Dies sind die Voraussetzungen für eine primäre Knochenheilung. Anwendbar ist dieses Verfahren bei einfachen und gut reponierbaren Frakturen sowie gut durchbluteten Weichteilen im Operationsgebiet. Es kommen verschiedene Kompressionsplatten zum Einsatz:

- »dynamic compression plate« (DCP),
- »low contact dynamic compression plate« (LCDCP).

Der exzentrische Schliff der Schraubenlöcher ermöglicht dabei eine Kompression der Fraktur. Die der Platte gegenüber liegende Corticalis wird durch leichtes »Überbiegen« der Platte ebenfalls unter Kompression gebracht. Geeignet sind kurze Schräg- und Querfrakturen.

Wird die Platte als *Neutralisationsplatte* (Platte neutralisiert die Rotation oder Biegung) aufgebracht, sind *zusätzliche Zugschrauben* separat oder durch die Platte einzubringen, die für die entsprechende interfragmentäre Kompression sorgen. Die Durchführung erfolgt in offener Technik. Geeignet ist eine laterale Anlage der Platte aufgrund der besseren Weichteildeckung. Ein mediales Aufbringen ist jedoch prinzipiell möglich. In beiden Fällen liegt der längsverlaufende Zugang ca. 1 cm neben der Tibiavorderkante. Eine Deperiostierung des Knochens ist zu vermeiden. Eine Doppelplattenosteosynthese wie früher propagiert ist zu vermeiden.

Beispiele für mögliche Komplikationen der konventionellen Plattenosteosynthese

- Verzögerte Knochenheilung
- Pseudarthrosen
- Knochennekrosen bei langen Schräg- und Mehrfragmentfrakturen
- Wundheilungsstörungen bis hin zum Knocheninfekt
- Hautnekrosen

Biologische Plattenosteosynthese. Diese Variante erweitert das Indikationsspektrum der Plattenosteosynthese. Operationstechnik und biomechanisches Prinzip differieren allerdings im Vergleich zur klassischen Plattenosteosynthese. Die Platte wird im Sinne einer Überbrückungsosteosynthese eingebracht. Die eigentliche Frakturzone wird dabei nicht angegangen, und auf eine anatomische Reposition wird verzichtet.

Wichtig

Heilungsprinzip ist hier die sekundäre Knochenheilung mit Kallusbildung. Die biologische Plattenosteosynthese stellt daher eine elastische Osteosynthese dar [11]. Eine weichteilschonende Osteosynthese in dieser Technik wird erst durch das Konzept des Fixateur interne mit winkelstabiler minimalinvasiver perkutaner Plattenosteosynthese (MIPPO) oder »less invasive stabilisation system« (LISS) oder vergleichbaren Systemen ermöglicht (◘ Abb. 12.9).

Solche Platten können über einen frakturfernen Hautschnitt unter den Weichteilen zwischen dem Periost und der Muskulatur hindurchgeschoben werden. Nach radiologischer Lagekontrolle erfolgt die Schraubenimplantation durch Stichinzisionen über den Plattenlöchern, und die Platte wird proximal und distal der Fraktur winkelstabil fixiert. Hierbei kann durch das Wegfallen der Plattenkompression gegen den Knochen die periostale Perfusion geschont, eine Durchblutungsstörung des Knochens vermindert und damit die Porosierung am Plattenlager reduziert werden. Wegen fehlender Mobilisation von Frakturfragmenten aus dem Weichteilverbund findet keine Devastierung der Fragmente statt. Somit wird die Frakturzone nicht freigelegt und große Expositionen vermieden. Es findet eine beschleunigte knöcherne Konsolidierung der Frakturen mit geringerer Infektinzidenz statt. Mit den langen Platten können auch Mehretagenfrakturen oder Frakturen, die weit in den metaphysären Bereich hineinziehen, versorgt werden. Bei der biologischen Plattenosteosynthese treten weniger Komplikationen als bei der konventionelle Plattenosteosynthese auf. Allerdings sind *Rotationsfehler* nicht selten.

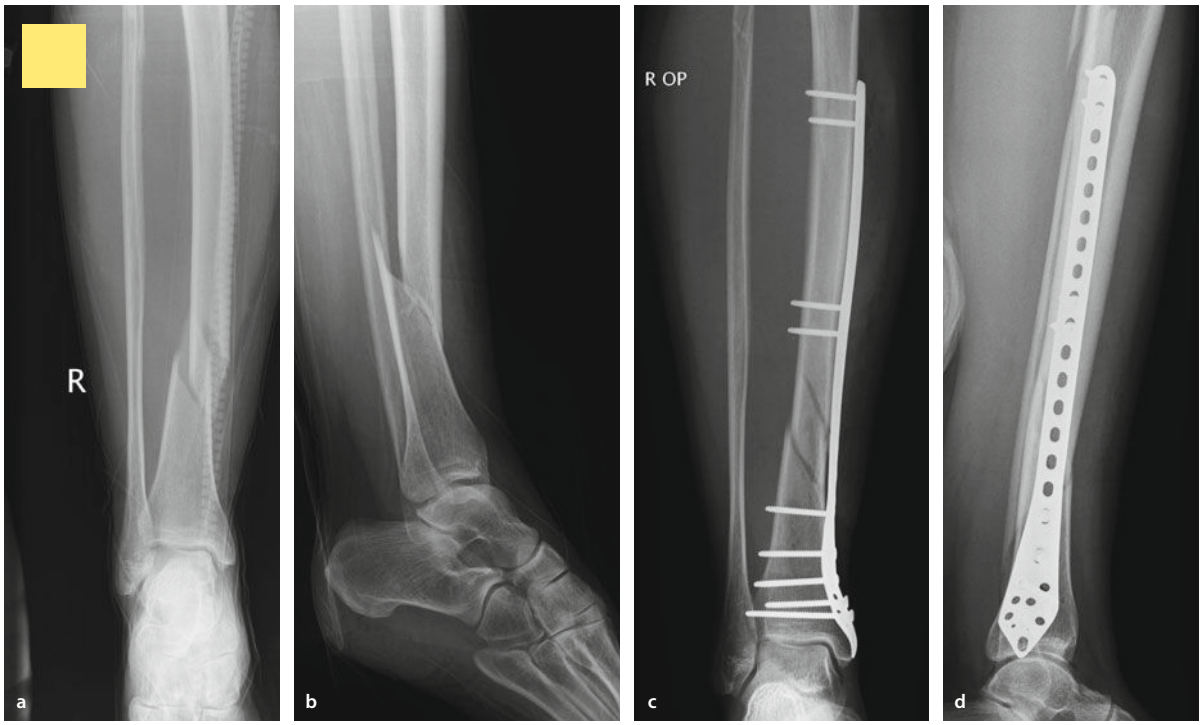


Abb. 12.9. 44 Jahre, männlich. Torsionsverletzung des rechten Unterschenkels. Spiralfraktur der distalen Tibia (A1-Fraktur nach AO im distalen Drittel). Beispiel einer biologischen Osteosynthese mittels einer minimalinvasiv eingebrachten durchgeschobenen anatomisch vorgeformten Platte

Um die häufig auftretenden Fehlstellungen bei exzentrisch distal oder proximal gelegenen Frakturen bei Nagelung zu umgehen [12], bietet sich insbesondere bei den problematischen proximalen Tibiafrakturen die Versorgung mittels LCDCP oder insbesondere das LISS an (Abb. 12.10), sodass die Plattenosteosynthese wieder in den Vordergrund gerückt ist [13]. Die Weiterentwicklung der Operationstechniken hin zur MIPPO (minimalinvasive perkutane Plattenosteosynthese) wie auch der Implantate, z. B. LISS (»less invasive stabilisation system«) mindern die ursprünglichen Nachteile der Plattenosteosynthese an der Tibia.

Insgesamt betrachtet können alle verfügbaren Osteosyntheseverfahren unter strenger Beachtung der spezifischen Problemstellung und der jeweiligen implantatspezifischen Kontraindikationen bei der proximalen oder distalen Tibiafraktur zum Einsatz kommen.

Die typischen Indikationen für dieses Osteosyntheseverfahren sind also proximale oder distale *metaphysäre Frakturen* (Abb. 12.11), Schaftfrakturen mit Gelenkbeteiligung, Kettenfrakturen, begleitende Gefäß- und Nervenverletzungen sowie Kompartmentsyndrome, vorhandene Knieprothesen, enger und sklerosierter oder deformierter Markraum und Frakturen im Wachstumsalter. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in einer kurzen Operationszeit bei minimaler Strahlenbelastung und einer weichteilschonenden, geschlossenen Operationstechnik.

Alle Plattenosteosynthesen sind in der Regel *übungsstabil*. Nach einer Plattenosteosynthese sollte das Bein für 6–8 Wochen nur teilbelastet werden. Der Belastungsaufbau erfolgt unter Konsolidierungskontrollen nach radiologischen Kriterien.

12.5.4 Fixateur externe

Bestehen allgemeine Operationskontraindikationen, so müssen auch dislozierte bzw. instabile Unterschenkelschaftfrakturen ohne ein größeres operatives Vorgehen behandelt werden. Höhergradig instabile Frakturen und offene Frakturen bedürfen einer *temporären Transfixation* bis zur definitiven operativen Versorgung nach Weichteilkonsolidierung. Der Fixateur externe erfüllt primär als Notfall- und Kurzzeitimplantat ebenfalls die Forderungen der biologischen Osteosynthese. Er zeichnet sich durch eine *einfache Operationstechnik*, *hohe Steifigkeit* und *geringe Weichteiltraumatisierung* aus. Zur Stabilisierung von ausgedehnten Trümmerfrakturen, ggf. kombiniert mit desolaten Weichteilverhältnissen, Infektionen

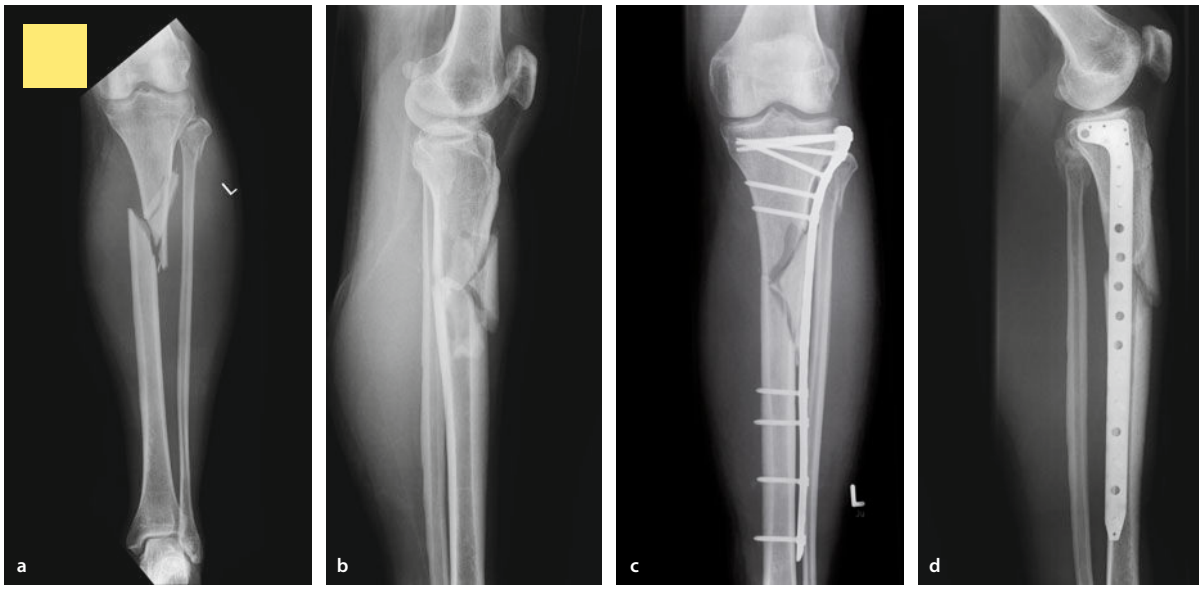


Abb. 12.10. 34 Jahre, männlich. Als Fußgänger von einem Pkw angefahren worden (direkter Anprall). Typischer Biegungskeil in Höhe des Anpralls von lateral im proximalen Drittel (B2-Fraktur nach AO). Biologische überbrückende Plattenosteosynthese, d. h. die Platte wird über einen cranialen lateralen kurzen Zugang epiperiostal eingeschoben. Die Fraktur wird nicht tangiert



Abb. 12.11. 47 Jahre, männlich. Fahrradunfall. Erstgradig offene distale Unterschenkelfraktur (A2-Fraktur nach AO). Primäre Plattenosteosynthese der distalen Fibula (LCDCP) sowie winkelstabile Platten- und Zugschraubenostheosynthese der distalen Tibia

und bei der Versorgung von Polytraumatisierten ist die Fixateur-externe-Osteosynthese Therapieoption der Wahl (Abb. 12.12). Die primäre Versorgung von *höhergradig offenen Tibiaschaftfrakturen* (ab *Grad III* nach Gustilo u. Anderson) mit Fixateur externe ist derzeit die gebräuchlichste Behandlungsmethode. Bei erheblichen Knochen- und Weichteilverletzungen im Sinne einer *Defektfraktur* kann eine *primäre Verkürzung* erforderlich sein, um einen Weichteilverschluss zu ermöglichen.

Die Frakturbehandlung kann vollständig mit einem Fixateur externe durchgeführt werden (Konzept des primären definitiven Fixateur externe). Nach gesicherter



Abb. 12.12. 30 Jahre, weiblich. Opfer häuslicher Gewalt mit multiplen Axtverletzungen an den oberen und unteren Extremitäten. C2-Fraktur links mit kurzem mittleren Segment, Querfraktur (A3 nach AO) rechts. Initiale Wundversorgung und Fixateur-externe-Stabilisierung. Nach Weichteilkonsolidierung und Besserung des Allgemeinzustandes endgültige Versorgung über Plattenosteosynthesen

Weichteilkonsolidierung kann auch ein Verfahrenswechsel auf eine interne Osteosynthese angestrebt werden (Abb. 12.12). Insbesondere der Verfahrenswechsel auf einen Marknagel nach initialer Fixateur-externe-Anlage ist zu empfehlen, da im Vergleich zum Fixateur die Ergebnisse nach Marknagelung signifikant besser sind und deutlich weniger Komplikationen beobachtet wurden [14]. So wird in der Literatur nach unaufgebohrtem Marknagel eine schnellere Konsolidierung der Fraktur im Vergleich zum Fixateur beschrieben (23,5 bzw. 28 Wochen [15]).

Der *Verfahrenswechsel* kann ein- oder zweitzeitig erfolgen. Der direkte einzeitige Wechsel sollte innerhalb von 7 Tagen erfolgen. Voraussetzung sind infektfreie Weichteilverhältnisse und reizlose Eintrittsstellen der Schanz-Schrauben. Die Infektionsrate nach einer einzeitigen sekundären Marknagelung liegt relativ hoch, daher sollte bei längerer Liegedauer des Fixateurs (>7 Tage) auf ein implantatfreies Intervall (Gips oder Extension) geachtet werden (zweizeitiger Verfahrenswechsel). Bei einem zweizeitigen Wechsel empfiehlt sich nach Abheilung der Pin-Stellen und Normalisierung der laborchemischen Entzündungsparameter der Verfahrenswechsel unter Antibiotikaabschirmung.

Ein mögliches adäquates Therapieverfahren zur Behandlung von metaphysären Tibiafrakturen oder Brüchen mit Gelenkbeteiligung ist der *Hybridfixateur*. Insbesondere die einfache Handhabung, implantatspezifische, intraoperative Korrekturmöglichkeiten und geringe operative Traumatisierung des proximalen Fragments zeichnen die Hybridfixation aus [16].

Der *Hexapodfixateur* und der *Ilisarov-Fixateur* treten bei der Akutversorgung der Unterschenkelschaftfrakturen mit den anderen Verfahren nicht in Konkurrenz. Diese Verfahren werden bei geplanten, längerdauernden Knochenbehandlungen eingesetzt. Die Indikation dieser Fixateure sind komplexe Fehlstellung, Fehlbildungen der langen Röhrenknochen und Verkürzungen nach Frakturen oder Infektionen.

12.6 Nachbehandlung

Allgemeine Maßnahmen wie eine suffiziente *Schmerztherapie*, die korrekte *Lagerung* und *abschwellende Maßnahmen* sind Voraussetzungen für eine erfolgreiche Rehabilitation. Insbesondere ist hier die Durchblutung der Weichteile durch ein *Wundödem* gefährdet. Deshalb muss postoperativ die Weichteilsituation engmaschig beobachtet werden, um Infektionen, Wundrandnekrosen und Hämatome rechtzeitig zu erfassen und ggf. eine adäquate Behandlung einzuleiten. Eine *Thromboseprophylaxe* sollte bis zur sicheren Vollbelastung und endgültigen Gipsabnahme durchgeführt werden.

Bei *konservativer Behandlung* sind engmaschige Nachkontrollen zu empfehlen, da sekundäre Dislokationen sicher und zeitnah erfasst werden müssen. Röntgenkontrollen empfehlen wir in etwa 2-wöchigem Abstand in den ersten 6–8 Wochen. Die Ruhigstellungsdauer beträgt in Abhängigkeit von der Bruchform 8 Wochen (Drehbrüche) bis zu 12 Wochen und mehr (Keil- und Querfrakturen).

Die postoperative Nachbehandlung muss adaptiert an das gewählte Osteosyntheseverfahren und den Zustand des Patienten erfolgen. In Abhängigkeit von Frakturund Osteosyntheseverfahren und der damit erreichten Stabilität sollte die Physiotherapie die Frühmobilisation möglichst unter Teilbelastung anstreben.

Die Mobilisation der benachbarten Gelenke sollte frühpostoperativ einsetzen. Dazu zählen:

- Bewegungsübungen auf der Motorschiene (»continuous passive motion«; CPM),
- isometrisches Muskeltraining
  und nach Rückgang der Schwellung
- aktive Bewegungstherapie,
- Gehschulung,
- Lymphdrainage,
- dosierter Belastungsaufbau.

Die aggressive und konsequente Nachbehandlung verhindert postoperative Adhäsionen der Gleitschichten sowie *Kontrakturen*. Ein zusätzliches *Muskelaufbautraining* mit begleitenden *Koordinationsübungen* zur Verbesserung der dynamischen Gelenkstabilisation ist für eine schnelle Rehabilitation entscheidend.

Radiologische Verlaufskontrollen nach Osteosynthese sollten direkt postoperativ und nach 2 bzw. 6 Wochen erfolgen, um die Frakturheilung zu beurteilen bzw. Komplikationen wie *sekundäre Dislokationen* so früh wie möglich zu erfassen. Abhängig von der Frakturform und der durchgeführten Osteosynthese ist mit einer Konsolidierung der Fraktur nach 8–16 Wochen zu rechnen.

Eine *Implantatentfernung* kann nach abgeschlossener knöcherner Heilung individuell im Zeitrahmen von 12–18 Monaten erfolgen. Teilimplantatentfernungen können, je nach gewähltem Verfahren, auch früher erforderlich werden. Bei *Marknägeln* empfiehlt sich eine spätere Entfernung nach frühestens 18 Monaten. Der Bruchspalt sollte in keiner Ebene mehr sichtbar sein.

Der *Fixateur* erfordert eine besondere Pflege. Die Eintrittsstellen für die Schanz-Schrauben müssen durch den Patienten täglich mit Desinfektionslösung gesäubert werden. Krusten müssen entfernt werden, um einen Sekretstau und konsekutive Pin-Infekte zu vermeiden. Bei Sekretion an den Schrauben empfiehlt sich eine Antibiotikatherapie bis zum Rückgang der Sekretion. Bei im Röntgenbild sichtbarer Reaktion des Knochens ist ein Umsetzen der betroffenen Schanz-Schrauben dringlich.

42

12.7 Sonderformen

Besondere Prinzipien der Behandlung finden sich bei einer Begleitfraktur der distalen Fibula (▶ Kap. 12.5), offener Unterschenkelschaftfraktur, Metaphysenfrakturen, Ermüdungsfraktur der Tibia, Frakturen im Wachstumsalter, bei älteren Menschen sowie bei pathologischen Frakturen und beim Polytrauma.

Ermüdungsfrakturen der Tibia. Diese Frakturen entstehen als Folge einer chronischen und gelegentlich einer akuten Überbelastung des Unterschenkels. Schmerzen, Schwellung mit Spannungsgefühl und seltener Überwärmung sind die üblichen Symptome. Nativradiologisch sind üblicherweise Zeichen einer periostalen Reizung zu beobachten. Weitere diagnostisch sensitive Methoden sind Tc-Knochenszintigraphie und die Kernspintomographie. Ermüdungsfrakturen der Tibia können konservativ behandelt werden. Eine operative Therapie ist indiziert bei Fehlschlagen der konservativen Therapie, einer Achsenfehlstellung der Tibia oder bestehenden Kontraindikationen für eine konservative Therapie.

Kinder. Frakturen des Unterschenkelschafts im Wachstumsalter sind meist Folge eines indirekten Traumas und sollten vorwiegend konservativ therapiert werden (◘ Abb. 12.13). Dann wird eine dorsale Oberschenkelgipsschiene oder ein gespaltener Oberschenkelgips angelegt, der nach etwa 1 Woche nach Abschwellung in einen zirkulären Gips gewechselt werden kann. Achsenfehler können durch Keilung beseitigt werden. Bei einem Alter <10 Jahren werden Achsenfehler spontan korrigiert. Varusfehler und Ante-/Rekurvationsfehlstellungen bis maximal 20° erscheinen tolerierbar.

Nicht geschlossen reponierbare oder instabile Frakturen können eine Operationsindikation darstellen. Eine spezielle Indikation für eine Osteosynthese kann gelegentlich ein mehrfach traumatisiertes Kind sein. Als Operationsverfahren kommen hier eine *elastische stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)*, *Fixateur externe-Osteosynthese* oder eine eingeschobene winkelstabile Platte *(MIPPO)* in Frage. ESIN sind bis zum Alter von etwa 8 Jahren das Verfahren der Wahl, können aber auch bei älteren Kindern angewendet werden (◘ Abb. 12.14). Alternativ werden bei älteren Kindern Plattenosteosynthesen durchgeführt oder eine Fixateur-Anlage.

Cave
Bei einer noch offenen Tibiaepiphyse ist eine intramedulläre Nagelung kontraindiziert.

Jährliche Nachkontrollen sind notwendig, die die Inspektion der Achsverhältnisse und Längenkontrollen einschließen, um ggf. resultierende Wachstumsstörungen frühzeitig zu erkennen.

Ältere Personen. Bei älteren Menschen richten sich die Therapieprinzipien nach dem biologischen Alter, dem Allgemeinzustand sowie der Knochenqualität. Prinzipiell



◘ **Abb. 12.13. 6 Jahre, weiblich. Verdrehtrauma.** Tibiaschaftspiralfraktur (A1-Fraktur nach AO) des rechten Unterschenkels. Konservative Therapie. Röntgenverlaufskontrolle nach 4 Wochen (**c, d**) und 3 Monaten (**e, f**) mit zunehmender Konsolidierung bei tolerablen Achsenverhältnissen

gelten bei älteren Patienten alle oben aufgeführten Bedingungen und Therapieoptionen. Insbesondere bei osteoporotischem Knochen ist eine Spongiosaplastik häufiger sinnvoll.

Wenn möglich, sollte das gewählte Verfahren eine sofortige Belastungsstabilität erzielen, um die Mobilität des Patienten zu erhalten. Daher sind Marknägel vorzuziehen, wenn die Frakturmorphologie und die Weichteilsituation dies zulassen. Besondere Probleme können bereits einliegende Prothesen verursachen. Versorgungen mit Marknägeln (Abb. 12.15) oder minimalinvasiv eingebrachten Platten (Abb. 12.16) sind aber möglich.

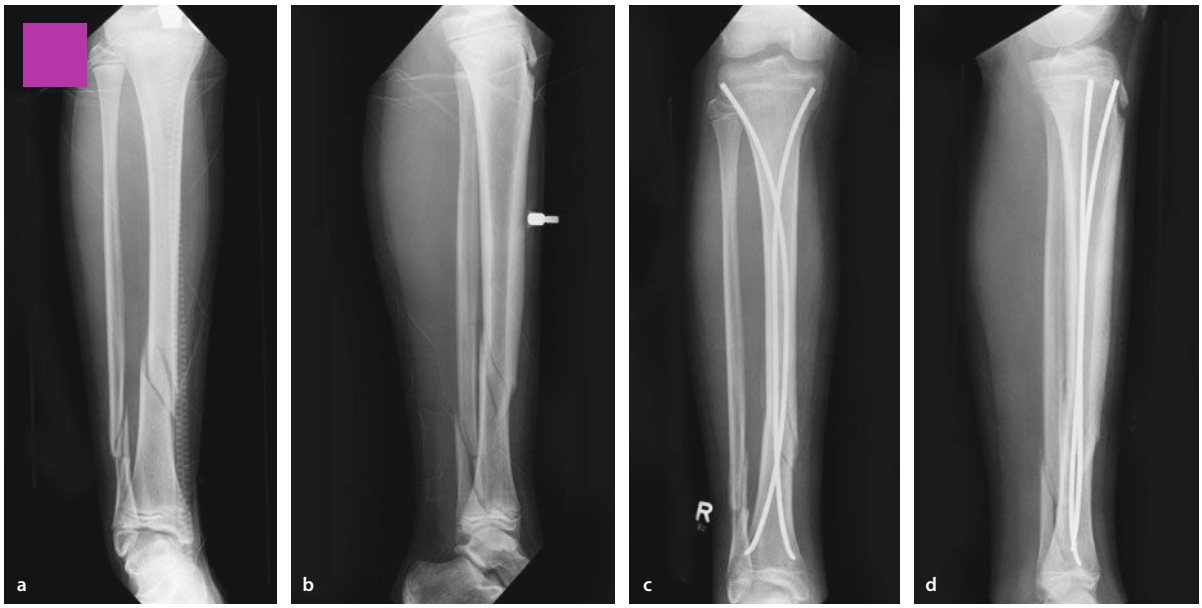


Abb. 12.14. 14 Jahre, männlich. Sturz beim Skilaufen. Kurze Unterschenkelschaftspiralfraktur rechts (A1-Fraktur nach AO). Geschlossene Reposition und minimalinvasive intramedulläre Nagelung der Tibia mit Prévot-Nägeln über 2 proximale Zugänge (ESIN)



Abb. 12.15. 84 Jahre, weiblich, einliegende Knietotalendoprothese. Verdrehtrauma des Unterschenkels. Tibiaschaftschrägfraktur rechts (A2-Fraktur nach AO). Limitiert aufgebohrter Verriegelungsmarknagel lege artis



Abb. 12.16. 83 Jahre, männlich. Distorsionstrauma durch Wegrutschen auf glattem Boden. Distale Tibiaschaftspiralfraktur (A1-Fraktur nach AO). Biologische Plattenosteosynthese mit durchgeschobener Platte im Sinne eines minimalinvasiven Eingriffs

Pathologische Frakturen. Diese Frakturen werden nach den Richtlinien der onkologischen Chirurgie behandelt. Osteolysen mit Stabilitätsgefährdung (Corticalisarrosion) sollten möglichst vor Eintritt der Fraktur mit einem Marknagel versorgt und nachbestrahlt werden. Bei eingetretener Fraktur sind die Ergebnisse schlechter; es kommen ebenfalls Marknägel, oder aber auch die Verbundosteosynthese (Plattenosteosynthese und Knochenzement) zur Anwendung.

Polytrauma. Beim Polytrauma ist aufgrund des minimalinvasiven Charakters, der Einfachheit und der Schnelligkeit der Methode eine primäre Versorgung mit dem Fixateur externe zu empfehlen (Abb. 12.17).

Bei einem relevanten Schädel-Hirn-Trauma und bei Thoraxtrauma verbietet sich die primäre Marknagelosteosynthese. Dabei ist auf eine Wiederherstellung der Länge des betroffenen Unterschenkelsegments zu achten; dies ist sekundär aufgrund der Weichteilverkürzung oft schwierig. Geringe Achsenfehler sind nicht von Bedeutung und werden bei der endgültigen Versorgung beseitigt.

Die Schanz-Schrauben sollten am Schaft distal und proximal der Fraktur jeweils frakturnah und frakturfern eingebracht werden, um eine hohe Stabilität zu erreichen. Bei einer Etagenfraktur (C2 nach AO) ist das Zwischensegment mit einer zusätzlichen Schraube an den Fixateur zu fixieren, um Weichteilprobleme zu vermeiden. Eine kniegelenkübergreifende Ruhigstellung in einem Gipsverband ist prinzipiell möglich, birgt aber Risiken wie Weichteildrucknekrosen, da der häufig nicht kontaktfähige Patient keine Schmerzen äußern kann.

Beim Polytrauma gelten die oben bereits beschriebenen Therapieprinzipien. Eine endgültige Versorgung kann im Verlauf nach Stabilisierung des Patienten erfolgen.

Cave
Bei einem Polytraumatisierten mit Schädel-Hirn-Trauma und/oder Thoraxtrauma ist die primäre Marknagelosteosynthese kontraindiziert.

Der Fixateur externe ist aufgrund der Schnelligkeit und des geringen Risikos das Verfahren der Wahl bei polytraumatisierten Patienten.

12.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Bei der konservativen Therapie von Unterschenkelschaftbrüchen können Probleme und Komplikationen auftreten. Zu nennen sind u. a. die *Phlebothrombose* mit der Möglichkeit einer konsekutiven *Lungenembolie*, *Be-*



Abb. 12.17. 40 Jahre, männlich. Polytrauma nach Verkehrsunfall. Kritischer Allgemeinzustand, Kompartmentsyndrom des rechten Unterschenkels, Tibiafraktur mit fragmentiertem Keil (B3-Fraktur nach AO). Primäre Kompartmentspaltung, Dermotraktion und Fixateur externe. Am 12. Tag nach dem Unfall Entfernung des Fixateur externe, Ruhigstellung im Gipsverband und Weichteilpflege. Am 18. Tag nach dem Unfall endgültige Versorgung mittels eines limitiert aufgebohrten Marknagels (zweizeitiger Verfahrenswechsel)

wegungseinschränkungen der benachbarten Gelenke und *Decubitalgeschwüre* unter dem Gipsverband. Ursachen liegen in langen Immobilisationszeiten und der Unmöglichkeit der frühfunktionellen Behandlung. Daher kann hier der Sarmiento-Gips zu einem deutlich besseren Vorgehen beitragen. So beschrieben Sarmiento et al. [5], dass sie bei konservativer Behandlung eine Konsolidierungsrate von 97%, bei 95% der Patienten eine Verkürzung von <12 mm und eine Achsabweichung von <8° bei 90% der Fälle beobachteten, die jedoch mit keinerlei funktionellen Einschränkungen einhergingen. Im Jahr 2000 beschrieb Sarmiento eine Pseudarthroserate von ca. 1% [17].

Geringe Achsenabweichungen lassen sich bei Weiterführung der konservativen Behandlung durch eine Keilung des Gipses korrigieren. Im Vergleich zur konservativen Therapie konnte allerdings nach Tibiamarknagelung

ein signifikant besseres Langzeitergebnis erreicht werden, sodass wir dieses Verfahren für die meisten Frakturen als das Verfahren der 1. Wahl betrachten [18].

Eine *Diastase* der Frakturfragmente, z. B. durch zu starke Zuggewichte, kann zu einer *verzögerten Knochenheilung* bzw. zur Bildung einer *Pseudarthrose* führen. Besonders gefährdet sind aufgrund der dort schlechteren Durchblutung Frakturen im distalen Drittel [19]. Die Gefahr einer Pseudarthrose besteht auch bei einer isolierten dislozierten Tibiafraktur und intakter Fibula. Der Grund hierfür ist u. a. der Sperrmechanismus der Fibula und die Neigung der Tibia zu einer Varusfehlstellung.

Pseudarthrosen können als Folge einer Defektheilung im spongiösen Knochen entstehen. Bei guter Knochenqualität können diese durch die üblichen Verfahren (Dekortikation, Spongiosaplastik, Kompressionsplattenosteosynthese, Umstellungsosteotomie) zur Ausheilung gebracht werden.

Die Indikation zur *autologen Spongiosaplastik* besteht bei verzögerter oder nicht stattfindender Knochenheilung sowie bei segmentalen Knochendefekten. Bei der Behandlung einer Pseudarthrose erfolgt nach der Pseudarthrosenresektion, dem Anfrischen der Knochenfragmentenden und der stabilen Osteosynthese die autologe Spongiosatransplantation. Knochenersatzmaterialien sind aufgrund des zirkulären Weichteilmantels nicht geeignet, da es zum bindegewebigen Einbau kommen kann.

Ein großes Problem stellen *Infektionen* insbesondere bei Frakturen mit *Weichteilschäden* oder bei *offenen Brüchen* dar. Infektionen werden insgesamt bei 2% der Fälle angegeben. Eine *intravenöse antibiotische Begleittherapie* zur Infektreduktion ist sofort bei Beginn der Behandlung einzuleiten [19]. Der Einsatz von *lokalen Antibiotikaketten* bei der Erstoperation führt zu einer weiteren Reduktion der Infektrate [20, 21]. Bei ausgedehnten Weichteilverletzungen werden gehäuft *Weichteilnekrosen* beobachtet, die einer operativen Revision bedürfen. Ergibt sich im weiteren Verlauf nach osteosynthetischer Versorgung der Verdacht auf eine Infektion, ist in jedem Fall schnell und konsequent zu reagieren.

Im Rahmen der Revisionsoperation muss über den Verbleib des Osteosynthesematerials entschieden werden. Bei unzureichender Remission müssen auch mehrmalige operative Revisionen eingeplant werden. Bei chronischen Weichteil- und Knocheninfektionen ist eine ausgedehnte Weichteil- und Knochensanierung notwendig, gefolgt von *weichteilplastischen Maßnahmen* (z. B. Gastrocnemiustransfer).

Bei *offenen Frakturen* oder Weichteilschäden ist die Marknagelung besonders problematisch, und es stellt sich die Frage nach dem geeigneten Nagel bei entsprechenden Zusatzverletzungen. Bezogen auf die Infektrate beschrieben Keating et al. [22] im Jahr 1997 beim Vergleich der aufgebohrten mit den unaufgebohrten Marknagelosteosynthesen der offenen Tibiafrakturen keinen signifikanten Unterschied. Gleiches wurde auch bei bis zweitgradig offenen Frakturen in einer anderen Studie beobachtet [23]. Auch zeigten Patienten nach unaufgebohrter Marknagelosteosynthese offener Frakturen im Vergleich zu Fixateur-externe-Versorgungen keinen signifikanten Anstieg der Infektrate. Court-Brown et al. beobachteten bei offenen Frakturen Grad IIIA (5,5%) und IIIB (12,5%) nach Gustilo u. Anderson jedoch eine relativ hohe Anzahl an Infektionen [24].

Tu et al. [25] haben die Komplikationsrate nach Osteosynthese mit unaufgebohrtem Tibiamarknagel mit der nach Fixateur-externe-Osteosynthese verglichen. Die offenen Frakturen Grad IIIA zeigten bei beiden Osteosyntheseverfahren eine Infektrate von 10%. Im Gegensatz dazu war die Infektionsrate der Grad-IIIB-Frakturen nach der unaufgebohrten Marknagelosteosynthese mit 37,5% zu 12,5% deutlich höher. Allerdings ist zu beachten, dass bei Fixateur-externe-Behandlung bis zu 5% Pin-Infekte beschrieben werden [25]. Somit können primäre Marknagelosteosynthesen bei offenen Frakturen bis zum Grad II oder auch in manchen Fällen bis Grad IIIA nach Gustilo u. Anderson durchgeführt werden. Der unaufgebohrte Nagel hat hier keinen entscheidenden Vorteil gegenüber limitiert aufgebohrten Implantaten, sodass wir Letztere aufgrund ihrer Stabilitätsvorteile in der Anwendung vorziehen. Auf die Bedeutung der systemischen antibiotischen Abschirmung und der adäquaten Mitbehandlung der Weichteile ist bereits hingewiesen worden.

> Schon beim begründeten Infektverdacht auch ohne Keimnachweis ist die offene Revision des Operationsgebiets indiziert. Daher gilt prinzipiell: Wenn man an eine Revision denkt, sollte man sie auch machen.

Betrachtet man die Stabilität unterschiedlicher Marknagelprinzipien, scheinen *mechanische Komplikationen* beim *unaufgebohrten Marknagel* häufiger aufzutreten. Zu nennen sind insbesondere Bolzenbrüche, die überwiegend distal aufgrund der dort größeren Scherkräfte bei geringer axialer Stabilität auftreten und mit einer Häufigkeit von 4–41% angegeben werden [23, 26]. Auch Nagelbrüche werden beschrieben. Demzufolge sind aufgrund der höheren Nagelstabilität und der besseren Verankerung im Knochen (längere endomedulläre Verklemmung) insbesondere im distalen Drittel der Tibia limitiert aufgebohrte Nägel vorzuziehen. Allerdings werden im Vergleich zu Marknagelosteosynthesen mit Markraumbohrung nach unaufgebohrter Marknagelung seltener *Fettembolien* beobachtet.

Etwa 20%–50% aller Patienten geben insbesondere beim Knien nach einer Tibiamarknagelung Knie-

schmerzen an [27]. Als Ursache wird der transligamentäre Zugang angeschuldigt. Ein medial neben dem Ligament liegender Zugang kann die Problematik laut Literatur reduzieren. Wesentliche Unterschiede konnten allerdings am eigenen Krankengut nicht nachvollzogen werden.

Achsfehlstellungen und Instabilitäten mit verzögerter Heilung sind ebenfalls zu beobachten. Bei postoperativ verbleibender oder erneut aufgetretener Fehlstellung muss über eine sofortige oder spätere *Reposition* und *Reosteosynthese* entschieden werden. Eine Sofortkorrektur ist immer vorzuziehen, wenn der Verlauf der Primäroperation sowie die Weichteilverhältnisse eine Korrektur ermöglicht. In den ersten 2–3 Wochen nach der Fraktur ist eine operative Korrekturrevision ohne schwierigere Kallusosteotomien möglich.

Tibiaschaftfrakturen mit großen Trümmerzonen und weit auslaufenden Fragmenten sind von einem *Kompartmentsyndrom* bedroht. Im Zweifel muss eine Faszienspaltung aller betroffenen Muskellogen sehr zeitnah erfolgen. Postoperativ entwickelte Krallenzehen sind Spätzeichen eines unerkannten Kompartmentsyndroms.

12.9 Begutachtung

Funktionsmindernde und somit begutachtungsrelevante Faktoren nach einer Tibiaschaftfraktur sind in ◘ Tab. 12.2 dargestellt.

Bei funktionell guten Ergebnissen ohne oder mit endgradiger Bewegungseinschränkung ist ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) bis maximal 10 je nach Frakturtyp gerechtfertigt. Posttraumatische Defektzustände können im ungünstigen Fall bis zu einem GdB/MdE 60 kumulieren.

◘ **Tab. 12.2.** Begutachtungsrelevante Faktoren nach Tibiaschaftfraktur und Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE)

Begutachtungsrelevante Faktoren	GdB/MdE
Posttraumatische Arthrosen bei Achsfehlstellungen	10–30
Pseudarthrosen	20–50
Steifheit der benachbarten Gelenke	20–60
Mögliche Folgen eines Kompartmentsyndroms wie ischämische Kontrakturen und Narbenbildung	10–30
Nervenlähmungen	20–30
Postthrombotisches Syndrom	10–50

Literatur

1. C.M. Court-Brown, J. McBirnie, The epidemiology of tibial fractures. J Bone Joint Surg 77-B: 417–421 (1995)
2. M.E. Müller, S. Nazarian, P. Koch, J. Schatzker, The comprehensive classification of fractures of long bones. Springer, Berlin Heidelberg New York (1990)
3. H. Tscherne, H.-J. Oestern, Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. Unfallheilkunde 85: 111 (1982)
4. R.B. Gustilo, J.T. Anderson, Prevention of infection in the treatment of thousand and twenty five open fractures of long bones: retrospective and prospective analysis. J Bone Joint Surg 58-A: 453–458 (1976)
5. A. Sarmiento, L.L. Latta, Functional fracture bracing. J Am Acad Orthop Surg 7: 66–75 (1999)
6. W. Ditzen, M. Börner, Konservative Behandlung von Unterschenkelfrakturen. Trauma Berufskrankh 4: 72–79 (2002)
7. E.H. Schemitsch, M.J. Kowalski, M.F. Swiontkowski, Soft-tissue blood flow following reamed versus unreamed locked intramedullary nailing: a fractured sheep tibia model. Ann Plast Surg 36: 70–75 (1996)
8. M.M. McQueen, J. Christie, C.M. Court-Brown, Compartment pressures after intramedullary nailing of the tibia. J Bone Joint Surg 72-B: 395–397 (1990)
9. R. Orfaly, J.E. Keating, P.J. O`Brien, Knee pain after tibial nailing: does the entry point matter? J Bone Joint Surg 77-B: 976–977 (1995)
10. C. Krettek, T. Miclau, P. Schandelmaier, C. Stephan, U. Möhlmann, H. Tscherne, 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 (1999)
11. K.M. Stürmer, Die elastische Plattenosteosynthese, ihre Biomechanik, Indikation und Technik im Vergleich zur rigiden Osteosynthese. Unfallchirurg 99: 816–829 (1996)
12. E.L. Freedman, E.E. Johnson, Radiographic analysis of tibial fracture malalignment following intramedullary nailing. Clin Orthop & Rel Res. 315: 25–33 (1995)
13. G.J. Lang, B.E. Cohen, M.J. Bosse, J.F. Kellam, Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? Clin Orthop & Rel Res 315: 64–74 (1995)
14. P. Schandelmaier, C. Krettek, J. Rudolf, H. Tscherne, Outcome of tibial shaft fractures with severe soft tissue injury treated by unreamed nailing versus external fixation. J Trauma 39: 707–11 (1995)
15. P.A.W. Ostermann, W. Knopp, C. Josten, G. Muhr, Unreamed intramedullary nail or external fixator in complicated tibial fracture? A comparative analysis. Chirurg 64: 913–917 (1993)
16. L.S. Weiner, R. Kelley, The use of combination internal fixation and hybrid external fixation in severe proximal tibia fractures. J Orthop Trauma 9: 244–250 (1995)
17. A. Sarmiento, On the behavior of closed tibial fractures: clinical/radiological correlations. J Orthop Trauma 14: 199–205 (2000)
18. L.B. Bone, D. Sucato, P.M. Stegemann, B.J. Rohrbacher, Displaced isolated fractures of the tibial shaft treated with either a cast or intramedullary nailing. An outcome analysis of matched pairs of patients. J Bone Joint Surg 79-A: 1336–1341 (1997)
19. R.B. Gustilo, Management of open fractures and complications. Instr Course Lect 31: 64–75 (1982)
20. J.F. Keating, P.A. Blachut, P.J. O`Brien, R.N. Meek, H. Broekhuyse, Reamed nailing of open tibial fractures: does the antibiotic bead pouch reduce the deep infection rate? J Orthop Trauma 10: 298–303 (1996)
21. P.A. Ostermann, D. Seligson, S.L. Henry, Local antibiotic therapy for severe open fractures. A review of 1085 consecutive cases. J Bone Joint Surg 77-B: 93–97 (1995)

22. J.F. Keating, P.J. O`Brien, P.A. Blachut, R.N. Meek, H.M. Broekhuyse, Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg 79-A: 334–341 (1997)
23. G. Kaltenecker, O. Wruhs, T. Heinz, Primary stabilization of open fractures of the lower extremity with the interlocking nail-the results of a study of 91 patients. Aktuelle Traumatol 20: 67–73 (1990)
24. C.M. Court-Brown, J.F. Keating, M.M. McQueen, Infection after intramedullary nailing of the tibia. Incidence and protocol for management. J Bone Joint Surg 74-B: 770–774 (1992)
25. Y.K. Tu, C.H. Lin, J.I. Su, D.T. Hsu, R.J. Chen, Unreamed interlocking nail versus external fixator for open type III tibia fractures. J Trauma 39: 361–367 (1995)
26. C.A. Müller, M. Dietrich, P. Morakis, U. Pfister, Klinische Ergebnisse der primären Marknagelosteosynthese mit dem unaufgebohrten AO/ASIF Tibiamarknagel von offenen Tibiaschaftfrakturen. Unfallchirurg 101: 830–837 (1998)
27. C.M. Court-Brown, T. Gustilo, A. D. Shaw, Knee pain after intramedullary tibial nailing: its incidence, etiology and outcome. J Orthop Trauma 11: 103–5 (1997)
28. P. Povacz, P. Lechenauer, C. Primavesi, H. Hertz, Der unaufgebohrte Tibianagel. European Surgery 6:452–454 (1993)

13 Distaler Unterschenkel (Pilon tibial)

S. Hillbricht, A.P. Schulz, A. Paech

Definition

Es handelt sich um Verletzungen der distalen Tibia mit Beteiligung der Gelenkfläche, meist aufgrund des typischen Mechanismus als Pilon-tibial-Frakturen bezeichnet (Destot 1911, Lyon; »le pilon«: franz. Stampfer, Stößel).

Unterschenkelfrakturen gehören mit den Schenkelhalsfrakturen zu den häufigsten Verletzungen der unteren Extremität. Pilon-tibial-Frakturen stellen bei den Tibiafrakturen einen Anteil von 5–7% [1]. Ungefähr 1/4 der Frakturen sind offene Frakturen in Abhängigkeit vom Unfallhergang, z. T. mit erheblichem Weichteilschaden [2]. Der Altersgipfel liegt bei 35–40 Jahren, Männer sind weitaus häufiger betroffen als Frauen.

13.1 Mechanismus

Ursächlich für Pilon-tibial-Frakturen sind v. a. hochenergetische Traumata, z. B. Verkehrsunfälle, Sturz aus großer Höhe etc., die zu einer axialen Stauchung im Bereich des oberen Sprunggelenks (OSG) führen. Der von der Knochenstruktur härtere Talus wird dadurch in das Tibiaplateau »eingestampft«. So entstehen typische, komplexe intraartikuläre Frakturen mit z. T. nicht unerheblichem Knochen- und Knorpelsubstanzverlust. Diese Brüche sind fast immer von komplexen Weichteilschäden begleitet.

Niedrigenergietraumata (z. B. Skisport- und andere Verdrehmechanismen) führen nur selten zu pilonartigen Frakturen der distalen Tibia, sondern fast immer zu Brüchen, die extraartikulär liegen oder der Region 44 Oberes Sprunggelenk zugeordnet werden (▶ Kap. 14).

Wichtig

Bei geringem Weichteilmantel ist auch bei weniger ausgeprägten Verletzungen eine definitive Primärversorgung fast nie angezeigt.

13.2 Klinik

Es liegen typische Symptome, wie *ausgeprägte Weichteilschwellung*, Schmerzen, Hämatom, sowie z. T. sichere Frakturzeichen (Crepitatio, Fehlstellung, freiliegende Knochenfragmente) vor. Eine klinische Abgrenzung zur OSG-Fraktur ist meist nicht sicher möglich, oft deutet der Verletzungsmechanismus auf die richtige Diagnose hin.

Unabdingbar ist hier eine Beurteilung des Ausmaßes des Weichteilschadens sowie des *neurovaskulären Status*. Bei *offenen Frakturformen* sollte eine gute Dokumentation erfolgen, um serielle Wundinspektionen in der Notaufnahme einzuschränken.

Bei offenen Frakturen kann eine Aufnahme mit einer einfachen Digitalkamera die Durchführung serieller Wundinspektionen vermeiden.

Noch nicht versorgte offene Brüche sind mit einem sterilen Verband zu versehen, eine Antibiotikatherapie ist möglichst zeitnah parenteral zu verabreichen (z. B. Cephalosporin der 3. Generation). Liegen massive Schwellung, zunehmende Schmerzen und ggf. ein beginnendes neurologisches Defizit vor, muss an ein sich entwickelndes oder manifestes *Kompartmentsyndrom* am Unterschenkel oder auch am Fuß gedacht werden.

13.3 Diagnostisches Vorgehen

Nativradiologisch muss die Diagnose durch die Darstellung des Unterschenkels bzw. des zentrierten Sprunggelenkes in 2 Ebenen erfolgen. Bei Verletzungszeichen im Fußbereich sollte dringend auch hier eine radiologische Abklärung erfolgen. Frakturen und Luxationen im Fußbereich sind klinisch und z. T. röntgenologisch oftmals nicht abgrenzbar.

Bei komplexen Frakturen hat sich zur Beurteilung des Frakturverlaufs für die Planung des operativen Vorgehens die Computertomographie bewährt, die ggf. den Fuß einschließen sollte. Selten sind weitere Untersuchungen wie Doppler-/Duplexuntersuchung, Angiographie oder Kompartmentdruckmessung zum Ausschluss von Begleitverletzungen indiziert.

13.4 Klassifikationen

13.4.1 AO-Klassifikation

Die Einteilung der Frakturen des distalen Unterschenkels erfolgt nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (Abb. 13.1). Diese orientiert sich im Wesentlichen an der von Rüedi und Allgöwer (Abb. 13.2) vorgeschlagenen Klassifikation [3].

Frakturen Typ A. Diese Frakturen werden in Abhängigkeit von der Weichteilkompromittierung möglichst rasch operativ versorgt. Frakturen vom Typ A1 können in Ausnahmefällen auch konservativ therapiert werden. Bei ausreichendem Abstand zur tibiotalaren Gelenkfläche kann eine intramedulläre Nagelung in Betracht gezogen werden. Meistens wird jedoch eine Plattenosteosynthese bevorzugt, nach Möglichkeit »minimalinvasiv« eingeschoben.

Frakturen Typ B. Die B-Frakturen betreffen nur einen Teil der distalen tibialen Gelenkfläche. Der Typ B1 mit Abriss des »tubercule de chaput«, also dem tibialen Ausriss der vorderen Syndesmose, werden schraubenosteosynthetisch von ventral nach dem Zugschraubenprinzip versorgt, der Typ B2 kann mit einer parallelen, doppelten Schraubenosteosynthese, z. B. kanüliert über K-Drähte, eingebracht erfolgen, oder über eine K-Drahtosteosynthese mit Stahldraht-Cerclage. Bei B2- und B3-Frakturen kommen auch Plattenosteosynthesen, evtl. in Kombination mit augmentierenden Verfahren wie der Implantation von Knochenersatzmaterialien oder Spongiosaplastiken, zum Einsatz.

Frakturen Typ C. Mehrfragment- und Trümmerfrakturen vom Typ C werden zumeist mit einer Kombination aus schrauben- und plattenosteosynthetischen Verfahren versorgt, erfordern aber einen hohen Grad an chirurgischer Erfahrung. Nur die Schweregrade B und C sind eigentliche artikuläre Pilon-Frakturen. Brüche vom Typ B2 entsprechen weitgehend einer Innenknöchelfraktur, die sich bis in das Pilon erstreckt. Die Einschätzung des begleitenden Weichteilschadens sollte nach den Klassifikationen von Tscherne und Oestern bzw. und Gustilo und Anderson erfolgen [4, 5].

13.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Rüedi und Allgöwer

Die Klassifikation nach Rüedi und Allgöwer [3] (Abb. 13.2) diente als Grundlage für die AO-Klassifikation (Abb. 13.1). Sie beschreibt drei Gruppen je nach Größe und Dislokation der Fragmente.

13.5 Therapeutisches Vorgehen

Eine primäre osteosynthetische Versorgung innerhalb der ersten 6–8 h ist nur bei einfachen Frakturen oder bei geringer Schädigung der Weichteile angezeigt; eine Operationsdauer von >2–3 h sollte nicht überschritten werden. Bei den oft vorliegenden erheblichen Weichteilschäden ist immer ein mehrzeitiges Vorgehen indiziert. Einen Überblick über die Therapieoptionen angelehnt an die AO-Klassifikation gibt Abb. 13.3.

Die *Primärversorgung* erfolgt mittels vorübergehender Fixation im *Fixateur externe* nach geschlossener Reposition oder selten auch noch in der Calcaneusextension. Das letztgenannte Verfahren sollte nur noch in Ausnahmefällen Anwendung finden.

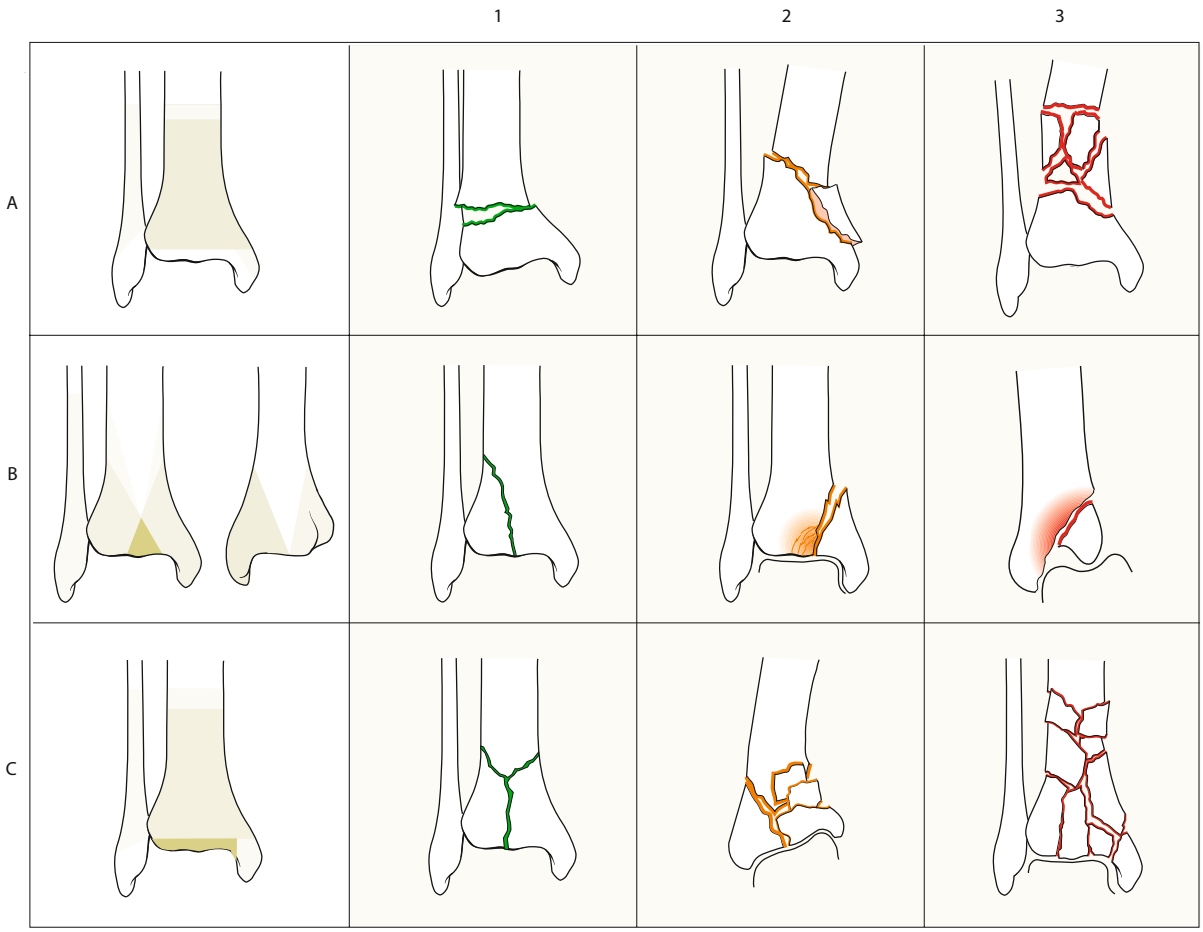


Abb. 13.1. AO-Klassifikation der Region 43 Distaler Unterschenkel. Die eigentlichen Pilon-Frakturen betreffen die Brüche der Schweregrade B und v. a. C. Der Schweregrad A ist selten und kommt eher durch indirekte Krafteinwirkung zustande (▶ Kap. 13.1 »Mechanismus«)

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

Je nach Ausmaß der Weichteilschädigung sind abschwellende Maßnahmen (Kühlung, Antiphlogistika, Überwachung zum rechtzeitigen Erkennen eines Kompartments etc.) bis zum operativen Weichteil-Débridement erforderlich. Trotz Beachtung der eben beschriebenen Prinzipien kommt es oft zu Wundnekrosen und tiefen Infektionen [6–8].

Beim operativen Ersteingriff bietet sich eine Versorgung der Fibula an, sofern die Weichteilsituation dies erlaubt. Bewährt haben sich hier die im Vergleich zur 1/3-Rohrplatte stabileren Rekonstruktionsplatten. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass über die Versorgung der Fibula Rotation und Länge gesichert werden. Dies erleichtert die Wiederherstellung der Sprunggelenkgabel bei der Sekundäroperation erheblich.

Nach Konsolidierung der Weichteilverhältnisse kann eine *definitive operative Versorgung* nach frühestens 7–10 Tagen erfolgen. Ziel der operativen Therapie ist eine möglichst anatomische Rekonstruktion der tibialen Gelenkfläche, der Syndesmosenfunktion sowie der Fibula. Anhand des Frakturverlaufs in der CT sollte präoperativ abgeschätzt werden, ob eine autologe Spongiosaplastik nötig wird. Außerdem sollte anhand der CT-Untersuchungsergebnisse die Auswahl der Implantate erfolgen.

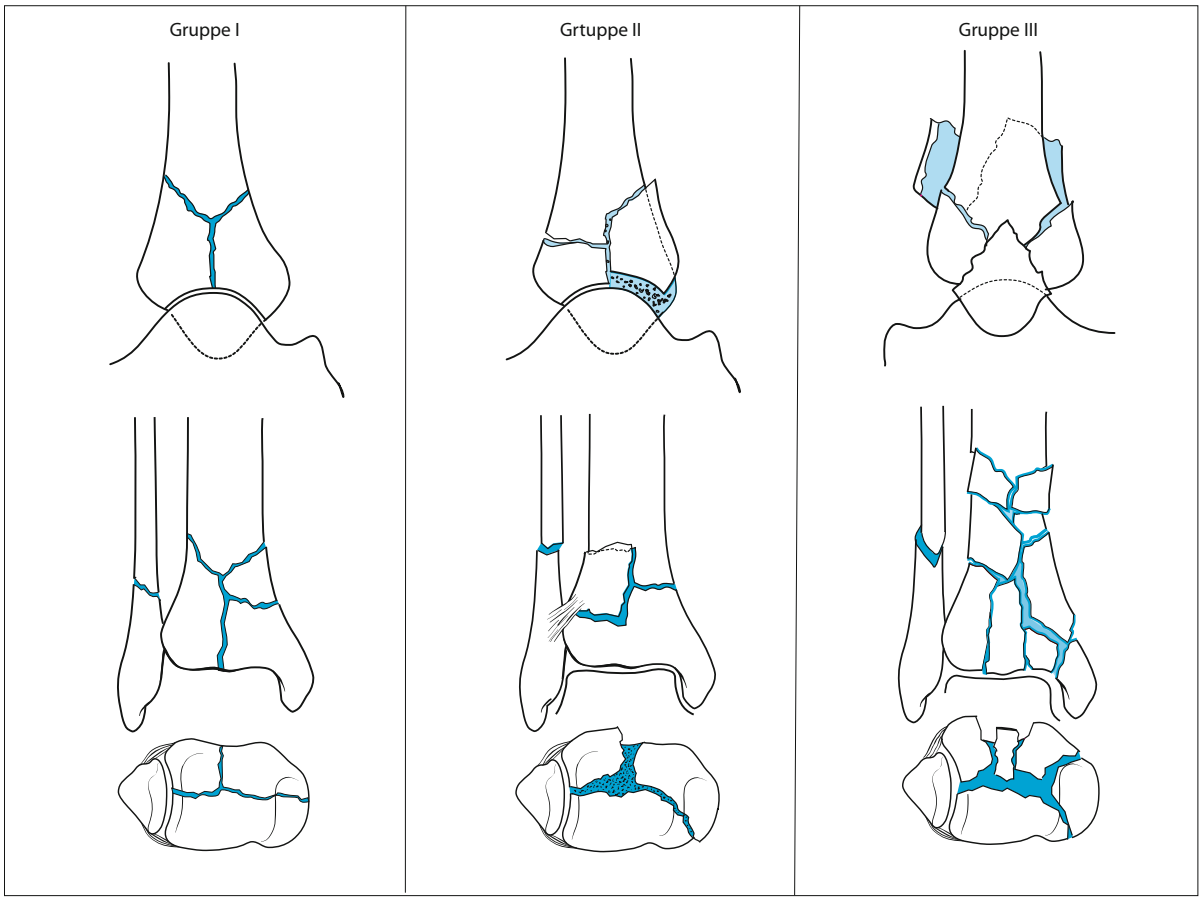


Abb. 13.2. Klassifikation nach Rüedi und Allgöwer [3]. Diese Einteilung diente als Grundlage für die AO-Klassifikation und teilt in drei Schweregrade ein. Gruppe I: Keine Trümmersituation oder Dislokation; Gruppe II: Dislokation ohne Trümmersituation oder Impaktierung; Gruppe III: Trümmersituation und/oder Impaktierung der Gelenkfläche

Die operative Versorgung orientiert sich an den von Rüedi [3] formulierten 4 Grundsätzen

- Fibularekonstruktion (kann beim Primäreingriff erfolgen)
- Gelenkwiederaufbau
- Spongiosaplastik
- Mediale Abstützung

Über eine gerade bzw. leicht geschwungene Inzision entlang der dorsalen Fibulakante erfolgt der Zugang zur Fibula. Hierbei ist auf eine Schonung des oberflächlichen Astes des N. peronaeus zu achten. Der Standardzugang zur distalen Tibia und zum oberen Sprunggelenk ist über eine anteromediale Inzision, beginnend an der lateralen Tibiakante nach medial über das Sprunggelenk auf die Innenknöchelspitze ziehend, zu führen.

Wichtig

Sind beide Zugänge erforderlich, ist auf eine *ausreichend breite Hautbrücke* von 6–7 cm zwischen den beiden Schnittführungen zu achten, um die Blutversorgung der Haut nicht zu beinträchtigen.

13.5.1 Konservative Therapie

Die konservative Therapie beim Erwachsenen ist nur in Ausnahmefällen, so z. B. bei gering dislozierten extraartikulären Frakturen (Schweregrad A) oder undisloziert stehenden intraartikulären Frakturen (B1) und/oder einer die operative Versorgung nicht erlaubenden Gesamtsituation indiziert.

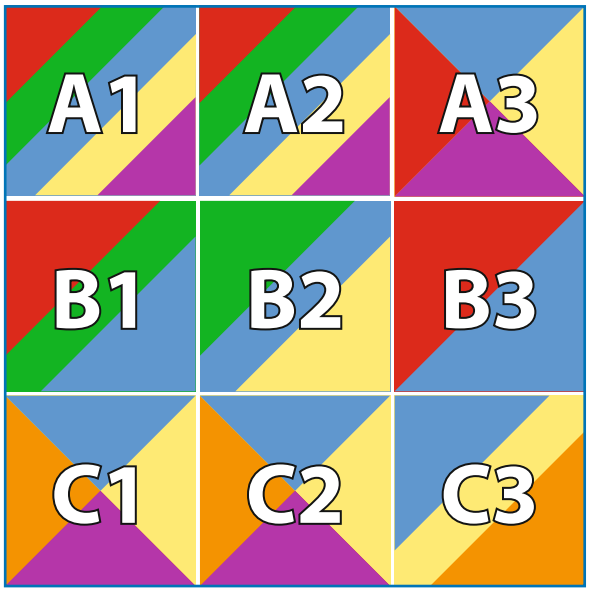


Abb. 13.3. Therapieoptionen bei körperfernen Brüchen des Unterschenkels (Pilon tibial). Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese
- Fixateur externe (in der Initialbehandlung immer möglich)
- Marknagelosteosynthese

13.5.2 Kirschner-Drahtosteosynthese

Eine reine Kirschner-Drahtosteosynthese ist bei den Frakturen des distalen Unterschenkels selten indiziert. Sie kann eine Notlösung bei schwerstem Weichteiltrauma – dann oft im Rahmen einer Ring-Fixateur-Anlage – sein.

In Kombination mit einer Cerclage als *Zuggurtung* kann die Fraktur des Innenknöchels versorgt werden. Hierzu wird das distale Fragment offen reponiert und über 2 parallel verlaufende Kirschner-Drähte fixiert. Nach Einbringen einer monokortikalen Schraube im proximalen Fragment kann nun die Zuggurtung in üblicher Weise angelegt werden. Am ehesten ist diese Versorgung bei B2-Frakturen anwendbar. Allerdings ist eine Anhebung und Unterfütterung des imprimierten Gelenkanteils mit autologer Spongiosa oder Knochenersatzmaterialien erforderlich.

13.5.3 Schraubenosteosynthese

Bei der Versorgung der distalen Unterschenkelfrakturen kommen regelhaft auch Schraubenosteosynthesen (Abb. 13.4) bzw. Mischformen mit Plattenosteosynthesen zum Einsatz. Sie werden eingesetzt
- als interfragmentäre Zugschrauben, z. B. an der Fibula, aber auch
- an der Tibia,
- bei der Versorgung des Innenknöchels oder
- der Versorgung einer Pilon-tibial-Fraktur zur Versorgung von Schlüsselfragmenten.

Die Schraubenosteosynthese bietet gegenüber der Verwendung von großen Implantaten, z. B. Kleeblattplatten, LCDC-Platten, die Möglichkeit einer minimalinvasiven Versorgung (Abb. 13.5). Domäne dieser Versorgungsart sind neben den großen Innenknöchelfrakturen die gering dislozierten Frakturformen ohne Gelenkflächenverlust. Auch bei extrem geschädigten Weichteilen muss manchmal eine Schraubenosteosynthese der Plattenversorgung vorgezogen werden, z. T. unter gleichzeitigem Einsatz eines Fixateurs [9, 10].

13.5.4 Plattenosteosynthese

Eine begleitende Fibulafraktur wird nach Reposition mittels einer ausreichend lang gewählten Drittelrohrplatte oder einer Rekonstruktionsplatte (▶ Kap. 13.5.3) gestellt und fixiert. Dies ermöglicht die Wiederherstellung der lateralen Säule und oftmals schon die Reposition eines Tubercule de Chaput oder lateralen Schlüsselfragments der Tibia.

Wichtig
Entscheidend ist die Wiederherstellung der korrekten Länge, Rotation und Achsenstellung der Fibula.

Zur Auswahl stehen neben einer Drittelrohrplatte auch Rekonstruktionsplatten und LCDC-Platten (Abb. 13.6), die sich aufgrund der geringen Weichteildeckung an der distalen Fibula aber nachteilig auswirken können. Auch winkelstabile Systeme kommen bei der Versorgung der Fibula zur Anwendung und bieten insbesondere bei osteoporotischem Knochen die Möglichkeit einer sichereren Versorgung.

Zur internen Versorgung der distalen Tibia werden *winkelstabile Plattensysteme* zunehmend standardmäßig angewandt, oft zusätzlich zu Schraubenosteosynthesen. Bei lediglich auf die distale Tibia beschränkten Frakturformen kann durch ventrale Anlage der Platte oft eine gute Kontrolle über die Fragmente erreicht werden (Abb. 13.7).

Frakturen, die bis in den tibialen Schaft ziehen, machen die mediale Plattenanlage notwendig (Abb. 13.8, 13.9). Vorliegende Knochendefektzonen müssen durch autologe Spongiosaplastik oder bei ersatzstarkem Implantatlager mit Infektfreiheit und guter Durchblutung mit Knochenersatzmaterial augmentiert werden.



Abb. 13.4. 56 Jahre, weiblich. Pkw-Unfall, genauer Mechanismus nicht bekannt. Distale Unterschenkelfraktur Typ AO B3 u. a. Zunächst Ruhigstellung im Fixateur externe und im Verlauf schraubenosteosynthetische Versorgung

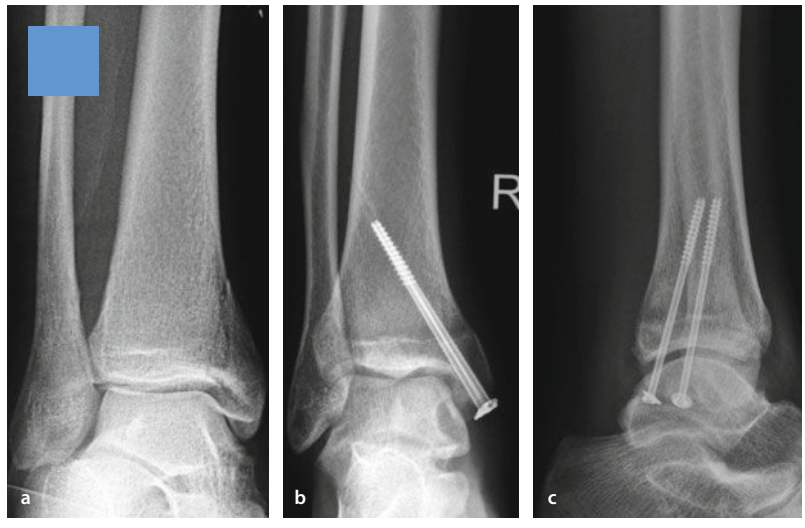


Abb. 13.5. 24 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Polytrauma u. a. mit körperferner Unterschenkelfraktur Typ AO B2. Schraubenosteosynthetische Versorgung mit 2 kanülierten Schrauben mit Unterlegscheibe



Abb. 13.6. 29 Jahre, männlich. Motorradunfall. AO-C3-Fraktur, zweitgradig offen. Zunächst Anlage eines Fixateur-Systems und Wundrevision. Nach 13 Tagen definitive Versorgung als Überbrückungsosteosynthese mit von medial eingeschobener Platte. Die Fibula wurde mit einer konventionellen LCDC-Platte versorgt. Das radiologische Ergebnis nach Metallentfernung zeigt eine leichte Valgusstellung sowie einen minimalen seitlichen Versatz. Klinisch jedoch ein gutes Ergebnis, postoperativ kein Wundinfekt. Ausheilungsergebnis nach 18 Monaten (**g, h**): gute Funktion, radiologisch deutliche Ossifikation im Bereich der Membrana interossea

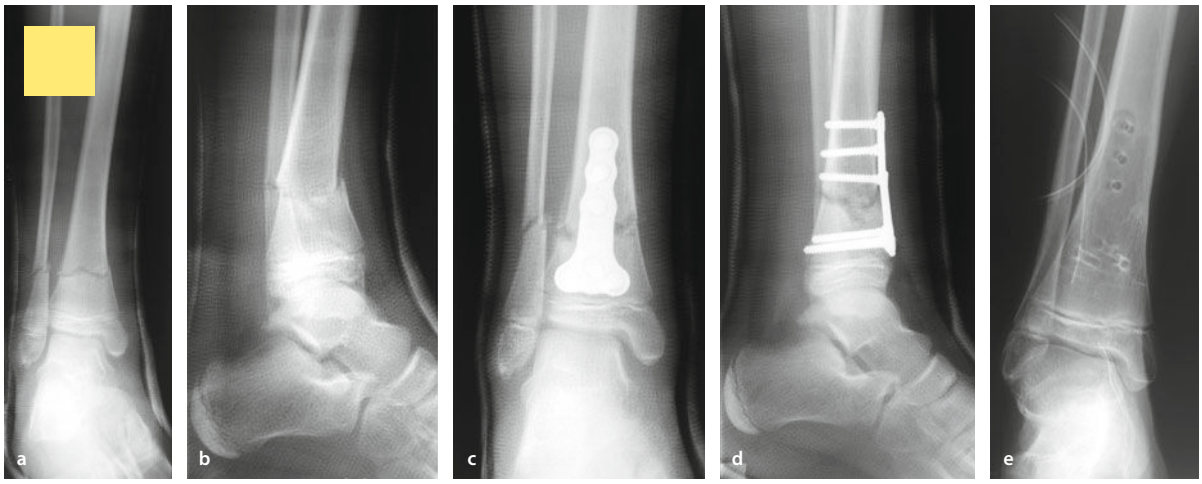


Abb. 13.7. 14 Jahre, männlich. Fahrradsturz. A1-Fraktur mit Achsfehlstellung. Eine geschlossene Reposition war erfolglos, deshalb minimalinvasive winkelstabile Plattenosteosynthese von ventral, die Wachstumsfuge wurde strikt geschont. Sehr gutes funktionelles und radiologisches Ergebnis



Abb. 13.8. 19-jähriger männlicher Unfallverletzter. In angetrunkenem Zustand von einer Mauer gesprungen. AO-A3-Verletzung mit deutlichem Substanzverlust der lateralen Tibia. Primär Ruhigstellung im Gips, am 7. Tag operative Versorgung mittels LCDCP der Fibula sowie multidirektional winkelstabiler Platte (Pilon-TiFix) und Spongiosaplastik vom vorderen Beckenkamm am Pilon

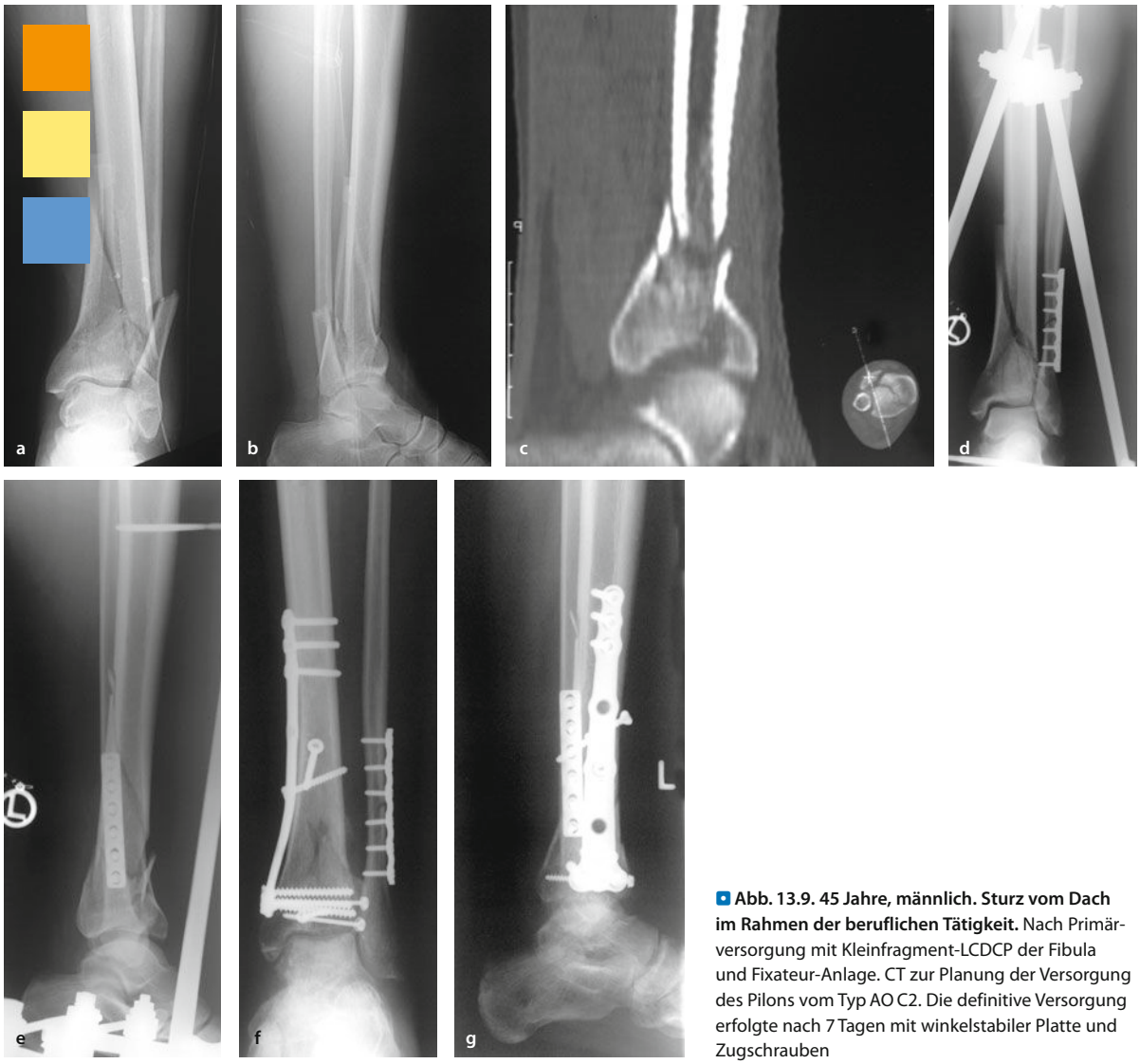


Abb. 13.9. 45 Jahre, männlich. Sturz vom Dach im Rahmen der beruflichen Tätigkeit. Nach Primärversorgung mit Kleinfragment-LCDCP der Fibula und Fixateur-Anlage. CT zur Planung der Versorgung des Pilons vom Typ AO C2. Die definitive Versorgung erfolgte nach 7 Tagen mit winkelstabiler Platte und Zugschrauben

13.5.5 Marknagelosteosynthese

Eine Indikation für die Marknagelosteosynthese besteht bei wirklichen Pilon-Frakturen selten, eine Achsfehlstellung lässt sich nur schwer korrigieren. Bei diaphysären Frakturen, die Frakturausläufer bis in das Pilon aufweisen, können in einigen Fällen Nägel, z. T. verbunden mit distalen Zugschrauben, die das Tibiaplateau sichern, verwendet werden. Diese Frakturen werden aber der Region 42 Unterschenkelschaft zugeordnet. Begleitende Fibulafrakturen können z. B. mit einem XS-Nagel versorgt werden. Auch A-Frakturen sowie B1-Frakturen des Pilon lassen sich mit der entsprechenden Erfahrung mit diesem Implantat behandeln (Abb. 13.10).

13.5.6 Fixateur externe

Die Fixateur-Behandlung ist in der Primärphase fast immer angezeigt (Abb. 13.5, 13.9–13.13) kommt aber zur Ausbehandlung der Fraktur nur selten zum Einsatz. Zur Anwendung kommen trianguläre oder V-förmige Konfigurationen, die das obere und untere Sprunggelenk übergreifen müssen. Auf eine Neutralstellung im oberen Sprunggelenk ist zu achten. Es werden deshalb zusätzliche Pins im subcapitalen Bereich oder in der Basis des 5. und 1. Mittelfußknochens eingebracht (Abb. 13.13).

Bei schwierigen Weichteilsituationen kann eine Ausbehandlung im Fixateur erwogen werden. Hier bietet sich ein Drahtfixateur nach Ilizarov an, ggf. kombiniert mit einzelnen Schrauben [11–13].

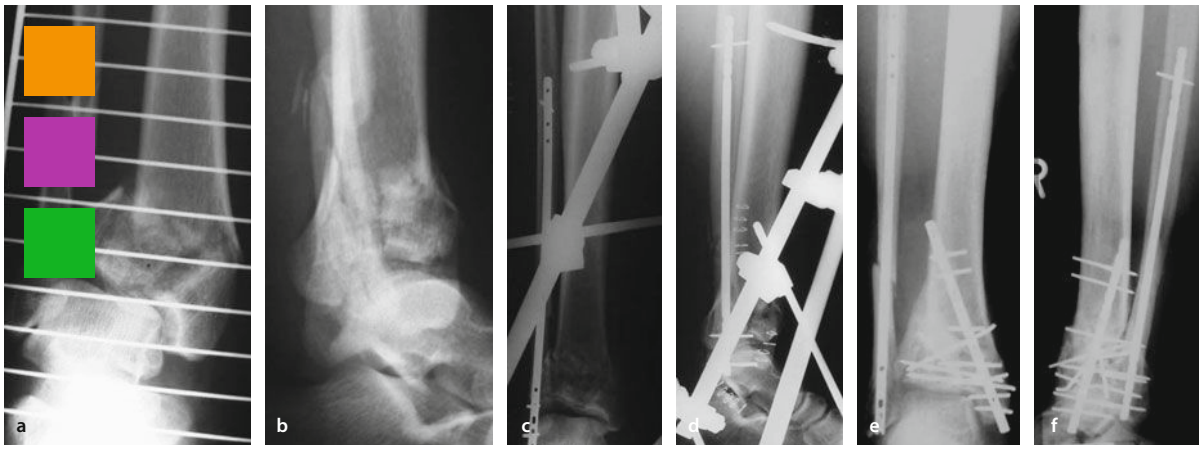


Abb. 13.10. 25 Jahre, männlich. Motorradunfall (Frontalkollision). AO-C2-Verletzung mit initial drittgradigem Weichteilschaden. Primäre Versorgung mit Fixateur externe und XS-Nagel der Fibula. Aufgrund der angespannten Weichteilsituation erfolgte am 8. Tag der Entschluss zur minimalinvasiven Versorgung der Tibia mit Kirschner-Drähten und einem weiteren XS-Nagel (Bilder: W. Friedl, Aschaffenburg). Zum Zeitpunkt der Metallentfernung nach 14 Monaten noch mittelgradige Bewegungseinschränkung und belastungsabhängige Schmerzen nach längerem Laufen

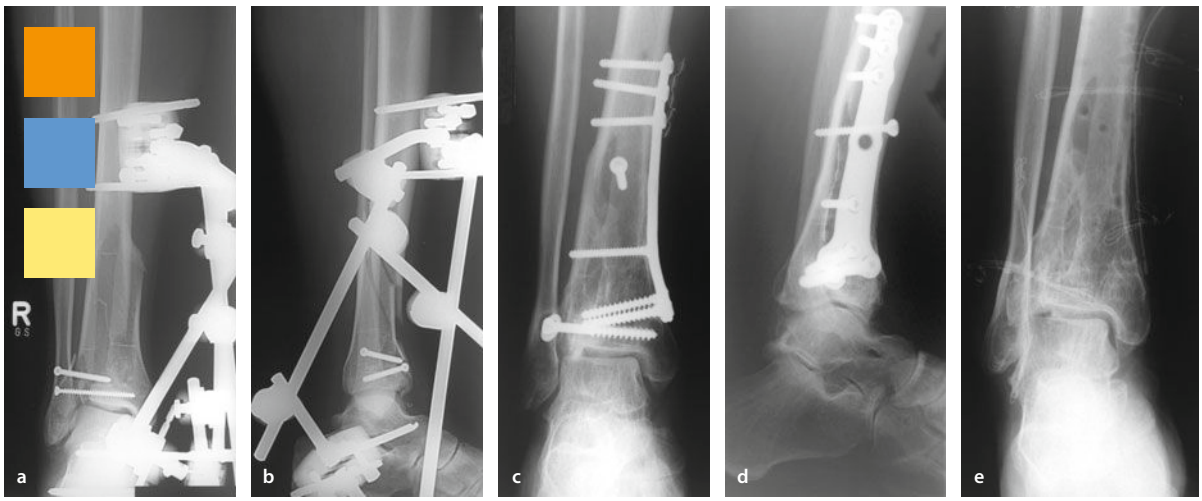


Abb. 13.11. 38 Jahre, männlich. Einklemmung im Pkw im Rahmen eines Auffahrunfalls. Frakturtyp AO C1. Es erfolgte primär die Anlage eines Fixateur externe und der Versuch einer minimalinvasiven Osteosynthese. Am 8. postoperativen Tag definitive Versorgung mittels Zugschrauben und winkelstabiler Platte (eingeschoben)



Abb. 13.12. 84 Jahre, weiblich. Linksseitenschwäche nach cerebralem Insult. Umknicktrauma mit Stolpern beim Treppabgehen, hochgradige Osteoporose. **a, b** Pilon-Fraktur AO-Typ A2. **c, d** Bei primär ausgeprägter Schwellung Anlage eines Fixateurs. Am 5. Tag Umstieg auf intramedulläres Implantat (XS-Nagel). Postoperativ 10 kg Teilbelastung über insgesamt 8 Wochen, reizlose Wundheilung (Bilder: W. Friedl, Aschaffenburg). **e, f** Ausheilungsbild nach Metallentfernung nach 12 Monaten

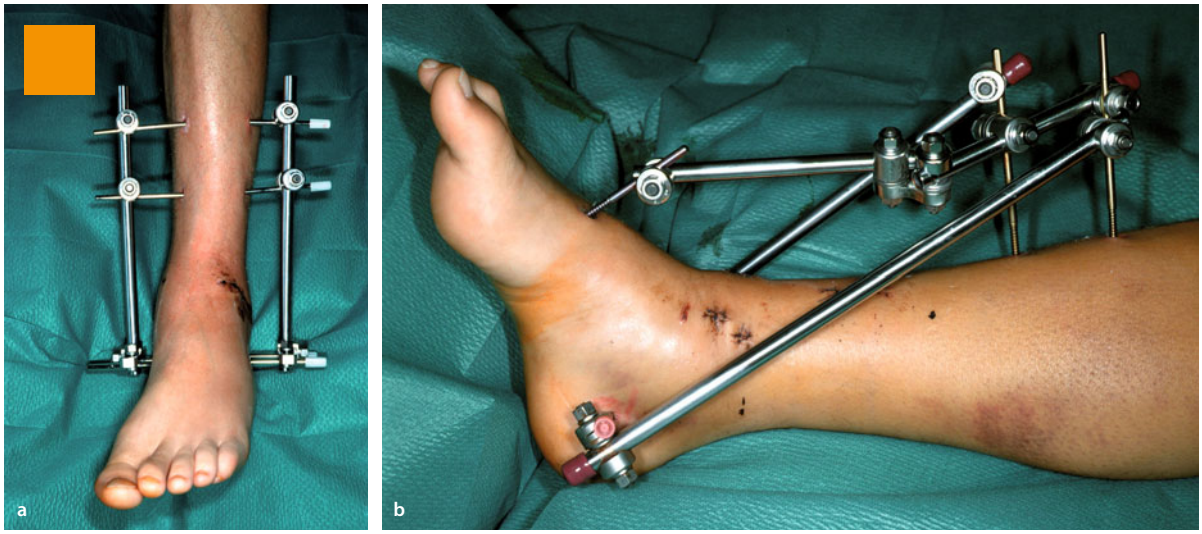


Abb. 13.13. Primärversorgung mit Fixateur externe. **a** Als Rahmenkonstruktion bis in den Calcaneus. **b** Triangulär unter Einbeziehung der 1. Mittelfußbasis

13.6 Nachbehandlung

Noch in Narkose sollte eine Unterschenkelgipsschiene bzw. eine entsprechende Orthese angelegt werden, wenn eine übungsstabile Osteosynthese erfolgen konnte. Bei unzureichender Stabilität kann ein Fixateur externe bis zum Beginn der Frakturheilung (ca. 6–8 Wochen) zusätzlich zur sekundären Osteosynthese belassen werden.

Postoperativ gilt es, die *Weichteilsituation* zu beobachten. Infektionen, Wundrandnekrosen und Hämatome sind möglich. Eine *Thromboseprophylaxe* sollte bis zur sicheren Vollbelastung durchgeführt werden. Eine frühfunktionelle physiotherapeutische *Beübung* kann nach Entfernung der Saugdrainagen erfolgen. Eine Abrollbelastung bzw. Teilbelastung der operierten Extremität unter Verwendung von Unterarmgehstützen mit bis zu 20 kg sollte nach Maßgabe des Operateurs bis zur knöchernen Konsolidierung (ca. 12 Wochen) unter Röntgenkontrollen erfolgen.

13.7 Sonderformen

Vollständige Gelenkflächenzerstörung. Bei vollständiger Gelenkflächenzerstörung ist in einigen Fällen die primäre Arthrodese zu diskutieren. Die Einschränkung der Lebensqualität nach Trümmerfrakturen, die nur eine eingeschränkte Wiederherstellung der Gelenkfläche erlaubten, ist ausgeprägt [14].

Kinder. Derartige Brüche im Kindesalter sind selten.

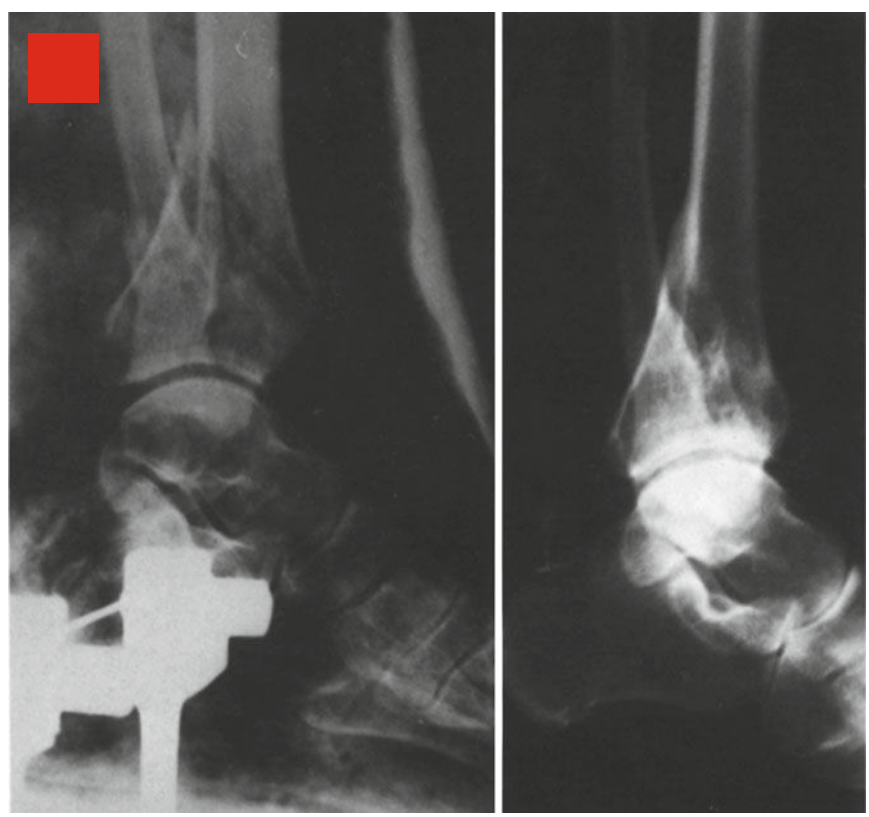
Osteoporotischer Knochen. Osteoporotische Frakturen werden nach den in ▶ Kap. 13.5 dargestellten Prinzipien versorgt (◘ Abb. 13.14).

13.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Infektraten von >30%, wie sie in Zeiten der sofortigen operativen Behandlung zu finden waren [15], sind bei zweizeitigem Vorgehen in etwa 5% zu erwarten [16]. Die Arthrodeseraten, insbesondere bei minimalinvasivem Vorgehen bei Gelenkfrakturen, liegen in der Langzeitbetrachtung z. T. >20% [17].

Weitere prognostische Größen sind

- die Fähigkeiten und Erfahrung des Chirurgen,
- die Rekonstruierbarkeit der anatomischen Gelenkflächen sowie
- der Allgemeinzustand und die Compliance des Patienten.



◘ **Abb. 13.14.** 68 Jahre, weiblich, Treppensturz. C-Verletzung nach AO durch axial einwirkende Gewalt. Ausbehandlung mittels Gips bzw. Kalkaneusdrahtextension

Die wichtigsten Maßnahmen zur Vermeidung von Problemen und Komplikationen zeigt die ▶ Übersicht.

Die wichtigsten Maßnahmen zur Prophylaxe von Komplikationen

- Umfassende Einschätzung des initial vorliegenden Traumas
- Sorgfältige Planung und Durchführung des operativen Vorgehens
- Richtige Wahl des Eingriffszeitpunkts
- Frühfunktionelle Nachbehandlung des Patienten

13.9 Begutachtung

In der Regel sind die Ergebnisse abhängig vom Ausmaß der Gelenkbeteiligung. Eine Bewegungseinschränkung von 0/0/30° Dorsalextension/Plantarflexion wird in der Regel mit 10 v. H. eingeschätzt.

Achsabweichungen in der Frontalebene sowie in der Rotation beeinträchtigen das funktionelle Ergebnis stärker als Abweichungen in der Sagittalebene. Hier ist ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von bis zu 20 möglich. Ebenso ist ein GdB/MdE von bis zu 20 bei einer Pseudarthrosenentwicklung und bei Beinverkürzungen angemessen. Immer zu bedenken ist, dass eine Einsteifung des OSG (sei es rein funktionell oder chirurgisch) ebenfalls mit 20 v. H. eingestuft wird.

In der privaten Unfallversicherung beträgt der Richtwert 1/10 Fußwert, bei einem Bewegungsausmaß von 10/0/40° Dorsalextension/Plantarflexion des OSG, bei 0/0/30° kann von 2/10 Fußwert ausgegangen werden.

Literatur

1. C.M. Court-Brown, B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: A review. Injury 37: 691–697 (2006)
2. C.M. Court-Brown, S. Rimmer, U. Prakash, M.M. McQueen, The epidemiology of open long bone fractures. Injury 29: 529–534 (1998)
3. T. Ruedi, Fractures of the lower end of the tibia into the ankle joint: results 9 years after open reduction and internal fixation. Injury 5: 130–134 (1973)
4. R.B. Gustilo, J.T. Anderson, Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. J Bone Joint Surg 58-A: 453–458 (1976)
5. H. Tscherne, H.J. Oestern, Die Klassifikation des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. Unfallheilkunde 85: 111–115 (1982)
6. R.J. Kendig, Operative treatment of fractures of the tibial plafond. A randomized, prospective study. J Bone Joint Surg 79-A: 1893–1894 (1997)
7. P. Koulouvaris, K. Stafylas, G. Mitsionis, M. Vekris, A. Mavrodontidis, T. Xenakis, Long-term results of various therapy concepts in severe pilon fractures. Arch Orthop Trauma Surg 127: 313–320 (2007)
8. L.E. Marin, D.K. Wukich, T. Zgonis, The surgical management of high- and low-energy tibial plafond fractures: A combination of internal and external fixation devices. Clin Podiatr Med Surg 23: 423–444 (2006), vii
9. F. Leung, H.Y. Kwok, T.S. Pun, S.P. Chow, Limited open reduction and Ilizarov external fixation in the treatment of distal tibial fractures. Injury 35: 278–283 (2004)
10. M. Manca, S. Marchetti, G. Restuccia, A. Faldini, C. Faldini, S. Giannini, Combined percutaneous internal and external fixation of type-C tibial plafond fractures. A review of twenty-two cases. J Bone Joint Surg 84-A, Suppl 2: 109–115 (2002)
11. A.K. Aggarwal, O.N. Nagi, Hybrid external fixation in periarticular tibial fractures. Good final outcome in 56 patients. Acta Orthop Belg 72: 434–440 (2006)
12. J.B. Carr, Use of an articulated external fixator for fractures of the tibial plafond. J Bone Joint Surg 78-A: 1287 (1996)
13. C.M. Court-Brown, C. Walker, A. Garg, M.M. McQueen, Half-ring external fixation in the management of tibial plafond fractures. J Orthop Trauma 13: 200–206 (1999)
14. A.N. Pollak, M.L. McCarthy, R.S. Bess, J. Agel, M.F. Swiontkowski, Outcomes after treatment of high-energy tibial plafond fractures. J Bone Joint Surg 85-A: 1893–1900 (2003)
15. O. Kilian, M.S. Bundner, U. Horas, C. Heiss, R. Schnettler, Langzeitergebnisse nach operativer Versorgung von Pilon-tibial-Frakturen – Eine retrospektive Untersuchung. Chirurg 73: 65–72 (2002)
16. C. Queitsch, B. Kienast, S. Fuchs, K. Seide, Fracture of the distal lower limb: two-stage surgical treatment with external fixator and locked-screw plate. Zentralbl Chir 131: 194–199 (2006)
17. M. Blauth, L. Bastian, C. Krettek, C. Knop, S. Evans, Surgical options for the treatment of severe tibial pilon fractures: a study of three techniques. J Orthop Trauma 15: 153–160 (2001)

14 Oberes Sprunggelenk

S. Hillbricht, A.P. Schulz, M.M. Kaiser

Definition

Es handelt sich hierbei um Frakturen des Innenknöchels, der distalen Fibula (Sonderform bis in Höhe direkt unterhalb des Fibulaköpfchens möglich), der hinteren oder vorderen Tibiakante (knöcherne Syndesmosenausrisse) sowie häufig Begleitverletzungen am Bandapparat des Sprunggelenks.

Die Inzidenz von 1–1,5 pro 1000 Einwohner ist hoch, wobei Männer und Frauen gleich häufig betroffen sind, allerdings mit einem unterschiedlichen Altersgipfel (Männer <45 Jahre, Frauen >45 Jahre) [1].

In der AO-Klassifikation der Frakturen nehmen die Brüche des oberen Sprunggelenks (OSG) als *»4. Segment« des Unterschenkels* eine Sonderstellung ein, da sie sich im Frakturmechanismus von der distalen Unterschenkelfraktur, aber auch von der isolierten Fibulafraktur (direkter Anprall) unterscheiden. Die Malleolarfrakturen sind wie oben erwähnt Hybridläsionen, die durch eine Distorsion des Sprunggelenks entstehen und im Gegensatz zur Fibulafraktur in den meisten Fällen operiert werden müssen.

14.1 Mechanismus

Sie sind meistens Folge *indirekter Torsions-*, Scher- und axial einwirkender *Kräfte*, seltener Folge eines direkten Traumas, was aber auch zur Distorsion führt. Hier ist die isolierte Fibulafraktur, verursacht durch einen direkten Anprall, als Differenzialdiagnose abzugrenzen, bei der, wenn keine weiteren Verletzungen vorliegen, eine konservative Therapie möglich ist.

Klassischer Mechanismus bei der OSG-Fraktur ist die *Distorsion* (Supinations- oder Pronationstrauma). Es handelt es sich um Gelenkfrakturen, daher ist eine zeitnahe anatomische Rekonstruktion des Gelenks mit frühfunktioneller Nachbehandlung das Therapieziel.

Wichtig

Bei grob dislozierten Malleolarfrakturen oder Luxationsfrakturen muss daher schon *immer am Unfallort eine Reposition* erfolgen, um eine weitere Kompromittierung der Weichteile, Nerven und Gefäße zu vermeiden. Erfolgt die Reposition erst später, z. B. nach dem Röntgen in der Klinik, besteht die Gefahr des sog. *inneren Dekubitus* mit häufig auftretenden Wundheilungsstörungen.

Zur Abgrenzung der isolierten Fibulafraktur ist der Mechanismus entscheidend. Es handelt sich um einen direkten Anprall. Es kann fast immer konservativ behandelt werden. Eine elastische Wicklung ist oft ausreichend.

14.2 Klinik

Es finden sich *indirekte Frakturzeichen* wie Schwellung, Hämatom, Schmerzen, z. T. auch Kontusionsmarken oder Schürfverletzungen. *Direkte Frakturzeichen* wie Krepitation, Fehlstellung bei Luxationsfrakturen und freiliegende Knochenfragmente bei offenen Brüchen sind ebenfalls zu beobachten.

Die klinische Untersuchung umfasst neben der Untersuchung der Sprunggelenkregion ebenso den *proximalen Unterschenkel*, um eine evtl. vorliegende proximale Fibulafraktur (*Maisonneuve*) auszuschließen. Klinisch finden sich hier wenige Symptome, oft besteht nur ein Ziehen oder ein Druckschmerz in Frakturhöhe.

Bei *isolierter Ruptur der distalen Syndesmose* ist das klinische Bild wenig beeindruckend. Schmerzen werden in den vorderen äußeren Gelenkspalt projiziert und durch Dorsalextension verstärkt. Die lokale Schwellung ist meist gering ausgeprägt. Zum klinischen Nachweis der isolierten Syndesmosenruptur kann der *Außenrotationstest nach Frick* hilfreich sein. Bei fixiertem Fuß in 0°-Stellung nach der Neutral-Null-Methode wird durch den Untersucher Außenrotationsstress ausgeübt. Ebenfalls angewendet werden kann der *tibiofibulare Kompressionstest*. Bei Druck der Fibula gegen die Tibia in der *unteren Unterschenkelhälfte* kommt es zu Schmerzen. Bei *Schmerzauslösung* über dem anterioren oder posterioren Anteil der Syndesmose oder im Verlauf der Membrana interossea gelten beide Tests als positiv [2].

Klinische Zeichen für eine isolierte distale Syndesmosensprengung sind der positive Frick-Test (Außenrotationsstress bei fixiertem Unterschenkel in Neutralstellung) und der distale tibiofibulare Kompressionstest. Beide sind positiv bei Schmerzauslösung über der Syndesmose oder der Membrana interossea.

Meist ist eine ausführliche Untersuchung der Stabilität des Sprunggelenks schmerzbedingt nur eingeschränkt durchführbar. Ausgeprägte Hämatome im Bereich der Knöchelregion können aber ein Hinweis auf *Begleitverletzungen* der Gelenkkapsel sowie der ligamentären Strukturen sein. Umgekehrt ist bei isolierter Deltabandverletzung ohne Frakturnachweis im Bereich des OSG eine Maisonneuve-Fraktur auszuschließen. Man sollte sich an dieser Stelle immer wieder die anatomischen Strukturen ins Gedächtnis rufen, deren Verletzungsmuster Aufschluss über den Hergang des Traumas liefern kann. Lauge-Hansen untersuchte diesen Hergang an anatomischen Präparaten und kam so zu einer Einteilung der Sprunggelenkfrakturen nach ihrem jeweiligen Verletzungsablauf [3, 4].

14.3 Diagnostisches Vorgehen

Die Diagnostik umfasst neben der *Anamnese (Unfallmechanismus)* und der klinischen Untersuchung eine *Röntgendiagnostik* in 2 exakt eingestellten Ebenen. Nativradiologisch wird das Sprunggelenk in mindestens 2 Ebenen dargestellt: a.-p. und *seitlich* sowie *»true a.-p.« in 20° Innenrotation* (»mortise view«). Dabei wird die Gelenkachse orthograd in den Strahlengang gebracht. Diese Ebene ist unverzichtbar, da nur so eine sichere Beurteilung der Verletzung, aber auch postoperativ der Rekonstruktion möglich ist. Die klassische a.-p.-Ebene ist in der Regel verzichtbar.

Zu beurteilen ist neben der Knochenstruktur der Gelenkspalt, der zwischen Talus und distaler Tibia in etwa gleich weit sein sollte (nicht >4 mm) wie der Abstand zwischen Innenknöchel und medialer Talusfläche bzw. zwischen Talus und Fibula. Der Winkel zwischen Talus und distaler Tibia (*talokruraler Winkel* ca. 83±4°) ist ebenfalls von Bedeutung (Abb. 14.1). Der »espace claire« oder die *»ligne claire«* nach Chaput markiert den Abstand zwischen Tuberculum posterius der Incisura und dem medialen Fibularand. Die Distanz wird 1 cm oberhalb des Gelenkplateaus gemessen. Die Werte sollten <6 mm liegen; im Zweifel ist die unverletzte Gegenseite darzustellen und eine Stressaufnahme (Rückfußabduktion bei fixierter Tibia) der auffälligen Seite durchzuführen. Bei *Syndesmosenruptur* ist dieser Abstand vergrößert [2]. Die Kriterien dienen als Hinweis für eine Gelenkinstabilität oder Luxation.

Eine CT-Untersuchung ist in der Regel abdingbar, allerdings bei Unsicherheit in Bezug auf eine Syndesmoseninsuffizienz die aussagekräftigste Untersuchung [2]. Zum Nachweis der korrekten Länge und Rotation nach Reposition dienen die *»Weber-Nase«* (nach medial gerichtete Knochenspitze der Fibula, soll in Höhe des tibialen subchondralen Knochens stehen) und der *»Weber-Kreis«* oder auch Weber-Ball (Fortsetzung der Kontur der Fibulaspitze am Proc. lateralis auf einem Kreis; Abb. 14.1 [5]).

Zum Ausschluss einer Maisonneuve-Verletzung muss bei klinischem Verdacht (lokale Symptome oder scheinbar isolierte Deltabandverletzung nach dem Röntgen des Sprunggelenks) eine Aufnahme des Kniegelenks in 2 Ebenen erfolgen. Die Aufnahmen müssen sich überlappen, d. h. der gesamte Unterschenkel muss abgebildet sein.

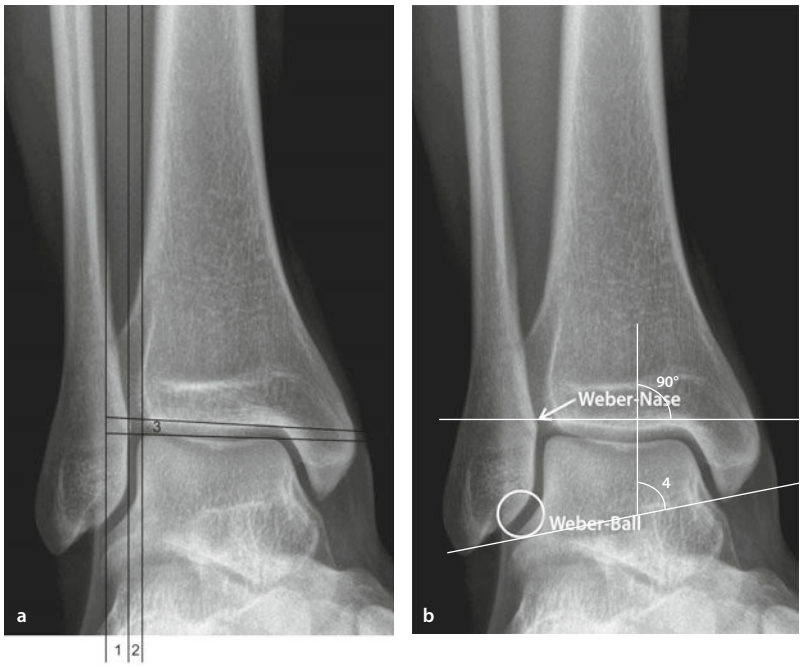


Abb. 14.1. Oberes Sprunggelenk
a Tibiofibulare Überlappung (normal <1 cm; *1*), »ligne claire« *(2)*, Gelenkspaltsymmetrie *(3)*
b Talocruraler Winkel *(4)*, »Weber-Nase« und »Weber-Ball« beschreiben in der »true a.-p.« Röntgenaufnahme das korrekt stehende Sprunggelenk. Der talocrurale Winkel *(4)* wird gebildet aus der Senkrechten zur tibialen Gelenkfläche und einer Linie an beiden distalen Malleoli. Der obere mediale Winkel wird gemessen. Er beträgt 83±4°. Die Abweichung zur unverletzten Gegenseite beträgt normalerweise weniger als 2°

14.4 Klassifikationen

14.4.1 AO-Klassifikation

Aufgrund der Komplexität der Malleolarfrakturen und als Abgrenzung von Stauchungsbrüchen (axiale, große Gewalt, Pilon-Frakturen) des distalen Unterschenkels gibt es eine eigene Klassifikation mit einem regionalen Schlüssel. Diese basiert auf Arbeiten von Danis [6] und Weber [7]. Daher werden Malleolarfrakturen in der AO-Klassifikation, wie bereits eingangs erwähnt, mit der Ziffer 44 beschrieben.

Im klinischen Sprachgebrauch wird von *uni-*, *bi-* und *trimalleolären* (beide Malleoli mit Volkmann-Dreieck) *Brüchen* gesprochen. Das hintere Kantenfragment im Sinne eines knöchernen Ausrisses der tibialen Syndesmose wird im Deutschen eigentlich inkorrekt als »hinteres Volkmann-Dreieck« beschrieben, da dieser ursprünglich ein anterolaterales Fragment beschrieben hatte [4].

Die AO-Klassifikation basiert auf der Weber-Einteilung, wobei sie modifiziert nicht nur die laterale Verletzungskomponente einbezieht, sondern auch das mediale Verletzungsmuster darstellt (Abb. 14.2). Demzufolge sind A-Frakturen unterhalb, B-Fraktur in Höhe und C-Brüche oberhalb der Syndesmose lokalisiert, wie bei Danis und Weber. Hinzu tritt eine Beurteilung der Stabilität der Brüche. Bei A1- und B1-Frakturen liegen relativ stabile Situationen vor, da nur der Außenknöchel betroffen ist. Daher können undislozierte Brüche auch konservativ behandelt werden. Ab den A2- oder B2-Brüchen tritt eine mediale Verletzung hinzu, die Situation ist damit immer instabil.

Frakturen Typ A. Diese sind in aller Regel wenig dislozierte und gut zu reponieren. Bei undislozierter Stellung wird konservativ mit Gipsanlage behandelt. Deutlich dislozierte, instabile Brüche werden operiert. Hier bieten sich Zugschrauben oder eine Zuggurtungsosteosynthese an. Bei Beteiligung des Innenknöchels ist dieser über entsprechende Verfahren wie z. B. Zugschrauben- oder Zuggurtungsosteosynthesen mitzuversorgen.

Frakturen Typ B. Die B-Frakturen des Außenknöchels können konservativ nur bei Stabilität (B1) und undislozierter Stellung (Überprüfung unter Stress mit dem Bildwandler) oder mit 1/3-Rohr- oder Rekonstruktions- bzw. LCDC-Platten behandelt werden. Der Innenknöchel wird wie beschrieben versorgt. Ein Volkmann-Dreieck kann perkutan von ventral verschraubt werden.

Frakturen Typ C. Die Versorgungsprinzipien gleichen denen der B-Frakturen. Allerdings ist eine zusätzliche tricorticale Stellschraube zur Sicherung der Syndesmose möglichst durch die Platte aber auch separat für 6 Wochen einzubringen. Die Syndesmosenweite wird mittels Bildwandlerkontrolle im Vergleich zur unverletzten Gegenseite eingestellt.

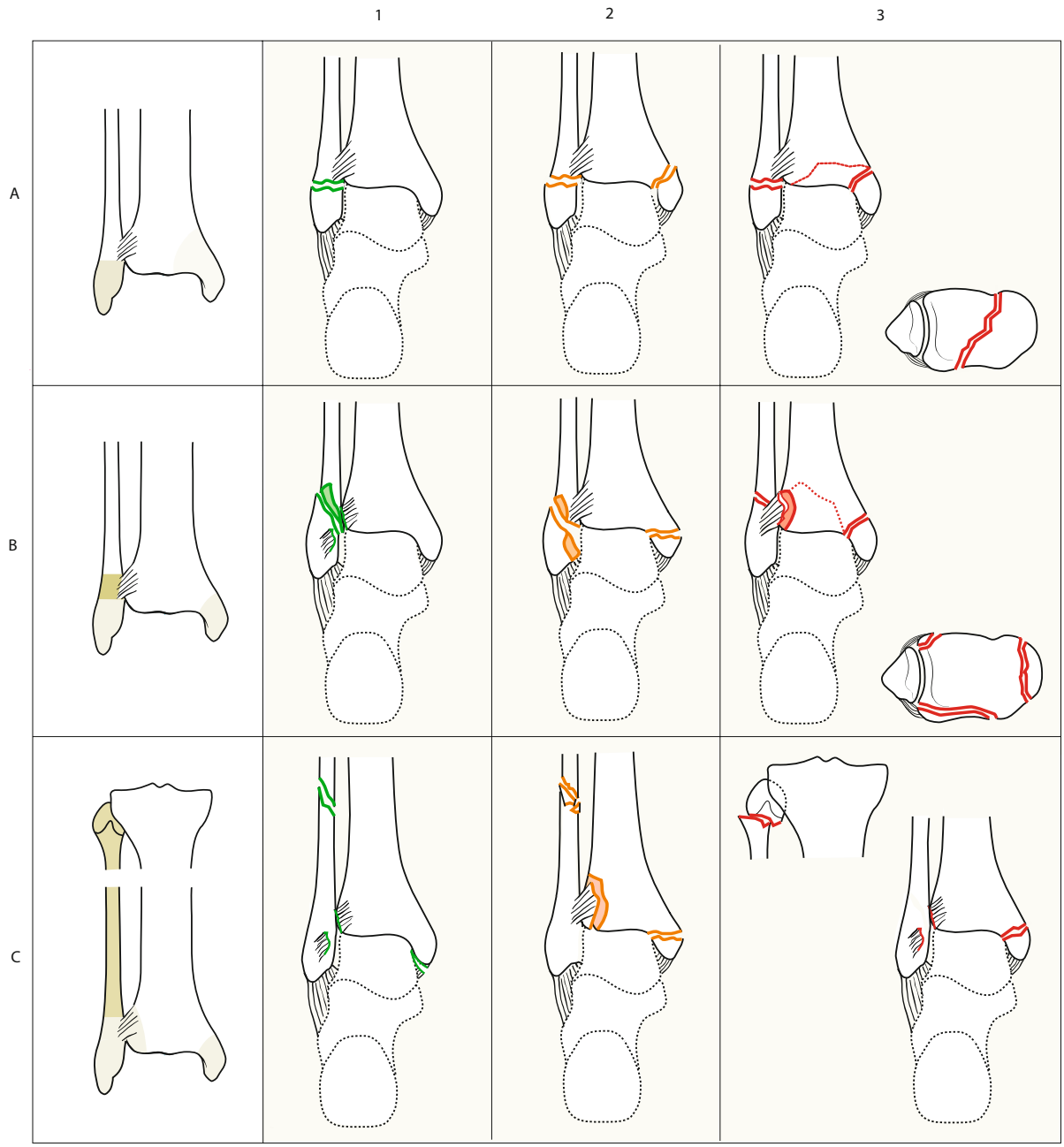


Abb. 14.2. AO-Klassifikation der Region 44: Oberes Sprunggelenk
a Frakturen mit intakter Syndesmose (je 3 Untergruppen A1.1–A3.3)
A1: Isolierte infrasyndesmale Fraktur oder laterale Bandläsion (entsprechen dem Supinations-Adduktions-Typ I der Lauge-Hansen-Klassifikation)
A2: Infrasyndesmale laterale Bandläsion oder laterale Fraktur und Bruch des medialen Malleolus
A3: Infrasyndesmale laterale Bandläsion oder mit aufsteigendem Schweregrad auch Avulsionsfraktur des lateralen Malleolus und posteromediale Fraktur der Tibia
b Frakturen, Syndesmose fakultativ intakt (je 3 Untergruppen B1.1–B3.3)
B1: Isolierte transsyndesmale Fibulafraktur, B1.2-B1.3: mehr-/multifragmentär (entsprechen dem Supinations-Eversions-Typ I–II der Lauge-Hansen-Klassifikation)
B2: Transsyndesmale Fibulafraktur mit medialer Läsion des Seitenbands bis hin zur Fraktur des Malleolus medialis
B3: Transsyndesmale Fibulafraktur mit medialer Läsion (s. B2) und Beteiligung der posterolateralen Kante (Volkmann-Dreieck)
c Frakturen, Syndesmose immer rupturiert (je 3 Untergruppen C1.1–C3.3)
C1: Laterale suprasyndesmale Fraktur mit medialer Läsion (s. B2) bis hin zur Beteiligung des Volkmann-Dreiecks und Fraktur des Malleolus medialis
C2 (s. C1): Fraktur, hier multifragmentäre Fraktur der Fibula
C3: Laterale suprasyndesmale Läsion im Sinne einer proximalen Fibulafraktur (Maisonneuve) und mit zunehmender Schwere auch Beteiligung des medialen Malleolus und Verkürzung

14.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Danis/Weber

Diese Einteilung aus den 1960er-Jahren richtet sich nach der Höhe der Verletzung der Fibula im Vergleich zur Syndesmose (Abb. 14.3). Die Arbeiten von Danis und später Weber lieferten die Grundlage für die AO-Klassifikation. Begleitverletzungen des Innenbands (oberflächliche und tiefe Schicht) sowie anderer ligamentärer Strukturen ergeben sich hier ebenfalls aus dem Mechanismus.

Lauge-Hansen

Diese Klassifikation [3, 4] hat nach unserer Auffassung heute überwiegend historische Bedeutung, obwohl sie von einigen Autoren noch vertreten wird. Sie war zu Zeiten der konservativen Behandlung weit verbreitet, da sie auf der Richtung der einwirkenden Kraft basiert und damit den Mechanismus zugrunde legt. Aufgrund der geänderten Behandlungsverfahren hat sie sich nicht allgemein durchsetzen können. Sie ist bei der konservativen Behandlung hilfreich, da bei der Reposition versucht wird, den Mechanismus in umgekehrter Form nachzuahmen (Abb. 14.4).

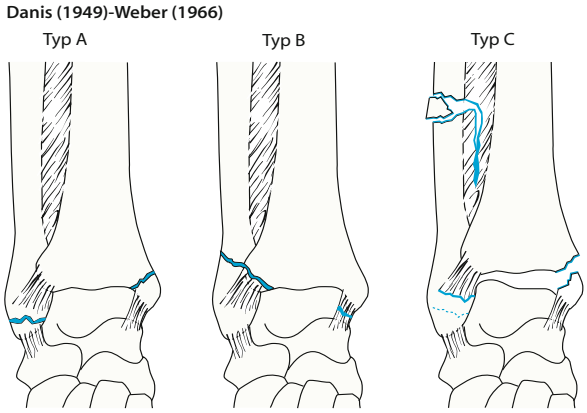


Abb. 14.3. Einteilung der Sprunggelenkfrakturen nach B.G. Weber [7]
Typ A: Fraktur der Fibula distal der distalen Syndesmose mit oder ohne Fraktur des Innenknöchels. Keine Verletzung der Syndesmose oder des Lig. deltoideum
Typ B: Fraktur der Fibula auf Höhe der Syndesmose mit oder ohne Fraktur des Innenknöchels. Mögliche Verletzung der Syndesmose
Typ C: Fraktur der Fibula oberhalb der Syndesmose entweder mit Fraktur des Innenknöchels oder Ruptur des Lig. deltoideum. Die Syndesmose ist immer verletzt

14.5 Therapeutisches Vorgehen

Wichtig
Alle dislozierten Malleolarfrakturen gelten als instabil und sollten einer operativen Therapie zugeführt werden.

Ziel ist die Wiederherstellung der Fibulalänge, -torsion und -achse; außerdem die Retention über eine Zugschraube und Neutralisationsplatte oder dorsale Abstützplatte. *Offene* Gelenkfrakturen bedürfen ebenfalls einer operativen Therapie, allerdings ist hier bei einem zweit- oder gar drittgradigen Weichteilschaden ein mehrzeitiges Vorgehen mit primärem Wund-Débridement und temporärer Fixation über einen Fixateur externe zu empfehlen.

Bei einer *Luxationsfraktur* des oberen Sprunggelenks sollte eine temporäre Ruhigstellung in einer Weißgipsschiene nur dann nach exakter Reposition erfolgen, wenn keine primäre Operation möglich ist. Ein Nachweis der korrekten Stellung im Gips ist mittels Röntgenaufnahmen in 2 exakt eingestellten Ebenen zu erbringen. Immer ist jedoch die Ruhigstellung im Fixateur externe zu empfehlen, wenn die Reposition von Luxationsbrüchen nicht exakt gelingt oder bereits eine erhebliche Schwellung vorliegt. Multiple Repositionsversuche sind in solchen Fällen zu unterlassen. Eine Operation sollte innerhalb der ersten 6 h nach Trauma angestrebt werden, in jedem Fall aber vor dem Auftreten einer stärkeren Schwellung oder von Spannungsblasen. Eine initial direkt nach dem Trauma bestehende Schwellung ist oftmals bedingt durch ein Fraktur- und Weichteilhämatom, das durch den operativen Eingriff entlastet werden kann und dann einen spannungsfreien Wundverschluss erlaubt.

Einen Überblick über die Therapieverfahren gibt Abb. 14.5.

Als Faustregel gilt: Sprunggelenkfrakturen werden aufgrund der schnellen und massiven Weichteilschwellung nicht zwischen 6 h und 6 Tagen nach dem Trauma operiert.

14.5.1 Konservative Therapie

Bei undislozierten Frakturen des Außenknöchels unterhalb der Syndesmose (Typ A1) kann ein konservatives Vorgehen aufgrund der meist erhaltenen Stabilität erwogen werden. Isolierte, undisloziert stehende Außenknöchelfrakturen vom Typ B1 ohne Beteiligung medialer Strukturen können ebenfalls einer konservativen Therapie zugeführt werden. Hier erfolgt die Ruhigstellung in einem gespaltenen, gepolsterten Unterschenkelliegegips über ca. 4 Wochen. Im Verlauf kann nach Röntgenkontrollaufnahmen ein zirkulärer Unterschenkel-Cast angelegt werden.

Im Zweifel über die Stabilität einer nicht dislozierten B-Fraktur empfiehlt sich die *Stabilitätsprüfung unter Bildwandlerkontrolle*. Bei Kindern und Jugendlichen ist eine Dehiszenz bis 2 mm noch tolerabel und somit für eine konservative Therapie geeignet. Isolierte Innen-

Lauge-Hansen (1948)

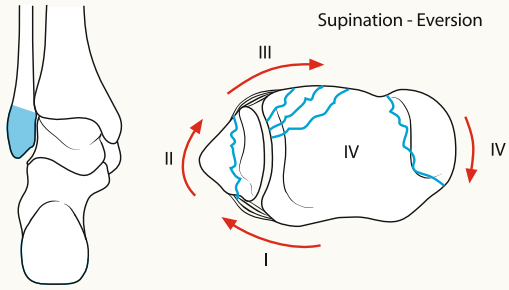
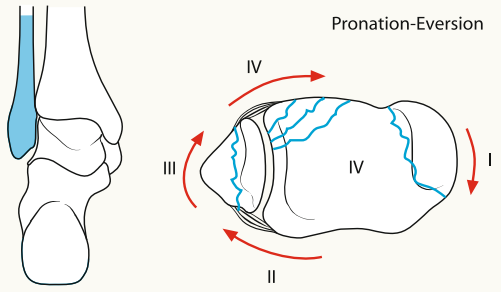
	Supination - Eversion	Typ I	vordere Syndesmose
		Typ II	Drehbruch, Fibula in Gelenknähe, meist mit vorderer Syndesmose kombiniert
		Typ III	wie I und II mit hinterer Syndesmose
		Typ IV	wie III mit Deltaband oder Innenknöchel
	Supination-Adduktion	Typ I	Ligamentum fibulocalcaneare oder Außenknöchelspitze
		Typ II	wie I mit vertikaler Innenknöchel-Fraktur
	Pronation-Eversion	Typ I	Deltaband oder Querbruch des Innenknöchels
		Typ II	wie I mit vorderer Syndesmose
		Typ III	wie II mit hoher Fibulafraktur
		Typ IV	wie III mit hinterer Syndesmose oder Volkmann-Dreieck
	Pronation-Abduktion	Typ I	Deltaband oder Innenknöchel
		Typ II	wie I mit Syndesmose
		Typ III	wie II mit Schrägbruch des Aussenknöchels kurz oberhalb der Syndesmose

Abb. 14.4. Lauge-Hansen-Klassifikation der Sprunggelenkfrakturen. Die komplexe Lauge-Hansen-Klassifikation beruht auf der Richtung der einwirkenden Kraft. In Zeiten der vornehmlich konservativen Frakturversorgung sollte die Reposition erleichtert werden

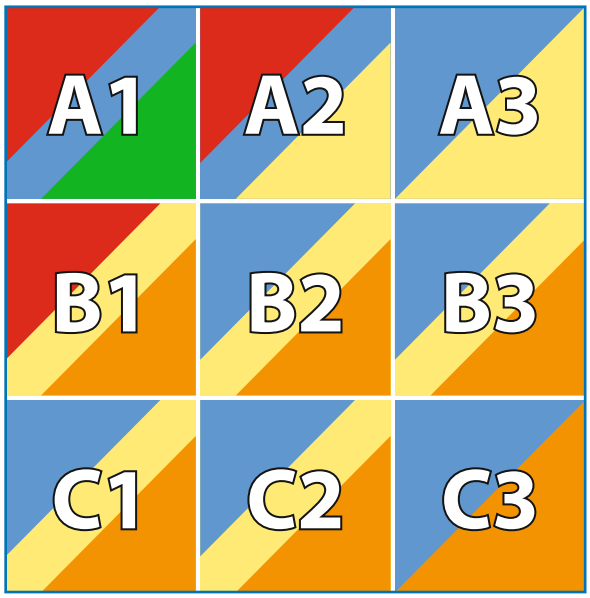


Abb. 14.5. Therapieoptionen bei OSG-Frakturen (»4. Segment des Unterschenkels«, 44). Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Zugschrauben (auch Stellschraube bei Maisonneuve-Fraktur)
- Plattenosteosynthese
- Zuggurtungsosteosynthese
- Fixateur externe

bandverletzungen oder relevante Verletzungen, bei denen nach erfolgter Reposition und Versorgung von Begleitverletzungen eine Valgusfehlstellung des Talus persistiert, sollten einer konservativen Therapie im Gipsverband zugeführt werden. Die Compliance des Patienten bezüglich einer konsequenten Entlastung oder Teilbelastung an Unterarmgehstützen, Thromboseprophylaxe und lokal abschwellenden Maßnahmen muss gegeben sein, um den Therapieerfolg nicht zu gefährden (Abb. 14.6).

14.5.2 Zuggurtungsosteosynthese

Die Osteosynthese des Innenknöchels erfolgt im Normalfall (Ausnahme ▶ Kap. 14.5.4 »Plattenosteosynthese«) über die Anlage einer Zuggurtungsosteosynthese oder auch über eine direkte perkutane Verschraubung der Fragmente. Für den Zugang zur offenen Reposition des Innenknöchels wird ein hockeyschlägerförmiger Schnitt über der Innenknöchelregion gesetzt. Dabei ist sowohl auf die V. saphena ventral wie auf die Sehne des M. tibialis posterior zu achten.

Der Innenknöchel wird reponiert, mittels Repositionszangen fixiert und in der Folge 2 Kirschner-Drähte parallel eingebracht und in der medialen Tibia corticalis verankert. Die Drähte müssen die Corticalis sicher perfo-



Abb. 14.6. 55-jährige Patientin mit Umknicktrauma und undislozierter Weber-A-Fraktur. Entscheidung zum konservativen Therapieverfahren mittels Orthese. In der Nachkontrolle (1 Woche; **c, d**) weiterhin undisloziert stehende Fraktur

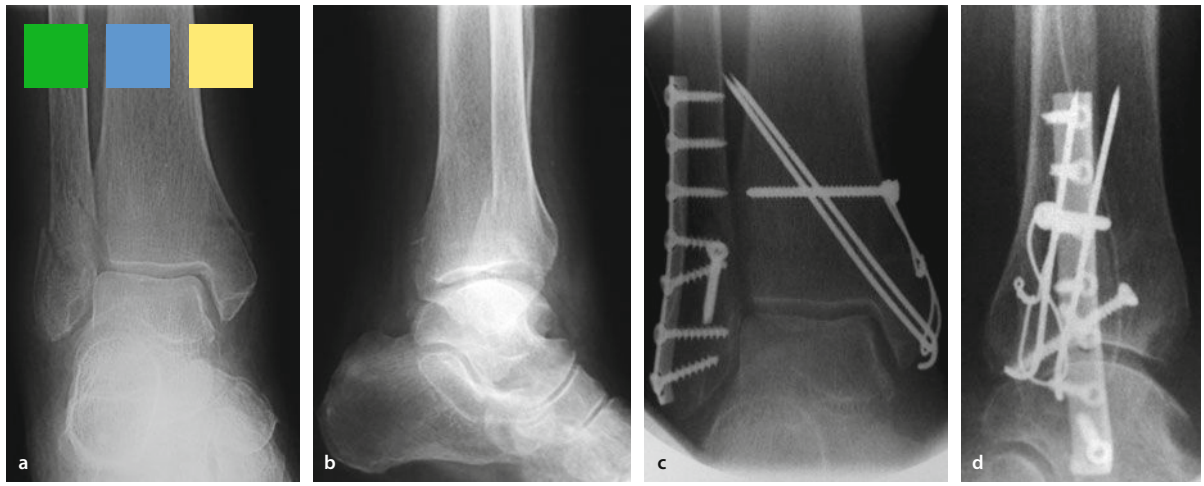


Abb. 14.7. 78 Jahre, männlich. Indirektes Trauma als Fußgänger. Distorsion im Sinne einer Supination mit bimalleolärer Fraktur (**a, b**); Typ B2 nach AO. Operative Versorgung mit Drittelrohrplatte und interfragmentärer Zugschraube (Fibula, Weber-B-Fraktur) sowie Zuggurtungsosteosynthese am Innenknöchel am 5. Tag nach Trauma (**c, d**) nach Konsolidierung der Weichteile. Allseitig symmetrisch erscheinender Gelenkspalt, »Weber-Nase« in Höhe des subchondralen Knochens der Tibia, korrekte Reposition

rieren. Nun wird eine Schraube mit oder ohne Unterlegscheibe in die Tibia eingebracht und ein Cerclagen-Draht in der üblichen 8er-Schleife um Schraube und K-Drähte im Sinne einer Zuggurtung gelegt. Das Schloss wird möglichst in einem von Weichteilen gut bedeckten Bereich angelegt und mit dem Stößel versenkt. Das Ende der Drähte wird umgebogen und ebenfalls versenkt (Abb. 14.7).

Diese Technik ist auch bei dislozierten Fibulafrakturen vom Typ AO 44-A2 anwendbar.

14.5.3 Zugschraubenosteosynthese

Bei Erwachsenen ist die Anwendung einer reinen Schraubenosteosynthese an der Fibula nur in Ausnahmefällen zu empfehlen. Eine gute Indikation ist die *Maisonneuve-Fraktur*, also die C3-Fraktur nach der AO-Klassifikation [5], wobei die Schrauben nicht im Sinne einer Osteosynthese in die Fraktur eingebracht werden (Abb. 14.8). Vielmehr gilt es, die Stellung der gesprengten Malleolengabel wiederherzustellen. Besonders bieten sich hier kanülierte Schrauben an.

Über die exakte Position der Verschraubung, die Anzahl durchbohrter Cortices und die Anzahl der zu verwendenden Schrauben herrscht keine Einigkeit [2, 8–12]. Wir empfehlen, mindestens 2 Schrauben zu setzen, um die Redislokationsgefahr zu verringern. Die Einstellung der Syndesmose in der a.-p.-Ebene ist bereits besprochen worden (▶ Kap. 14.3). Hier sollte soviel Kompression aufgebracht werden, dass die Weite des Syndesmosenspalts der unverletzten Gegenseite entspricht.

In der seitlichen Ebene ist die Einstellung mitunter schwierig zu beurteilen, sodass sich intraoperativ der Einsatz eines 3-D-Bildwandlers oder postoperativ einer CT-Kontrolle empfiehlt. Hier kann mit dem Scan nach Platzierung der Führungsdrähte für die kanülierten Schrauben exakt überprüft werden, ob die Fibula exakt in die Incisura fibularis eingepasst worden ist. Die Schrauben sollten etwa 2–3 cm oberhalb der Gelenkfläche parallel zu dieser platziert werden.

Wichtig

Eine Entfernung nach 6–8 Wochen ist zu empfehlen, um nach Syndesmosenheilung die Beweglichkeit der Malleolengabel wiederherzustellen. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Funktion des Sprunggelenks, da die distale Syndesmose den entscheidenden dynamischen Stabilisator in der Bewegung des OSG darstellt.

Durch den ventral breiteren Anteil der Trochlea tali kommt es während der Dorsalextension zu einer Zunahme der intermalleolären Distanz um etwas mehr als 1 mm. Bei der Fibula wird dabei eine physiologische Rotation nach außen und eine Bewegung nach dorsal beobachtet, wobei der Fuß bei der Dorsalextension um etwa 4° nach außen rotiert [13]. Somit ist die Führung dieser Bewegung entscheidend an eine *intakte Syndesmosenfunktion* gekoppelt und muss physiologisch wiederhergestellt werden. Wird die Funktion der Syndesmose nicht exakt rekonstruiert, resultiert eine pathologische Außenrotation des Talus bei der Dorsalextension von etwa 10° und eine damit verbundene Valgisation. Beides führt unbehandelt unweigerlich zur Arthrose.

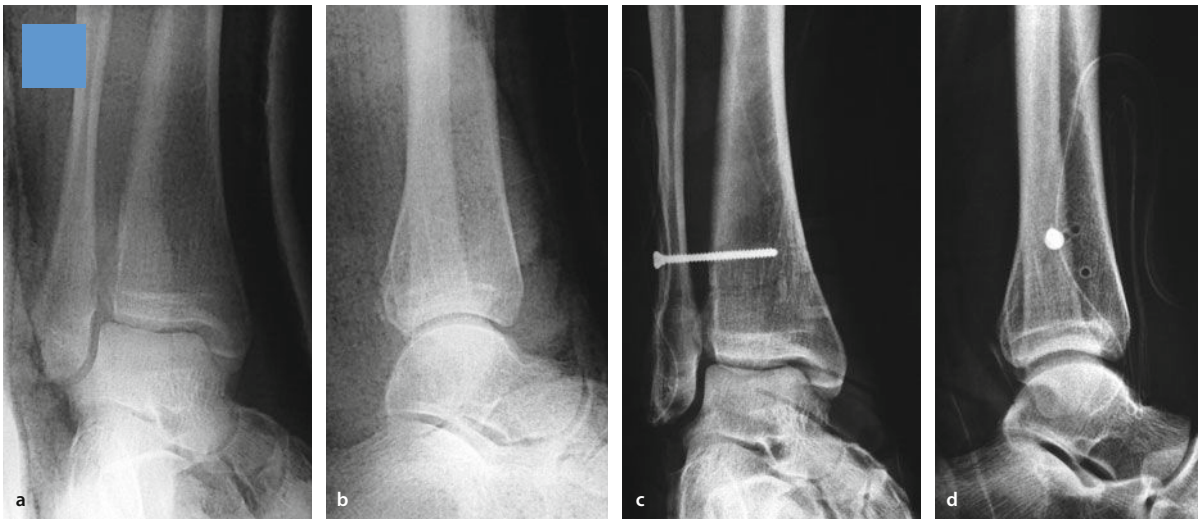


Abb. 14.8. 53 Jahre, männlich. Supinationstrauma. Isolierte Sprengung der vorderen Syndesmose mit deutlich erweitertem Spalt (»ligne claire«; **a, b**). Versorgung des Patienten am Unfalltag bei guter Weichteilsituation mit nur einer Stellschraube (**c, d**); »true a.-p.« Ebene postoperativ nicht exakt eingestellt, daher unsymmetrischer Gelenkspalt, Syndesmose nicht sicher beurteilbar

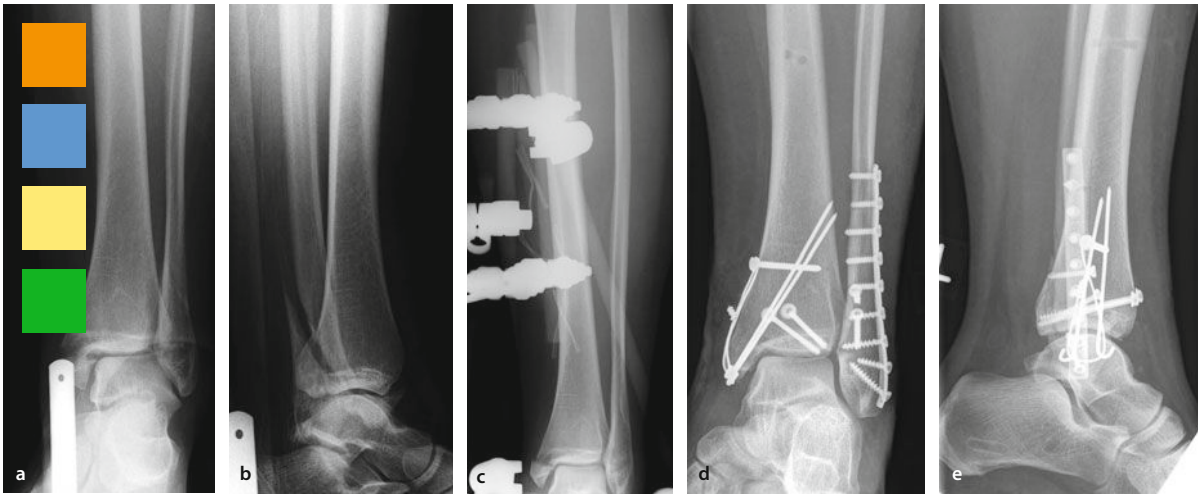


Abb. 14.9. 31-jährige Patientin mit Umknicktrauma infolge Reitunfall mit bimalleolärer OSG-Fraktur sowie Beteiligung des hinteren Volkmann-Dreiecks. Initiale Versorgung am Unfalltag mit Fixateur externe (**c**) und am 6. postoperativen Tag nach Weichteilkonsolidierung mit 9-Loch-1/3-Rohrplatte, 2 interfragmentären Zugschrauben am Außenknöchel, Stahldraht-Cerclage am Innenknöchel und 2 von ventral eingebrachten Zugschrauben mit Unterlegscheibe (**d, e**)

Die Syndesmosenfunktion wird nach Osteosynthese intraoperativ überprüft und bilddokumentiert. 1–2 mm Spiel nach dorsal sind bei ventralem Druck physiologisch. Fehlstellungen der Fibula in der Incisura tibiofibularis von >2 mm in der Sagittalen, aber auch in der Axialen, sind operativ zu korrigieren.

Weitere Indikation für Zugschrauben sind:

- *hinteres Volkmann-Dreieck* (knöcherner Syndesmosenausriss der dorsalen Tibia),
- das ventrale Gegenstück, das *Tubercule-de-Tillaux-Chaput* (knöcherner Syndesmosenausriss der ventralen Tibia) und mitunter auch
- die *Wagstaffe-Fraktur* (knöcherner Syndesmosenausriss der ventralen Fibula).

Das Volkmann-Dreieck wird operiert, wenn etwa 1/4 der Gelenkfläche oder mehr betroffen ist (Abb. 14.9). Die tibialen Verletzungen können in vielen Fällen nach Reposition auch perkutan versorgt werden. Die Wagstaffe-

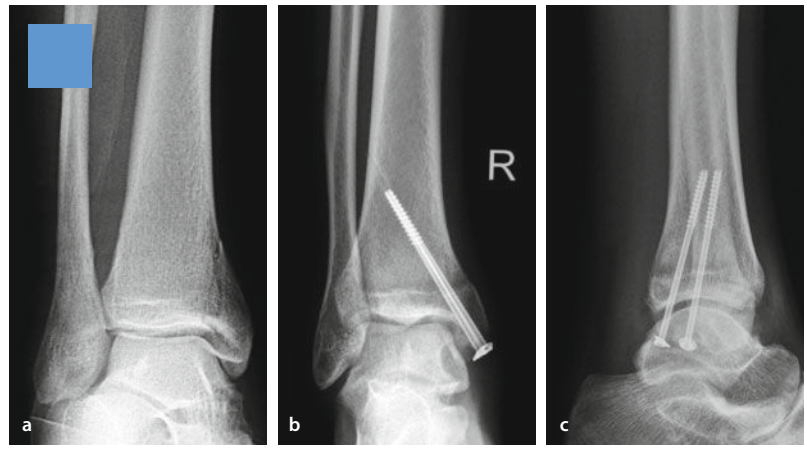


Abb. 14.10. 24 Jahre, männlich. Polytrauma nach Pkw-Unfall. Innenknöchelfraktur u. a. ohne Beteiligung der Fibula, der Ausschluss einer Maisonneuve-Verletzung ist erfolgt (**a**). Versorgung mit 2 kanülierten Zugschrauben mit kurzem Gewinde und Unterlegscheiben (**b, c**). a.-p.-Ebene postoperativ nicht beurteilbar, da nicht exakt eingestellt

Fraktur wird offen – falls nicht anders möglich auch mit transossären Nähten – versorgt. Zeigt sich das hintere Volkmann-Dreieck nach der Versorgung von Innen- und Außenknöchel noch disloziert, kann eine offene Reposition über einen posterolateralen Zugang erforderlich werden.

Bei der Versorgung des *Innenknöchels* ist eine direkte Verschraubung der Fragmente möglich. Bei wenig dislozierten Brüchen ist eine perkutane Verschraubung über Stichinzisionen durchführbar (Abb. 14.10). Der Zugang entspricht demjenigen bei Zuggurtungsosteosynthese, wenn eine geschlossene Reposition nicht gelingt. Das Fragment wird dann offen reponiert, und in der Regel werden dann 2 Schrauben mit oder ohne Unterlegscheibe senkrecht zum Gelenkspalt eingebracht. Auf eine interfragmentäre Kompression ist zu achten (»Schwitzen« aus dem Bruchspalt beim Anziehen der Schrauben). Läuft die Fraktur senkrecht, sind die Zugschauben waagerecht einzubringen.

14.5.4 Plattenosteosynthese

Bei der Plattenosteosynthese kommen die in der ▶ Übersicht genannten Implantate zur Anwendung.

Plattenosteosynthese bei Frakturen des oberen Sprunggelenks

- Drittelrohrplatten in ausreichender Länge; am häufigsten verwendetes Implantat (Abb. 14.11)
- LCDC-Platten bei Trümmerbrüchen
- Rekonstruktionsplatten, wenn eine größere Stabilität erforderlich ist
- winkelstabile Platten bei Osteoporose und Defektzonen (Abb. 14.12)

Bei der Operation sollte immer die Fibula zuerst gestellt und fixiert werden, um eine korrekte Achsenstellung und Länge zu erreichen (*intraoperative Stellungskontrolle* mit dem Bildwandler; ▶ Kap. 14.3 »Diagnostisches Vorgehen«). Zugang ist ein längsgestellter Schnitt über der Fibula. Der von dorsal kommenden N. suralis ist zu schonen. Der laterale Talus wird dargestellt; eingeschlagene Kapsel und Knochenfragmente sind zu entfernen.

Nach erfolgter Reposition der Fibula und temporärer Fixation über Repositionszangen wird (bei lateraler Plattenlage) eine interfragmentäre Zugschraube von ventral eingebracht. Danach wird eine Drittelrohrplatte entweder *lateral* anliegend als *Neutralisationsplatte* oder *dorsal* anliegend als *Antigleitplatte* anmodelliert. Die Größe der Platte sollte sich nach der Länge des Frakturspalts richten.

Wichtig

Bei der Anmodellierung ist darauf zu achten, dass die Platte die Außenknöchelspitze nicht überragt und möglichst mittig auf der Fibula läuft.

Die Platte wird im Knöchelbereich über Spongiosaschrauben und proximal mit Corticalisschrauben fixiert (Abb. 14.11). Bei guter Knochenqualität können ausnahmslos Corticalisschrauben verwendet werden. Die dorsale Plattenlage bietet eine bessere Weichteildeckung und leistet mechanisch den auftretenden Scherkräften Widerstand. Gleichzeitig kann hier eine interfragmentäre Zugschraube durch die Platte eingebracht werden. Immer ist die Syndesmose nach Platzierung der Platte zu überprüfen. Lässt sich durch intraoperativen Hakenzug oder einen Frick-Test kein Aufweiten nachweisen, ist eine Stellschraube verzichtbar [2].

Bei Syndesmosenverletzungen besteht die Möglichkeit, eine Stellschraube über die lateral liegende Platte einzubringen, um so die Malleolengabel wiederherzustellen. Dabei sollte die Syndesmose nicht unter zu starke Kompression gebracht werden. Es empfiehlt sich ein

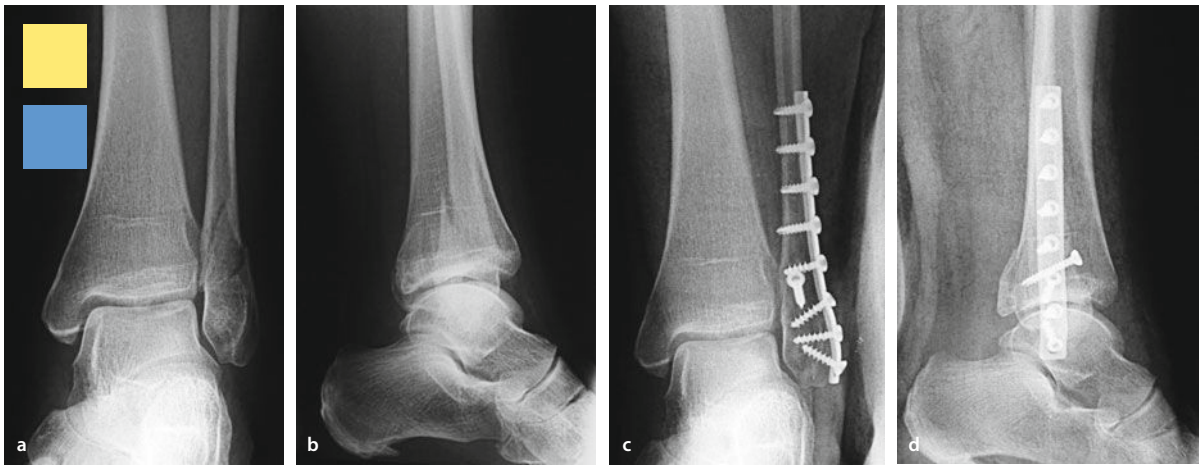


Abb. 14.11. 62 Jahre, weiblich. Supinationstrauma. Fraktur vom Typ AO 44-B1. Operative Versorgung am Unfalltag bei geringer Weichteilschwellung mit interfragmentärer Zugschraube und 8-Loch-Drittelrohrplatte; laterale Lage als Neutralisationsplatte. Es erfolgte eine frühfunktionelle Nachbehandlung mit Vollbelastung im Airwalker. Kleines hinteres Volkmann-Dreieck nicht versorgt

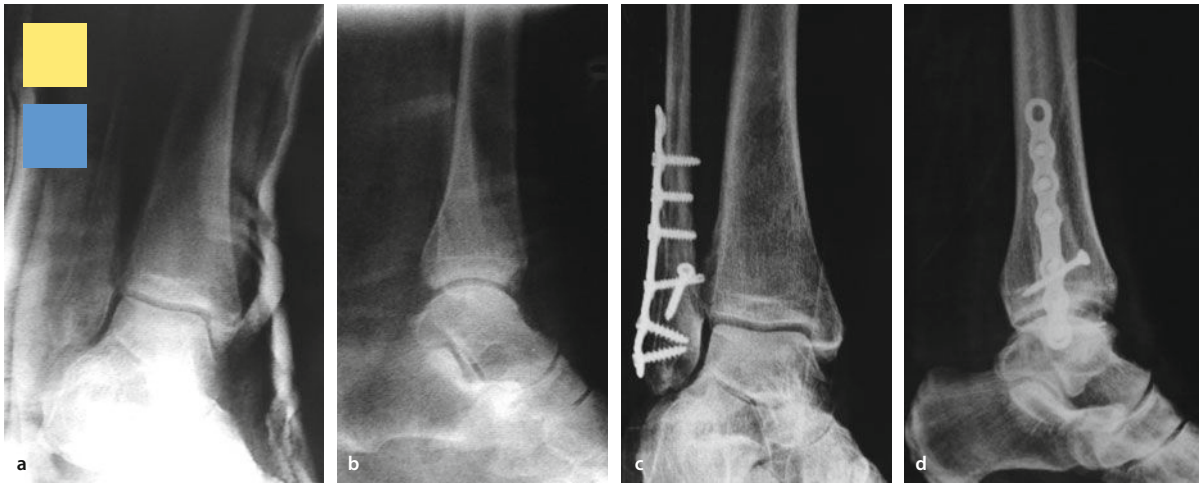


Abb. 14.12. 68 Jahre, weiblich. Bekannte Encephalomyelitis disseminata, Supinationstrauma. Schrägfraktur unterhalb der Syndesmose, intraoperativ dargestellt (**a, b**); Typ A1 nach AO. Zunächst Ruhigstellung im Gips bei zu starker Weichteilschwellung. Aufgrund der dislozierten Fraktur operative Versorgung am 5. Tag nach Abschwellung mittels interfragmentärer Zugschraube und winkelstabiler Platte, Innenknöchel nicht frakturiert

intraoperativer Weitenvergleich mit der Gegenseite. In die Syndesmose eingeschlagene Bandreste oder Knorpel-Flakes sind zu entfernen.

Eine plattenosteosynthetische Versorgung des Innenknöchels ist selten indiziert. Es eigenen sich mehrfragmentäre Frakturen, die weit nach dorsal reichen und einen senkrechten Frakturverlauf aufweisen. Zum Einsatz kommt dann bevorzugt eine 1/3-Rohrplatte. Als Zugang dient dann der oben beschriebene leicht geschwungene Hautschnitt über dem Knöchel. Die V. saphena magna, die dorsal des Malleolus liegenden Sehnen und das tibiale Gefäß-Nerven-Bündel sind zu schonen.

14.5.5 Fixateur externe

Offene Frakturen und *Luxationsfrakturen* bedürfen, wie oben erwähnt, in vielen Fällen einer temporären Fixation bis zur definitiven operativen Versorgung nach Weichteilkonsolidierung. Bei anderen Frakturformen ist meist eine Gipsruhigstellung bis zur Abschwellung nach 4, oft erst 6–7 Tagen ausreichend. Hierzu wird ein gelenkübergreifender Fixateur externe winkelstabil angebracht (Abb. 14.13).

Es werden in den Tibiaschaft 2 sog. Steinmann-Nägel von ventral (Facies medialis tibiae) frakturfern und frakturnah eingebracht. Weiterhin werden Steinmann-Nägel



Abb. 14.13. 39 Jahre, männlich. Als Motorradfahrer gestürzt mit u. a. bimalleolärer OSG-Fraktur links. Initiale Versorgung und geschlossene Reposition mit OSG-übergreifendem Fixateur externe. Am 7. postoperativen Tag definitive Versorgung mit 8-Loch-1/3-Rohrplatte, interfragmentärer Zugschraube, Stellschraube bei Syndesmosenruptur und Stahldraht-Cerclage am Innenknöchel

subcapital oder alternativ in die Basis in das Os metatarsale 1 und 5 eingebracht. Ein letzter Steinmann-Nagel wird transcalcanear eingebracht. Über die entsprechenden Backen und Längsstangen werden nun diese Steinmann-Nägel in einer triangulären Konstruktion verbunden.

Wichtig

Auf eine Position der Sprunggelenke in Nullstellung nach der Neutral-Null-Methode ist unbedingt zu achten.

14.5.6 Intramedulläre Kraftträger

Die Versorgung mit Rush-Pins hat sich in Deutschland nicht durchsetzten können, die Reposition lässt sich nur ungenügend kontrollieren. Bei sehr prekären Weichteilsituationen ist diese Versorgungsart manchmal jedoch eine Alternative zur rein konservativen Versorgung. Der XS-Zuggurtungsnagel nach Friedl [14] ist eine weiteres Implantat zur intramedullären Versorgung von OSG Frakturen. Ein gerader Vollprofilnagel ermöglicht eine Fixation multipler Fragmente durch Verriegelungslöcher in bestimmten Abständen.

14.5.7 Augmentation von Knochendefekten

Bei Frakturen des oberen Sprunggelenks ist diese Maßnahme selten indiziert, allenfalls bei Impressionsfrakturen kann die Gelenkfläche unterfüttert werden. Bei Pseudarthroserevisionen v. a. des Innenknöchels sollte autogene Spongiosa immer angelagert werden. Dazu kann

Spongiosa, z. B. aus dem Tibiakopfbereich oder aber aus dem Beckenbereich, verwandt werden. Bei der sterilen Abdeckung des Operationsgebiets ist auf eine gute Akzessibilität zu achten.

14.6 Nachbehandlung

Postoperativ ist die Weichteilsituation zu beobachten; Infektionen, Wundrandnekrosen und Hämatome sind möglich. Eine *Thromboseprophylaxe* sollte bis zur sicheren Vollbelastung durchgeführt werden. Röntgenkontrollen empfehlen sich bei jeder Malleolarfraktur direkt postoperativ sowie nach Mobilisation und im Verlauf, um die Frakturheilung zu sichern bzw. Komplikationen wie sekundäre Dislokationen so früh wie möglich zu erfassen.

Der Fuß ist zum Röntgen in strenger Rechtwinkelstellung zu halten, da nur so der Talus aufgrund seiner asymmetrischen Gelenkfläche in der Malleolengabel fixiert und die Symmetrie des Gelenkspalts beurteilbar ist.

In Abhängigkeit von der Knochenqualität ist bei einfachen Frakturen eine frühfunktionelle Beübung und Belastung der Extremität erwünscht. Dazu sollte ein Unterschenkel-Cast oder eine entsprechende Orthese wie z. B. eine Air-Cast-Schiene angepasst werden. Bei guter Knochenqualität ist im Gips/Vacuped nach Plattenosteosynthese oder ohne Gips eine frühfunktionelle Therapie <20 kg Teilbelastung möglich. Die Fibula überträgt nur etwa 15% der Last auf das Sprungbein. Bei mit Stellschrauben versorgten Brüchen ist bis zur Entfernung der Schraube ein Gips anzupassen, da mechanische Probleme wie Lockerung oder Bruch beobachtet werden.

In der *Kindertraumatologie* ist bei Zugschraubenosteosynthese eine gipsfreie Behandlung möglich. Je nach Alter und Fraktur kann bei entsprechender Konsolidierung meist nach 4 Wochen mit einer Teilbelastung begonnen werden. Mit Kirschner-Drähten versorgte Frakturen benötigen eine Ruhigstellung im Unterschenkelgips. Dieser kann meist mit den Drähten zusammen nach 4 Wochen entfernt werden.

Das Thromboserisiko bei Kindern wird kontrovers diskutiert. Wir empfehlen, ab der Pubertät die gleichen Kriterien zur Thromboseprophylaxe wie bei Erwachsenen anzuwenden. Im längerfristigen Verlauf sind als Komplikationen eine unzureichende Reposition einer Gelenkstufe als präarthrotische Deformität zu kontrollieren sowie eine mögliche *Wachstumsstörung*.

Meist treten nach Epiphysenfugenverletzungen an der distalen Tibia hemmende Wachstumsstörungen auf. Diese führen beim partiellen Fugenschluss zu einer Achsenveränderung bzw. beim kompletten Verschluss zu einer Beinlängenverkürzung der betroffenen Seite.

Wichtig

Es empfehlen sich halbjährliche oder jährliche klinische und ggf. radiologische Kontrollen bis zum Sistieren des Längenwachstums, um Achsenabweichungen zu erfassen.

Nach wie vor ist nicht abschließend geklärt, welche Faktoren (Alter des Patienten, Art und Dislokation der Fraktur, Frakturmechanismus oder Qualität der Reposition) wesentlichen Einfluss bei dieser Problematik haben. Bei *Übergangsfrakturen* sind die Probleme selten bzw. nicht mehr relevant, da bei bereits teilweise verknöcherter Epiphysenfuge kein Längenwachstum mehr stattfindet. Entscheidend sind somit die *Aufklärung der Eltern* und eine Nachkontrolle der Patienten [15].

Bei *komplexen Frakturen* oder *osteoporotischem Knochen* ist zunächst eine Entlastung bzw. *Teilbelastung* notwendig. Nach Einbringen einer *Stellschraube* sollte die Extremität 6 Wochen unter gleichzeitiger Thromboseprophylaxe bis zur Entfernung der Schraube *entlastet* werden. Auch hierbei ist eine Anpassung eines Unterschenkel-Cast oder einer Orthese sinnvoll.

Das Osteosynthesematerial kann in Abhängigkeit vom Alter der erwachsenen Patienten und der Frakturheilung nach ca. 12–18 Monaten entfernt werden. Percutane K-Drähte werden bei Kindern und Jugendlichen nach 4 Wochen ohne Narkose entfernt, Zugschrauben nach 3 Monaten, Stellschrauben in der Regel nach 6 Wochen.

14.7 Sonderformen des wachsenden Skeletts

Grundsätzlich sind hier neben den distalen metaphysären Tibiafrakturen die Fugenlösungen / Fugenschaftfrakturen (Salter I+II bei weit offenen Fugen) von den Fugengelenkfrakturen abzugrenzen. Bei letzteren können die bei Fugenschluß auftretenden Übergangsfrakturen von den Innenknöchelfrakturen und Salter III+IV –Frakturen unterschieden werden, bei denen die Fugen noch weit offen sind.

Die Übergangsfrakturen der distalen Tibia treten meist zwischen 12 und 15 Jahren auf, dem Zeitpunkt des Fugenschlusses an der distalen Tibia. Der atypische Frakturverlauf ist durch die asymmetrische Verknöcherung der Epiphysenfuge beim Übergang vom Jugendlichen- zum Erwachsenenalter bedingt (◘ Abb. 14.14). Aufgrund des Alters der Patienten sind bei fehlender Dislokation oder nach adäquater Versorgung keine klinisch relevanten Wachstumsstörungen zu erwarten, da kein wesentliches Längenwachstum mehr auftritt.

Eine klinisch relevante Einteilung dieser Frakturen erfolgt nach Two- oder Triplane-Frakturen [16]. Die Two-plane-Frakturen sind rein epiphysäre Verletzungen, die entweder ganz lateral (knöcherner Ausriss der vorderen

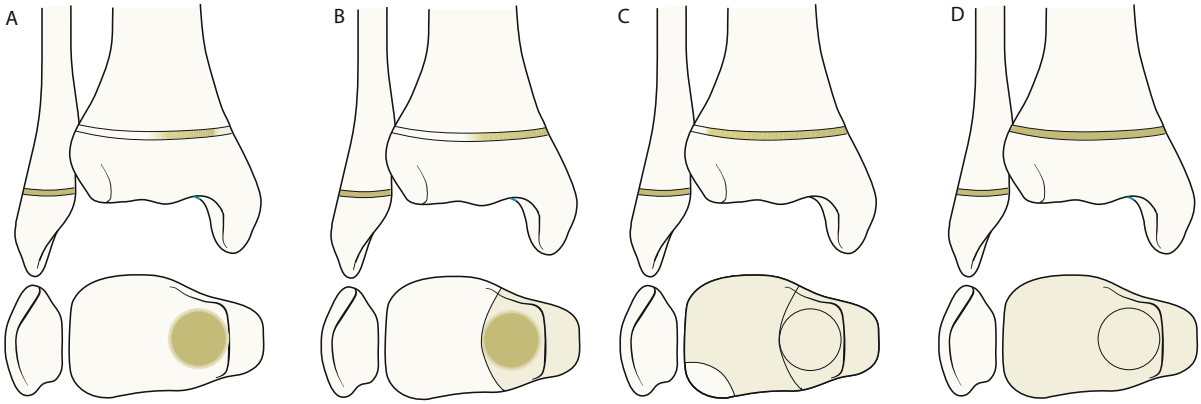


Abb. 14.14. Asymmetrischer Fugenschluss der distalen Tibiaepiphysenfuge, der ungefähr 18 Monate dauert und bei Mädchen mit ca. 14 und bei Jungen mit ca. 16 Jahren abgeschlossen ist. Der zentral-mediale Bereich verknöchert zuerst (**a**), dann der mediale Abschnitt (**b**), zuletzt der laterale (**c, d**)

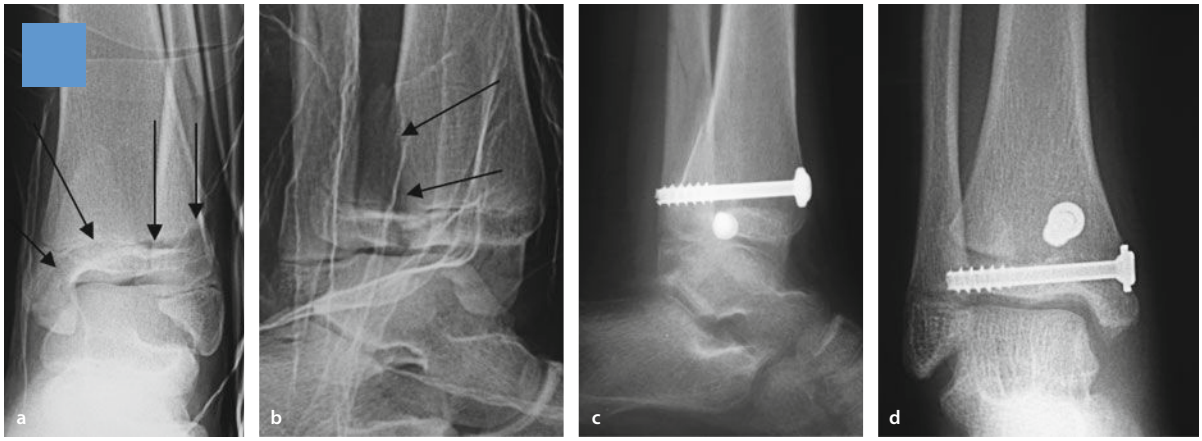


Abb. 14.15. 14-jähriger Junge. Triplane-II-Fraktur = Fraktur mit dorsalem transepimetaphysärem Keil sowie Verlauf der Fraktur durch den Innenknöchel zur Fuge (**a, b**); *Schrägprojektion* zur besseren Darstellung der Frakturverläufe (*Pfeile*). Versorgung mittels zweier kanülierter Zugschrauben mit kurzem Gewinde und Unterlegscheibe. Unterlegscheiben sind bei jugendlichem und damit festem Knochen meist verzichtbar. Die sagittale Schraube fasst das transepimetaphysäre dorsal liegende Fragment, die in der Frontalebene implantierte Schraube das Innenknöchelfragment

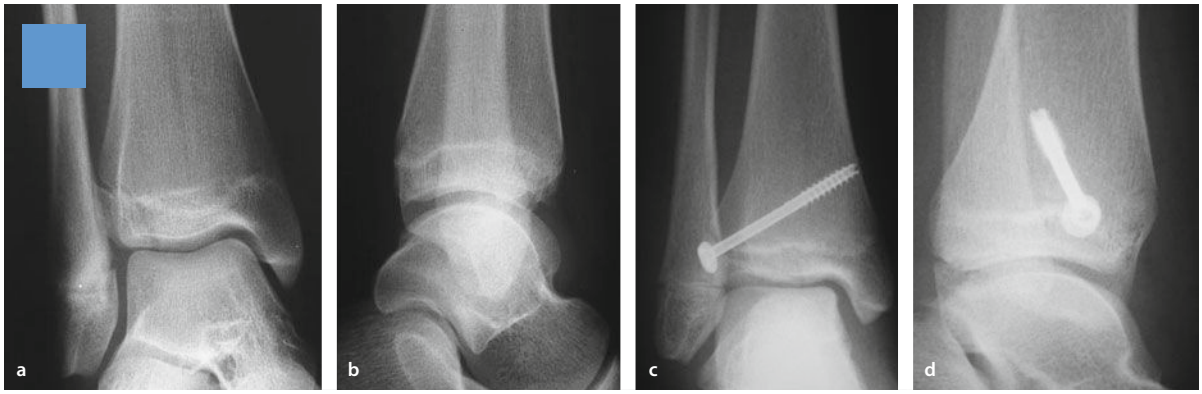


Abb. 14.16. 14-jähriges Mädchen. Minimal dislozierte laterale Twoplane-Fraktur (Tillaux-Fraktur, entspricht knöchernem Bandausriss). Percutane Schraubenosteosynthese – in diesem Fall senkrecht zur Fraktur fugenkreuzend, da das Längenwachstum abgeschlossen ist

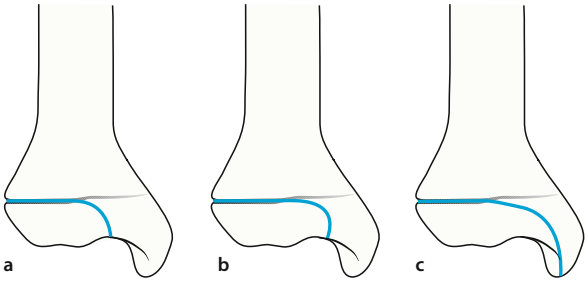


Abb. 14.17. Mögliche Verläufe der Übergangsfrakturen in der a.-p.-Ebene (hier: Twoplane-Fraktur). Liegt nur eine Fraktur in dieser Ebene vor, handelt es sich um eine Twoplane-Fraktur (Varianten **a–c**). Je lateraler der Frakturverlauf, desto mehr entspricht diese Verletzung dem knöchernen Syndesmosenausriss (Tillaux-Fraktur). Liegt eine zusätzliche Fraktur in einer weiteren Ebene vor, so handelt es sich um Triplane-Frakturen

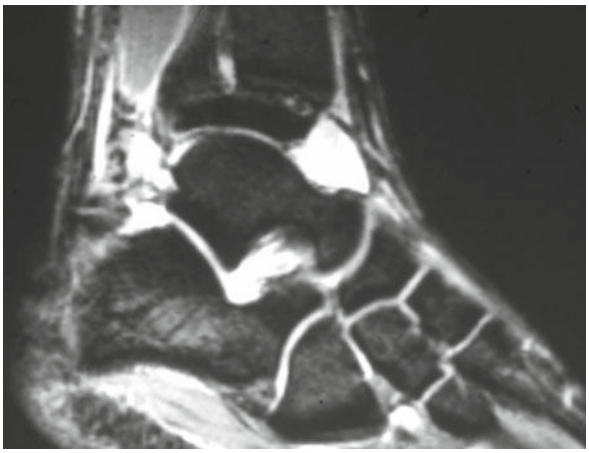


Abb. 14.18. Triplane-I-Fraktur (MRT). In der seitlichen Ebene dorsal nur metaphysäre Fraktur

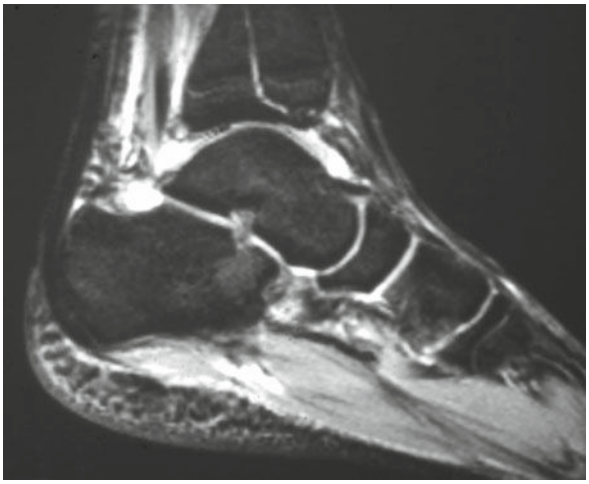


Abb. 14.19. Triplane-II-Fraktur (MRT). In der seitlichen Ebene zusätzliche dorsale epimetaphysäre Fraktur

Syndesmose = Tillaux-Fraktur; Abb. 14.16) oder mehr medial zum Innenknöchel gelegen sind (Abb. 14.17). Die Triplane-Frakturen zeigen neben dem Frakturverlauf in der Epiphyse im a.-p.-Strahlengang (eine von vorn nach hinten verlaufende Fraktur) einen zusätzlich dorsalen metaphysären Anteil (Triplane I, Abb. 14.18) bzw. ein zusätzliches dorsales epi-metaphysäres Fragment (Triplane II; Abb. 14.19, 14.15) in den seitlichen Röntgenaufnahmen bzw. den entsprechenden Schichten im MRT oder CT.

Bei Verletzungen der Wachstumsfuge sind die Einteilungen nach Aitken und nach Salter und Harris (Abb. 14.20) bekannt, wobei Letztere sich durchgesetzt hat.

Die Übergangsfrakturen treten oft nach einem Supinationstrauma auf und bedürfen bei Dislokation >2 mm oder beim Vorliegen einer Gelenkstufe der Reposition und Zugschraubenosteosynthese. Von großer Bedeutung ist hierbei die exakte Rekonstruktion der Epiphyse, da bei Belassen einer Fehlstellung in diesem gelenkbildenden Abschnitt später sonst eine Arthrose entstehen kann.

In der Kindertraumatologie haben sich bei dislozierten Übergangsfrakturen kanülierte Kleinfragmentzugschrauben mit kurzem Gewinde bewährt. Aufgrund der Nähe zur Wachstumsfuge und zum Gelenk wird nach Reposition zunächst die Fraktur mit einem Kirschner-

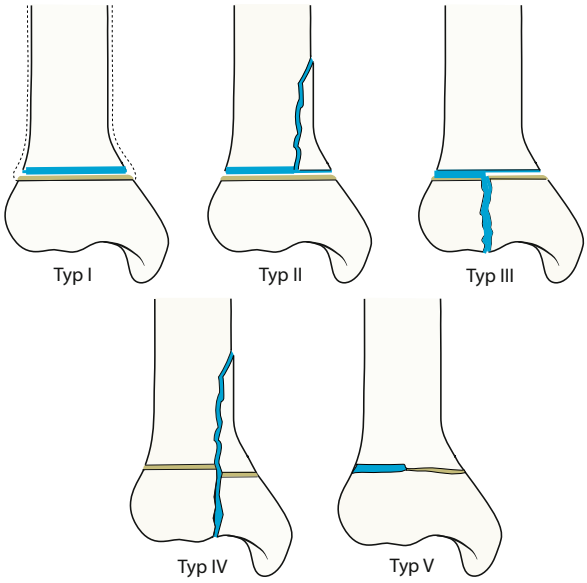


Abb. 14.20. Einteilung der Epiphysenverletzungen nach Salter und Harris
Typ I: Epiphysenlösung
Typ II: Kombination mit einem metaphysären Keil (Aitken I)
Typ III: Rein epiphysäre Verletzung (Aitken II)
Typ IV: Transepimetaphysärer Verlauf (Aitken III)
Typ V: Kompression der Epiphysenfuge

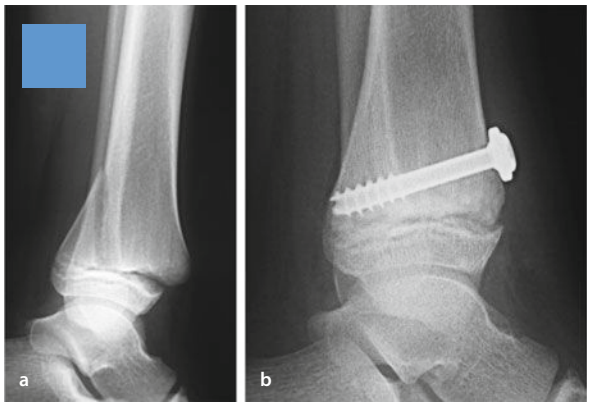


Abb. 14.21. 12-jähriger Junge. Lösung der Wachstumsfuge mit großem, daran hängendem, dorsalem, metaphysärem Fragment (Aitken I, Salter/Harris II; **a**). Geschlossene Reposition und Osteosynthese mit kanülierter Zugschraube mit Unterlegscheibe (**b**)

Draht versorgt und bei gesicherter adäquater Lage selbstschneidende Schrauben darüber eingebracht. Für die Epiphyse ist die 3,5-mm-Schraube empfehlenswert, im metaphysären Bereich kann meist mit 4,5-mm-Schrauben eine ausreichende Fixierung erzielt werden. Bei den Triplane-Frakturen kommen je nach Verlauf 2–3 Schrauben zur Anwendung. Die optimale Positionierung der Schrauben bei diesen oft komplexen Frakturverläufen kann mit präoperativer MRT oder CT erleichtert werden. Mit Ausnahme der Tillaux-Fraktur vermeiden wir fugenkreuzende Schrauben.

Epiphysenfugenverletzungen. Bei typischen Verletzungen der noch offenen Epiphysenfugen (Salter und Harris I/II = Fugenlösung / Fugenschaftfraktur) kann nach meist geschlossener Reposition im Unterschenkelgips weiterbehandelt werden. Die Indikation wird meist bei Abweichungen von > 10° in der Sagittal- oder Horizontalebene gesehen. Zur Vermeidung einer sekundären Dislokation und weiterer Röntgenkontrollen setzen wir fugenkreuzende K-Drähte ein. Sie werden vom Innenknöchel und von der lateralen distalen Tibia aus eingebracht, kreuzen jenseits der Fraktur und gehen über die Gegencorticalis hinaus. Zusätzlich muss im Unterschenkelgips immobilisiert werden. Große (metaphysäre) Fragmente können übungsstabil mit Schrauben versorgt werden (Abb. 14.21).

Percutane K-Drähte werden bei Kindern und Jugendlichen nach 4 Wochen ohne Narkose entfernt, Zugschrauben bei entsprechender Durchbauung nach 2-3 Monaten.

Innenknöchelfrakturen. Diese treten meist vor dem 10. Lebensjahr bei noch weit offener Fuge auf. Ihr Verlauf kann epiphysär oder epi-metaphysär sein. Bei dislozierten Frakturen sind in ca. 20% Wachstumsstörungen zu befürchten, diese sind abhängig vom Alter des Patienten. Eine mögliche Reduktion des Risikos kann durch eine Zugschraubenosteosynthese erzielt werden.

14.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Prognose der Malleolarfraktur ist nach exakter anatomischer Reposition, übungsstabiler Osteosynthese und intensiver physiotherapeutischer Nachbehandlung in Abhängigkeit von der Schwere der Verletzung gut und lässt eine vollständige Restitution erwarten [17]. Es werden, wenn alle Schweregrade betrachtet werden, rund 80% gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse in der Literatur berichtet [5]. Insgesamt verschlechtert sich die Prognose mit der Anzahl der verletzten Strukturen. Die Prognose nach operativer Versorgung ist signifikant besser als bei konservativer Therapie mit Reposition und Gipsruhigstellung [18].

Der wichtigste Prognosefaktor ist die korrekte anatomische Reposition, insbesondere die Einpassung der Fibula in die Incisur nach Syndesmoseverletzung

Wundrandnekrosen sind selten. Auch Infekte sind die Ausnahme, treten aber insbesondere bei Diabetes mellitus auf. Pseudarthrosen kommen bei korrekter Osteosynthesetechnik nur in Ausnahmefällen vor oder bei Osteoporose oder nach Infekten.

Wichtig
Problematisch ist die übersehene Syndesmoseninsuffizienz, die unweigerlich zur Arthrose führt.

Eine in bis zu etwa 10% der Fälle auftretende isolierte distale *Syndesmosensprengung* darf keinesfalls übersehen werden. Es kommt dann zu einer tibiofibularen Diastase mit Entwicklung einer pathologischen Außenrotation des Fußes. Dies vermindert den Kontakt der Gleitpartner im OSG im Sinne einer präarthrotischen Deformität. Klinisch resultiert ein protrahierter Verlauf mit erheblichen Beschwerden. Es werden dann aufwendige Bandplastiken oder bei schwerer Arthrose auch eine Arthrodese erforderlich. Vor dem Auftreten der Arthrose können komplexe Bandplastiken (z. B. Castaing etc.) den Verlauf bessern, später empfiehlt sich die Arthrodese. Sprunggelenkprothesen liefern noch nicht vollständig befriedigende Ergebnisse.

Der Gelenkschaden nimmt in Abhängigkeit von der Frakturschwere von der A-Fraktur nach AO-Klassifikation zur C-Fraktur hin zu [19]. Die Häufigkeit liegt bei etwa 10% [5]. Pseudarthrosen sind am häufigsten im Innenknöchelbereich zu finden. Fehlstellungen bestehen bei der Fibula meist in einer Rotations- oder Verkürzungs-

fehlstellung (▶ Kap. 14.3 »Diagnostisches Vorgehen). Es ist deshalb bei postoperativen Aufnahmen auf eine korrekte Einstellung der Röntgenbilder zu achten. Im Zweifel ist ein CT mit Vergleichsaufnahme der Gegenseite hilfreich.

14.9 Begutachtung

Bei funktionell guten Ergebnissen ohne oder mit endgradiger Bewegungseinschränkung ist ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von <10 bis 10 je nach Frakturtyp gerechtfertigt. Bei unzureichender Fraktureinstellung treten jedoch vermehrt Arthrosen auf, darauf ist ggf. bei einer Begutachtung einzugehen. Bei schwerer Frakturform mit einhergehender konsekutiver Arthrose des OSG als Spätfolge ist ein GdB/MdE von bis zu 30 zu erwägen, wenn man auch eine evtl. notwendige Arthrodese des OSG in Betracht zieht.

Literatur

1. C.M. Court-Brown, B. Caesar, Epidemiology of adult fractures: A review. Injury 37: 691–697 (2006)
2. R. Grass, K. Herzmann, A. Biewener, H.Zwipp, Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmose. Unfallchirurg 103: 520–532 (2000)
3. N. Lauge-Hansen, Fractures of the ankle. II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations. Arch Surg 60: 957–985 (1950)
4. N. Lauge-Hansen, Fractures of the ankle. III. Genetic roentgenologic diagnosis of fractures of the ankle. Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 71: 456–471 (1954)
5. S. Rammelt, R. Grass, H. Zwipp, Sprunggelenkfrakturen. Unfallchirurg 111: 421–438 (2008)
6. R. Danis, Théorie et practique de l'osteosyntèse. 1949, Masson et Cie, Paris 1949, p 298
7. B.G. Weber, Die Behandlung der Sprunggelenkstauchungsbrueche nach biomechanischen Gesichtspunkten. Hefte Unfallheilkd 81:176–179 (1965)
8. J.A. Sproule, M. Khalid, M. O'Sullivan, J.P. McCabe, Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula. Injury 35: 791–798 (2004)
9. M. Wang, C. Jiang, S. Yang, G. Rong, Maisonneuve fracture of the fibula: clinical and experimental study. Zhonghua Wai Ke Za Zhi 36: 658–660 (1998)
10. G.C. Babis, P.J. Papagelopoulos, J. Tsarouchas, A.B. Zoubos, D.S. Korres, P. Nikiforidis, Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula. Orthopedics 23: 687–690 (2000)
11. S. Kukreti, A. Faraj, J.N. Miles, Does position of syndesmotic screw affect functional and radiological outcome in ankle fractures? Injury 36: 1121–1124 (2005)
12. C. Olerud, The effect of the syndesmotic screw on the extension capacity of the ankle joint. Arch Orthop Trauma Surg 104: 299–302 (1985)
13. R. Grass, A. Biewener, S. Rammelt, H. Zwipp, Aktuelle Überlegungen zur Behandlung von OSG-Frakturen. Trauma & Berufskrankh 5: 141–148 (2003)
14. J. Gehr, W. Neber, F. Hilsenbeck, W. Friedl, New concepts in the treatment of ankle joint fractures. The IP-XS (XSL) and IP-XXS (XXSL) nail in the treatment of ankle joint fractures. Arch Orthop Trauma Surg 124: 96–103 (2004)
15. R. Kraus, M.M. Kaiser, Growth disturbances of the distal tibia after physeal separation – What do we know, what do we believe to know? A review of current literature. Eur J Pediatr Surg 18: 295–299 (2008)
16. L. von Laer, Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 4. Auflage, Thieme, Stuttgart, 2001
17. C.J. Simanski, M.G. Maegele, R. Lefering, D.M. Lehnen, N. Kawel, P. Riess, N. Yucel, T. Tiling, B. Bouillon, Functional treatment and early weightbearing after an ankle fracture: a prospective study. J Orthop Trauma 20: 108–114 (2006)
18. W.A. Phillips, H.S. Schwartz, C.S. Keller, H.R. Woodward, W.S. Rudd, P.G. Spiegel, G.S. Laros, A prospective, randomized study of the management of severe ankle fractures. J Bone Joint Surg 67-A: 67–78 (1985)
19. P.L. Broos, A.P. Bisschop, Operative treatment of ankle fractures in adults: correlation between types of fracture and final results. Injury 22: 403–406 (1991)

15 Wirbelsäule

S. David, R. Grundentaler, C.M. Müller-Mai

15.1 Halswirbelsäule

Definition

Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule (HWS, occipitocervical C0/C1 bis cervicothoracal C7/Th1) werden hier besprochen. Hauptaugenmerk wird auf die Frakturen des Wirbelkörpers sowie die Stabilität beeinflussende Strukturen (Wirbelbögen, Bänder) gelegt. Als Bewegungssegment ist dabei der Bereich zwischen Grund- und Deckplatte angrenzender Wirbel einschließlich des Spinalkanalinhalts und aller Band- und Muskelverbindungen anzusehen.

Isolierte Brüche der Quer- und Dornfortsätze ohne Verletzung der Bandscheiben oder Bandverbindungen können konservativ und in den meisten Fällen ohne verbleibendes funktionelles Defizit behandelt werden.

Man rechnet mit 10.000 schweren Wirbelsäulenverletzungen jährlich in Deutschland, in 80% ist die Brust- und Lendenwirbelsäule verletzt. Jede zweite Verletzung betrifft den thoracolumbalen Übergang (Th11–L2) [1]. Bei 13–34% der Polytraumata sind schwere Wirbelsäulenverletzungen zu erwarten [2]. Pro Jahr kommt es in Deutschland zu etwa 2000 schwerwiegenden Verletzungen der HWS, ungefähr 80% davon sind im mittleren und unteren Abschnitt der HWS lokalisiert (C2/C3 bis C7/Th1). 40% der Querschnittslähmungen werden durch Frakturen im Bereich der HWS verursacht.

15.1.1 Mechanismus

Häufigste Ursachen für Verletzungen der HWS sind in etwa 50% Verkehrsunfälle und Stürze. Aus funktionellen Gesichtspunkten und aufgrund erheblicher anatomischer Unterschiede sollte eine Unterteilung in obere und untere HWS erfolgen. Dementsprechend werden auch unterschiedliche Klassifikationen für die genannten Regionen verwendet. Die AO-Klassifikation ist nach Ansicht der Autoren insbesondere an der oberen HWS nicht gebräuchlich; daher wird hier eher auf andere Klassifikationen zurückgegriffen.

In der Besprechung wird die Occipitalregion mitberücksichtigt, da sie nach Traumata der oberen Halswirbelsäule – wenn auch selten – miteinbezogen ist. Disponierende Erkrankungen dafür sind

- ankylosierende Spondylitis (M. Bechterew),
- rheumatoide Arthritis,
- persistierendes Os odontoideum.

Nur selten werden gravierende Verletzungen der HWS durch direkte Traumata verursacht.

Obere Halswirbelsäule (C0–C2)

Die obere Halswirbelsäule ist häufig im Zusammenhang mit Schädel-Hirn-Traumata und Polytraumata betroffen. Frakturen der Occipitalregion (C0) entstehen durch ein heftiges Trauma (Verkehrsunfall, axiale Stauchung), sie sind schwierig zu diagnostizieren und wurden von C. Bell 1817 erstmals beschrieben. Die atlantooccipitale Dissoziation ist eine seltene, schwere und häufig tödliche Verletzung; oft sind angefahrene Kinder betroffen (u. a. wegen des Missverhältnisses zwischen Occipitalkondylen und Atlasgelenkmassiven).

Etwa 1–2% aller Wirbelbrüche und bis zu 13% aller HWS-Verletzungen betreffen den 1. Halswirbelkörper (Atlas). Häufig ist eine Kombination aus axialer Kompression und Hyperextension Ursache der Fraktur, insbesondere im Rahmen von Verkehrsunfällen und Stürzen [3, 4]. Dabei wird der hintere Atlasbogen zwischen Hinterhaupt und Dornfortsatz von C2 eingeklemmt.

Die atlantoaxiale Verbindung ist hoch mobil und für einen wesentlichen Anteil der Kopfrotation über dem Körper verantwortlich. Atlantoaxiale (C1/C2) Instabilitäten machen etwa 2,5% aller Halswirbelsäulenverletzungen aus. Unterschieden werden nach Fielding:

- Flexions- (*Typ A*) oder
- Extensionsverletzungen (*Typ B*);
- *Typ C* kann durch inadäquate Traumata, aber auch durch erhebliche Gewalt entstehen.

Verletzungen des 2. Halswirbelkörpers (Axis) betreffen zu etwa 2/3 den Dens. Ursache sind Hyperextension oder -flexion sowie Scherkräfte in Kombination mit Stauchungen [3]. Die traumatische Spondylolisthesis des Axis (auch aufgrund des Mechanismus als »hangman's fracture« bezeichnet) entsteht v. a. durch eine Kombination aus Hyperextension und axialem Zug oder Flexion und axialer Stauchung, z. B. bei Stürzen aus großer Höhe. Bei den oft auftretenden Verletzungskombinationen ist die C2-Verletzung für die weitere Therapie bestimmend.

Wichtig

Die obere Halswirbelsäule muss als funktionelle Einheit aufgefasst werden, kombinierte Verletzungen der Occipitalcondylen, von Atlas und Axis sind häufig, so z. B. eine traumatische Spondylolisthesis mit einer hinteren Atlasbogenfraktur.

Untere Halswirbelsäule C3–C7

80% aller Verletzungen betreffen die untere HWS, wobei am häufigsten der Wirbelkörper C5 frakturiert und das Segment C5/6 betroffen ist. Die Mehrzahl der Frakturen entsteht durch erhebliche Krafteinwirkungen unter Flexion, Distraktion und Rotation oder axiale Kompression, Extension und Rotation (z. B. Kopfsprung in flaches Wasser, Anschlag des Kopfs am Pkw-Dach bei Überschlag etc.).

15.1.2 Klinik

Die klinischen Symptome sind *unspezifisch*, sodass Verletzungen der HWS grundsätzlich ausgeschlossen werden müssen. Typisch sind:

- spontaner Nackenschmerz,
- lokale Klopf- und Druckschmerzen über den Dornfortsätzen
- Bewegungsschmerzen bis zur Bewegungsunfähigkeit,
- Muskelverspannungen im Nacken bzw. der dorsalen Halswirbelsäule,
- Zwangshaltungen,
- Fehlstellungen.

Neurologische Ausfälle können auftreten sowie eine Haltungsinsuffizienz des Kopfes. Hirnnervenausfälle betreffen die *Nerven VI–XII,* bei isolierten Atlasfrakturen sehr selten die caudalen Hirnnerven *IX–XII,* aber auch isoliert *den IX. und XII. Hirnnerv* bei Condylenfrakturen. Auch Kopfschmerzen und Schluckstörungen (*retropharyngeales Hämatom*) werden beobachtet. Gelegentlich bestehen lokalisierte Schwellungen.

Bei erheblicher Krafteinwirkung findet man auch Abschürfungen oder Kontusionsmarken. Schwere Kopf- oder Gesichtsverletzungen und eine eingeschränkte oder veränderte Bewusstseinslage können mit einer HWS-Verletzung kombiniert sein. Bei Atlasfrakturen kann man auch eine Sensibilitätsstörung im Versorgungsgebiet des N. occipitalis major finden. Massive Weichteilschwellungen des gesamten Kopf-Hals-Bereichs werden bei atlantooccipitalen Dissoziationen beschrieben; auch können bei dieser Verletzung bei Überleben Hirnstammsymptome wie Schnappatmung und irreguläre Herzaktionen auftreten [5].

Missempfindungen, ein Taubheitsgefühl und Lähmungszeichen deuten auf neurologische Begleitverletzungen hin. Bei bewusstlosen oder polytraumatisierten Patienten muss der Unfallhergang unter Einbeziehung der Mitteilungen von Notarzt, Begleitern und Beobachtern analysiert werden. Etwa 40% aller Patienten mit HWS-Verletzungen haben ein neurologisches Defizit, das von einer Wurzelreizsymptomatik bis zur Querschnittslähmung reichen kann. Eine komplette Querschnittssymptomatik bedeutet einen vollständigen Funktionsausfall unterhalb der Läsion, eine Atemlähmung besteht bei Verletzungen oberhalb von C4. Zur genauen Dokumentation des neurologischen Status und zur Verlaufsbeurteilung wird das Schema der American Spinal Injury Association (ASIA) in der Modifikation nach Frankel (Tab. 15.1; [6]) verwendet.

Tab. 15.1. Schadensskala zur Erfassung motorischer und sensibler Funktionsstörungen nach Wirbelsäulentraumata nach Frankel [6]

Grad	Funktionsstörungen	
A	Komplette Verletzung	Keine motorische oder sensible Funktion unterhalb der Verletzungshöhe
B	Erhaltene Sensibilität	Restsensibilität bis in sakrale Elemente
C	Keine Gebrauchsmotorik	Restmotorik unterhalb der Verletzung, die aber nicht den Gebrauch der Extremitäten erlaubt
D	Gebrauchsmotorik	Restmotorik erlaubt den Gebrauch der Extremitäten mit oder ohne Unterstützung
E	Erholung	Normale Motorik und Sensibilität; pathologische Reflexe können persistieren

15.1.3 Diagnostisches Vorgehen

Zur Diagnostik gehört neben der Anamneseerhebung (Unfallmechanismus, Rasanz des Unfalls, Mehrfachverletzung, Sprung ins flache unbekannte Wasser, Sturz aus großer Höhe etc.) und der klinischen Untersuchung die Erhebung des neurologischen Status.

An bildgebender Diagnostik ist zunächst die konventionelle *Röntgenaufnahme* der HWS in *seitlicher* und *a.-p.-Richtung* mit Darstellung aller 7 Halswirbelkörper und die Denszielaufnahme (transorale Aufnahme) durchzuführen. Die transorale Aufnahme kann auch einen Hinweis auf instabile Atlasfrakturen geben, wenn die Massae laterales auseinandergewichen sind, während in der seitlichen Abbildung dorsale Bogenbrüche nachgewiesen werden können.

Wichtig

Etwa 50% der Frakturen der Occipitalcondylen sind in der konventionellen Röntgentechnik nicht zu diagnostizieren [7], aber auch die Wirbelkörper C1 und C2 sind nicht immer sicher zu erkennen.

Bei Nichtdarstellbarkeit von C7 ist eine schräg angestellte Aufnahme (Schwimmeraufnahme) oder besser ein *Spiraldünnschicht-CT mit multiplanaren Rekonstruktionen* notwendig. Röntgenschrägaufnahmen können bei Verdacht auf Rotationssubluxation oder Gelenkfortsatzfraktur aufschlussreich sein. In dieser Technik werden die Facettengelenke korrekt projiziert [8].

Im Rahmen der Polytraumadiagnostik hat das Computertomogramm mit Rekonstruktionen die konventionelle Diagnostik verdrängt, zumal durch eine gleichzeitige Kontrastmittelgabe die Möglichkeit einer Halsgefäßdarstellung (Ausschluss von Dissektionen der Aa. vertebrales) besteht. Besonders bei unklaren Befunden und zur Operationsplanung ist das CT unverzichtbar.

Beim Schädel-Hirn-Trauma ist die obere HWS immer mit abzubilden.

Gehaltene Funktionsaufnahmen unter Bildwandlerkontrolle in Flexion und Extension geben wichtige Aufschlüsse über Lokalisation und Ausmaß einer Instabilität und sollten z. B. bei Densfrakturen vom Typ I zum Ausschluss einer atlantoaxialen Instabilität regelhaft vorgenommen werden [5, 9].

Die *Magnetresonanztomographie* wird zunehmend in die Akutdiagnostik integriert. Mit der MRT können Weichteil-, discoligamentäre und Rückenmarkverletzungen einschließlich raumfordernder Blutungen sicher dargestellt werden. Auch für die Begutachtung kann die MRT wichtige Aufschlüsse geben. So können in Gradientenechosequenzen T_2 Hämosiderinablagerungen nachgewiesen werden, die beweisend für ein Trauma sind [10]. Eine *MRT-Angiographie* ist zur Operationsplanung bei Verschraubungen von C1 und C2 zu empfehlen, um atypische Verläufe oder einen einseitigen Verschluss der A. vertebralis auszuschließen.

Schwierigkeiten bereitet immer wieder neben einer Klassifizierung der Verletzung die Entscheidung über die Stabilitätssituation der HWS. Als Entscheidungshilfe können dabei die in der ▶ Übersicht dargestellten Instabilitätskriterien dienen.

Instabilitätskriterien bei Verletzungen der HWS im Röntgenbild

- Segmentale sagittale Verschiebung um >3,5 mm (Vorderkante oder Hinterkante)
- Segmentale Kyphosierung von >11° Differenz zu den angrenzenden Segmenten
- Erweiterung eines Bandscheibenraums
- Subluxierte Facettengelenke (>50% Überdeckung)
- Erhöhte interspinöse Distanz
- Ungleiche angrenzende Gelenkfortsätze als Hinweis auf rotatorische Komponenten
- Wirbelkörperfrakturen, insbesondere Tear-drop-Verletzungen
- Vermehrung des prävertebralen Raums

Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind Folgezustände vorausgegangener Verletzungen wie Pseudarthrosen, z. B. im Densbereich, aber auch das Os odontoideum und angeborene Fehlbildungen wie der unvollständige Bogenschluss oder Blockwirbelbildungen. Vorbestehende neurologische Erkrankungen können ein Defizit vortäuschen.

15.1.4 Klassifikationen

Aufgrund der bereits erwähnten anatomischen und funktionellen Unterschiede im Bereich der HWS existiert eine Vielzahl von Klassifikationen, von denen keine allgemein akzeptiert ist. Eine Einteilung der Frakturen der oberen Halswirbelsäule (C0–C2) nach der AO existiert nicht. Aebi u. Nazarian [11] haben 1987 versucht, eine den AO-Prinzipien angelehnte Einteilung der Frakturen zu erstellen. Sie unterteilen für die obere HWS in die A-Verletzungen (betroffen ist der Atlas), B-Verletzungen (Axis) und C-Verletzungen (Kombinationsverletzungen von Axis/Atlas) und für die subaxiale HWS in Verletzungen vom A-Typ (betroffen ist die vordere Säule), B-Typ (hintere Säule) und den C-Typ (Verletzungen mit vorderer und hinterer Beteiligung).

Gebräuchlicher für die obere Halswirbelsäule sind allerdings die folgenden eigenständigen Klassifikationen. Auf ein Farbschema muss aufgrund der sehr unterschiedlichen Verletzungsmuster und Einteilungen verzichtet werden. Die Dissoziationen werden, da sie auch in Kombination mit Frakturen auftreten, mitbesprochen:

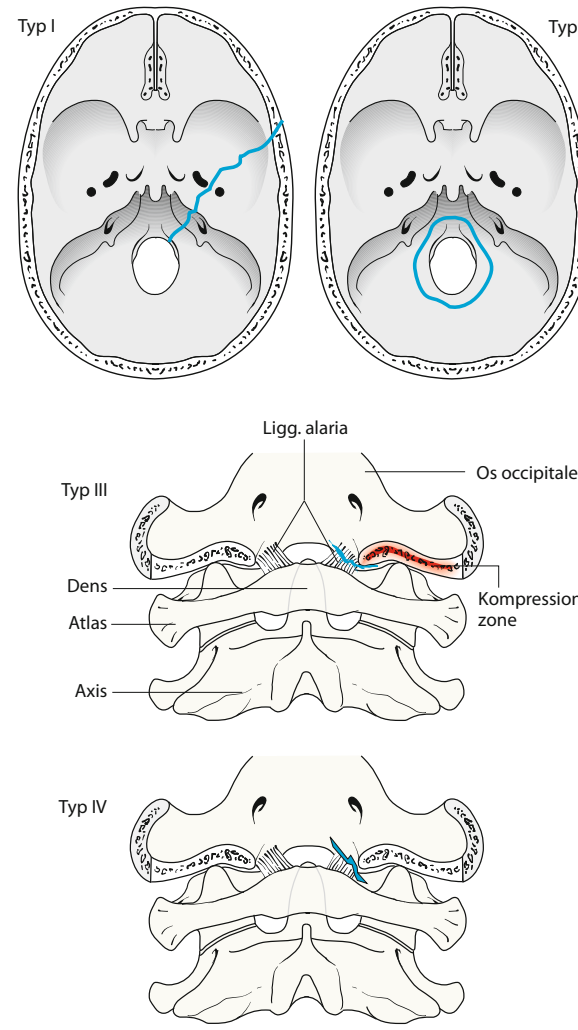
Occipitalregion C0

Bekannt ist die Einteilung der Verletzungen nach *Jeanneret* (◘ Abb. 15.1, 15.10) [12]. Sie wird jedoch wenig genutzt. Differenziert wird in den Typ I (Frakturen des Foramen magnum mit Einstrahlung in die Schädelbasis) bis zum Typ IV (Abrissfrakturen der Ligg. alaria, in 25% der Fälle verbunden mit einer atlantooccipitalen Dissoziation). Am häufigsten werden Kompressionsfrakturen vom Typ III in etwa 75% der Fälle gesehen [7].

Häufig sind diese Brüche mit occipitoatlantoaxialen Instabilitäten vergesellschaftet. Die Membrana tectoria als Fortsetzung des Lig. longitudinale posterius limitiert die Extension der occipitoatlantalen Gelenke. Die Ligg. alaria zwischen Proc. odontoideus und den inferomedialen Occipitalcondylen begrenzen die seitliche Kippung und die Rotation. Bei Verletzungen werden Instabilität und Hypermobilität in den entsprechenden Bewegungsachsen beobachtet. Asymmetrien der Lig. alaria auch bei Gesunden sind jedoch häufig [13]. Als weiteres Zeichen der Instabilität gilt die kontralaterale Erweiterung des occipitoatlantalen Gelenkspalts auf >2 mm oder des atlantoaxialen Spalts auf >3 mm [7].

Atlantooccipitale Dissoziation

Nach *Traynelis* [14] wird diese seltene Verletzung je nach Dislokationsrichtung in den ventralen, dorsalen oder axialen (hier immer globale Instabilität, in Kombination mit der ventralen Form am häufigsten) Typ unterteilt



◘ **Abb. 15.1.** Einteilung der Frakturen der Occipitalregion nach Jeanneret [12]
Typ I: Kombination mit Schädelbasisfraktur
Typ II: Schädelbasisringfraktur, verursacht durch axiale Krafteinwirkung
Typ III: Isolierte Kompressionsfraktur, ebenfalls durch axiale Stauchung verursacht
Typ IV: Abrissfraktur der Ligg. alaria

(◘ Abb. 15.2). Die ventrale Dislokation scheint am häufigsten aufzutreten [5].

1. Halswirbelkörper (Atlas)

Atlasfrakturen liegen in bis zu 50% mit Begleitfrakturen kombiniert vor [4]. Meist ist der Dens, aber auch der Axiskörper betroffen. Unterschieden werden nach *Gehweiler* je nach Mechanismus, Stabilität und den sich daraus ergebenden Therapieoptionen [15, 16] die isolierten Frakturen des vorderen (Typ I) oder hinteren (Typ II) Atlasbogens (◘ Abb. 15.3). Beide werden durch Hyperex-

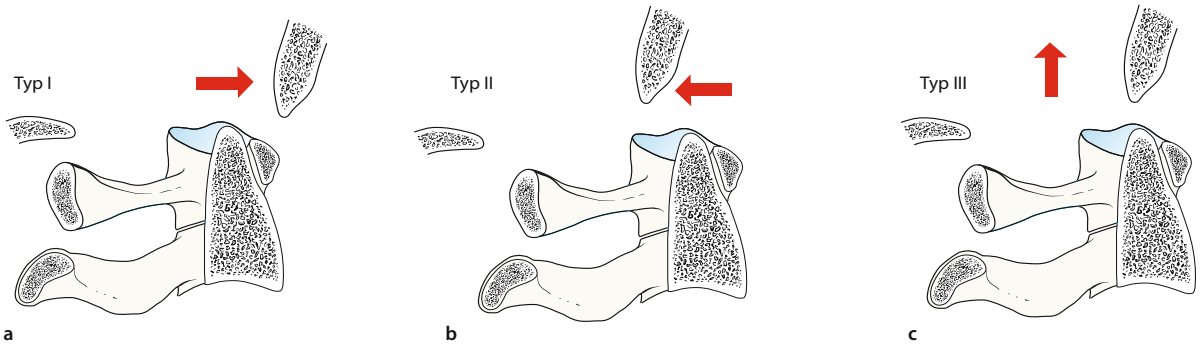


Abb. 15.2. Einteilung der atlantooccipitalen Dislokation nach Traynelis nach der Dislokationsrichtung des Kopfs gegen die HWS (**a** ventral, **b** dorsal, **c** axial). (Aus [3])

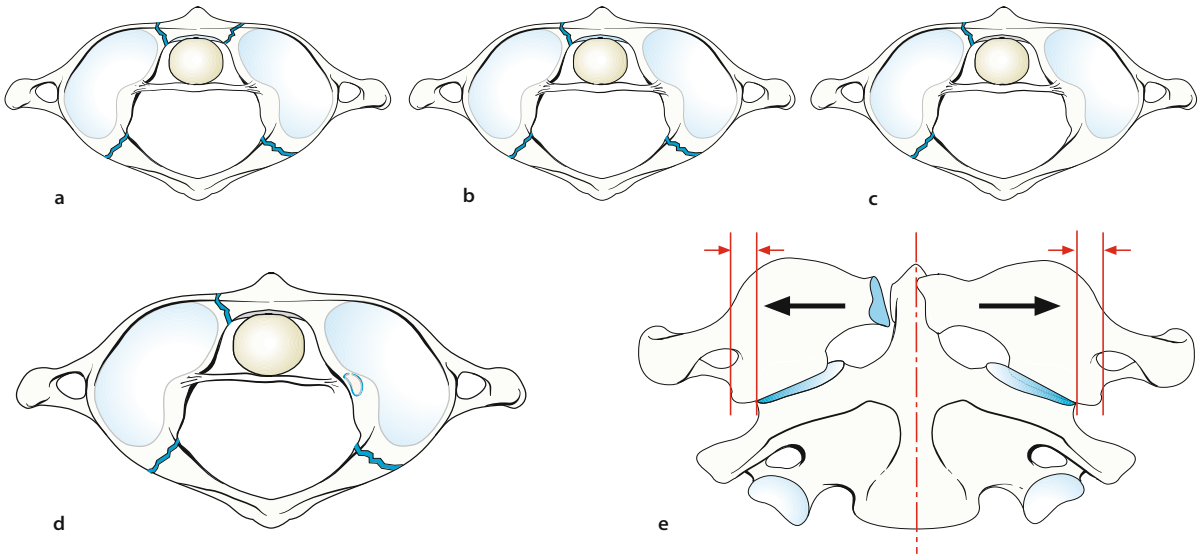


Abb. 15.3. Einteilung der Atlasfrakturen nach Gehweiler. Verschiedene Formen der Jefferson-Fraktur, Typ III nach Gehweiler (aus [3]):
a–c Stabile Brüche
d Stabile 3-Part-Fraktur mit Zerreißung des Lig. transversum ohne Distanz
e Instabile Fraktur mit Dehiszenz

tension verursacht (Abb. 15.11), wobei beim Typ II eine axiale Kompression hinzutritt.

Bekannt ist die Berstungsfraktur als sog. Jefferson-Fraktur [17], die etwa 2% aller HWS-Frakturen ausmacht, als Typ III (kombinierte Fraktur des vorderen und hinteren Atlasbogens als Zwei-, Drei- oder Vierfragmentfraktur; Abb. 15.12). Außerdem werden die seltenen und stabilen Typen IV (isolierte Fraktur der Massa lateralis) und V (isolierte Proc.-transversus-Fraktur) unterschieden.

Instabile Frakturen zeigen ein *Auseinanderweichen der Massae laterales >5 mm* als Ausdruck einer Zerreißung des Lig. transversum. Dieses kann intraligamentär reißen oder knöchern ausreißen. Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind Bogenschlussanomalien, die meist in Bogenmitte liegen und abgerundete Corticalisanteile zeigen.

Atlantoaxiale Instabilität

Generell unterschieden wird zwischen translatorischen und rotatorischen ligamentären Instabilitäten des Atlas im Vergleich zum Axis. Die gängigste Einteilung stammt von *Fielding* (Abb. 15.4), hier wird in die Typen A–C eingeteilt [18, 19]:

- Der *Typ A* (vordere Instabilität, häufigste Form) entsteht durch einen Riss des Lig. transversum oder eine knöcherne Avulsion desselben mit Verschiebung des Atlas nach ventral (Distanz zwischen vorderem Atlasbogen und Dens >5 mm, Normalwert bis 3,5 mm). Ursächlich ist meist eine Flexion unter gleichzeitiger Ventralbeschleunigung des Kopfs.
- Beim *Typ B* kommt es zu einer Dislokation des Atlas nach dorsal. Ein vergrößerter retrodentaler Abstand

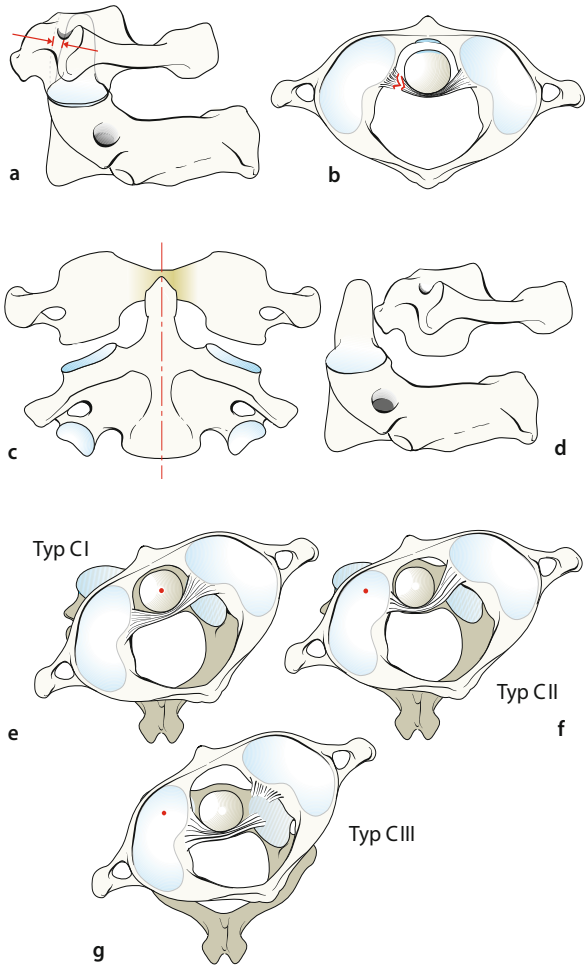


Abb. 15.4. Einteilung der atlantoaxialen Instabilität nach Fielding [18, 19]
a, b Typ A: Vordere Instabilität durch Verletzung des Lig. transversum mit vergrößertem atlantodentalem Abstand (die normale atlantodentale Distanz beträgt 3,5 mm)
c, d Typ B: Hintere Instabilität mit Dehnung der Ligg. alaria (nach [20])
e–g Typ C Rotationsinstabilität (nach [19])

wird auch bei entzündlichen oder rheumatoiden Krankheitsbildern beobachtet, was differenzialdiagnostisch abzugrenzen ist.

- Der *Typ C* wird als Rotationsinstabilität bezeichnet. Typ C1 beschreibt eine Verletzung ohne Ventralgleiten des 1. gegenüber dem 2. Halswirbelkörper; das Lig. transversum ist intakt. Bei C2 ist die atlantodentale Distanz bis zu 5 mm weit. Typ C3 beschreibt eine Rotationsdislokation >5 mm als Zeichen der Verletzung des Lig. transversum.

2. Halswirbelkörper (Axis, Epistropheus)

Densfrakturen werden nach *Anderson und D'Alonso* [21] (◘ Abb. 15.5, 15.13) je nach Verlauf der Frakturlinie unterteilt.

- Typ I: Densspitze; diese Frakturen werden als Ausrisse der Ligg. alaria angesehen,
- Typ II: Proc. odontoideus, am Übergang zwischen Dens und Corpus,
- Typ III: Einstrahlung in den Corpus.

Ursächliche Mechanismen sind Hyperextension oder -flexion sowie Scherkräfte in Kombination mit Stauchungen [3]. Am häufigsten wird Typ II mit etwa 2/3 aller Frakturen beobachtet (◘ Abb. 15.17). Es entwickeln sich oft Pseudarthrosen bei dieser Bruchform. Bei Extensionsverletzungen ist der Dens nach dorsal disloziert, bei Flexionsmechanismen nach ventral.

Bei der *traumatischen Spondylolisthesis* von C2 (»*hangman's fracture*«) besteht eine Fraktur des Wirbelbogens von C2, oft mit Instabilität im Segment C2/C3. Die Frakturstabilität wird nach *Effendi* [22] unterteilt (◘ Abb. 15.6) in:

- Typ I: Undisloziert, Bandscheibe intakt, stabil,
- Typ II: Ventrale Dislokation des Axiskörpers mit Bandscheibenverletzung C2/3, sagittale Verschiebung um >3 mm bzw. Abwinkelung des Dens >11° (◘ Abb. 15.18),

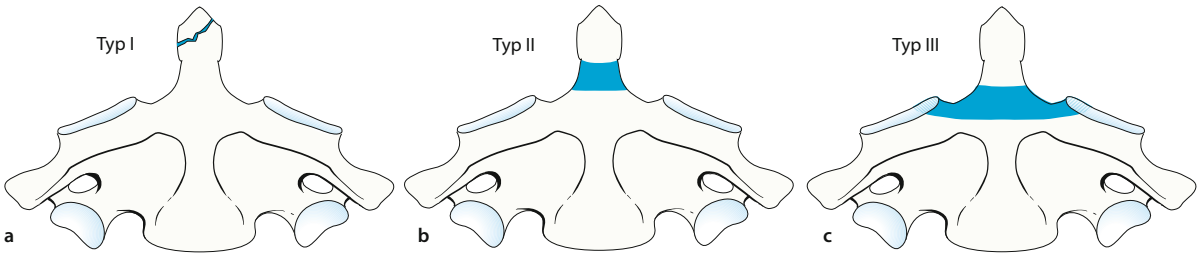


Abb. 15.5. Einteilung der Dens-axis-Frakturen nach Anderson und D'Alonso in
a Typ I
b Typ II
c Typ III mit Einstrahlung in den Corpus axis. (Aus [3])

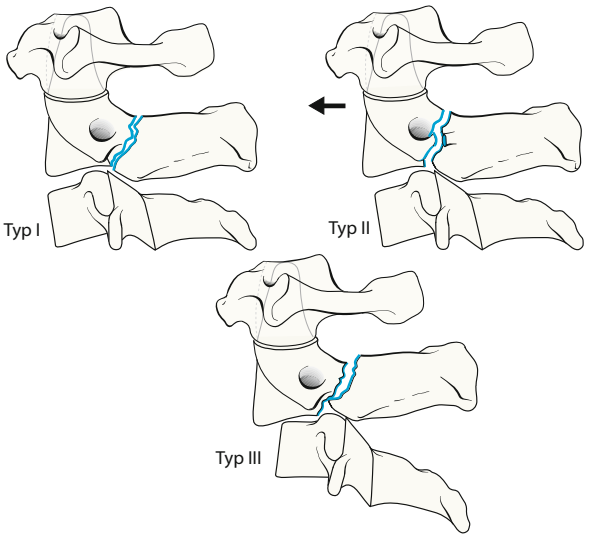


Abb. 15.6. Einteilung der traumatischen Spondylolisthesis des Axis nach Effendi I–III. (Aus [3])

- Typ III: Hoch instabil, zusätzlich zum Typ II mit Verhakung der kleinen Wirbelgelenke.

Wenig genau ist diese Einteilung beim Typ II, da hier je nach Mechanismus in eine Form mit und ohne Beteiligung des vorderen Längsbandes unterschieden werden kann (Hyperextension oder -flexion). Daher ist von *Josten* eine Einteilung in 4 Gruppen vorgenommen worden, die diesen Nachteil nicht mehr besitzt [23]. Bei Flexionsverletzungen bleibt das vordere Längsband intakt und kann bei der Reposition als Hypomochlion genutzt werden (Gruppe II nach Josten, Abb. 15.19, 15.20). Bei der Gruppe III nach Josten wird durch Hyperextension das vordere Längsband zerrissen. Diese Verletzung ist hoch instabil und muss operativ behandelt werden (s. unten; Abb. 15.18). Isolierte Frakturen des Axiskörpers sind selten, häufig entstehen sie durch Hyperextension.

Subaxiale oder mittlere und untere Halswirbelsäule C3-C7

Wichtig

80% aller HWS-Verletzungen betreffen diesen Bereich, der am häufigsten frakturierte Wirbel ist C5, das am meisten betroffene Segment C5/C6.

Für Verletzungen der mittleren und unteren Halswirbelsäule (C3-C7) kann die Klassifikation der Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule nach *Magerl* et al. angewendet werden [24], da sowohl die wesentlichen knöchernen Elemente als auch die discoligamentären Strukturen der unteren Halswirbelsäule denselben Prinzipien wie die darunterliegenden Wirbelsäulenabschnitte bei insgesamt kleineren Verhältnissen folgen. Die Frakturteilung ist in ihrem Aufbau der *AO-Klassifikation* der langen Röhrenknochen *angelehnt* und unterscheidet die im Folgenden genannten Verletzungstypen (Abb. 15.7):

A-Verletzungen. Überwiegend durch Kompression verursacht, ohne Beteiligung der dorsalen Strukturen, Stabilität (Abb. 15.7a–c).

Typische Charakteristika von A-Verletzungen

- Axiale Kompression mit oder ohne Flexion
- Höhenminderung des Wirbelkörpers (vordere Säule)
- Intakte hintere Bandverbindungen
- Seltene Verletzung im Vergleich zur thoracolumbalen Wirbelsäule

Aufgrund der isolierten Beteiligung der vorderen Säule sind diese Brüche als stabil zu betrachten (Abb. 15.7a). Eine Unterteilung in Schweregrade, dem Prinzip der AO-Klassifikation folgend, wird wie in der ▶ Übersicht gezeigt vorgenommen.

A-Verletzungen: Unterteilung in Schweregrade

- A1 = Impaktionsbrüche, stellen eher seltene Verletzungen dar; eingeteilt in
  - A1.1 Deckplatteneinbruch
  - A1.2 Keilwirbelbildung
  - A1.3 Wirbelkörperkollaps
- A2 = Spaltbrüche; nicht einheitlich weiter unterteilt:
  - A2.1/2.2 in der Sagittalebene und/oder in der Frontalebene (Abb. 15.15)
  - A2.3: sog. Pincer- oder Kneifzangenfraktur
- A3 = Berstungsbrüche:
  - A3.1 inkomplett
  - A3.2 Berstungsspaltbruch
  - A3.3 komplett

Zu beachten ist die sog. Tear-drop-Verletzung, die typischerweise am 5. HWK auftritt. Hierbei ist der vordere untere Anteil des Wirbelkörpers frakturiert und nach ventral dislociert. Immer muss nach Verletzungen der dorsalen Strukturen gesucht werden (Abb. 15.15d). Sind diese mitverletzt, ist eine Zuordnung zum Typ B zu treffen, und es besteht Instabilität.

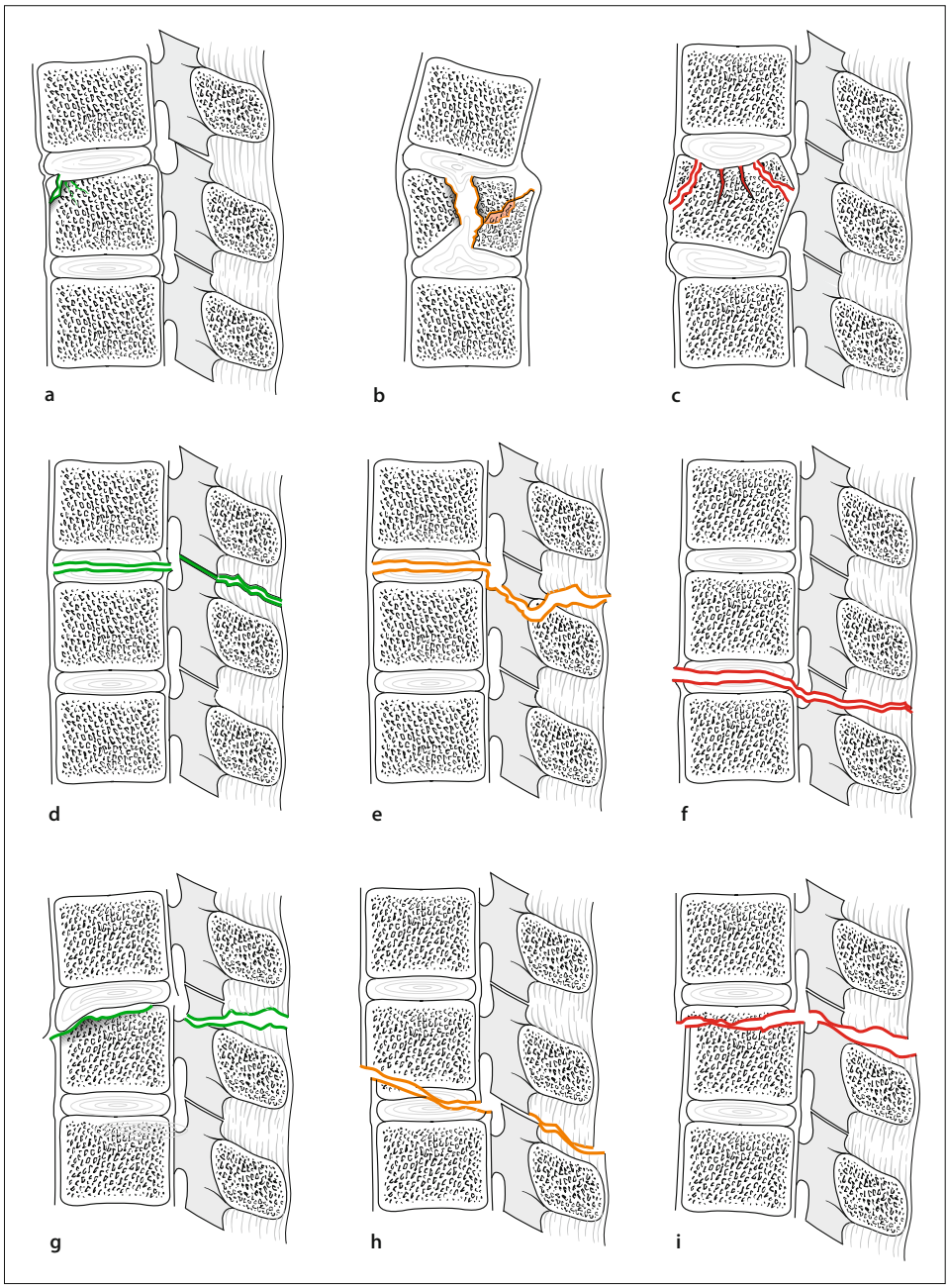


Abb. 15.7. Verletzungen der Region 51: Mittlere und untere Halswirbelsäule (Klassifikation nach Magerl et al. [24], angelehnt an die AO-Klassifikation)

Typ-A-Verletzungen (a–c)

a A1, z. B. A1.2: Craniale Keilfraktur

b A2, z. B. A2.3: Pincer- oder Kneifzangenfraktur

c A3, z. B. A3.1: Craniale inkomplette Berstungsfraktur

Typ-B-Verletzungen (d–f)

d B1, z. B. B1.1: Flexions-Distraktions-Verletzung mit dorsaler Zerreißung der Intervertebralgelenke

e B2, z. B. B2.2: Flexions-Distraktions-Verletzung mit dorsaler Zerreißung der Wirbelbögen

f B3, z. B. B3.1: Hyperextensions-Scher-Verletzung mit ventraler Bandscheibenzerreißung

Typ-C-Verletzungen (g–i)

g C1, z. B. C1.1: Typ-A-Verletzung mit Rotation und Keilwirbelbildung

h C2, z. B. C2.1:Typ-B1-Verletzung mit Rotation

i C3, z. B. C3.1: Rotations-Scher-Verletzung, sog. Slice-Fraktur

B-Verletzungen. Durch Hyperflexion oder- extension verursacht, Instabilität (Abb. 15.7d–f).

Hier sind immer die dorsalen Strukturen (ligamentär oder knöchern) mitverletzt, sie machen etwa 50% aller Verletzungen aus.

Cave

Insbesondere in Rückenlage kann es zur spontanen Reposition der Frakturen kommen, die dann im Röntgenbild nicht sichtbar sind. Der Verdacht auf diese Verletzung sollte durch geführte Funktionsaufnahmen oder eine MRT-Untersuchung ausgeschlossen werden.

Die discoligamentären Verletzungen mit reitenden oder verhakten Luxationen gehören in diese Gruppe.

Typische Charakteristika von B-Verletzungen

- Queres Zerreißen einer oder beider Säulen durch einen Flexions-Distraktions-Mechanismus oder einen Extensions-Distraktions-Mechanismus und
- Dislokation durch Verschiebung in der Sagittalebene

Aufgrund der Beteiligung beider – vorderer und hinterer – Säulen besteht Instabilität, und man unterteilt wie in der ▶ Übersicht dargestellt.

B-Verletzungen: Unterteilung in Schweregrade

- B1 = Vorwiegend ligamentäre dorsale Verletzungen durch Hyperflexion:
  - B1.1 mit Bandscheibenzerreißung
  - B1.2 mit Fraktur vom Typ A (Abb. 15.16)
- B2 = Vorwiegend knöcherne dorsale Verletzungen durch Hyperflexion:
  - B2.1 quere Zweisäulenfraktur
  - B2.2 mit Bandscheibenzerreißung und Pedikelzerreißung oder mit Zerreißung durch die Pars interarticularis
  - B2.3 mit Typ-A-Fraktur und Fraktur durch die Pedikel oder mit Fraktur durch die Pars interarticularis
- B3 = Ventrale Dislokation durch die Bandscheibe durch Hyperextension, oft kombiniert mit Scherverletzung:
  - B3.1 Hyperextensionssubluxation ohne oder mit Verletzung der hinteren Säule
  - B3.2 Hyperextensionsspondylolyse
  - B3.3 hintere Dislokation

C-Verletzungen. Durch Rotation oder Translation verursacht, hochgradige Instabilität (Abb. 15.7g–i).

Es handelt sich um eine inhomogene Gruppe; sie umfasst Verletzungen der vorderen und hinteren Elemente mit Rotation in Kombination mit A- und B-Verletzungen. Die 3. Untergruppe beinhaltet die global instabilen Rotations-Scher-Verletzungen.

Typische Charakteristika von C-Verletzungen

- Dislokation durch Rotation
- Dislokation durch Translation in der Coronarebene
- Einseitige Frakturen der Articular- oder Querfortsätze
- Laterale Avulsionsfrakturen der Endplatte

Bei allen C-Verletzungen besteht ein hoher Instabilitätsgrad mit Operationspflichtigkeit. Man unterteilt wie in der ▶ Übersicht gezeigt.

C-Verletzungen: Unterteilung in Schweregrade

- C1 = Typ-A-Frakturen (Kompression) mit Rotation:
  - C1.1 mit Keilwirbelbildung
  - C1.2 mit Spaltbildung
  - C1.3 mit Berstungsfraktur
- C2 = Typ-B-Frakturen mit Rotation:
  - C2.1 B1-Verletzung mit Rotation
  - C2.2 B2-Verletzung mit Rotation
  - C2.3 B3-Verletzung mit Rotation
- C3 = Rotations-Scher-Verletzungen (modifiziert):
  - C3.1 Slice-Fraktur
  - C3.2 Schrägfraktur
  - C3.3 komplette Separation

Abb. 15.7 verdeutlicht exemplarisch die Einteilung der Wirbelkörperverletzungen von C3–C7 nach der AO-Spine [20]. Für die genauere schematische Einteilung siehe ▶ Kap. 15.2 »Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule«.

Beispiele weiterer Klassifikationen

Es existieren weitere, in der Praxis selten genutzte Klassifikationen; Beispiele sind im Folgenden aufgeführt.

Anderson und Montesano [25]

Klassifikation der Frakturen der Occipitalcondylen. 3 Typen je nach Dislokation bzw. Beteiligung der Schädelbasis und von Bandstrukturen (Typ I: Kompressionsfraktur; II: einstrahlende Schädelbasisfraktur, möglicherweise mit Hirnnervenausfällen; III: Abrissfraktur der Ligg. alaria bei Distraktion; oft massive bis letale neurologische Komplikationen).

51

Argenson [26]

Sie unterteilt in Kompressions- (Typ A), Flexions-Distraktions- (Typ B), Extensions-Distraktions- (Typ C) und Rotationsverletzungen (Typ D).

Aebi und Nazarian [11]

Diese Klassifikation wurde in Anlehnung an die AO-Klassifikation erstellt (s. oben) und unterteilt in A/B/C-Verletzungen für die obere HWS (Atlas, Axis) und die subaxiale HWS.

Wolter [27]

Diese 3-Säulen-Einteilung in A–D wird häufiger, jedoch eher im Bereich der thoracolumbalen Wirbelsäule angewendet. Die Klassifikation berücksichtigt Verletzungen der vorderen, mittleren und hinteren Säule bzw. von discoligamentären Strukturen.

Eine schematische Übersicht der Frakturversorgung der Wirbelkörper C3–C7 in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach den Richtlinien der AO-Spine [20] gibt die Abb. 15.8 wieder.

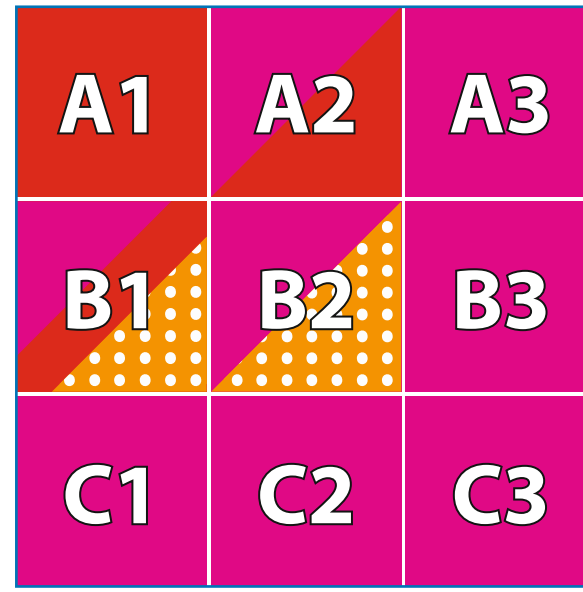


Abb. 15.8. Therapieoptionen bei Frakturen der Halswirbelsäule von C3–C7, Einteilung nach der Klassifikation der AO-Spine [20] (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Dorsale Zuggurtung (verschiedene Verfahren)
- Ventrale mono- oder bisegmentale Spondylodese

15.1.5 Therapeutisches Vorgehen

Wichtig
Die Behandlung Wirbelsäulenverletzter beginnt am Unfallort.

Unsachgemäße Repositionen oder Lagerungen sind zu vermeiden, da sie neurologische Defizite auslösen oder verschlechtern können. Bei jedem Verdacht auf eine HWS-Verletzung oder bei *Bewusstlosigkeit* ist bis zum Ausschluss einer derartigen Verletzung eine *stabile Orthese* anzulegen. Die Lagerung erfolgt unter axialem Längszug. Bei vorbestehenden Wirbelsäulenveränderungen wie der Spondylosis ankylosans (M. Bechterew) erfolgt die Lagerung in der bestehenden Stellung.

Ziele der Therapie

- Reposition der Fraktur
- Dekompression der nervalen Strukturen
- Anschließend Stabilisierung und Sicherung vor einem Repositionsverlust

Etwa 30% aller Frakturen können konservativ, 70% werden operativ behandelt. Insbesondere im Bereich der oberen Halswirbelsäule gibt es gute Indikationen für eine äußere Stabilisierung, beispielsweise mit einer Orthese oder einem Halo-Fixateur. An der unteren Halswirbelsäule sind eher operative Verfahren indiziert (Spondylodese).

Als Anhalt gilt, dass stabile Frakturen konservativ, instabile rein knöcherne Verletzungen konservativ oder operativ und instabile Situationen mit Bandverletzungen operativ behandelt werden sollten.

Konservative Therapie

Grundprinzip ist die Reposition der Fraktur durch Längszug und ggf. vorsichtige Manipulation, was erst nach entsprechender Diagnostik in der Klinik erfolgen sollte. Vor allem bei bettlägerigen und hinfälligen Patienten genügt dann oft die alleinige Ruhigstellung gering verschobener Frakturen in einer Cervicalorthese. Eine sichere Retention instabiler Frakturen ist so jedoch nicht möglich. Engmaschige Röntgenkontrollen sind unbedingt durchzuführen.

Auch das SCIWORA-Syndrom (»spinal cord injury without radiographic abnormalities«) wird konservativ behandelt, da es sich um ein neurologisches Defizit ohne nachweisbare knöcherne und discoligamentäre Verletzung handelt.

Für Verletzungen der oberen Halswirbelsäule ist der Halo-Fixateur die bessere Alternative. Seine Vorteile gegenüber anderen Methoden der äußeren Ruhigstellung liegen in der einfachen Handhabung, der unkomplizierteren Körperpflege, der guten Korrekturmöglichkeit, einer sicheren Ruhigstellung und der Möglichkeit einer ambulanten

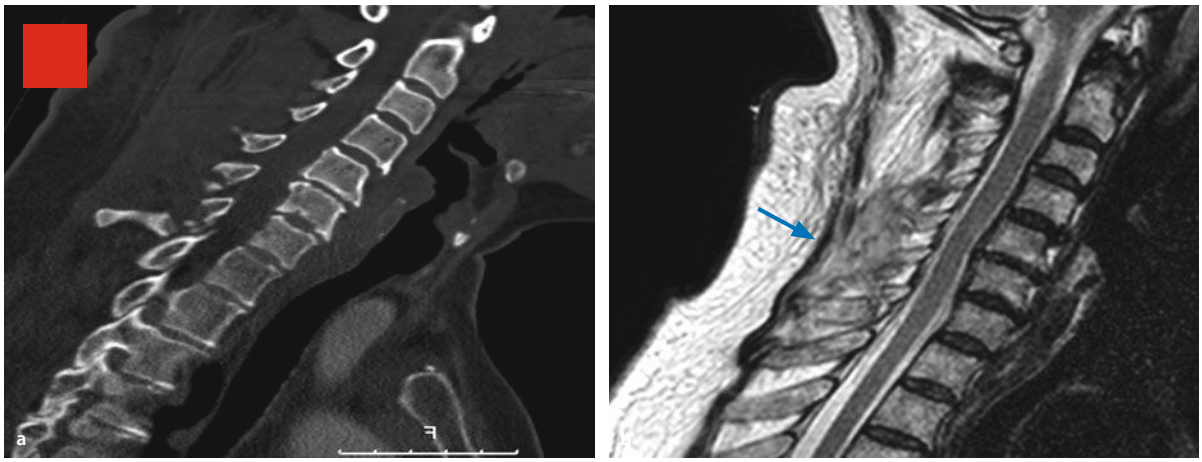


Abb. 15.9. 65 Jahre, weiblich. Direktes Trauma in den Nacken. Im CT (**a**) Trümmerfrakturen der Dornfortsätze C6 und C7, degenerative Veränderungen der Wirbelkörper. Im MRT (**b**) kein Nachweis einer Verletzung der vorderen Säule. Konservative Behandlung in einer Orthese

Nachbehandlung. Nachteile sind Pin-Infektionen, -lockerungen und -perforationen in die Schädelkalotte sowie Hautprobleme beim Tragen der Haloweste [28]. Bei der Anlage des Halo-Fixateurs muss auf die Ringgröße und die ordnungsgemäße Platzierung der Pins sowie beim Eindrehen auf die Benutzung von Drehmomentschlüsseln (*Cave:* Perforation der inneren Tabula) geachtet werden [29].

Zur präoperativen Ruhigstellung bei eindeutig instabilen Situationen und im Zweifelsfall ist die Anlage eines Halo-Fixateurs immer zu empfehlen.

Der früher angewendete Minervagips (Kopf-Brust-Gipsverband) [30] oder auch Dauerzugbehandlungen (z. B. in der Crutchfield-Klammer) sind heute obsolet.

Frakturen der Proc. spinosi sollten hinsichtlich des Unfallmechanismus genau überprüft werden. Solche Brüche ohne Verletzungen der vorderen Säule kommen meist nach Einwirkung direkter Gewalt vor. Ligamentäre Verletzungen sollten mittels MRT ausgeschlossen werden (Abb. 15.9).

Occipitalcondylen C0

Die Verletzungstypen Jeanneret Typ I–IV *ohne* atlantooccipitale Dissoziation können konservativ mittels Cervicalorthese, die Typen III und IV besser durch Halo-Fixateur behandelt werden. Bei Verletzungen von C0 ist der mögliche Nachteil bleibender Gelenkinkongruenzen mit fortbestehender Fehlstellung zu berücksichtigen.

Atlantoocipitale Dissoziation C0/C1

Wenn die schwere Verletzung überlebt wird und die Vitalfunktionen gesichert sind, ist nach vorsichtiger Reposition schnellstmöglich ein Halo-Fixateur anzulegen, im Verlauf sollte eine dorsale Spondylodese von C0 auf die obere HWS vorgenommen werden (Abb. 15.10). Eine konservative Behandlung verbietet sich aufgrund der hohen Instabilität.

Frakturen des Atlas C1

Stabile Verletzungen (Typ I, II, IV und V) werden mit einer harten Cervicalorthese für 4–6 Wochen behandelt. Auch Frakturen des Typ III unter Einbeziehung des vorderen und hinteren Bogens ohne Dehiszenz sind konservativ gut zu behandeln, wobei die Ruhigstellung über 8 Wochen belassen werden sollte (Abb. 15.11, 15.12). Bei instabilen Jefferson-Frakturen empfehlen manche Autoren die Behandlung im Halo-Fixateur mittels sukzessiver Traktion [5]. Eine gute Reposition wird dadurch meist jedoch nicht erreicht [4].

Atlantoaxiale Dislokation C1/C2

Frische rotatorische Fehlstellungen ohne Verletzung des Lig. transversum eignen sich nach Reposition für eine konservative Behandlung im Halo-Fixateur über 8 Wochen.

Frakturen des Dens axis C2

Die Frakturen vom Typ I und III können in einer gut angepassten harten Cervicalorthese über 12 Wochen behandelt werden (Abb. 15.13). Wir empfehlen Röntgenkontrollen nach 3, 7 und 14 Tagen in angelegter Orthese (Zielaufnahmen). Bei sekundärer Dislokation muss die Indikation zur Osteosynthese geprüft werden.

Frakturen des Typs II sollten wegen der hohen Pseudarthroserate (bis 67%) operativ behandelt werden. Bei sehr betagten Patienten mit schlechter Knochenqualität ist unseres Erachtens die undislozierte Fraktur vom Typ II



Abb. 15.10. 23 Jahre, weiblich. Pkw-Unfall. Fraktur des Condylus occipitalis dexter und Subluxationsstellung mit Instabilität im Gelenk C0/1 rechts nach ventral, Typ Jeanneret IV. **a, b** Konventionell radiologisch nicht feststellbar, Beweis in den CT-Rekonstruktionen. **c** Stellung nach initialer Anlage des Halo-Fixateurs. **d, e** Nach dorsaler Spondylodese mit Platten-Stab-System von der Hinterhauptschuppe auf C2–4

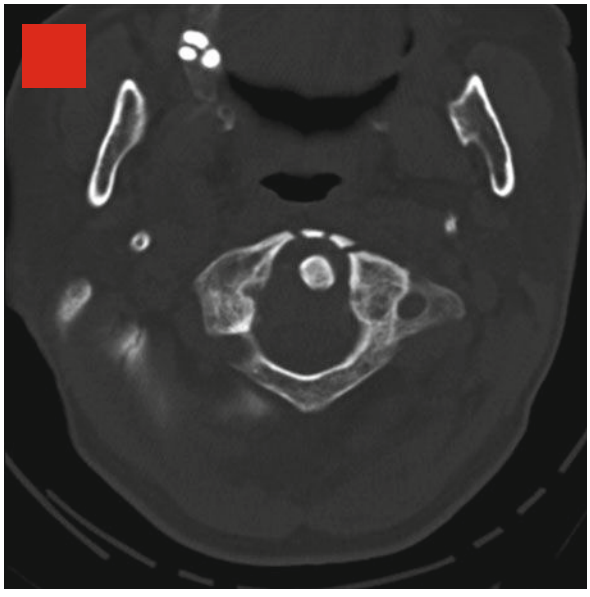


Abb. 15.11. 35 Jahre, männlich. Sturz vom Baum. Doppelte Fraktur des ventralen Atlasbogens, stabil, Gehweiler Typ I, Darstellung in der axialen CT-Rekonstruktion. Konservative Behandlung, Orthese

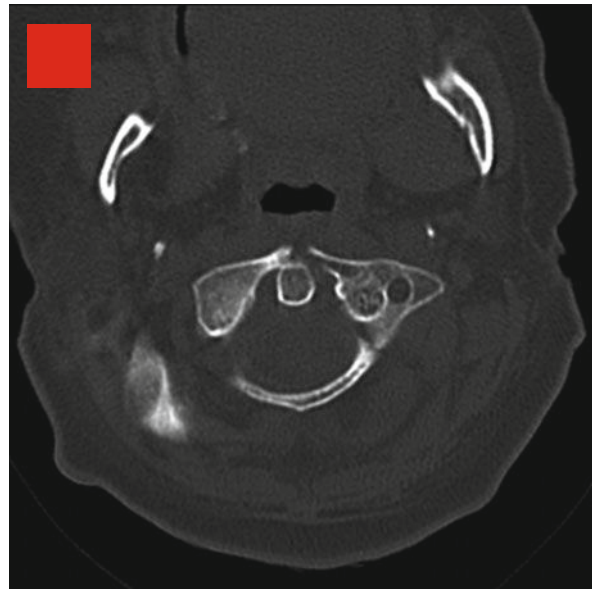


Abb. 15.12. 65 Jahre, weiblich. Sturz zu ebener Erde. Atlasfraktur Gehweiler Typ III (Jefferson). Im axialen Computertomogramm vorderer und hinterer Ring betroffen, keine Dehiszenz der Massae laterales (>5 mm), intaktes Lig. transversum, stabil. Konservative Behandlung

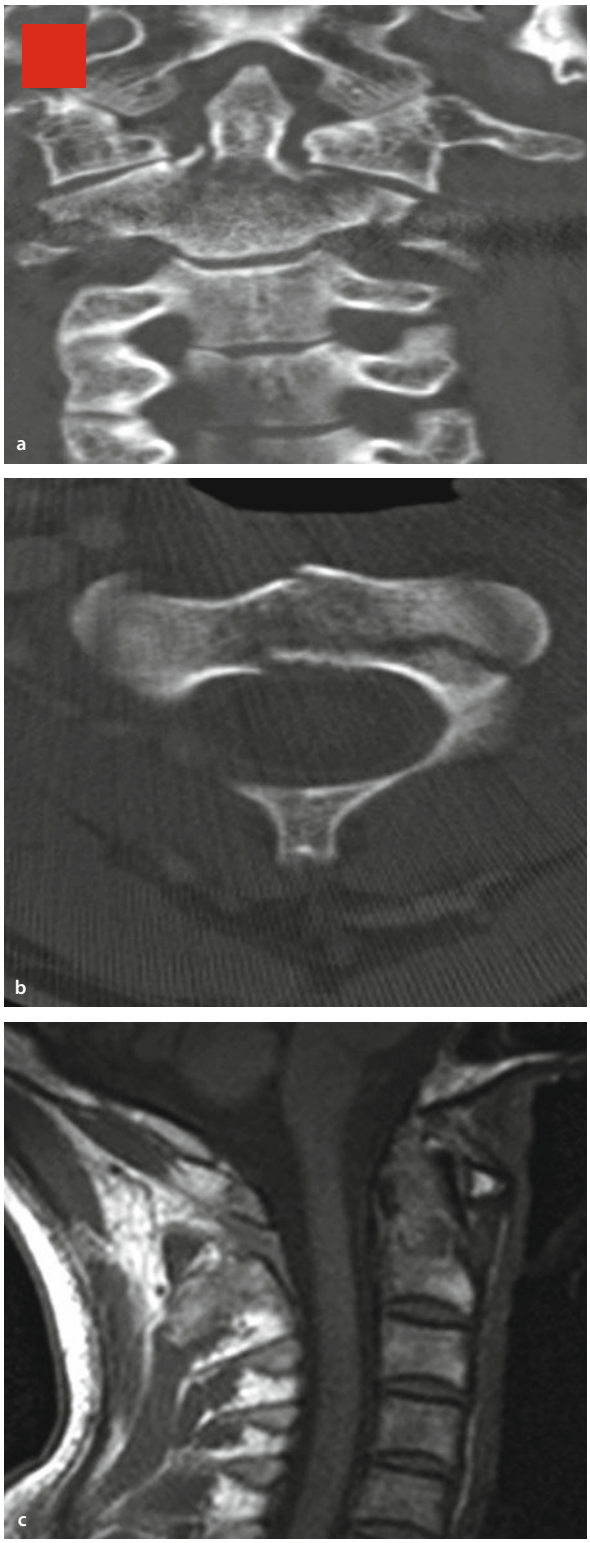


Abb. 15.13. 35 Jahre, männlich. Pkw-Auffahrunfall. Dens-axis-Fraktur nach Anderson und D'Alonso Typ III; im CT Fraktur des Dens axis im Basisbereich mit Einstrahlung in den Axiskörper. Das MRT beweist die Unversehrtheit des Myelons, es ist für die Frakturdiagnostik jedoch nicht das Verfahren der 1. Wahl. Konservative Behandlung, Orthese

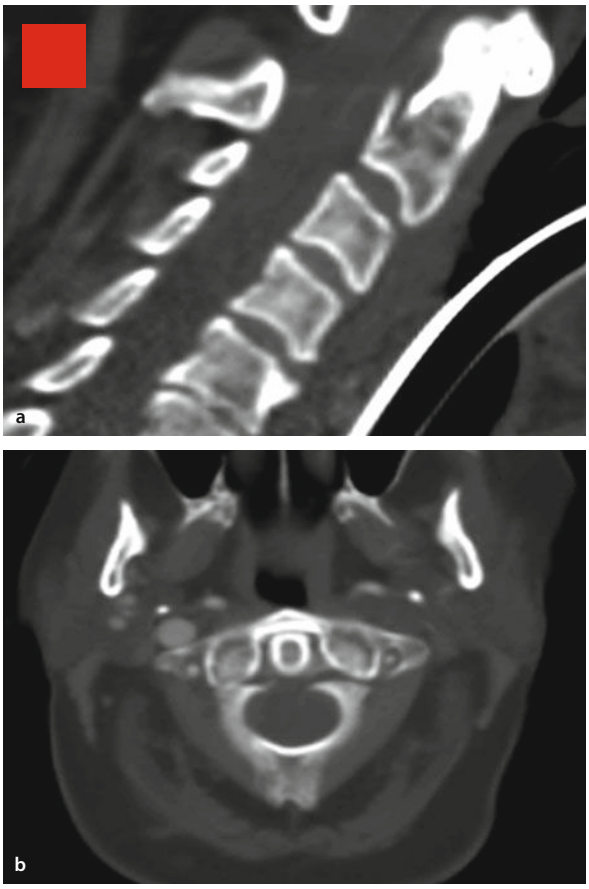


Abb. 15.14. 27 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Axis-Fraktur Typ Effendi I (traumatische Spondylolisthese). Konservative Behandlung in Orthese (Frakturdehiszenz zwischen Wirbelkörper und Bogen <3,5 mm, Winkel zwischen Grundplatte C2 und Deckplatte C3 <11°)

eine Indikation zur konservativen Behandlung in einer harten Cervicalorthese oder in manchen Fällen im Halo-Fixateur. Auch bei Instabilitäten nach Typ-II-Frakturen ist ein Halo-Fixateur für mindestens 6 Wochen indiziert.

Traumatische Spondylolisthese C2

Frakturen des Typs I (sagittale Verschiebung <3,5 mm, keine Bandscheibenverletzung, Winkel zwischen Grundplatte C2 und Deckplatte von C3 nicht >11°) werden in einer Cervicalorthese über 8–12 Wochen ruhiggestellt (Abb. 15.14). Auch Typ-II-Frakturen können nach Reposition im Halo-Fixateur behandelt werden. Bei irreponiblen Brüchen oder hochinstabilen Frakturen vom Typ III nach Josten (durch Hyperextension) sollte jedoch eine ventrale Spondylodese mit einem Beckenkammspan in Höhe C2/C3 erfolgen. Bei polytraumatisierten intensivpflichtigen Patienten (kinetische Atemtherapie) sollte bei Instabilität immer operiert werden.

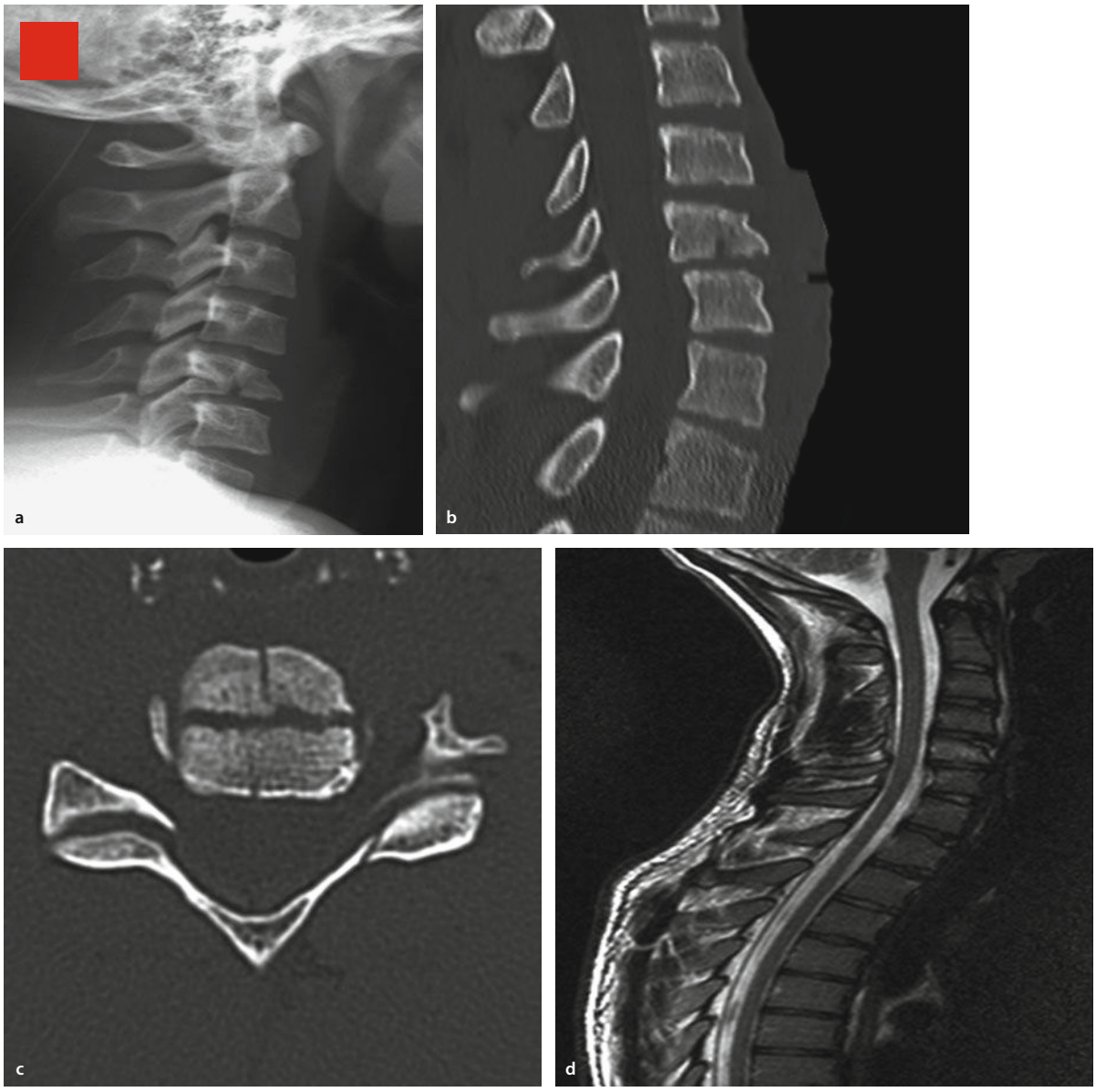


Abb. 15.15. 17 Jahre, männlich. Snowboard-Sturz. Tear-drop-Verletzung von C5, Typ A2.2, (koronarer und sagittaler Spaltbruch). **a** Röntgenbild seitlich, **b** CT sagittal, **c** CT axial. **d** Das MRT beweist eine eher »einfache« Form der Tear-drop-Verletzung, keine Beteiligung dorsaler Strukturen, hinteres Längsband intakt. Konservative Behandlung, Orthese

Verletzungen der unteren Halswirbelsäule C3-C7

Typ A1. Bis zu einer kyphotischen Knickbildung von 20° können diese konservativ in einer harten Cervicalorthese über 12 Wochen ausbehandelt werden.

Typ A2. Reine sagittale Spaltbrüche können gut konservativ mittels Cervicalorthese über 12 Wochen ausbehandelt werden (Abb. 15.15).

Typ A3. Eine konservative Behandlung ist bei diesen instabilen Frakturformen in den meisten Fällen (Berstungsbrüche) nicht empfehlenswert.

Typ B1. Eine konservative Behandlung ist bei unverletzter ventraler Säule in der Cervicalorthese für 6–8 Wochen möglich, zuvor sind zur Überprüfung der Stabilität ein MRT und bei weiterbestehender Unsi-

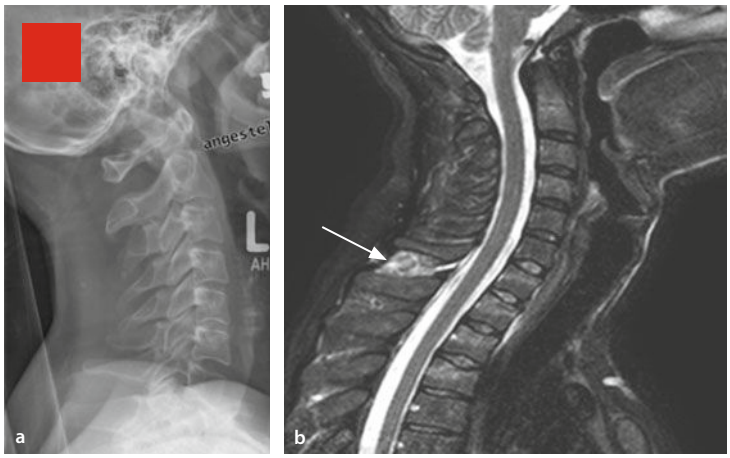


Abb. 15.16. 36 Jahre, weiblich. Pkw-Frontalzusammenstoß. HWS-Distorsion, radiologisch unauffällig. Wegen Schmerzpersistenz MRT, hier Nachweis einer Zerreißung der ligamentären dorsalen Strukturen (*Pfeil*), Infraktion der Deckplatte von C7, Typ B1.2. Stabile Situation in Funktionsaufnahmen. Konservative Behandlung, Orthese

cherheit geführte Funktionsaufnahmen vorzunehmen (Abb. 15.16).

Typ B2, B3, Typen C1-C3. Eine konservative Behandlung wird von den Autoren nicht empfohlen, da es sich um Brüche mit Verletzung mehrerer Säulen handelt. Sie sind demzufolge instabil.

15.1.6 Therapeutisches Vorgehen

Operative Therapieverfahren

Prinzipiell sind *ventrale, dorsale* und *kombinierte Operationsverfahren* möglich.

Wichtig

Es sollten nur so wenige Bewegungssegmente wie möglich versteift werden.

Notfalloperationen sind gerechtfertigt bei Myelonkompressionen mit und ohne neurologisches Defizit, Progredienz neurologischer Ausfälle und bei hochgradig instabilen Verletzungen mit nicht retinierbarer Instabilität. Ausschlaggebend ist neben den patientenbezogenen Faktoren (Verletzungsart, Zustand des Patienten, Zusatzverletzungen) Erfahrung und »Schule« des Operateurs.

Instabile Verletzungen sollten unseres Erachtens wenn immer möglich von ventral operiert werden (Abb. 15.17, 15.18), selten ist eine kombiniert ventrodorsale oder auch dorsoventrale Versorgung angezeigt. Die Entlastung des Rückenmarks ist nahezu immer durch Reposition der Fraktur und eine rein ventrale Versorgung möglich. Indikationen zum hinteren Zugang bestehen selten. Sie betreffen Einengungen der Neuroforamina oder des Wirbelrohrs von dorsal, wie beispielsweise Verhakungen oder Verrenkungsbrüche, oder rein dorsale ligamentäre Verletzungen.

Gründlich muss die Indikation zur Osteosynthese bei osteroporotischen Frakturen geprüft werden. Hier ist ggf. auch bei instabilen Frakturformen eine konservative Therapie gerechtfertigt (starre Cervicalstütze, Halo-Fixateur). Frakturen bei M. Bechterew bedürfen einer besonderen Beachtung (s. unten). Wir führen immer eine postoperative Computertomographie der Spondylodese mit multiplanaren Rekonstruktionen zur Qualitätskontrolle (Stellung der Fraktur, Materiallage) durch.

Schraubenosteosynthese

Die Schraubenosteosynthese hat insbesondere in der Stabilisierung von Frakturen der oberen Halswirbelsäule eine große Bedeutung. Es werden vorzugsweise kanülierte Titanschrauben des Kleinfragmentinstrumentariums mit 3,5 mm Durchmesser oder Doppelgewindeschrauben, z. B. sog. Knörringer-Schrauben genutzt. Die Schraubenosteosynthese kommt häufig in Kombination mit anderen Verfahren (Cerclagen, Plattenosteosynthesen C0/C1) zur Anwendung. Die dorsalen Verfahren sollten wegen oft erheblicher Schäden der Nackenmuskulatur zurückhaltend eingesetzt werden.

Wichtig

Dringliche Indikationen für ein primär dorsales Verfahren sind jedoch die nicht reponible Verhakung der kleinen Wirbelgelenke und neurologische Probleme durch Druck der Frakturfragmente auf die Nervenwurzeln.

Die dorsale atlantoaxiale Spondylodese nach Magerl ist eine Kombination der beidseitigen transartikulären Verschraubung zwischen C1 und C2 von dorsal mit einer Cerclage in der Technik nach Gallie mit Implantation eines Beckenkammspans. Diese Konstruktion hat eine höhere Stabilität im Vergleich zur alleinigen Technik nach Gallie oder anderen Cerclage-Techniken, z. B. nach

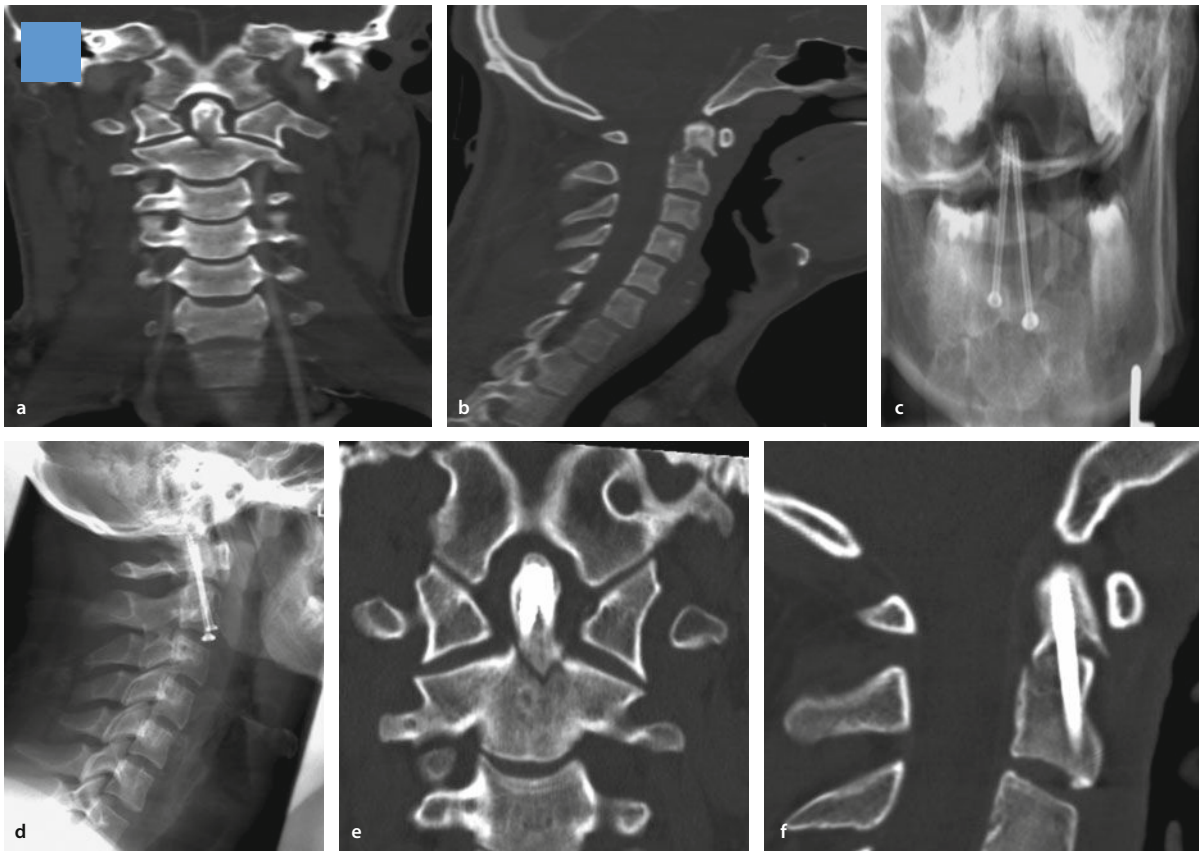


Abb. 15.17. 37 Jahre, männlich. Sturz vom Baum. Dens-axis-Fraktur Typ II, instabil. Flexionsfraktur mit ventraler Dislokation des Dens. Das initiale CT (**a, b**) wurde zum Ausschluss einer Dissektion der A. vertebralis mit Kontrastmittel vorgenommen. Postoperative radiologische Kontrolle (**c, d**): Regelrechter Fragmentstand nach doppelter kanülierter Verschraubung von ventral. Das postoperative CT (**e, f**) beweist die regelrechte Fragmentstellung und Lage der Schrauben

Brooks. Eine harte Cervicalorthese ist postoperativ für 6 Wochen mindestens notwendig.

Die direkte Verschraubung nach Magerl ist gut geeignet zur Versorgung der dislozierten Jefferson-Fraktur, aber auch bei atlantoaxialer Dissoziation, und behandelt die bei der Jefferson-Fraktur oft gleichzeitig auftretende Densfraktur mit. Die Verschraubung zwischen C1/C2 nach Magerl wird häufig in die Plattenosteosynthese der atlantooccipitalen Dissoziation einbezogen [31]. Eine Verletzung der A. vertebralis ist unbedingt zu vermeiden. Daher ist ein sorgfältiges Studium des Arterienverlaufs im Computertomogramm präoperativ obligat.

Der Schraubeneintrittspunkt liegt in sagittaler Richtung direkt oberhalb des Gelenkfortsatzes von C2. Die Neigung nach cranial erfolgt so weit, dass die Spitze auf den mittleren bis cranialen Atlasteil in der seitlichen Ebene zielt. Der erste Bohrer wird belassen, bis die kontralaterale Schraube gesetzt ist. Das Gewinde wird bis über das atlantoaxiale Gelenk geschnitten, um Dislokationen zu verhindern.

Die dorsale Schraubenosteosynthese nach Judet für die Therapie der traumatischen Spondylolisthese C2 (Abb. 15.18, 15.19) ist ein elegantes – da kein Bewegungssegment versteifendes –, jedoch aufwendiges und technisch schwieriges Verfahren. Insbesondere die Verletzungsgefahr der Aa. vertebrales ist zu beachten (Abb. 15.20).

Aufgrund der wichtigen anatomischen Strukturen in unmittelbarer Nachbarschaft können gravierende Komplikationen auftreten. Zu nennen sind Myelonschädigung, epidurale Blutung, A.-vertebralis-Verletzung (Intimadissektion, Aneurysma spurium) sowie vertebrobasiläre Insuffizienzen. Die Komplikationen sind bei der Patientenaufklärung ausdrücklich zu erwähnen.

In der Stabilisierung von Dens-axis-Frakturen vom Typ II hat sich die doppelte Verschraubung von ventral bewährt. Vorteil ist bei richtiger Anwendung die stabile Kompression der Fraktur. Diese gelingt durch Überschreiten der Densspitzencorticalis durch je einen Gewindegang (Abb. 15.17).

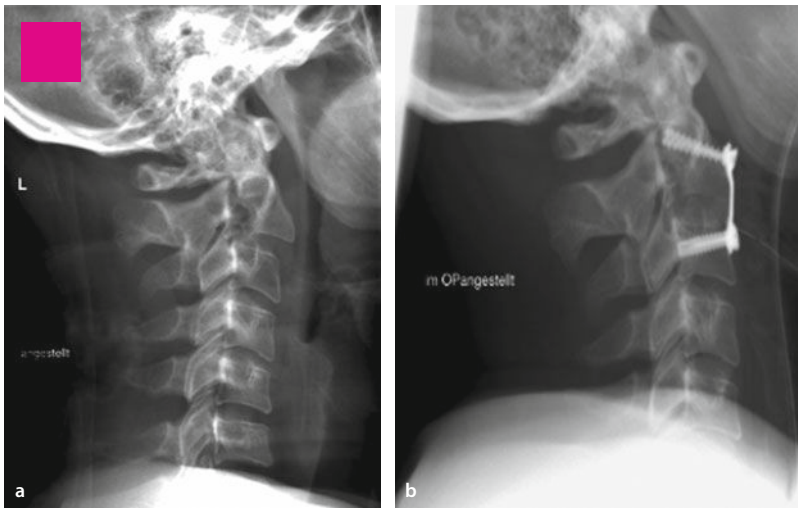


Abb. 15.18. 30 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Traumatische Spondylolisthese, Typ Effendi II, Josten III, Dehiszenz zwischen Bogen und Wirbelkörper >3,5 mm, Bandscheibe defekt. Zerrissenes vorderes Längsband mit hoher Instabilität bei Hyperextension. Ventrale monosegmentale Spondylodese C2/3 mit Beckenkammspan und H-Plättchen, regelrechtes Hinterkanten-Alignement

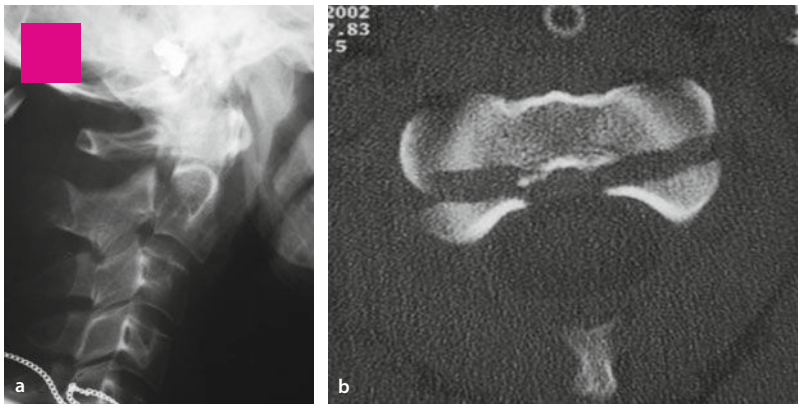


Abb. 15.19. 19 Jahre, männlich. Motorradunfall. *Ähnlicher Fall wie in Abb. 15.18.* Traumatische Spondylolisthese C2, Typ Effendi II, Josten II, Dehiszenz der Fraktur >3,5 mm, instabil. **b** Axialer CT-Schnitt, Flexionsmechanismus, intaktes vorderes Längsband

Die *Lagerung* zur Operation ist nahezu ebenso schwierig und zeitaufwendig wie der Eingriff.

Wichtig

Mit der sog. K-Draht-Probe sollte immer geprüft werden, ob der Dens komplikationslos erreicht werden kann.

Als günstig hat sich die Unterstützung des Nackens mit einer röntgendurchlässigen Rolle erwiesen, um Dislokationen in der Sagittalen zu beheben. Die Anordnung von 2 Bildwandlern in a.-p.- und seitlicher Position zueinander ist notwendig, um die K-Drähte bzw. Schrauben exakt platzieren zu können.

Bildwandler, die eine Berechnung eines 3-D-Datensatzes aus 2-D-Bildern erlauben, können zur intraoperativen Qualitätskontrolle (Schraubenlage) eingesetzt werden und werden von den Autoren ausdrücklich empfohlen [32].

Plattenosteosynthese

Es stehen neben speziellen Plattensystemen kleine, anmodellierbare H-Plättchen, moderne Plattensysteme mit Spreizschrauben zur besseren Verankerung im osteoporotischen Knochen sowie winkelstabile Implantate zur Verfügung (Abb. 15.18 [33]). Die Lagerung des Patienten sollte unter Zuhilfenahme spezieller Vorrichtungen wie z. B. Mayfield-Klammern vorgenommen werden. Vor Beginn der Operation sollte mit dem Bildwandler das Operationsgebiet in 2 senkrecht zueinander stehenden Ebenen sicher darstellbar sein.

Gegebenenfalls muss ein Längszug auf beide Arme ausgeübt werden, um den unteren Abschnitt der HWS sicher einsehen zu können.

Die Versorgung der atlantooccipitalen Dissoziation mit speziellen Platten oder Platten-Stab-Systemen ist ein selten angewandtes und auch die Lagerung betreffend aufwendiges und technisch schwieriges Verfahren.

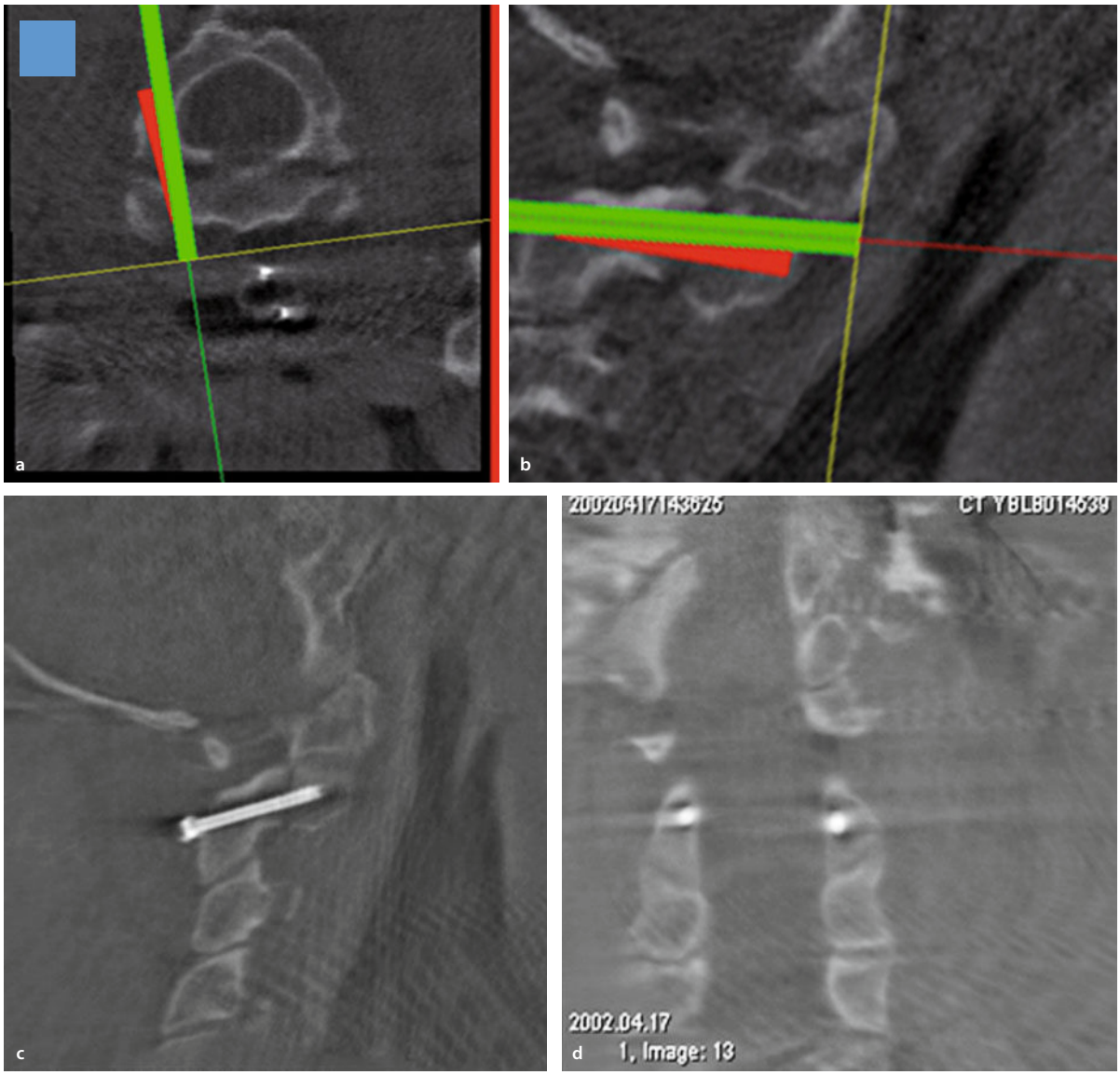


Abb. 15.20. 40 Jahre, männlich. Sprung aus dem 4. Stock (Suizidversuch). *Ähnlicher Fall wie in Abb. 15.18.* Entscheidung zum dorsalen Vorgehen bei intaktem vorderem Längsband. Doppelte navigationsunterstützte Judet-Verschraubung (*rot* geplante Schraubenlänge, **a**, **b**). Postoperative Lagekontrolle im CT (**c**, **d**)

Kompliziert kann neben der Verankerung der Platte am Hinterkopf (monocorticale Schraubenlage) und daraus möglichen resultierenden Plattenlockerungen auch die richtige Einstellung des Kopfes zur HWS sein.

Die Versorgung der traumatischen Spondylolisthese von C2 unterscheidet sich nicht wesentlich in ihrem Vorgehen von den instabilen Frakturen der unteren HWS. Der Zugang zur ventralen Halswirbelsäule verläuft leicht schräg entlang der Hautspaltlinien am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus, je nach Händigkeit des Operateurs von links oder rechts.

Zu beachten und zu schonen sind in jedem Fall die Gefäß- und Nervenstrukturen als auch Trachea und Ösophagus. Selbsthaltende Spreizer (Caspar) erleichtern das Zurückhalten der Weichteile, sog. Repositeure sorgen für eine vorübergehende Stabilisierung und leichtere Exploration der Wirbelkörper.

Nach Darstellung der ventralen Wirbelsäule wird der betroffene Bandscheibenraum ausgeräumt und ggf. der frakturierte Wirbelkörper reseziert. Zur Entfernung von Spondylophyten, Zurichtung von Grund- und Deck-

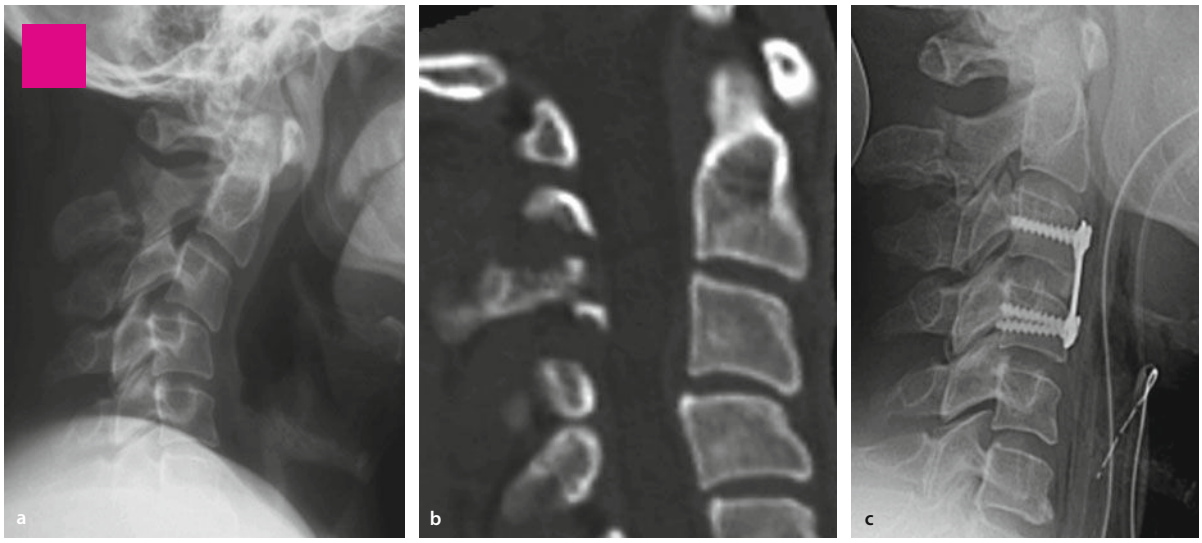


Abb. 15.21. 27 Jahre, männlich. Sprung in unbekanntes Gewässer. Fraktur von C3 mit Bogenfraktur, Subluxation der Facettengelenke im Segment C3/4 mit hinterer Längsbandzerreißung, sog. Flexionsspondylolyse Typ B2.2 (**a** seitliches Röntgenbild, **b** CT sagittal). Therapie: Ventrale monosegmentale Spondylodese; Einbringung eines Beckenkammspans nach Ausräumung der Bandscheibe (**c**)

platte der angrenzenden Wirbelkörper und vollständigen Wirbelkörperresektion eignen sich oszillierende Fräsen. Dann wird eine mono- oder mehrsegmentale Spondylodese mit tricorticalen Beckenkammspänen, Körbchen (Distraktions-Cages) oder Spacern, z. B. aus Titan, vorgenommen. Über den ventralen Zugang ist auch eine Reposition verhakter Verrenkungen mit Spreizzangen möglich. Die Spondylodese wird mit einem H-Plättchen gesichert (Abb. 15.21).

Während bei den herkömmlichen Implantaten das Überwinden der Wirbelkörperhinterkante mit einem Schraubengewinde empfohlen wird, ist bei den neueren Spreizschrauben- oder winkelstabilen Systemen eine Verankerung der Schrauben im spongiösen Knochen ausreichend. Zwingende Indikationen für dieses Verfahren stellt die traumatische Spondylolisthesis Typ III und IV nach Josten dar. Sollte beim Typ IV eine Reposition im Halo-Fixateur oder offen über einen ventralen Zugang nicht möglich sein, muss von dorsal offen reponiert und anschließend mittels Spaninterposition von ventral die Spondylodese durchgeführt werden.

Cerclage/Zuggurtung

Notwendig ist hier ein dorsaler Zugang. Der Hautschnitt sollte streng in der Mittellinie liegen, es wird bis auf die Dornfortsätze vorgegangen und die Muskulatur nach beiden Seiten subperiostal bis auf die Wirbelbögen abpräpariert und zur Seite gehalten. Mit diesem Vorgehen ist die Gefahr der Verletzung der Aa. vertebrales am geringsten.

Um die Cerclagen zu platzieren, ist es erforderlich, die Wirbelbögen mit feinen Dissektoren zu unterfahren und die Innenseiten der Bögen freizumachen. Bei der *Fusion C1/2 nach Brooks* werden 2 Draht-Cerclagen zwischen den dorsalen Bögen über 2 Beckenkammspänen verdrillt.

Die *Technik nach Gallie* ist unkomplizierter, hier wird ein Cerclage-Draht um den Wirbelbogen von C1 und den Dornfortsatz von C2 geführt, ein zugerichteter Beckenkammspan wird mit den verdrillten Cerclage-Drahtenden befestigt. Die Konstruktion ist instabiler, eine Orthesenruhigstellung ist notwendig. Die Pseudarthroserate wird in der Literatur mit bis zu 30% angegeben. Als Teil des Eingriffs erhöht diese Cerclage-Technik die Stabilität einer transartikulären Verschraubung nach Magerl (s. oben).

Frakturformen und ihre Versorgung

Nachfolgend wird auf die operative Versorgung der einzelnen Verletzungen eingegangen, es handelt sich um eine Empfehlung der Autoren.

Occipitalcondylen C0/atlantoocipitale Dissoziation C0/C1

Die Condylenverletzung Jeanneret Typ II–IV mit atlantooccipitaler Dissoziation wird operativ durch eine dorsale Spondylodese von C0 bis C2/3 behandelt (Abb. 15.10). Hier eignen sich dorsale zuggurtende Verfahren, bei denen allerdings die ventrale Säule intakt sein muss. Die Bauchlagerung erfolgt durch Drehung »en bloc«, wobei

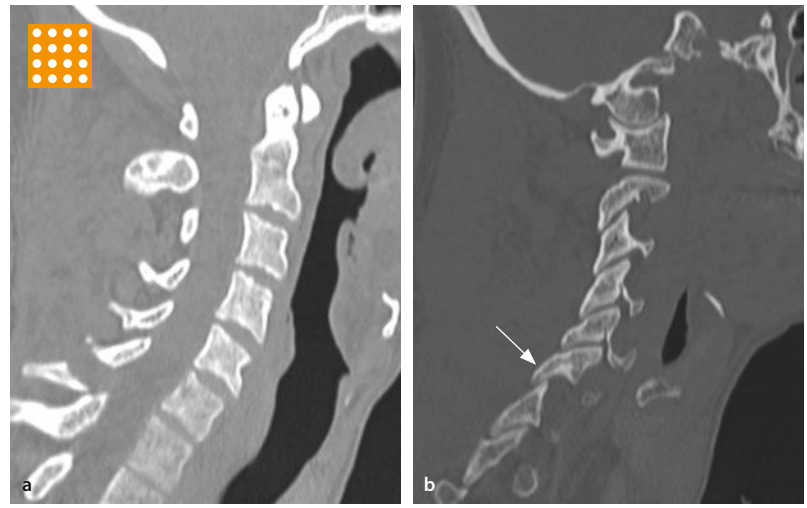


Abb. 15.22. 35 Jahre, weiblich. Polytrauma nach Überschlag mit dem PKW. Verletzung Typ B2.2 im Segment C6/7, Zerreißung durch den Dornfortsatz und die Bandscheibe. Im CT »reitendes« Facettengelenk als Ausdruck der Subluxation (**b** *Pfeil*); instabil

der Chirurg den Kopf führt. Eine Bildwandlerkontrolle direkt nach der Lagerung ist durchzuführen. Die Implantation der 3,5-mm-Schrauben sollte in Stoß-Bohr-Technik erfolgen, wobei immer nur wenige mm vorgegangen wird. In Höhe C2 erfolgt die Bohrrichtung um 25° nach medial und cranial gekippt. Die Schraubenspitzen werden subchondral platziert. Der Winkel zwischen Occiput und HWS ist auf 90–100° einzustellen.

Frakturen des Atlas C1

Instabile Verletzungen vom Typ III (Jefferson-Fraktur) sollten mit einem Halo-Fixateur oder operativ durch eine dorsale transartikuläre Verschraubung von C2–C1 nach Magerl versorgt werden. Interessant ist als Alternative eine Stabilisierung des Altasrings durch einen dorsalen Fixateur interne mit Pedikelschraubenlage in beiden Altlasmassiven. Dabei kann mit dem Fixateur im Sinne einer Zuggurtung von dorsal der Atlasring stabilisiert werden.

Fraktur des Axis C2

Dens. Die instabilen Frakturen vom Typ II sollten von ventral mittels Doppelschraubenosteosynthese versorgt werden (Abb. 15.17). Es ist darauf zu achten, dass der letzte Gewindegang die Spitze des Dens erreicht (s. oben).

Korpus. Die instabilen Typen II und III der Spondylolisthesis nach Effendi empfehlen wir, von ventral durch eine Spondylodese zwischen C 2 und 3 zu fusionieren (Abb. 15.18).

Verletzungen der unteren Halswirbelsäule C3–C7

A1. Bei Knickbildungen >20° sollte eine monosegmentale ventrale Spondylodese vorgenommen werden.

A2. Frontale Spaltbrüche und die sog. Tear-drop-Verletzungen sollten operiert werden wenn:

- sich neurologische Defizite einstellen,
- die Wirbelkörperhinterkante nach dorsal verlagert ist,
- eine Kyphose droht oder besteht.

A3. Sie sind eine Indikation für eine ventrale mono- oder bisegmentale Spondylodese.

B1. Bei eindeutiger Instabilität empfiehlt sich eine dorsale Zuggurtungsosteosynthese mit Cerclagen. Alternativ kann auch ein Fixateur interne angewandt werden.

B2. Auch hier besteht bei den Verletzungstypen B2.1 und B2.2 die Indikation zur dorsalen Zuggurtung (Abb. 15.22, 15.23) Ist zusätzlich eine Fraktur der ventralen Säule zu verzeichnen (Typ B2.3), sollte eine ventrale Spondylodese mittels Plattenosteosynthese erfolgen (Abb. 15.24).

B3. Wir empfehlen bei diesen Frakturformen die ventrale Spondylodese (Abb. 15.25, 15.26).

C1–3. In allen Fällen wird von uns eine ventrale Spondylodese mittels Beckenkammspan und Platte vorgenommen (Abb. 15.27–15.29).

Komplikationen

Hier sind zunächst die *zugangsbedingen* Komplikationen zu nennen (s. auch unten). Dazu gehören beim ventralen Zugang neben Stimmbandlähmungen (bis zu 5%) Komplikationen der oberen Atemwege, Verletzungen des Öso-

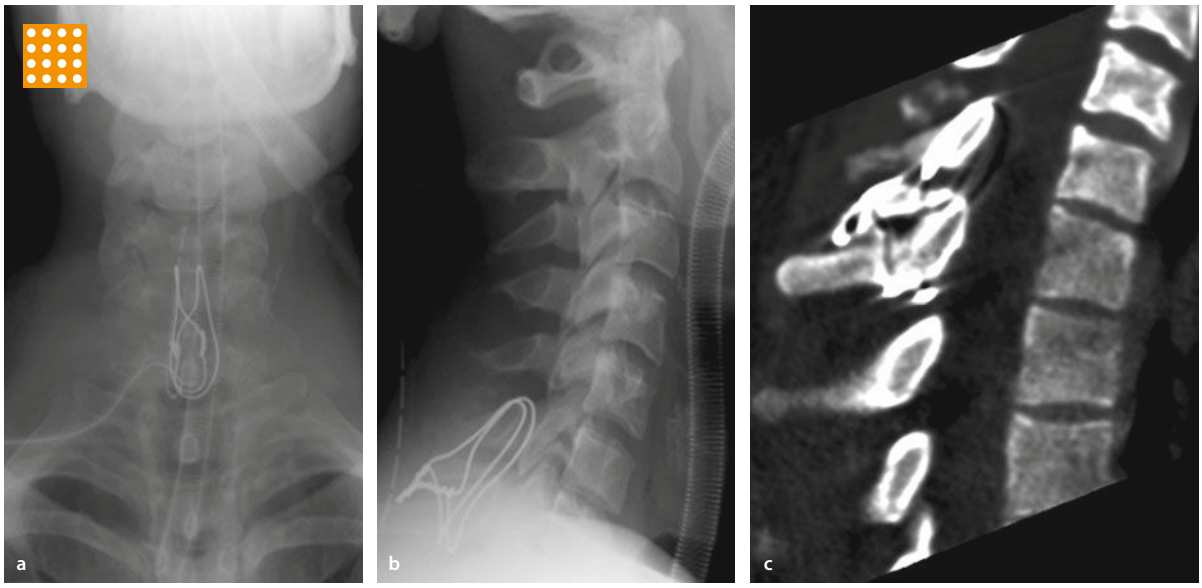


Abb. 15.23. 15 Jahre, männlich. Skisturz. Dorsale Spondylodese mittels Zuggurtung (Cerclagen) zwischen C6/7, additive Spongiosaplastik (**a, b**). Im postoperativen CT regelrechte Stellung (**c**)

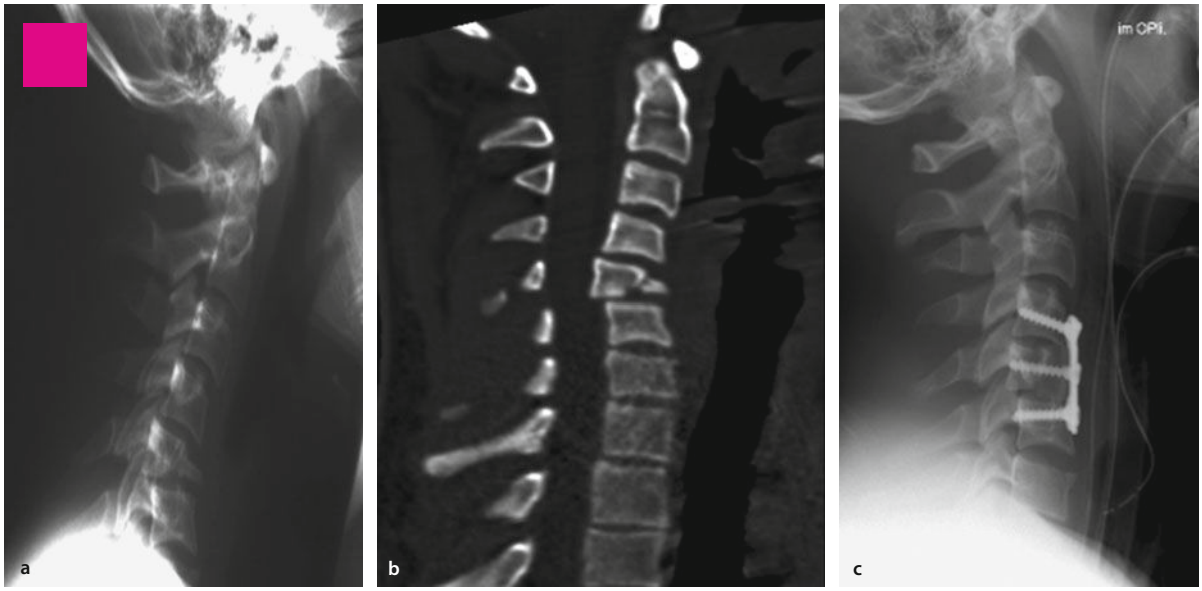


Abb. 15.24. 25 Jahre, männlich. Sprung in unbekanntes Gewässer. Tear-drop-Verletzung des 5. HWK (**a**). Im CT (**b**) zeigt sich die Verletzung der dorsalen Strukturen (Dornfortsatz), Klassifikation B2.3, instabil. Ventrale bisegmentale Spondylodese C4–6 mit Beckenkammspan und H-Plättchen, Fixation des Spans mit einer Plattenschraube (**c**)

phagus, Schluckstörungen und am meisten gefürchtet die Myelonbeeinträchtigung mit nachfolgender Verschlechterung der neurologischen Ausgangssituation [30]. Bei den dorsalen Zugängen sind operationstechnische Komplikationen eher selten, sie betreffen Wurzelläsionen, Innervationsstörungen der Muskulatur, narbenbedingte Muskelfunktionsstörungen und in 0,3% Verletzungen der A. vertebralis.

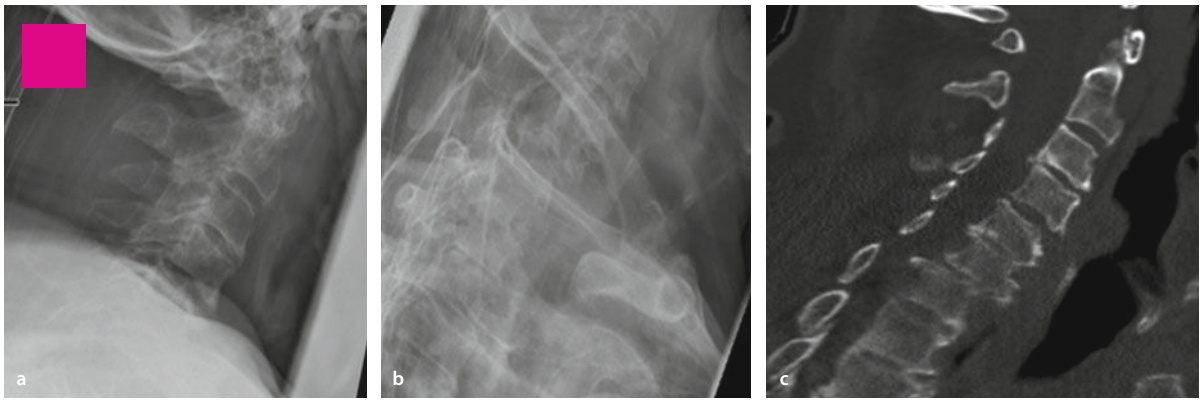


Abb. 15.25. 75 Jahre, männlich. Treppensturz. Initial übersehene (**a** nicht aussagefähiges Röntgenbild) Hyperextensions-Scher-Verletzung B3.1 im Segment C6/7, in der »Schwimmeraufnahme« (**b**) gerade erkennbar, hoch instabil. CT zur weiteren Abklärung unabdingbar (**c, d**): Das CT bestätigt die Luxation im Segment C6/7 mit Verhakung beider kleiner Wirbelgelenke (**d** *Kreis*). **e** Reposition, ventrale monosegmentale Spondylodese C6/7 mit tricorticalem Beckenkammspan und H-Plättchen



Abb. 15.26. 50 Jahre männlich, Polytrauma nach Pkw-Unfall. Fraktur im Segment C6/7 vom Typ B3.2 (Hyperextensionsspondylolyse), hoch instabil (**a, b** CT). Das MRT (**c**) bestätigt die Mitverletzung der Bandscheibe. **d, e** Ventrale monosegmentale Spondylodese mit tricorticalem Beckenkammspan und H-Plättchen, postoperativ regelrechte Stellung der Wirbelkörperhinterkanten

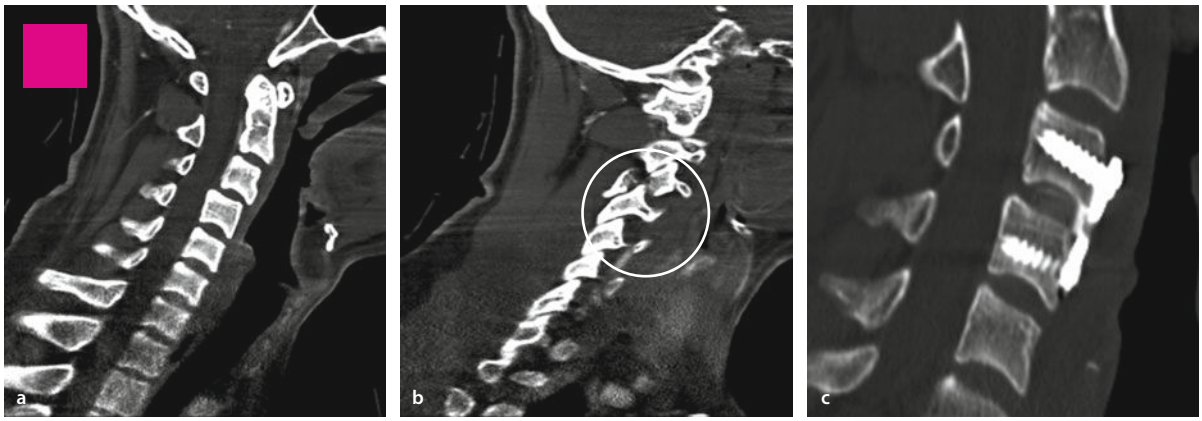


Abb. 15.27. 33 Jahre, männlich. Sturz von einem Gerüst. Verletzung Typ C 2.2. CT mit Dislokation im Segment C3/4 (**a**); einseitige Facettenfraktur mit Verhakung (**b** *Kreis*). Instabilität im Segment C3/4 (ventrale Subluxation von C3). **c** Reposition, ventrale monosegmentale Spondylodese mit Beckenkammspan und H-Plättchen C3/4



Abb. 15.28. 73 Jahre, männlich. Sturz von einem Baum. Keine neurologischen Defizite, M. Bechterew. **a–c** Luxationsfraktur mit Wirbelkörperzerreißung C5 und Rotation, sog. Slice-Fraktur, Typ C3.1; hoch instabil, Kombination mit Fraktur des Dens axis Typ II. **d–f** Doppelte Verschraubung des Dens axis von ventral, ventrale Spondylodese von C3/4 auf C5/6 mit Beckenkammspaninterposition: Zur besseren Verankerung im Knochen wurde ein Spreizschraubensystem genutzt

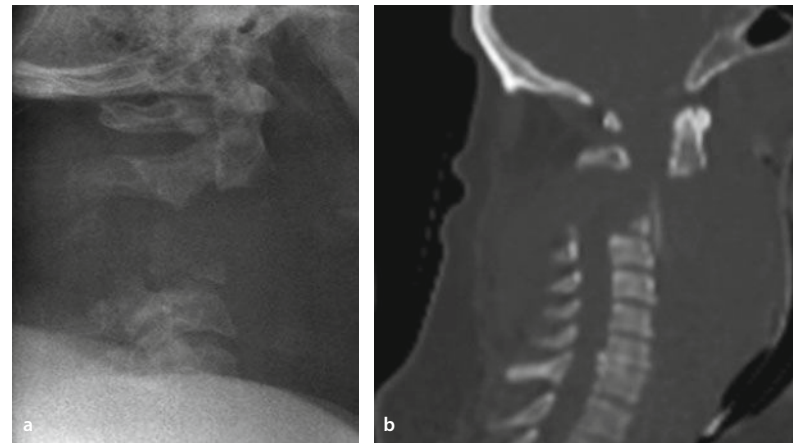


Abb. 15.29. 28 Jahre, männlich. Schwerer Pkw-Unfall. Schwerste Zerreißungsverletzung im Segment C2/3, komplette Separation, Typ C3.3 (diese Verletzung wurde nicht überlebt)

Neben der Verwendung eines ungeeigneten Implantates sind die falsche Indikation und Operationsplanung, eine unangemessene operative Technik, eine Implantatfehllage, eine Implantatüberforderung mit nachfolgendem Versagen desselben sowie die Fehleinschätzung der Knochenqualität und damit eine unzureichende Stabilität der Versorgung als Komplikationen anzusehen. Ein ernstes Problem ist die Dislokation des Knochenspans in Richtung Wirbelrohr mit nachfolgender neurologischer Störung. Hier sollte die Spondylodese sofort korrigiert werden.

15.1.7 Nachbehandlung

Konservativ behandelte Frakturen des Atlas werden 12 Wochen im Halo-Fixateur ruhiggestellt. Bei konservativ behandelten Frakturen des Axis (Dens, Corpus) empfehlen wir die Ruhigstellung in einer harten Orthese für 12 Wochen. Nach 1, 2, 6 und 12 Wochen sollte eine Röntgenkontrolle der HWS in 2 Ebenen vorgenommen werden (Zielaufnahme Dens axis), um rechtzeitig sekundäre Dislokationen zu entdecken. Zum Nachweis der Frakturkonsolidierung fertigen wir vor Abnahme der Orthese ein CT mit multiplanaren Rekonstruktionen an.

Nach occipitocervicalen Fusionen empfehlen wir eine harte Orthese bis zur Wundheilung und anschließen eine weiche Orthese bis zur 8. Woche. Schraubenosteosynthetisch versorgte Dens-axis-Frakturen stellen wir ebenfalls 12 Wochen in einer Orthese ruhig. Die übrigen versorgten Frakturen benötigen für 6 Wochen eine Ruhigstellung in einer Orthese, nach 12 Wochen empfehlen wir ein Computertomogramm mit Rekonstruktionen zum Nachweis der knöchernen Konsolidierung. Nach Abnahme der Orthese ist zur Wiederherstellung der HWS-Funktion eine gezielte Physiotherapie mit Mobilisierungstechniken, manueller Therapie und Wärmeanwendungen zu empfehlen.

15.1.8 Sonderformen

Besonderheiten in der Frakturbehandlung bestehen bei Kindern, osteoporotischen Frakturen und bei anderen Knochenerkrankungen wie dem M. Bechterew.

Kinder. Kindliche Wirbelsäulenfrakturen sind sehr selten; die Inzidenz liegt bei 1–27 Verletzungen pro 1 Mio. Kinder in Europa [34]. Angaben über den relativen Anteil der HWS schwanken zwischen 29 und 76%, Verletzungsschwerpunkt ist die obere Halswirbelsäule aufgrund des überproportional großen Kopfs. Jungen sind zu etwa 2/3 betroffen.

Bei etwa 2/3 aller Kinder mit Rückenmarkläsionen wird das SCIWORA-Syndrom (▶ Kap. 15.1.4) beobachtet. Grundsätzlich gelten für sie dieselben Behandlungskriterien wie für Erwachsene [35]. An der HWS kann es bei Kindern bis zu 8 Jahren zu einer Lösung der unteren Epiphysenplatte kommen (Salter I). Diese kann das Wachstum beeinträchtigen und muss z. B. mittels MRT ausgeschlossen werden. Aus therapeutischer Sicht ist es zweckmäßig, in undislozierte, gering, mäßig und stark dislozierte Frakturen zu unterscheiden.

Bei erheblicher Schmerzsymptomatik trotz unauffälligem Röntgenbild hat sich die Magnetresonanztomographie zum Ausschluss undislozierter Frakturen oder »bone bruises« bewährt. Zu beachten sind die Ossifikationszentren und die zeitlich versetzten Synostosen, hier sei auf spezielle Literatur verwiesen. Ein sog. Os odontoideum (Trennung von Dens und Axiskörper) kann angelegt, aber auch traumabedingt vorliegen und muss von einer

frischen Fraktur unterschieden werden. Densfrakturen bei Kindern bis zu etwa 12 Jahren werden konservativ behandelt.

Zu beachten ist auch die sog. »Pseudosubluxation«. Hier handelt es sich um eine Hypermobilität in den Segmenten C2/3 und C3/4. Sie muss von der traumatischen discoligamentären Instabilität durch subtile klinische Untersuchung, Röntgenaufnahmen und ggf. gehaltene Aufnahmen unterschieden werden [36]. Am wachsenden Skelett sollte konservativ behandelt oder – wenn nicht anders möglich – von dorsal stabilisiert werden; bei Kleinkindern finden hier überwiegend Cerclagen Anwendung.

Osteoporotischer Knochen. Diese Frakturen sollten bevorzugt konservativ behandelt werden. Wir empfehlen die Ruhigstellung in einer starren Orthese über 12 Wochen. Die Behandlung im Halo-Fixateur wird häufig von den betagten Patienten nicht toleriert, nicht selten sind Pin-Infektionen oder -Ausrisse zu beobachten [29]. Pseudarthrotisch verheilte Frakturen bereiten den Patienten auch unter Berücksichtigung der verminderten Mobilitätsansprüche nur selten Beschwerden.

M. Bechterew. Bei Vorliegen eines M. Bechterew kommt es im Rahmen des Traumas zur Zerreißung eines versteiften Bewegungssegments oder eines Wirbelkörpers im Sinne einer instabilen Verletzung vom Typ B oder C. Aufgrund der fehlenden Elastizität verhält sich die Wirbelsäule hier wie ein Röhrenknochen; Frakturverschiebungen und Verletzungen von Myelon und Nervenwurzeln sind häufiger und schwerwiegender. Die zugrunde liegende Gewalt ist oft gering. Es handelt sich in der Regel um einen Hyperextensionsmechanismus. Frakturen der Bechterew-HWS werden oft übersehen, die Indikation zum Computertomogramm oder ggf. Magnetresonanztomogramm muss großzügig gestellt werden

Wichtig

Mehrhöhenverletzungen sind auszuschließen.

Die Indikation zur konservativen Therapie besteht aufgrund der hohen Gefahr der sekundären Dislokation mit neurologischen Folgen selten. Um eine sichere Stabilisierung zu gewährleisten, ist eine langstreckige Fusion erforderlich. Die Anwendung von Spreizschrauben- oder winkelstabilen Plattensystemen hat sich bewährt. Einige Autoren empfehlen zusätzlich eine dorsale Zuggurtung durch einen Fixateur interne [37].

Mehrfachverletzung/Polytrauma. Wichtig ist der Zeitpunkt der Versorgung beim Mehrfachverletzten und insbesondere beim Polytraumatisierten, wo Wirbelsäulenverletzungen bei 13–34% beobachtet werden. Bei einem Score von <8 auf der GCS ist mit einer Verdopplung von HWS-Verletzungen zu rechnen [2].

Bei instabilen Verletzungen vom Typ B und insbesondere Typ C, aber auch bei spinaler Stenosierung, neurologischen Störungen und offenen Verletzungen sollte die Erstoperation nach Kreislaufstabilisierung und Durchführung der Notfalloperationen wenn immer möglich zeitnah – also als sog. »day one surgery« – durchgeführt werden, um rasch eine Dekompression, Stabilisierung und sichere Lagerbarkeit des Patienten zu erreichen. Die systemische Belastung des Patienten durch die Stress- und Entzündungsreaktion wird dadurch reduziert. Verpasst man diesen Zeitpunkt, ist oft erst eine wesentlich spätere Operation bei auftretenden Komplikationen möglich. Dies ist unbedingt zu vermeiden.

15.1.9 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Auf wesentliche Probleme der Versorgung von Verletzungen der Halswirbelsäule wurde bereits eingegangen. Einige wichtige Punkte sollen nochmals näher erläutert werden.

Die Bedeutung der *richtigen Indikationsstellung* für einen operativen Eingriff wird erneut betont. Eine entsprechende Einteilung der Frakturen haben wir versucht vorzunehmen. Immer sollte bei Unklarheit über die Stabilitätssituation die Möglichkeit einer MRT-Untersuchung und der Stabilitätsprüfung unter Bildwandlerkontrolle genutzt werden.

Wichtig

Bei stark dislozierten Frakturen/Luxationen und Verletzungen mit neurologischem Defizit sollte unverzüglich operiert werden, um die neuronalen Strukturen schnell zu entlasten.

Alle anderen Frakturen können nach einer adäquaten Ruhigstellung geplant stabilisiert werden.

Nicht zu vergessen ist bei der Indikationsstellung für eine Operation die nicht unerhebliche *Zugangsmorbidität*. So berichten Seidl et al. [38] über ihre Erfahrungen in der Behandlung von 6 seltenen Verletzungen des Pharynx und proximalen Ösophagus nach ventralen Zugängen zur HWS. In einer anderen Arbeit berichtet derselbe Autor [39] von einer erheblichen Anzahl von Schluckproblemen nach ventralen Spondylodesen, meist aufgrund einer Schwellung und mit guter Prognose. In seiner Literaturrecherche zeigt sich eine Inzidenz von 5–80%. Ähnliches teilen Nothwang [30] und Capen [40] mit.

Wir bevorzugen, wenn möglich, den vorderen Zugangsweg und Instrumentierungen. Nur selten sind u. E. dorsale oder kombinierte Zugänge notwendig. Andere

Autoren bevorzugen gerade hintere Zugänge bzw. in besonderen Situationen kombinierte Wege. Die Literatur zum Thema des geeigneten Zugangswegs zur Fraktur bezüglich der Vorteile einer ventralen oder dorsalen Instrumentierung und ihrer Stabilität ist vielfältig. Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, sodass die »Schule« des Operateurs für die Entscheidung eine große Rolle spielt. Aktuelle Beiträge zu diesem Thema spiegeln diese Kontroversen wider. Lambiris [41] berichtet über 53 nachuntersuchte Patienten nach ventralen Spondylodesen instabiler Frakturen der unteren Halswirbelsäule mittels Knochenspan und Plattenosteosynthese. Er findet 15% Fehlpositionierungen des Osteosynthesematerials, allerdings keine Pseudarthrosen, Dysphagien oder neurologische Komplikationen; inkomplette Rückenmarkläsionen besserten sich nach der Frankel-Skala um 1 Punkt.

Lifeso [42] analysiert retrospektiv 32 rotationsinstabile HWK-Frakturen, die mittels Brace, Halo-Fixateur oder dorsaler Spondylodese mit Fusion behandelt wurden, sowie über 18 durch ventrale Spondylodese mit Knochenspan versorgte Frakturen. Er findet in der konservativen Gruppe die schlechtesten Ergebnisse, dorsale Fusionen führten in 45% zu ungünstigen Ergebnissen (Spätkyphose, Discuskollaps, Instabilität). Die besten Ergebnisse mit solider Fusion und ohne verbliebene Deformität zeigte die ventrale Spondylodese.

Allerdings werden auch gegenteilige Resultate vorgestellt. Wegen einer signifikanten Komplikationsrate nach ventralen Spondylodesen (bei 88 Patienten 6 Dislokationen des Knochenspans, 36 Patienten mit durchschnittlich 22% Kyphosebildung bis zur knöchernen Fusion; 36 von 59 Patienten zeigten degenerative Veränderungen in den Anschlusssegmenten, häufiger tracheoösophageale Probleme und neurologische Defizite) empfehlen Capen et al. [40] wie auch andere amerikanische Autoren die Versorgung über einen dorsalen Zugang mit Cerclagen.

Koh et al. [43] finden an Kadaverpräparaten eine höhere Stabilität nach dorsaler Plattenosteosynthese mit intercorporalem Cage im Vergleich zur ventralen winkelstabilen Platte bei Flexions-Distraktions-Verletzungen oder Berstungsfrakturen. Gefolgert wird daher, dass eine rigidere postoperative Ruhigstellung mit einer Orthese bei alleiniger ventraler Spondylodese notwendig sei.

Für *Atlasfrakturen* ist die Prognose i. Allg. gut. Neurologische Ausfälle sind die Ausnahme, da es bei Instabilitäten aufgrund der Anatomie der Gelenkflächen zu einem Auseinanderweichen der Fragmente mit konsekutiver Erweiterung des Spinalkanals kommt. Schlechtere Ergebnisse werden bei konservativer Behandlung von Jefferson-Frakturen aufgrund der persistierenden Inkongruenz der Gelenkflächen erzielt. Auch bei den seltenen Massae-laterales-Frakturen verbleiben Beschwerden [4].

Eine besonders schwierige Entscheidung ist immer wieder das Vorgehen bei dislozierten *osteoporotischen Frakturen*. Abgesehen von den Frakturen mit neurologischem Defizit, die einer Entlastung der nervalen Strukturen und der operativen Stabilisierung bedürfen, sollte u. E. die Operationsindikation in diesen Fällen eng gestellt werden. Auch eine Reposition und Ruhigstellung im Halo-Fixateur ist oft komplikationsbehaftet [29]. Alternativ stellt darum für uns die konservative Frakturbehandlung in einer gut sitzenden Orthese das Verfahren der Wahl dar.

15.1.10 Begutachtung

Zu unterscheiden ist, ob die *Fraktur stabil oder instabil* ausheilte, ob erhebliche *Achsabweichungen* verblieben sind, ob und in welchem Ausmaß die stabilisierende Halsmuskulatur wieder aufgebaut ist und ob wesentliche Bewegungseinschränkungen bzw. *Funktionseinschränkungen* nach konservativ oder operativ behandelter Fraktur verblieben sind. Natürlich ist ein *neurologisches Defizit* (Radikulärsyndrom, Querschnittssyndrom) mit den entsprechenden Funktionsausfällen zu bewerten [44].

Gesetzliche Unfallversicherung. Frakturen der Dorn- und Querfortsätze verheilen i. Allg. ohne wesentliche funktionelle Einschränkungen und eine entsprechende Minderung der Erwerbsfähigkeit. Bei stabil verheilten Frakturen ist mit einem Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 0–10, bei instabil verheilten Brüchen von 10–20 zu rechnen. Bei einer vollständigen Halsmarkschädigung beträgt der GdB/MdE 100 mit entsprechenden Abstufungen nach unten je nach geringer werdendem Ausmaß des Schadens.

Private Unfallversicherung. Beurteilt wird hier die Invalidität, d. h. das, was an Unfallrückständen definitiv verbleibt. Gut verheilte Vorderkantenabbrüche oder Deckplattenimpressionen werden unabhängig vom betroffenen Wirbelsäulenabschnitt mit 5% beurteilt, je nach Ausmaß einer Wirbelkörperhöhenminderung oder gar -verformung wird zwischen 10 und 20% zuerkannt. Bei einer Höhenminderung und/oder Spondylose sowie bei operationsbedingtem Weichteilschaden oder verbliebenem Metallimplantat können zusätzlich 5–10% zuerkannt werden. Die neurologischen Defizite sind in einem gesonderten Gutachten zu erfassen.

15.2 Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule

Definition

Besprochen werden thorakale (Th) und lumbale (L) Wirbelkörperfrakturen von Th1 bis L5 gemeinsam, da sie funktionell und anatomisch vergleichbar erscheinen. Diese können isoliert, in unterschiedlicher Höhe kombiniert oder aber in benachbarten Wirbelkörpern auftreten.

Es ist jährlich mit etwa 8000 schweren Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule in Deutschland zu rechnen [1]. In der Verletztenstatistik überwiegen die Männer mit 2/3 der Frakturen und einem Altersgipfel zwischen 20 und 40 Jahren. Bezogen auf die Brust- und Lendenwirbelsäule liegt die Verletzungshäufigkeit im thoracolumbalen Übergang mit 62% am höchsten, gefolgt von der Region Th1–Th10 mit 24% und L3–L5 mit 14% [2,3].

Die meisten dieser Verletzungen können konservativ ohne operativen Eingriff behandelt werden. Es handelt sich dabei um stabile Verletzungen, bei denen auch bei Wiederaufnahme der Belastung keine Sekundärdislokation des Wirbelkörpers oder neurologische Ausfälle drohen. Bei etwa 20% der Frakturen hingegen handelt es sich um instabile Verletzungsformen, die durch einen operativen Eingriff in einen belastungsfähigen, also stabilen Zustand überführt werden müssen.

15.2.1 Mechanismus

Verletzungen der Wirbelsäule treten durch stauchende, seitliche, scherende, flektierende/extendierende und drehende Gewalteinwirkungen oder deren Kombination auf. Da die Wirbelkörper über straffe Bänder miteinander verbunden sind, bedarf es großer Kräfte, um Verletzungen herbeizuführen. Wird die individuelle Belastbarkeit der ossären und discoligamentären Strukturen bei axialer Krafteinwirkung überschritten, entstehen *Kompressionsverletzungen*, deren Fokus im Wirbelkörper liegt. Zu einer *Distraktionsverletzung* kommt es z. B. bei einem Auffahrunfall mit extremer Flexion/Extension der Wirbelsäule und Zerreißung der dorsalen und/oder ventralen discoligamentären Strukturen.

Treten bei Auffahrunfällen mit angelegtem Gurt Schädigungen an BWS und LWS auf, so ist immer auf intraabdominelle Verletzungen zu achten.

Eine *Torsionsverletzung* ist durch Kombination der oben genannten Verletzungsmechanismen mit einer zusätzlichen forcierten Verdrehung des Rumpfs charakterisiert und betrifft meist die ventralen und die dorsalen stabilisierenden Strukturen der Wirbelsäule. Sie ist daher immer als instabil anzusehen.

Als häufigste Unfallursache der Wirbelsäulenverletzungen zeigen sich Stürze aus der Höhe mit 50,4% gefolgt von Verkehrsunfällen mit 22,1%. 88,9% der Patienten weisen eine mono- oder bisegmentale Wirbelsäulenverletzung auf. Bei 5% aller Patienten zeigen sich bei der Primäruntersuchung eine komplette und bei 15,5% eine inkomplette Querschnittslähmung. [2, 3].

15.2.2 Klinik

Die typischen klinischen Zeichen sind lokale Klopf- und Druckschmerzen, Bewegungsschmerzen, paravertebrale Muskelverspannungen sowie Zwangshaltungen oder Fehlstellungen. Man findet häufig lokalisierte Schwellungen, Kontusionsmarken oder Abschürfungen. Die Abstände zwischen den Dornfortsätzen sind abzutasten. Bei weit auseinanderstehenden Dornforsätzen ist an eine Flexions-Distraktions-Verletzung zu denken.

Bei bewusstlosen Patienten mit zusätzlichen Befunden wie Hypotension und Bradykardie, seitendifferenten Reflexen oder schlaffer Areflexie muss immer an eine Rückenmarkläsion gedacht werden.

15.2.3 Diagnostisches Vorgehen

Wie bei jeder Verletzung sind neben der *Unfallanamnese* die *körperliche Untersuchung* mit Erhebung eines orientierenden neurologischen Status und die radiologische Diagnostik, ggf. mit erweiterter Schnittbilddiagnostik, vorzunehmen. Protokolliert werden muss, ob bereits am Unfallort neurologische Defizite bestanden. Die neurologischen Schäden müssen qualifiziert und quantifiziert werden. Wichtig sind die Ermittlung des Unfallhergangs und der Rasanz des Traumas, um Rückschlüsse auf das mögliche Verletzungsausmaß ziehen zu können.

Die verletzungsspezifische Untersuchung umfasst die Inspektion und Palpation der Wirbelsäule. Zur radiologischen Diagnostik gehört die Abbildung des schmerzhaften Wirbelsäulenabschnitts in 2 Ebenen. Bei Paraplegikern und bei analgetisch vorbehandelten Schwerverletzten sollte die gesamte Wirbelsäule radiologisch untersucht werden.

Die *Computertomographie* ist heute *Standard* zur Klärung von Verletzungsausmaß, Klassifizierung der Fraktur und Planung des weiteren Vorgehens. In Einzelfällen ist eine *Magnetresonanztomographie* indiziert, mit Vorteilen in der Beurteilung von Bandstrukturen, Bandscheiben sowie des Rückenmarks und zur Einschätzung von Ver-

52

53

letzungsfolgen (Hämatome, Kontusionen, »bone bruise«). Die MRT-Diagnostik hat jedoch in der Notfallsituation im Vergleich zur Computertomographie eine untergeordnete Bedeutung.

15.2.4 Klassifikation

Kelly und Whitesides [4] entwickelten 1968 ein *2-Säulen-Modell*.

- Der 1. Säule entsprechen die Bandscheiben und Wirbelkörper, die unter Kompression stehen.
- Die 2. Säule besteht aus Wirbelbögen und Gelenkfortsätzen, die Extensionskräften ausgesetzt sind.

Denis und Wolter [5, 6] modifizierten das 2-Säulen-Modell, indem sie eine weitere *3. Säule* differenzierten.

- Vordere Säule: Vorderes Längsband, vordere 2/3 der Bandscheibe und des Wirbelkörpers.
- Mittlere Säule: Hinteres Längsband, hinteres Bandscheibendrittel und Wirbelkörperhinterwand.
- Hintere Säule: Hinterer Bandapparat, Facettengelenke mit Kapsel und Lig. flavum.

Die Säulenmodelle teilen die Wirbelsäule in biomechanisch unterschiedlich beanspruchte anatomische Strukturen ein und machen die Schwere der Verletzung vom Grad der Beteiligung der verschiedenen Säulen abhängig.

Wichtig

Die exakte Einschätzung einer Wirbelsäulenverletzung hinsichtlich der Stabilität ist sowohl für die Therapie als auch die Prognose von entscheidender Bedeutung.

Die Stabilität der Wirbelsäule nach einer Verletzung hängt vom Ausmaß der Schädigung der ossären und discoligamentären Strukturen eines oder mehrerer Segmente ab. Die Strukturen können einzeln oder gemeinsam, gleich schwer oder unterschiedlich stark betroffen sein. Gleichzeitig muss immer eine Schädigung des Rückenmarks in Betracht gezogen werden.

Eine moderne Klassifikation der Wirbelsäulenverletzungen sollte die Kriterien der Stabilität berücksichtigen. Zur Differenzierung in stabile und instabile Verletzungen hat Blauth [7] daher folgende Definitionen empfohlen:

- *Stabil:* Keine weitere Veränderung der Stellung der Wirbelsäule in Ruhe oder bei Belastung zu erwarten.
- *Geringgradig instabil:* Heilt bei funktioneller Behandlung ohne schwerwiegende Fehlstellung oder neurologische Störung aus.
- *Hochgradig instabil:* Bei funktioneller Behandlung sind schwere Fehlstellungen oder neurologische Komplikationen zu erwarten.

Die heute verbreitete, an das Konzept der AO angepasste Einteilung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule stammt von *Magerl* et al. [8]. Sie beruht auf der Vorstellung einer druckbelasteten ventralen und zugbelasteten dorsalen Wirbelsäule, auf die 3 Kräfte – Kompression, Distraktion und Rotation – einwirken. In ihrer Verletzungsschwere zunehmend betreffen dabei die A-Verletzungen die ventralen, die B-Verletzungen die dorsalen und die C-Verletzungen die komplexen Komplettläsionen (◘ Abb. 15.30).

A-Verletzungen ohne Beteiligung der dorsalen Strukturen. Bei den Typ-A-Verletzungen ist nur die ventrale Säule, also der Wirbelkörper, verletzt. Es handelt sich um die durch Druck entstandenen Kompressionsfrakturen. Die typischen Charakteristika zeigt die ▶ Übersicht.

Typische Charakteristika von A-Verletzungen ohne Beteiligung der dorsalen Strukturen

- Axiale Kompression mit oder ohne Flexion,
- Höhenminderung des Wirbelkörpers (vordere Säule),
- Intakte hintere Bandverbindungen,
- Häufigster Frakturtyp der thoracolumbalen Wirbelsäule

A1-Verletzungen sind die stabilen Brüche mit Impression einer oder beider Deckplatten oder einer Keilbildung. Der *Typ A2* bezeichnet die frontalen oder sagittalen Spaltbrüche, beide sind als stabil anzusehen. Ausnahme ist die sog. Kneifzangenfraktur (Typ A2.3): Diese gilt als instabil und sollte operativ behandelt werden.

Die Verletzungen des *Typs A3* sind Berstungsbrüche mit Beteiligung nur der oberen oder unteren Hälfte (inkomplett) oder des gesamten Wirbelkörpers (komplett). Die Hinterkante ist beteiligt, meist mit einem dorsocranial ausgesprengten Fragment. Die angrenzende Bandscheibe ist zerstört. Charakteristisch ist das Auseinanderweichen der Pedikel, oft auch mit Spaltbildung im dorsalen Bogen. Trotz historischer teilweise guter Ergebnisse der konservativen Therapie sprechen die Gefahr der dorsalen Dislokation des Hinterkantenfragments mit sekundärer neurologischer Symptomatik, die instabile Bandscheibenausheilung und die konsekutive Fehlstellung wegen der axialen Instabilität für ein operatives Vorgehen. Komplette Berstungsbrüche (Typ A3.3) sind hochgradig instabil und werden operiert.

Unterteilung der A-Verletzungen im Überblick

- A1 = Impaktionsbrüche
  - A1.1 Deckplatteneinbruch
  - A1.2 Keilwirbelbildung
  - A1.3 Wirbelkörperkollaps mit Erniedrigung des gesamten Wirbelkörpers, d. h. Grund- und Deckplatte bleiben parallel (häufigste Verletzungform!)
- A2 = Spaltbildung
  - A 2.1 Spaltbildung in der Sagittalebene
  - A2.2 Spaltbildung in der Frontalebene
  - A2.3 sog. Pincer- oder Kneifzangenfraktur
- A3 = Berstung
  - A3.1 inkomplett
  - A3.2 Berstungsspaltbruch
  - A3.3 komplett

Frakturen Typ B. Dies sind Distraktionsverletzungen mit Schädigung der ventralen und dorsalen Säule. Hier sind immer die dorsalen Strukturen (discoligamentär oder knöchern) mitverletzt. Insbesondere in Rückenlage kann es zur spontanen Reposition der Frakturen kommen, die dann im Röntgenbild nicht sichtbar sind.

Der Verdacht auf diese Verletzung sollte durch geführte Funktionsaufnahmen oder besser eine MRT-Untersuchung ausgeschlossen werden.

Ihr Hauptmerkmal ist die horizontale Zerreißung einer oder beider Säulen der Wirbelsäule (Distraktion durch Flexions- oder Extensionskräfte). Eine neurologische Ausfallssymptomatik kann sowohl durch Hinterkantenfragmente als auch durch eine Wirbelrohreinengung infolge Translation verursacht werden. Typische Charakteristika sind in der Übersicht dargestellt.

Typische Charakteristika von B-Verletzungen

- Queres Zerreißen der ventralen und der dorsalen Säule durch einen Flexions-Distraktions- oder einen Extensions-Distraktions-Mechanismus
- Dislokation durch Verschiebung in der Sagittalebene

B1-Frakturen betreffen die dorsalen ligamentären, der *Typ B2* betrifft die dorsalen knöchernen Strukturen. Typisch ist die Verletzung nach Dezelerationstrauma durch den angelegten Beckengurt. Diese Frakturform wird daher auch als Sicherheitsgurtfraktur (Chance-Fraktur) bezeichnet. Ventrale Höhenreduktion und fokale Kyphosierung können daher auch oft beobachtet werden.

Zum seltenen *Typ B3* gehören die Hyperextensionsverletzungen mit Einbeziehung der Bandscheibe und Verletzung der hinteren Säule. Es besteht eine hochgradige Instabilität, die operative Versorgung ist obligat. Man unterteilt die Typ-B-Verletzungen wie in der ▶ Übersicht dargestellt.

Unterteilung der B-Verletzungen im Überblick

- B1 = Vorwiegend ligamentäre dorsale Verletzungen
  - B1.1 mit Bandscheibenzerreißung
  - B1.2 mit Fraktur vom Typ A
- B2 = Vorwiegend knöcherne dorsale Verletzungen
  - B2.1: Quere Zweisäulenfraktur
  - B2.2: Mit Bandscheibenzerreißung und Pedikelzerreißung oder mit Zerreißung durch die Pars interarticularis
  - B2.3: Mit Typ-A-Fraktur und Fraktur durch die Pedikel oder mit Fraktur durch die Pars interarticularis
- B3 = Ventrale Dislokation durch die Bandscheibe, Hyperextensionsscherverletzung
  - B3.1: Hyperextensionssubluxation ohne oder mit Verletzung der hinteren Säule
  - B3.2: Hyperextensionsspondylolyse
  - B3.3 Hintere Dislokation

C-Verletzungen. Dies sind Torsionsverletzungen mit Durchtrennung aller ligamentären Strukturen und massiver Instabilität. Es handelt sich dabei um eine inhomogene Gruppe, sie umfasst Verletzungen der vorderen und hinteren Strukturelemente mit Rotation in Kombination mit A- und B-Verletzungen. Eine weitere Untergruppe beinhaltet die global instabilen Torsionsverletzungen. Pathognomonisch ist neben einer Verdrehung des Wirbelkörpers in sich oder mehrerer Wirbelkörper gegeneinander eine Verletzungen von Begleitstrukturen wie Querfortsätzen oder angrenzenden Rippen. Typische Charakteristika sind in einer ▶ Übersicht dargestellt.

Typische Charakteristika von C-Verletzungen

- Dislokation durch Rotation
- Dislokation durch Translation in der Coronarebene
- Einseitige Frakturen der Articular- oder Querfortsätze

Während der *Typ C1* mit A-Verletzungen mit ventraler Destruktion kombiniert ist, betreffen *C2-Frakturen* B-Typen mit einer dorsalen Destruktion. Eine Sonderform stellt die Slice-Fraktur als Rotationsscherbruch dar (*Typ C3*). Die C-Verletzungen sind hochgradig instabil und weisen den höchsten Anteil an neurologischen Begleitverletzungen auf.

52

53

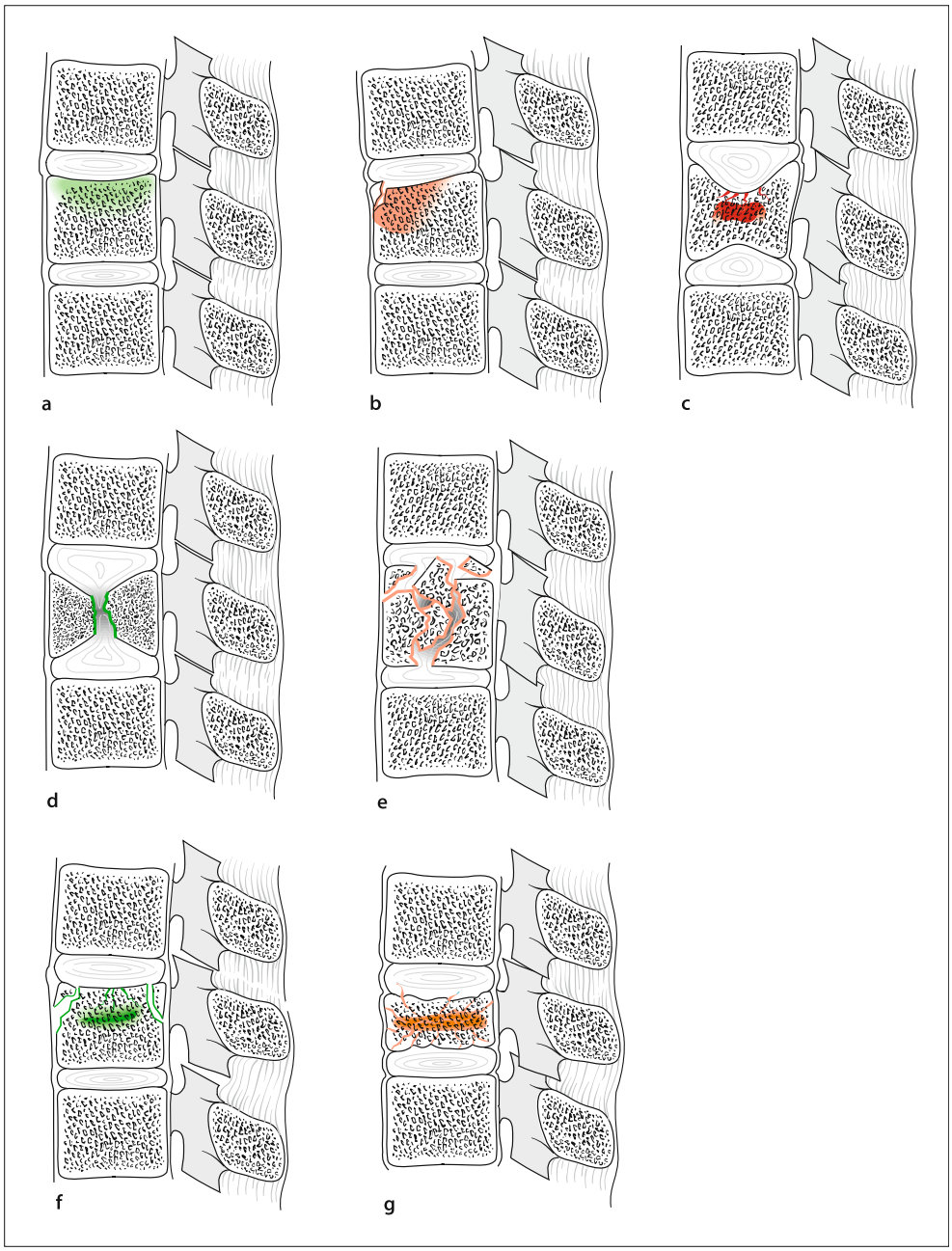
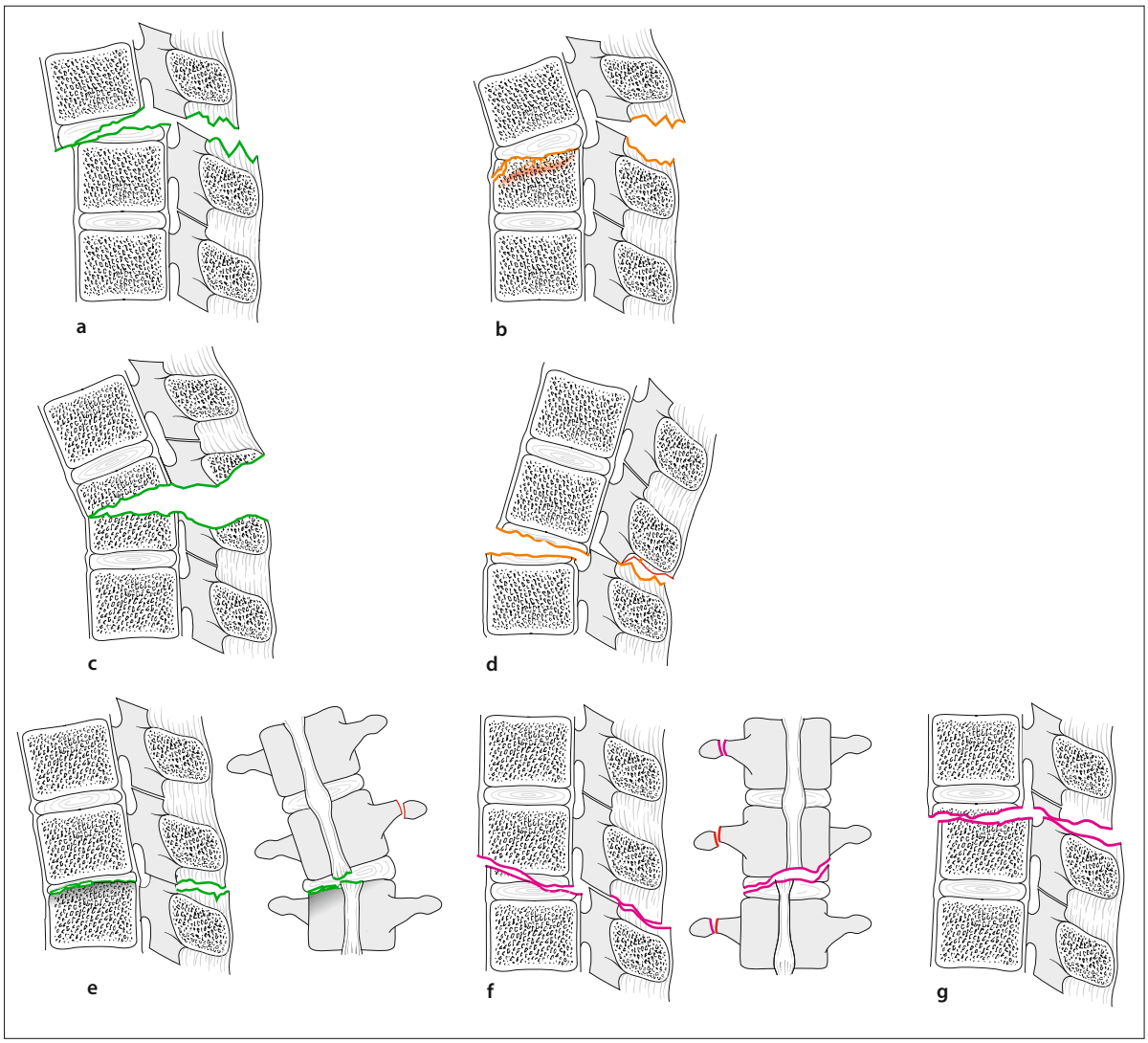


Abb. 15.30. Verletzungen der Region 52–53: Brust- und Lendenwirbelsäule (Klassifikation nach Magerl et al. [8], angelehnt an die AO-Klassifikation)
a Typ-A-Verletzungen
A1 = Impaktionsbrüche
a z. B. A1.1: Deckplatteneinbruch
b z. B. A1.2: Keilfraktur
c z. B. A1.3: Wirbelkörperkollaps
A2 = Spaltbildung
d z. B. A2.2: Spaltbildung in der Frontalebene
e z. B. A2.3: Pincer- oder Kneifzangenfraktur, der zentrale Anteil des Wirbelkörpers ist infrakturiert und gefüllt mit Bandscheibengewebe
A3 = Berstung
f z. B. A3.1: Craniale inkomplette Berstungsfraktur
A3.2: Berstungsspaltbruch
g z. B. A3.3: Komplette Berstungsfraktur



b Typ-B-Verletzungen
B1 = Vorwiegend ligamentäre dorsale Verletzungen
a z. B. B1.1: Flexions-Distraktions-Verletzung mit dorsaler ligamentärer Zerreißung der Intervertebralgelenke und Bandscheibenverletzung
b z. B. B1.2: Flexions-Distraktions-Verletzung mit dorsaler Zerreißung und mit Fraktur vom Typ A1.2
B2 = Vorwiegend knöcherne dorsale Verletzungen
c z. B. B2.1: Quere Zweisäulenfraktur
B3 = Ventrale Dislokation durch die Bandscheibe, Hyperextensionsscherverletzung
d z. B. B3.3 Hyperextensions-Scher-Verletzung mit hinterer Dislokation
c Typ-C-Verletzungen
C1 = Typ A-Frakturen (Kompression) mit Rotation
e z. B. C1.1: Typ-A-Verletzung mit Rotation und Keilwirbelbildung
C2 = Typ-B-Frakturen mit Rotation
f z. B. C2.1: B1-Verletzung mit Rotation
C3 = Rotations-Scher-Verletzungen
g z. B. C3.1: Rotations-Scher-Verletzung, sog. Slice-Fraktur

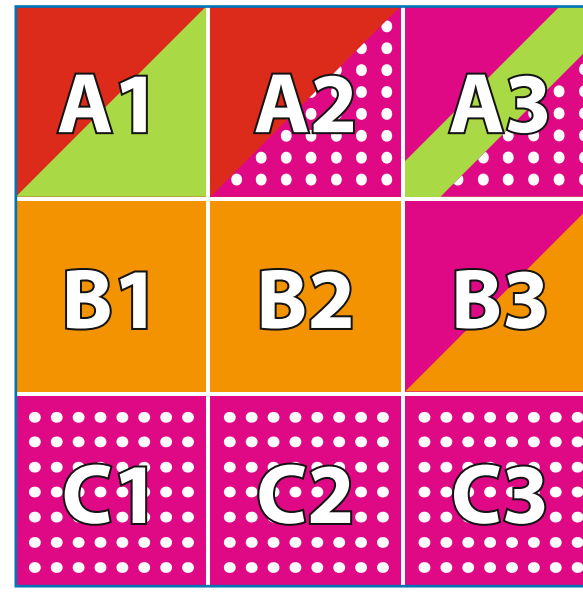
Sie werden aus diesen Gründen ausnahmslos operativ behandelt. Man unterteilt die Typ-C-Verletzungen wie in der ▶ Übersicht dargestellt.

Unterteilung der C-Verletzungen im Überblick

- C1 = Typ A-Frakturen (Kompression) mit Rotation
  - C1.1 mit Keilwirbelbildung
  - C1.2 mit Spaltbildung
  - C1.3 mit Berstungsfraktur
- C2 = Typ-B-Frakturen mit Rotation
  - C2.1 B1-Verletzung mit Rotation
  - C2.2 B2-Verletzung mit Rotation
  - C2.3 B3-Verletzung mit Rotation
- C3 = Rotations-Scher-Verletzungen
  - C3.1 Slice-Fraktur
  - C3.2 Schrägfraktur
  - C3.3 Komplette Separation

15.2.5 Therapeutisches Vorgehen

Die Hauptaufgabe der Therapie einer verletzten Wirbelsäule ist die Wiederherstellung der protektiven, statischen sowie dynamischen Funktionen. Für die korrekte Indikationsstellung ist die exakte Klassifikation der vorliegenden Verletzung unabdingbar. Eine schematische Übersicht der Frakturversorgung in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach der Klassifikation AO-Spine [9] gibt ◘ Abb. 15.31.



◘ **Abb. 15.31. Therapieoptionen der Frakturen der BWS und LWS. Einteilung nach der Klassifikation der AO-Spine** [9] (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Dorsale Spondylodese
- Dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne und Beckenspan monosegmental
- Dorsoventrale Stabilisierung: Fixateur interne und Cage bisegmental
- Kyphoplastie/Vertebroplastie, ggf. in Kombination mit dorsaler Spondylodese

Konservative Therapie

Bereits Hippokrates wandte eine Methode zur Behandlung von Wirbelkörperfrakturen an, die in ihren wesentlichen Zügen der Behandlungsidee von Rauchfuß Ende des 19. Jahrhunderts mit seiner Schwebe glich [10]. Auch Böhler nutzte diese Methode und erweiterte sie durch die Anlage eines die Reposition haltenden Gipsmieders. Er selbst formulierte dies so: »Aufgabe der Behandlung ist es, die gequetschten Wirbelkörper wieder aufzurichten und sie bis zum Festwerden in guter Lage zu halten« [11]. Die konservative Therapie hat insbesondere beim multimorbiden und alten Menschen mit minderer Knochenqualität einen wichtigen Stellenwert [12]. Es stehen 2 verschiedene Konzepte der konservativen Behandlung von Wirbelkörperbrüchen einander gegenüber:
- funktionelle Therapie nach Magnus und
- das Konzept von Böhler.

Beiden Methoden ist der sofortige Beginn einer intensiven krankengymnastischen Behandlung mit dem Ziel des Aufbaus eines »muskulären Korsetts« gemeinsam.

Nach *Böhler* [13] wird mittels *kontrolliertem Längszug* und einer *Lordosierung* eine Frakturreinrichtung erreicht, die Retention erfolgt durch ein *Gipsmieder*. Die Gipsmiederruhigstellung wird für 12 Wochen [14], bei instabilen Verletzungen eine Liegephase sogar bis zu 6 Wochen empfohlen. Auf diese Art und Weise sollen 90% der Frakturen weitgehend anatomisch reponiert werden können, in 50% der Fälle kommt es zu keinem Korrekturverlust [12].

In Deutschland ist die miederfreie Nachbehandlung in einer modifizierten Methode nach Georg *Magnus* unverändert aktuell. Nach einer kurzen Phase der Rückenlage mit oder ohne Lordosekissen und ausreichender Analgesie wird zügig mit der physiotherapeutisch angeleiteten, achsengerechten En-bloc-Mobilisierung bis zur Vollmobilisierung begonnen. Meist kann nach 7–10 Tagen die Behandlung ambulant fortgeführt werden [14].

Eine zunehmende Nachsinterung und/oder Kyphosierung ist das Hauptproblem des konservativen Therapieregimes. Einige Untersuchungen [14, 15] zeigten, dass die klinischen Ergebnisse nach der konservativen Therapie gut bis sehr gut sind. Dabei korrelierte der Kyphosegrad nicht mit der Schmerzsymptomatik. In einer großen Studie zur konservativen vs. operativen Behandlung tie-



Abb. 15.32. 37 Jahre, weiblich. Sturz vom Fahrrad. Keilbruch von LWK 2 vom Typ A1.2. Konservative Behandlung

fer lumbaler Wirbelfrakturen fanden Seybold et al. [16] zwar einen höheren Korrekturverlust nach konservativer Therapie, empfahlen jedoch aufgrund des gleichen funktionellen Ergebnisses bei fehlenden neurologischen Ausfällen die konservative Therapie für diesen Wirbelsäulenbereich.

Die konservative Therapie empfehlen wir v. a. bei stabilen Kompressionsverletzungen A1–A2 (Abb. 15.32). Eine engmaschige Röntgenkontrolle des betroffenen Wirbelkörpers durch eine Zielaufnahme wird durchgeführt, um eine Progredienz der Fehlstellung rechtzeitig aufzudecken und ggf. eine Änderung des Therapieregimes im Sinne einer operativen Frakturstabilisierung einzuleiten.

Operative Therapie

Die operative Therapie von Wirbelkörperfrakturen richtet sich nach dem in der ▶ Übersicht gezeigten Stufenplan.

Stufenplan der operativen Therapie von Wirbelkörperfrakturen

- Rückenmarkdekompression
  ↓
- Reposition
  ↓
- Rekonstruktion
  ↓
- Retention

Zugang. Die Wirbelsäule kann von dorsal und ventral erreicht werden. Es besteht eine nicht unerhebliche Morbidität der Zugangswege durch:

- Ablösung der Rückenstreckermuskulatur (Mm. multifidii et rotatores) bzw.
- Eröffnung des Thorax oder des Retroperitoneums bzw. des Abdomens.

Ein zweizeitiges Vorgehen (zunächst dorsal, im Intervall von 7–10 Tagen ventraler Eingriff) wurde in einer Studie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) aus dem Jahr 2000 in 61,9% der Fälle, ein einzeitiges in 38,1% bevorzugt. Signifikante Vorteile bezüglich des Blutverlustes, der Operationszeit und der Durchleuchtungszeit zeigten sich hier zugunsten des einzeitigen Vorgehens [17]. In einigen Kliniken wird die einzeitige ventrodorsale Operation bevorzugt. Obwohl unter biomechanischen Gesichtspunkten ein kombiniertes Vorgehen mit zuggurtender dorsaler Instrumentierung und stabiler Versorgung der druckbelasteten vorderen Säule einleuchtet, besteht diesbezüglich in Deutschland kein Konsens. In der DGU-Studie wurden 65,7% der Patienten nur von dorsal, 28,9% von ventral und 5,4% dorsoventral operiert [17].

Beispiele sind in Abb. 15.33–15.46 gezeigt.

Eigenes Vorgehen. Zunächst werden alle instabilen Verletzungen dorsal versorgt. Patienten mit C-Verletzungen werden nach einer Erholungsphase im selben stationären Aufenthalt von ventral gegenstabilisiert. Bei alleiniger dorsaler Instrumentierung kommt es nicht selten zu voranschreitenden Kyphosierungen; bei alleiniger ventraler Operation ist die Reposition erschwert. Bei kombiniertem dorsoventralem Vorgehen werden Korrekturverluste von 0,5° im thorakolumbalen Übergang gegenüber 9,4° nach dorsaler Operation und 10,2° nach konservativer Behandlung angegeben [18].

Bei den *A- und B-Verletzungen* der Wirbelsäule schlagen wir ein differenziertes zweizeitiges Vorgehen vor. Nach der dorsalen Spondylodese und achsgerechter Mobilisierung wird nach ca. 6 Wochen eine radiologische Kontrolle durchgeführt. Dabei ist es wichtig, die begleitenden Bandscheibenläsionen, die CT-morphologisch oft erst nach einigen Wochen als Vakuumphänomen im Zwischenwirbelraum imponieren, zu erkennen. Die mitverletzten Bandscheiben gelten als eine der wichtigsten Ursachen für die erheblichen sekundären Korrekturverluste nach alleiniger dorsaler Instrumentierung [18–20].

Bei stabiler Ausheilung der Verletzung ohne signifikanten Korrekturverlust kann auf die ventrale Gegenstabilisierung, insbesondere bei jüngeren Patienten, verzichtet werden. Einen weiteren Vorteil dieses Therapieregimes sehen wir darin, die starke operative Belastung

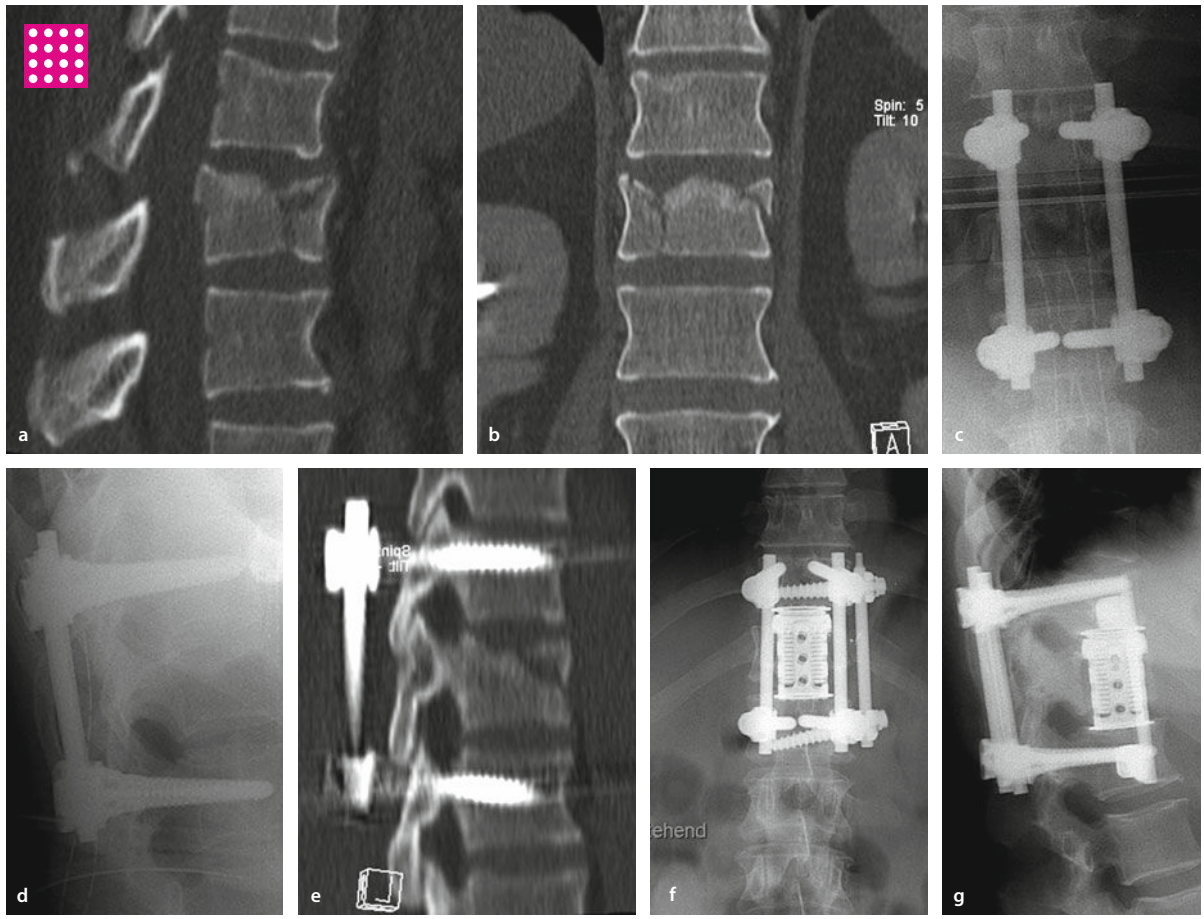


Abb. 15.33. 54 Jahre, männlich. Auffahrunfall. Kompressionsfraktur von BWK 12 mit komplettem, craniocaudalem Split durch den trapezoid deformierten Wirbelkörper (Pincer-Fraktur), Typ A2.3. Zweizeitige dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne und Cage bisegmental. **a, b** Präoperativ. **c–e** Nach dorsaler Stabilisierung über Fixateur interne (**c, d** Röntgen, **e** CT. **f, g** Nach ventraler Gegenstabilisierung mittels Cage und Fixateur interne

des Patienten durch einzeitiges dorsoventrales Vorgehen vermeiden und die ventrale Gegenstabilisierung an einem erholten Patienten elektiv durchzuführen zu können.

Dorsale Instrumentierung

Die dorsale Implantation eines *Fixateur interne* ist ähnlich dem Verfahren der externen Fixation von Extremitätenverletzungen als Standardverfahren im Notfall und für die Versorgung von Schwerverletzten etabliert. Der Patient wird für das dorsale Vorgehen auf dem Bauch im ventralen Durchhang mit Unterpolsterung von Schultergürtel und Becken gelagert. Bei frischen Frakturen kommt es so oft schon zu einer Reposition.

Die Stabilisierung wird mit winkelstabilen Fixateuren vorgenommen [17] (Abb. 15.47). Moderne Fixateur-Systeme ermöglichen durch einen Kippmechanismus in der Verbindung Pedikelschraube–Längsträger eine Vereinfachung der Frakturreposition. Üblich ist die bildwandlergestützte Implantation der Pedikelschrauben.

In der a.-p.-Ebene sollte bei Erreichen der Wirbelkörperrückwand kontrolliert werden, dass die mediale Pedikelwand nicht überschritten wird. Problem bleibt hier die sichere Darstellung des Eintrittspunkts in den 2 Bildwandlerebenen mit der Gefahr der Verletzung wichtiger Strukturen (Rückenmark, Nervenwurzel, Dura, Gefäße). Durch eine Laminektomie oder (partielle) Hemilaminektomie ist bei einer Querschnittssymptomatik eine Dekompression des Rückenmarks möglich. Die Entlastung kann durch eine intraoperative Myelographie nachgewiesen werden.

Die zusätzliche Verwendung von Querstangen empfehlen wir ab A3-Frakturen zur Verbesserung der Stabilität (Abb. 15.48). Generell sollte bei der Reposition leicht überkorrigiert werden.

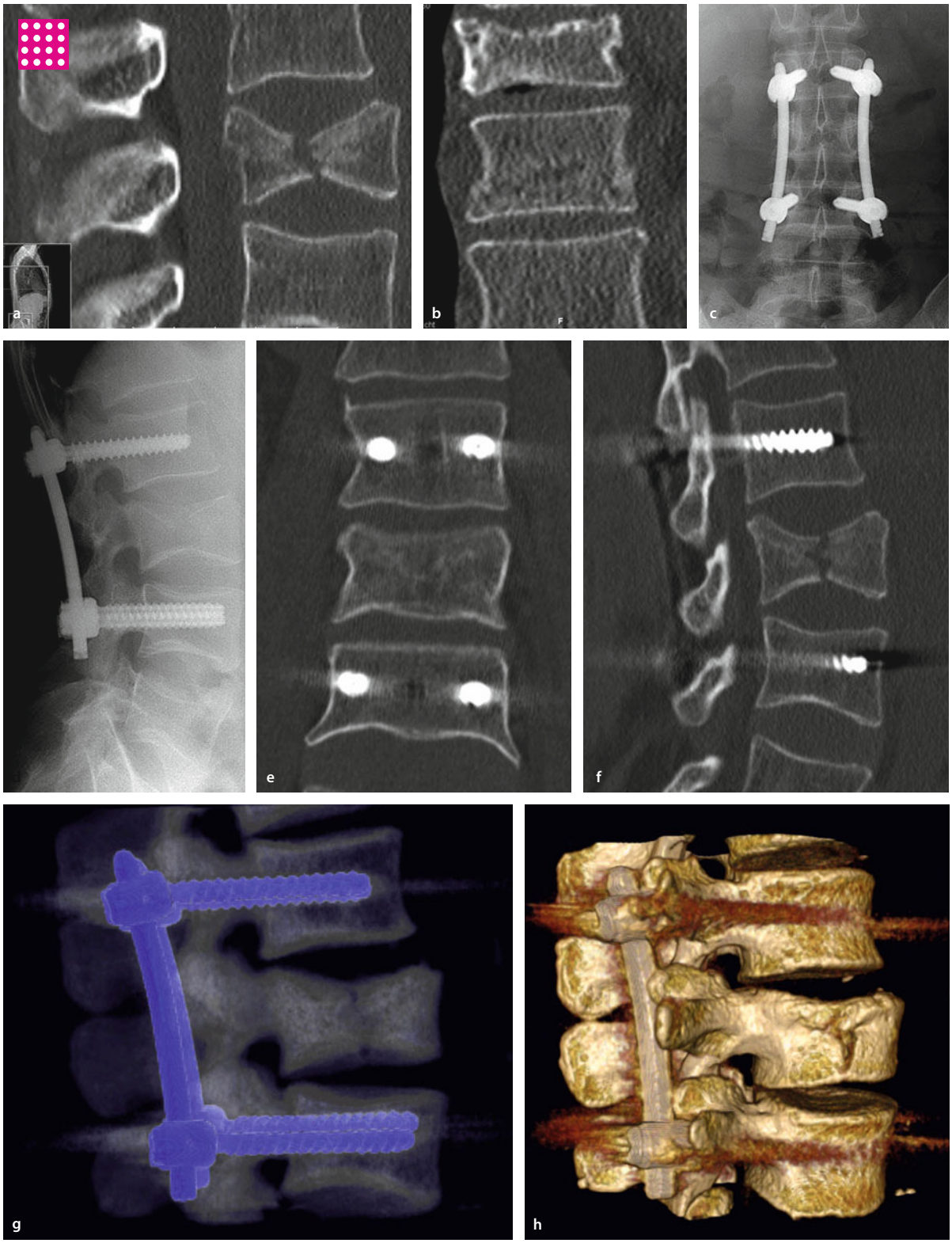


Abb. 15.34. 47 Jahre, männlich. Sturz vom Baum. Kneifzangenfraktur des LWK 11, Typ A2.3. Bisegmentale minimalinvasive dorsale Spondylodese über Fixateur interne. Eine ventrale Gegenstabilisierung ist hinsichtlich des Verletzungsmusters indiziert, wurde jedoch vom Patienten abgelehnt. Patient ist unter klinischer Beobachtung. **a, b** CT präoperativ. **c, d** Röntgenbilder postoperativ (a.-p. und seitlich). **e, f** CT postoperativ (coronar und sagittal). **g, h** 3-D-Rekonstruktionen nach Versorgung

52

53



Abb. 15.35. 27 Jahre, männlich. Sturz vom Motorrad. LWK-1-Fraktur. Cranialer inkompletter Berstungsbruch, Typ A3.1. Zweizeitige dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne, tricorticalem Beckenspan monosegmental und Sicherung mit einer Fixateur-Platte. **a, b** Röntgen (a.-p. und seitlich) präoperativ. **c** CT präoperativ. **d, e** Postoperative Röntgenkontrolle nach zweizeitigem dorsoventralem Eingriff (a.-p. und seitlich)

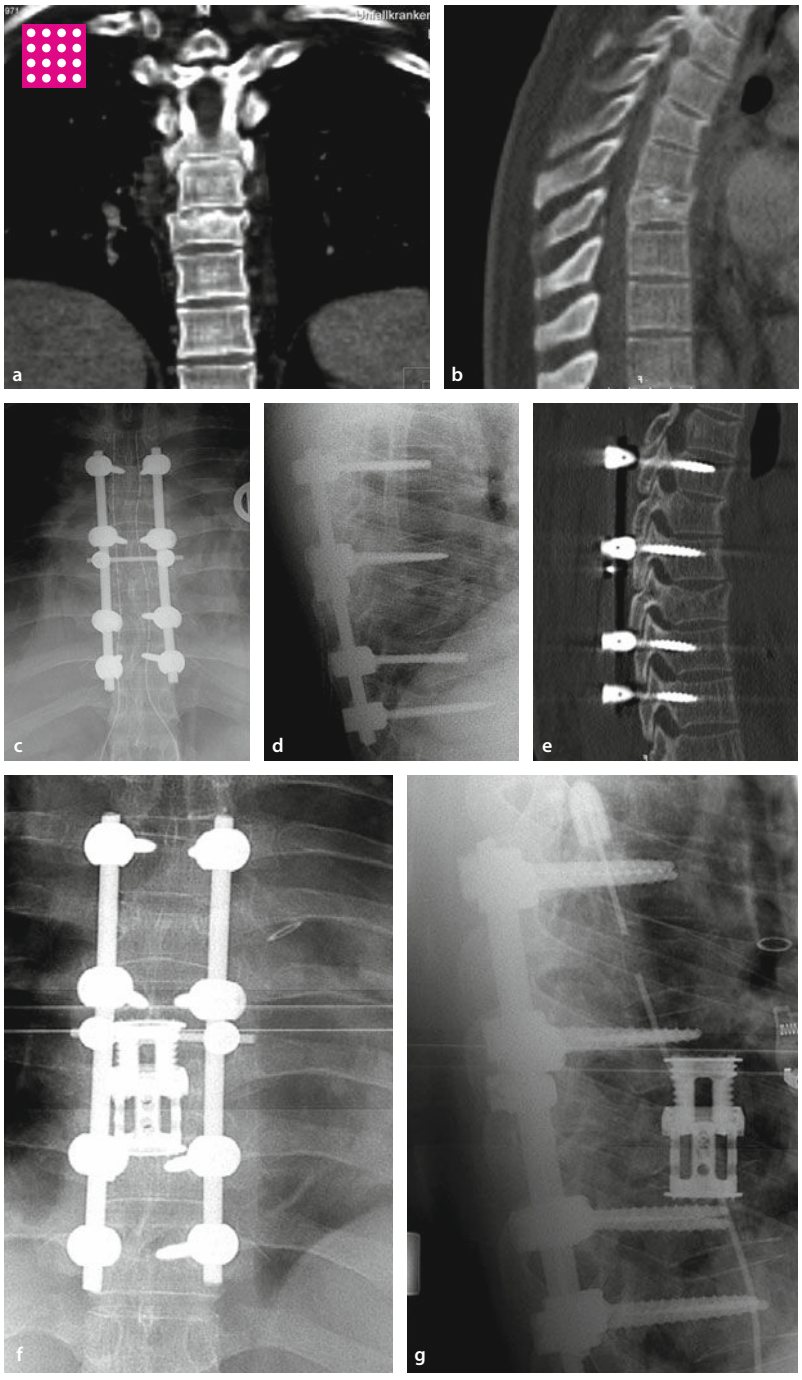


Abb. 15.36. 36 Jahre, männlich. Sturz vom Fahrrad. Stabile Fraktur des BWK 6 (Deckplattenimpressionsfraktur) sowie instabile Fraktur des 8. BWK (partielle Berstungsfraktur, Typ A3.1). Bei der dorsalen Stabilisierung der BWS wurde jeweils ein weiterer nicht frakturierter Wirbelkörper cranial und caudal des BWK 8 in die Spondylodese einbezogen. Im Intervall ventrale Gegenstabilisierung mit einem Distraktions-Cage. **a, b** Präoperatives CT (coronar und sagittal). **c–d** Postoperative Röntgenaufnahmen nach Stabilisierung mittels Fixateur interne sowie CT (**e**). **f, g** Postoperative Röntgenaufnahmen nach ventraler Gegenstabilisierung mittels Cage

52

53

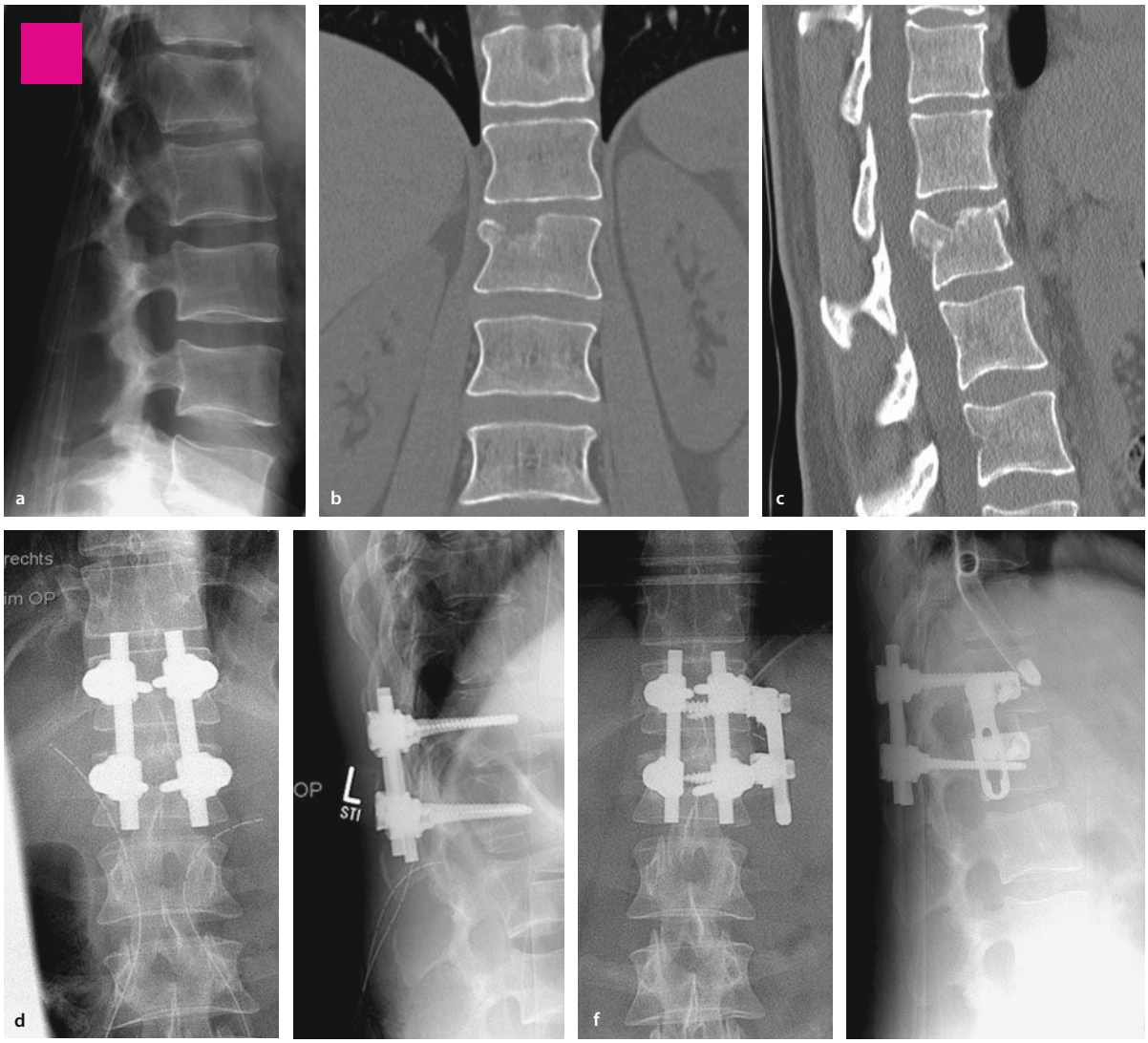


Abb. 15.37. 45 Jahre, weiblich. Sturz vom Fahrrad auf Glatteis. Inkompletter Berstungsspaltbruch von LWK 1, Typ A3.2. Zweizeitige dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne, tricorticalem Beckenspan monosegmental und Sicherung mit einer Fixateur-Platte. **a–c** Präoperatives Röntgenbild (seitlich) und CT (coronar und sagittal). **d–g** Postoperative Aufnahmen nach Fixateur interne (**d, e**) und nach dorsoventraler Stabilisierung (**f, g**)

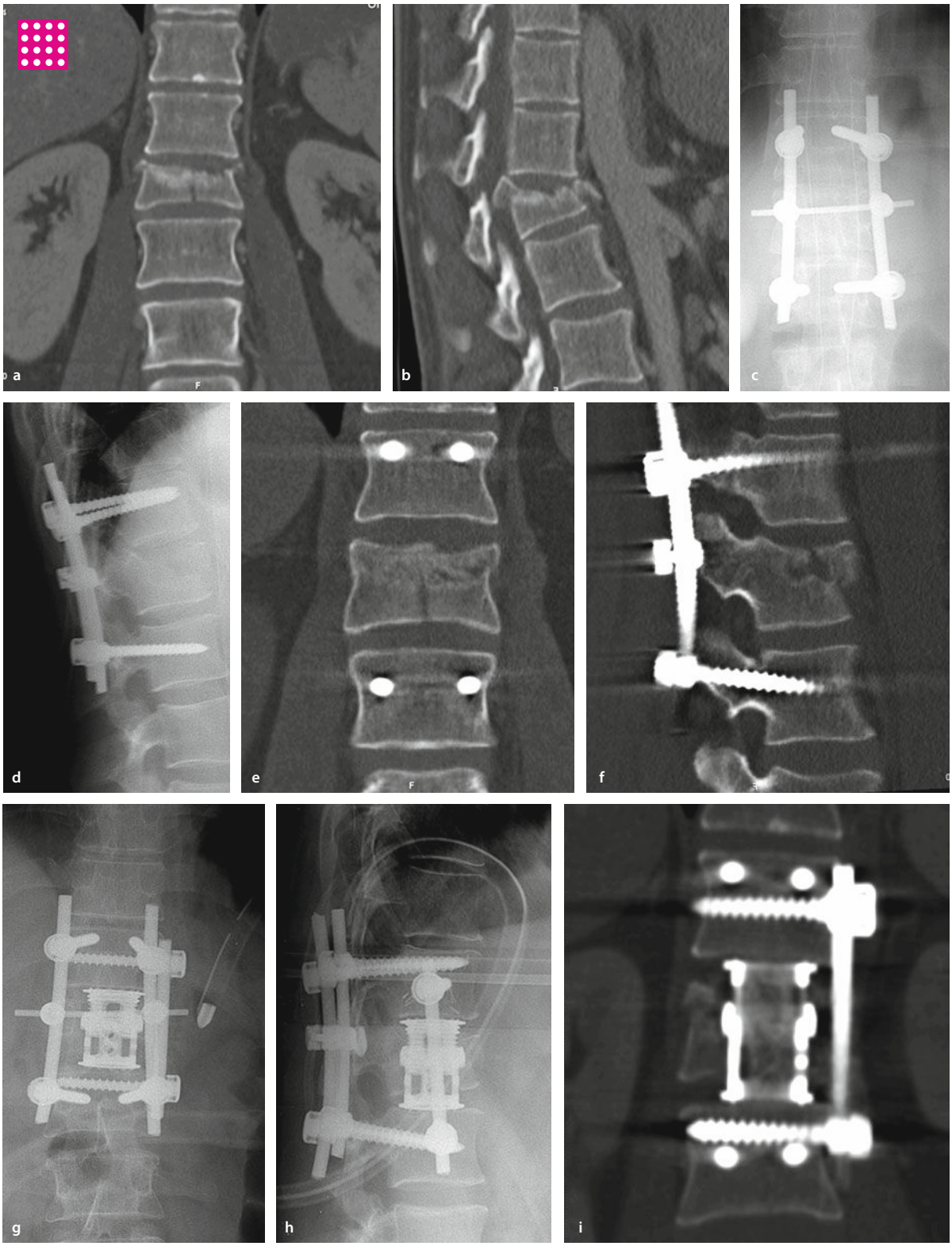


Abb. 15.38. 41 Jahre, männlich. Sturz von einer 2 m hohen Leiter. Berstungsspaltfraktur von LWK 1, Typ A3.2. Zweizeitige dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne und Cage bisegmental sowie Sicherung mit einem Fixateur interne. **a, b** Präoperatives CT (coronar und sagittal). **c–f** Postoperative Röntgenbilder und CT nach Anlage eines Fixateur interne. **g–i** Postoperative Kontrollen nach ventraler Gegenstabilisierung mittels Cage (**g**, **h** Röntgen a.-p. und seitlich, **i** CT coronar)

52

53



Abb. 15.39. 20 Jahre, männlich. Sturz vom BMX-Fahrrad bei 80 km/h. Berstungsbrüche von BWK 8 vom Typ A3.2 und BWK 9 vom Typ A3.1. Zweizeitige Versorgung. Bei der dorsalen Stabilisierung der BWS wurde jeweils ein weiterer Wirbelkörper cranial und caudal der frakturierten Wirbelkörper in die Spondylodese einbezogen. Die ventrale Gegenstabilisierung erfolgte mit einem tricorticalen Beckenspan und die Sicherung mit einer Fixateur-Platte. Freigabe der Beweglichkeit von 3 Bewegungssegmenten 1 Jahr nach dem Unfall nach CT-Kontrolle durch Entfernung der dorsalen Instrumentierung. Im CT vollständige knöcherne Durchbauung der Frakturzone und vollständige Osteointegration des Knochenspans. **a–d** Präoperative Röntgenbilder und CT-Aufnahmen (coronar und sagittal). **e, f** Postoperative Röntgenaufnahmen (a.-p. und seitlich). **g–i** Röntgen- und CT-Kontrolle vor Metallentfernung nach 1 Jahr zur Sicherung der ossären Konsolidierung

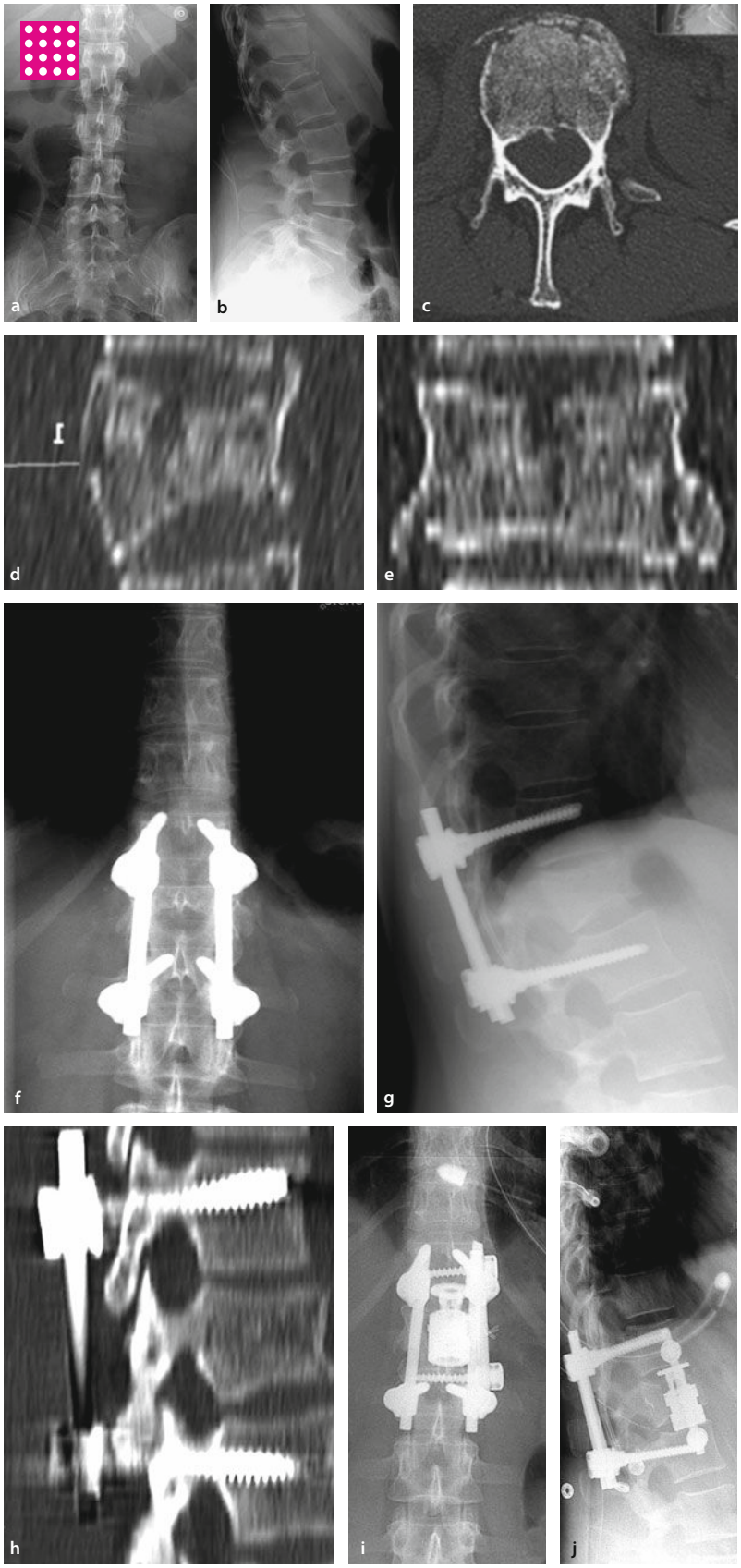


Abb. 15.40. 42 Jahre, weiblich. Sturz aus dem 5. Stock. Komplette Berstungsfraktur von LWK 1, Typ A3.3. Zweizeitige dorsoventrale Stabilisierung mittels Fixateur interne und Cage bisegmental sowie Sicherung mit Fixateur interne. **a–c** Präoperative Röntgenbilder und axiales CT-Bild. **d, e** Präoperative Rekonstruktionen. **f–h** Postoperative Aufnahmen nach dorsaler Stabilisierung. **i, j** Röntgenaufnahmen nach ventraler Gegenstabilisierung

52

53

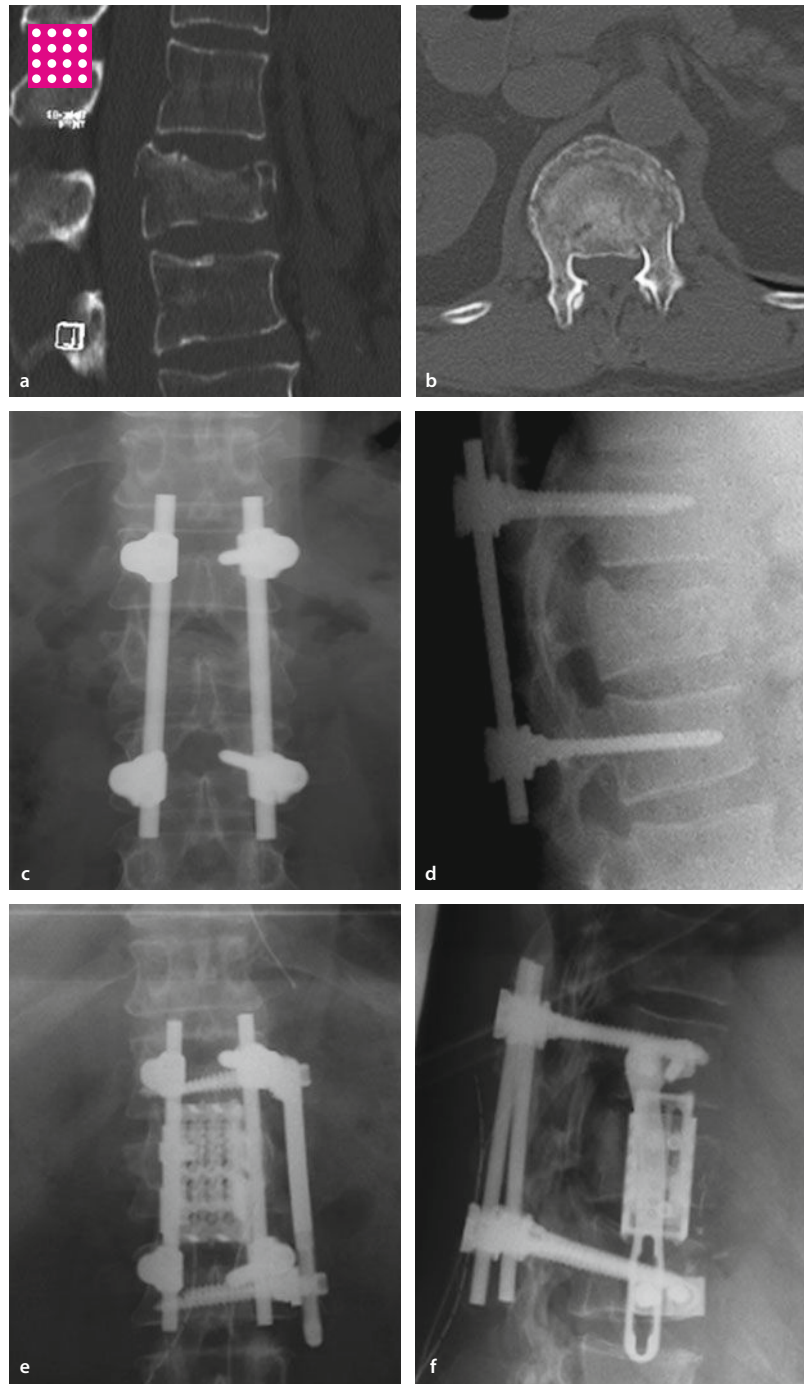


Abb. 15.41. 49 Jahre, männlich. Sturz vom Dach. Kompletter Berstungsbruch Typ A3.3 von LWK 1. Zweizeitige Versorgung mittels bisegmentaler dorsaler Spondylodese, Gegenstabilisierung im Intervall mit Distraktions-Cage und ventraler Fixateur-Platte. **a, b** Präoperatives CT (sagittal und axial). **c, d** Röntgenkontrolle nach dorsaler Spondylodese über Fixateur interne. **e, f** Postoperative Kontrollaufnahmen nach ventraler Cage-Implantation (a.-p. und seitlich)

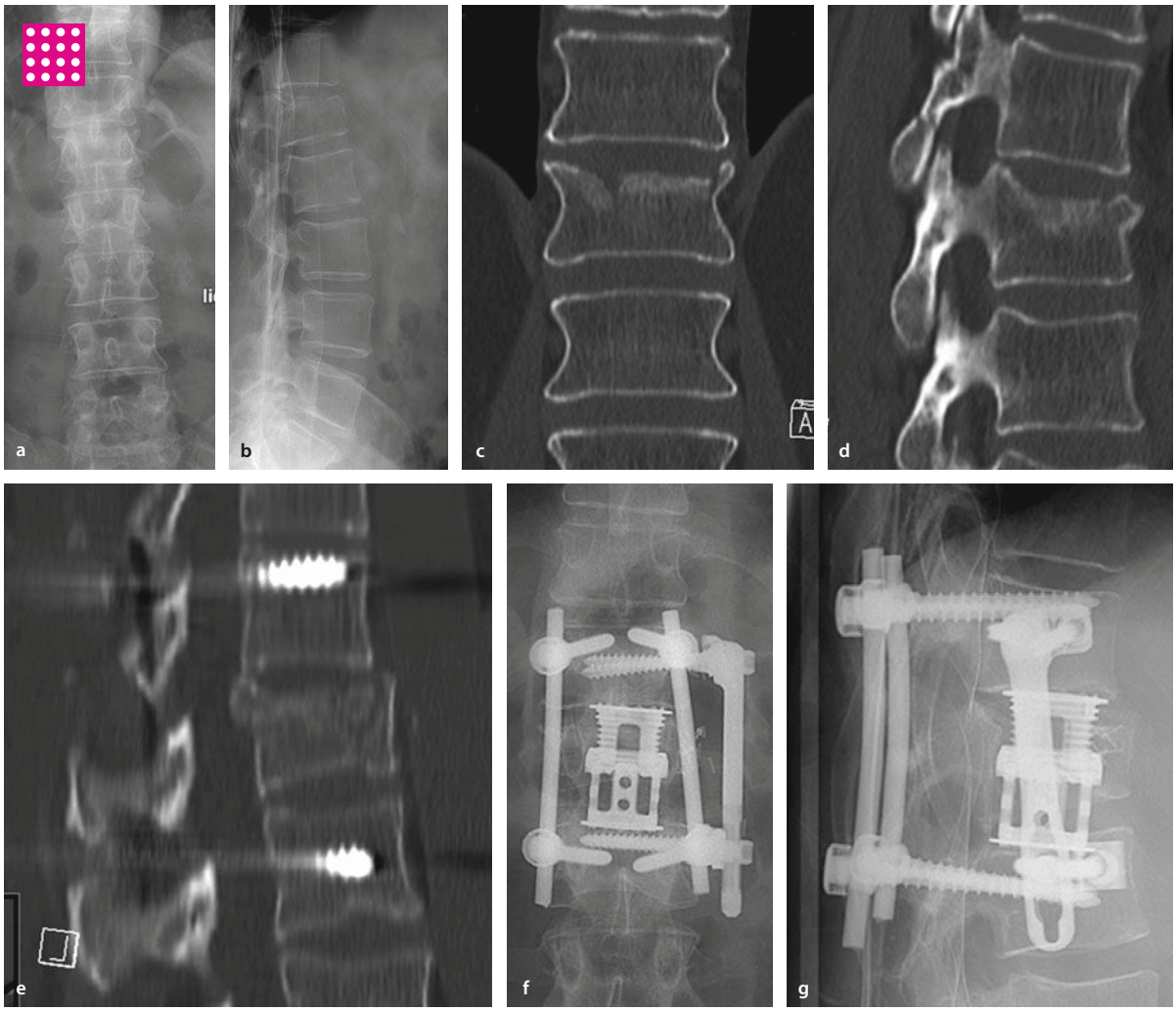


Abb. 15.42. 58 Jahre, weiblich. Hochrasanztrauma. Flexions-Distraktions-Verletzung in Höhe des Bewegungssegments Th12–L1, Typ B1.3 mit Kompressionsfraktur von LWK 1 und trapezoider Deformierung des Wirbelkörpers. Fraktur des Dornfortsatzes sowie des Bogens von BWK 12. Zweizeitige Versorgung mittels bisegmentaler dorsaler Spondylodese. Im Intervall ventrale Gegenstabilisierung mit einem Distraktions-Cage. **a–d** Präoperative Röntgen- (a.-p. und seitlich) und CT-Bilder (coronar und sagittal). **e–g** Postoperatives CT sagittal nach Fixateur-Anlage und Röntgenbilder (a.-p. und seitlich) nach ventraler Gegenstabilisierung



Abb. 15.43. 25 Jahre, männlich. Kollidierte als Mopedfahrer mit einem Pkw. Typ-C1.3-Verletzung von LWK 2 mit Berstungsfraktur des Wirbelkörpers und Rotation. Versorgung mittels bisegmentaler dorsaler Spondylodese. Noch während des gleichen Klinikaufenthalts erfolgte die ventrale Gegenstabilisierung mittels Distraktions-Cage und Sicherung mit einem Fixateur interne. **a, b** Präoperative CT-Aufnahmen (coronar und sagittal). In der a.-p.-Ebene skoliotische Fehlstellung und Rotation. **c–f** Postoperative Kontrollaufnahmen (CT und Röntgen; a.-p. und seitlich) nach Stabilisierung über Fixateur interne. **g, h** Röntgenkontrolle (a.-p. und seitlich) nach ventraler Gegenstabilisierung



Abb. 15.44. 31 Jahre, männlich. Sprung aus dem 6. Stock. Flexions-Distraktions-Verletzung des Bewegungssegments L1–2, Typ B1.3 mit sagittalem Spaltbruch von LWK 1 und Zerreißung beider Pedikel, Berstungsfraktur von LWK 2 mit deutlicher Höhenminderung und Dorsalverlagerung von Hinterkantenfragmenten in den dadurch ausgeprägt eingeengten Spinalkanal. Querfortsatzfrakturen bei LWK 1 und LWK 2. Versorgung mittels langstreckiger dorsaler Stabilisierung durch Fixateur interne mit Querträger, um die Stabilität der Konstruktion zu erhöhen. Im Intervall ist die ventrale trisegmentale Gegenstabilisierung mit einem Distraktions-Cage geplant. **a–c** Präoperatives CT (**a**, **b** coronar, **c** sagittal) in Höhe LWK 1. **d–f** Postoperative Röntgen- und CT-Aufnahmen nach dorsaler Spondylodese

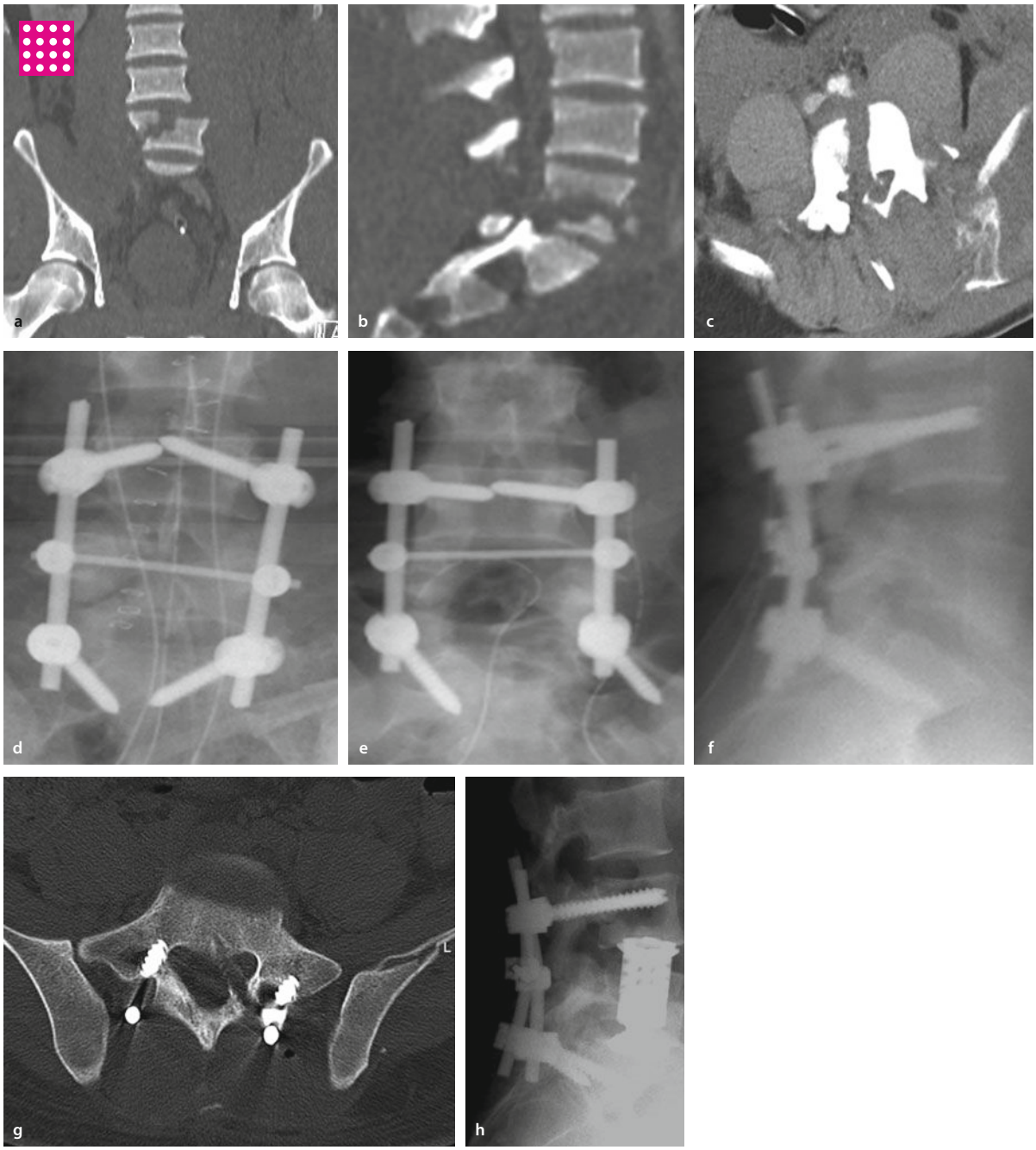


Abb. 15.45. 48 Jahre, männlich. Polytrauma nach Sturz aus dem 7. Stock. Typ-C1.3-Verletzung des LWK 5 mit Berstungsfraktur des Wirbelkörpers und Rotation. Versorgung mittels bisegmentaler dorsaler Spondylodese L4–S1. Auf der postoperativen CT-Aufnahme (**g**) ist der Schraubenkanal der Fehlbohrung zur Platzierung der linksseitigen Pedikelschraube in S1 zu erkennen. Radikuläre Symptomatik postoperativ, Schraubenkorrektur und divergierende Positionierung im Pedikel von S1 links. Neurologische Erholung. Noch im gleichen Klinikaufenthalt erfolgte die ventrale Gegenstabilisierung mittels Distraktions-Cage (**h**). **a–c** Präoperative CT-Aufnahmen (coronar, sagittal und axial). **d–f** Postoperative Kontrolle a.-p. vor und nach Korrektur der Pedikelschraube sowie seitlich. **g** CT-Kontrolle nach Pedikelschraubenkorrektur. **h** Seitliche Röntgenaufnahme nach ventraler Gegenstabilisierung

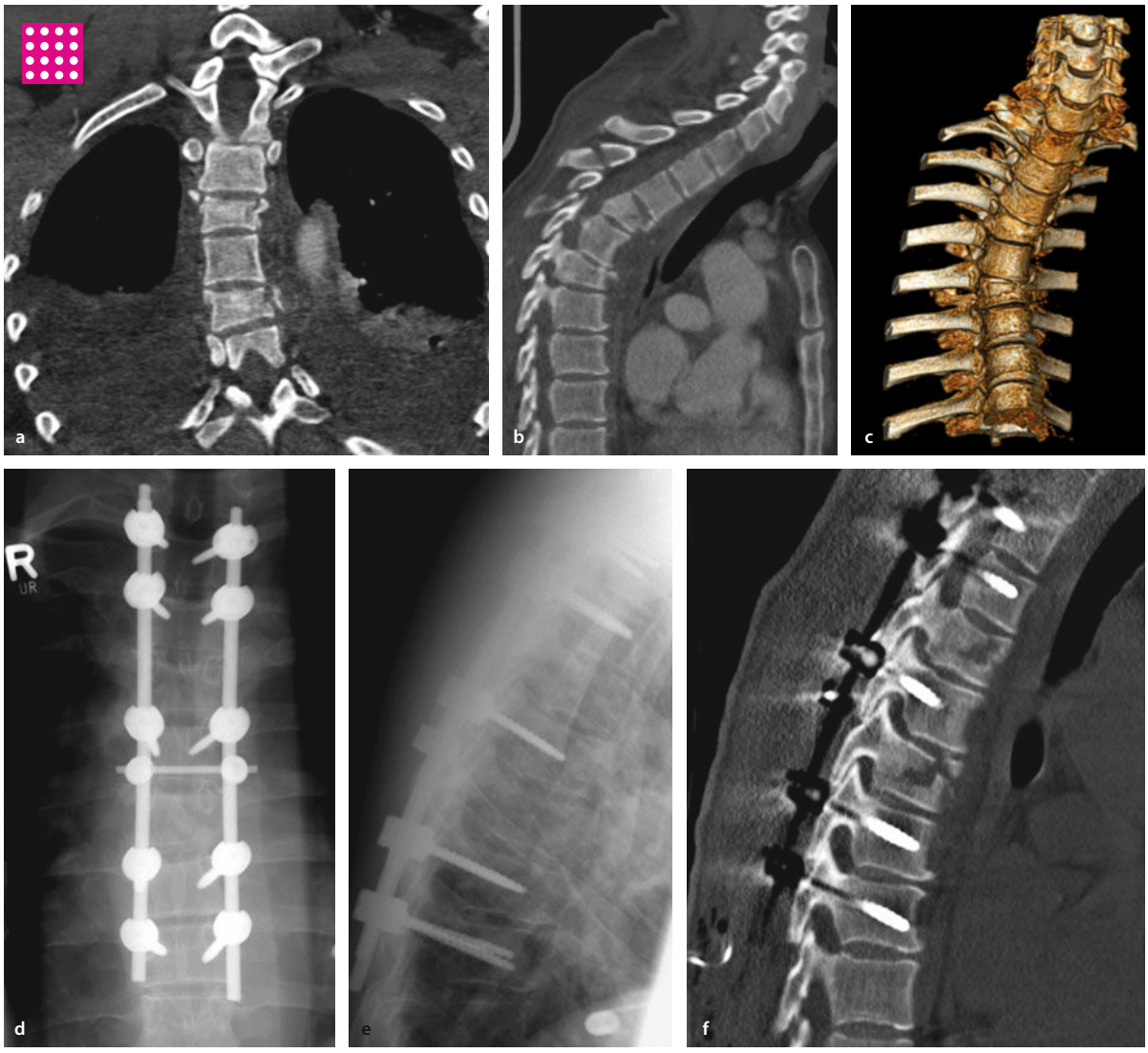


Abb. 15.46. 40 Jahre, männlich. Kollidierte als Pkw-Fahrer mit einem LKW. Thorakale Flexions-Distraktions-Verletzung mit Rotationskomponente Typ C2.1. Berstungsbrüche des 4. und 6. Brustwirbelkörpers mit Flexions-Distrations-Mechanismus und Rotationskomponente. Die Rotation ist im CT-Scan nachweisbar. Zerreißung des Wirbelbogens und des Dornfortsatzes BWK 4 und BWK 6 sowie zusätzliche Dornfortsatzfraktur BWK 3 und BWK 4 (**a, b**). Versorgung mittels mehrsegmentaler dorsaler Spondylodese. Bei der dorsalen Stabilisierung der BWS wurde jeweils ein weiterer Wirbelkörper cranial und caudal der frakturierten Wirbelkörper in die Spondylodese einbezogen. Noch während des gleichen Klinikaufenthalts wurde die ventrale Gegenstabilisierung mittels Zweietagendistraktions-Cage-Versorgung geplant. **a, b** Präoperatives CT [coronar (Hämatothorax beidseitig) und sagittal]. **c** 3-D-Rekonstruktion präoperativ. **d, e** Postoperative Röntgenkontrolle (a.-p. und seitlich). **f** Postoperatives CT (sagittal)

52

53

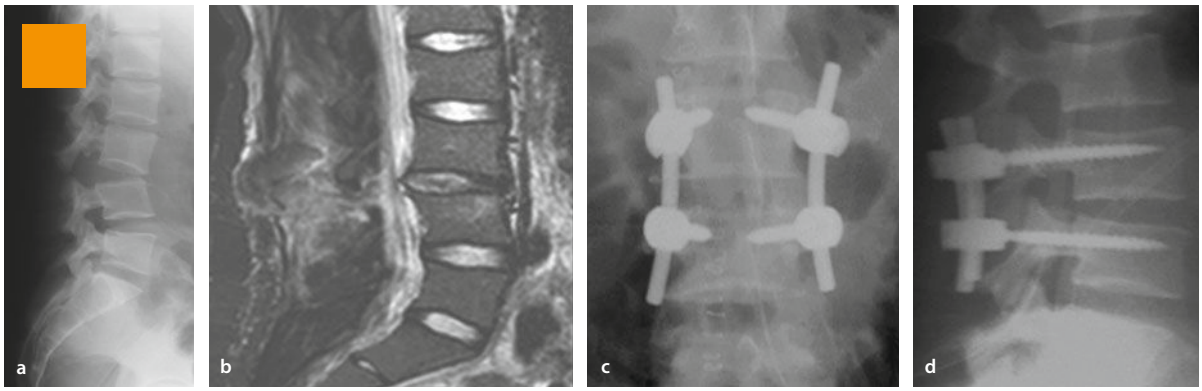


Abb. 15.47. 39 Jahre, männlich. Auffahrunfall. Flexionssubluxation. Wirbelsäulenverletzung vom Typ B1.1 in Höhe LWK 3/4. Versorgung ausschließlich mittels monosegmentaler dorsaler Stabilisierung. **a, b** Präoperative Röntgen- (seitlich, **a**) und MRT-Aufnahme (sagittal, **b**). **c, d** Postoperative Röntgenkontrollen (a.-p. und seitlich) nach monosegmentaler Spondylodese

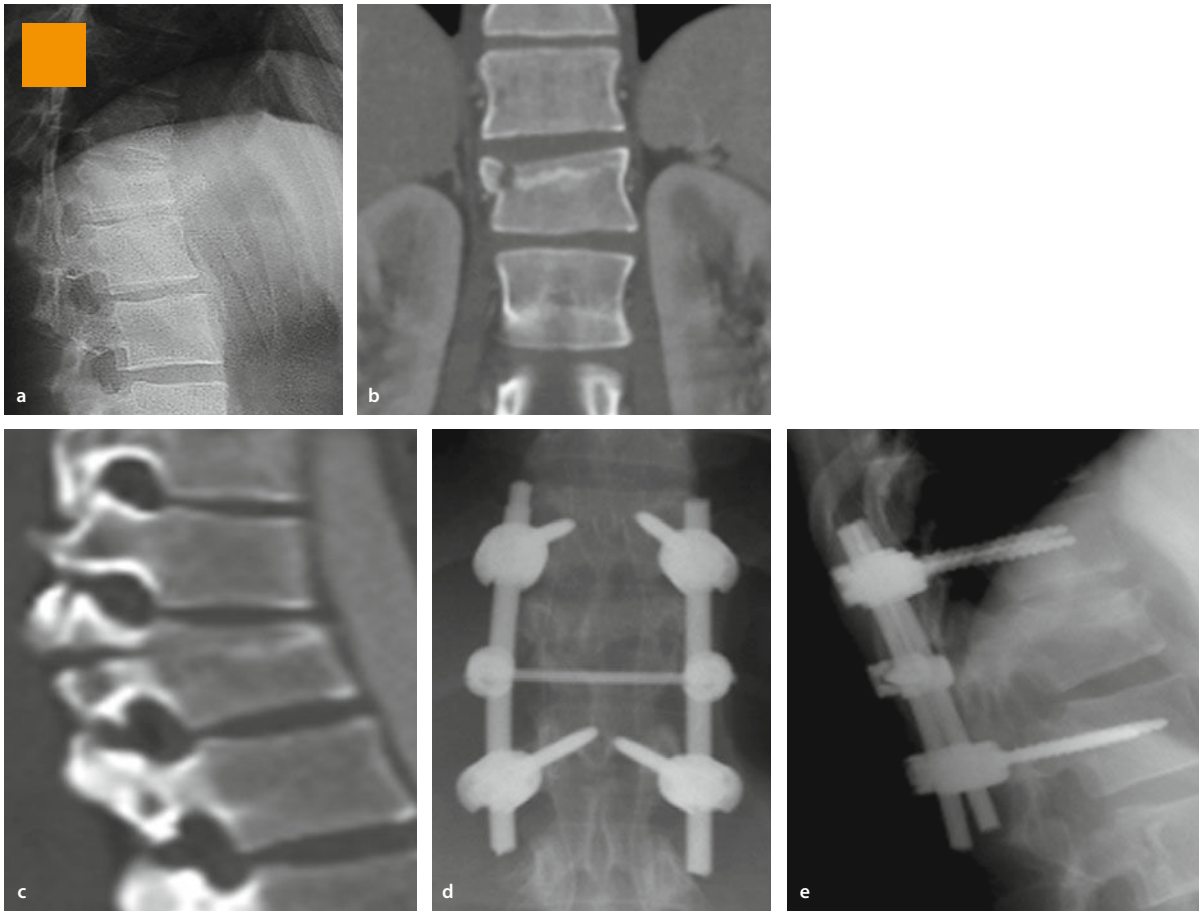


Abb. 15.48. 27 Jahre, männlich. Motorradunfall. »Chance-Fraktur« von BWK 12, Typ B2.3, mit horizontaler Zerreißung durch die Pedikel und Typ-A-Fraktur des Wirbelkörpers. Versorgung mittels bisegmentaler dorsaler Spondylodese mit Querträger, um die Stabilität der Konstruktion zu erhöhen. Im Verlauf von 6 Wochen ist die CT-Kontrolle geplant. Bei unveränderter Situation ist keine ventrale Gegenstabilisierung nötig. **a** Präoperatives Röntgenbild (seitlich). **b, c** Präoperatives CT (coronar und sagittal). **d, e** Postoperative Röntgenkontrollen nach dorsaler Spondylodese über Fixateur interne

Unsere klinische Erfahrung zeigt, dass insbesondere die dorsal stabilisierten BWS-Frakturen einen höheren Korrekturverlust erleiden. Die physiologische Krümmung der thorakalen Wirbelsäule begünstigt biomechanisch eine weitere Kyphosierung des gebrochenen Wirbelkörpers [21]. Das intakte knöcherne Brustkorsett trägt zur Stabilisierung der BWS vorwiegend in Extension und nur gering in Flexion bei, sodass die sekundären Nachsinterungen bei gleichartiger dorsaler Stabilisierung in der BWS deutlicher als in der LWS ausfallen können.

Im Unterschied zur LWS empfehlen wir, bei der dorsalen Instrumentierung der BWS jeweils einen weiteren Wirbelkörper cranial und caudal in die Spondylodese einzubeziehen (Abb. 15.49).

Gute Erfahrungen gibt es inzwischen mit einer 3-D-Bildwandler- oder CT-gestützten Navigation. Ziel ist die Verminderung der Pedikelfehllagen und der Strahlenbelastung, auch wenn der höhere Zeiteinsatz berücksichtigt werden muss. Erste Ergebnisse werden über den Einsatz des offenen MRT bei der dorsalen Frakturstabilisierung mitgeteilt [22]. Als wichtigste Vorteile wird neben einer präziseren Pedikelschraubenplatzierung die intraoperative Kontrolle über die Reposition von Hinterkantenfragmenten angesehen. Allerdings darf der immense technische und zeitliche Aufwand nicht übersehen werden; der Ausbau dieser Technik wird zunächst weiter Zentren überlassen bleiben.

Ventrale Instrumentierung

Der ventrale Zugang stellt hohe operative Ansprüche. Die Lagerung des Patienten ist von der Frakturlokalisation abhängig. Während die obere *thorakale Wirbelsäule bis Th8* überwiegend in *Linksseitenlage* operiert wird, werden die *untere thorakale Wirbelsäule* und die *Lendenwirbelsäule bis zum Wirbelkörper L4 in Rechtsseitenlage* angegangen. Hier ist ein transthorakaler Zugang, ggf. mit Zwerchfelleinkerbung (bei L1) üblich, bei *L2–L4* wird über eine

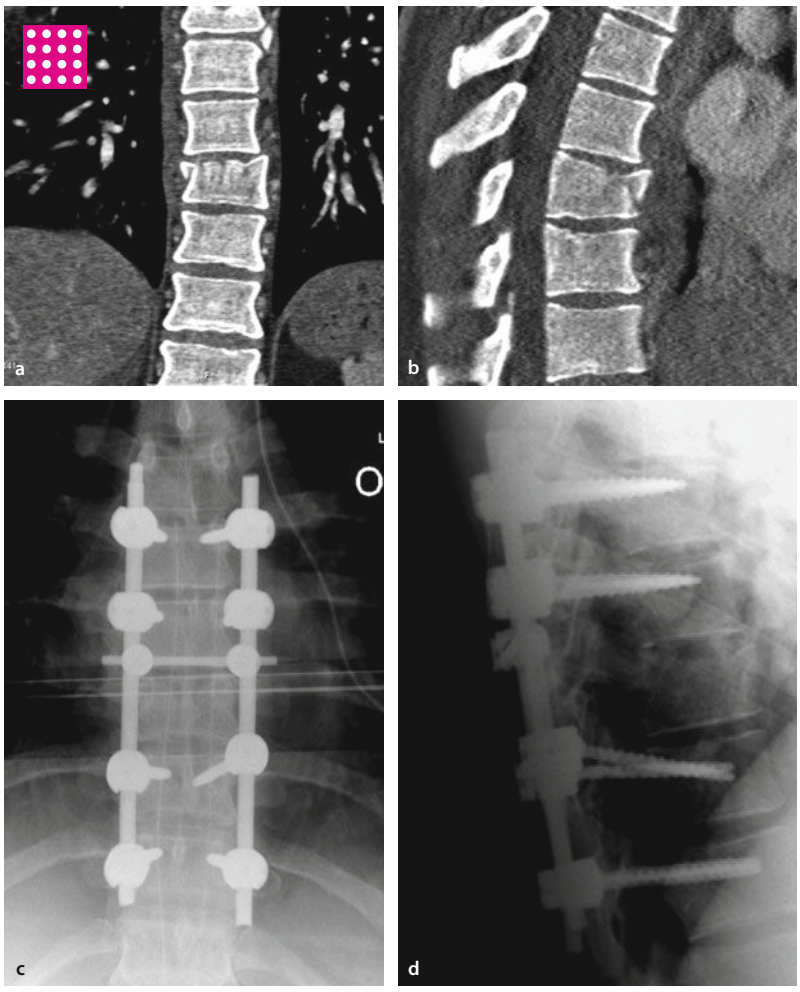


Abb. 15.49. 41 Jahre, weiblich. Sturz vom Motorrad bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h. Inkompletter Berstungsbruch von BWK 8, Typ A3.1. Bei der dorsalen Stabilisierung der BWS wurde jeweils ein weiterer Wirbelkörper cranial und caudal des frakturierten Wirbelkörpers in die Spondylodese einbezogen. Die ventrale Gegenstabilisierung mit einem Cage steht noch aus. **a, b** CT präoperativ. **c, d** Postoperativ; Versorgung mittels Fixateur interne

52

53

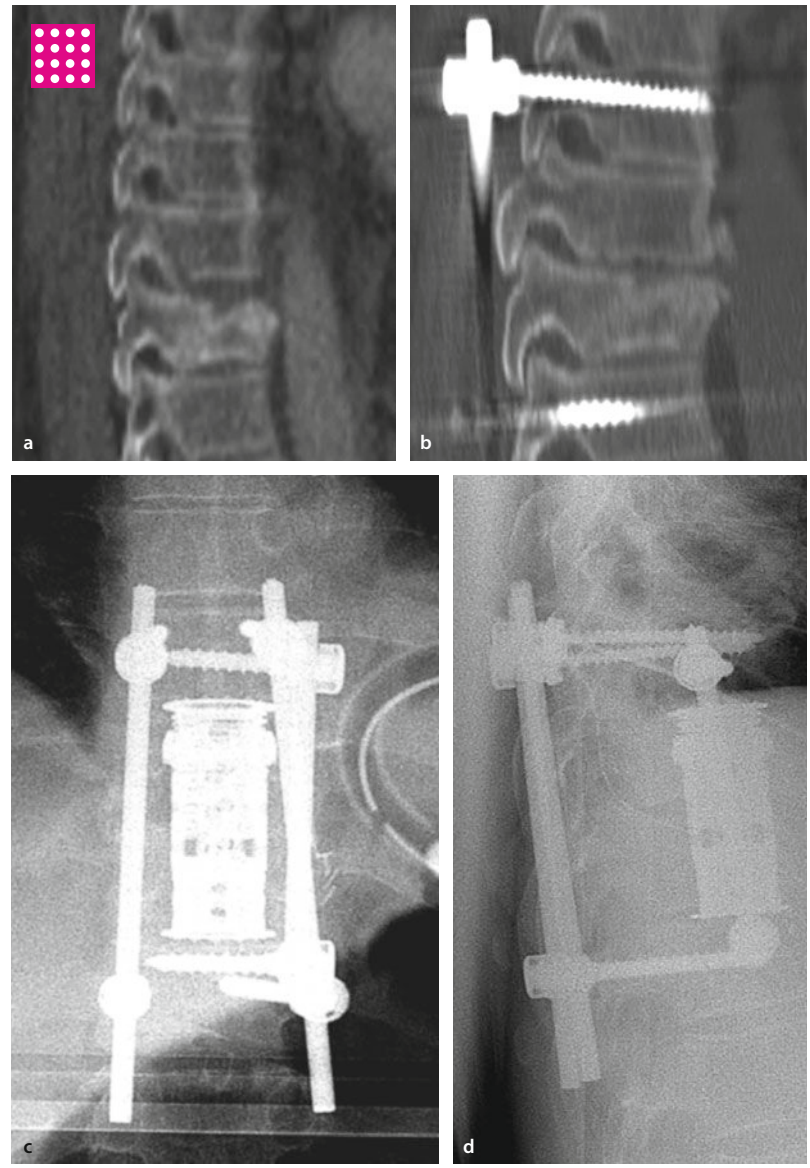


Abb. 15.50. 64 Jahre, weiblich, Auffahrunfall. Kombinationsverletzung zweier benachbarter Wirbelkörper. BWK 11: Fraktur, Typ B2.3 mit horizontalen Zerreißungen durch die Pedikel, sowie BWK 12: Berstungsfraktur, Typ A3.2 (**a**). Deshalb ausnahmsweise dorsale trisegmentale Spondylodese (**b**) und im engen Intervall ventraler Eingriff. **c, d** Ersatz von 2 Wirbelkörpern durch Distraktions-Cage und Sicherung mit Fixateur-Stange (Röntgenaufnahme a.-p. und seitlich)

linksseitige Lumbotomie retroperitoneal operiert. Günstig ist bei der Lagerung das »Aufklappen« der linken Flanke über den Operationstisch. Das Segment *L5–S1* erfordert einen *ventralen retroperitonealen* oder einen *transabdominellen Zugang*.

Nach Darstellen des verletzten Wirbelkörpers kann eine direkte spinale Dekompression vorgenommen werden. Es erfolgt dann nach Ausräumung des verletzten Wirbelkörpers und Resektion der zerrissenen Bandscheibe(n) die mono- oder auch mehrsegmentale Fusion (Abb. 15.50, 15.51). Diese kann durch einen eingebolzten tricorticalen Knochenspan aus dem Beckenkamm erfolgen.

Viele Operateure bevorzugen wegen der fehlenden Entnahmemorbidität und der höheren Sofortbelastbarkeit insbesondere für bisegmentale Versorgungen als Wirbelkörperersatz distrahierbare Titankörbe und eine lokale Spongiosaplastik aus dem teilresezierten Wirbelkörper. Ein Konsens bezüglich des Einsatzes von Körben oder Knochenspänen besteht gegenwärtig nicht. Gegen den Einsatz von Knochenspänen werden Probleme bei der Einheilung, Spanpseudarthrosen und Spannekrosen sowie die im Gegensatz zum Cage geringere Sofortbelastbarkeit angeführt. Die ventrale Fusionsstrecke wird durch einen Fixateur interne oder einen Platten-Fixateur gesichert.

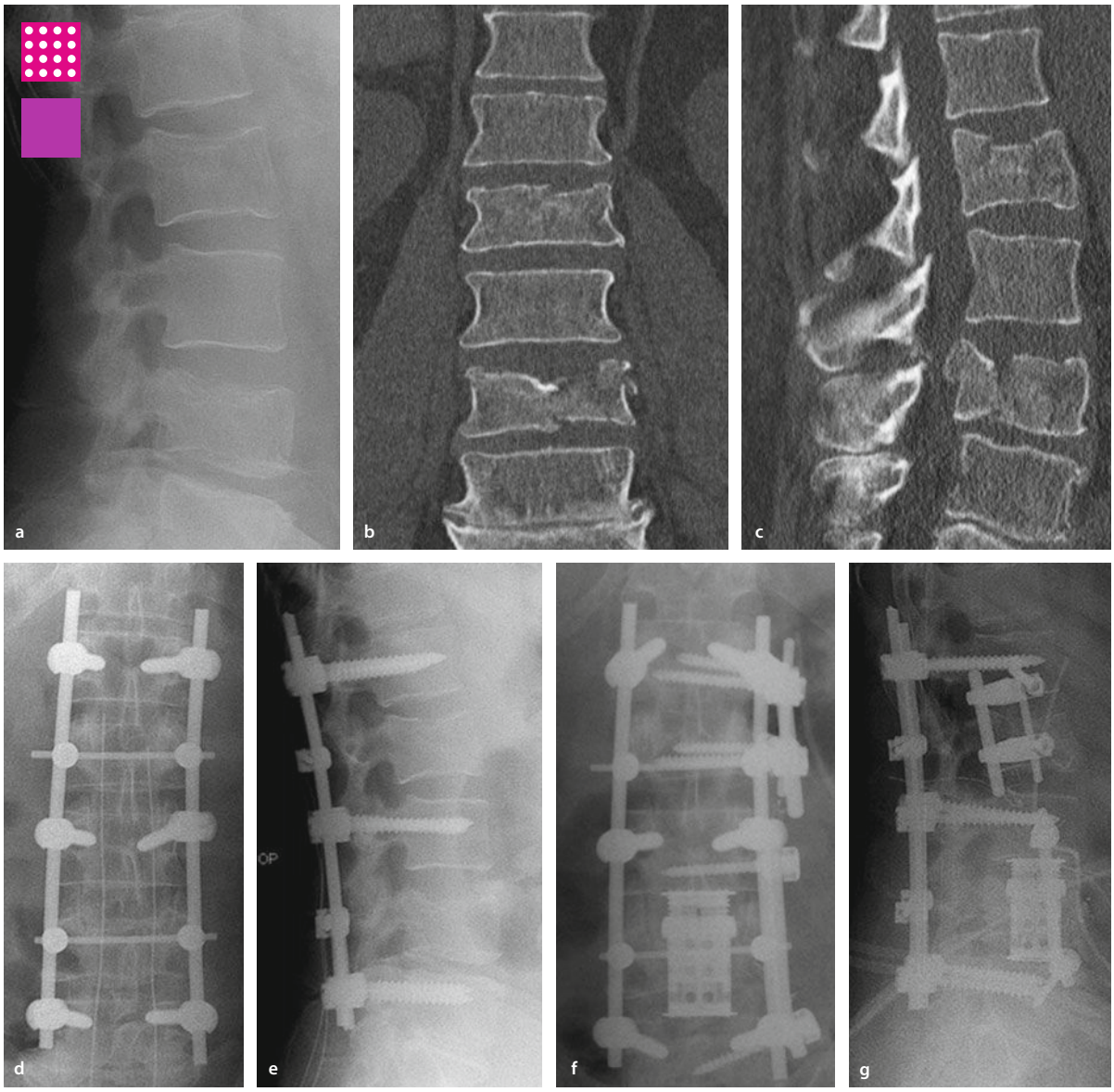


Abb. 15.51. 62 Jahre, männlich. Suizidaler Sprung aus dem 6. Stock. Mehretagenverletzung; Berstungsbrüche von LWK 2, Typ A3.1, und LWK 4, Typ A3.3. Zweizeitige Versorgung mittels mehrsegmentaler dorsaler Spondylodese und im Intervall Distraktions-Cage bzw. Beckenkammspan und Sicherung mit Fixateurstangen. **a** Präoperative seitliche Röntgenaufnahme. **b, c** Präoperatives CT (coronar und sagittal). **d–g** Postoperative Aufnahmen nach Stabilisierung über Fixateur interne a.-p. (**d**) und seitlich (**e**) und nach ventraler Gegenstabilisierung mittels Beckenkammspan (*oben*) und Cage (*unten*) in den gleichen Ebenen (**f, g**)

Minimalinvasive Verfahren

Dem allgemeinen Trend der minimalinvasiven Chirurgie folgte auch die Wirbelsäulenchirurgie. So wurden in den letzten Jahren die thorakoskopisch assistierten Techniken [23–26] zur ventralen Stabilisierungen sowie perkutane Operationsverfahren [27, 28] zur dorsalen Instrumentierung der verletzten Wirbelsäule entwickelt. Erwartungsgemäß zeigen die klinischen Ergebnisse dieser Techniken eine geringere Morbidität der Zugänge und – daraus resultierend – einen geringeren Blutverlust und Schmerzmittelverbrauch sowie eine kürzere Behandlungs- und Rehabilitationszeit bei vergleichbaren funktionellen Ergebnissen. Im Gegensatz zu der thorakoskopisch assistierten ventralen Stabilisierung ist die dorsale perkutane Spondylodese im Vergleich zu den offenen Techniken weniger zeitaufwendig.

52

53

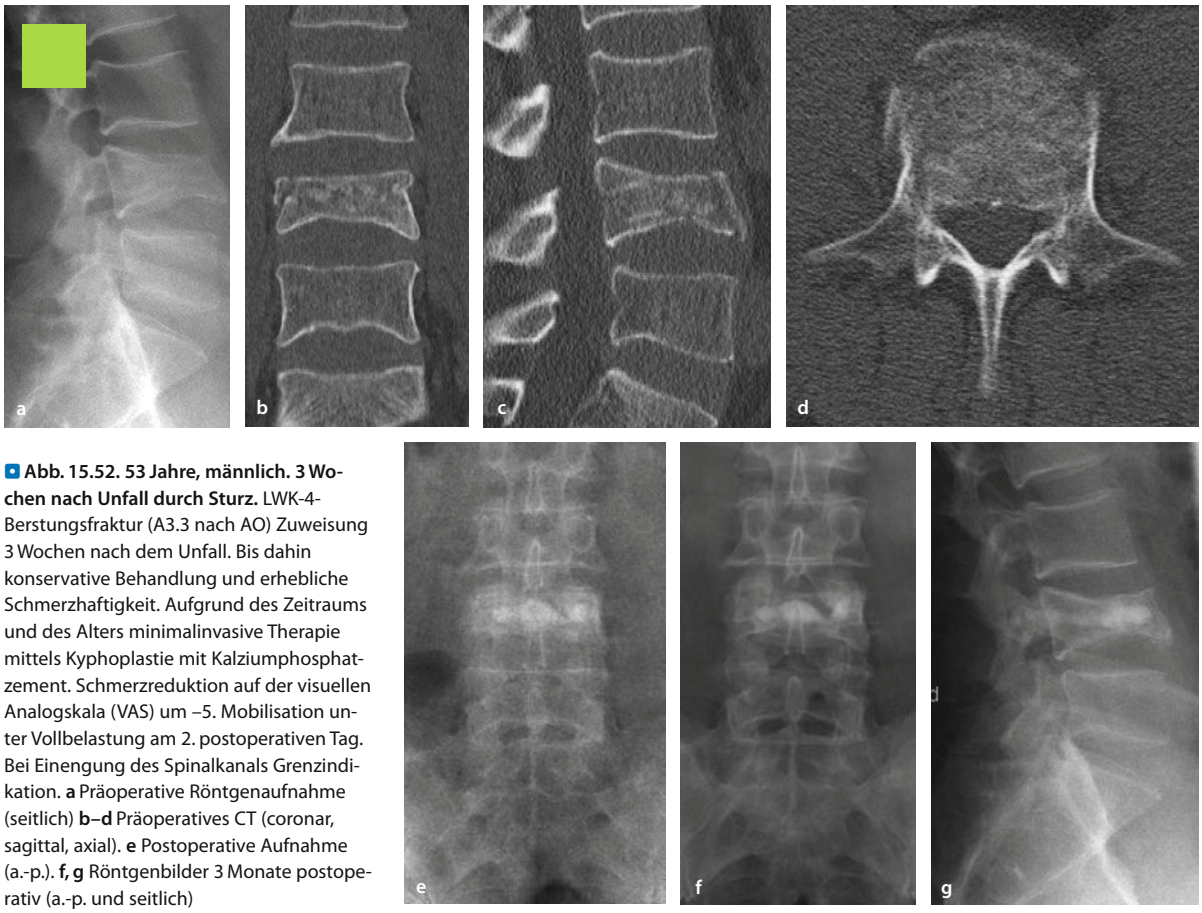


Abb. 15.52. 53 Jahre, männlich. 3 Wochen nach Unfall durch Sturz. LWK-4-Berstungsfraktur (A3.3 nach AO) Zuweisung 3 Wochen nach dem Unfall. Bis dahin konservative Behandlung und erhebliche Schmerzhaftigkeit. Aufgrund des Zeitraums und des Alters minimalinvasive Therapie mittels Kyphoplastie mit Kalziumphosphatzement. Schmerzreduktion auf der visuellen Analogskala (VAS) um –5. Mobilisation unter Vollbelastung am 2. postoperativen Tag. Bei Einengung des Spinalkanals Grenzindikation. **a** Präoperative Röntgenaufnahme (seitlich) **b–d** Präoperatives CT (coronar, sagittal, axial). **e** Postoperative Aufnahme (a.-p.). **f, g** Röntgenbilder 3 Monate postoperativ (a.-p. und seitlich)

Wichtig

Die Erfahrungen aus Wirbelsäulenzentren, die die minimalinvasive Wirbelsäulenchirurgie als Routineverfahren anwenden, lassen erwarten, dass in naher Zukunft das Indikationsspektrum und die Operationstechniken einen weiteren Wandel erfahren werden.

Für die *osteoporotischen*, aber in letzter Zeit auch traumatischen *Wirbelfrakturen* wurden dorsale minimalinvasive Techniken entwickelt. Grundlage für diese Techniken waren die Beschreibungen von Daniaux [21], der Berstungsfrakturen von dorsal transpedikulär mit autologer Spongiosa unterfütterte. Ein sekundärer Korrekturverlust konnte damit jedoch nur teilweise verhindert werden.

Die *Vertebroplastie* greift diesen Zugang für zusammengesinterte osteoporotische Frakturen auf (A-Frakturen nach AO). Hier wird über ein spezielles Instrumentarium von dorsal PMMA- (Polymethylmethacrylat-) Knochenzement in den betroffenen Wirbelkörper zur Abstützung der vorderen Säule eingebracht. Diese Methode wurde an schmerzhaften Haemangiomwirbelkörpern etabliert [29] und ist seit einigen Jahren zur Behandlung von osteoporotischen Sinterungsfrakturen klinisch im Einsatz.

Eine Weiterentwicklung stellt die *Kyphoplastie* dar, hier wird ein Ballonkatheter oder vergleichbare Instrumente von dorsal (transpedikulär oder auch extrapedikulär, d. h. von weiter lateral) im Wirbelkörper positioniert und dilatiert. Auf diese Weise wird ein präformierter Hohlraum geschaffen, in den dann ein Knochenzement zur Abstützung der vorderen Säule gespritzt wird [30] (Abb. 15.52).

Eine partielle Aufrichtung der betroffenen Wirbel ist zum einen durch die Lagerung im ventralen Durchhang und bei der Kyphoplastie durch die Dilatation möglich. Der besondere Vorteil der von Reiley 1998 erstmals durchgeführten Kyphoplastie [31] liegt aber nach eigenen Erfahren in der Schaffung des oben genannten Hohlraums, da durch diese Vorbereitung Zementaustritte aus dem Wirbelkörper signifikant reduziert werden (s. unten »Komplikationen«). Intention ist es daher nicht, so viel Zement wie möglich in den Wirbelkörper zu injizieren,

sondern die vordere Säule nur abzustützen. Nach eigenen Untersuchungen an >70 Wirbelkörpern überwiegend der LWS wurden im Mittel 5,4 ml Zement bipedikulär eingebracht. An der BWS reichen auch geringere Mengen um 4 ml pro Wirbel aus. Vor dem Eingriff sollte Klarheit über eine Mitverletzung der Wirbelkörperhinterkante bestehen. In diesen Fällen muss sehr genau die Indikation zum Eingriff abgewogen werden, um eine Protrusion von Zement in das Wirbelrohr zu vermeiden.

Nachdem anfangs mittels computertomographischer Unterstützung gearbeitet wurde, sehen inzwischen viele Arbeitsgruppen die Bildwandlerkontrolle als ausreichend an. Dabei muss in der a.-p.-Ebene und der seitlichen Einstellung kontrolliert werden. Zu Beginn sollten die Pedikel a.-p. eingestellt werden und bei etwa 10 bzw. 2 Uhr punktiert werden. Der Hautschnitt ist ca. 1 cm lateral davon zu setzen. Dann wechselt man in die seitliche Ebene und treibt die Punktionsnadel bis zur Hinterwand unter leichter Konvergenz (je nach Wirbelkörperhöhe fast senkrecht bis etwa 15°) vor. Nach Erreichen der Hinterkante empfiehlt sich eine erneute a.-p.-Bildwandlerkontrolle, um sicherzustellen, dass die mediale Pedikelbegrenzung nicht überschritten wurde. Nach Positionierung der Nadelspitze im Corpus wird über einen Führungsdraht auf die endgültige Arbeitskanüle zur Zementapplikation gewechselt.

Standardindikation ist die *osteoporotische Sinterungsfraktur*, deren Bedeutung sich in einigen epidemiologischen Daten zeigt.

Wichtig

Die häufigste osteoporoseassoziierte Fraktur ist der Wirbelkörperbruch.

Die Prävalenz solcher Brüche beträgt bei 50- bis 80-Jährigen 12%, bei 80-Jährigen 40% [32, 33]. Allein in den USA treten etwa 700.000 Wirbelfrakturen pro Jahr auf, wovon ca. 35% auch auf Dauer stark schmerzhaft verbleiben [34]. Demzufolge werden Hospitalisierungsraten nach Wirbelbrüchen von >15% berichtet [35, 36]. Aufgrund der veränderten Statik steigt das Risiko, einen weiteren Bruch zu erleiden [37].

Neben den statischen Einflüssen kommt es durch die zunehmende Kyphose zu Thoraxdeformitäten mit kardialen und pulmonalen Komplikationen [38], weiter zu einer Abnahme der Vitalkapazität von errechneten 9% pro Fraktur [39] und einer Abnahme der FEV_1 um 8% [40]. Folglich steigen Morbidität und Mortalität deutlich an [38], und »vice versa« kommt es zu vermehrter Immobilität mit gesteigertem Knochenabbau.

Patientenbezogen sollte die *Indikation* zur Vertebro- oder Kyphoplastie bei *persistierenden Schmerzen* mit oder ohne Wirbelkörperödem im MRT gestellt werden [32]. Dies ist am ehesten durch eine chronische Instabilität bedingt. Bei richtig gestellter Indikation gehen die geklagten Schmerzen direkt nach der Operation zurück, sodass fast alle Patienten postoperativ deutlich besser mobilisierbar sind. Andere gute Indikationen stellen traumatische und pathologische Frakturen dar oder frakturgefährdete Wirbel, z. B. aufgrund von Metastasen. Bei tumorösen Veränderungen kann ein chronischer, nicht beeinflussbarer Schmerz die Indikation zur Kyphoplastie ergeben.

Komplikationen

An intraoperativen Komplikationen ist die Gefahr der Verletzung von wichtigen Strukturen (Gefäße, intraabdominelle und retroperitoneale Organe) zu beachten. Eine Verschlechterung der neurologischen Situation aufgrund von Materialfehllagen, Verletzung oder Einengung von Dura und Rückenmark sowie Beeinträchtigung der Durchblutung oder einer Ödembildung ist unbedingt zu vermeiden. Solche Probleme werden bei 1,8% der Patienten beobachtet [17]. Postoperativ sind zu nennen:

- Implantatfehllagen (bei Pedikelschrauben bis 10% [2]) und
- Implantatversagen – Materialermüdung, Verkippung/Versagen der Körbe/Knochenspäne oder eine Auslockerung der Pedikelschrauben mit nachfolgendem Korrekturverlust (◘ Abb. 15.53).

Die Multicenter-Studie der AG Wirbelsäule fand in ihrem Kollektiv von 682 Patienten bei 14,8% mindestens eine intra- oder postoperative Komplikation [17]. Von den komplikationsbehafteten Verläufen mussten 41 revidiert werden, was einer Revisionsrate von 6% entsprach. Die revisionspflichtigen Komplikationen nach ventralen Eingriffen waren mit 10,8% am häufigsten [17].

Bei den minimalinvasiven Verfahren wie der Vertebro- oder Kyphoplastie werden insbesondere Zementaustritte je nach Studie und Technik der Nachuntersuchung von bis zu >80% beobachtet [32, 41], wobei diese Problematik bei der Kyphoplastie seltener ist. Zusätzlich besteht die Verletzungsmöglichkeit von wichtigen Strukturen wie Nervenwurzeln, Rückenmark oder Gefäßen in unmittelbarer Nachbarschaft [42, 43]. Zementembolien können zu pulmonalen Komplikationen führen [44]. Auch kann die neurologische Situation bis hin zum Querschnitt beeinträchtigt werden. Wir empfehlen daher, beide Methoden nur in den Kliniken anzuwenden, in denen auch die Möglichkeit zur offenen Spinalkanalrevision besteht.

Zementleckagen in die umgebenden Weichteile sind von untergeordneter Bedeutung, können aber zu sog. Anschlussfrakturen benachbarter Wirbelkörper führen [45], wenn Zementspitzen in die Bandscheiben austreten. Insgesamt sind Leckagen bei der Vertebroplastie (◘ Abb. 15.54).

52

53

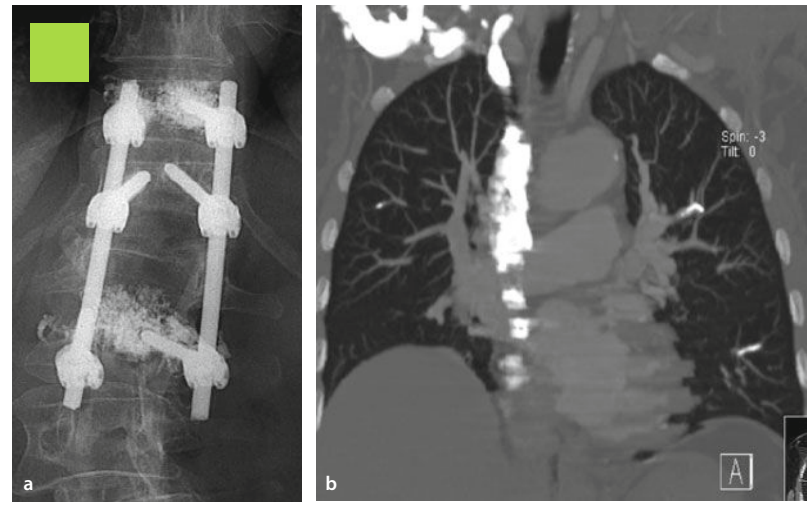


Abb. 15.53. 62 Jahre, weiblich. LWK-1-Fraktur mit ca. 20%iger Spinalkanalstenose. Initial Fixateur von BWK 12 auf LWK 2. Bei Ausriss der Pedikelschrauben Revision, augmentierende Vertebroplastie von BWK 11 und LWK 2, Verlängerung des Fixateurs auf BWK 11 und 12 sowie LWK 2. Zementleckagen BWK 12 ventral und LWK 2 ventral, dorsal und lateral (**a**). Ruhedyspnoe bei multiplen subsegmentalen Zementembolien beidseits (CT-Schnittbild, **b**)

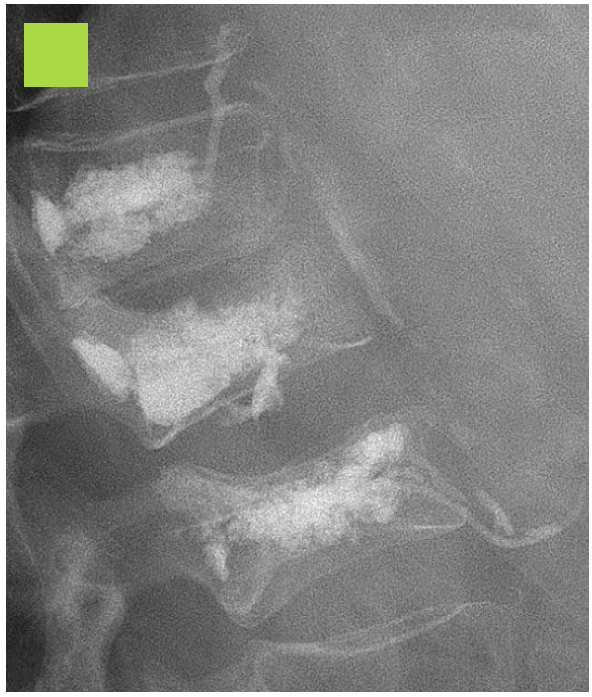


Abb. 15.54. Multiple Zementaustritte nach Vertebroplastie im seitlichen Röntgenbild. Zunächst Vertebroplastie von BWK 12, bei Anschlussfrakturen in 2. Sitzung Vertebroplastie von BWK 11 und LWK 1. Bei Zementembolien Dyspnoe und Intensivpflichtigkeit, Entlassung nach 26 Tagen mit O_2-Applikator

wesentlich häufiger, da die Schaffung eines präformierten Hohlraums vor der Zementapplikation entfällt. Wir empfehlen daher die Kyphoplastie als Verfahren der Wahl. Bei Patienten <60 Jahren sollte unserer Einschätzung nach langzeitabbaubarer Kalziumphosphatzement verwendet werden, da über die Langzeitwirkung von Polymethylmethacrylatzementen (PMMA) im Wirbelkörper noch keine Daten verfügbar sind.

Mechanismen, wie sie bei der aseptischen Lockerung von Hüftendoprothesen wirksam werden, sind auch im Wirbelkörper denkbar und könnten über lange Zeiträume zu erheblichen Problemen führen.

Wichtig

Bei Verwendung von Kalziumphosphatzement ist ein Zement-Bandscheiben-Kontakt zu vermeiden, da es zu Zementresorptionen kommen kann.

15.2.6 Nachbehandlung

Alle Versorgungen sollten eine sofortige Vollbelastbarkeit des Patienten ermöglichen. Begonnen wird möglichst am 1. postoperativen Tag mit einer achsengerechten Mobilisierung in den Stand unter physiotherapeutischer Anleitung. Eine suffiziente Analgesie sollte hier selbstverständlich sein, eine Thromboseprophylaxe ist obligat. Wichtig ist neben einer intensiven Atemtherapie die Stärkung des Muskelkorsetts, ähnlich dem Vorgehen bei der konservativen Behandlung.

Nach Vertebro- oder Kyphoplastie mit PMMA kann der Patient am Abend nach der Operation bereits unter achsengerechter Vollbelastung mobilisiert werden. Bei Verwendung von Kalziumphosphatzement empfehlen wir eine achsengerechte Rückenlagerung ohne Torsionen für 24 h, da der Zement diese Zeit zum Erreichen der endgültigen Druckbelastbarkeit benötigt. Die achsengerechte Mobilisierung ist hier von besonderer Bedeutung, da der Zement nur geringe Festigkeit bei einwirkenden Torsions- oder Biegekräften aufweist.

Die Entfernung des Fixateur interne sollte bei rein dorsaler Instrumentierung wegen der Gefahr der Metallermüdung und des Implantatbruchs nach Ablauf von 1 Jahr vorgenommen werden. Bei sicher konsolidierter dorsoventraler Spondylodese muss der Fixateur nur bei lokalen Beschwerden oder zur Freigabe eines »gesperrten« Bewegungssegments entfernt werden.

15.2.7 Sonderformen

Osteoporotischer Knochen. Diese Frakturen stellen eine wichtige Gruppe dar, da sie eine andere Genese aufweisen, andere Frakturmorphologien zeigen und aufgrund der demographischen Entwicklung immer häufiger werden. Demzufolge sind spezielle Behandlungsstrategien wie die Vertebro- und Kyphoplastie entwickelt worden (s. oben; ◘ Abb. 15.55, 15.56). Auch bei multimorbiden Patienten, denen große Eingriffe nicht zugemutet werden können (◘ Abb. 15.57), oder bei ausgeprägter Osteoporose, wo eine sichere Befestigung von Implantaten wie z. B. Pedikelschrauben fraglich ist, gibt es gute Erfahrungen mit den oben beschriebenen Zementierungstechniken. Pedikelschrauben finden z. B. über die augmentierende Vertebroplastie einen besseren Halt.

Wichtig ist, dass instabile Frakturen mittels Vertebro- oder Kyphoplastie nicht in stabile überführt werden können. Die Methoden können jedoch gut in Kombination mit einem anderen Verfahren zur Abstützung der vorderen Säule oder aber als augmentierende Vertebroplastie zu besseren Verankerung von Pedikelschrauben in Kombination mit einem Fixateur interne angewendet werden. Die ▶ Übersicht gibt einen Anhalt zur Anwendung der beiden Verfahren (Klassifikation der Frakturen nach AO).

Operationsverfahren bei osteoporotischem Knochen

- Vertebro-/Kyphoplastie:
  - A1,
  - A3.1
- Vertebro-/Kyphoplastie in Kombination mit Fixateur interne:
  - A3.3
  - B- und C-Frakturen mit Beteiligung der vorderen Säule (Kompression)
- Augmentierende Vertebroplastie:
  - Zur besseren Verankerung von Pedikelschrauben bei Osteoporose (jede Frakturschwere)

Beide genannten Verfahren sind ein wesentlicher chirurgischer Baustein in der Behandlung der systemischen Erkrankung Osteoporose. Eine medikamentöse Therapie muss eingeleitet oder weitergeführt werden.

M. Bechterew. Die HLA-B27-assoziierte ankylosierende Spondylitis (M. Bechterew) ist durch fortschreitende Entzündungsprozesse der Wirbelsäule charakterisiert. Die Verknöcherung des Bandapparates mit Verlust der Beweglichkeit und Elastizität sowie die zumeist begleitende Osteoporose bedingen ein bis zu 4-fach erhöhtes Frakturrisiko im Vergleich zu Wirbelsäulengesunden [46]. Daher bedarf es geringerer traumatisierender Kräfte, um eine ankylosierte Wirbelsäule zu verletzen. Es handelt sich hierbei in der Regel um einen Hyperextensionsmechanismus.

Wichtig

Eine Fraktur der Bechterew-Wirbelsäule stellt aufgrund der fehlenden Elastizität und hohen Frakturinstabilität sowie der Häufigkeit neurologischer Komplikationen und Sekundärdislokationen ein schwerwiegendes Trauma dar.

Die bereits vorbestehenden pathologischen Veränderungen der Wirbelsäule erschweren die Frakturbeurteilung im konventionellen Röntgenbild. Hier muss die Indikation zur CT- bzw. MRT-Diagnostik großzügig gestellt werden. Mehrsegment- und Mehretagenverletzungen müssen ausgeschlossen werden. Die steife und fragile Wirbelsäule ähnelt in ihrem Frakturverhalten dem eines langen Röhrenknochens. Hieraus ergeben sich die hohe Instabilität und die Indikation zur operativen Stabilisierung. Wir empfehlen eine langstreckige und über mindestens 2 Bewegungssegmente angelegte dorsale Spondylodese und ein zweizeitiges ventrales Vorgehen (◘ Abb. 15.58).

Kinder. Kindliche Wirbelsäulenfrakturen (◘ Abb. 15.59) sind v. a. aufgrund der höheren Elastizität der Wirbelsäule im Vergleich zum Erwachsenen sehr selten. Sie machen ca. 1% aller kindlichen Verletzungen bzw. 2–5% aller Wirbelsäulentraumata aus [47]. >75% sind Kompressionsverletzungen. Typisch sind Serien- und Mehretagenfrakturen (>50%).

Aufgrund des höheren Relativvolumens des Rückenmarks im Spinalkanal sind die begleitenden Rückenmarkverletzungen häufiger als beim Erwachsenen. Neurologische Ausfälle treten zwischen 14% und 57% auf, komplette Querschnittssyndrome finden sich bei 19–25% der Kinder [47–49].

Aufgrund der sehr hohen Bandlaxizität der kindlichen Wirbelsäule können Extrembewegungen stattfinden, die zwar zu einer Läsion des Rückenmarks führen, jedoch nicht immer radiologisch nachweisbar sind (SCIWORA; ▶ Kap. 15.1.4). Ein weiterer Nachteil der konventionellen Röntgendiagnostik bei kindlichen Wirbelsäulenfrakturen liegt in der schwierigen Abgrenzung von Synchondrosen und Apophysen sowie Frakturlinien. Die MRT-Indikation ist großzügig zu stellen, bei neurologischen Ausfällen ohne radiologisches Korrelat ist sie unabdingbar.

52

53

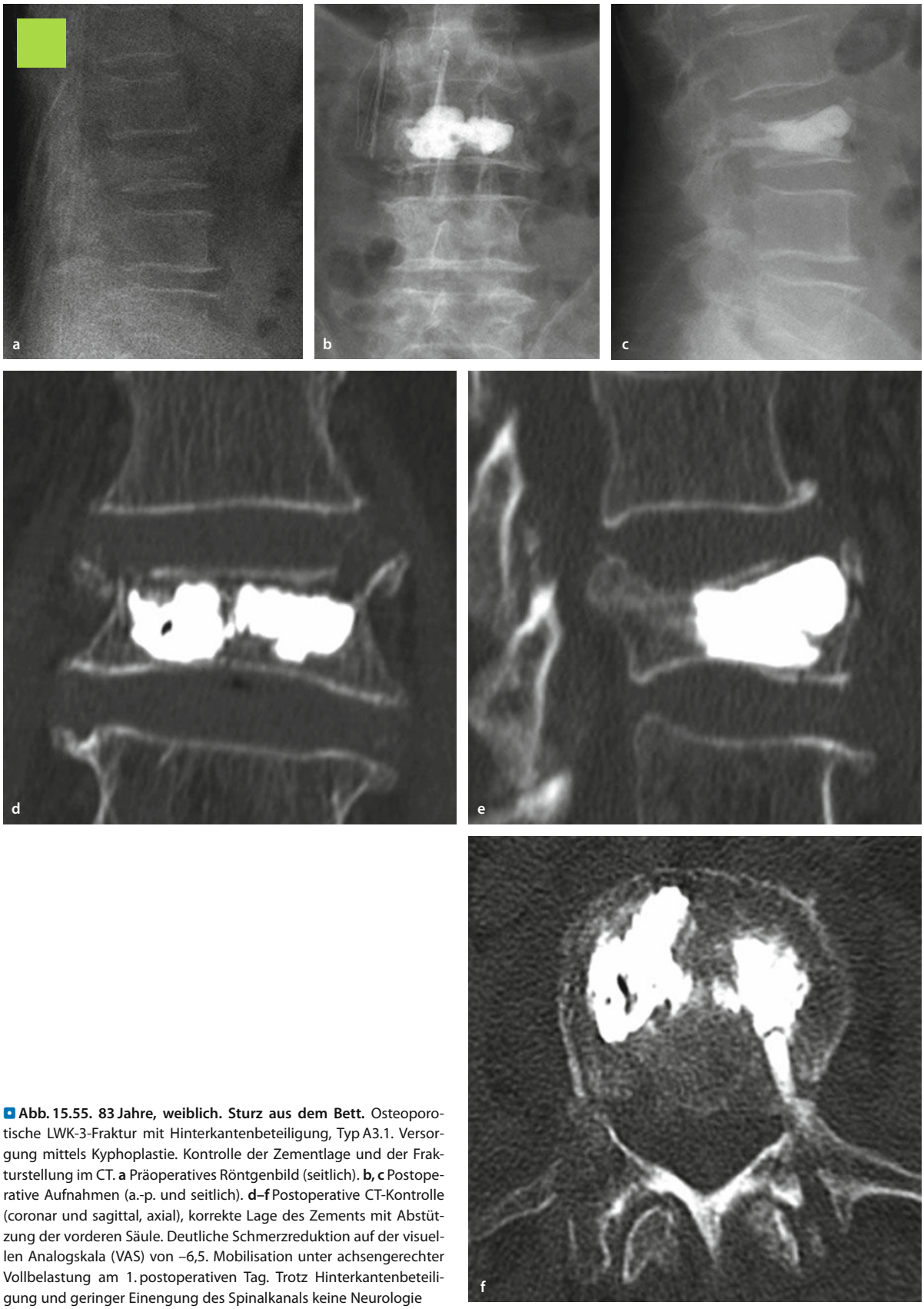


Abb. 15.55. 83 Jahre, weiblich. Sturz aus dem Bett. Osteoporotische LWK-3-Fraktur mit Hinterkantenbeteiligung, Typ A3.1. Versorgung mittels Kyphoplastie. Kontrolle der Zementlage und der Frakturstellung im CT. **a** Präoperatives Röntgenbild (seitlich). **b, c** Postoperative Aufnahmen (a.-p. und seitlich). **d–f** Postoperative CT-Kontrolle (coronar und sagittal, axial), korrekte Lage des Zements mit Abstützung der vorderen Säule. Deutliche Schmerzreduktion auf der visuellen Analogskala (VAS) von –6,5. Mobilisation unter achsengerechter Vollbelastung am 1. postoperativen Tag. Trotz Hinterkantenbeteiligung und geringer Einengung des Spinalkanals keine Neurologie

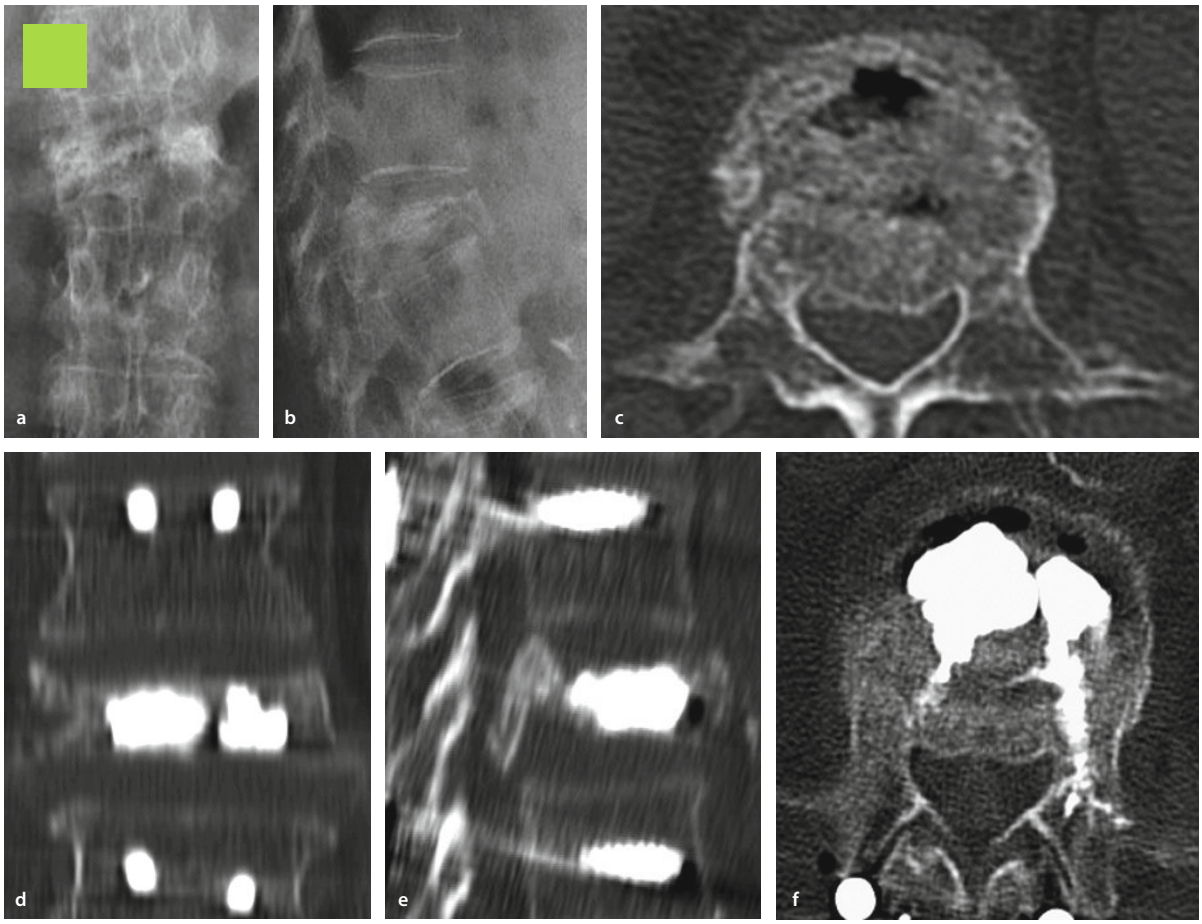


Abb. 15.56. 73 Jahre, weiblich. Kortisontherapie. Sturz. Osteoporotische Fraktur. komplette Sinterung (Vertebra plana), seit Längerem bestehend. Bei erheblicher Schmerzhaftigkeit Immobilität. Aufrichtung über Fixateur interne und Abstützung der vorderen Säule mit PMMA-Zement durch Kyphoplastie. Schmerzreduktion auf der visuellen Analogskala (VAS) um 5 Punkte. Mobilisation unter Vollbelastung am 1. postoperativen Tag. Bei Einengung des Spinalkanals Grenzindikation. **a, b** Präoperative Röntgenaufnahmen (a.-p. und seitlich), **c** Präoperative axiale CT-Schicht. **d–f** Postoperative CT-Schichten (coronar, sagittal, axial). Keine Neurologie

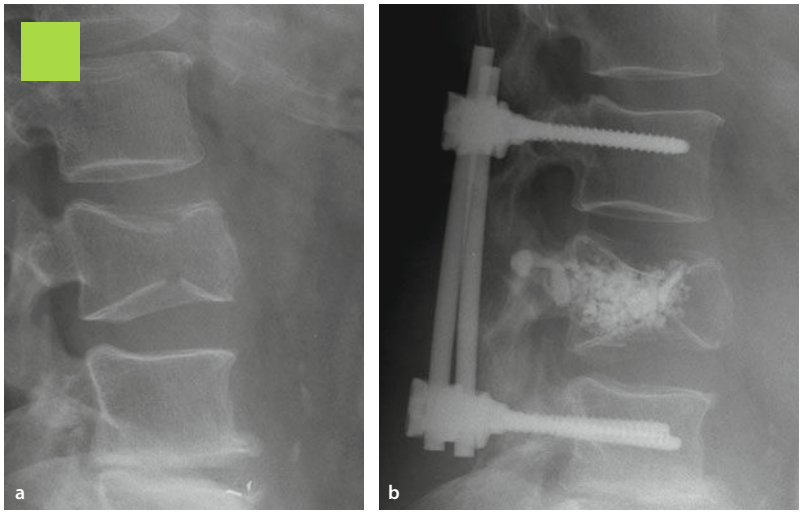


Abb. 15.57. 56 Jahre, weiblich. Kortisontherapie. Sturz von der Treppe. Osteoporotische Fraktur. Osteoporotische LWK-4-Fraktur, Spaltbruch in der Frontalebene Typ A2.2. Versorgung mittels dorsaler Spondylodese und Vertebroplastie bei erheblichen Nebenerkrankungen und deutlich eingeschränkter Lebenserwartung. Mobilisation unter Vollbelastung am 1. postoperativen Tag. Auch bei der Nachuntersuchung nach 1 Jahr anhaltende Schmerzlinderung (–7,5 Punkte auf der visuellen Analogskala)



Abb. 15.58. 63 Jahre, männlich. Sturz auf den Rücken. Horizontale Zerreißung des Bewegungssegments L1/2 im Sinne einer B3-Verletzung nach AO bei M. Bechterew. Versorgung mittels mehrsegmentaler dorsaler Spondylodese BWK 12–LWK 4. Der Patient lehnte die ventrale Gegenstabilisierung mit Beckenkammspan und Fixateur-Platte ab. **a, b** Präoperative Röntgenaufnahmen (a.-p. und seitlich), in der seitlichen Ebene Retrolisthesis von LWK 1 gegenüber LWK 2 (**b**). **c, d** Funktionsaufnahmen in Ante- und Retroflexion. **e–h** Röntgen- und CT-Aufnahmen nach dorsaler Spondylodese mittels Fixateur interne (a.-p. und seitlich bzw. coronar und sagittal)

Die Klassifikation der Verletzungen der kindlichen Wirbelsäule sowie die Versorgungsstrategien entsprechen im Prinzip denjenigen der Erwachsenen. Die Korrekturpotenz der posttraumatischen Fehlstellungen ist v. a. bei <10-Jährigen so ausgeprägt, dass selbst bei >50% Höhenverlust des verletzten Wirbelkörpers mit einer vollständigen Aufrichtung zu rechnen ist [50–52]. Die Korrekturpotenz der kindlichen posttraumatischen Fehlstellung nimmt mit dem Alter ab. Während die posttraumatischen Kyphosen der Kinder exzellent remodellieren, ist die Wiederaufrichtungsfähigkeit posttraumatischer Skoliosen verzögert oder unzureichend.

Die A-Verletzungen mit Keilwirbelbildung >10° können frühfunktionell mit achsengerechter Mobilisierung und Physiotherapie behandelt werden. Die Indikation zur Materialentfernung einer dorsalen Spondylodese besteht nahezu immer.

15.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die prospektive multizentrische Studie der AG »Wirbelsäule« der DGU aus dem Jahr 2001 bietet aktuelle Ergebnisse anhand der Nachuntersuchung von 372 Patienten durchschnittlich 27 Monate nach operativer Versorgung einer Wirbelsäulenverletzung [53]. Hier konnte festgestellt werden, dass keine der Operationsmethoden sicher einen Korrekturverlust in der Sagittalebene ver-

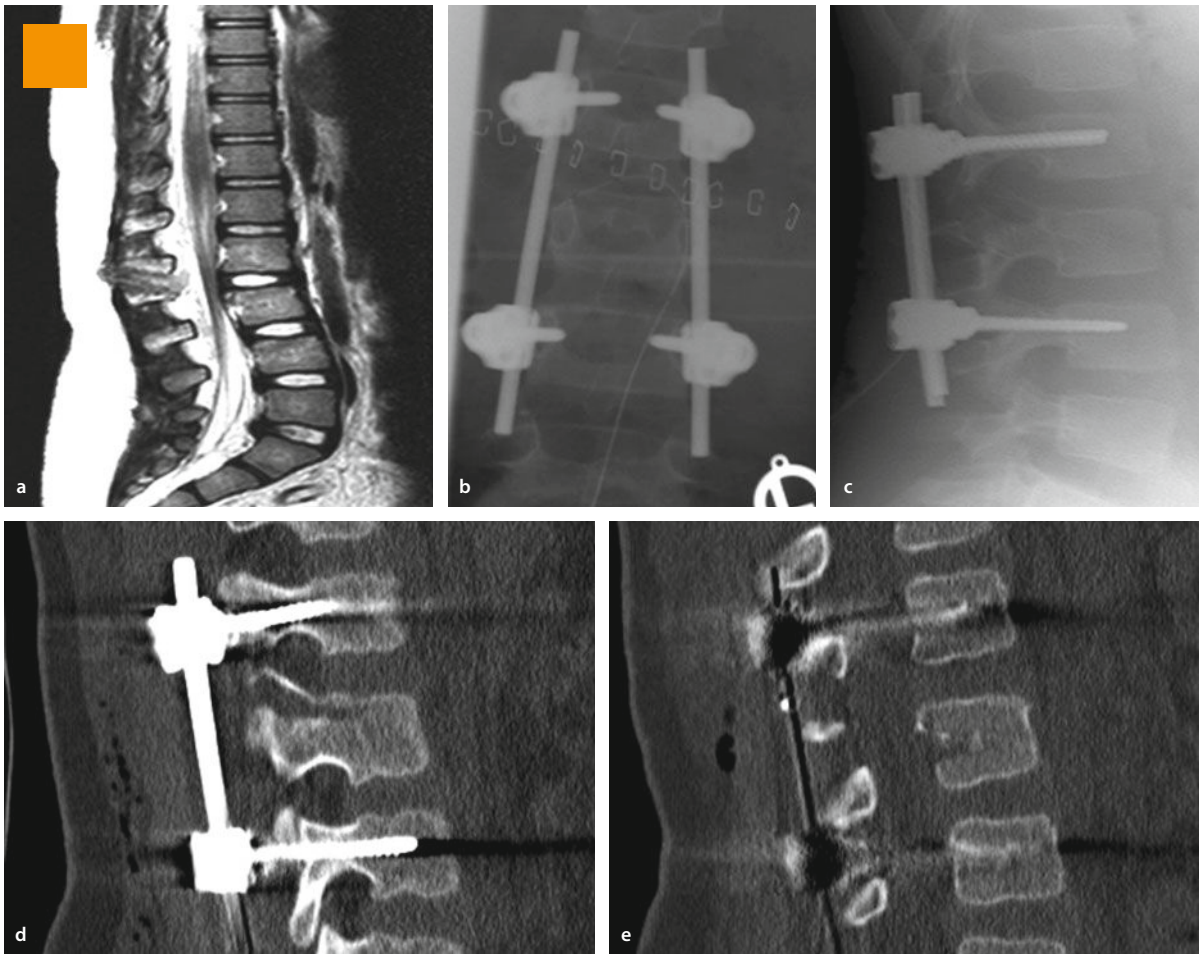


Abb. 15.59. 12-jähriges Kind, weiblich. Sturz vom Pferd. Flexionsverletzung Typ B2.2 mit Zerreißung der Bandscheibe im Segment L2/3, Zerreißung des Dornfortsatzes, der Pedikel von LWK 2 und Ausstrahlung der Fraktur in den Wirbelkörper (**a–c**). Versorgung ausschließlich mittels bisegmentaler dorsaler Stabilisierung. **d, e** Postoperatives CT (jeweils sagittal).

hindert. Eine geringere segmentale Fehlstellung und damit ein besseres röntgenologisches Resultat wurde nach ventralem oder kombiniertem Vorgehen erzielt, ein besseres klinisch-funktionelles Ergebnis jedoch nicht. Ein sicherer Gewinn gegenüber der präoperativen Fehlstellung ließ sich mit der dorsalen Technik nicht erreichen. Eine transpedikuläre Spongiosaplastik führte weder zu einer sicheren ventralen Fusion noch zu einer Minderung des Korrekturverlustes und wurde nicht mehr empfohlen.

Alle untersuchten Behandlungsformen zeigten im Beobachtungszeitraum gleichwertige klinisch-funktionelle Ergebnisse. Bei 1/3 der Patienten war mit einer erheblichen funktionellen Beeinträchtigung zu rechnen, 1/3 kehrten nicht zu ihrer sportlichen Aktivität zurück, nur 50% der Patienten konnten den alten Beruf wieder aufnehmen oder zu gleicher körperlicher Belastung im Beruf zurückkehren. 17% der Patienten waren mit dem Behandlungsergebnis insgesamt »weniger zufrieden« oder »unzufrieden«.

15.2.9 Begutachtung

Für die Begutachtung der Traumafolgen einer verletzten Wirbelsäule sind folgende Kriterien zu berücksichtigen [54–56]:

- Die Beurteilung der *traumabedingten Funktionsstörung* steht bei der Begutachtung im Vordergrund. Hier sind die aktuellen Bewegungsausmaße nach der Neutral-0-Methode einzuschätzen. Hierbei ergeben die reversiblen Funktionsstörungen (Blockierungen)

52

53

keinen Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) oder messbare Invalidität.

- Dokumentation der Art und Ausprägung der *posttraumatischen Deformierungen* nach pathomorphologischen und biomechanischen Gesichtspunkten. Bestimmung des Krümmungswinkels nach Cobb, der kyphotischen, skoliotischen, translatorischen und Rotationsfehlstellungen. Beurteilung ggf. mittels erweiterter Bildgebung (CT oder MRT). Erheblich ist ein Knickwinkel ab 15–20° [57].
- Die klinischen und radiologischen Hinweise auf eine *Instabilität* oder *Ankylose* des betroffenen Bewegungssegments sollten durch Funktionsaufnahmen verifiziert werden. Je caudaler das geschädigte Segment, desto weniger Bewegungssegmente können die Funktionsstörung kompensieren, desto stärker wird sie sich auswirken [18]. Des Weiteren sind die benachbarten Segmente auf *sekundäre Arthrosezeichen* zu überprüfen, möglichst im Vergleich mit vorhandenen prätraumatischen oder direkt posttraumatischen Aufnahmen.
- Beurteilung des Ausmaßes der *Muskelminderung* (Rückenmuskulatur).
- Beurteilung des traumatisch bedingten *neurologischen Residuums* (Radikulärsyndrom, Querschnittssyndrom) mit den entsprechenden Funktionsausfällen.
- Nach einer operativen Versorgung ist insbesondere die Frage der *Zugangsmorbidität* zu berücksichtigen.
- Beurteilung der *Bandscheibenbeteiligung*. Die traumatisch bedingten Bandscheibenvorfälle werden stets von knöchernen (zumindest »bone bruise«) oder Bandverletzungen begleitet.

Gesetzliche Unfallversicherung. In der gesetzlichen Unfallversicherung wird der Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) eingeschätzt. Stabil verheilte Wirbelkörperbrüche ohne statisch wirksame Achsenfehlstellung werden mit einem GdB/MdE von 0–10 beurteilt. Frakturen, die instabil verheilten und/oder eine statisch wirksame Fehlstellung und/oder Bandscheibenbeteiligung vorweisen, werden 10–30 GdB/MdE zuerkannt. Bei der vollständigen Funktionsunterbrechung des Rückenmarks beträgt der GdB/MdE 100 mit entsprechenden Korrekturen nach unten je nach Ausmaß und Höhe der neurologischen Defizite. Hier ist ein neurologisches Zusatzgutachten zu fordern.

Isolierte Frakturen der Dorn- und Querfortsätze verheilen i. Allg. ohne wesentliche funktionelle Einschränkungen und ohne Minderung der Erwerbsfähigkeit [54–57].

Private Unfallversicherung. In der privaten Unfallversicherung wird die Invalidität, d. h. das, was an Unfallrückständen definitiv verbleibt, eingeschätzt. Die Invaliditätsbemessung nach Schädigung der Wirbelsäule (Wirbelsäulenwert) erfolgt unabhängig vom betroffenen Wirbelsäulenabschnitt. Die nur im MRT sichtbaren isolierten Deckplattenimpressionen verheilen i. Allg. folgenlos; es resultiert eine Invalidität von 0%. Die gut verheilten Vorderkantenabbrüche werden mit 5% beurteilt. Je nach Ausmaß einer Höhenminderung oder Verformung des verletzten Wirbelkörpers wird zwischen 10 und 20% zuerkannt. Bei einer Höhenminderung und/oder Spondylose in einem oder beiden angrenzenden Bandscheibenräumen können zusätzlich 5–10% zuerkannt werden.

Sowohl bei operationsbedigtem Weichteilschaden als auch bei auf Dauer verbliebenem Metallimplantat können zusätzlich je 5% zuerkannt werden. Die neurologischen Defizite sind in einem gesonderten Gutachten zu erfassen [54,56].

Literatur

Zu Kap. 15.1

1. V. Bühren, Frakturen und Instabilitäten der Halswirbelsäule. Unfallchirurg 105: 1049–1066 (2002)
2. C.E. Heyde, W. Ertel, R. Kayser, Die Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen beim Polytrauma. Orthopäde 34: 889–905 (2005)
3. M. Blauth, H. Tscherne, 3. Wirbelsäule. In: H. Tscherne, M. Blauth (Hrsg.), Tscherne Unfallchirurgie, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1998
4. S. Schären, B. Jeanneret, Atlasfrakturen. Orthopäde 28: 385–393 (1999)
5. H.-R. Kortmann, C. Eggers, M. Schofer, P.-M. Hax, Diagnostik und Therapie der Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. Trauma Berufskrankh 2: 134–147 (2000)
6. H.L. Frankel, D.O. Hancock, G. Hyslop, J. Melzak, L.S. Michaelis, G.H. Ungar. J.D.S. Yemon, J.J. Walsh, The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. Part I. Paraplegia 7: 179–192 (1979)
7. J.A. Hanson, A.V. Deliganis, A.B. Baxter, W.A. Cohen, K.F. Linnau, A.J. Wilson, F.A. Mann, Radiological and clinical spectrum of occipital condyle fractures. Am J Radiol 178: 1261–1268 (2002)
8. A. Schulz, S. Handke, A. Ekkernkamp, P.A.W. Ostermann, Die Rotationssubluxation der Halswirbelsäule. Zentralbl Chir 125: 987–989 (2000)
9. N. Schwarz, E. Sim, K. Nestinger, Verletzungen der Halswirbelsäule beim Kopfsprung ins Wasser. Unfallchirurg 104: 300–302 (2001)
10. V. Heidecke, N.G. Rainov, W. Burkert, Verletzungen des okzipito-zervikalen Übergangs und des Atlas. Trauma Berufskrankh 5: 215–219 (2003)
11. M. Aebi, S. Nazarian, Classification of injuries of the cervical spine. Orthopädie 16: 27–36 (1987)
12. B. Jeanneret, Verletzungen der Wirbelsäule/Obere Halswirbelsäule: Verlaufsformen und Therapie. In: Witt, Rettig, Schlegel, Orthopädie in Praxis und Klinik, Band V/2, Thieme, Stuttgart, 1993
13. C.W. Pfirrmann, C.A. Binkert, M. Zanetti, N. Boos, J. Hodler, MR morphology of alar ligaments and occipitoatlantoaxial joints: study in 50 asymptomatic subjects. Radiology 218: 133–137 (2001)
14. V.C. Traynelis, G.D. Marano, R.O. Dunker, H.H. Kaufman, Traumatic atlantooccipital dislocation. J Neurosurg 65: 863 – 870 (1986)
15. J.A. Gehweiler, D.E. Duff, S. Martinez, M.D. Miller, W.M. Clark, Fractures of the atlas vertebra. Skeletal Radiol 1: 97–102 (1976)

16. J.A. Gehweiler, R.L. Osborne, R.F. Becker, The radiology of the vertebral trauma. Saunders. Philadelphia, 1980
17. G. Jefferson, Fracture of the atlas vertebra. Br J Surg 20: 407–422 (1920)
18. J.W. Fielding, R.J. Hawkins, Atlantoaxial rotatory fixation. J Bone Joint Surg 59-A: 37–44 (1977)
19. J.W. Fielding, Injuries to the upper cervical spine. Instr Course Lect 36: 483–494 (1987)
20. M. Aebi, V. Arlet, J.K. Webb, AO Spine Manual, Vol. 1, 2, Thieme, Stuttgart, 2007
21. L.D. Anderson, R.T. D'Alonzo, Fractures of the odontoid process of the axis. J Bone Joint Surg 86-A: 2081 (1974)
22. B. Effendi, D. Roy, B. Cornish, R.G. Dussault, C.A. Laurin, Fractures of the ring of the axis. A classification based on the analysis of 131 cases. J Bone Joint Surg 63-B: 319–327 (1981)
23. C. Josten, Die traumatische Spondylolisthese des Axis. Orthopäde 28: 394–400 (1999)
24. F. Magerl, J. Harms, M. Gertzbein, S. Aebi, S. Nazarian, Classification of thoracic and lumbar fractures. Eur Spine J 3:184–201 (1992)
25. P.A. Anderson, P.X. Montesano, Morphology and treatment of occipital condyle fractures. Spine 13: 731–736 (1988)
26. C. Argenson, F. DePeretti, P. Boileau, E. Hovorka, Verletzungen der Halswirbelsäule. In: J. Duparc, Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie – Wirbelsäule, Urban+Fischer, München, 2005
27. D. Wolter, Vorschlag für eine Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 88: 481–484 (1985)
28. H. Jahna, H. Wittich, Konservative Methoden der Frakturbehandlung. Urban & Schwarzenberg, Wien, 1985
29. T. Lögters, S. Hoppe, W. Linhart, C. Habermann, J. Windolf, J.M. Rueger, D. Briem, Zur Problematik des Halofixateurs beim alten Menschen. Unfallchirurg 109: 306–312 (2006)
30. J. Nothwang, C. Ulrich, Operative Versorgung von HWS-Verletzungen – Komplikationsmöglichkeiten. Trauma Berufskrankh 7 (Suppl 2): 263–270 (2005)
31. H. Reichel, H. Zwipp, W. Hein, Wirbelsäulenchirurgie, Steinkopf, Darmstadt, 2000
32. P.-A. Grützner, A. Rübberdt, M. Wich, Röntgenhelfer 3D, Bengelsdorf + Schimmel, 2004
33. S. Fuchs, D. Wolter, M.E. Wenzl, M. Faschingbauer, Klinische Erfahrungen mit einem neuen Titanfixateur interne zur ventralen Spondylodese der HWS. Trauma Berufskrankh 1: 382–386 (1999)
34. C. Schinkel, G. Muhr, Kindliche Wirbelfrakturen. Trauma Berufskrankh 7: 742–746 (2005)
35. I.Shacked, Z. Ram, M. Hadani, The Anterior Cervical Approach for Traumatic Injuries to the Cervical Spine in Children. Clin Orthop 292: 144–150 (1993)
36. L. von Laer, Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 4. Auflage, Thieme, Stuttgart, 2001
37. T. Einsiedel, M. Kleimann, W. Nothofer, R. Neugebauer, Besonderheiten der Therapie von Verletzungen der Halswirbelsäule bei Spondylitis ankylosans (M. Bechterew). Unfallchirurg 104:1129–1133 (2001)
38. R.O. Seidl, A. Niedeggen, I. Todt, M. Westhofen, A. Ernst, Infrahyoid muscle flap for pharyngeal fistulae after cervical spine surgery: a novel approach-report of six cases. Eur Spine J 16: 501–505 (2007)
39. R.O. Seidl, I. Todt, A. Ernst, Esophagus atresia after cervical spine surgery: case report and literature review. Eur Arch Otorhinolaryngol. 264: 291–293 (2007)
40. D.A. Capen, D.E. Garland, R.L. Waters, Surgical Stabilization of the Cervical Spine. Clin Orthop 196: 229–237 (1985)
41. E. Lambiris, P. Zouboulis, M. Tyllianakis, E. Panagiotopoulos, Anterior Surgery Unstable Lower Cervical Spine Injuries. Clin Orthop 411: 61–69 (2003)
42. R. Lifeso, M. SA. Colucci, Anterior Fusion for Rotationally Unstable Cervical Spine Fractures. Spine 25: 2028–2034 (2000)
43. Y.D. Koh, T. Lim, J.W. You, J. Eck, H.S. An, A Biomechanical Comparison of Modern Anterior and Posterior Plate Fixation of the Cervical Spine. Spine 26:15–21 (2001)
44. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane. 4. Auflage, Thieme Stuttgart, 2004

Zu Kap. 15.2

1. V. Bühren, Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg 106: 55–69 (2003)
2. S. David, K. Bauwens, A. Ekkernkamp, Frakturen der BWS und LWS. Trauma Berufskrankh 5: 322–328 (2003)
3. C. Knop, M. Blauth, V. Bühren, P.M. Hax, L. Kinzl, W. Mutschler, A. Pommer, C. Ulrich, S. Wagner, A. Weckbach, A. Wentzensen, O. Wörsdörfer, Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 1: Epidemiologie. Unfallchirurg 102: 924–935 (1999)
4. R.P. Kelly, T.E. Whitesides, Treatment of lumbodorsal fracture dislocation. Ann Surg 167: 705–717 (1968)
5. F. Denis, The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8: 817–831 (1983)
6. D. Wolter, Vorschlag für eine Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 88: 481–484 (1985)
7. M. Blauth, C. Knop, L. Bastian L (1998) Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Unfallchirurgie – Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1998, p 8
8. F. Magerl, M. Aebi, S.D. Gertzbein, J. Harms, S. Nazarian, A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. Eur Spine J 3: 184–201 (1994)
9. M. Aebi, V. Arlet, J.K. Webb, AO Spine Manual, Vol. 1+2, Thieme, Stuttgart, 2007
10. S.M. Knoeller, C. Seifried, Historical perspective – history of spinal surgery. Spine 25: 2838–2843 (2000)
11. H. Daniaux, M. Wagner, A. Kathrein, T. Lang, Frakturen des thorakolumbalen Übergangs – Die konservative Behandlung. Orthopäde 28:682–691 (1999)
12. M. Blauth, U.F. Lange, C. Knop, L. Bastian, Wirbelsäulenfrakturen im Alter und ihre Behandlung. Orthopäde 29:302–317 (2000)
13. L. Böhler (1951) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Maudrich, Wien
14. H. Resch, M. Rabl, H. Klampfer, E. Ritter, P. Povacz, Operative vs. Konservative Behandlung von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. Unfallchirurg 103: 281–288 (2000)
15. J.N. Weinstein, P. Collalto, T.R. Lehman, Thoracolumbar »burst« fractures treated conservatively: a long term follow up. Spine 13: 33–38 (1988)
16. E.A. Seybold, C.A. Sweeney, B.E. Fredrickson, L.G. Warhold, P.M. Bernini, Functional outcome of low lumbar burst fractures. A multicenter review of operative and nonoperative treatment of L3-L5. Spine 24: 2154–2161 (1999)
17. C. Knop, M. Blauth, V. Bühren, P.M. Hax, L. Kinzl, W. Mutschler, A. Pommer, C. Ulrich, S. Wagner, A. Weckbach, A. Wentzensen, O. Wörsdörfer, Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. Unfallchirurg 103: 1032–1047 (2000)
18. S. Katscher, C. Josten, Wirbelsäulenverletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Versorgungsstrategien, Trauma Berufskrankh 9: 149–156 (2007)

52

53

19. S. Katscher, P. Verheyden, O. Gonschorek, S. Glasmacher, C. Josten, Thorakolumbale Wirbelfrakturen nach konservativer und operativer Behandlung – Abhängigkeit des Korrekturverlustes von der Höhenlokalisation. Unfallchirurg 106: 20–27 (2003)
20. P. Eysel, J.D. Rompe, C. Hopf, G. Meinig, Die Bedeutung der Bandscheibe für den Repositionsverlust operativ stabilisierter Frakturen der Rumpfwirbelsäule. Unfallchirurg 97: 451–457 (1994)
21. H. Daniaux, Transpedikuläre Reposistion und Spongiosaplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg 89: 197–213 (1986)
22. P. Verheyden, S. Katscher, T. Schulz, F. Schmidt, C. Josten, Open MR imaging in spine surgery: experimental investigations and first clinical experiences. Eur Spine J 8: 346–353 (1999)
23. M. Potulski, R. Beisse, V. Bühren, Die thorakoskopisch gesteuerte Behandlung der »vorderen Säule« – Technik und Ergebnisse. Orthopäde 28: 723–730 (1999)
24. A.P. Verheyden, S. Katscher, O. Gonschorek, H. Lill, C. Josten, Endoskopisch assistierte Rekonstruktion der thorakolumbalen Wirbelsäule in Bauchlage. Unfallchirurg 105: 873–880 (2002)
25. V. Bühren, R. Beisse, M. Potulski, Minimalinvasive ventrale Spondylodesen bei Verletzungen der Brust und Lendenwirbelsäule. Chirurg 68: 1076–1084 (1997)
26. R. Beisse, M. Potulski, V. Bühren, Thorakoskopisch gesteuerte ventrale Plattenspondylodese bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Operat Orthop Traumatol 11: 54–69 (1999)
27. R. Gahr, E. Strasser, S. Strasser, O. Schmidt, Perkutane dorsale Stabilisierung thorakaler und thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen. Journal DGPW 35, 25–30 (1999)
28. L.T. Khoo, S. Palmer, D.T. Laich, Minimalinvasive perkutaneous posterior lumbal interbody fusion. Neurosurgery 51 (5 suppl.), 161–166 (2002)
29. P. Galibert, H. Deramond, P. Rosat, D. Le Gars, Preliminary note on the treatment of vertebral angioma. Neurochirurgie 33: 166–168 (1987)
30. U. Berlemann, P.F. Heini, Perkutane Zementierungstechniken zur Behandlung osteoporotischer Wirbelkörpersinterungsfrakturen. Unfallchirurg 105: 2–8 (2002)
31. S.R. Garfin, H.A. Yuan, M.A. Reiley, New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures, Spine 26: 1511–1515 (2001)
32. J. Hillmeier, I. Grafe, K. Da Fonseca, P.J. Meeder, G. Nöldge, M. Libicher, H.J. Kock, M. Haag, C. Kasperk, Die Wertigkeit der Ballonkyphoplastie bei der osteoporotischen Wirbelköperfraktur. Orthopäde 33: 893–904 (2004)
33. L.J. Melton, S.H. Kan, M.A. Frye, H.W. Wahner, W.M. O'Fallon, B.L. Riggs, Epidemiology of vertebral fractures in woman. Am J Epidemiol 129: 1000–1011 (1989)
34. C. Cooper, E.J. Atkinson, W.M. O'Fallon, L.J. Melton, Incidence of clinically diagnosed vertebral fractures: a population-based study in Rochester, Minnesota, 1985–1989. J Bone Mineral Res 7: 221–227 (1992)
35. K.E. Ensrud, D.E. Thompson, J.A. Cauley, M.C. Nevitt, D.M. Kado, M.C. Hochberg, A.C. Santora, D.M. Black, Prevalent vertebral deformities predict mortality and hospitalization in older woman with low bone mass. Fracture intervention trial research group. J Am Geriatr Soc 48: 241–249 (2000)
36. S.L. Silverman, M.E. Minshall, W. Shen, K.D. Harper, S. Xie, Health-related quality of life subgroup of the multiple outcomes of raloxifene evaluation study. Arthritis Rheumatism 44: 2611–2619 (2001)
37. L.J. Melton, E.J. Atkinson, C. Cooper, W.M. O'Fallon, B.L. Riggs, Vertebral fractures predict subsequent fractures. Osteoporos Int 10: 214–221 (1999)
38. D. M. Kado, W.S. Browner, L. Palermo, M.C. Nevitt, H.K. Genant, S.R. Cummings. Vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. Arch Intern Med 159: 1215–1220 (1999)
39. J.A. Leech, C. Dulberg, S. Kellie, L Pattee, J. Gay, Relationship of lung function to severity of osteoporosis in woman. Am Rev Respir Dis 141: 68–71 (1990)
40. C. Schlaich, H.W. Minne, T. Bruckner, G. Wagner, H.J. Gebest, M. Grunze, R. Ziegler, G. Leidig-Bruckner, Reduced pulmonary function in patients with spinal osteoporotic fractures. Osteoporos Int 8: 261–267 (1998)
41. R. Schmidt, B. Cakir, T. Mattes, M. Wegener, W. Puhl, M. Richter, Cement leakage during vertebroplasty: an underestimated problem? Eur Spine J 14: 466–473 (2005)
42. K.D. Harrington, Major neurologic complications following percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate: a case report. J Bone Joint Surg 83-A: 1070–1073 (2001)
43. M. Bierschneider, B. Boszczyk, H. Jaksche, Risiken der Vertebro- und Kyphoplastie. Trauma Berufskrankh 7, S2: S327-S331(2005)
44. L. Pott, B. Wippermann, S. Hussein, T. Günther, U. Brüsch, R. Fremerey, PMMA Lungenembolisation und postinterventionelle Anschlussfrakturen nach perkutaner Vertebroplastie. Orthopäde 34: 698–702 (2005)
45. J.D. Laredo, B. Hamze, Complications of percutaneous vertebroplasty and their prevention. Semin Ultrasound CT MR 26: 65–80 (2005)
46. P.J. May, J. Raunest, J. Herdmann, M. Jonas, Behandlung der Wirbelsäulenfraktur bei ankylosierender Spondylitis. Unfallchirurg 105: 165–169 (2002)
47. J.R. Ruge, G.P. Sinson, D.G. McLone, L.J. Cerullo, Pediatric spinal injury: the very young. J Neurosurg 68: 25–30 (1988)
48. C. Hasler, B. Jeanneret, Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter. Orthopäde 31: 65–73 (2002)
49. I.B. McPhee, Spinal fractures and dislocations in children and adolescents. Spine 6: 533–537 (1981)
50. G. Möllenhoff, M. Walz, G. Muhr, Korrekturverhalten nach Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule bei Kindern und Jugendlichen. Chirurg 64: 948–952 (1993)
51. J.C. Pouliquen, B. Kassis, C. Glorion, J. Langlais, Vertebral growth after thoracic or lumbar fracture of the spine in children. J Pediatr Orthop 17: 115–120 (1997)
52. J. Ruckstuhl, E. Morscher, L. Jani, Behandlung und Prognose von Wirbelfrakturen im Kindes- und Jugendalter. Chirurg 47: 458–467 (1976)
53. C. Knop, M. Blauth, V. Bühren, M. Arand, H.J. Egbers, P.M. Hax, J. Nothwang, H.J. Oestern, A. Pizanis, R. Roth, A. Weckbach, A. Wentzensen, Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 3: Nachuntersuchung. Unfallchirurg 104: 583–600 (2001)
54. G. Rompe, A. Erlenkämper, Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane. 4. Auflage, Thieme, Stuttgart, 2004
55. P. Schittig, Neue Gesichtspunkte in der Begutachtung der Wirbelsäulenfrakturen. Trauma Berufskrankh 2 [Suppl 2]: S264–S267 (2000)
56. A. Ekkernkamp, B. Paul, M. Peters, Kompendium der medizinischen Begutachtung, Spitta, 2004
57. G. Mehrtens, A. Schönberger, H. Valentin, Arbeitsunfall und Berufskrankheit. 7. Auflage, Erich Schmidt, Berlin, 2003

16 Becken

H. Naumburger, C.M. Müller-Mai, M. Wich

Definition
Bei Beckenfrakturen handelt es um Brüche des vorderen und hinteren Beckenrings, entweder allein oder als Kombinationsverletzung. Die Acetabulumfraktur stellt eine Sonderform der Beckenfraktur dar.

Sie treten im Rahmen von Hochrasanztraumata bei Verkehrsunfällen (etwa 50%), Abstürzen (ca. 1/3) und Quetschtraumata auf. Nach der AO-Klassifikation werden die Beckenringverletzungen mit dem numerischen Code 61 versehen und die Acetabulumfrakturen mit der Nummer 62. Der Anteil von Beckenfrakturen liegt bei Unfallopfern bei etwa 3–8%, bezogen auf alle Frakturen [1–3], nur etwa 5% sind offen [2].

Etwa 25% der Patienten mit Beckenbrüchen weisen Sacrumfrakturen auf. Der isolierte Sacrumbruch ist die Ausnahme. Beckenfrakturen sind damit relativ selten, sollten aber aufgrund der Schwere, der Assoziation mit Mehrfachverletzungen und Polytraumata wann immer möglich in einem Zentrum behandelt werden. Etwa 30% aller Polytraumatisierten weisen Beckenverletzungen auf. Etwa 60% der Verletzten mit Beckenbrüchen weisen Verletzungen anderer Organsysteme (Komplexverletzungen), z. B. 40% der unteren Extremitäten und 30% Schädel-Hirn-Traumata, aber auch ein Polytrauma auf, nur rund 5% der Typ-C-Beckenverletzten haben keine weiteren Verletzungen. Todesursache bei schweren Beckenverletzungen ist in 30 bis knapp 60% der Fälle das Verbluten. Dies zu verhindern ist daher primäres Behandlungsziel.

16.1 Beckenring

Definition. Bei Beckenringfrakturen handelt es um Brüche des vorderen und/oder hinteren Beckenrings, d. h. entweder dorsal des Os sacrum, Os ilium oder des Iliosacralgelenks (ISG) oder ventral des Os pubis und/oder des Os ischium. Jede Lokalisation kann allein oder in Kombination mit den anderen Stellen betroffen sein. Eine Beteiligung des Acetabulums ist sicher auszuschließen bzw. nachzuweisen. Entscheidend für die Stabilität der Verletzung ist die Intaktheit der dorsalen knöchernen und ligamentären Strukturen.

Primäre Behandlungsziele sind die Blutstillung und die Stabilisierung des Bruchbereichs. Ein komplexes Beckentrauma schließt Weichteil- und Organverletzungen mit ein.

16.1.1 Mechanismus

Beckenringfrakturen entstehen durch von außen einwirkende Kräfte meist im Sinne einer direkten Gewalt-

61

einwirkung ganz überwiegend im Sinn von Anpralltraumata, die man in 3 Hauptvektorrichtungen einteilen kann. Es können dabei voneinander unterschieden werden:

- ventrale (a.-p.) Kompression,
- laterale Kompression,
- vertikale Abscherung.

Bei der *ventralen Kompressionsverletzung* kommt es durch eine direkte ventrale Krafteinwirkung bzw. durch eine indirekt einwirkende Kraft durch den abduzierten Oberschenkel zu einer Außenrotationsbewegung des involvierten Hemipelvis. Dieses als »open book injury« klassifizierte Verletzungsmuster bewirkt meist eine Ruptur der Symphyse und Zerreißung der ventralen sacroilicalen Ligamente (Lig. sacroiliacum anterius). In der Regel bleiben die dorsalen Elemente der sacroilicalen Bänder erhalten (Ligg. sacroiliacum posterius breve et longum, Lig. sacroiliacum interosseum), sodass eine unidirektionale Teilinstabilität des Beckens besteht. Sind beide vorderen Beckenringe knöchern durchtrennt, wird von einer Schmetterlingsfraktur gesprochen.

Die *laterale Kompressionsverletzung* führt zu einer Innenrotation des Hemipelvis um eine vertikale Rotationsachse durch das ISG und somit zu einer Ruptur der dorsalen Anteile der sacroilicalen Bänder. Neben der Bandruptur ist eine Kompressionsfraktur des Os sacrum möglich. Im Bereich des vorderen Beckenrings sind Frakturen der Obturatorringe und Zerreißungen und Frakturen der Symphyse durch ein Übereinanderschieben der Corpora ossis pubis beschrieben. Ähnlich wie bei der ventralen Kompressionsverletzung bleibt ein Teil der sacroilicalen Ligamente, hierbei die ventralen Anteile, erhalten, sodass eine zusätzliche vertikale Dislokation unterbleibt. Auch hier liegt eine direkte Gewalteinwirkung zugrunde, und es handelt sich um eine unidirektionale Instabilität.

Bei der *vertikalen Abscherverletzung* tritt zu einer Rotationsbewegung des Hemipelvis eine vertikale Krafteinwirkung hinzu, was ein Zerreißen sowohl der ventralen als auch der dorsalen sacroilicalen Bandstrukturen und anderer Bänder bewirkt. Neben den Bandverletzungen treten Frakturen des Os Ilium und des Os sacrum mit möglicher Luxation des ISG auf. Der Unfallmechanismus bewirkt eine totale Beckeninstabilität mit rotatorischer und vertikaler Dislokation des Hemipelvis um eine gedachte vertikale Achse entlang des ISG. Bei der vertikalen Abscherverletzung mit Verletzung der knöchernen Strukturen (vorderer Beckenring und Os sacrum) wird auch noch der Terminus Malgaigne-Fraktur nach dem Beschreiber verwendet [4].

Begleitverletzungen sind im Rahmen komplexer Beckenverletzungen häufig. Sie beeinflussen das klinische Ergebnis einschließlich der Mortalitätsrate entscheidend [5]. Neben Décollement-Verletzungen bei Überrolltraumata sind Gefäßverletzungen mit ausgeprägten retroperitonealen Hämatomen, die bis zu etwa 6 l Blut aufnehmen können, und Darmverletzungen durch Knochenfragmentperforationen sowie auch Harnwegsverletzungen beschrieben. Blutungen sind am Becken besonders problematisch, da multiple venöse und arterielle Quellen möglich sind und da es nicht zu einer Autotamponade kommt. Unbehandelt verblutet der Patient. Blutungen treten insbesondere bei höhergradigen Verletzungen auf. Quellen sind neben dem frakturierten Knochen die venösen präsacralen und prävesicalen Plexus in 80–90% der Fälle, aber auch Äste der A. ilaca communis (Aa. pudenda, obturatoria) sowie die A. glutaea superior und A. iliolumbalis. Die Häufigkeit wird mit etwa 1–27% angegeben [6]. Begleitende Darmverletzungen liegen in einer Häufigkeit von 16–55% vor [7].

Diese Probleme deuten nochmals auf die Wichtigkeit der sofortigen Ultraschalluntersuchung hin.

Bei freier intraabdomineller Flüssigkeit und hämodynamischer Instabilität ist eine sofortige Laparotomie indiziert. Hämatome parenchymatöser Organe können bei Kreislaufstabilität konservativ behandelt werden.

Die Indikation zur Laparoskopie kann bei Kreislaufstabilität und wenig freier Flüssigkeit zur weiteren Klärung eingesetzt werden, z. B. lassen sich intraabdominelle nicht perforierende Darmverletzungen mit der CT nur schwer erfassen. Perineale oder vaginale Verletzungen werden als offen klassifiziert, ebenso wie Frakturen mit begleitenden Darmverletzungen bei zerrissenem Retroperitoneum. Ein Weichteil-Débridement ist in solchen Fällen selbstverständlich. Bei nicht beherrschbaren Weichteilinfekten mit Blutungskomplikationen ist die Hemipelvektomie als Ultima ratio geboten [2].

Eine Kontamination mit perinealen Keimen erhöht die Mortalität erheblich [8]. Harnröhrenverletzungen haben bei Beckenfrakturen eine Inzidenz von 7–25% und treten häufiger bei Männern als bei Frauen auf, da Frauen eine kürzere und nicht am Becken fixierte Harnröhre haben [9–11].

> Leitsymptom für die Urethraverletzung ist das Skrotal- oder Vulvahämatom. Blutspuren am Officium urethrae externum werden neben der Unmöglichkeit zur Spontanmiktion beobachtet.

Bei Frakturen des hinteren Beckenrings treten neurologische Begleitverletzungen durch Quetschung, Traktion bzw. knöcherne Penetration der Cauda equina und des Plexus lumbosacralis in den Vordergrund. Am häufigsten sind die Segmente L4–S2 betroffen. Die Häufigkeit steigt mit der Schwere der Beckenverletzung. Insgesamt ist

unter Einschluss von Acetabulumfrakturen in bis zu 50% der Fälle mit neurologischen Problemen zu rechnen. Bei Sacrumfrakturen mit im CT nachgewiesener Kompression ist an eine dorsale Dekompression der betroffenen Nervenwurzeln zu denken.

Wichtig

Ein Querfortsatzbruch in Höhe LWK 5 kann auf eine hoch instabile Situation nach forcierter Außenrotationsverletzung mit Ruptur der dorsalen iliosacralen Ligamente hinweisen.

16.1.2 Klinik

Eine Analyse des Verletzungsmechanismus ist sehr wichtig, da sie bereits Hinweise zur Verletzungsart und -schwere liefert, kann aber aufgrund der Verletzungsschwere oft nur näherungsweise durch Fremdanamnese erhoben werden. Subjektiv findet sich ein Spontanschmerz, zusätzlich ein sagittaler, horizontaler und direkter Druckschmerz über den betroffenen Bereichen wie Symphyse, Trochanter major, Beckenkamm oder über dem ISG oder dem Os sacrum.

In der klinischen Untersuchung können Konturveränderungen und Asymmetrien im Beckenbereich oder Beinlängendifferenzen auf Beckenverletzungen hinweisen. Eine klaffende Symphyse ist in der Regel sicher zu tasten. Des Weiteren sind Prellmarken und auch an Größe zunehmende Hämatome, insbesondere im Genital- und Dammbereich, oft richtungsweisend.

Die klinische Untersuchung versucht, Instabilitäten des Beckenrings nachzuweisen. Gegebenenfalls ist eine notfallmäßige Stabilisierung erforderlich. Bei Verletzung des Urogenitalsystems können sich Blutungen aus der Harnröhre zeigen. Intraabdominale Organverletzungen bzw. intraabdominale Blutungen führen in der Regel zu einer abdominalen Abwehrspannung.

Des Weiteren können größere Blutverluste im Rahmen einer Beckenfraktur bzw. von begleitenden Gefäßverletzungen auftreten und mit lebensbedrohenden hypotonen Kreislaufverhältnissen einhergehen. Eine entsprechende Volumensubstitution ist sofort einzuleiten. Besonders starke Blutverluste sind auch beim Morel-Lavallée-Syndrom zu erwarten. Hier entstehen durch großflächige Décollement-Verletzungen im Beckenbereich Toträume, die zu entsprechenden Blutverlusten und im Verlauf zu Infektionen auf dem Boden ausgedehnter Nekrosen führen können. Ein initiales Débridement mit Spülung und Verkleinerung des Totraumvolumens durch entsprechende, z. B. mehrreihige Nahttechniken, Drainageeinlage sowie der Beginn einer antibiotischen Behandlung sind indiziert [12].

16.1.3 Diagnostisches Vorgehen

Klinische Untersuchung

Die primäre Diagnostik umfasst neben der genauen Anamnese mit Erfassung des Unfallmechanismus die klinische Untersuchung. Dabei ist auf äußerliche Prellmarken, Hämatome, Beinlängendifferenzen bzw. Rotationsfehlstellungen und auch auf den peripheren Pulsstatus zu achten. Die Erhebung des neurologischen Status ist beim wachen kooperativen Patienten unabdingbar, jedoch beim intubierten Patienten nicht möglich, sodass Nervenverletzungen oft erst im Verlauf diagnostiziert werden können. Ursächlich sind Überdehnungen oder seltener direkter Fragmentdruck.

Bei der manuellen Untersuchung geben mögliche Instabilitäten bei Druck auf die Symphyse oder Traktion an den Beinen, laterale Kompression auf die Iliosacralgelenke bzw. das Aufstützen auf die Spinae iliacae superiores (und gleichzeitiges Auseinanderweichen derselben) erste Hinweise auf die Schwere der Verletzung.

Eine obligate rectale Untersuchung ermöglicht eine Beurteilung des Sphinctertonus und möglicher Verletzungen des sacralen Plexus sowie der Prostatafixierung. Bei Frauen ist des Weiteren eine vaginale Untersuchung ebenso obligat indiziert. Um Harnröhrenverletzungen auszuschließen bzw. zu bestätigen ist während der CT-Diagnostik eine retrograde Kontrastmitteldarstellung der Harnröhre mittels eines um wenige Zentimeter eingeführten Blasenkatheters (oder besser durch Applikation mittels einer Spritze) möglich.

Die Einlage eines Blasenkatheters liefert, sofern sich eine Makrohämaturie zeigt, einen Anhaltspunkt für eine urologische Begleitverletzung, schließt sie jedoch bei fehlender Hämaturie nicht aus. Bei makroskopischer Blutung aus der Harnröhre empfiehlt sich die Einlage eines Blasenkatheters erst nach Durchführung einer CT zum Ausschluss eines Abrisses. Bei Ruptur der Urethra ist ein suprapubischer, unter sonographischer Kontrolle platzierter Katheter notwendig.

Apparative Diagnostik

Da viele Patienten Mehrfachverletzungen aufweisen bzw. polytraumatisiert sind, sind die entsprechenden Richtlinien zur Behandlung Schwerstverletzter anzuwenden. Die *sonographische Untersuchung* ist in der Notfalldiagnostik obligat und bereits bei Eintreffen des Patienten im Schockraum durchzuführen. Ohne großen Aufwand und ohne Belastung des Patienten können intraabdominale Verletzungen mit nachweisbarer freier Flüssigkeit bei Einrissen parenchymatöser Organe beurteilt werden und ggf. die Indikation zur notfallmäßigen

Laparotomie bedingen. War keine relevante Flüssigkeit nachweisbar, ist eine Kontrolluntersuchung im Verlauf relativ einfach durchführbar und nach spätestens 4–6 h zu empfehlen.

Wichtig

Die Ultraschalluntersuchung des Abdomens ist obligat sofort bei Eintreffen des Patienten durchzuführen. Gesucht wird nach freier Flüssigkeit bzw. nach Verletzungen parenchymatöser Organe, insbesondere Milz, Leber; sog. FAST (»focussed abdominal sonography in trauma«).

In der apparativen *Röntgendiagnostik* liefert die a.-p. Beckenaufnahme eine grobe Übersicht über die knöchernen Verhältnisse. Es handelt sich um eine Schrägaufnahme des Beckens, da die Beckeneingangsebene um etwa 45° zur Körperlängsachse geneigt ist. Sie lässt jedoch gerade im Bereich des hinteren Beckenrings Frakturen nur schwer erkennen, sodass die Sensitivität der Aufnahme nur bei ca. 66% liegt [13]. Bei klinischem Verdacht auf eine Beckenfraktur sind Aufnahmen im sog. Inlet- und Outlet-Strahlengang nach Pennal notwendig (Kippung der Aufnahmeebene aus der a.-p. Einstellung um 40° nach cranial zur Beurteilung des hinteren und vorderen Beckenrings bzw. nach caudal zur Darstellung des Os sacrum). Dabei können bei der Inlet-Aufnahme durch einen nahezu senkrechten Einblick in die Beckeneingangsebene ventrale und dorsale Dislokationen beurteilt werden. In der Outlet-Aufnahme können Dislokationen nach cranial und caudal und das Os sacrum beurteilt werden. Alle 3 Aufnahmen haben zusammen eine Sensitivität von 94%, sodass gerade im Bereich des hinteren Beckenrings immer noch okkulte oder nicht verschobene Frakturen durch die komplexe dreidimensionale Knochenstruktur verborgen sein können [13]. Insbesondere Sacrumfrakturen sind schwer darstellbar, sodass auch eine seitliche Aufnahme des Kreuzbeins ergänzend notwendig sein kann.

Wichtig

Freie Luft in den Röntgenübersichtaufnahmen des Beckens kann eine Rectumverletzung anzeigen.

Im Rahmen der Akutdiagnostik bei polytraumatisierten Patienten und zur weiteren Beurteilung einer im Nativröntgen sichtbaren Fraktur ist die *CT-Diagnostik* Standard. Die Computertomographie ermöglicht eine genaue Beurteilung aller knöchernen Strukturen innerhalb des Beckenrings. Eine genauere Aussage über den Dislokationsgrad einzelner Knochenfragmente und der resultierenden Instabilität ist möglich. Gleichzeitig ist eine Beurteilung über Verletzungen der Beckenorgane gegeben. Moderne Mehrzeilencomputertomographen liefern in wenigen Minuten eine genaue Darstellung des Beckens einschließlich einer berechneten 3-D-Darstellung, sodass gerade in der Akutphase in kürzester Zeit eine exakte Aussage über das Verletzungsausmaß möglich wird. Bis zu >50% der unverschobenen Os-sacrum-Frakturen werden erst im CT erkannt.

Die *Urethrozystographie* – bei Verdacht auf Harnröhrenverletzungen – und die *digitale Substraktionsangiographie* – bei Verdacht auf Gefäßverletzungen – stellen ergänzende diagnostische apparative Verfahren in der Versorgung von Beckentraumata dar.

MRT-Untersuchungen spielen in der Akutphase keine Rolle, können aber bei Plexusläsionen oder als Verlaufskontrollen nach Acetabulumfraktur, z. B. zur Beurteilung einer möglichen Hüftkopfnekrose, erforderlich werden.

16.1.4 Klassifikationen

AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation unterscheidet

- stabile Beckenfrakturen (A),
- teilstabile Beckenfrakturen (rotationsinstabil, aber vertikal stabil) (B) und
- instabile Beckenfrakturen (rotations- und vertikal instabil) (C).

Instabile Brüche machen etwa 1/4 der Frakturen aus. Grundlage ist die Klassifikation nach Tile, die bereits die Instabilitätsgrade und die einwirkenden Kräfte berücksichtigte [14].

Frakturen Typ A. Typ-A-Verletzungen (Abb. 16.1a) des Beckens machen etwa 2/3 bei isolierten Beckenringverletzungen aus. Es sind stabile Verletzungen, die dadurch charakterisiert sind, dass die knöcherne Struktur sowie die ligamentären Verbindungen des hinteren Beckenrings intakt und somit die Rotations- und Translationsstabilität des Beckens erhalten sind. Eine konservative Therapie ist in der Regel möglich. Es handelt sich um Abrissfrakturen wie z. B. Apophysenausrisse bei Adoleszenten, Brüche der Peripherie (Os ilium, Os pubis, Os ischium) oder Sacrumfrakturen.

Frakturen Typ B. Die B-Frakturen nach AO (Abb. 16.1b) sind durch eine Verletzung des vorderen Beckenrings und gleichzeitige Rotationsinstabilität um die Körperlängsachse (horizontale Aufklappbarkeit im Sinne eines Open-book-Mechanismus oder Kompression von lateral) des hinteren Beckenrings gekennzeichnet. Der hintere Beckenring ist inkomplett unterbrochen. Die Indikation zur plattenosteosynthetischen Versorgung ist bei einer Symphysenruptur mit daraus resultierender Diastase von

>2,5 cm gegeben. Bei geringerer Diastase und fehlenden weiteren Verletzungsmustern ist eine konservative Therapie möglich.

Die Einteilung hinsichtlich des Schweregrads B1 und B2 wird nicht von allen Autoren einheitlich gesehen. Einige Beiträge klassifizieren die laterale Kompression mit Innenrotationsverletzung als B1. Wir schließen uns dieser Auffassung nicht an, da bei der Innenrotation die wichtigeren dorsalen Bandstrukturen mitverletzt sind. Wir klassifizieren sie daher als B2-Verletzung.

Frakturen Typ C. Prinzipiell stellen Typ-C-Verletzungen (◘ Abb. 16.1c) eine Indikation zur operativen Stabilisierung des hinteren und vorderen Beckenrings dar. Dabei haben sich transiliosacrale Schraubenostesynthesen und ventrale ilioiliacale Plattenosteosynthesen bewährt. Bei gleichzeitiger Diastase der Symphyse um >2,5 cm ist eine ventrale symphysär überbrückende Plattenosteosynthese indiziert.

Es besteht eine vollständige dreidimensionale Instabilität, d. h. eine Instabilität in der Rotation (horizontal) und in der Translation (vertikal). Der hintere Beckenring und auch der Beckenboden sind vollständig unterbrochen. Perkutane Versorgungen nach geschlossener Reposition stellen insbesondere bei Verletzungen im ISG die Ausnahme dar, da die Reposition oft nicht befriedigend gelingt.

Die traumatische Hemipelvektomie stellt die Maximalform der C-Verletzung dar. Sie ist meist eine offene Verletzung. Mit schweren und bleibenden Defekten ist zu rechnen.

Beispiele weiterer Klassifikationen

Tile und Pennal [15, 16]

Unterschieden werden 3 Schweregrade.

- *A-Frakturen* sind stabil bei intaktem knöchernem und ligamentärem hinterem Beckenring.
- *B-Frakturen* sind rotationsinstabil bei inkomplett unterbrochenem hinterem Beckenring.
- Die *C-Brüche* sind rotations- und vertikal instabil. Der hintere Beckenring ist vollständig unterbrochen.

Diese Klassifikation bezieht bereits die Richtung der Gewalteinwirkung in die daraus resultierende Instabilität des Beckenrings unter besonderer Berücksichtigung des dorsalen osteoligamentären Komplexes mit ein. Unterschieden werden:

- anteroposteriore Kompression,
- anterolaterale Kompression und
- vertikale Abscherverletzung (bildet die Grundlage für die AO-Klassifikation).

Denis [17]

Os-sacrum-Frakturen werden hinsichtlich des Verlaufs zu den Foramina sacralia bzw. eines begleitenden Plexus-sacralis-Schadens eingeteilt. Die Einteilung beschreibt die Instabilität und lässt prognostische Schlüsse zu. Die Häufigkeit neurologischer Störungen nimmt von lateral nach zentral von 6 auf 60% zu. Frakturen der Zone 1 liegen in der Massa lateralis (etwa 55%). Diese sind bei Überbrückung durch die Ligg. sacroiliaca posteriora stabil. Zone-2-Brüche betreffen mindestens ein Foramen (ca. 30%) und Zone-3-Frakturen den Zentralkanal. Sie machen etwa 10% aus; es finden sich nicht selten Querbrüche.

Pohlemann [18]

Erweiterung der Denis-Klassifikation. Unterschieden werden knöcherne Bandausrisse, die Frakturformen nach Denis und als schwerwiegendste Form bilaterale Verletzungen.

Colapinto [19]

Unterteilung der begleitenden Urogenitalverletzungen nach Schweregrad und Lokalisation.

16.1.5 Therapeutisches Vorgehen

Die Behandlung von Beckenringfrakturen ist oft Bestandteil des Polytraumamanagements. Eine Frühintubation, oft schon am Unfallort zur Reduzierung der Sauerstoffschuld, ist allgemein anerkannt. Primäre Ziele sind die Blutstillung und Stabilisierung des Bruchbereichs. Hier ist insbesondere das Prinzip der *»damage control«* anzuwenden, d. h. die Operationszeit ist so kurz und der zusätzliche Weichteilschaden so gering wie möglich zu halten. Geeignet ist hier besonders die operative Beckenzwinge, die bei Kreislaufinstabilität indiziert ist. Besteht nach Anlage der Beckenzwinge weiterhin Kreislaufinstabilität, so ist die Indikation zur Laparotomie gegeben mit Eröffnung des Retroperitoneums zur Blutstillung und Tamponade (»packing«).

Die definitive Versorgung in der Sekundärphase nach Stabilisierung des Verunfallten umfasst den Verfahrenswechsel mit möglichst anatomischer Reposition und interner Osteosynthese zur Wiederherstellung der Kraftübertragung und Stabilität. Offene Verletzungen sind sofort zu sanieren; bei Rectumläsionen können eine intraoperative ausgiebige Darmspülung (»washout«) sowie die Anlage eines Anus praeter erforderlich werden.

Bestimmte Formen bedürfen nicht der internen osteosynthetischen Stabilisierung (◘ Abb. 16.2).

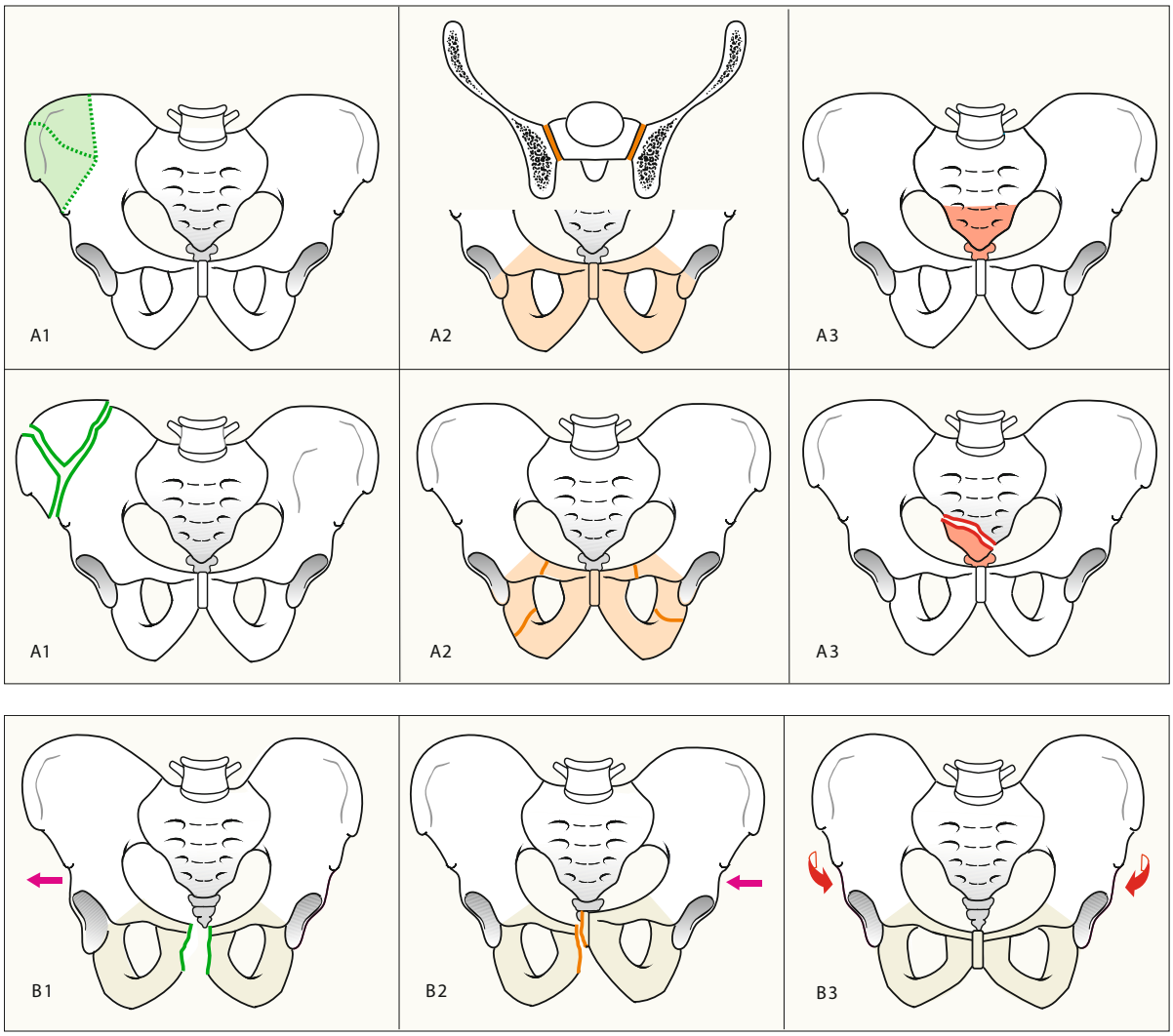


Abb. 16.1. AO-Klassifikation der Region 61: Beckenringfraktur, stabile Frakturtypen

a Stabile Beckenringfrakturen

A1: Beckenrandverletzungen (Os coxae, Abrissfrakturen)

A1.1: Abrissfrakturen, z. B. Spina iliaca

A1.2: Frakturen des Beckenkamms

A1.3: Tuber ischiadicum

A2: Vordere Beckenringfrakturen mit intakten dorsalen Strukturen, direktes Trauma

A2.1: Beckenschaufelfraktur

A2.2: Einseitige vordere Beckenringfraktur

A2.3: Beidseitige vordere Beckenringfraktur (Schmetterlingsfraktur)

A3: Querfrakturen, Os sacrum oder Os coccygeum

A3.1: Fraktur des Os coccygeums

A3.2: Nicht dislozierte Querfraktur des Os sacrums

A.3.3: Dislozierte Sacrumquerfraktur

b. Horizontal instabile Beckenringfrakturen (inkomplette Läsion des hinteren Beckenrings)

B1: Einseitige Außenrotationverletzung (»open book«) mit Symphysensprengung

B1.1: Läsion des vorderen Beckenrings mit anteriorer Verletzung am SI-Gelenk (»open book« mit Verletzung der Ligg. iliosacralia anteriora et sacrospinalia)

B1.2: »Open book« mit Fraktur des Os sacrum

B2: Einseitige Innenrotationsverletzung mit Symphysensprengung (laterale Kompression, Verletzung der Ligg. iliosacralia posteriora), Übereinanderschieben des vorderen Beckenrings

B2.1: Ventrale Impressionsfraktur des Os sacrums

B2.2: Partielle Luxation im Iliosacralgelenk oder Luxationsfraktur

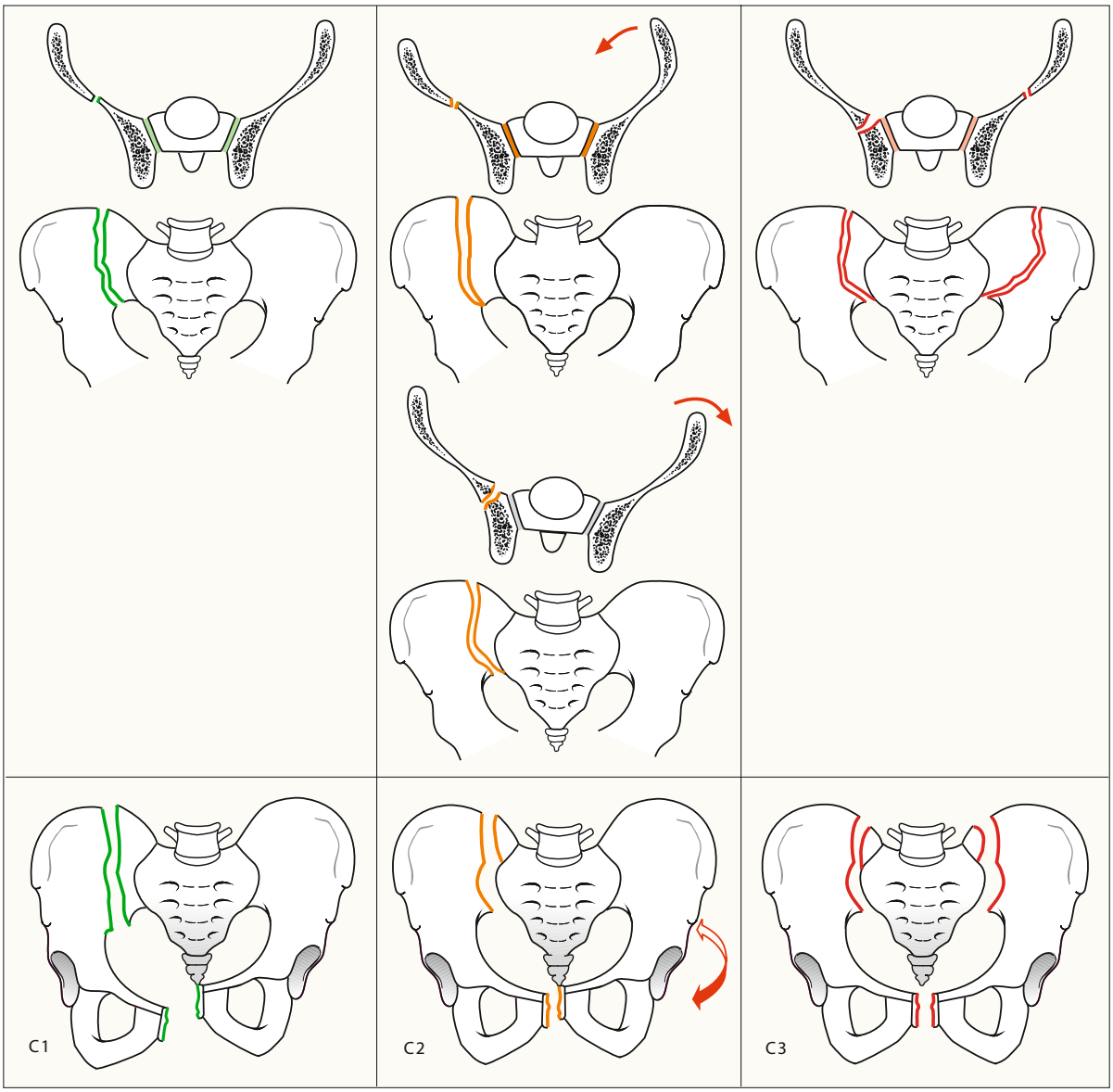
B2.3: Inkomplette posteriore Iliumfraktur

B3: Beidseitige B-Verletzung

B3.1: Bilaterale Open-book-Verletzung (B1)

B3.2: Einseitige Open-book-Verletzung (B1) mit kontralateraler Kompressionsverletzung (B2)

B.3.3: Beidseitige B2-Verletzung (Kompression)



c Horizontal und vertikal instabile Beckenringfrakturen mit kompletter Unterbrechung des hinteren Beckenrings zusätzlich zu ventraler Läsion (Ruptur der Ligg. iliosacralia posteriora et anteriora, sacrospinalia et sacrotuberalia)

C1: Symphysensprengung und einseitig komplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings (Malgaigne)
C1.1: Fraktur des Os ilium
C1.2: Sprengung oder Luxationsfraktur im SI-Gelenk
C1.3: Fraktur des Os sacrum
C2: Einseitig komplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings mit kontralateral inkompletter Unterbrechung, Symphysensprengung
C2.1: Komplette Fraktur des Os iliums
C2.2: Vollständige Sprengung im SI-Gelenk
C2.3: Komplette Fraktur des Os sacrum
C3: Beidseitig vollständige Unterbrechung des hinteren Beckenrings, Symphysensprengung
C3.1: Bilateral extrasacrale Fraktur
C3.2: Einseitig extrasacral und kontralateral transsacral
C3.3: Beidseitig transsacral
(C-Frakturen mit Beteiligung des Acetabulums werden immer als C3 klassifiziert)

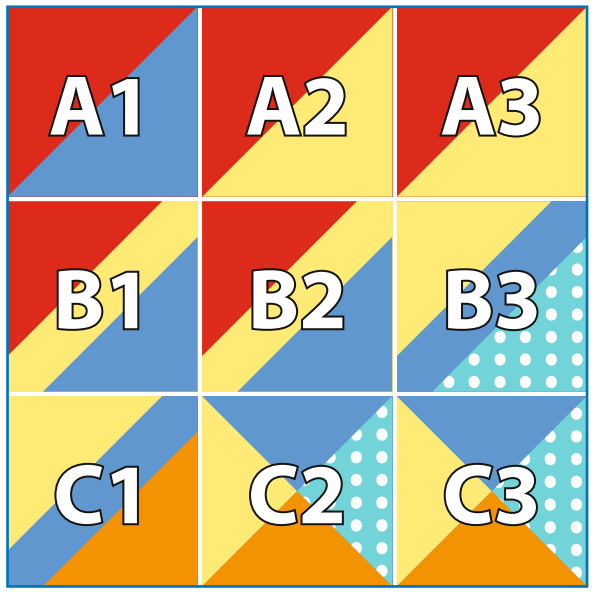


Abb. 16.2. Therapieoptionen bei Beckenringfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich; eine konservative Behandlung ist z. B. bei jeder nicht dislozierten Fraktur denkbar; insbesondere ältere Patienten mit geringem funktionellem Anspruch sowie Osteoporose und/oder Nebenerkrankungen sind eher konservativ zu behandeln)*

- Konservativ
- Plattenosteosynthese
- Schrauben, Kriechschrauben incl. Zuggurtungsosteosynthese
- Beckenzwinge, Fixateur externe
- Lumbopelvine Abstützung

Konservative und interventionelle Therapie

Neben der Frakturversorgung ist immer die Gesamtschwere der Verletzung in das Behandlungsregime mit einzubeziehen. Dies gilt insbesondere für die *hämodynamische Stabilität*. Eine entsprechende Volumensubstitution ist schnellstmöglich einzuleiten, mindestens 2 großvolumige Zugänge sind initial zu legen. Andere Prinzipien wie die im angloamerikanischen Raum angewendete »Schockhose« zur Verringerung des Beckenvolumens halten wir aufgrund der möglichen Komplikationen bis hin zum Kompartmentsyndrom für problematisch. Allenfalls kann ein Beckengürtel oder ein Tuch, insbesondere in der präklinischen Phase, angelegt werden. Diese sollten nicht mehr als 2 h verbleiben. Nach schnellstmöglichem Transport in eine geeignete Klinik sollte eher eine Beckenzwinge oder auch – falls nicht anders möglich – ein Fixateur zur Anwendung kommen (s. unten).

Bestehen weitere Blutungen aus kleineren Gefäßen und ist die übrige Situation stabilisiert, kann u. U. eine interventionelle Embolisierung zur Anwendung kommen.

Konservative Therapie

Prinzipiell sind *A-Frakturen* als *stabil* anzusehen und können somit konservativ behandelt werden (Abb. 16.3, 16.4). Nach kurzer initialer Immobilisation kann eine schmerzadaptierte Vollbelastung mit entsprechenden Hilfsmitteln (Unterarmgehstöcke, Gehbänkchen) eingeleitet werden. Ausnahmen bilden nur Frakturen mit stark dislozierten Fragmenten, die zu einer Perforation innerer Organe bzw. der Haut führen können. Apophysenabrisse beeinträchtigen nicht das Wachstum. Daher ist nur bei deutlich *dislozierten Abrissfrakturen* von Apophysen oder Muskelansätzen die Indikation zur inneren *Osteosynthese* zu stellen.

Ebenfalls ein *konservatives* Vorgehen ist bei *B-Frakturen* mit einer *geringen Diastase* möglich. Bei Erhaltung der dorsalen sacroiliacalen Bandstrukturen und einer Symphysenruptur mit maximaler Diastase von 2,5 cm ist von einer stabilen Fraktur auszugehen. Eine initiale Fehleinschätzung der dorsalen Stabilität ist jedoch nicht selten, sodass hier eine engmaschige Röntgenkontrolle während der Mobilisationsphase erfolgen sollte, um eine Dislokation frühzeitig zu erkennen.

Die interventionelle Behandlung durch angiographische *Embolisation* steht als zeitaufwendige *Ausnahmeindikation* zur Behandlung von *Blutungen bei Schwerstverletzten* insbesondere im Bereich von Ästen der *A. iliaca interna* oder Glutäalarterienblutungen zur Verfügung. Hier wird das zusätzliche Trauma gering gehalten (kein weiterer operativer Zugang), und isolierte arterielle Blutungen können zuverlässig gestillt werden ohne Kontamination des Retroperitonealraums. Die Versorgung schließt sich den lebensrettenden u. a. Sofortmaßnahmen wie Laparotomie, Thorakotomie bzw. Fasziotomie, aber auch stabilisierenden Eingriffen wie Fixateur-Anlage oder Anlage einer Beckenzwinge etc. an, wenn noch eine isolierte Blutung besteht. Nachteile der Embolisation sind die lange Dauer und die Tatsache, dass Parallelversorgungen kaum möglich sind.

Schraubenosteosynthesen, Zuggurtungsosteosynthesen

Schraubenosteosynthesen werden im Bereich des vorderen Beckenrings bevorzugt bei *transpubischen* Frakturen, aber auch bei Brüchen der *Beckenschaufel* als sog. *Kriechschrauben* eingesetzt, wenn neben der Verletzung des hinteren Beckenrings (Typ B oder C) eine instabile transpubische Fraktur besteht. Dies ist nur bei einer erheblichen Dislokation bzw. *Diastase von >1,5 cm* der Fall, da dann das wichtige stabilisierende Lig. pectineale (Cooper-Ligament) potenziell eingerissen sein kann. Verwendung finden 3,5-mm-Schrauben, die bei Symphysenverplattungen über denselben Zugang in den vorderen Acetabulumpfeiler eingebracht werden.

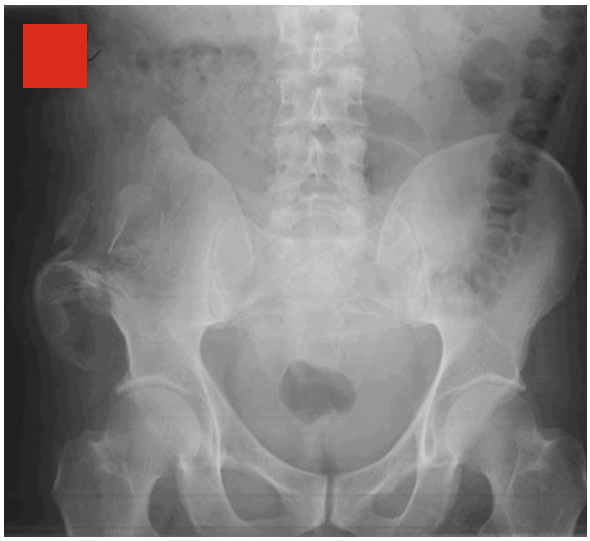


Abb. 16.3. 23 Jahre, männlich. Verkehrsunfall. Beckenrandfraktur (A1.2). Konservative Behandlung trotz erheblicher Dislokation

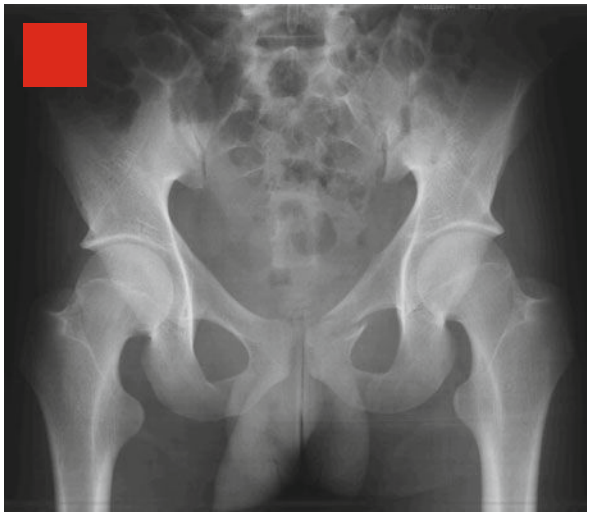


Abb. 16.4. 45 Jahre, männlich. Leitersturz. Vordere Beckenringfraktur (Fraktur des Schambeinastes links, A2.2). Konservative Therapie

Neben der Fixierung bei transpubischen Frakturen hat sich die Schraubenosteosynthese bei *iliosacraler Sprengung* etabliert. Die transiliosacrale Verschraubung nach Matta u. Saucedo [20] weist ein deutlich geringeres Operationstrauma als das Standardverfahren, die Plattenosteosynthese, auf. Sie ist deshalb besonders beim Polytraumatisierten geeignet. Die Verschraubung kann über einen dorsalen Zugang in Bauchlage oder auch in Rückenlage, wenn die Bauchlage nicht gut toleriert wird, offen oder – wenn eine geschlossene Reposition der Iliosacralluxation gelingt – in perkutaner Technik unter Bildwandler- oder CT-Kontrolle erfolgen. In dieser Technik wird das Os ilium mit dem 1. oder auch 2. Sacralwirbel verschraubt. Hierzu werden 1 oder 2 6,5-mm-Spongiosaschrauben mit kurzem Gewinde ggf. auch mit Unterlegscheibe verwendet (s. unten, da meist in Kombination verwendet: Abb. 16.7, 16.12).

Es ist zu beachten, dass eine Fehlplatzierung der Schrauben zu einer Wurzelläsion L5/S1 oder zu einer Plexus-lumbosacralis-Schädigung führen kann. Eine iliosacrale Verschraubung ist ebenfalls bei einer *Os-sacrum-Fraktur* möglich. Eine klassische *Zugschraube* kommt bei einfachen Brüchen zum Einsatz. Bei *Trümmerfrakturen* sollte jedoch eine *Stellschraube* mit durchgehendem Gewinde verwendet werden, um eine Kompression mit möglicher sekundärer Nervenschädigung zu vermeiden. Eine exakte Reposition ist bei diesem Verfahren nicht möglich, sodass nur Frakturen geeignet sind, die sich geschlossen gut reponieren lassen. Die Gewinde sollten im Corpus von S1 (diagonal z. B. oben vorn und unten hinten) oder in S1 und S2 liegen, da hier durch die hohe Knochendichte eine große Ausreißfestigkeit erzielt werden kann. Bei bilateralen Beckenbrüchen wird die höchste Stabilität erreicht, wenn die gegenläufigen Schrauben sich mit ihren Gewinden im Sacrum verzahnen [21].

Wichtig ist eine gute Entblähung präoperativ, da die Überlagerung mit Darmgasen eine erhebliche Beeinträchtigung der Visualisierung im Bildwandlerbild darstellt.

Aufgrund der schwierigen Platzierbarkeit der Schrauben ist eine *navigierte* weichteilschonende Technik entwickelt worden. Nach einer Stichinzision dient der vordere Beckenkamm zur Verankerung der Referenzierungsbasis. Nach Akquirierung der sog. Matta-Projektionen (Inlet, Outlet, lateral) kann rechnergestützt das Bohren des Führungsdrahts erfolgen. Erste Untersuchungen zeigen eine geringe Verlängerung der Operationszeit bei kürzerer Durchleuchtungszeit. Die Fehlplatzierungsrate sank von 17% auf 8% [22].

Besonders bewährte Verfahren für die endgültige Versorgung sind in Tab. 16.1 dargestellt.

Vor jeder Osteosynthese ist vor dem Abdecken zu überprüfen, ob die benötigten Bildwandlereinstellungen möglich sind (Inlet/Outlet für den vorderen bzw. hinteren Beckenring).

Manche Autoren setzen Schrauben in Kombination mit einem Zuggurtungsdraht bei Symphysensprengungen ein. Hier wird der Draht nach Reposition achtförmig um die beiden parasymphysär eingebrachten Zugschrauben geführt. Wir halten diese Versorgung für nicht ausreichend stabil und erwähnen sie nur der Vollständigkeit halber. Bessere Resultate werden nach Verwendung von

61

Tab. 16.1. Bewährte Verfahren für die endgültige Versorgung von Beckenringverletzungen

Verletzung	Verfahren
Symphyse	– Doppelplattenosteosynthese
Transpubische Frakturen	– Fixateur – Bei Dislokation auch Plattenosteosynthese – Schrauben
Iliumfrakturen	– Ventrale Plattenosteosynthese
ISG-Verletzungen	– Transiliosacrale Verschraubung oder – Ventrale Plattenosteosynthese
Sacrumfrakturen	– Zugschrauben (einfache Frakturen) – Stellschrauben (Mehrfragmentfrakturen) – Plattenosteosynthesen

Zuggurtungen unter Verwendung von Polydioxanonbändern berichtet. Es entfällt die Komplikation des Drahtbruchs [23]. Allerdings zeigen biomechanische Untersuchungen, die den Gang simulieren, keine ausreichende Stabilität für diese Versorgungen [24].

Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese hat sich bei verschiedensten Bruchformen bewährt. Sie kommt bei den unterschiedlichen Verletzungsmustern mit guten Resultaten zur Anwendung. Zu nennen sind die in der ▶ Übersicht genannten Verletzungen.

Indikationen der Plattenosteosynthese im Rahmen der Versorgung von Beckenringverletzungen

- Symphysenruptur, Dislokation >2,5 cm
- Sitz- und Schambeinastfrakturen mit erheblicher Dislokation und möglichen lokalen Komplikationen (transpubische Instabilität)
- Frakturen des Os ilium mit resultierender translatorischer Instabilität (transiliacale Frakturen)
- Dislozierte Verletzungen des ISG (transiliosacrale Luxationen bzw. Luxationsfrakturen)
- Dislozierte Sacrumfrakturen mit Kompression nervaler Strukturen

Die operative Versorgung der *Symphysensprengung* erfolgt in *Rückenlage*. Über einen Pfannenstiel-Schnitt wird die Linea alba aufgesucht, längs gespalten und die Symphysenregion von cranial und dorsal dargestellt. Dies ist zur Kontrolle des Repositionsergebnisses unerlässlich. Die Plattenosteosynthese erfolgt mittels Kleinfragmentplatte (4,5 mm 4-Loch-LCDCP), welche hinter dem Ansatz des M. rectus abdominis eingebracht wird. Die medialen Schrauben verlaufen idealerweise parallel zum Symphysenspalt. Nicht selten sind Plattenbrüche, insbesondere nach Verwendung von Rekonstruktionsplatten, im Verlauf von mehreren Wochen durch die Scherbeanspruchung an der Symphyse bei zunehmender Mobilisation. Wir wenden daher eine *Doppelplattenosteosynthese* mit z. B. ventral liegender 4-Loch-LCDCP und cranial implantierter längerer Rekonstruktionsplatte an (Abb. 16.5).

Durch Palpation der Symphysenhinterkante mit dem Finger werden die exakte Reposition und die Bohrrichtung kontrolliert.

Liegen zusätzlich zur Symphysenruptur *Schambeinastfrakturen* vor, können diese durch eine längere Plattenosteosynthese entlang der Linea terminalis mitversorgt werden (Abb. 16.6). Hier ist der *ilioinguinale Zugang nach Letournel* als Erweiterung des Pfannenstielschnitts bis zur Crista iliaca ggf. beidseits und andere erweiterte Zugänge möglich.

Je nach dorsalem Befund wird hier percutan transiliosacral verschraubt (Abb. 16.7), oder es werden zusätzliche Platten eingebracht (Abb. 16.8, 16.9). Außerdem können Iliumfrakturen und transiliacale Luxationsfrakturen erreicht werden.

Frakturen im Bereich des *Os Ilium* mit translatorischer Instabilität werden in Rückenlage über einen anterolateralen Zugang subperiostal mit Präparation von der Ala ossis ilii bis zur Fossa iliaca angegangen. Besteht bei diesem Frakturtyp ein großes mediales Fragment, wird dieses mittels ventraler Plattenosteosynthese stabilisiert. Bei schmalem medialem Fragment erfolgt wie bei der iliosacralen Luxation die gelenkübergreifende anterolaterale Doppelplattenosteosynthese mit 2 3-Loch-Platten (Abb. 16.8, 16.9). Die Platten liegen in einem nach lateral offenen Winkel von 90°. Durch diese Plattenlage sind eine ausreichende Plattenlänge und sichere Schraubenfixation in der festen Knochensubstanz des Iliums im Bereich der Linea terminalis und des dorsocranialen Iliumanteils zu erreichen. Die Schraubenpositionierung im Sacrum erfolgt streng in der Pars lateralis, parallel zur iliosacralen Gelenkfläche. In dieser Position können bis zu 50 mm lange Spongiosaschrauben zur sicheren Plattenfixation in der festen Knochenstruktur des lateralen Sacrums in ventrodorsaler Richtung in sicherem Abstand zum Plexus lumbosacralis eingebracht werden (Abb. 16.9). Aufmerksamkeit ist der Nervenwurzel S5 zu widmen, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft befindet. Nachteil des Verfahrens ist die fehlende Abstützung nach cranial.

Bei *dislozierten Sacrumfrakturen* eignet sich ein dorsaler Längsschnitt unter Mitablösung der Fascia lumbo-

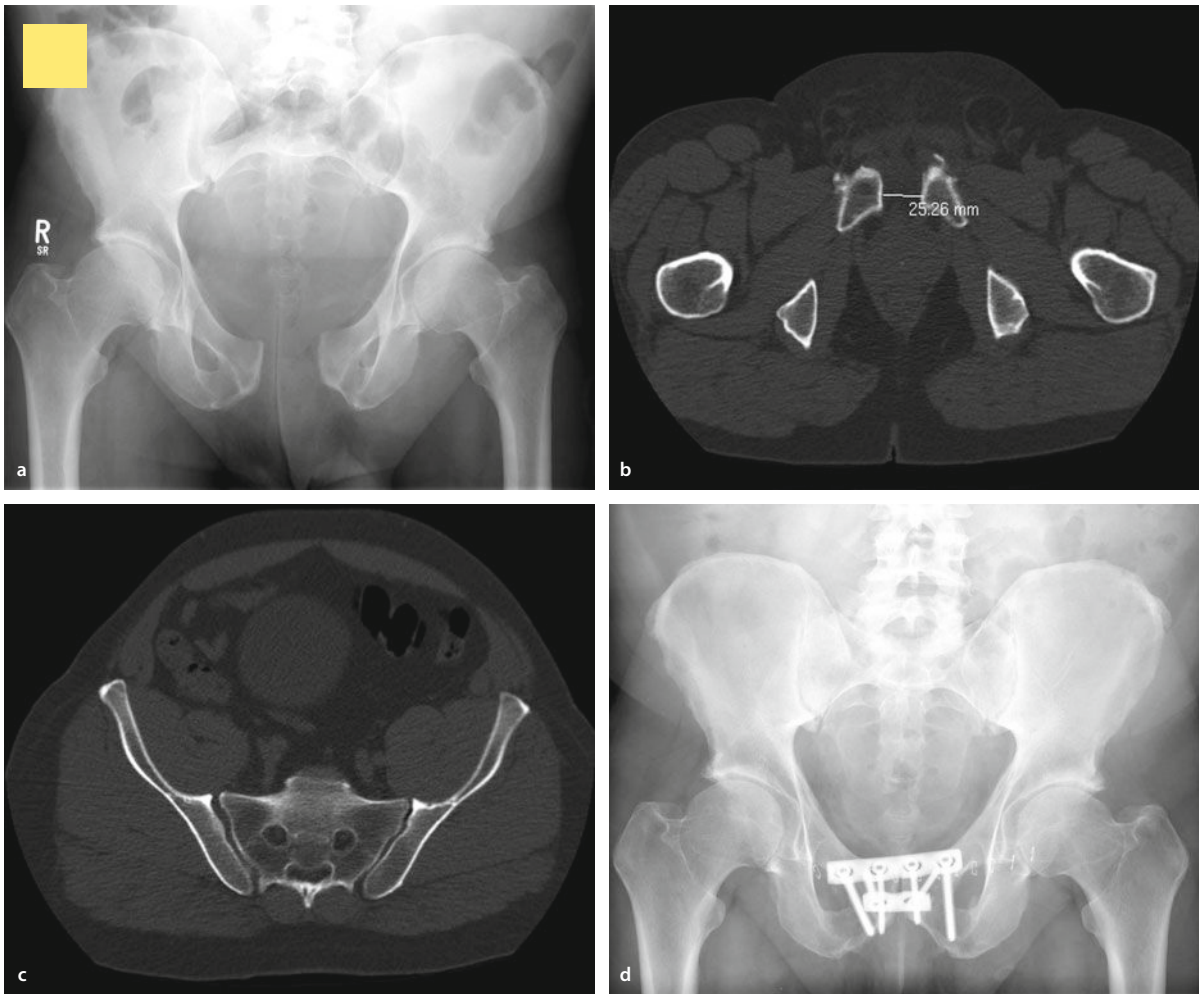


Abb. 16.5. 58 Jahre, männlich. Verkehrsunfall. Außenrotationsverletzung rechts (»open book injury«; **a–c**), Typ B1 nach AO, Symphysendislokation >2,5 cm mit Zerreißung der ventralen Bänder des rechten ISG. Offene Reposition, vordere Beckenringstabilisierung mittels Doppelplattenosteosynthese (**d**)

sacralis zur Exposition, offenen Reposition und Dekompression. Aufgebrachte Platten wirken im Sinne einer dorsalen Zuggurtung. Empfohlen werden Kleinfragmentplättchen und 3,5-mm-Schrauben. Zuverlässige Verankerungspunkte für die Schrauben gibt es wenige, sodass die Plattenostesynthese das ISG in einigen Fällen überbrücken muss. Trümmerfrakturen sind demzufolge nicht gut geeignet.

Beckenzwinge, Fixateur externe

Beide Verfahren sind relativ einfach mit geringem technischem Aufwand, wenig Blutverlust und kleinem lokalem und allgemeinem Risiko durchzuführen. Beide, insbesondere die *Beckenzwinge*, eignen sich zur Blutungskontrolle (90% der relevanten Blutungen kommen direkt aus der Fraktur oder aus dem Plexus praesacralis bzw. paravesicalis) und sind daher bei Schwerverletzten indiziert. Durch die Anlage ist die Lagerbarkeit und Pflege der Verletzten deutlich erleichtert. Auch eine trapezoidförmige Fixateur-Anlage mit Verankerung der Schanz-Schrauben supraacetabulär ermöglicht nicht eine so gute Kompression des hinteren Beckenrings wie die Beckenzwinge. Der Eintrittspunkt für die Schrauben liegt hier in Verlängerung der Trochanter-major-Spitze etwa 2 cm distal der Spina iliaca anterior inferior.

Der *supraacetabuläre Fixateur* ist für B- und C-Verletzungen oder laterale Kompressionsfrakturen geeignet. Horizontal instabile B-Verletzungen können so ausbehandelt werden. Eine weitere Verankerungsmöglichkeit für den Fixateur besteht in Höhe der Spina iliaca anterior inferior. Nach Stichinzision werden hier zwei

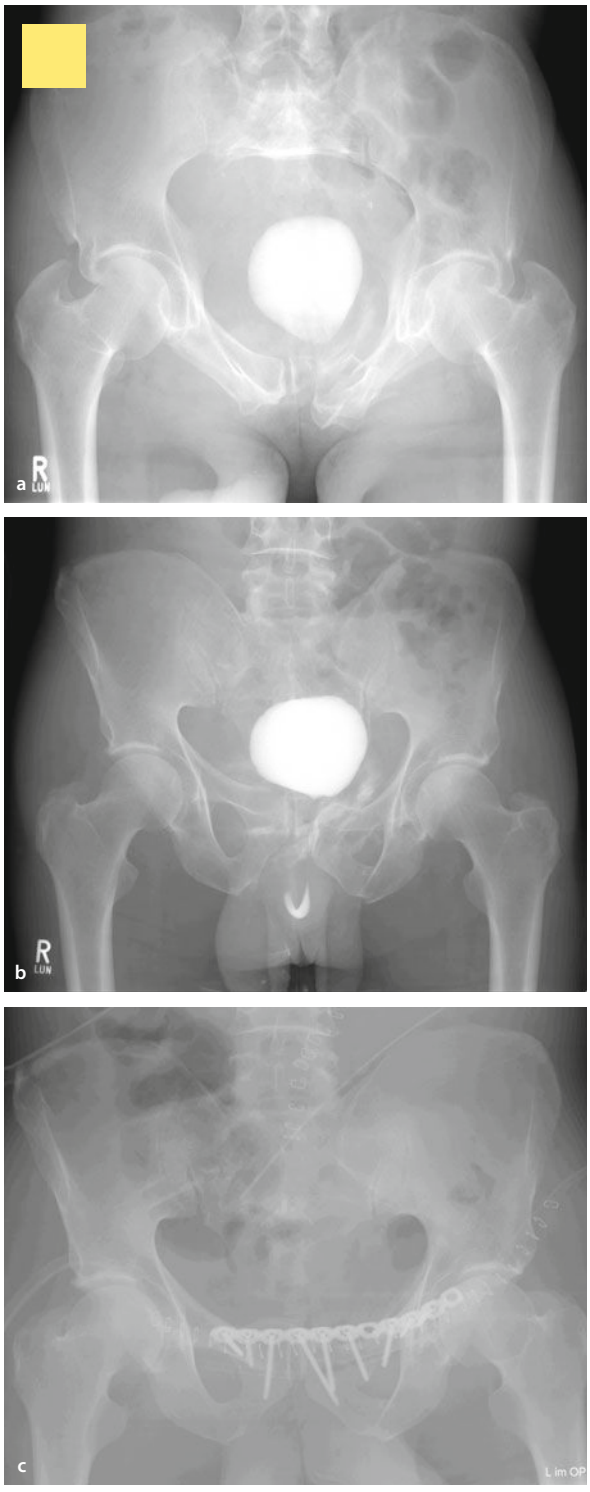


Abb. 16.6. 35 Jahre, männlich. Verkehrsunfall. Dislozierte vordere Beckenringfraktur mit Beteiligung des ventralen Anteils des ISG im Sinne einer ventralen Kompression des Sacrums (B2.1) und begleitende Beckenrandfraktur der rechten Beckenschaufel (A1). Inlet- (**a**) und a.-p.-Aufnahme (**b**) präoperativ. **c** Ventrale Plattenosteosynthese mittels langer Rekonstruktionsplatte über erweiterten Pfannenstiel-Schnitt

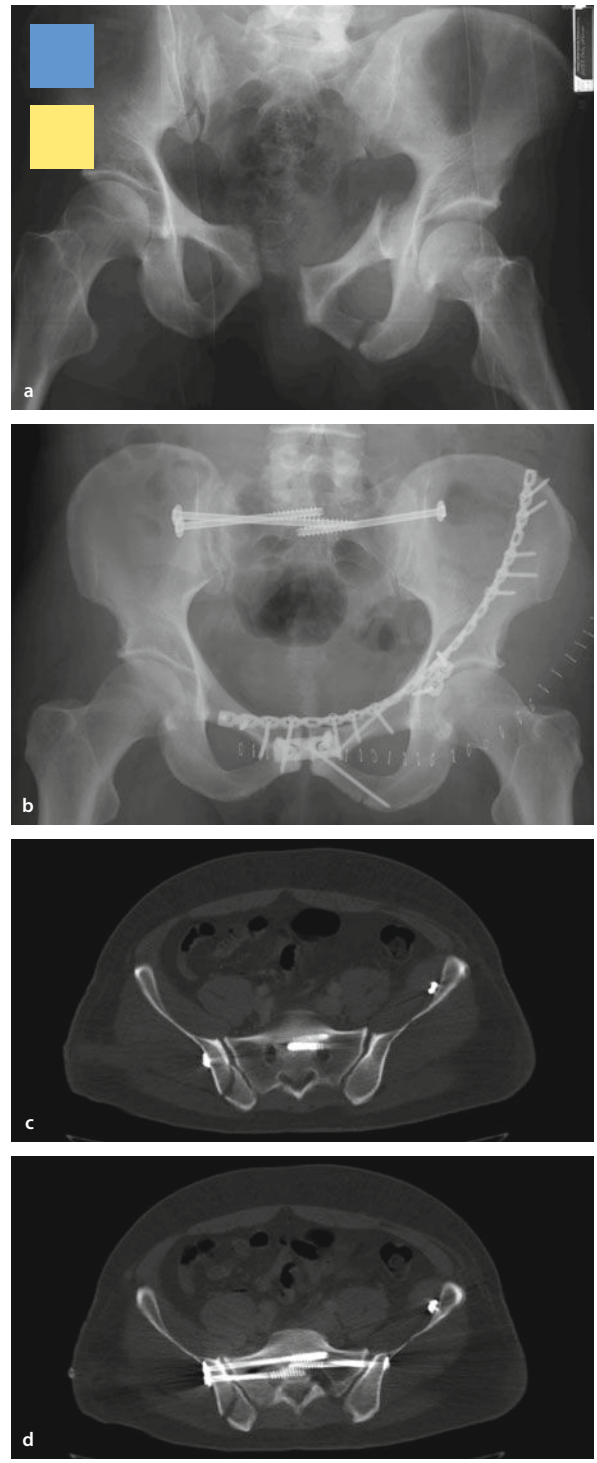


Abb. 16.7. 49 Jahre, männlich. Überrolltrauma. Vordere Beckenringfraktur mit dorsaler Translationsdislokation des rechten Iliosacralgelenks, Zerreißung der ventralen Bandstrukturen des linken Iliosacralgelenks und folglich rotatorischer Instabilität (C2 nach AO). Offene Reposition und osteosynthetische Versorgung ventral mit Doppelplattenosteosynthese über ilioinguinalen Zugang sowie transiliosacrale perkutane Schraubenosteosynthese bei rechts lateraler iliosacraler Luxationsfraktur und »open book« links

Schanz-Schrauben oberhalb und unterhalb der Spina eingebracht. Die Neigung beträgt etwa 70° zur Medianen und ca. 30° nach distal. Die gesunde Seite wird zuerst besetzt. Die Schrauben sollen sich ihren Weg selbst bis vor das ISG suchen. Die Rohrstangen werden im Sinne einer Dreieckskonstruktion über die entsprechenden Backen verbunden. Die Montage ist aufwendiger und die Verankerung im Beckenkamm weniger geeignet, da es zu einem Auseinanderweichen von Symphyse oder SI-Gelenken kommen kann. Die Beckenzwinge ist daher vorzuziehen.

Eine Beckenzwinge stellt ausschließlich eine Notfallmaßnahme zur Kompression des hinteren Beckenrings bei hämodynamisch instabilen Patienten mit Beckenringverletzungen dar. Der Verfahrenswechsel zur definitiven Versorgung ist, in Abhängigkeit vom Zustand des Verletzten, innerhalb eines Zeitraums von ca. 1 Woche empfehlenswert.

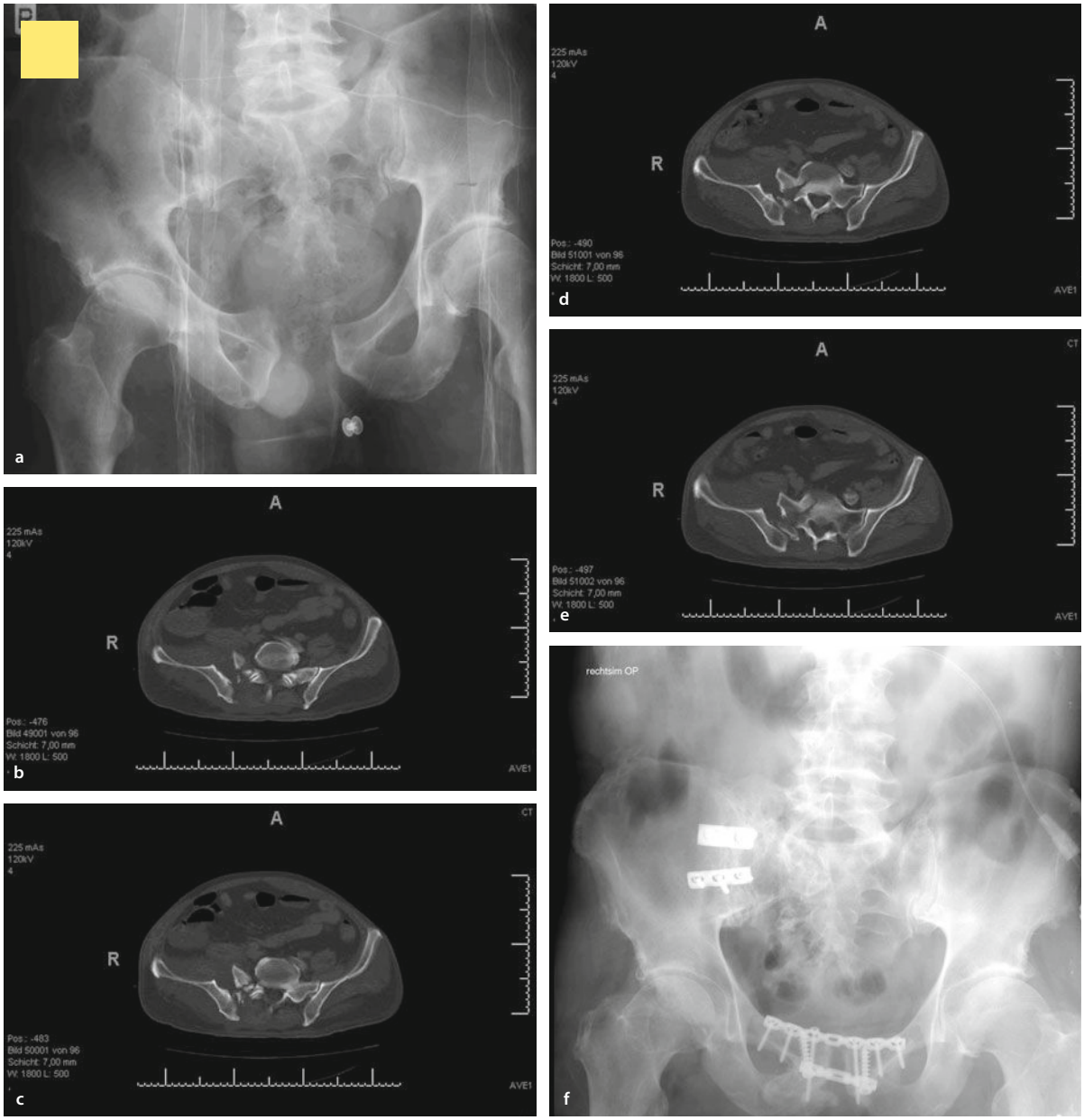


Abb. 16.8. 49 Jahre, männlich. Außenrotationsverletzung der rechten Beckenseite. Fraktur Typ C1.2 nach AO. Dorsale rechtsseitige Instabilität im CT-Schnittbild durch Luxationsfraktur im ISG. Offene Reposition und jeweils Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese

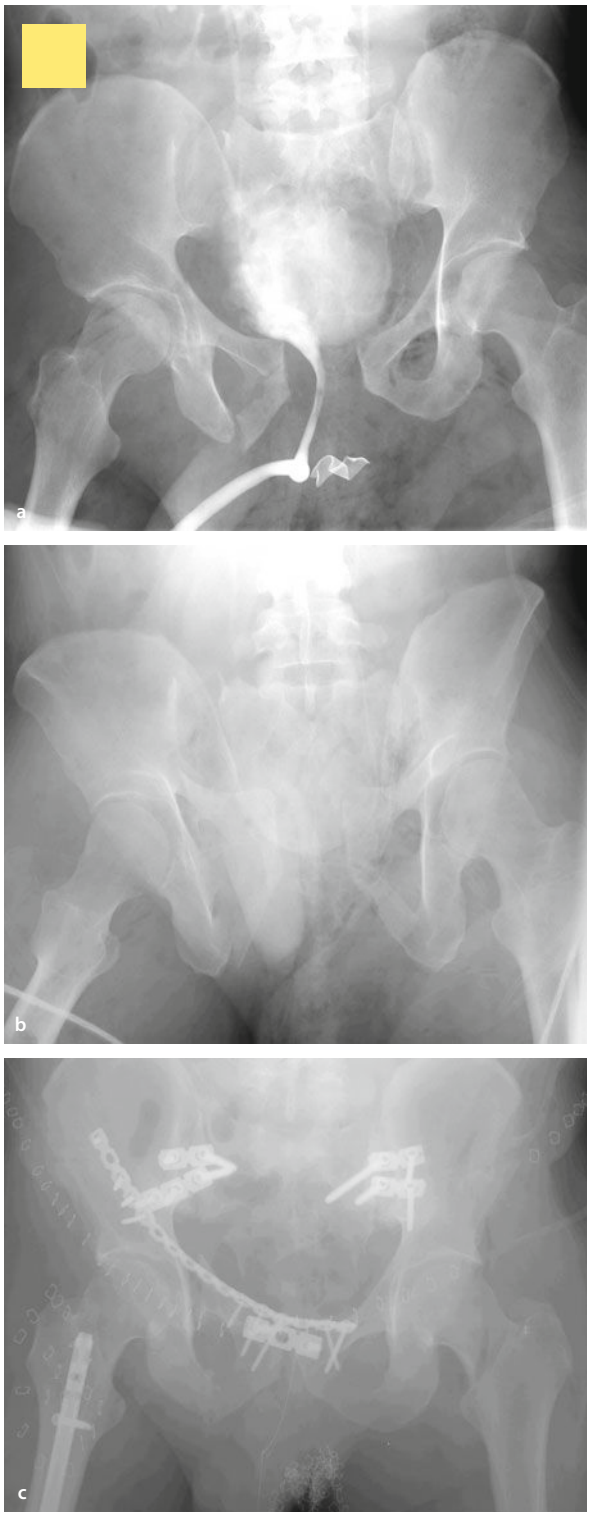


Abb. 16.9. 23 Jahre, männlich. Polytrauma nach Verkehrsunfall. Vordere dislozierte Beckenringfraktur rechts und Symphysensprengung mit bilateraler dorsaler Rotationsinstabilität (C2). Über ilioinguinalen Zugang ventrale Stabilisierung mittels Rekonstruktionsplatte und dorsale bilaterale Stabilisierung durch Kleinfragmentplatten. Nebenbefundlich retrograder Femurnagel rechts bei Femurschaftfraktur

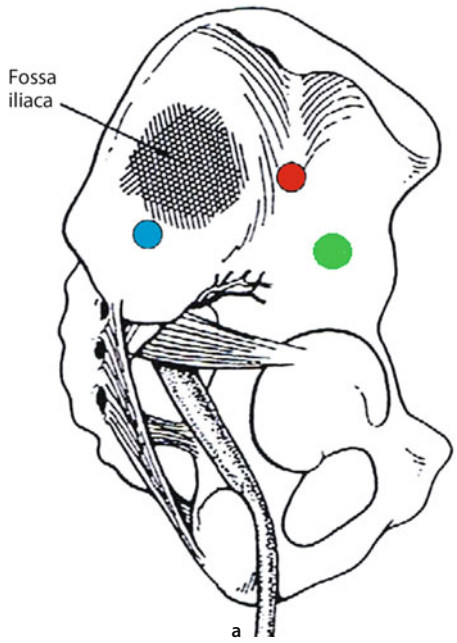
Wichtig

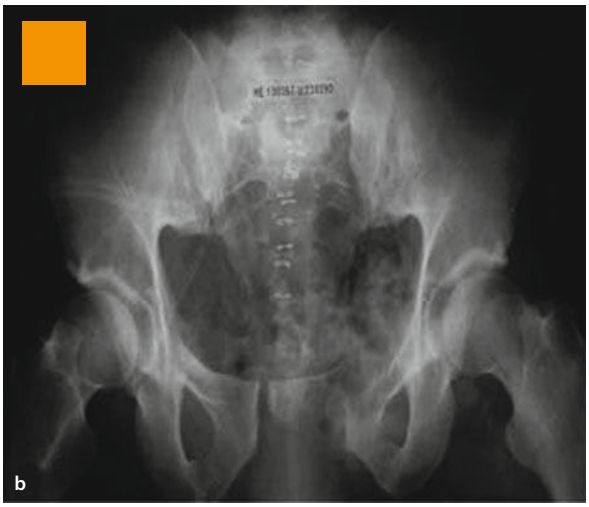
Zur externen temporären Fixation und Kompression des Beckenrings ist die Beckenzwinge ein bewährtes Therapieverfahren. Die Indikation zur Anlage einer Beckenzwinge ist jedoch eng zu stellen.

Nach Tiemann et al. [25] ist die Indikation zur Anlage einer *Beckenzwinge* bei polytraumatisierten Patienten mit nachweisbarer Beckeninstabilität sowie einem Hb-Wert von <7 mg/dl zu stellen, wenn eine Stabilisierung durch Substitution von Volumen bzw. Blutprodukten nicht gelingt. Des Weiteren stellt die Beckenzwinge ein Primärdiagnostikum nach ATLS-Konzept (»advanced trauma life support«) zum Nachweis einer *pelvinen Blutungsquelle* dar. Die korrekte Anlage führt zur Kompression des dorsalen Beckenrings. Durch Volumenreduktion des kleinen Beckens kann ein retroperitoneales Hämatom eingedämmt werden (Kompression der Frakturflächen und der Venenplexus).

Eine absolute *Kontraindikation* ist hingegen das Vorliegen einer transiliacalen Fraktur bzw. transiliacalen Luxationsfraktur, da ein sicheres Verankern der Pins nicht möglich ist. Eine relative Kontraindikation stellt die Sacrumfraktur dar. Es besteht hier die Gefahr der Nervenverletzung [26]. Allerdings greift auch hier das Prinzip »life before limb« bei hämodynamisch instabilen Patienten. Auch bei osteoporotischen Knochenverhältnissen ist die Beckenzwinge wegen der Gefahr der primären Pinperforation und konsekutiven Organverletzung kontraindiziert. Eine zu distale oder dorsale Lage der Pins ist zu vermeiden, da es zu Verletzungen der Glutäalgefäße oder von Nerven kommen kann. Auch über sehr starke Medialisierungen des betroffenen Hemipelvis ist berichtet worden. Bei zu ventraler Positionierung droht eine Perforation des Os ilium mit möglicher Verletzung von Organen.

Die *Anlage* der Beckenzwinge erfolgt in Rückenlage des Patienten und orientiert sich an anatomischen Gegebenheiten. Nach dem sterilen Abdecken des Operationsfeldes erfolgt 3–4 Querfinger proximal der Trochantermajor-Spitze und im Verlauf der Längsachse des Femurs eine ca. 3 cm lange Hautinzision. Alternativ kann zur Orientierung der von Pohlemann et al. empfohlenen *Kreuzungspunkt der Lotrechten* durch die *Spina iliaca anterior superior* und der leicht nach dorsal abfallenden *Längsachse des Femurs* dienen [26]. Die spreizende Schere rutscht dabei auf der Corticalis bis zum tiefsten, d. h. am meisten konkaven Punkt. Nach dem festen Einbringen der Pins, was optimalerweise auf beiden Seiten simultan erfolgen sollte, wird die Beckenzwinge komprimiert. Ist eine Reposition eines Hemipelvis erforderlich, muss durch einen Assistenten Längszug am Bein unter gleichzeitiger Innenrotation ausgeübt werden. Es ist hierbei darauf zu achten, dass der Kompressionsgrad von entschei-





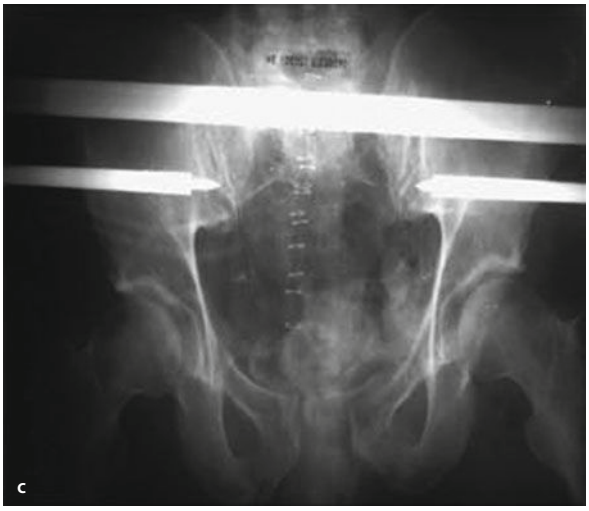


Abb. 16.10. Mögliche Eintrittspunkte für die Pins zur Verankerung der Beckenzwinge oder des supraacetabulären Fixateurs. Bei B-Verletzungen empfiehlt sich ein anteriorer Verankerungspunkt (Kreuzungspunkt der Lotrechten durch die Spina iliaca anterior superior und der Längsachse des Femurs; *rot*); bei C-Verletzungen mit vertikaler Abscherung sollten die Pins dorsal nach Reposition durch Längszug und Innenrotation am Bein eingebracht werden (4–5 cm ventral der Spina iliaca posterior superior in Höhe des ISG; *blau*). Die supraacetabuläre Lage der Schanz-Schrauben wenige cm oberhalb des cranialen Acetabulumrandes wird durch eine Anlage 3 Querfinger oberhalb des Trochanter major erreicht und eignet sich sowohl für die Beckenzwinge als auch für den Fixateur; *grün)*. **b, c** Klinisches Beispiel für eine angelegte Beckenzwinge prä- (**b**) und postoperativ (**c**)

dender Bedeutung für das Resultat des Patienten ist. Eine zu geringe Kompression führt zu weiterhin instabilen Beckenverhältnissen mit möglicher prolongierter Blutung. Zu hoher Kompressionsdruck kann Beckenfehlstellungen zur Folge haben. Des Weiteren sind neurologische Defizite bei Os-sacrum-Frakturen beschrieben.

Nach Anlage der Beckenzwinge ist eine Lagekontrolle mittels konventioneller Beckenübersichtröntgenaufnahme, ggf. CT-Aufnahmen obligat. Eine unmittelbare Korrektur ist mittels Bildwandler bei Fehllage der Pins bzw. bei zu hohem/niedrigen Kompressionsdruck anzustreben. Wir empfehlen, die Zwinge einige Tage zu belassen, um Rezidivblutungen zu vermeiden.

Die Pins für die Beckenzwinge werden anterior (Kreuzungspunkt der Lotrechten durch die Spina iliaca anterior superior und der Längsachse des Femurs) bei Open-book-Verletzungen zur Reduktion der Diastase angelegt.

Bei einer C-Verletzung mit vertikaler Abscherung sollten die Pins dorsal nach Reposition durch Längszug und Innenrotation am Bein eingebracht werden (4–5 cm ventral der Spina iliaca posterior superior in Höhe des ISG). Ein Abrutschen in die Incisura ischiadica major mit der Gefahr der Glutäalgefäßverletzung muss vermieden werden. Die supraacetabuläre Lage der Schanz-Schrauben wenige cm oberhalb des kranialen Acetabulumrandes wird durch eine Anlage 3 Querfinger oberhalb des Trochanter major erreicht. Acetabulumfrakturen sind zuvor auszuschließen. Die möglichen Eintrittspunkte gibt Abb. 16.10 wieder.

Lumbopelvin abstützende Verfahren

Das Os sacrum ist der Lastüberträger von der Wirbelsäule auf das Becken und die unteren Extremitäten. Es nimmt daher eine zentrale Rolle wie der Schlussstein



Abb. 16.11. Lumbopelvin abstützende Verfahren. **a** Trianguläre vertebropelvine Aufhängung (TVPA) für einseitige C-Verletzungen. **b** Bilaterale querstabilisierende lumbopelvine Abstützung (BQLA) für beidseitige C-Verletzungen mit translatorischer und rotatorischer Instabilität

in einem romanischen Bogen in der Architektur ein. Um bei instabilen Brüchen des Sacrums, insbesondere in den Zonen 2 und 3 nach Denis, eine möglichst belastungsstabile Versorgung zu erreichen, sind andere Verfahren erforderlich. 1994 wurde von Käch u. Trentz das Verfahren der lumbopelvinen dorsalen Distraktionsspondylodese beschrieben [27]. Prinzip ist die Abstützung zwischen Becken und Wirbelsäule, indem Pedikelschrauben in L4 oder L5 verankert werden sowie in der Crista iliaca im posterioren Bereich. Eine Rotationsstabilität wird durch zusätzliche transiliosacrale Schrauben als sog. trianguläre Osteosynthese erreicht (s. oben; Abb. 16.12 [28]).

Diese Form der Versorgung, auch als dorsale Sacrum-Distanzosteosynthese (DSDO) bezeichnet, hat sich insbesondere bei C-Verletzungen bei bestimmten *Os-sacrum-Frakturen* bewährt. Besonders zu nennen sind einseitige oder bilaterale H-förmige Brüche, die zur vertebropelvinen Dissoziation führen. Sowohl bei Trümmerfrakturen als auch bei lateralen und transforaminalen Os-sacrum-Frakturen ermöglicht diese interne Fixation des Beckenringes an der gesunden Wirbelsäule eine Stabilisierung der Fraktur.

Im Vergleich zu den anderen Osteosyntheseverfahren sind einige Vorteile gegeben. So ist nicht nur eine *unmittelbare postoperative Vollbelastung möglich,* die Höhe der betroffenen Spina iliaca posterior kann beliebig und damit anatomisch eingestellt werden. Die Kompression der Frakturflächen ist bei bilateralen Montagen möglich, Spongiosaanlagerungen können vorgenommen werden, und die Durchblutung der Frakturfragmente wird nicht kompromittiert. Eine Verlängerung der kranialen Abstützung ist bei Bedarf durch Besetzung von zusätzlichen Pedikeln jederzeit möglich.

Das Verfahren verwendet den aus der Wirbelsäulenstabilisierung bekannten Fixateur interne auch in Kombination mit einer transiliosacralen Verschraubung. Neben der postoperativen Vollbelastung bietet dieses Osteosyntheseverfahren weitere Vorteile. So ist eine Reposition und sichere Retention der Fraktur über den Fixateur interne gegeben. Durch die transiliosacrale Verschraubung ist eine Rotationsstabilität gegeben. Eine weitere Möglichkeit zur Sicherung der Rotation ist die Montage auf beide hintere Beckenkämme.

Der Patient wird während der Operation zur lumbopelvinen Abstützung in *Bauchlage* gelagert. Es ist empfehlenswert, den Patienten auf einem strahlendurchlässigen *Karbontisch* zu lagern, sodass intraoperativ im a.-p.-, Inlet- und Outlet-Strahlengang und seitlich geröntgt werden kann. Des Weiteren sollte die Spina iliaca anterior inferior mit einem Metall-Staple markiert werden, um eine bessere intraoperative Orientierung zu ermöglichen.

Zunächst wird die Haut auf der erkrankten Seite etwa 1–2 cm neben dem Dornfortsatz des 4. Lendenwirbels beginnend leicht schräg absteigend in Richtung Spina iliaca posterior superior inzidiert. Bei beidseitigen Sacrumfrakturen hat sich der mediane Zugang über den Dornfortsätzen bewährt. Anschließend wird der entsprechende Wirbel zur lumbopelvinen Stabilisierung gewählt. Dabei ist zu beachten, dass der Winkel zwischen einer gedachten Linie durch die Dornfortsätze der Lendenwirbelsäule bzw. der Lotrechten und der Spina iliaca posterior superior etwa 45° betragen sollte. In der Regel wird der 4. Lendenwirbel zur Verankerung der Pedikelschraube ausgewählt. Nach Einbringung der Pedikel- oder Schanz-Schraube unter Bildwandlerkontrolle erfolgt die palpatorische Darstellung der Spina iliaca posterior superior. Die Fascia lumbosacralis wird an dieser Stelle in Faserrichtung gespalten und der gewählte Schraubeneintrittsort dargestellt. Auf eine ausgedehnte Darstellung der Fraktur wird verzichtet, es sei denn, es sind nervendekomprimierende Maßnahmen erforderlich.

Nun werden Spina iliaca posterior superior und anterior inferior im Bildwandler übereinander projiziert. Hierbei ist der anfangs eingebrachte Metall-Staple hilfreich. Zwischen der Spina iliaca posterior superior und Spina iliaca anterior inferior findet sich ein »Knochenkanal« mit einer durchschnittlichen Länge von 14 cm bei Männern und 13 cm bei Frauen, in den unter Bildwandlerkontrolle entsprechend lange Implantate im Durchmesser zwischen 6 und 8 mm eingebracht werden können. Nach Implantation der Schrauben folgt die Aufbringung des Längsträgers und im Anschluss die Reposition der Fraktur mittels Distraktor in craniocaudaler Richtung.

Zum Abschluss erfolgt eine iliosacrale Verschraubung zur Wiederherstellung der Rotationsstabilität, wobei unter Bildwandlerkontrolle im seitlichen, a.-p.-, Inlet- und Outlet-Strahlengang eine Lochschraube im 1. Sacralwirbel und ggf. auch im 2. Sacralwirbel positioniert wird (Abb. 16.12). Dabei ist bei einer Sacrumfraktur eine Kompression mit möglicher Nervenschädigung zu vermeiden. Die Verwendung einer Stellschraube mit durchgehendem Gewinde ist ratsam, um zu viel Kompression zu vermeiden.

Neben der triangulären vertebropelvinen Aufhängung (TVPA, Abb. 16.11) bietet sich als alternatives Verfahren eine bilaterale querstabilisierende lumbopelvine Abstützung (BQLA) insbesondere für beidseitig vollständig instabile C3-Frakturen an. Dabei wird neben beidseitiger Einbringung von Pedikelschrauben in den 4. oder 5. Lendenwirbel eine zusätzliche Stabilität durch die Verbindung beider lumbopelviner Abstützungen durch einen Querträger erreicht. Auf eine transiliosacrale Verschraubung wird bei diesem Verfahren verzichtet (Abb. 16.13).

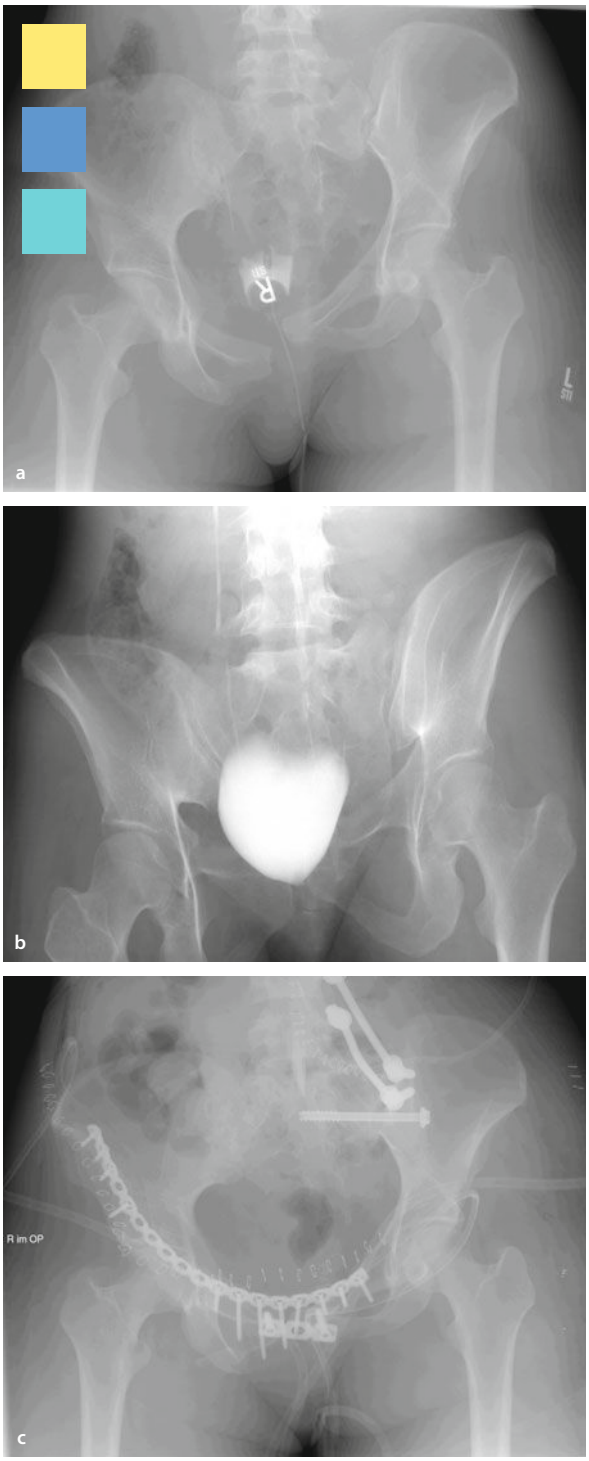


Abb. 16.12. 55 Jahre, weiblich. Polytrauma bei Verkehrsunfall. Linksseitig rotatorische und translatorische Instabilität mit rechtsseitiger Rotationsinstabilität (C2 nach AO). Ventrale Stabilisierung mit langer Rekonstruktionsplatte und die Symphyse zusätzlich sichernder Kleinfragmentplatte über ilioinguinalen Zugang. Dorsale Stabilisierung durch einseitige lumbopelvine Abstützung und transiliosacrale Verschraubung rechts im Sinne einer triangulären Osteosynthese



Abb. 16.13. 33 Jahre, weiblich. Polytrauma nach Fenstersprung. Sacrumfraktur mit dorsaler Abkippung (»U-shaped sacral fracture and spino-pelvic-dislocation«) und kompletter bilateraler dorsaler Unterbrechung (C3 nach AO). Bilaterale querstabilisierende lumbopelvine Abstützung

Sacralstäbe

Eine weitere, jedoch selten angewandte Möglichkeit zur Stabilisierung *transsacraler Instabilitäten* ist die Osteosynthese mittels transsacraler Gewindestangen. Dabei werden über einen dorsalen Zugang beidseits parallel zu und lateral von den Cristae liliacae posteriores in Bauchlage 2 Gewindestäbe dorsal des Os sacrum durch die Cristae iliacae posteriores eingedreht und durch gegenseitiges Anziehen von Kontermuttern der dorsale Beckenring komprimiert und stabilisiert.

Vorteil dieser Methode ist die zuggurtende Wirkung am hinteren Beckenring und die geringe Gefahr direkter iatrogener Verletzungen neurogener Strukturen. Als Nachteil ist der relativ große Zugang zu den beiden Cristae iliacae posteriores anzusehen. Bei gleichzeitiger ventraler Instabilität besteht durch die dorsale Lage der Sacralstäbe hinter der iliosacralen Gelenkachse die Gefahr, dass durch zu starkes Anziehen der Kontermuttern das ISG ventral aufklappt und der ventrale Beckenring in Diastase fixiert wird. Ein weiterer Nachteil der Methode ist, dass keine seitengetrennte Dosierung der Kompression bei beidseitigen Frakturen des Sacrums möglich ist, es besteht die Gefahr der Impaktion mit begleitender Nervenkompression [21]. Eine kraniale Abstützung wird nicht erreicht, sodass bilaterale Frakturen zur Versorgung nicht geeignet erscheinen.

16.1.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung beginnt mit der postoperativen obligaten Visite durch den Operateur am Tag des Eingriffs. Zu beachten sind besonders die Drainagemenge, Durchblutung, der venöse Rückstrom insbesondere beim ilioinguinalen Zugang und der neurologische Status. Thrombose-, Dekubitus- und Infektprophylaxe sind Selbstverständlichkeiten. Die *physikalische Therapie* einschließlich einer intensiven Atemtherapie beginnt am 1. postoperativen Tag.

Bei *konservativen Behandlungen* richtet sich die Belastung neben der Bruchform nach dem subjektiv empfundenen Schmerz. So kann meistens eine schmerzadaptierte Teil- oder sogar Vollbelastung erlaubt werden. Nach Osteosynthesen richtet sich die Belastung nach dem vorliegenden Verletzungsmuster und dem entsprechenden Osteosyntheseverfahren. So ist nach einer Symphysenverplattung volle Belastungsstabilität gegeben. Nach transpubischer Osteosynthese erfolgt die Mobilisation in der Regel mit Abrollbelastung für 6 Wochen auf der verletzten Seite, danach wird ein Belastungsaufbau angestrebt. Bei den Typ-C-Verletzungen ist ebenfalls eine 6-wöchige Abrollbelastung der stärker betroffenen Seite möglich. Bei den lumbopelvin abstützenden Verfahren im Rahmen

einer instabilen Os-sacrum-Fraktur ist postoperativ eine Vollbelastung möglich.

Während der postoperativen Mobilisationsphase sind Röntgenverlaufskontrollen zwingend notwendig, um sekundäre Dislokationen oder ein Implantatversagen rechtzeitig zu erkennen. Eine *Entfernung des Osteosynthesematerials* ist bei allen Symphysenplatten oder bei lumbopelvinen Abstützungen aufgrund der Überbrückung von Bewegungssegmenten nach 6–12 Monaten indiziert. Die Entfernung der anderen Osteosynthesematerialien ist nur bei Komplikationen empfehlenswert.

Bei *osteoporotischen Brüchen i*m Alter finden sich meist transpubische Frakturen. Instabile Formen sind selten. Komplizierend wirkt die hohe Komorbidität. Ganz besonders wichtig sind die oben genannten Maßnahmen der Thrombose-, Dekubitus- und Infektprophylaxe sowie physikalische Therapie einschließlich einer intensiven Atemtherapie. Eine schnellstmögliche Mobilisation ist unverzichtbar. Eine antiosteoporotische Behandlung muss, falls noch nicht geschehen, nach Diagnosesicherung umgehend eingeleitet werden.

16.1.7 Sonderformen

Kinder. Eine besondere Beachtung gilt der Behandlung der kindlichen Beckenfraktur. Das kindliche Knochenskelett weist im Unterschied zum Erwachsenen einen höheren Knorpelanteil auf und ist somit verformbarer im Vergleich zum ausgewachsenen Skelett. Ein höherer Energieaufwand ist erforderlich, um eine Fraktur zu bewirken, sodass hier Hochenergietraumata ursächlich sind. Daher werden oft nur geringere knöcherne Verletzungen registriert, und der Anteil komplexer Beckenverletzungen liegt deutlich höher als beim Erwachsenen. Die Bedeutung der Analyse des Verletzungsmechanismus ist daher umso größer, da hierdurch entscheidende Hinweise auf das Verletzungsmuster erhalten werden können.

Die inneren Beckenorgane sind im Vergleich zum Erwachsenen nicht so gut geschützt, sodass beim Kind häufiger Begleitverletzungen bei Beckentraumata auftreten. In der Literatur wird die Anzahl von begleitenden inneren Organverletzungen mit >60% angegeben [29].

Das initiale Übersehen von kindlichen Beckenfrakturen ist relativ häufig. Besonders Acetabulumfrakturen und Frakturen der Y-Fuge sind nicht immer zu erkennen. So ist eine konsequente Diagnostik unumgänglich. Bei Verdacht auf eine Fraktur in der Übersichtsaufnahme sind weitere Schrägaufnahmen durchzuführen. Eine CT-Diagnostik zu Klärung ist ebenfalls zu erwägen. Auch bei fehlender therapeutischer Relevanz hat das frühe Erkennen der Verletzungen im Bereich der Y-Fuge eine weit bessere Prognoseabschätzung und Beratungsmöglichkeit gezeigt.

Durch die oben erwähnte Elastizität des kindlichen Knochens ist die konservative Therapie beim Kind häufiger indiziert als beim Erwachsenen. Stabile Beckenringfrakturen können in der Regel konservativ belassen werden, nur bei *stärkerer Dislokation* bzw. *Repositionsproblemen* wird die Anwendung eines *Fixateur externe* empfohlen.

Zur operativen Versorgung wird die *Kirschner-Draht-Fixationen* des ISG oder anderer Verletzungen des hinteren Beckenrings empfohlen. Bei vollständiger Instabilität (C-Verletzungen) werden auch ventrale Plattenosteosynthesen am hinteren Beckenring oder Zuggurtungen im Bereich der Symphyse empfohlen [30]. Eine exakte Wiederherstellung mit internen Techniken ist für das Ergebnis maßgebend. Dafür ist die Entwicklung »kindgerechter« Osteosynthesen bei dislozierten Beckenringfrakturen in Zukunft notwendig.

Osteoporotischer Knochen. Ein besonderes Problem sind Brüche beim betagten, oft osteoporotischen Knochen. Diese treten auch bei Bagatelltraumata auf und entziehen sich der radiologischen Diagnostik leicht. Zu Klärung ist zeitnah ein CT und im Zweifelsfall auch gelegentlich ein MRT das Vorgehen der Wahl. Insbesondere bei vermeintlich isolierten vorderen Beckenringfrakturen finden sich in bis zu 90% okkulte Sacrumfrakturen mit entsprechend anhaltender Symptomatik am hinteren Beckenring [31]. Operative Versorgungen sind aufgrund der Belastung und der Knochenqualität gut begründeten Ausnahmefällen vorbehalten. Die Verankerung der Schrauben im Corpus von S1 ist schwierig. Auch bei Plattenosteosynthesen lässt sich oft keine auseichend stabile Osteosynthese erreichen.

16.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Typ-A-Frakturen haben prinzipiell eine gute Prognose. Bei Typ-B und Typ-C-Frakturen ist für die Prognose die primär wiederhergestellte Anatomie entscheidend. Schlechte funktionelle Resultate ergeben sich bei nicht anatomischer Ausheilung des Beckenrings oder auch durch schmerzhafte Pseudarthrosen. Zu nennen sind Störungen des Gangs und persistierende Rückenschmerzen. Durch Inkongruenz in den Hüftgelenken und bei in Fehlstellung verheilten Beckenfrakturen sind eine Coxarthrose oder arthrotische Veränderung in den Iliosacralgelenken wahrscheinlich.

Beckenfrakturen sind ernst zu nehmende Verletzungen. Die Häufigkeit peripelviner Begleitverletzungen

wird in der Literatur mit 1,4–71,8% angegeben [32]. Die Mortalitätsrate liegt beim isolierten Beckentrauma bei etwa 7%, bei peripelvinen Begleitverletzungen bei ca. 21%. Demzufolge hängen der Verlauf und das Ergebnis entscheidend vom Vorhandensein und der Qualität der Behandlung auch der Begleitverletzungen ab. Ausdruck findet dies in der Tatsache, dass trotz hoher Rate an anatomischen Ausheilungen deutliche Diskrepanzen zu den klinischen Ergebnissen zu beobachten sind [33]. Das Langzeitresultat wird daher eher von chronischen Schmerzen, aber auch von urologischen Folgen und insbesondere von Nervenläsionen bestimmt, als von der anatomischen Reposition. Weitere typische Probleme sind Beinlängendifferenzen, Rückenbeschwerden durch veränderte Statik, Sexualfunktionsstörungen, Geburtshindernis, Thrombose und bei Acetabulumbeteiligung posttraumatische Arthrosen.

Die Frakturschwere nach AO-Klassifikation korreliert dabei nicht nur mit der Häufigkeit von Begleitverletzungen wie z. B. Nervenverletzungen, sondern auch mit dem Grad der Langzeitbehinderung [33] und mit der Stärke von Schmerzen. Bei Komplextraumata sind die Schmerzzustände im Vergleich zu »einfachen« Beckenbrüchen verstärkt [34]. Nervenverletzungen werden z. B. bei 32% der Patienten mit transalaren Frakturen des Sacrums, aber bei >63% mit zentralen Brüchen (Denis Typ 3) beobachtet [35]. Remissionen werden durch eine anatomische Reposition und stabile Retention ermöglicht. Auch urologische Komplikationen steigen signifikant mit der Verletzungsschwere an [34]. Somit ist die Art der Versorgung bezüglich des Ergebnisses oft nicht das für das Langzeitresultat entscheidende Kriterium, da sich mit verschiedenen Verfahren radiologisch bessere Ergebnisse als klinisch erzielen lassen. Die oben genannten Verfahren der konservativen Behandlung, die operative Schrauben- oder Zuggurtungsosteosynthese führen ebenso wie die Plattenosteosynthesen oder lumbopelvine Verfahren zu guten und akzeptablen Ergebnissen, wenn die Indikation in Abhängigkeit von der Frakturmorphologie richtig gestellt worden ist. Etwa 70% der Patienten können wieder in vollem Umfang dem ursprünglichen Beruf nachgehen.

Bei B- und C-Frakturen reicht die konservative Behandlung oder Versorgung mit Fixateur oft nicht aus. Es fanden sich Ausheilungen in Fehlstellung und sekundäre Dislokationen. Interne Osteosynthesen führten dagegen zu anatomischen Repositionen und zu einer deutlich erhöhten Stabilität. Allerdings bringen ausgedehnte Zugänge nicht selten heterotope Ossifikationen mit sich. So beobachteten Berner et al. bei Open-book-Verletzungen bessere klinische Ergebnisse bei Verplattung der Symphyse als bei konservativer Therapie [36]. Transiliosacrale perkutane Verschraubungen führten in bis zu 20% der Fälle zu Fehlpositionierungen. Bildwandlergestützte Navigationsverfahren scheinen diese Rate deutlich zu senken.

Lumbopelvine Abstützungen wie die trianguläre vertebropelvine Aufhängung (TVPA) oder die bilaterale querstabilisierende lumbopelvine Abstützung (BQLA) kommen in der Regel bei C-Verletzungen, insbesondere bei vollständigen Frakturen des hinteren Beckenrings, zur Anwendung. Die Nachuntersuchungsergebnisse sind unter Würdigung der Verletzungsschwere akzeptabel. So wurden als führende Probleme milder Schmerz und leichte Probleme beim Gehen bei 80–90% der Patienten gesehen [37].

16.1.9 Begutachtung

Funktionelle Beeinträchtigungen bei Patienten mit Beckenfrakturen sind häufig. Nur ca. 40% aller Patienten mit einer C-Verletzung sind 2 Jahre nach dem Unfall beschwerdefrei [38]. Kompressions- und Belastungsschmerzen sowohl im Bereich des vorderen und hinteren Beckenrings werden beobachtet. Da es zur Nervenschädigung nach Beckenfrakturen kommen kann, sollte ggf. ein fachneurologisches Gutachten angestrebt werden. Bei urologischer Begleitverletzung, welche auch mit erektiler Dysfunktion einhergehen kann, muss eine gesonderte urologische Begutachtung erfolgen.

Endgültige Beurteilungen lassen sich in der Regel erst nach 2 Jahren abgeben, da die Begleitverletzungen, insbesondere Nervenschäden, erst dann einen Endzustand erreicht haben.

Die Röntgendiagnostik erfordert bei A-Verletzungen meist nur eine Beckenübersicht, bei höhergradigen Verletzungen sind auch Inlet- und Outlet-Aufnahmen erforderlich. Als Anhaltswerte für den Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) gelten bei anatomisch ausgeheilten Frakturen mit leichten bis mittelgradigen funktionellen Einschränkungen 0–20. Bei Dislokationen >1 cm mit Instabilität des Beckenrings steigt der GdB/MdE auf 30–40. Funktionell wirksame Pseudarthrosen sind mit einem GdB/MdE von 40–50 anzusetzen. Zusatzverletzungen erhöhen den Wert.

Allgemeine Folgen betreffen die verschiedensten Abschnitte des Körpers in der Nähe des Beckens. Narbenbrüche der Bauchwand liegen bei GdB/MdE 10–30. Ein Verlust des Analsphinctertonus sowie ein künstlicher Darmausgang bedingen einen GdB/MdE von ca. 30. Bewegungseinschränkungen der Hüftgelenke sind je nach Ausmaß bei GdB/MdE 10–20 anzusetzen.

Nervenausfälle können erheblich sein. Ein neurologisches Zusatzgutachten ist bei komplexen Läsionen zu empfehlen. Als Richtwerte können bei vollständigen Ausfällen die in Tab. 16.2 genannten Werte gelten.

Tab. 16.2. Begutachtung von Beckenfrakturen: Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) und Werte der privaten Unfallversicherung

	GdB/MdE	Private Unfallversicherung
Nervenschädigung		
N. femoralis	40	2/5 bis 1/2 Beinwert
N. ischiadicus	50	3/5 Beinwert
N. peronaeus communis	30	2/5 Beinwert
N. peronaeus superficialis	15	1/7 Beinwert
N. peronaeus profundus	25	1/3 Beinwert
N. tibialis	30	1/3 Beinwert
Urologische Folgen		
Inkontinenz	10–40	Vollständig bis 100%
Blasenfistel	20	
Urethrastriktur je nach Schweregrad	10–30	

16.2 Acetabulum

Definition
Die Acetabulumfraktur stellt eine Sonderform der Beckenfraktur dar, da eine unmittelbare Beteiligung eines Hüftgelenks vorliegt. Dies bedingt, dass bei Diagnostik und den anstehenden Therapieverfahren andere Strategien angewendet werden müssen als bei einer alleinigen Beckenringfraktur. Unterschieden werden einfache Formen, die einen Pfeiler oder den Pfannenrand betreffen, von komplexen Bruchformen.

Die Inzidenz der Acetabulumfraktur ist mit weniger als 3% unter allen Gelenkfrakturen eher gering, da das Acetabulum von einem kräftigen Muskelmantel umgeben ist und der Knochen selbst zu den stabilsten Anteilen des menschlichen Skeletts gehört. Jedoch zeigt sich in verschiedenen Studien bei polytraumatisierten Patienten ein Vorkommen der Acetabulumfraktur von 50–80% [1, 2]. Ziel der Therapie ist die Wiederherstellung der Gelenkfunktion, d. h. eine stufenfreie Rekonstruktion und sichere Retention durch stabile Osteosynthese der Gelenkfläche. Insbesondere ist das gewichttragende Pfannendach mit den angrenzenden dorsokranialen Anteilen von Bedeutung; bei Luxation des Gelenks erfolgt die sofortige primäre Reposition. Einem einmaligen Repositionsversuch schließt sich bei Versagen nach Diagnostik die offene Reposition und ggf. die Extensionsbehandlung an bis zur endgültigen Versorgung. Die abschließende Operation ist kein Eingriff der Akutphase, sondern erfolgt in der Spätphase der definitiven Versorgung in der Regel nach 3–7 Tagen.

16.2.1 Mechanismus

Acetabulumfrakturen entstehen in der Regel durch Hochrasanztraumata, wie sie bei Verkehrs- oder Absturzunfällen auftreten. Durch die Lage des Acetabulums mit guter Weichteildeckung ist die Fraktur meist die Folge einer indirekten Kraftüberleitung über das Femur, wie es z. B. beim Pkw-Unfall durch Anschlagen des Kniegelenks an das Armaturenbrett kommt (»dash board injury«). Hier entstehen Frakturen der hinteren Wand. Steht der Hüftkopf bei der Krafteinleitung mehr abduziert, kommt es zu dorsalen Pfeilerfrakturen, und es sind eher kaudale Abschnitte betroffen. Bei der Adduktion kommt es zu Frakturen in den kranialen Gelenkabschnitten.

Auch Stürze aus großer Höhe können eine indirekte Kraftübertragung auf das Acetabulum bewirken, entweder über den Fuß bei gestrecktem Knie oder bei einem Aufprall auf die Trochanterregion, wobei im letzteren Fall in der Regel eine zentrale Luxationsfraktur entsteht. Steht das Bein bei der Krafteinleitung in Außenrotation, sind Brüche des vorderen Pfeilers die Folge. Bei Innenrotation entstehen Bruchformen des hinteren Pfeilers. Bei den Acetabulumfrakturen hängt also die Morphologie des Bruchs entscheidend von der Stellung des Hüftkopfs im Moment der Krafteinleitung ab. Seltener sind direkte Gewalteinwirkungen auf das Acetabulum wie z. B. bei Pfählungs- oder Überrollverletzungen.

Der genaue Unfallmechanismus ist wichtig zu erfahren, da die Morphologie des Bruchs entscheidend von der Stellung des Hüftkopfs im Moment der Krafteinleitung abhängt.

16.2.2 Klinik

Von einer knöchernen Verletzung des Beckenrings oder einer Fraktur im Bereich des Schenkelhalses ist die Acetabulumfraktur allein durch klinische Zeichen nicht immer sicher zu differenzieren. Als klinisches *Leitsymptom* gilt neben dem Leistenschmerz die schmerzhaft eingeschränkte Beweglichkeit der Hüfte und bei einer verschobenen Fraktur auch die Beinverkürzung, die bei der Hüftluxation ebenfalls deutlich zu beobachten ist. Bei der Ausrenkung des Gelenks wird neben der Fehlstellung die typische federnde Fixation wie auch bei anderen luxierten Gelenken beobachtet.

Beim gesicherten Vorliegen einer Beckenringfraktur muss immer von der Möglichkeit einer Acetabulumfraktur ausgegangen werden, weshalb die Diagnostik der Beckenringfraktur die der Acetabulumfraktur mit einschließt [3]. Bei der klinischen Untersuchung des wachen Patienten ist eine neurologische Basisuntersuchung zum Ausschluss einer begleitenden Nervenverletzung (N. femoralis, N. ischiadicus) obligat. Durch die enge Lagebeziehung des N. ischiadicus und seiner Äste zur hinteren Wand des Acetabulums sind Läsionen häufig (20–30% der Fälle) zu beobachten [4]. Wegen der topographischen Nähe zwischen A. femoralis communis und der vorderen Begrenzung des Acetabulums ist ebenfalls ein sorgfältiger Gefäßstatus beim Verdacht auf eine Fraktur im Hüftgelenkbereich durchzuführen.

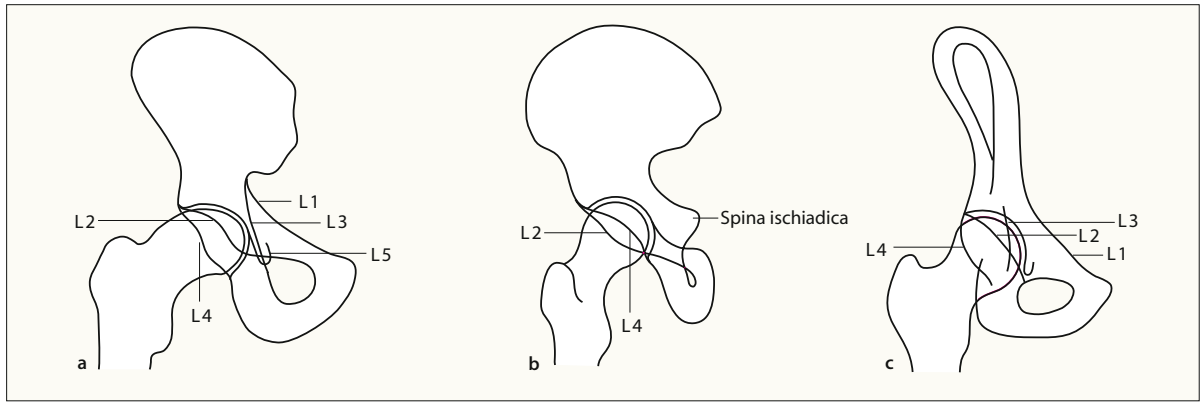
In Abhängigkeit vom Frakturmechanismus ist der Ort der Gewalteinwirkung mit zu untersuchen; so z. B. das Knie bei der sog. »dash board injury«, die Trochanterregion bei Sturz auf die Hüfte, der Rückfuß bei axialer Stauchung. Bei allen indirekten Mechanismen ist besondere Aufmerksamkeit auf den Hüftkopf zu lenken.

16.2.3 Diagnostisches Vorgehen

Neben der Erhebung des Unfallmechanismus und der klinischen Untersuchung, die eine offene Verletzung, aber auch das Vorliegen einer Morel-Lavallée-Läsion ausschließen muss, gehört bei Verdacht auf eine Acetabulumfraktur die Anfertigung von 3 konventionellen *Röntgenaufnahmen* zur Standarddiagnostik: die Becken a.-p. Übersichtsaufnahme sowie die Ala- und Obturatoraufnahme des Hüftgelenks, ggf. a.-p. und axiale Aufnahmen des betroffenen Hüftgelenks. Nur durch diese Aufnahmen ist eine genaue Beurteilung des Acetabulums und eine Analyse der Frakturform in der konventionellen Röntgentechnik möglich [5]. In den einzelnen Aufnahmen können die Konturen der Leitstrukturen verfolgt und auf eine mögliche Konturunterbrechung untersucht werden. Die zur Analyse benötigten Leitstrukturen erläutert ◘ Abb. 16.14.

Die Ala- und Obturatoraufnahme zählen zur Standarddiagnostik bei Verdacht auf eine Acetabulumfraktur. Liegt ein CT vor, können die Aufnahmen aus dem CT heraus rekonstruiert werden. Bei der Obturatoraufnahme (vordere schräge Judet-Aufnahme) wird die betroffene Hüfte um 45° angehoben. Die Alaprojektion (hintere schräge Judet-Aufnahme) entsteht durch Anhebung der gesunden Seite um 45°.

Zur Entscheidungsfindung, ob ein konservatives oder operatives Vorgehen indiziert ist, hat sich die Vermessung des Acetabulumdachbogens (Domfragment) bewährt. In diesen sog. *Roof-arc-Messungen* nach Matta [6] kann der Grad der verbliebenen Hüftkopfüberdachung gemessen werden. Dabei wird in den 3 wesentlichen Projektionsebenen (a.-p., Ala, Obturator) vom Zentrum des Hüftkopfes aus eine senkrecht verlaufende Gerade nach cranial eingezeichnet. Eine zweite Gerade verläuft ebenfalls vom Zentrum des Hüftkopfes zur ersten Frakturlinie (Konturunterbrechung) im Bereich des Pfannenrandes. Ist der daraus resultierende Winkel <45°, ist daraus ein Indiz für operatives Vorgehen abzuleiten (◘ Abb. 16.15).



◘ Abb. 16.14. Konventionelle Röntgenaufnahmen zur Standarddiagnostik der Acetabulumfraktur
a Becken a.-p. Übersichtsaufnahme
b Alaaufnahme
c Obturatoraufnahme des Hüftgelenks
Die entsprechenden Leitstrukturen sind mit den Bezeichnungen L1 bis L5 markiert:
L1=Linea terminalis oder Linea iliopectinea (kennzeichnet den vorderen Pfeiler)
L2=Vordere Pfannenrandlinie
L3=Linea ilioischiadica (entspricht dem hinteren Pfeiler)
L4=Hintere Pfannenrandlinie
L5-Köhler-Tränenfigur (repräsentiert Fossa acetabuli)

Eine weiterführende *CT-Untersuchung*, wenn nicht bereits im Rahmen der Schwerstverletztenversorgung geschehen, ist bei einer konventionell nachgewiesenen Acetabulumfraktur zur genauen räumlichen Beurteilung der Fraktur, zur Frage des Dislokationsgrades sowie zur Bestimmung einer Operationsindikation und -planung heute als Standarddiagnostik anzusehen. Dabei ist die axiale Bildgebung für die Klassifikation ausschlaggebend. Sagittale und coronare Schichten sind zu ergänzen, die einen Vergleich mit der Gegenseite und die Beurteilung von Impaktierungen und Dislokationen erlauben. Eine 3-D-Rekonstruktion kann bei komplexen Frakturmorphologien zum besseren Verständnis beitragen. Auch bei Repositionshindernissen durch intraartikuläre oder impaktierte Fragmente sowie bei Begleitverletzungen des Femurkopfs (Pipkin, ▶ Kap. 8 »Proximaler Oberschenkel«) ist eine weiterführende CT-Diagnostik indiziert. Nach operativer Stabilisierung ist eine CT-Kontrolle zum Ausschluss intraartikulärer Fragmente oder von in das Gelenk reichendem Osteosynthesematerial und zur Stellungskontrolle obligat.

Ein *sonographischer* Ausschluss einer tiefen Beinvenenthrombose empfiehlt sich vor der endgültigen operativen Versorgung.

Eine *MRT-Diagnostik* ist in der Akutphase bei einer Acetabulumfraktur nicht indiziert. Dieses Diagnostikum liefert aber im Verlauf eine gute Aussagemöglichkeit über die Hüftkopfdurchblutung und über das Vorliegen einer möglichen posttraumatischen Hüftkopfnekrose

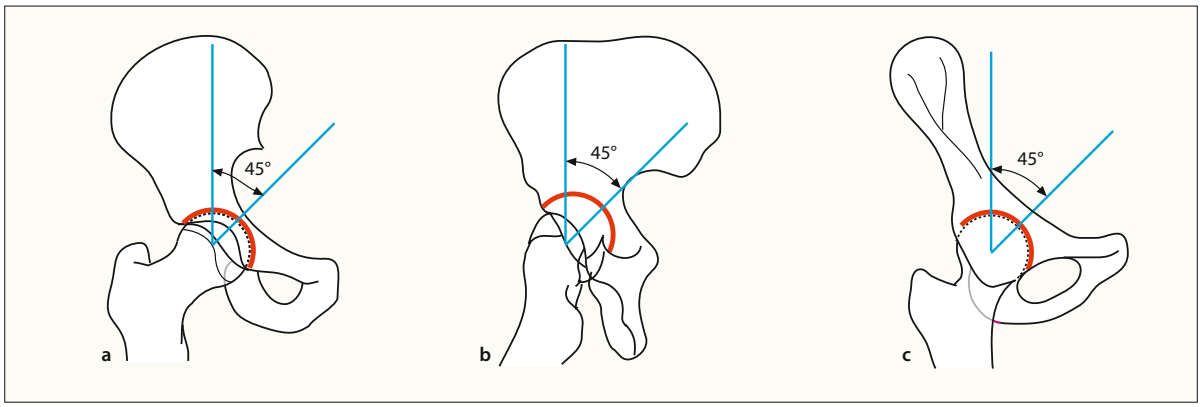
16.2.4 Klassifikationen

Die Frakturmorphologie der Acetabulumbrüche hängt entscheidend von der Stellung des Femurkopfs im Moment der Krafteinleitung ab. Entsprechend komplex ist ihre Klassifikation, und es bedarf mitunter analytischer Fähigkeiten, sie sicher einzuteilen. Zur Analyse orientiert man sich an den bekannten Leitstrukturen in der Röntgendiagnostik (◘ Abb. 16.14). Abzugrenzen sind Brüche der vorderen oder hinteren Wand, welche dem vorderen oder hinteren Pfannenrandbereich entsprechen, von Frakturen einzelner oder beider Pfeiler. Besonders zu bewerten sind die axialen CT-Schichten und die Röntgenaufnahmen (a.-p., Ala, Obturator).

Gängige Klassifikationen orientieren sich an der anatomischen Zweisäulentheorie nach Judet und Letournel. Diese geht davon aus, dass das Acetabulum von 2 Pfeilern gebildet wird. Der vordere Pfeiler besteht aus den ventralen Anteilen der Beckenschaufel, den vorderen Anteilen des Acetabulums und den Rr. superiores et inferiores des Os pubis. Die Fraktur verläuft daher durch das Foramen obturatum. Der hintere Pfeiler setzt sich aus den dorsalen Anteilen des Acetabulums und den hinteren Anteilen des Os ischii einschließlich der dorsalen Anteile des Os ilium zusammen. Die Bruchlinie beginnt daher im Bereich der Incisura ischiadica major. Von einigen Autoren wird ein 3. Pfeiler, das sog. Domsegment des Acetabulums, mit einbezogen.

AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation beschreibt 3 Schweregrade A–C, welche jeweils in 3 Unterformen unterteilt werden (◘ Abb. 16.16). Die Unterformen werden nochmals in 3 Subformen unterteilt, wobei die letzte Untergliederung für den klinischen Alltag nicht von besonderer Bedeutung ist und im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen eine Rolle spielt. Auf der Basis der Einteilung von Judet u. Letournel ermöglicht die AO-Klassifikation auch prognostische Aussagen.



◘ **Abb. 16.15.** Schematische Darstellung der eingezeichneten Hilfslinien zur Beurteilung des Pfannendachbogens in der a.-p. (**a**), der Ala- (**b**) und der Obturatoraufnahme (**c**)

62

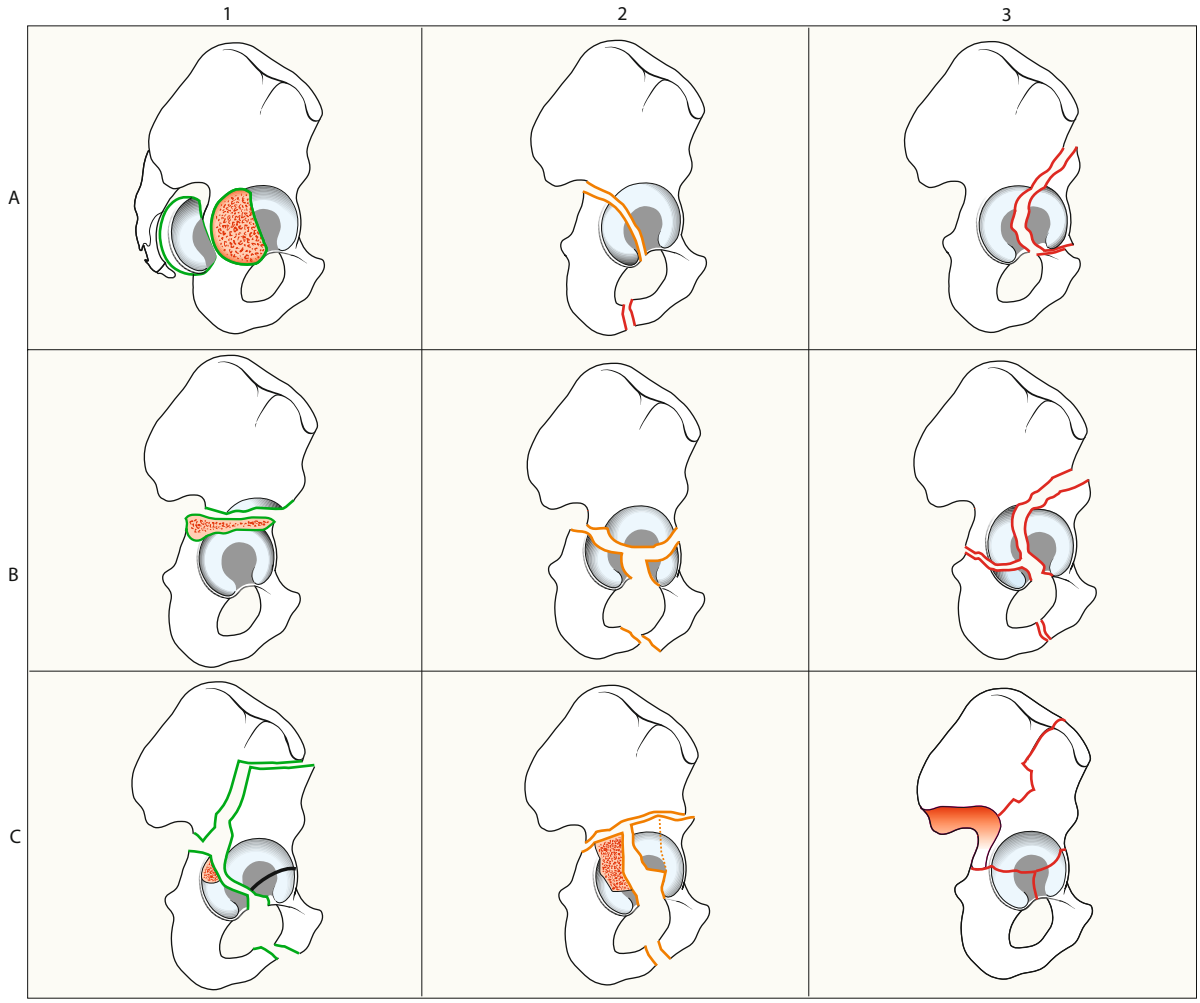


Abb. 16.16. AO-Klassifikation der Region 62 Acetabulum

a Frakturen einer Wand bzw. eines Pfeilers, Gelenk partiell betroffen

A1: Frakturen der hinteren Wand
A1.1: Reine Luxationsfraktur,1 Fragment
A1.2: Reine Luxationsfraktur, mehrere Fragmente
A1.3: Luxationsfraktur mit Impression
A2: Frakturen des hinteren Pfeilers
A2.1: Fraktur durch das Os ischii
A2.2: Fraktur durch den Obturatorring
A2.3: Fraktur des hinteren Pfeilers in Kombination mit einer hinteren Pfannenrandfraktur
A3: Frakturen der vorderen Wand bzw. des vorderen Pfeilers
A3.1: Fraktur der vorderen Wand
A3.2: Vordere Pfeilerfraktur bis zur Crista iliaca
A3.3: Vordere Pfeilerfraktur bis zum ventralen Rand des Os ilium

b Querfrakturen, Frakturen beider Pfeiler, Gelenk partiell betroffen, d. h. ein Teil des Acetabulumdachs bleibt mit dem Os ilium in Verbindung

B1: Querfrakturen mit partieller Gelenkbeteiligung, Frakturlinie ist quer orientiert
B1.1: Querfraktur, infratectal (unterhalb des lasttragenden Pfannendachs)
B1.2: Querfraktur, juxtatectal (auf dem oberen Rand der Fossa acetabuli)
B1.3: Querfraktur, transtectal (kranial, lasttragender Anteil des Pfannendachs)
B2: Querfrakturen mit partieller Gelenkbeteiligung, Frakturlinie ist T-förmig orientiert, 1 Schenkel verläuft durch das Foramen obturatum
B2.1: T-Fraktur, infratectal (unterhalb des lasttragenden Pfannendachs)
B2.2: T-Fraktur, juxtatectal (auf dem oberen Rand der Fossa acetabuli)
B2.3: T-Fraktur, transtectal (kranial, lasttragender Anteil des Pfannendachs)
B3: Hemitransversfrakturen dorsal mit vorderer Wand- oder Pfeilerfraktur
B3.1: Hintere Hemitransversfraktur und Fraktur der vorderen Wand
B3.2: Hintere Hemitransversfraktur, hohe Fraktur des vorderen Pfeilers
B3.3: Hintere Hemitransversfraktur, tiefe Fraktur des vorderen Pfeilers

c Frakturen beider Pfeiler mit vollständiger Kontinuitätsunterbrechung zwischen Os ilium und Acetabulum

C1:Komplette Gelenkabtrennung, hohe Varianten
C1.1: Beide Pfeiler »einfach« frakturiert
C1.2: Hinterer Pfeiler »einfach« und vorderer Pfeiler »mehrfach« frakturiert
C1.3: Hinterer Pfeiler und hintere Wand
C2: Komplette Gelenkabtrennung, tiefe Varianten
C2.1 Beide Pfeiler »einfach« frakturiert
C2.2: Hinterer »einfach« und vorderer Pfeiler mit mehreren Fragmenten
C2.3: Hinterer Pfeiler und hintere Wand
C3: Komplette Gelenkabtrennung, Einstrahlung in das Iliosacralgelenk (ISG)
C3.1:Hinterer Pfeiler »einfach« frakturiert
C3.2:Hinterer Pfeiler mehrfach frakturiert, hohe Variante des vorderen Pfeilers
C3.3:Hinterer Pfeiler mehrfach frakturiert, tiefe Variante des vorderen Pfeilers

Die Unterbrechung einzelner oder mehrerer Hilfslinien in der radiologischen Diagnostik ist pathognomonisch für bestimmte Frakturtypen und erleichtert die Klassifikation.

Frakturen Typ A. Bei A-Frakturen bezieht die Fraktur definitionsgemäß nur einen Pfeiler ein, der Hauptanteil des Gelenks ist intakt. Bei den A1-Frakturen ist die hintere Wand betroffen. Brüche des hinteren Pfeilers werden zu den A2-, und Frakturen des vorderen Segmentes werden zu den A3-Frakturen gezählt (Abb. 16.16a). Bei den nicht dislozierten Frakturen ist ein konservatives Vorgehen möglich. Bei verschobenen Frakturen ist die Plattenosteosynthese das Verfahren der Wahl.

Frakturen Typ B. B-Frakturen weisen eine Beteiligung beider Pfeiler auf. Das Acetabulumdach bleibt zum Teil mit dem Os ilium in Verbindung. Zu den B1-Frakturen werden die Querfrakturen gezählt. Die B2-Frakturen weisen eine T-förmige Frakturlinie des vorderen und hinteren Pfeilers auf. Frakturen der vorderen Wand mit gleichzeitiger Hemitransversfraktur des hinteren Pfeilers werden als B3-Frakturen zusammengefasst (Abb. 16.16b). Oft sind aufwendige Plattenosteosynthesen auch über dorsoventrale Zugänge erforderlich.

Frakturen Typ C. Bei C-Frakturen kommt es zur vollständigen Abtrennung des Acetabulums vom Os ilium und einer gleichzeitigen Beteiligung beider Pfeiler, die Frakturlinien können das Sacroiliacalgelenk erreichen (Abb. 16.16c). Da das Acetabulum seine Verbindung zum Skelett verloren hat, wird auch vom »floating acetabulum« gesprochen. Therapeutisch ist wie bei B-Frakturen zu verfahren; vorhandene Sacrumfrakturen oder Instabilitäten im ISG sind zuvor zu stabilisieren.

Beispiele weiterer Klassifikationen

Judet u. Letournel [7]

Morphologische Einteilung auf der Basis der anatomischen Pfeilertheorie ohne Berücksichtigung prognostischer Faktoren. Unterschieden werden 5 »einfache« (eine Frakturlinie durch das Acetabulum) und 5 »komplexe« (mehrere Fragmente) Frakturtypen (Tab. 16.3). Besonders häufig mit jeweils um die 20% sind hintere Pfannenrandbrüche (Typ 1), Brüche beider Pfeiler (Typ 10) und Querbrüche mit Beteiligung des hinteren Pfannenrandes (Typ 8).

Tab. 16.3. Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Judet u. Letournel [7]

Typ		Betroffene Struktur
Grundtypen	1	Hinterer Pfannenrand
	2	Dorsaler Pfeiler
	3	Ventraler Pfannenrand
	4	Ventraler Pfeiler
	5	Querfrakturen durch das Acetabulum mit intaktem Pfannendach
Kombinationsverletzungen	6	T-Frakturen, Hüftkopf medialisiert
	7	Hinterer Rand und hinterer Pfeiler
	8	Querfraktur mit hinterem Rand
	9	Ventraler Pfeiler mit hinterem Querbruch
	10	Zweipfeilerfraktur

16.2.5 Therapeutisches Vorgehen

Die Entscheidung, ob eine Acetabulumfraktur konservativ oder operativ behandelt werden sollte, hängt von vielen Faktoren ab. Neben dem Dislokationsgrad, dem vorliegenden Frakturtyp und der damit verbundenen Stabilität, dem Ausmaß der verbleibenden Kopfüberdachung und dem Vorhandensein begleitender Verletzungen, wie Knorpelläsionen oder Hüftkopfverletzungen, sind das Alter und die frühere Mobilisierungsfähigkeit des Patienten sowie dessen Allgemeinzustand in die Entscheidungsfindung miteinzubeziehen [8, 9] (Abb. 16.17). Die operative Versorgung erfordert eine weit überdurchschnittliche Expertise. Es handelt sich daher um Zentrumschirurgie.

Prinzipiell gelten auch hier die Prinzipien der Behandlung Schwerstverletzter, da auch Acetabulumfrakturen wie die Beckenringfrakturen häufig im Rahmen der Schwerstverletztenversorgung und damit auch gemeinsam mit Beckenringverletzungen auftreten. Die genauere Vorgehensweise ist bereits in ▶ Kap. 16.1 beschrieben worden. Acetabulumfrakturen sollten innerhalb der ersten 20 Tage nach dem Unfall versorgt werden, da sonst die Ergebnisse bei erheblich schwierigerer Reposition und sekundären Schäden am Knorpel deutlich schlechter werden.

Konservative Therapie

Prinzipiell können nicht dislozierte Frakturen konservativ behandelt werden. Auch wenn eine sog. sekundäre Gelenkkongruenz, z. B. bei zentralen Luxationsfrakturen, vorliegt, kann auf eine Operation verzichtet werden. Auch wenn das Hüftgelenk stabil ist, d. h. wenn es bei der klinischen Untersuchung keine Luxationstendenz zeigt und die Hüfte in der Pfanne radiologisch nachweislich gut zentriert ist, ist ein konservatives Vorgehen indi-

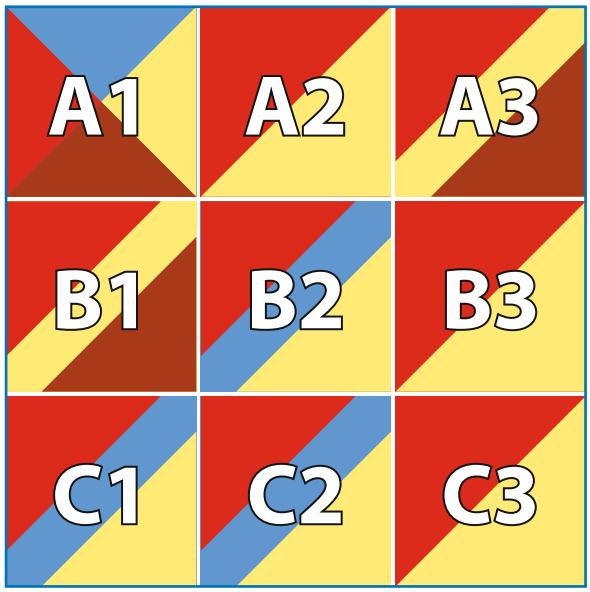


Abb. 16.17. Therapieoptionen bei Acetabulumfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen oder Kombinationen verschiedener Verfahren sind möglich).* Im Verlauf ist bei allen Frakturformen aufgrund der Gelenkbeteiligung die Entwicklung einer Coxarthrose und konsekutive Implantation einer Endoprothese möglich
- Konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Primäre Endoprothese

ziert. Bei einer ausreichenden Pfannenüberdachung des Hüftkopfes und einer außerhalb der Hauptbelastungszone laufenden Frakturlinie ist ebenfalls eine konservative Therapie möglich. Nach aktueller Studienlage ist in ca. der Hälfte der Acetabulumfrakturen eine nicht dislozierte Fraktur vorhanden, oder es liegt eine ausreichende Hüftkopfüberdachung vor. Somit ist auch in solchen Fällen eine konservative Therapie möglich [10]. Großzügiger ist die Indikation zur konservativen Behandlung zu stellen, wenn erhebliche Nebenerkrankungen, eine deutliche Coxarthrose oder eine relevante Osteoporose vorliegen.

Eine *Extensionsbehandlung* wird in der Regel der konservativen Behandlung zugeordnet. Die Extension kann dann zeitlich begrenzt bis zur endgültigen Versorgung erfolgen, wenn die Reposition des Hüftgelenks nach Luxation nicht gehalten werden kann. Die Extension kann durch Ligamentotaxis zur Reposition dislozierter Knochenfragmente indirekt beitragen. Die Extension kann für wenige Tage durch die Tuberositas tibiae oder besser das Kniegelenk nicht mit einbeziehend supracondylär angelegt werden. Das Gewicht sollte 1/8–1/10 des Körpergewichts entsprechen.

Wichtig

Luxationen werden sofort notfallmäßig, z. B. bereits durch den Notarzt, reponiert (einmaliger Versuch). Eine Drahtextension verhindert die erneute Luxation bei Reluxationstendenz. Eine Sofortoperation ist durchzuführen, wenn knöcherne Fragmente die Reposition behindern.

Operative Therapie

Als Kriterium zur operativen Versorgung einer Acetabulumfraktur gelten allgemein alle Frakturen mit einer Fragmentdislokation von >2 mm im tragenden Anteil des Acetabulumdachs [10]. Des Weiteren sollten instabile dorsale Pfannenrandfrakturen mit Femurkopfluxationen oder freien intraartikulären Fragmenten operiert werden. Auch dorsale Pfeilerbrüche mit Dislokation sowie hohe Querbrüche stellen eine Indikation zur operativen Versorgung dar. Bei vorliegendem neurologischem Defizit (N. ischiadicus) sowie bei Gefäßverletzungen sollte sich eine dringliche Operation anschließen. Prinzipiell gilt, dass hintere Pfannenrandfrakturen und Frakturen im Bereich des dorsalen Pfeilers eine höhere Wertigkeit bezüglich der Operationsindikation aufweisen als ventral gelegene Frakturen. Nicht rekonstruierbare Frakturen sind entweder primär oder sekundär mit einer Totalendoprothese zu versorgen. Eine Übersicht über mögliche Verfahren der operativen Versorgung gibt Abb. 16.17.

Zur operativen Versorgung empfiehlt sich die Lagerung auf einem röntgendurchlässigen Tisch. Vor Beginn ist zu überprüfen, ob sich die Standardprojektionen (a.-p., Ala und Obturator) sicher einstellen lassen. Das Bein ist frei beweglich zu lagern. Eine antibiotische Abschirmung ist perioperativ obligat; nach mehr als 3 h Operationsdauer empfehlen wir eine Zweitgabe. Ein Cell Saver ist vielfach empfehlenswert.

Schraubenosteosynthese

Im Allgemeinen werden Acetabulumfrakturen mit 3,5-mm-Kleinfragmentrekonstruktionsplatten und Kleinfragmentschrauben versorgt. Bei *separaten Fragmenten* oder selten auch bei Pfannenrandfrakturen kann eine Verschraubung erfolgen. Sogenannte Pfeilerschrauben zwischen vorderem und hinterem Pfeiler weisen eine sehr hohe Stabilität auf [11]. Auch können zur Erweiterung des Zugangs osteotomierte Knochenanteile (z. B. Trochanter major) mit Schrauben sicher refixiert werden.

Eine Alternative zu einzelnen Schrauben stellen unter die Corticalis versenkte Kirschner-Drähte dar. Diese werden der Vollständigkeit halber erwähnt. Aufgrund der besseren Stabilität sollten wenn immer möglich Schrauben verwendet werden. Sollte neben der Acetabulumfrak-

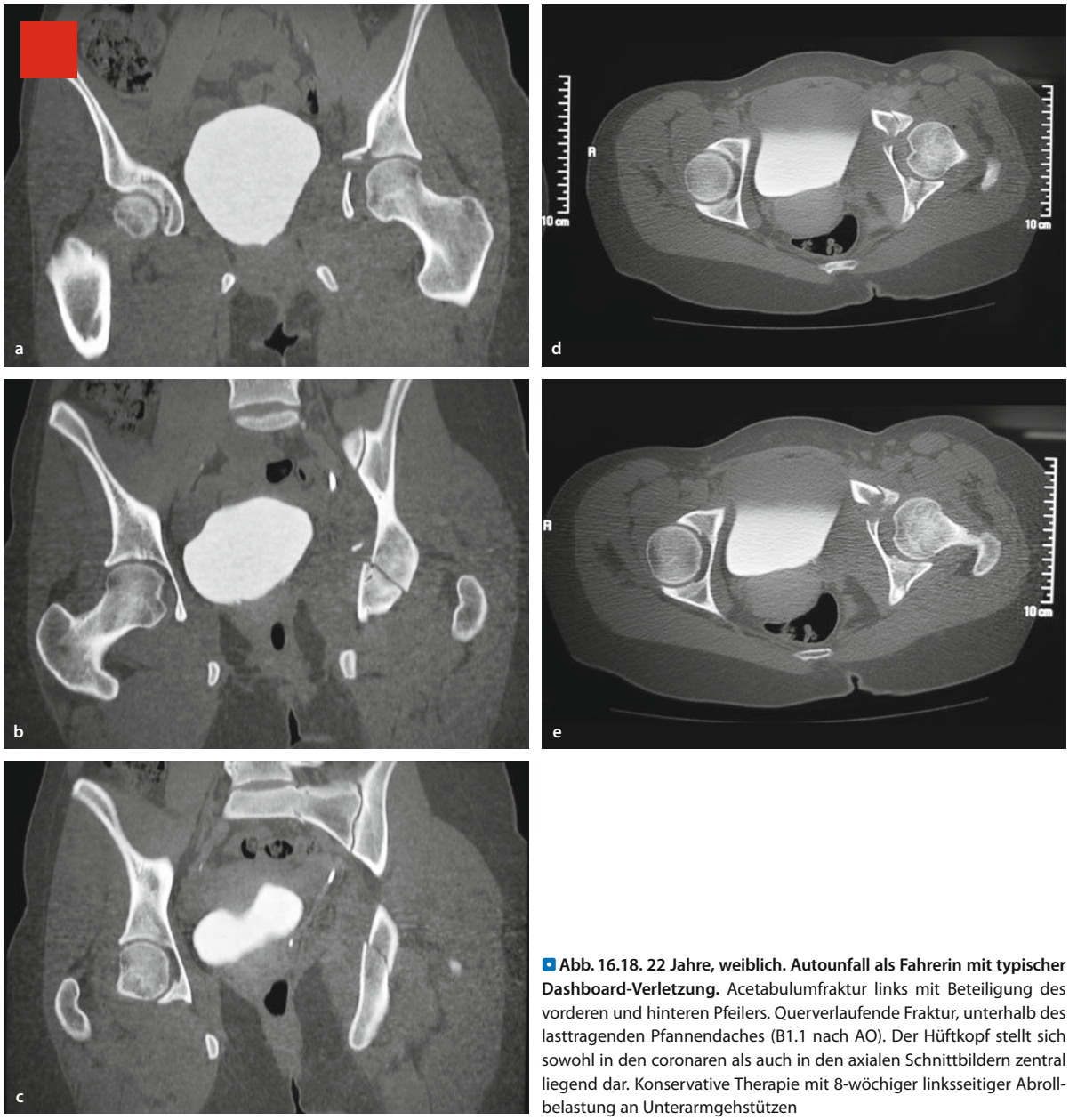


Abb. 16.18. 22 Jahre, weiblich. Autounfall als Fahrerin mit typischer Dashboard-Verletzung. Acetabulumfraktur links mit Beteiligung des vorderen und hinteren Pfeilers. Querverlaufende Fraktur, unterhalb des lasttragenden Pfannendaches (B1.1 nach AO). Der Hüftkopf stellt sich sowohl in den coronaren als auch in den axialen Schnittbildern zentral liegend dar. Konservative Therapie mit 8-wöchiger linksseitiger Abrollbelastung an Unterarmgehstützen

tur noch eine Iliosacralgelenkdislokation oder eine dislozierte Sacrumfraktur vorliegen, empfiehlt es sich, diese Verletzungen vor der Acetabulumfraktur zu versorgen.

Plattenosteosynthese

Die Plattenosyteosynthese mit 3,5-mm-Kleinfragmentrekonstruktionsplatten und Kleinfragmentschrauben stellt das Standardverfahren dar. Die Platten sollten aus mechanischen Gründen nahe am freien Rand des Fragments liegen, ohne das Labrum zu tangieren. Es gibt gerade Platten verschiedenster Längen und vorgebogene Implantate. Bei separaten Fragmenten kann eine zusätzliche Verschraubung erforderlich sein. Imprimierte Gelenkanteile sind anatomisch zu reponieren und zu augmentieren. Es eignen sich insbesondere solide Blöcke, z. B. aus Hydroxylapatit oder Tricalciumphosphat, oder auch autologe Spongiosa, z. B. aus dem Trochanter major oder der Spina iliaca posterior superior bei der Crista iliaca. Auch bei der Plattenosyteosynthese sollten vor der Acetabulumfraktur evtl. vorliegende Verletzungen des ISG oder dislozierte Sacrumfrakturen versorgt werden.

62

Es werden einfache Zugänge zu jeweils einem Pfeiler von erweiterten Schnittführungen unterschieden. Letztere erlauben die Präparation und Reposition beider Pfeiler.

Als standardisierter Zugangsweg zur operativen Versorgung einer *dorsalen Rand- oder Pfeilerfraktur* (Abb. 16.19) hat sich der Zugang nach *Kocher-Langenbeck* in Seitenlage oder in Bauchlage bewährt. In jedem Fall sollte das Bein der betroffenen Seite frei beweglich abgedeckt und der Unterschenkel leicht gebeugt sein, um den N. ischiadicus zu entspannen. Hauptvorteil ist die direkte Gelenkeinsicht. Eine Luxation des Kopfes ist bei Bedarf möglich.

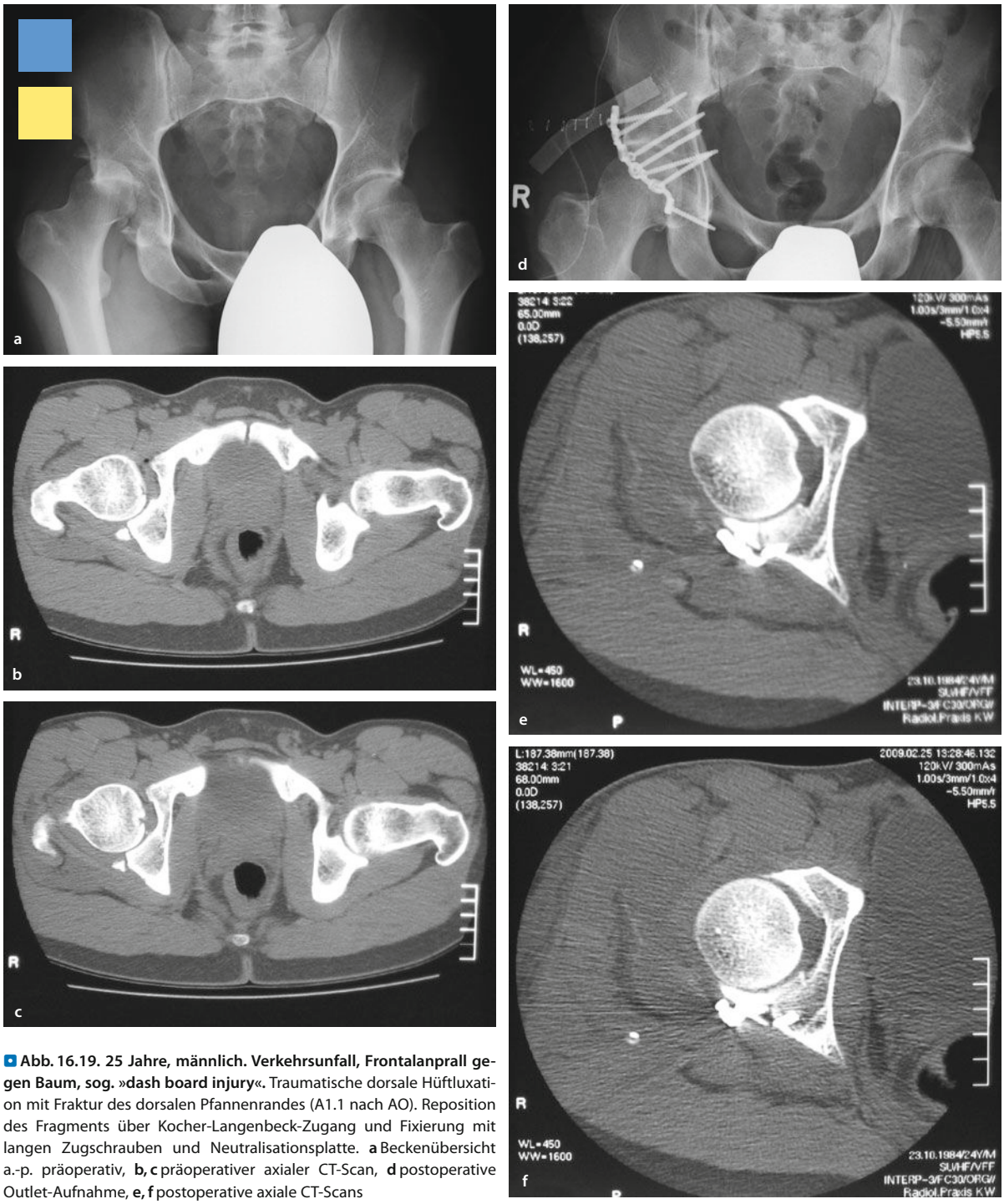


Abb. 16.19. 25 Jahre, männlich. Verkehrsunfall, Frontalanprall gegen Baum, sog. »dash board injury«. Traumatische dorsale Hüftluxation mit Fraktur des dorsalen Pfannenrandes (A1.1 nach AO). Reposition des Fragments über Kocher-Langenbeck-Zugang und Fixierung mit langen Zugschrauben und Neutralisationsplatte. **a** Beckenübersicht a.-p. präoperativ, **b, c** präoperativer axialer CT-Scan, **d** postoperative Outlet-Aufnahme, **e, f** postoperative axiale CT-Scans

Um die Gelenkeinsicht zu verbessern, kann eine Trochanterosteotomie durchgeführt werden. Neben diesen Vorteilen hat der Zugang aber den Nachteil der räumlichen Nähe zum N. ischiadicus und führt außerdem relativ häufig zu heterotopen Ossifikationen. Die Schnittführung verläuft entlang der Femurachse bis zum Trochanter major und biegt dort in Richtung Spina iliaca posterior superior um, um etwa 5 cm vor dieser zu enden. Der M. glutaeus maximus wird in Faserrichtung gespalten. Gefährdet ist am Oberrand das superiore glutäale Gefäß-Nerven-Bündel, daher sollte hier möglichst stumpf präpariert werden. Der N. ischiadicus wird dargestellt und angeschlungen. Er ist auch durch den Hohmann-Hebel in der Incisura ischiadica major gefährdet. Die dort liegenden Muskeln (Mm. piriformis, obturator internus, gemelli) werden in Innenrotation und ansatznah abgesetzt. Es empfiehlt sich eine Markierung mit Haltefäden. Die am Oberrand des M. quadratus verlaufende A. circumflexa femoris profunda ist für die Hüftkopfdurchblutung essentiell und unbedingt zu schonen. Die Einsicht in das Gelenk erfolgt durch acetabulumnahe Kapselinzision. Der Zugang stellt die Außenfläche des Os innominatum vom Tuber ischiadicum bis zu Incisura ischiadica major dar. Die Innenseite kann palpatorisch fast bis zur Linea terminalis erreicht werden.

Der Kocher-Langenbeck-Zugang ermöglicht unter direkter Gelenkeinsicht die Darstellung und Versorgung von Frakturen der hinteren Wand oder des hinteren Pfeilers, trans- und juxtatectaler Frakturen sowie Querfrakturen mit dorsaler Hauptpathologie.

Um dislozierte Frakturen des *vorderen Pfeilers* und Zweipfeilerfrakturen des *Acetabulumdachs* zu erreichen, empfehlen sich:

- der sog. *ilioinguinale Zugang nach Letournel* in der Dreifenstertechnik (Abb. 16.20–16.22), der eine vollständige Darstellung vom ISG bis zur Symphyse ermöglicht,
- oder bei sehr zentral gelegenen Brüchen des Acetabulums der *Stoppa-Zugang*, die beide in Rückenlage ausgeführt werden.

Auch hier ist das Bein der betroffenen Seite frei beweglich abzudecken und die Hüfte leicht gebeugt zu lagern, um eine verminderte Spannung der zu präparierenden anatomischen Strukturen zu erreichen. Allerdings besteht hier der Nachteil, dass das Hüftgelenk nicht eingesehen werden kann, sodass die Reposition über eine möglichst anatomische Rekonstruktion der freiliegenden Corticalis erfolgen muss. Die Schnittführung beim Zugang nach Judet u. Letournel beginnt etwa in der Mitte des Beckenkamms, folgt diesem bis zur Spina iliaca anterior superior, verläuft dann entlang des Leistenbandes, um etwa 1 Querfinger oberhalb der Symphyse zu enden.

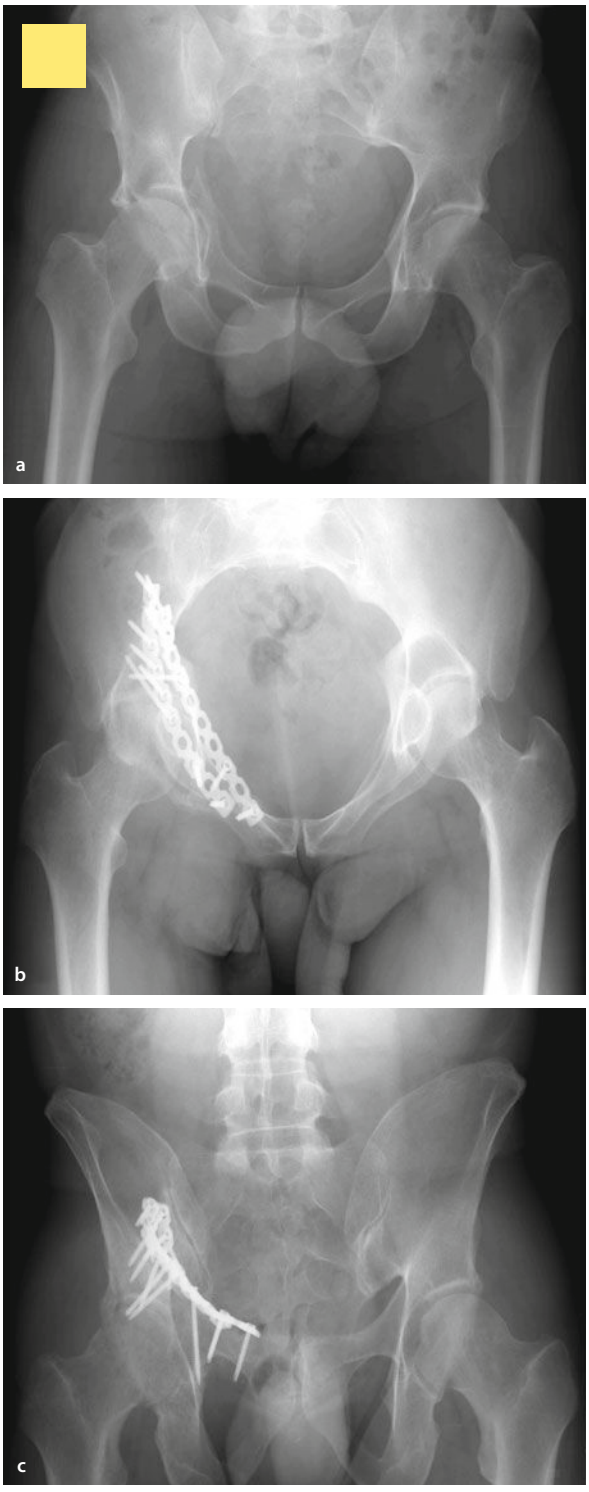


Abb. 16.20. 72 Jahre, männlich. Sturz auf die rechte Hüfte. Fraktur des ventralen Pfeilers (A3 nach AO). Osteosynthese über ilioinguinalen Zugang in der Dreifenstertechnik mit 2 10-Lochrekonstruktionsplatten entlang der Linea iliopectinea (**a** präoperative Beckenübersicht mit Unterbrechung der Linea iliopectinea und der vorderen Pfannenrandlinie, **b, c** postoperative Aufnahmen in Inlet- und Outlet-Projektion mit korrekter Reposition des Beckenrings)

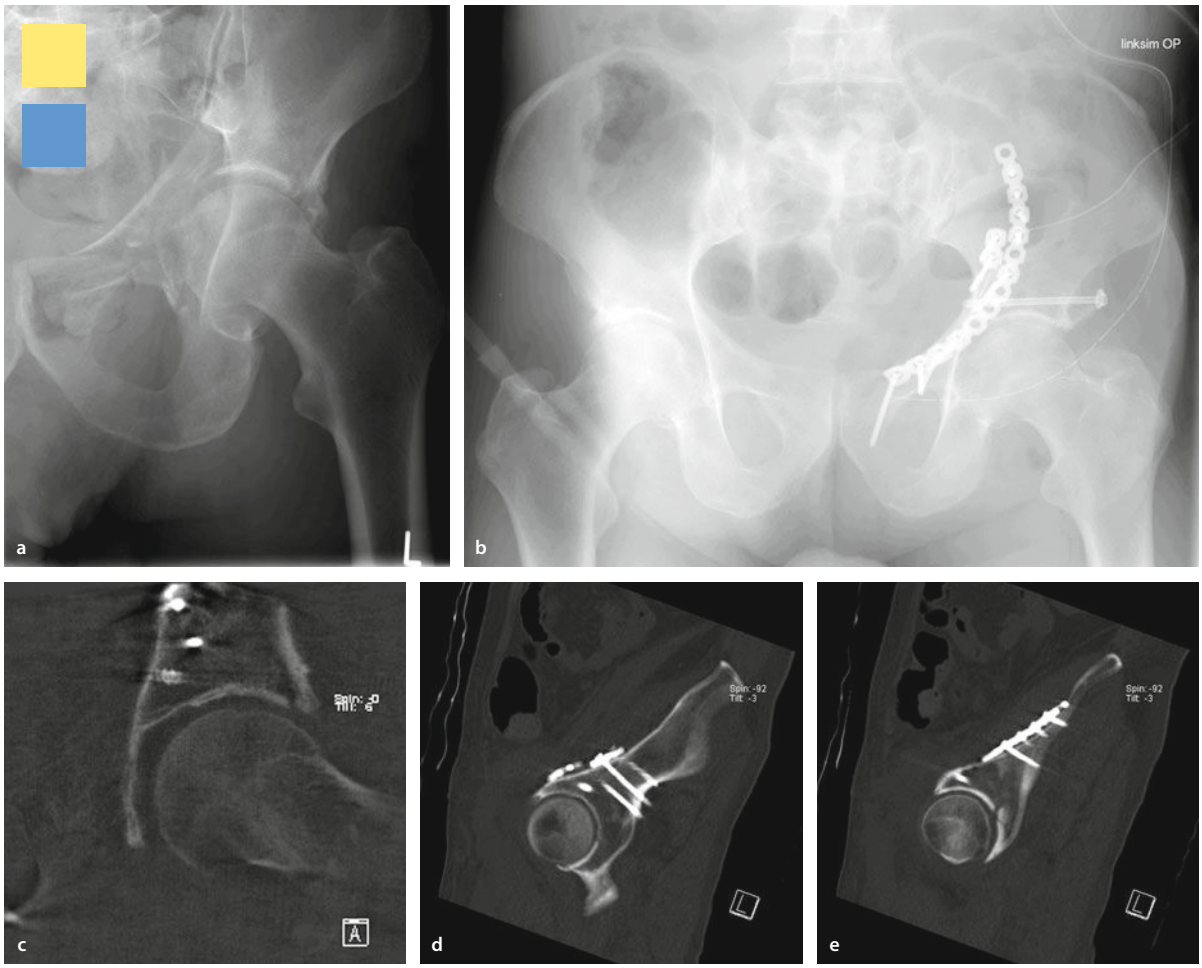


Abb. 16.21. 72 Jahre, männlich. Polytraumatisierter Patient nach Verkehrsunfall. Fraktur des vorderen Pfeilers (A3 nach AO; **a** präoperatives Röntgenbild). Osteosynthetische Versorgung über ilioinguinalen Zugang durch lange Zugschraube, lange Rekonstruktionsplatte und Kleinfragmentplatte (**b** postoperative Röntgenbildkontrolle). **c** Intraoperative Kontrolle nach Osteosynthese mit 3-D-Bildwandler, **d, e** postoperative CT-Kontrolle

Eine Erweiterung ist möglich durch eine Osteotomie der Spina iliaca anterior superior oder der Einkerbung der Abduktoren an der Crista iliaca.

Das *1. Fenster* entspricht der Beckenschaufelinnenseite vom ISG bis zur Eminentia iliopectinea. Das *2. Fenster* umfasst den Abschnitt zwischen dem M. iliopsoas und den Femoralgefäßen mit der Linea terminalis bis zur Mitte des Foramen obturatum sowie die quadrilaterale Fläche, Spina ischiadica und Incisura ischiadica major. Das *3. Fenster* liegt zwischen Femoralgefäßen und dem Samenstrang beim Mann bzw. dem Lig. rotundum bei der Frau und stellt den oberen Schambeinast dar. Hier ist darauf zu achten, dass die Vasa femoralia und die begleitenden Lymphbahnen en bloc präpariert werden, um Probleme wie ein Lymphödem oder eine Lymphfistel des entsprechenden Beins zu verhindern. Die genaue Präparationstechnik ist entsprechenden Operationsatlanten zu entnehmen; Verletzungen der dort liegenden Strukturen sind in jedem Fall zu vermeiden.

Eine Operation setzt große Erfahrungen voraus und umfasst profunde Kenntnisse insbesondere des Verlaufs von M. iliopsoas, N. femoralis, Vasa femoralia und der Lymphbahnen, N. cutaneus femoris lateralis und des Samenstrangs. Bei entsprechender Technik ist der Weichteilschaden gering, und Wundheilungsprobleme oder die Bildung heterotoper Ossifikationen sind die Ausnahme.

Wichtig

Indikationen für den ilioinguinalen Zugang nach Judet u. Letournel sind Frakturen der vorderen Wand und des vorderen Pfeilers, Querfrakturen mit Ventralversatz und Zweipfeilerverletzungen mit ventraler Hauptpathologie.

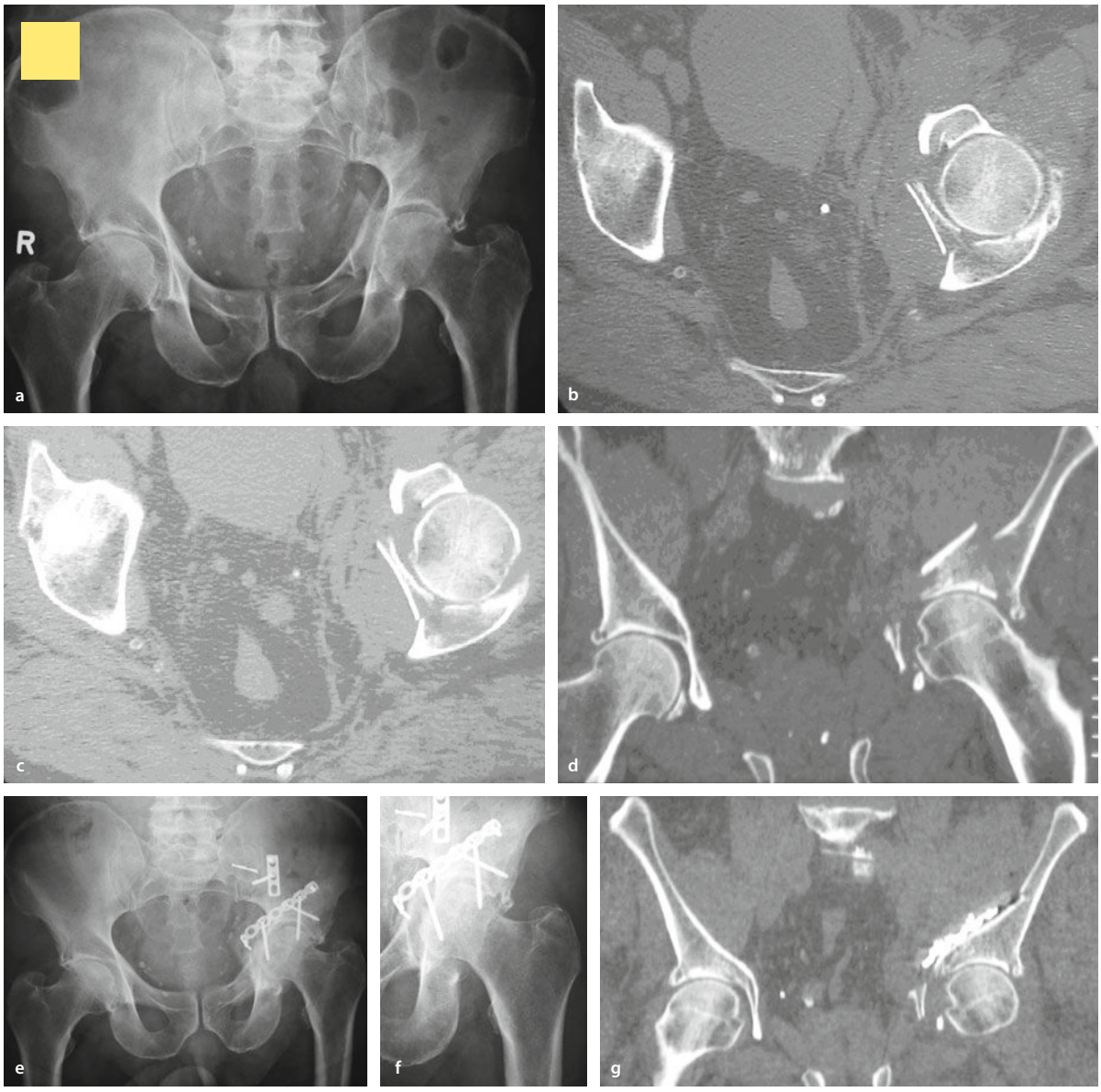


Abb. 16.22. 66 Jahre, männlich. Leitersturz von ca. 3 m Höhe. Fraktur des Pfannendaches (ventraler und Anteile des dorsalen Pfeilers, T-förmiger Frakturverlauf, B-Fraktur nach AO) und zentrale Hüftluxation. Osteosynthetische Versorgung nach offener Reposition (axialer Zug an der unteren Extremität) mit 2 Plattenosteosynthesen mit Wiederherstellung der Gelenkkongruenz, aber ohne vollständigen Längenausgleich

In wenigen Fällen ist bei bestimmten B- oder C-Frakturen (Abb. 16.23) auch eine Kombination aus beiden Zugangswegen, entweder mit einer intraoperativen Umlagerung oder einem zweizeitigen Vorgehen, indiziert. Wir ziehen diese Lösung den verschiedenen erweiterten Schnittführungen wie dem erweiterten Zugang nach Judet u. Letournel, dem modifiziert erweiterten Zugang (Maryland, entspricht einem umgekehrt T-förmigen Verlauf mit querem Schenkel entlang der Crista iliaca) oder dem mercedessternförmigen Triradiatezugang vor, da alle erweiterten Schnitte mit deutlich erhöhten Zugangsmorbiditäten einhergehen. Die erweiterten Zugänge haben bei verspätet operierten Patienten ihre Bedeutung. Mögliche Indikationen stellen auch komplexe Frakturen beider Pfeiler mit Gelenkdepressionen dar.

Intraoperativ empfiehlt sich immer nach Reposition und Platzierung der Osteosynthese, eine Durchleuchtung mittels Bildwandler durchzuführen, um zum einen die

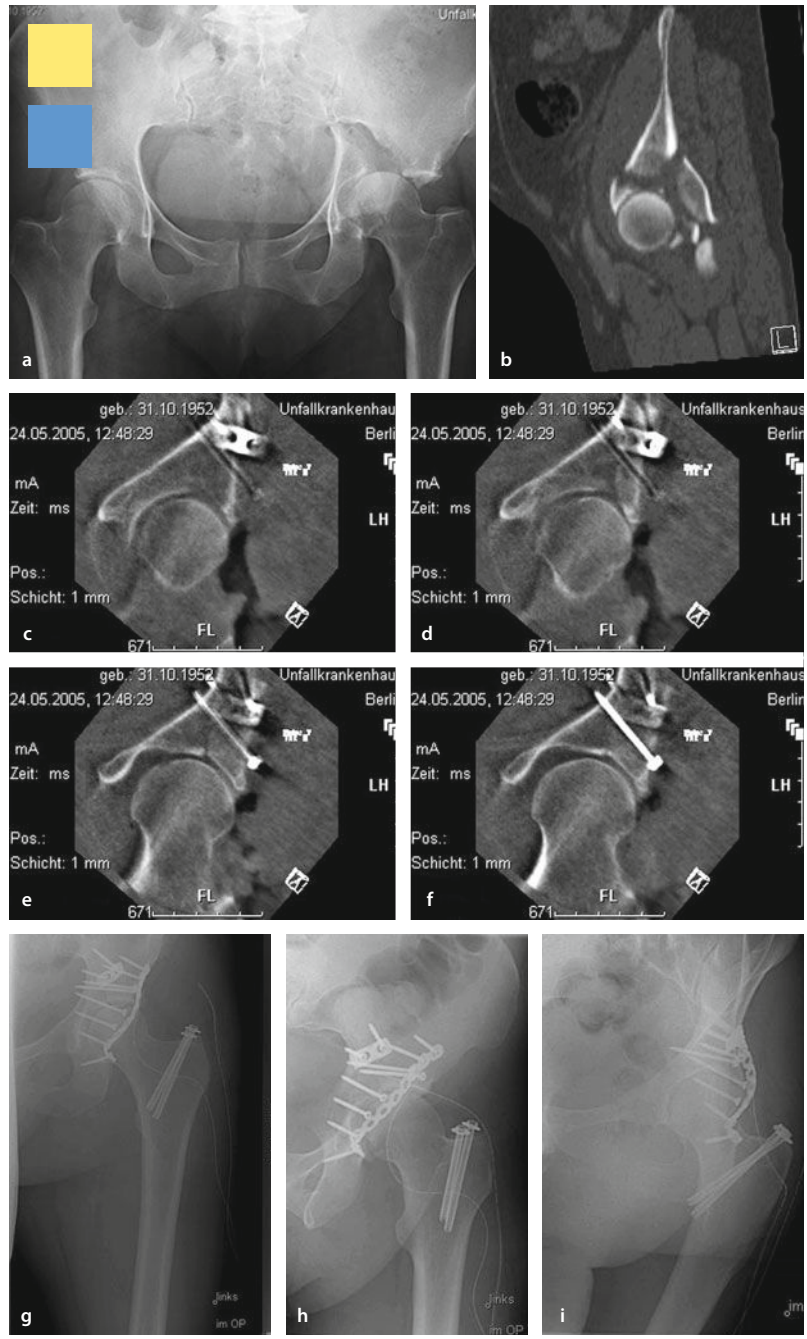


Abb. 16.23. 53 Jahre, weiblich. Verkehrsunfall. Komplette tiefe Gelenkabtrennung vom Os ilium (C2.2-Fraktur nach AO). Versorgung über kombiniert dorsales und ventrales Vorgehen. **a, b** Präoperative Beckenübersicht bzw. sagittale CT-Schichten. **c–f** Intraoperative 3-D-Scans weisen die korrekte Reposition und Implantatlage nach, anatomische Gelenkrekonstruktion und Fixation mittels dreier Zugschrauben, neutralisierender Rekonstruktionsplatte und einer Kleinfragmentplatte. **g–i** Postoperative Aufnahmen in der a.-p.-, Ala- und Obturatortechnik mit korrekter Reposition der Fraktur. Refixation des Trochanter major nach zugangsbedingter Osteotomie

Güte der Reposition auch in Schrägaufnahmeprojektionen zu überprüfen, zum anderen, um sicherzustellen, dass das Hüftgelenk nicht durch Osteosyntheseanteile tangiert wird und vorhandene Gelenkfragmente sicher entfernt wurden. Daher ist bei der Lagerung vor Operationsbeginn zu überprüfen, ob sich die zu versorgende Seite in der a.-p.-Projektion sowie in der Ala- und Obturatoraufnahme einstellen lässt.

Die intraoperative Bildgebung ist heute durch die sog. *3-D-Bildwandler* wesentlich erleichtert; mit diesen ist es möglich, noch während des Eingriffs CT-ähnliche Bilder im OP zu generieren (Abb. 16.21, 16.23). Diese Bildserien erlauben eine gute Schnittbilddarstellung des dreidimensional nur schwer zu erfassenden Acetabulums und helfen damit dem Operateur, die oben gestellten Fragen zum Operationsergebnis sicherer zu beantworten.

Wichtig

Indikationen für die intraoperative 3-D-Darstellung sind postosteosynthetische Stellungskontrollen und bei navigierten Operationen Verschraubungen des ISG (► Kap. 16.1 Beckenring) oder perkutane Schraubenosteosynthesen am Acetabulum und am vorderen Beckenring.

Endoprothese

Die endoprothetische Versorgung kann nach Acetabulumfrakturen primär oder sekundär nach Abheilung der Fraktursituation erfolgen. Generell eignet sich diese Art der Versorgung für ältere Patienten, insbesondere dann, wenn die Knochenqualität oder die Allgemeinsituation eine osteosynthetische Versorgung nicht sinnvoll erscheinen lässt. Für die primäre Versorgung eignen sich Frakturen, bei denen die craniale (Os ilium) und caudale Abstützung über das Os ischium erhalten bleibt. Beispiele sind Luxationsfrakturen der hinteren Wand oder des hinteren Pfeilers oder der vorderen Wand. Über entsprechende Abstützschalen (z. B. Burch-Schneider) können die knöchernen Defekte überbrückt und eine Totalendoprothese implantiert werden. Größere Defekte werden mit autogener Spongiosa aus dem Hüftkopf oder auch unter Beimengung von alloplastischen Granulaten (z. B. Tricalciumphosphat) aufgefüllt (◘ Abb. 16.24). Eine sofortige Vollbelastung ist möglich und gerade für ältere Patienten von besonderer Bedeutung, um die typischen Immobilitätsschäden zu vermeiden.

16.2.6 Nachbehandlung

Bei Patienten mit Acetabulumfrakturen handelt es sich um *Hochrisikopatienten*. Eine kontinuierliche Thromboseprophylaxe nach Hochrisikoschema ist obligat. Ebenso ist eine Prophylaxe heterotoper Ossifikationen, z. B. mit Voltaren, über 3 Wochen durchzuführen.

Eine frühe *Mobilisation* ist auch bei Actebulumfrakturen nach operativer Versorgung ebenso wie eine CT-Untersuchung zur Stellungskontrolle am 1. postoperativen Tag angezeigt. Dabei ist besonders bei Frakturen mit ausgedehnter Knorpelschädigung eine frühzeitige passive kontinuierliche Gelenkmobilisation mit speziellen Bewegungsschienen zu empfehlen. Je nach Stabilität sollte bereits nach der 1. postoperativen Woche mit einer Abrollbelastung begonnen werden (entspricht einer Teilbelastung von etwa 10–15 kg). Die Teilbelastung sollte unter kontinuierlichen *physiotherapeutischen Maßnahmen* bis zum Ende der 6. Woche durchgeführt werden. Bei radiologisch nachweisbarer Kallusbildung und einfachem Frakturtyp ist danach eine zunehmende Vollbelastung innerhalb von 2 Wochen anzustreben. Bei instabilem Frakturtyp (Impressionsfrakturen, Hüftkopffrakturen und nach Knochentransplantationen) sollte ggf. bis zum Ende der 12. Woche mit der Vollbelastung gewartet werden.

Bei endoprothetischer Versorgung von Acetabulumfrakturen werden über 5-mal höhere *Pfannenlockerungsraten* im Vergleich zu elektiven Endoprothesen beobachtet. Gründe sind Knochendefekte und verbliebene Instabilitäten [12]. Daher müssen die Defekte aufgefüllt und eine stabile Situation geschaffen werden.

Metallentfernungen beim Erwachsenen sind unserer Ansicht nach zu vermeiden, da sie erhebliche Probleme bereiten können. Das implantierte Material sollte daher verbleiben, es sei denn, es ergibt sich ein zwingender Grund zur Metallentfernung, wie z. B. eine weitere Operation, während der das Implantatmaterial stört. Beispielsweise kann zur Implantation einer Totalendoprothese ggf. auch eine Teilmetallentfernung in Erwägung gezogen werden. Bei Kindern und Adoleszenten ist die Entfernung von Implantaten nach knöcherner Konsolidierung frühzeitig zu planen.

Verlaufskontrollen insbesondere der Hüftgelenke sollten für mindestens 2 Jahre durchgeführt werden.

16.2.7 Sonderformen

Kinder. Acetabulumfrakturen beim Kind und Adoleszenten stellen eine Rarität dar. Sollte eine solche Fraktur doch auftreten, kommt es häufig zu einer Epiphysiolyse in der Y-förmigen Knorpelfuge des Acetabulums, die erst zwischen dem 13. und 18. Lebensjahr zwischen Os ilium, Os ischium und Os pubis und den Hauptkernen verknöchert. Bei dislozierten Frakturen ist analog zum Erwachsenen die Indikation zur offenen Reposition und internen Fixation zu stellen. Dabei ist zu beachten, dass Osteosynthesen, die die Epiphysenfugen kreuzen, frühzeitig nach der Konsolidierung entfernt werden sollten.

Ältere Personen. Acetabulumfrakturen im hohen Lebensalter stellen nur einen kleinen Anteil dar. Häufig kommt es durch direkten Sturz auf die Hüfte bei vorbestehender Osteoporose zu Frakturen im Bereich des vorderen Pfeilers. Nicht selten sind auch zentrale Luxationsfrakturen mit Dislokation des Hüftkopfs in das kleine Becken (◘ Abb. 16.24). Die Entscheidung, ob ein konservatives oder operatives Vorgehen indiziert ist, sollte individuell v. a. von der Gesamtkonstitution, der früheren Mobilität und einer vorliegenden Coxarthrose des Patienten abhängig gemacht werden.

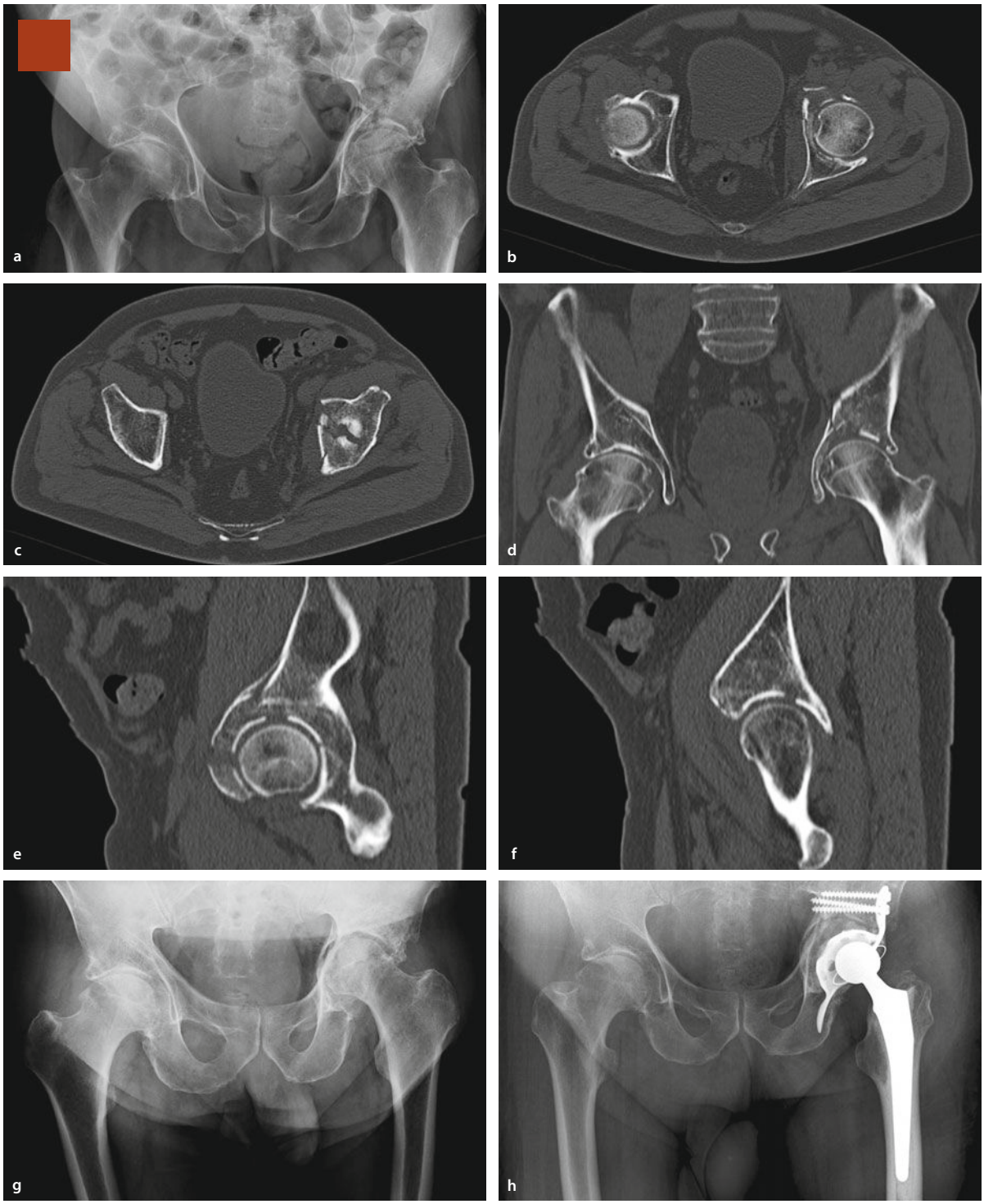


Abb. 16.24. 79 Jahre, männlich. Leitersturz auf die linke Hüfte direkt auf den Trochanter major. Zentrale Luxationsfraktur mit sekundärer Kongruenz trotz Medialisierung und Kranialisierung des Hüftkopfs durch Impaktierung der Pfanne. Nach zunächst konservativer Behandlung bei erheblichen Coxarthrosebeschwerden Implantation einer zementierten Totalendoprothese. Überbrückung des Defekts über Burch-Schneider-Ring mit sicherer Verankerung im Os ischium und Os ilium. Defektauffüllung unterhalb des Abstützrings mit autologer Spongiosa aus dem Hüftkopf. Repositionierung des Hüftkopfzentrums an anatomischer Stelle. Mobilisation unter sofortiger Vollbelastung. **a** Unfallröntgenbild, Beckenübersicht a.-p. **b–f** Axiale, coronare und sagittale CT-Schichten zur Klassifikation, bei sekundärer Gelenkkongruenz zunächst konservativer Behandlungsversuch, und Operationsplanung. **g** Beckenübersicht a.-p. nach knöcherner Konsolidierung, bei Coxarthrosebeschwerden Indikationsstellung zur Totalendoprothese. **h** Postoperatives Röntgenbild, Beckenübersicht a.-p.

Beim konservativen Vorgehen, das früher meist aus einer Immobilisation und Extensionsbehandlung des Patienten für 6–8 Wochen bestand, zeigte sich eine hohe sekundäre Komplikationsrate mit Pneumonien, Dekubitalgeschwüren etc. Bei einer konservativen Behandlung sollte daher auch die möglichst rasche Mobilisation im Vordergrund stehen. Da dies oft nicht möglich ist, ist heute auch beim älteren Patienten, bei fehlender Kontraindikation und unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren die Indikation zur primären Osteosynthese oder anderen Versorgungen zu stellen. War noch eine Mobilität gegeben, ermöglichen bestimmte Frakturformen eine Versorgung, die direkt postoperativ eine Vollbelastung erlaubt. Ein Beispiel ist die Totalendoprothese, die eine Mobilisation unter Vollbelastung am 1. postoperativen Tag erlaubt (s oben). Allerdings sollte eine primäre endoprothetische Versorgung bei Acetabulumfraktur nur durchgeführt werden, wenn eine ausreichende Stabilisierung des Pfannenlagers gewährleistet werden kann. Bei begleitenden Beckenringfrakturen oder nicht sicherer primärer Stabilität des Pfannendaches ist ein zweizeitiges Vorgehen mit zunächst konservativer oder plattenostheosynthetischer Versorgung der Fraktur und nach knöcherner Ausheilung sekundärer Alloarthroplastik anzuraten.

16.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Es handelt sich aufgrund des Verletzungsmusters und der folgenden Immobilität um Hochrisikoeingriffe, die entsprechend mit einem sehr hohen Thromboembolierisiko einhergehen. Solche Komplikationen werden bei adäquater Prophylaxe in <10% der Fälle beobachtet; Embolien verlaufen in rund 1/3 der Fälle asymptomatisch. Bei späten Rekonstruktionen liegt die Rate höher. Auch Infekte sind nicht selten. Ihre Häufigkeit liegt bei erweiterten Zugängen <5% [13].

Der *Langzeiterfolg* misst sich bei der Acetabulumfraktur an der Funktion und der Rate posttraumatischer Arthrosen. Daher sind die funktionellen Ergebnisse nach operativ versorgter Acetabulumfraktur entscheidend abhängig von der Güte der primär wiederhergestellten Gelenkanatomie. Vollständige Wiederherstellungen der Funktion sogar nach relativ einfachen Bruchformen sind nicht die Regel [14]. So zeigt sich bei korrekter Reposition und interner Fixation immer noch eine Arthroseprävalenz von 18%, die jedoch bei einer Gelenkstufenbildung von 1–3 mm auf ca. 58% zunimmt. Bei einer Gelenkstufe von >3 mm zeigt sich sogar eine Coxarthroseprävalenz von 100% nach 2 Jahren [15]. Für die funktionellen Ergebnisse wird in etwa 75% der Fälle von guten bis sehr guten Resultaten berichtet [16].

Häufiger sind es durch das primäre Verletzungsausmaß und durch den Zugang und eine traumatische Präparationstechnik bedingte periartikuläre Verkalkungen, die zu Problemen im weiteren Verlauf, z. B. durch Irritation des N. ischiadicus nach Kocher-Langenbeck-Zugang und insbesondere nach erweiterten Zugängen, führen können [16]. Ihre Häufigkeit wird mit bis zu 69% angegeben [13]. Präparatorisch bedingte Ischiadicusläsionen mit in der Regel guter Rückbildungstendenz werden in 2–12% der Fälle genannt [13].

Dagegen sind Ossifikationen beim ventralen Zugang die Ausnahme. Hier kommt es in etwa ≤20% der Fälle zu Verletzungen des N. cutaneus femoris lateralis, da dieser sehr variabel die Faszie in Höhe der Spina iliaca anterior superior durchtritt [13]. Hier werden dauerhafte Schmerzzustände beobachtet. Des Weiteren werden Verletzungen der Gefäße beobachtet sowie Lymphfisteln und -ödeme. Auch treten sekundäre Leistenhernien bei nicht sachgerechtem Verschluss auf. Weitere Probleme, insbesondere bei erweiterten Zugängen, sind Hämatoserome, Ossifikationen und Nervenläsionen. Die Reoperationsrate wird mit etwa 20% angegeben.

Sowohl durch die Gewalteinwirkung beim Unfall als auch durch eine Luxation des Hüftkopfes, aber auch durch den operativen hinteren Zugang zum Hüftgelenk mit Verletzung der A. circumflexa femoris medialis kann es im weiteren Verlauf zu Durchblutungsstörungen des Hüftkopfs im Sinne einer Hüftkopfnekrose kommen, die in der Literatur mit einer Häufigkeit von 15% in der AO-Sammelstatistik angegeben wird [2].

16.2.9 Begutachtung

Analog zur Beckenringfraktur kann es zu chronischen Schmerzen im Verlauf kommen. Eine primär vorhandene Arthrose im Hüftgelenk muss von posttraumatischen Veränderungen abgegrenzt werden. Seitenvergleichende Röntgenaufnahmen im Verlauf, die Aufnahmen zum Unfallzeitpunkt und, wenn vorhanden, Röntgenbilder aus der Zeit vor dem Unfall liefern mögliche Anhaltspunkte zur Beurteilung der Gelenkkongruenz. Zu beachten gilt aber, dass eine veränderte Gelenkarchitektur im frakturierten Gelenk auch im kontralateralen Gelenk eine Veränderung der Gelenkfläche durch Fehlbelastung und Mehrbelastung bewirken kann.

Im Wesentlichen sind eine absolute oder relative Beinverkürzung, die gestörte Funktion, d. h. die Beweglichkeit des Hüftgelenks, die Muskelminderung, die Belastungsminderung des betroffenen Beins und eine vorhandene Gangbildstörung für die Höhe der Bewertung des Gesundheitsschadens maßgeblich. Richtwerte für den jeweiligen Grad der Behinderung/Minderung der Er-

werbsfähigkeit (GdB/MdE) sind 20–30 je nach Ausprägung der schmerzhaften Bewegungseinschränkung. Bei Versteifung des Gelenks ergibt sich ein GdB/MdE von 30–40, nach Anlage einer Girdlestone-Situation von 40. Bei Endoprothesenversorgung werden andere Werte festgelegt (▶ Kap. 11 »Proximaler Oberschenkel«).

Durch die enge Lagebeziehung des N. ischiadicus (peroneale Nervenfasern) zur dorsalen Wand des Acetabulums können passagere, aber auch dauerhafte Nervenverletzungen auftreten und müssen ggf. gesondert durch ein neurologisches Gutachten beurteilt werden (Anhaltswerte ▶ Kap. 16.1 »Beckenring«).

Literatur

Literatur zu Kap. 16.1

1. M.C. Moss, M.D. Bircher, Volume changes within the true pelvis during disruption of the pelvic ring – where does the haemorrhage go? Injury 27 (Suppl 1): 21–23 (1996)
2. R. Smektala, M.P. Hahn, M. Henkel, G. Muhr, Chirurgisches Management der Komplikationen offener Beckenverletzungen. Zentralbl Chir 120: 893- 898 (1995)
3. M.S. Failinger, P.L.J. McGanity, Unstable fractures of the pelvic ring. J Bone Joint Surg 74-A: 781 (1992)
4. J.F. Malgaigne, Double vertical fractures of the pelvis. 1859. Clin Orthop & Rel Res 458: 17–19 (2007)
5. G. v. Poole, E.F. Ward, F.F. Muakkassa, J.A. Griswold, R.S. Rhodes, Pelvic fractures from major blunt trauma. Outcome is determined by associated injuries. Ann Surg 213: 532–538 (1991)
6. P.M. Rommens, P.M. Vanderschot, P. Oe Boodt, P.L. Broos. Surgical management of pelvic ring disruption. Indications, technique and functional results. Unfallchirurg 95: 455–462 (1992)
7. R.C. Mackersie, A.D. Tiwary, S.R. Shackford, D.B. Hoyt, Intraabdominal injury following blunt trauma. Identifying the high risk patient using objective risk factors. Arch Surg 124: 809–813 (1989)
8. M.S. Failinger, P.L.J. McGanity, Unstable fractures of the pelvic ring. J Bone Joint Surg 74: 781–791 (1992)
9. F.W. Blaisdell, D.D. Trunkey, Abdominal trauma. Trauma management. Thieme, Stuttgart New York, 1982
10. M. Koraitim, Pelvic fracture urethral injuries: the unresolved controversy. J Urol 16: 1433–1441 (2000)
11. C.E. Iselin, G.D. Webster, The significance of the open bladder neck associated with pelvic fracture urethral distraction defects. J Urol 162: 347–358 (1999)
12. D.A. Carlson, J. Simmons, W. Sando, T. Weber, B. Clements, Morel-lavallée lesions treated with debridement and meticulous dead space closure: surgical technique. J Orthop Trauma 21: 140–144 (2007)
13. E.E. Berg, C. Chebubar, R.M. Bell, Pelvic trauma imaging: a blinded comparison of computed tomography and roentgenograms. J Trauma 41: 994–998 (1996)
14. M. Tile, Fracture of the pelvis and acetabulum, Williams & Wilkins, Baltimore, (1984)
15. J. Schatzker, M. Tile. The Rationale of Operative Fracture Care. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1987
16. M. Tile, G.F. Pennal, Pelvic disruption: principles of management. Clin Orthop & Rel Res 151: 56–64 (1980)
17. F. Denis, D. Steven, T. Comfort: Sacral Fractures: an important problem, retrospective analysis of 236 cases. Clin Orthop & Rel Res 227: 67–81 (1988)
18. T. Pohlemann, A. Gänsslen, H. Tscherne, Die Sakrumfraktur. Unfallchirurg 103: 769–786 (2000)
19. V. Colapinto, Trauma of the pelvis: urethral injury. Clin Orthop & Rel Res 151: 46–55 (1980)
20. J.M. Matta, T. Saucedo, Internal fixation of pelvic ring fractures. Clin Orthop & Rel Res 242: 83–97 (1989)
21. T. Mendel, P. Kuhn, D. Wohlrab, K. Brehme, Minimal-invasive Stabilisierung einer bilateralen Sakrumfraktur mit lumbopelviner Dissoziation. Unfallchirurg 112: 590–595 (2009)
22. D. Briem, J. Windolf, J.M. Rueger, Perkutane, 2D-fluoroskopisch navigierte Sakrumverschraubung in Rückenlage. Unfallchirurg 110: 393–401 (2007)
23. R. Decker, W. Ruf, Traction bracing for symphysis rupture using woven polydioxanonen ligaments (PDS). Z Orthop Ihre Grenzgebiete 126: 14–18 (1988)
24. A. Meissner, M. Fell, R. Wilk, U. Boenick, R. Rahmanzadeh, Comparison of internal fixation methods for the symphysis in multidirectional dynamic gait simulation. Unfallchirurg 101: 18–25 (1998)
25. A.H. Tiemann, G.O. Hofmann, Beckenzwinge – Notfallbehandlung der (hämodynamisch) instabilen Beckenfraktur. Trauma & Berufskrh 10: 110–115 (2008)
26. T. Pohlemann, U. Culemann, G. Tosounidis, A. Kristen, Die Anlage der Notfall-Beckenzwinge. Unfallchirurg 107: 1185–1191 (2004)
27. K. Käch, O. Trentz, Distraktionsspondylodese des Sakrums bei vertikal-shear Läsionen des Beckens, 1994
28. C. Josten, T. Schildhauer, G. Muhr, Therapie instabiler Sakrumfrakturen bei Beckenringbrüchen. Chirurg 65: 970–975 (1994)
29. T.A. Schildhauer, G. Muhr, Beckenring- und Acetabulumfrakturen im Wachstumsalter. Trauma Berufskrankh 7: 47–51 (2005)
30. A. Gänsslen, T. Pohlemann, T. Hüfner, P. Lobenhoffer, H. Tscherne, Internal fixation of an unstable pelvic fracture in a 3-year-old child. Unfallchirurg 101: 570–573 (1998)
31. T.D. Cosker, A. Ghandour, S.K. Gupta, K.J. Tayton, Pelvic ramus fractures in the elderly: 50 patients studied with MRI. Acta Orthop 76: 513–516 (2005)
32. K. Schwemmle, K.H. Schultheis, Abdominelle Begleitverletzungen der Beckenfrakturen. Unfallchirurgie 11: 7–11 (1985)
33. K. Weber, B. Vock, W. Müller, A. Wentzensen, Lebensqualität nach operativ behandelten Beckenringfrakturen. Unfallchirurg 104: 1162–1167 (2001)
34. H. Tscherne, T. Pohlemann, Unfallchirurgie – Becken und Acetabulum. Springer, Berlin 1998
35. T. Pohlemann, A. Gänsslen, H. Tscherne, The problem of the sacrum fracture. Clinical analysis of 377 cases. Orthopäde 21: 400–412 (1992)
36. W. Berner, H. Oestern, J. Sorge, Ligamentäre Beckenringverletzungen. Behandlung und Spätergebnisse. Unfallheilkunde 85: 377–387 (1982)
37. A.H. Tiemann, C. Schmidt, C. Josten, Triangular vertebropelvine stabilisaton of unstable posterior pelvic ring fractures. Zentralbl Chir 128: 202–208 (2003)
38. U. Culemann, G. Tosonnidis, H. Reilmann, T. Pohlemann, Beckenringverletzung. Diagnostik und aktuelle Behandlungsmöglichkeiten. Chirurg 74: 687–700 (2003)

Literatur zu Kap. 16.2

1. K. Mayo, E. Letournel, J.M. Matta, J.W. Mast, E.E. Johnson, C. Martimbeau, Surgical revision of malreduced acetabular fractures. Clin Orthop & Rel Res 305: 47–52 (1994)
2. T. Pohlemann, A. Gänsslen, S. Hartung, Beckenverletzungen/Pelvic Injuries, Ergebnisse der multizentrischen Studie der Arbeitsgruppe Becken der AO und DGU. In: L. Schweiberer, H. Tscherne (ed.) Hefte Unfallchir 266, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1998, pp1–402

3. T. Ambacher, S. Esenwein, G. Muhr, Diagnostisches und therapeutisches Management von Begleitverletzungen beim komplexen Beckentrauma. Trauma & Berufskrankh 2: 28–38 (2000)
4. H. Tscherne, T. Pohlemann, Unfallchirurgie: Becken und Acetabulum. Springer, Berlin ,1998, pp 433–437
5. T. Ambacher, T. Kälicke, G. Muhr, S. Arens, Klassifikation und Diagnose von Azetabulumfrakturen. Trauma & Berufskrankh 2: 19–27 (2000)
6. J. Matta, L. Anderson, H. Einstein, P. Hendricks, Fractures oft the acetabulum: a retrospective analysis. Clin Orthop & Rel Res 205: 230–240 (1986)
7. R. Judet, J. Judet, E. Letournel E, Fractures of the acetabulum: classification and surgical approaches for open reduction. J Bone Joint Surg 46-A: 1615–1636 (1964)
8. T. Glombik, G. Muhr, Behandlungsstrategie bei Azetabulumfrakturen. Chirurgische Universitätsklinik, BG-Kliniken Bergmannsheil Bochum. Trauma & Berufskrankh 2: 46–59 (2000)
9. T. Pohlemann, H. Tscherne, F. Baumgärtel, H. Egbers, E. Euler, F. Maure, Beckenverletzungen: Epidemiologie, Therapie und Langzeitverlauf. Übersicht über die multizentrische Studie der Arbeitsgruppe Becken. Unfallchirurg 99: 160–167 (1996)
10. M. Heeg, Acetabular fractures – Limits of conservative treatment. Osteosynthese Int 7: 59–63 (1999)
11. B. Isler, R. Ganz, Classification of pelvic girdle injuries. Unfallchirurg 93: 289–302 (1990)
12. D.W. Romness, D.G. Lewallen, Total hip arthroplasty after fracture of the acetabulum. Long-term Results. J Bone Joint Surg 72-B: 761–764 (1990)
13. W. Ditzen, M. Börner, Behandlungsstrategien bei Azetabulumfrakturen. Trauma & Berufskrankh 5: 83–91 (2003)
14. B.R. Moed, J.C. McMichael, Outcomes of posterior wall fractures of the acetabulum. J Bone Joint Surg 89-A: 1170–1176 (2007)
15. B. Ragnarsson, B. Mjöberg, Arthrosis after surgically treated acetabular fractures. A retrospective study of 60 cases. Acta Orthop Scand 63: 511–514 (1992)
16. E. Euler, D. Nast-Kolb, L. Schweiberer, Hüftpfannen- und Beckenfrakturen beim Polytrauma. Orthopaede 26: 354–359 (1997)

17 Hand

M. Schädel-Höpfner, J. Windolf

Frakturen der Hand lassen sich nicht durch eine lineare Übertragung der Prinzipien zur Behandlung langer Röhrenknochen oder großer Gelenke auf kleine Knochen und kleine Gelenke behandeln. An der Hand steht weit mehr als in anderen anatomischen Regionen die größtmögliche Weichteilschonung im Vordergrund, um die komplexe funktionelle Anatomie zu erhalten. Das Behandlungsziel ist die Wiederherstellung bzw. der Erhalt der Handfunktion. Dabei hat insbesondere die Schonung des Sehnengleitgewebes besondere Priorität gegenüber einer absolut anatomischen Rekonstruktion und einer größtmöglichen Stabilität.

Aus didaktischen Gründen erfolgt die vorliegende Aufarbeitung der Frakturbehandlung an der Hand im Sinne des Gesamtkonzeptes dieses Buches auf der Basis der AO-Klassifikation (Abb. 17.1). Im klinischen Alltag müssen zur Entscheidungsfindung darüber hinaus immer

- der Weichteilbefund und
- die Auswirkung der Fraktur auf die Handfunktion

berücksichtigt werden. Die Indikationsstellung sollte individuell erfolgen und die Möglichkeiten der konservativen und operativen Therapie mit dem Ziel der frühfunktionellen Behandlung berücksichtigen.

17.1 Handwurzel

Definition. Als Handwurzelfrakturen werden Brüche der 8 Handwurzelknochen bezeichnet, die isoliert, kombiniert oder im Rahmen einer Luxationsverletzung auftreten können. Aufgrund der komplexen Anatomie der Handwurzel handelt es sich bei fast allen Frakturen um Gelenkfrakturen. Über 95% der Frakturen finden sich an der proximalen Handwurzelreihe. Dabei machen Scaphoidfrakturen etwa 80% und Triquetrumfrakturen etwa 13% der Frakturen des Carpus aus. Alle übrigen Handwurzelfrakturen stellen sehr seltene Verletzungen dar [1–3].

17.1.1 Mechanismus

Handwurzelfrakturen sind meist Folge einer indirekten Gewalteinwirkung. Ähnlich wie bei den distalen Unterarmfrakturen sind Stürze auf die ausgestreckte Hand im Sinne einer Hyperextension der häufigste Unfallmechanismus. Die Gewalteinwirkung erfolgt dabei in Richtung der Längsachse des Unterarms. Wesentlich für die Art der dadurch ausgelösten Verletzung sind das Ausmaß der Extension und die Ulnar-Radial-Position der Hand. Bei den besonders häufigen Scaphoidfrakturen kommt es zu einer

Einklemmung des Kahnbeins an der dorsalen Radiuskante bei Protektion des proximalen Pols durch die intakten Bänder der palmaren Kapsel [3–7].

Wichtig

Aufgrund des ähnlichen Unfallmechanismus treten Handwurzelfrakturen auch als Begleitverletzung der distalen Radiusfraktur auf [8, 9].

17.1.2 Klinik

Die klinischen Symptome einer isolierten Handwurzelfraktur können sehr diskret sein. Nicht selten werden sie daher initial als Stauchung des Handgelenks fehlgedeutet. Selbst komplexe Luxationsfrakturen führen mitunter lediglich zu einer schmerzhaften Gelenkschwellung und Funktionseinschränkung. Für eine Kahnbeinfraktur können ein umschriebener Druckschmerz in der Tabatiére und ein Stauchungsschmerz des Daumens hinweisgebend sein. Gelegentlich kann man hier einen intraartikulären Erguss tasten. Auch bei Frakturen der übrigen Handwurzelknochen kann in der Akutphase lediglich ein diskreter lokaler Druckschmerz bestehen.

17.1.3 Diagnostisches Vorgehen

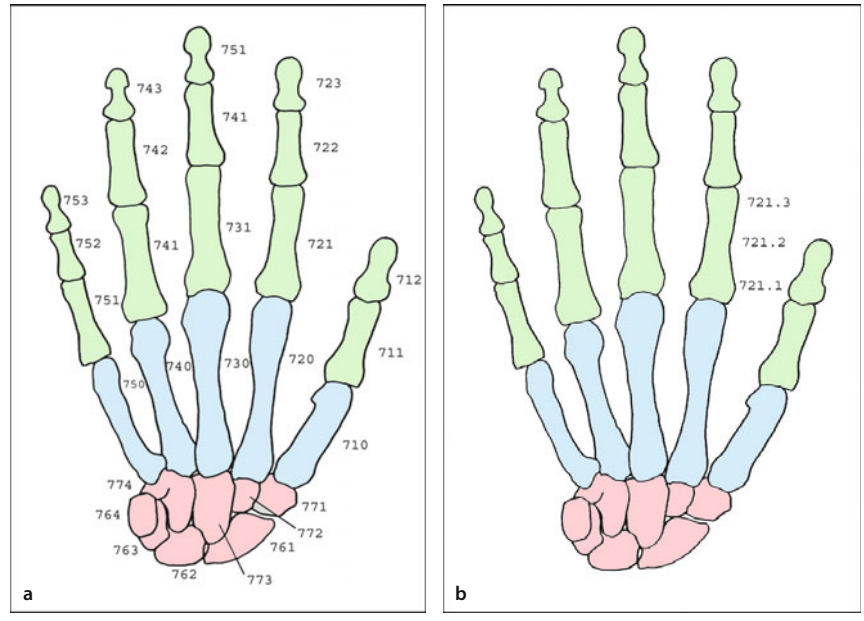
Die typische Unfallanamnese mit Sturz auf die ausgestreckte Hand muss stets auch an eine Handwurzelfraktur denken lassen. Die obligat zu fordernden konventionellen Röntgenaufnahmen des Handgelenks in 2 Ebenen müssen daher akribisch nach Frakturlinien abgesucht werden. Zur besseren Darstellung des Kahnbeins wird eine zusätzliche Aufnahme der Handwurzel in Ulnarduktion nach Stecher [10] angefertigt.

Im konventionellen Röntgenbild sind frische Handwurzelfrakturen nicht immer darstellbar. In der Praxis hat sich im Verdachtsfalle daher die Ruhigstellung für 10–14 Tage mit anschließender Röntgenkontrolle bewährt. Im Zweifelsfall und zur frühzeitigen Entscheidungsfindung sollte die Diagnose durch eine Computertomographie in Dünnschichttechnik mit parasagittaler Rekonstruktion geklärt werden [11, 12]. Diese Untersuchung liefert bei einer Kahnbeinfraktur darüber hinaus auch die entscheidenden Informationen zur Indikationsstellung (▶ Kap. 17.1.5). Bei sehr jungen Patienten kann auch die MRT zum Nachweis okkulter Frakturen zum Einsatz kommen [13–15]. Zur Indikationsstellung muss sie dann aber ggf. noch durch eine Computertomographie ergänzt werden.

17.1.4 Klassifikation

AO-Klassifikation

In der AO-Klassifikation der Handskelettfrakturen [16, 17] werden die Knochen der proximalen Handwurzel unter den Ziffern 761–764 und die der distalen Handwurzel unter den Ziffern 771–774 beschrieben (◘ Abb. 17.1). Für alle Carpalia kann unterschieden werden zwischen Abriss- und Abscherfrakturen (Typ A), einfachen Corpusfrakturen (Typ B) und Mehrfragment- und Trümmer-



◘ **Abb. 17.1. Kodierung der Handwurzelknochen nach dem Prinzip der AO: a** Die 1. Zahl (7) kennzeichnet den Bereich der Hand. Die 2. Zahl bezeichnet den Fingerstrahl (vertikal) oder die Handwurzelreihe (horizontal). Die 3. Zahl kodiert den Mittelhandknochen (0), Grund- (1), Mittel- (2) oder Endglied (3) innerhalb der Vertikalen oder den Handwurzelknochen in der Horizontalen. **b** Die 4. Zahl hinter dem Trennpunkt bezeichnet die genaue Lokalisation des betroffenen Knochensegments (1 proximal, 2 Schaft, 3 distal)

frakturen (Typ C), jeweils mit möglicher Unterteilung in 3 Gruppen (Abb. 17.2).

Klinische Anwendung findet diese Klassifikation aber nicht.

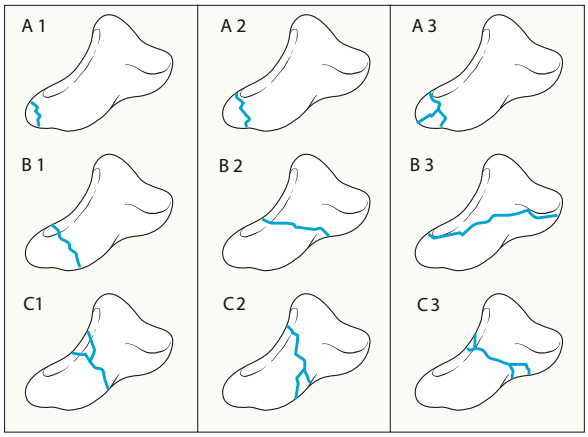


Abb. 17.2. AO-Klassifikation der Region 7 Handwurzel am Beispiel der Scaphoidfraktur
a Typ A: Abriss- und Abscherfrakturen
b Typ B: Frakturen quer, schräg oder parallel zur Unterarmlängsachse
c Typ C: Mehrfragment- und Trümmerfrakturen

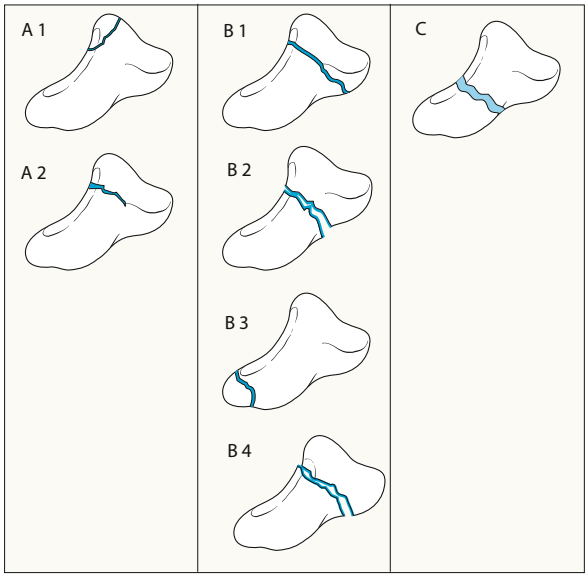


Abb. 17.3. Einteilung der Scaphoidfrakturen nach Herbert [18]
a Typ A: Stabile Frakturen
A1: Fraktur des Tuberculum
A2: Inkomplette Fraktur der Kahnbeintaille
b Typ B: Instabile Frakturen
B1: Distale Schrägfraktur
B2: Komplette Fraktur der Kahnbeintaille
B3: Proximale Polfraktur
B4: Transscaphoidale perilunäre Luxationsfraktur
c Typ C: Verzögerte Heilung (»delayed union«)

Klassifikation nach Herbert

Zur Einteilung der Scaphoidfrakturen ist im Schrifttum und in der klinischen Praxis die Klassifikation nach Herbert [18] am weitesten verbreitet (Abb. 17.3). Diese beruht auf der konventionellen Röntgendiagnostik und berücksichtigt die Prognose des jeweiligen Frakturtyps und die Wahl des geeigneten Behandlungsverfahrens.

Klassifikation nach Krimmer

Das therapeutisch und prognostisch wichtige Kriterium der Frakturinstabilität wurde in der Klassifikation von Krimmer [12] berücksichtigt, die eine Modifikation der Einteilung von Herbert darstellt und anhand der Computertomographie zwischen stabilen und instabilen Frakturen unterscheidet.

Sonstige

Weiterhin können Scaphoidfrakturen nach ihrer Lokalisation [3, 5, 8, 19] und nach dem Frakturverlauf [8, 19] eingeteilt werden.

Für die seltenen Frakturen der übrigen Handwurzelknochen haben sich keine Klassifikationen durchgesetzt. Hier ist lediglich eine Beschreibung von Lokalisation und Morphologie der Fraktur üblich.

17.1.5 Therapeutisches Vorgehen

Die Auswahl des geeigneten Therapieverfahrens für eine Handwurzelfraktur setzt die exakte Analyse der Fraktur und ihrer etwaigen Auswirkung auf die Stabilität und Funktion des Carpus voraus. So können Pseudarthrosen des Kahnbeins zur schmerzhaften Bewegungseinschränkung des Handgelenks und langfristig zur invalidisierenden Handgelenkarthrose (»scaphoid nonunion advanced collapse«; »SNAC wrist«) [20] führen.

Die besonders häufigen knöchernen Heilungsstörungen des Kahnbeins werden durch dessen kritische Blutversorgung, eine unzureichende Diagnostik und eine inadäquate Therapie begünstigt. Ziel muss deshalb eine frühzeitige, umfassende Diagnostik sein, anhand derer das individuelle therapeutische Konzept festgelegt werden kann.

Empfehlungen zur Wahl des Behandlungsverfahrens anhand der AO-Klassifikation sind in Abb. 17.4 für das Scaphoid beispielhaft dargestellt.

Konservative Therapie

Stabile unverschobene Handwurzelfrakturen und knöcherne Bandausrisse lassen sich in der Regel konserva-

tiv behandeln. Dies gilt insbesondere für die häufigen Abriss- oder Abscherfrakturen (Chip-Frakturen) des Os triquetrum (Abb. 17.5), bei denen eine Ruhigstellung für längstens 3 Wochen erforderlich ist. Nach dieser Zeit sind diese Frakturen entweder knöchern geheilt, oder sie münden in eine schmerzfreie straffe Pseudarthrose.

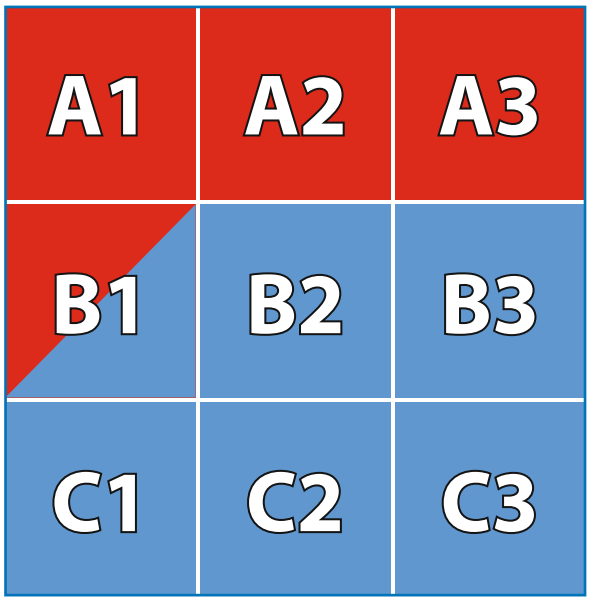


Abb. 17.4. Therapieoptionen bei Frakturen des Scaphoids als Beispiel für die Handwurzelknochen. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
konservativ
Schraubenosteosynthese

Für eine konservative Therapie geeignet sind weiterhin stabile Frakturen des Triquetrumcorpus und der Knochen der distalen Handwurzelreihe sowie Pisiformefrakturen (Abb. 17.6). Für diese ist unter konservativer Therapie eine Heilung nach 4- bis 6-wöchiger Ruhigstellung zu erwarten.

Wichtig

Am Scaphoid lassen sich stabile, undislozierte Frakturen des distalen und mittleren Drittels konservativ behandeln [21–23]. Diese werden im Unterarmgips mit Daumeneinschluss für 6–8 Wochen ruhiggestellt. Eine Immobilisation im Oberarmgips ist bei diesen stabilen Frakturen nicht notwendig.

Bei allen instabilen und dislozierten Frakturen wird von der überwiegenden Mehrheit der Autoren eine operative Therapie empfohlen, wenngleich der wissenschaftliche Beweis der Überlegenheit eines operativen Vorgehens gegenüber der konservativen Behandlung noch nicht abschließend erbracht ist [3, 24–31].

Drahtosteosynthese

Durch die zunehmende Verbreitung der kanülierten Doppelgewindeschrauben kommt die früher häufig verwendete Kirschner-Drahtosteosynthese bei Handwurzelfrakturen nur noch in Ausnahmefällen zur Anwendung, z. B. wenn eine Schraubenosteosynthese aus technischen Gründen nicht möglich ist. So können Kirschner-Drähte zur Refixation begleitender Ausrissfrakturen der distalen Handwurzelreihe im Rahmen basisnaher Mittelhandluxationsfrakturen verwendet werden (Abb. 17.12).

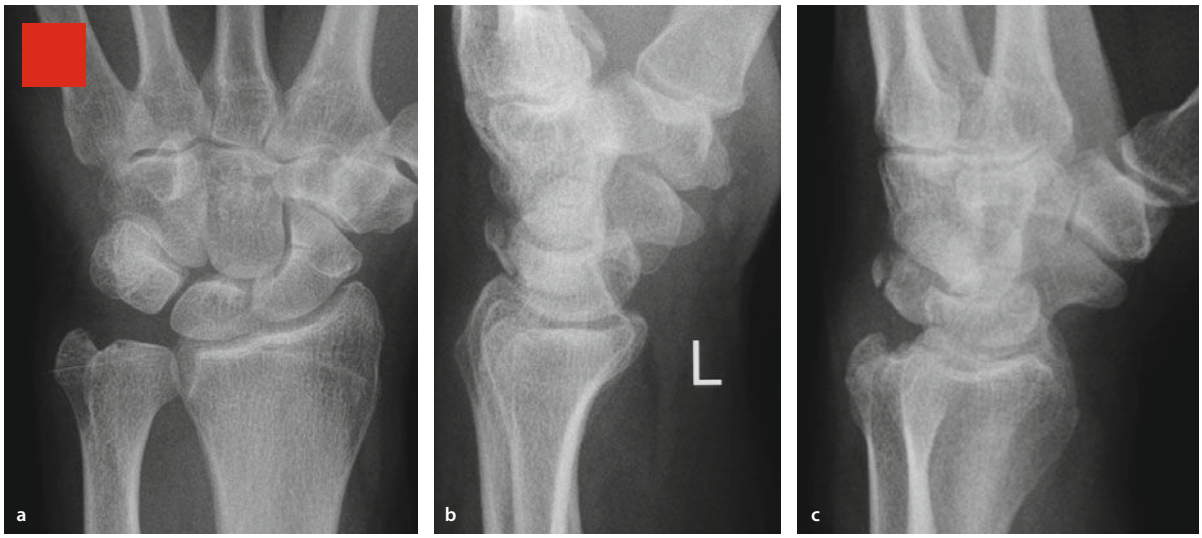


Abb. 17.5. 58 Jahre, männlich. Sturz auf das überstreckte Handgelenk. Konservativ zu behandelnde Abscherfraktur des Os triquetrum (Typ A1 nach AO), die besonders gut in der leicht pronierten Röntgenaufnahme zur Darstellung kommt (**c**)

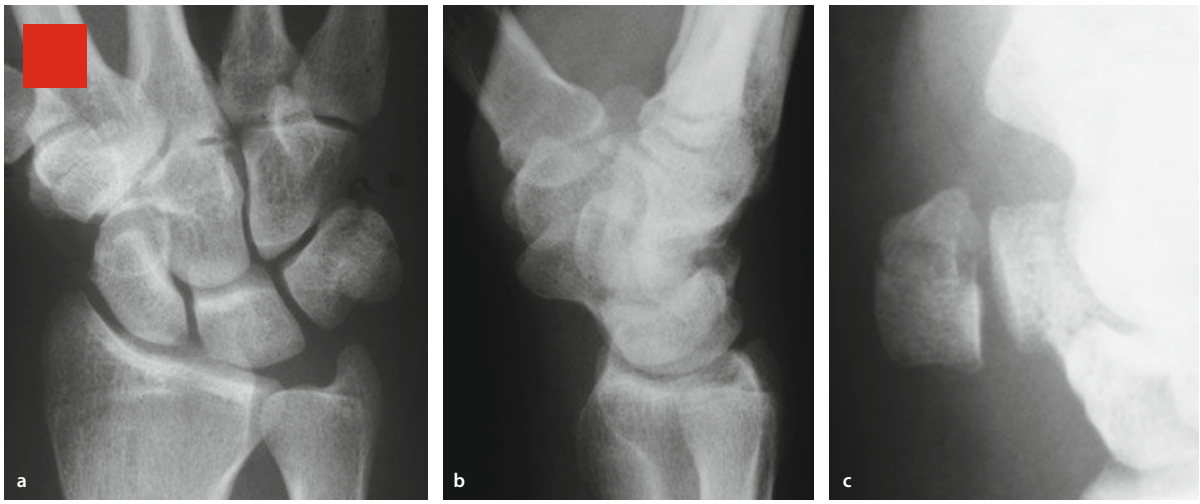


Abb. 17.6. 39 Jahre, männlich. Sturz mit direktem Trauma der Hypothenarbasis. Querfraktur des Pisiformecorpus (Typ B1 nach AO). Konservative Therapie mit Ruhigstellung über 4 Wochen

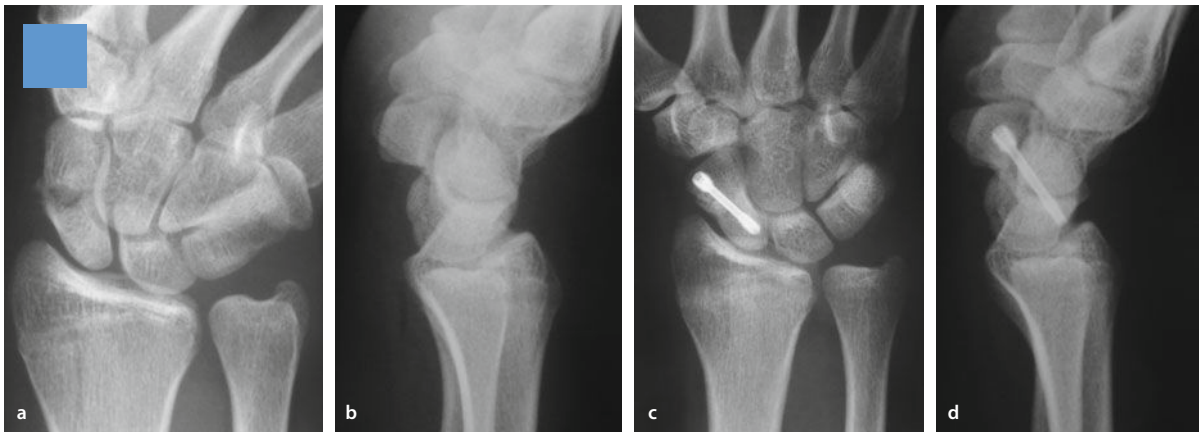


Abb. 17.7. 22 Jahre, männlich. Sturz mit Hyperextensionstrauma des Handgelenks. Instabile Querfraktur des mittleren Scaphoiddrittels (Typ B1 nach AO). Perkutane retrograde Osteosynthese mit Doppelgewindeschraube vom Herbert-Typ

Schraubenosteosynthese

Die Schraubenosteosynthese kann als operative Standardtherapie von Handwurzelfrakturen angesehen werden. Gegenüber der Kirschner-Drahtosteosynthese bietet sie den Vorteil einer stabilen Kompression der Fragmente. Sie wird in der Regel mittels kanülierter Doppelgewindeschraube (Herbert-Schraube) [27] ausgeführt (Abb. 17.7).

Zur Indikationsstellung und zur Planung des Eingriffs ist präoperativ eine hochauflösende Computertomographie zwingend erforderlich [29]. Nicht selten sind die Frakturen im konventionellen Röntgenbild fast nicht oder nur gerade eben erkennbar, während sich im Computertomogramm eine deutliche Dislokation der Fragmente zeigt.

Erst anhand der multiplanaren Rekonstruktion der CT-Daten lässt sich definitiv entscheiden, ob es sich um eine stabile und damit konservativ behandelbare Fraktur oder aber um eine instabile und damit operativ zu stabilisierende Fraktur handelt.

Die Schraubenosteosynthese einer Scaphoidfraktur kann in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation und dem Ausmaß der Fragmentdislokation antegrad oder retrograd, perkutan oder offen ausgeführt werden. Zur gedeckten oder offenen Reposition können Kirschner-Drähte in Joystick-Technik zu Hilfe genommen werden [9, 32]. Begleitende ligamentäre Verletzungen sollten in gleicher Sitzung mitversorgt werden [10].

Plattenosteosynthese

Plattenosteosynthesen, wie beispielsweise die Ender-Platte [33], haben sich zur Stabilisierung von Handwurzelfrakturen nicht durchgesetzt, da ihre Implantation im Vergleich zu den Doppelgewindeschrauben einen größeren Weichteilschaden verursacht. Eine gute Option stellen geeignete Platten aber im Rahmen von Arthrodesen dar (z. B. »four corner fusion« mit einer »spider plate«).

17.1.6 Nachbehandlung

Wurde intraoperativ eine übungsstabile Osteosynthese erzielt, reicht eine postoperative Schienenruhigstellung über 2 Wochen aus. In allen anderen Fällen und insbesondere bei ligamentären Begleitverletzungen sollte eine postoperative Ruhigstellung über mindestens 6 Wochen erfolgen. Die Kontrolle der knöchernen Heilung erfolgt durch konventionelle Röntgenaufnahmen, bedarfsweise kann eine CT im Verlauf durchgeführt werden.

17.1.7 Sonderformen

Luxationsfrakturen. Luxationsfrakturen stellen Sonderformen von Handwurzelfrakturen dar, die meist im Rahmen einer perilunären Verrenkung der Handwurzel entstehen. Auch bei diesen insgesamt seltenen Sonderformen ist das Scaphoid am häufigsten betroffen. Bei der sog. De-Quervain-Fraktur handelt es sich um eine perilunäre transscaphoidale Luxationsfraktur, beim Fenton-Syndrom um eine transscaphoidale, transcapitale perilunäre Luxationsfraktur. Prinzipiell kann in Abhängigkeit von der Handstellung und Gewalteinwirkung bei einer Luxation der Kraftfluss perilunär durch jeden der Handwurzelknochen verlaufen [34, 35], sodass hierfür zahlreiche Frakturmorphologien beschrieben sind.

Kinder. Kindliche Handwurzelfrakturen sind Raritäten. Unter diesen stehen wiederum die Kahnbeinfrakturen an 1. Stelle [36–40]. Gelegentlich können nach einem Handgelenkstrauma und bei anhaltenden Schmerzen okkulte Frakturen des Scaphoids mittels MRT nachgewiesen werden [13].

17.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Durch rechtzeitige Diagnosestellung und adäquate Therapie können die meisten Handwurzelfrakturen zur knöchernen Konsolidierung gebracht werden. Ein gutes funktionelles Ergebnis ist dann zu erwarten. Eine ausbleibende knöcherne Heilung ist insbesondere nach Scaphoidfrakturen möglich. Die resultierende Scaphoidpseudarthrose führt in 30–90% der Fälle zur Instabilität der Handwurzel mit nachfolgendem carpalem Kollaps und meist starker Funktionseinschränkung der Hand [20, 41, 42]. Auch nach Handwurzelluxationsfrakturen sind carpale Instabilitäten und erhebliche funktionelle Einschränkungen möglich [26, 28].

17.1.9 Begutachtung

Relevante Funktionseinschränkungen und Dauerschäden sind insbesondere als Folge einer knöchernen oder ligamentären Instabilität nach ausgebliebener Heilung von Scaphoidfrakturen oder perilunären Luxationsfrakturen möglich. In diesen Fällen kann ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 20, bei fortgeschrittenem carpalem Kollaps in seltenen Fällen bis 30 begründet sein [43, 44]. Alle anderen Handwurzelfrakturen führen aufgrund ihrer guten Heilungsprognose regelhaft zu ein GdB/MdE von <10.

17.2 Mittelhand

Definition. Mittelhandfrakturen können alle 5 Mittelhandknochen betreffen, wobei den Frakturen des 1. Mittelhandknochens aufgrund dessen funktioneller Ausnahmestellung eine besondere Bedeutung zukommt.

17.2.1 Mechanismus

Mittelhandfrakturen sind Folge einer direkten oder indirekten Gewalteinwirkung im Rahmen von Arbeits- und Sportunfällen, häufig auch durch körperliche Auseinandersetzungen (»Boxerfraktur«). Entsprechend finden sie sich besonders häufig bei jungen, aktiven Männern. Aufgrund der meist direkten Gewalteinwirkung besteht oft ein entsprechender Weichteilschaden.

17.2.2 Klinik

Mittelhandfrakturen gehen mit einer mehr oder minder starken Weichteilschwellung und schmerzhaften Bewegungseinschränkung einher. Achsabweichungen oder Verkürzungen können bei ausgeprägter und schmerzhafter Schwellung anfangs nur schwer zu erkennen sein. Bei basisnahen Frakturen kann die Funktionseinschränkung

sehr gering ausgeprägt sein. Nach Verletzungen durch Schlägereien muss sorgfältig nach Bisswunden und einer Verletzung tieferliegender Strukturen gefahndet werden. Darüber hinaus sollte bei der klinischen Untersuchung insbesondere auf das mögliche Vorliegen einer Torsionsabweichung geachtet werden, da diese die weitere Therapieentscheidung wesentlich beeinflusst.

17.2.3 Diagnostisches Vorgehen

Grundsätzlich sollte bei Verdacht auf Vorliegen einer Mittelhandfraktur eine konventionelle Röntgendiagnostik in 3 Ebenen (dorsopalmarer, schräger und seitlicher Strahlengang) erfolgen [46]. Dabei dient die exakt seitliche Aufnahme insbesondere der Darstellung basisnaher Frakturen und carpometacarpaler Luxationen, die im dorsopalmaren Strahlengang und in Schrägprojektionen häufig nicht erkennbar sind. Bei isolierten Verletzungen des 1. Strahls ist dagegen die Darstellung des 1. Mittelhandknochens in 2 Ebenen (dorsopalmar und seitlich) ausreichend. Bei artikulären Frakturen kann in Einzelfällen die Durchführung einer hochauflösenden Computertomographie mit sagittaler und coronarer Rekonstruktion hilfreich sein, um das Ausmaß der Gelenkbeteiligung zu erkennen und eine bessere Therapieplanung zu ermöglichen. Dies trifft insbesondere auf die Basisfrakturen des 1. Mittelhandknochens zu.

17.2.4 Klassifikation

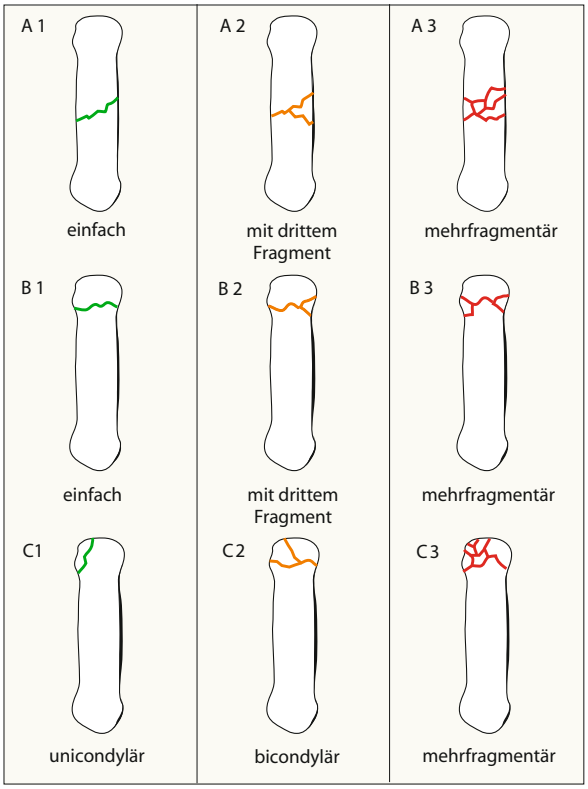
AO-Klassifikation

In der AO-Klassifikation der Handskelettfrakturen [47, 48] werden die Metacarpalstrahlen durch die 2. Zahl definiert. Die 3. Zahl ist einheitlich für alle Mittelhandknochen als 0 festgelegt. Dementsprechend werden z. B. Metacarpale 1 mit 710 und Metacarpale 3 mit 730 kodiert (◘ Abb. 17.1). Die 4. Zahl bezeichnet die genaue Lokalisation der Fraktur am jeweiligen Mittelhandknochen (1 proximal, 2 Schaftmitte, 3 distal).

Schließlich kann für jede Fraktur unterschieden werden zwischen diaphysären (Typ A), metaphysären (Typ B) und artikulären (Typ C) Frakturen. Wiederum ist für jeden Typ eine weitere Differenzierung in je 3 Gruppen (1–3) möglich (◘ Abb. 17.8).

Wichtig

Trotz ihrer übersichtlichen Systematik konnte sich die AO-Klassifikation im klinischen Alltag bisher nicht durchsetzen. Auch eine andere gebräuchliche Klassifikation existiert für die Mittelhandknochen 2–5 nicht.



◘ Abb. 17.8. AO-Klassifikation der Mittelhandfrakturen
a Typ A: Diaphysäre Frakturen
A1: Einfach
A2: Mit 3. Fragment
A3: Mehrfragmentär
b Typ B: Metaphysäre Frakturen
B1: Einfach
B2 Mit 3. Fragment
B3 Mehrfragmentär
c Typ C: Gelenkfrakturen
C1: Unicondylär
C2: Bicondylär
C3: Mehrfragmentär

Sonstige

Mittelhandfrakturen werden im klinischen Alltag vielmehr nach ihrer *Morphologie* und *Lokalisation* beschrieben. Bezüglich der Lokalisation unterscheidet man zwischen

- Basisfrakturen,
- Schaftfrakturen,
- Halsfrakturen,
- Kopffrakturen.

Ergänzend beschrieben werden

- Dislokation,
- Instabilität,
- Gelenkbeteiligung,
- Weichteilschaden.

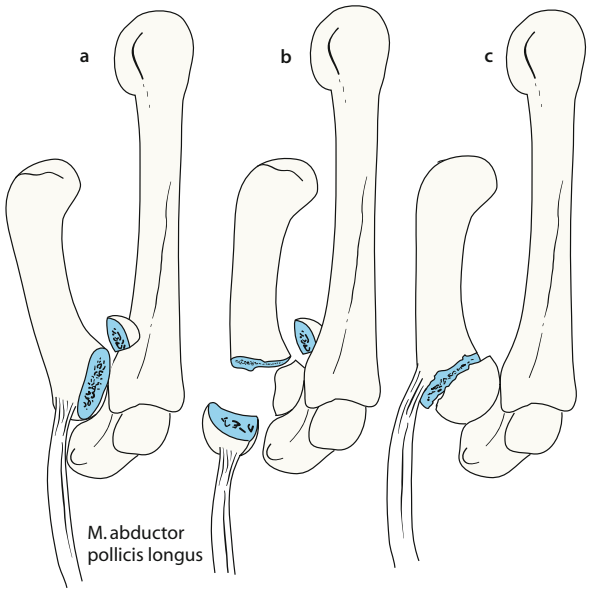


Abb. 17.9. Einteilung der Basisfrakturen des Metacarpale 1
a Bennett-Fraktur
b Rolando-Fraktur
c Winterstein-Fraktur

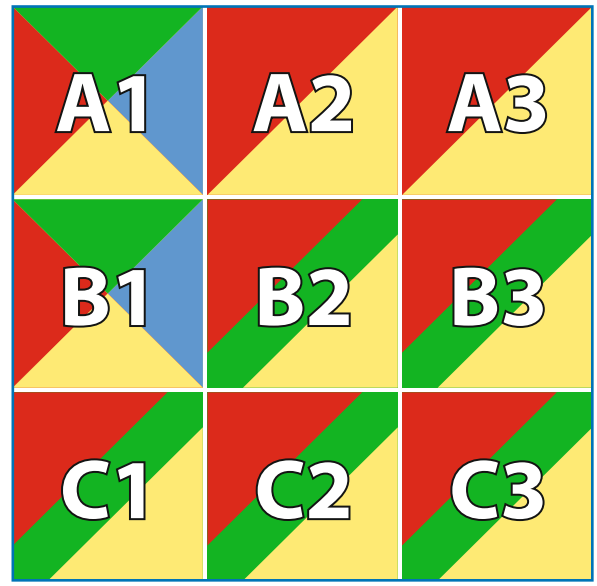


Abb. 17.10. Therapieoptionen bei Frakturen der Mittelhandknochen. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Drahtosteosynthese

Für die Basisfrakturen des 1. Mittelhandknochens hat die Einteilung in Bennett-, Rolando- und Winterstein-Frakturen allgemeine Verbreitung gefunden (Abb. 17.9).

- Bei der *Bennett-Fraktur* [49] handelt es sich um eine artikuläre Zweiteilefraktur mit retiniertem, kleinem palmarem Fragment (Bennett-Fragment) und typischer proximal-dorsaler Dislokation des Schaftfragments.
- Als *Rolando-Frakturen* [50] werden artikuläre Mehrteilefrakturen beschrieben.
- Eine *Winterstein-Fraktur* [51] ist dagegen eine extraartikuläre, proximale Schaftquer- oder -schrägfraktur.

Allen 3 Frakturtypen gemeinsam ist die meist vorliegende Dislokation und Instabilität, weshalb nur in wenigen Fällen eine konservative Therapie erfolgen kann.

17.2.5 Therapeutisches Vorgehen

Wichtig

Das vorrangige Ziel der Behandlung von Metacarpalfrakturen ist die Wiederherstellung der Greiffunktion.

Auch unbehandelt heilen die meisten Frakturen innerhalb weniger Wochen aus. Verbleibende Fehlstellungen können aber zu erheblichen funktionellen Einschränkungen führen. Instabilität und Dislokation (insbesondere eine Torsionsabweichung) sowie Weichteilschäden stellen deshalb Indikationen zur operativen Behandlung dar. Vor allem die instabilen und dislozierten Frakturen der Basis des 1. Mittelhandknochens bedürfen in den meisten Fällen einer operativen Therapie.

Als operative Verfahren kommen Osteosynthesen mit Drähten, Schrauben und Platten zur Anwendung. Empfehlungen zur Wahl des Behandlungsverfahrens anhand der AO-Klassifikation sind in Abb. 17.10 dargestellt.

Konservative Therapie

Prinzipiell ist eine konservative Therapie bei allen stabilen Frakturen ohne Torsionsabweichung oder klinisch relevante Verkürzung möglich (Abb. 17.11). Die Ruhigstellung sollte möglichst kurzfristig erfolgen und nicht verletzte Abschnitte der Hand aussparen. Insbesondere sind unnötige Gelenkimmobilisationen zu vermeiden.

Zur Ruhigstellung von Mittelhandfrakturen sind dorsale oder palmare Schienen aus Gipsbinden, Kunststoff oder thermoplastischem Material geeignet.

Die Dauer der Ruhigstellung im Rahmen einer konservativen Frakturbehandlung richtet sich v. a. nach dem klinischen Kriterium des Verschwindens von Druckschmerzen im Frakturbereich. Radiologisch ist die Frakturheilung meist erst deutlich später nachweisbar.

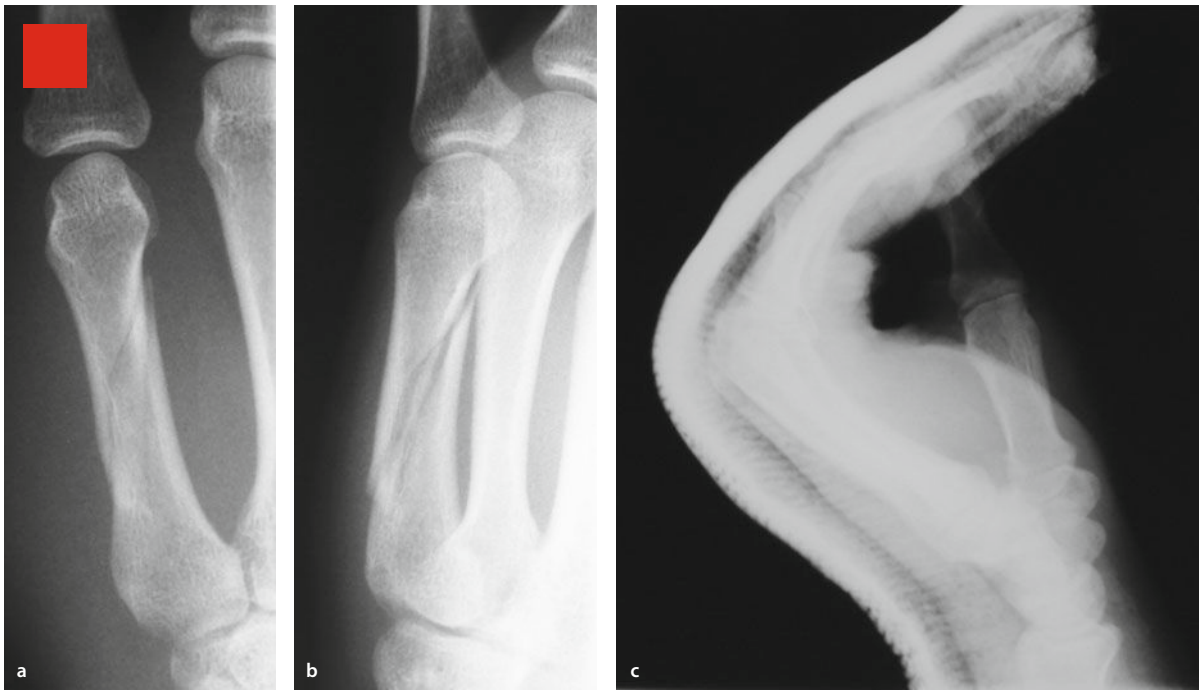


Abb. 17.11. 28 Jahre, männlich. Einklemmung der Hand zwischen Metallteilen. Gering dislozierte Schaftfraktur des Metacarpale 5 (Typ A2 nach AO). Konservative Therapie: Korrekte Gipsruhigstellung in Intrinsic-plus-Position

Eine frühe funktionelle Weiterbehandlung ist anzustreben [46].

Drahtosteosynthese

Die Kirschner-Drahtosteosynthese kann bei den Metacarpalfrakturen für bestimmte Indikationen und in definierten Techniken mit gutem Erfolg angewendet werden. Besonders geeignet ist die Kirschner-Drahtosteosynthese für die proximalen und distalen gelenknahen und gelenkbeteiligenden Mittelhandbrüche.

Kirschner-Drähte können zur perkutanen oder offenen Fixierung kleiner, insbesondere artikulärer Fragmente verwendet werden. In diesem Sinne kommen sie bei den Basisfrakturen des 1. Mittelhandknochens häufig zum Einsatz. Darüber hinaus ermöglichen sie eine temporäre Transfixation wie z. B. bei carpometacarpalen Luxationen und Luxationsfrakturen (Abb. 17.12).

Eine Sonderform der Drahtosteosynthese stellt die antegrade, intermedulläre Drahtosteosynthese der subcapitalen Metacarpalfrakturen in der von *Foucher* [52, 53] beschriebenen Technik dar. Diese Methode kann insbesondere für die Frakturen des Metacarpale 5, aber auch des Metacarpale 2 sehr gut angewendet werden. Als Implantate kommen je nach Größe des zu versorgenden Mittelhandknochens 2 Kirschner-Drähte von 1,2–1,6 mm Durchmesser zum Einsatz, deren Enden leicht hockeyschlägerförmig umgebogen sind (Abb. 17.13). Möglich ist auch die Versorgung mit einem einzelnen dicken oder mit 3–4 dünnen Drähten [54]. Das Verfahren erlaubt eine geschlossene Reposition und übungsstabile Fixation.

Die operative Versorgung von subcapitalen Frakturen der Metacarpalia ist indiziert bei Vorliegen einer Torsionsabweichung und bei Kopfabkippungen >30° [55–58]. Die perkutane, retrograde Drahtosteosynthese bei distalen Metacarpalfrakturen geht mit dem erheblichen Risiko einer Verletzung oder Fixierung der Streckerhaube einher und sollte deshalb nicht mehr durchgeführt werden [54].

Schraubenosteosynthese

Osteosynthesen mit geeigneten, klein dimensionierten Schrauben kommen v. a. bei artikulären Frakturen der Metacarpalköpfe und Basisfrakturen des 1. Mittelhandknochens zur Anwendung. Unter Letzteren sind Frakturen vom Bennett-Typ (Abb. 17.14) besonders geeignet, Schrauben können aber auch zur Fixierung einzelner Fragmente bei Rolando-Frakturen eingesetzt werden. Im Schaftbereich der Metacarpalia sind alleinige Zugschraubenosteosynthesen bei langen Schräg- und Spiralfrakturen einsetzbar. Sofern bei diesen aber keine Übungsstabilität erzielt werden kann, sollte eine Plattenosteosynthese vorgezogen werden.



Abb. 17.12. 31 Jahre, männlich. Quetschtrauma in einer rotierenden Maschine. Carpometacarpale Serienluxationsfraktur des 2–5. Strahls. Offene Reposition und transfixierende Osteosynthese mit Kirschner-Drähten



Abb. 17.13. 26 Jahre, männlich. Faustschlag bei tätlicher Auseinandersetzung. Subcapitale Fraktur des 5. Mittelhandknochens mit deutlicher Achsabweichung (Typ B2 nach AO). Geschlossene Reposition und intramedulläre Markraumdrahtung nach Foucher



Abb. 17.14. 34 Jahre, männlich. Stauchung beim Auffangen eines schweren Gegenstandes. Luxationsfraktur der Basis des Metacarpale 1 (Bennett-Fraktur). Offene Reposition und Osteosynthese durch Minischraube

Plattenosteosynthese

Plattenosteosynthesen sind zur übungsstabilen Versorgung von diaphysären Frakturen der Metacarpalia hervorragend geeignet. Sie sollten über weichteilschonende Zugänge von dorsal eingebracht werden, um dem biomechanischen Prinzip der Zuggurtung zu genügen (◘ Abb. 17.15).

Die Rekonstruktion der zwischen Platte und Strecksehnen liegenden Gleitschicht ist anzustreben, um Sehnenverklebungen zu vermeiden. Auch offene Serienfrakturen können sehr gut durch Plattenosteosynthesen versorgt werden und bieten dann durch die erheblich höhere Stabilität die Vorteile des postoperativen Verzichts auf längere Ruhigstellungen und der Möglichkeit einer funktionellen Nachbehandlung. Weichteildefekte sollten frühzeitig mit geeigneten Lappenplastiken gedeckt werden.

Winkelstabile Plattenosteosynthesen können aufgrund ihrer hohen Stabilität in beliebiger Position, d. h. nicht nur auf der dorsalen Zuggurtungsseite angewendet werden. Ihr Einsatz scheint v. a. bei den Basisfrakturen des Metacarpale 1 vom Typ Rolando und Winterstein sinnvoll (◘ Abb. 17.16).



◘ **Abb. 17.15. 25 Jahre, männlich. Einklemmung der Hand unter einem herabfallenden Stein.** Im Gips (**a, b**) nicht retinierbare Schaftfraktur des Metacarpale 2 (Typ A3 nach AO). Osteosynthese durch Zugschraube und Miniplatte (**c, d**)

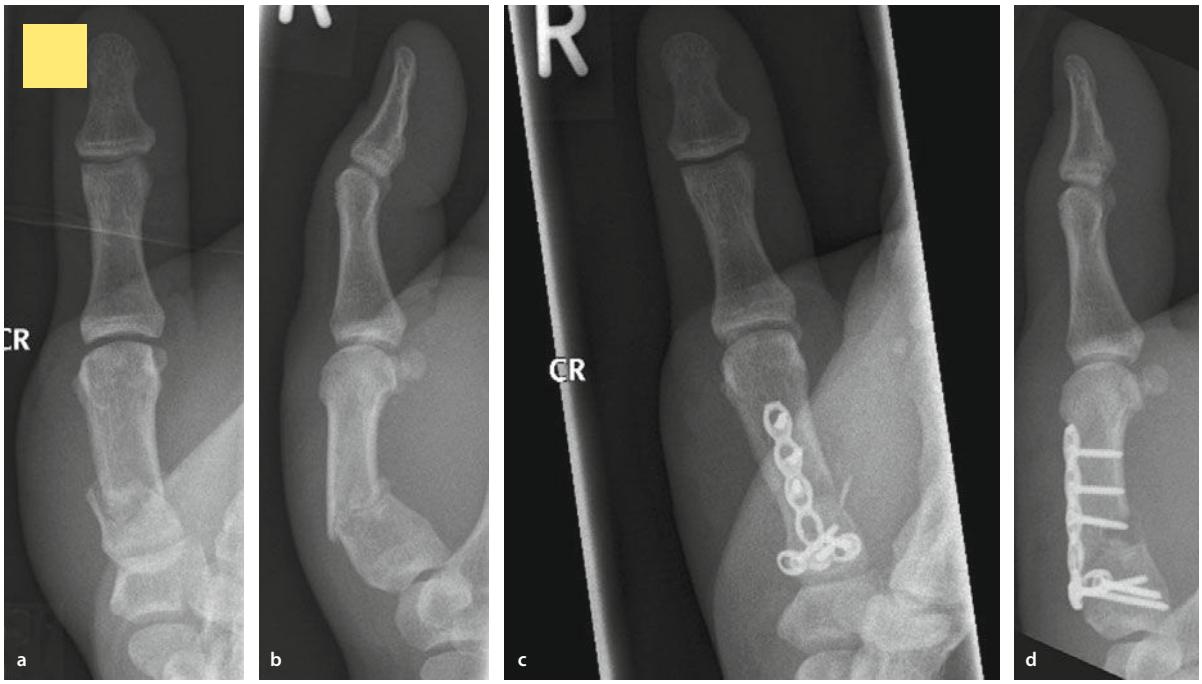


Abb. 17.16. 24 Jahre, männlich. Sturz mit Stauchung des Daumenstrahls. Instabile proximale Metacarpale-1-Fraktur (Typ Winterstein) mit palmarer Defektzone. Osteosynthese mit winkelstabiler Miniplatte

17.2.6 Nachbehandlung

Postoperativ hat sich eine kurzfristige Ruhigstellung in einer Unterarmschiene bis zum Abschwellen der Weichteile bewährt. Die physiotherapeutische Weiterbehandlung kann spätestens nach dem 1. Verbandwechsel mit Entfernen der Drainage beginnen. Sofern die Stabilität der Osteosynthese oder die Weichteilverhältnisse den Verzicht auf eine Ruhigstellung noch nicht zulassen, sollten die Fingergelenke zur Beübung frei bleiben.

Die Kontrolle der knöchernen Heilung erfolgt durch konventionelle Röntgenaufnahmen. Bei konservativer Therapie ist das Verschwinden des Druckschmerzes im Frakturbereich (▶ Kap. 17.2.5) ein wichtiges klinisches Kriterium für die Beurteilung der Frakturheilung. Dabei ist zu beachten, dass die Frakturheilung radiologisch stets später als klinisch nachweisbar ist.

17.2.7 Sonderformen

Luxationsfrakturen. Neben den oben genannten Basisfrakturen des Metacarpale 1 stellen die carpometacarpalen Luxationsfrakturen eine besondere Entität dar. Deren Erfassung bedarf der standardisierten Röntgenuntersuchung in 3 Ebenen, wobei besonders die streng seitliche Aufnahme diagnosesichernd ist. Zusätzlich kann eine Computertomographie in Dünnschichttechnik zur Erkennung bzw. zum Ausschluss weiterer knöcherner Verletzungen der Handwurzel und zur Therapieplanung sinnvoll sein. Die Therapie erfolgt durch geschlossene oder offene Reposition und carpometacarpale Transfixation mit Kirschner-Drähten.

17.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Metacarpalfrakturen zeichnen sich durch eine rasche knöcherne Heilung aus. Pseudarthrosen stellen eine absolute Rarität dar. Wesentlich für das funktionelle Ergebnis sind einerseits das Ausmaß der unfall- und eingriffsbedingten Weichteilschädigung sowie die Effektivität der postoperativen Übungsbehandlung. Andererseits ist die nach der Ausheilung vorliegende Knochenform nicht nur von kosmetischer, sondern auch funktioneller Bedeutung. Während Verkürzungen und Achsenfehlstellungen ebenso wie Kopfverkippungen nach subcapitalen Frakturen oft in erstaunlichen Ausmaßen funktionell kompensiert werden, führen Torsionsabweichungen durch Störung des Faustschlusses zu erheblichen funktionellen Einbußen.

Obwohl bei den Basisfrakturen des Metacarpale 1 eine Wiederherstellung der Gelenkflächenform ange-

strebt werden sollte, werden verbliebene Gelenkstufen bis hin zu posttraumatischen Arthrosen häufig erstaunlich gut toleriert [59–62].

17.2.9 Begutachtung

Relevante Funktionseinschränkungen und Dauerschäden sind aufgrund der guten Heilungsprognose von Mittelhandfrakturen selten. Bedeutsame Unfallfolgen können insbesondere nach Serienfrakturen oder Frakturen mit schweren Weichteilschäden verbleiben. In diesen Fällen kann ein Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 20, in seltenen Fällen bis 30 begründet sein [63, 64]. Im Allgemeinen wird nach isolierten Mittelhandfrakturen ein GdB/MdE von 10 selten überschritten.

17.3 Finger

Definition. Fingerfrakturen können alle 5 Strahlen betreffen. Entsprechend der Anatomie können am Daumen Brüche des Grund- und Endgliedes vorliegen, an den 3-gliedrigen Fingern dagegen Brüche von Grund-, Mittel- und Endglied.

Die Therapie von Frakturen des Daumens unterscheidet sich trotz der abweichenden Anatomie nicht wesentlich von der Behandlung der Langfinger.

17.3.1 Mechanismus

Fingerfrakturen entstehen als Folge einer direkten oder indirekten Gewalteinwirkung, meist im Rahmen von Arbeits- und Sportunfällen. Sie kommen in allen Altersgruppen vor. Direkte Gewalteinwirkungen führen zusätzlich zur Fraktur häufig zu relevanten Weichteilschäden.

17.3.2 Klinik

Das klinische Erscheinungsbild bei Fingerfrakturen variiert in Abhängigkeit vom Ausmaß der Dislokation und Instabilität. Neben Schwellungen und schmerzhaften Bewegungseinschränkungen imponieren insbesondere Achs- und Torsionsabweichungen. Bei extraartikulären, stabilen Frakturen können Klinik und funktionelle Beeinträchtigung nur gering ausgeprägt sein.

Bei gelenknahen Verletzungen sollte erst nach radiologischem Frakturausschluss eine klinische Stabilitätsprüfung der Bandstrukturen erfolgen.

Ein subunguales Hämatom kann auf eine Endgliedfraktur hinweisen. Knöcherne Strecksehnenausrisse der Endgliedbasis können durch ein hängendes Endglied auffallen.

Der Weichteilschaden verdient auch bei geschlossenen Verletzungen besondere Beachtung. Nach streckseitigen Gewalteinwirkungen können ausgeprägte Hautschäden und Weichteilverluste resultieren, die einer primären Berücksichtigung im Therapiekonzept bedürfen.

17.3.3 Diagnostisches Vorgehen

Bei klinischem Verdacht auf Vorliegen einer Fingerfraktur sollte der betroffene Finger stets einzeln in 2 Ebenen (dorsopalmar und seitlich) geröntgt werden. Dabei ist auf eine exakt eingestellte seitliche Röntgenaufnahme besonderer Wert zu legen, da nur diese die Abbildung typischer Fingerfrakturen, wie z. B. Ausrisse der palmaren Platte oder der Strecksehnen ermöglicht. Schrägaufnahmen liefern nur in seltenen Fällen zusätzliche Informationen und sind im Rahmen der primären Diagnostik der standardisierten Röntgenuntersuchung in 2 rechtwinklig zueinander angeordneten Ebenen unterlegen [65]. In seltenen Einzelfällen kann beim Vorliegen einer artikulären Fraktur die Durchführung einer hochauflösenden Computertomographie zur Therapieplanung hilfreich sein.

17.3.4 Klassifikation

AO-Klassifikation

In der AO-Klassifikation der Handskelettfrakturen [66, 67] werden die Fingerstrahlen durch die 2. Zahl definiert, z. B. 71 für den Daumenstrahl und 75 für den Kleinfingerstrahl (Abb. 17.1). Die 3. Zahl dient der Festlegung des betroffenen Fingergliedes (Phalanx):

- 1 Grundglied,
- 2 Mittelglied,
- 3 Endglied.

Die 4. Zahl bezeichnet (wie an den Metacarpalia) die genaue Lokalisation der Fraktur an der jeweiligen Phalanx:

- 1 proximal,
- 2 Schaftmitte,
- 3 distal.

Für jede Fraktur kann unterschieden werden zwischen diaphysären (Typ A), metaphysären (Typ B) und artikulären (Typ C) Frakturen. Wiederum ist für jeden Typ eine weitere Differenzierung in je 3 Gruppen (1–3) möglich (Abb. 17.17). Trotz ihrer übersichtlichen Systematik konnte sich die AO-Klassifikation im klinischen Alltag bisher nicht durchsetzen.

Sonstige

Fingerfrakturen werden im klinischen Alltag vielmehr nach ihrer *Morphologie* und *Lokalisation* beschrieben. Bezüglich der Lokalisation unterscheidet man zwischen

- Basisfrakturen,
- Schaftfrakturen,
- Halsfrakturen und
- Kopffrakturen.

Ergänzend beschrieben werden

- Dislokation,
- Instabilität,
- Gelenkbeteiligung und
- Weichteilschaden.

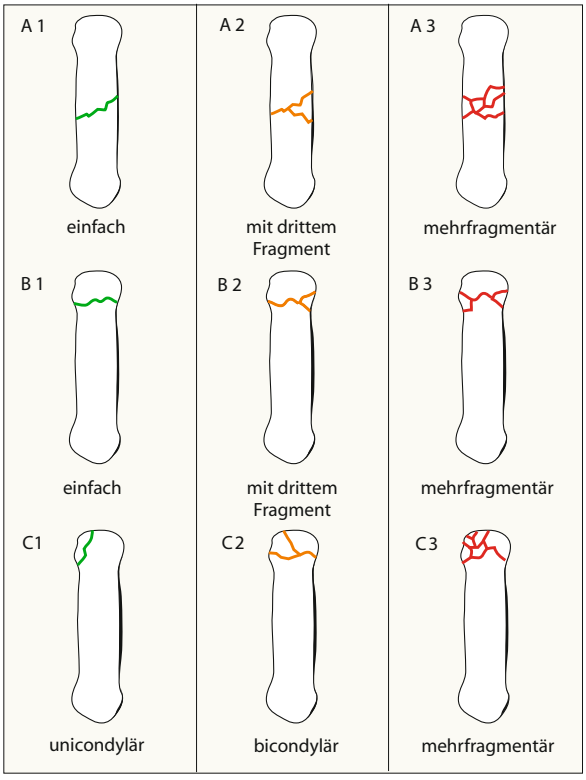


Abb. 17.17. AO-Klassifikation der Fingerfrakturen
a Typ A: Diaphysäre Frakturen
A1: Einfach
A2: Mit 3. Fragment
A3: Mehrfragmentär
b Typ B: Metaphysäre Frakturen
B1: Einfach
B2 Mit 3. Fragment
B3 Mehrfragmentär
c Typ C: Gelenkfrakturen
C1: Unicondylär
C2: Bicondylär
C3: Mehrfragmentär

Besondere Verletzungen stellen die *Ausrissfrakturen* des Streckapparates an der Basis des Endgliedes und Mittelgliedes sowie die knöchernen Ausrisse der palmaren Platte an der Mittelgliedbasis dar. Für Letztere existiert eine Einteilung in 6 Typen nach *Hintringer und Leixnering* [68], die aufgrund ihrer therapeutischen und prognostischen Relevanz allgemeine Verbreitung gefunden hat.

17.3.5 Therapeutisches Vorgehen

Wichtig
Ebenso wie bei Mittelhandfrakturen ist bei Fingerfrakturen das wesentliche Therapieziel die Wiederherstellung der Greiffunktion.

Die knöcherne Heilung erfolgt an den Fingern rasch, d. h. in der Regel innerhalb von 4 Wochen. Heilungen in Fehlstellung können in Abhängigkeit vom Ausmaß der Achs- und Rotationsabweichung zu geringen bis erheblichen funktionellen Einschränkungen führen. Die Indikationsstellung zur operativen Behandlung von Fingerfrakturen ist deshalb, neben der Berücksichtigung des Weichteilschadens, vom Ausmaß der Dislokation und Instabilität sowie von der zu erwartenden funktionellen Einschränkung abhängig zu machen.

Die Osteosynthese von Fingerfrakturen kann durch Drähte, Schrauben und Platten erfolgen. Empfehlungen zur Wahl des Behandlungsverfahrens anhand der AO-Klassifikation sind in Abb. 17.18 dargestellt.

Konservative Therapie

Für eine konservative Therapie sind alle stabilen sowie nicht oder gering dislozierten Fingerfrakturen geeignet (Abb. 17.19). Auch primär dislozierte, nach Reposition aber stabil retinierbare Frakturen können konservativ behandelt werden.

Die Ruhigstellung sollte wegen der zu erwartenden schnellen Frakturheilung nur kurzfristig erfolgen. Dabei sollten unverletzte Abschnitte der Hand möglichst frei bleiben und unnötige Gelenkimmobilisationen vermieden werden. Die Ruhigstellung der Langfinger sollte grundsätzlich in der sog. Intrinsic-plus-Position vorgenommen werden, d. h. in Beugung der Grundgelenke von mindestens 70° und gleichzeitiger Streckung der Mittel- und Endgelenke (Abb. 17.11), um der Schrumpfung der Kapsel- und Bandstrukturen und damit Gelenkkontrakturen vorzubeugen [65, 69, 70].

Zur Ruhigstellung von Fingerfrakturen sind dorsale oder palmare Schienen aus Gipsbinden, Kunststoff oder thermoplastischem Material geeignet. Für Endgliedfrakturen, auch im Falle der dorsalen Endgliedbasisfrakturen,

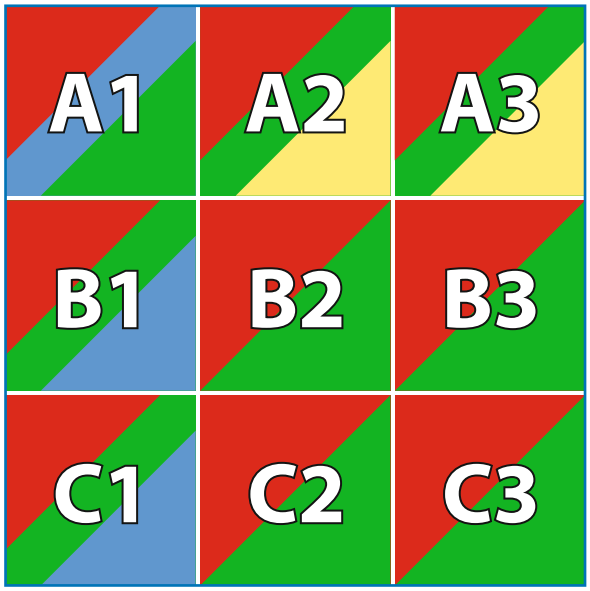


Abb. 17.18. Therapieoptionen bei Fingerfrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Drahtosteosynthese

können konfektionierte Stack- oder individuell angefertigte thermoplastische Schienen verwendet werden.

Wesentliches klinisches Entscheidungskriterium für die Dauer der Ruhigstellung ist das Verschwinden des Druckschmerzes im Frakturbereich. Nach radiologischen Kriterien erfolgt die Frakturheilung erst deutlich später, was jedoch für die Freigabe des Fingers nicht relevant ist.

Auch bei Fingerfrakturen ist eine frühe Übungsbehandlung zu Vermeidung von Einsteifungen anzustreben [65, 70].

Drahtosteosynthese

Die Kirschner-Drahtosteosynthese ist zur Versorgung nahezu aller Fingerfrakturen geeignet. Das Indikationsspektrum reicht von der einfachen Schaftfraktur (Abb. 17.20) bis hin zur multifragmentären artikulären Fraktur. Auch sehr kleine Fragmente können in der Regel noch durch dünne Bohrdrähte gefasst und fixiert werden.

Die Einbringung der Drähte kann perkutan oder offen erfolgen. Die Bohrdrahtosteosynthese zeichnet sich insbesondere durch eine geringe Invasivität und Weichteiltraumatisierung aus, wodurch Verklebungen der emp-

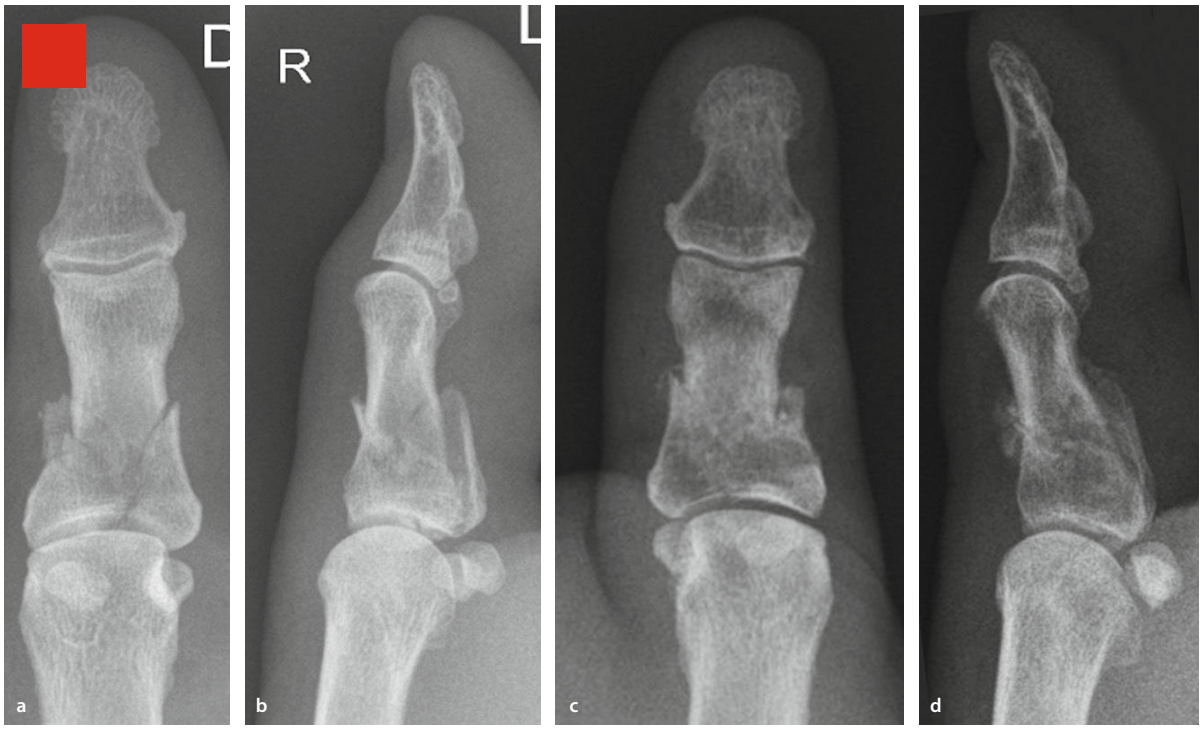


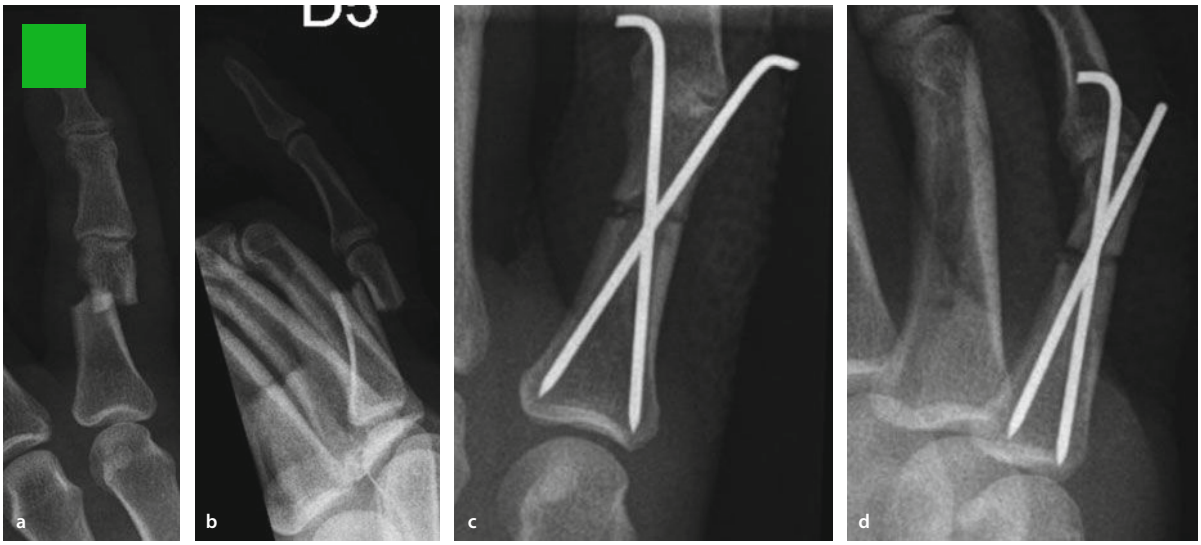
Abb. 17.19. 60 Jahre, männlich. Hammerschlag. Konservative Therapie einer artikulären Daumengrundgliedfraktur (Typ C2 nach AO). Unveränderte Stellung und gute Remodellierung nach 4 Wochen

findlichen Sehnengleitschichten reduziert werden. Durch Drahtosteosynthesen kann in vielen Fällen Übungsstabilität erzielt und damit eine funktionelle Weiterbehandlung ermöglicht werden.

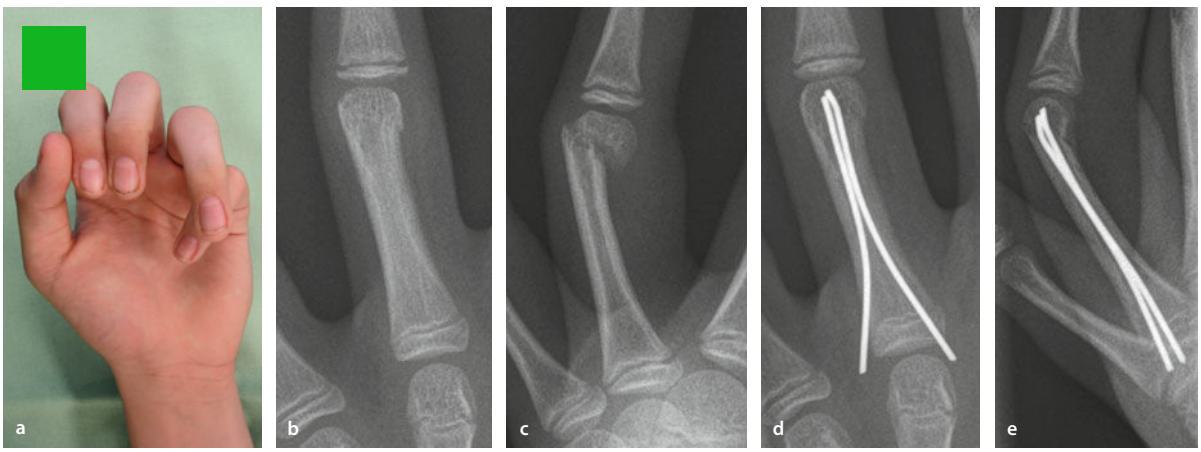
Intramedulläre Drahtosteosynthesen können in geeigneten Fällen bei Grund- und Mittelgliedfrakturen durchgeführt werden. In Anlehnung an das von Foucher für die subcapitalen Metacarpalfrakturen beschriebene Vorgehen [71, 72] können Hals- und Schaftfrakturen der Phalangen ebenfalls minimalinvasiv mit in den Markraum eingebrachten Drähten übungsstabil versorgt werden (◘ Abb. 17.21).

Schraubenosteosynthese

Minifragmentschrauben sind an den Fingern zur Osteosynthese einfacher Schaftfrakturen und zur Fixierung artikulärer Fragmente geeignet. Trotz der Verfügbarkeit sehr kleiner Implantate stellen derartige Osteosynthesen hohe Anforderungen an den Operateur. Insbesondere die Stabilisierung kleiner gelenkflächentragender Fragmente kann technisch sehr anspruchsvoll sein. Gute Indikationen für alleinige Schraubenosteosynthesen sind proximale und distale artikuläre Frakturen der Grund- und Mittelglieder sowie dorsale Endgliedbasisfrakturen und Spiralfrakturen (◘ Abb. 17.22). Vorteilhaft ist die im Vergleich zu



◘ **Abb. 17.20. 42 Jahre, männlich. Einklemmung in einer Tür.** Drahtosteosynthese einer stark dislozierten Schaftfraktur des Kleinfingergrundgliedes (Typ A1 nach AO). *Ein Kreuzen der Drähte in Frakturhöhe kann die Stabilität der Osteosynthese beeinträchtigen, ist aber aus operationstechnischen Gründen nicht immer vermeidbar*



◘ **Abb. 17.21. 13 Jahre, männlich. Ballanprall.** Subcapitale Grundgliedfraktur (Typ B1 nach AO) mit erheblicher Rotationsabweichung. Antegrade intramedulläre Drahtosteosynthese

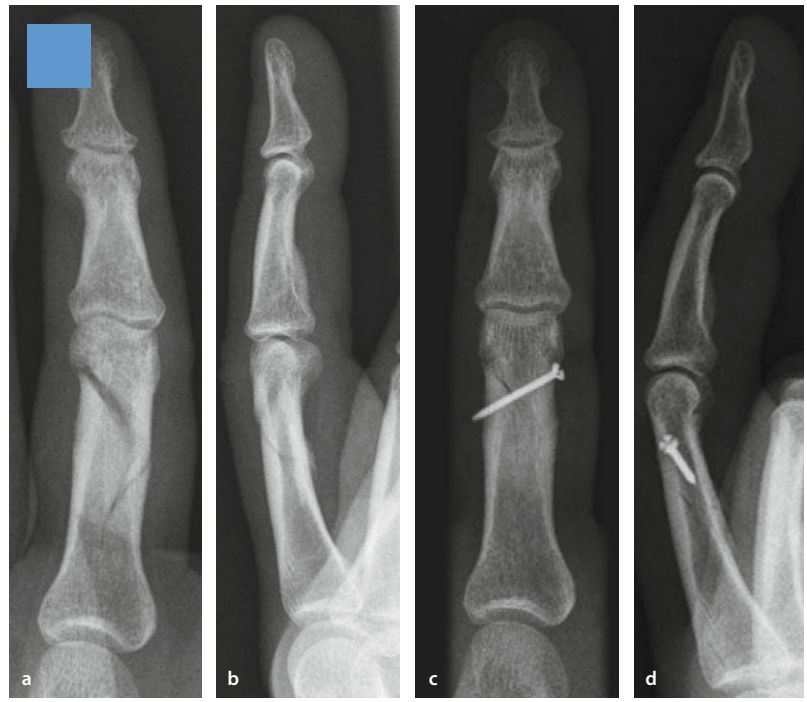


Abb. 17.22. 47 Jahre, männlich. Hängenbleiben an der Hundeleine. Dislozierte Grundgliedspiralfraktur (Typ A1 nach AO). Schraubenosteosynthese nach minimalinvasiver perkutaner Verschraubung; übungsstabil

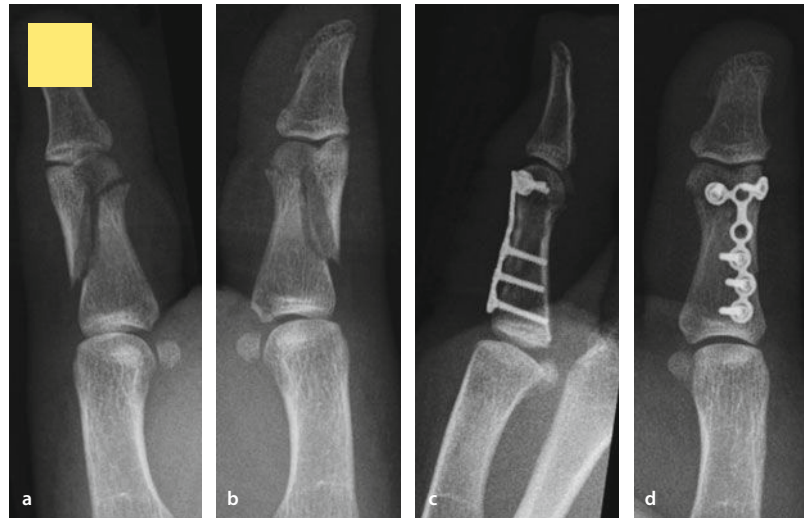


Abb. 17.23. 21 Jahre, männlich. Verdrehtrauma in einem Rohr. Stark dislozierte Daumengrundgliedfraktur (Typ A2 nach AO). Osteosynthese mit winkelstabiler Miniplatte

Drahtosteosynthesen höhere Stabilität, wodurch die frühfunktionelle Weiterbehandlung erleichtert wird.

Plattenosteosynthese

Platten sollten an den Phalangen angesichts deren nahezu kompletter Bedeckung mit Sehnen und Sehnengleitgewebe nur bei speziellen Indikationen und durch versierte Operateure verwendet werden. Derartige Indikationen sind Defekt- und Trümmer- sowie offene und veraltete Frakturen des Grundgliedes und nur äußerst selten des Mittelgliedes.

Typischerweise erfolgt die Plattenosteosynthese von dorsal. Dafür muss der Streckapparat zunächst längs inzidiert und nach erfolgter Osteosynthese ebenso wie alle Gleitschichten wieder anatomisch rekonstruiert werden. Auch für die Versorgung von Fingerfrakturen existieren winkelstabile Implantate (Abb. 17.23), deren vermutete Vorteile aber noch nicht durch aussagekräftige Studien belegt sind.

17.3.6 Nachbehandlung

Wichtig

In den meisten Fällen kann durch eine Osteosynthese Übungsstabilität erzielt werden, weshalb postoperativ lediglich eine kurzfristige Ruhigstellung bis zur Konsolidierung der Weichteile erforderlich ist. Dabei sollten unverletzte Handabschnitte stets von deren Ruhigstellung ausgenommen werden.

Aber auch wenn eine vollständige Freigabe des verletzten Fingers noch nicht möglich ist, sollte zumindest eine passive oder aktiv-assistierte physiotherapeutische Weiterbehandlung frühzeitig begonnen werden. Besonderer Wert ist auf die Vermeidung einer Beugekontraktur der Fingermittelgelenke zu legen. Der Patient sollte zu Eigenübungen angeleitet werden. Klinische Kontrollen erlauben anhand des Verschwindens des Druckschmerzes im Frakturbereich die individuelle Bewegungs- und Belastungssteigerung. Durch konventionelle Röntgenuntersuchungen kann die Frakturheilung erst deutlich später dokumentiert werden [65, 70].

17.3.7 Sonderformen

Dorsale Endgliedbasisfrakturen. Diese Frakturen können im Sinne eines knöchernen Abrisses der Pars terminalis des Streckapparates oder als Stauchungsfrakturen vorliegen. Sie können in Abhängigkeit von Größe und Dislokation des Ausrissfragments vielfach konservativ behandelt werden und bedürfen nicht in allen Fällen einer operativen Fixation [65, 73].

Insgesamt zeichnet sich eine Tendenz zur Bevorzugung der konservativen Therapie ab. Voraussetzung für ein nichtoperatives Vorgehen ist allerdings, dass in Streckstellung des Endgelenks in der Stack-Schiene radiologisch keine Luxation oder Subluxation des distalen Hauptfragments nach palmar vorliegt. Nach klinischen Erfahrungen sind knöcherne Heilungen und gute funktionelle Ergebnisse auch bei verbliebener Distanzierung des dorsalen Basisfragments möglich. Bei (Sub-)Luxationen oder beim Vorliegen eines sehr großen Fragments sollte jedoch eine Osteosynthese mit dünnen Drähten oder Minischrauben erfolgen.

Abrissfrakturen der palmaren Platte. Diese Frakturen finden sich insbesondere an der Basis des Mittelgliedes (Abb. 17.24). Sie können anhand der Klassifikation von Hintringer und Leixnering [68] eingeteilt werden, die Fragmentgröße, Dislokation und Instabilitätsgrad berücksichtigt. Allgemein gilt, dass Abrissfrakturen der palmaren Platte überwiegend konservativ durch kurzfristige Ruhigstellung des Mittelgelenks, z. B. mittels PIP-Stack-Schiene, behandelt werden. Die Ruhigstellung sollte bereits nach einer Woche wieder aufgehoben werden; es sollte nun eine funktionelle Behandlung beginnen, um einer Kontraktur des Mittelgelenks vorzubeugen.

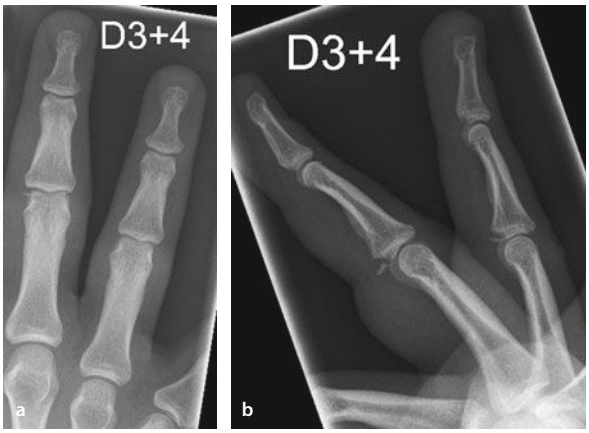


Abb. 17.24. 41 Jahre, männlich. Hyperextensionstrauma durch Ballanprall. Ausrissfrakturen der palmaren Platte von den Mittelgliedbasen des 3. und 4. Fingers. Konservative Therapie mit kurzfristiger Ruhigstellung und anschließender funktioneller Weiterbehandlung

Operative Refixationen sind nur sehr selten bei großen und verdrehten palmaren Abrissfragmenten zu erwägen. Dabei müssen das mit dem notwendigen palmaren Zugang verbundene erhebliche Weichteiltrauma und die zu erwartende postoperative Bewegungseinschränkung des sehr empfindlichen Mittelgelenks bedacht werden.

17.3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Fingerfrakturen zeichnen sich durch eine rasche knöcherne Heilung aus. Pseudarthrosen sind Raritäten. Das funktionelle Ergebnis und damit die Prognose werden von unfall- und behandlungsabhängigen Faktoren bestimmt.

Wesentlich sind das Ausmaß der trauma- und eingriffsbedingten Weichteilschädigung sowie Beginn, Dauer und Intensität der Übungsbehandlung. Die Wiederherstellung der knöchernen Anatomie ist insbesondere bei Gelenkflächenbeteiligungen sowie Achs- und Torsionsabweichungen bedeutsam. Allerdings können auch erhebliche artikuläre Deformitäten häufig durch ein Remodelling der Gelenkflächen erstaunlich gut funktionell kompensiert werden. Andererseits kommt es durch Verkürzung und Verklebung der periartikulären Weichteile, insbesondere nach Mittelgelenkverletzungen, häufig dauerhaft zu starken Bewegungseinschränkungen.

7

17.3.9 Begutachtung

Relevante Funktionseinschränkungen sind v. a. Folge von Bewegungseinschränkungen der Mittel- und Grundgelenke. In der gutachterlichen Einschätzung kann ein völlig funktionsloser Finger dem Verlust des Fingers gleichgesetzt werden, was in der gesetzlichen Unfallversicherung zu einem Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von maximal 10 führt. Folglich wäre ein GdB/MdE in rentenberechtigendem Ausmaß nur in dem seltenen Falle einer Fingerserienfraktur mit Ausheilung unter erheblicher Funktionseinbuße möglich [74, 75]. Im allgemeinen liegt der GdB/MdE nach isolierten Fingerfrakturen <10.

Literatur

Literatur zu Kap. 17.1

1. Amadio PC, Taleisnik J. Fractures if the carpal bones. Vol. 1 New York, Edinburgh, London, Melbourne: Churchill Livingstone; 1999. (Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC (eds) Operative Hand Surgery)
2. Böhler J, Kuderna H. Frakturen und Luxationen der peripheren Handwurzelreihe Stuttgart: Hippokrates; 1982. (Buck-Gramcko D, Nigst H (eds) Frakturen, Luxationen und Dissoziationen der Handwurzelknochen)
3. Leslie IJ, Dickson RA. The fractured carpal scaphoid. Natural history and factors influencing outcome. J Bone Joint Surg; 63-B: 225–30 (1981)
4. Frykman G. Fracture of the distal radius including sequelae–shoulder-hand-finger syndrome, disturbance in the distal radioulnar joint and impairment of nerve function. A clinical and experimental study. Acta Orthop Scand. 1967: Suppl 108: 3+
5. Mettler MO. Bericht über 357 Skaphoidfrakturen von 1971 bis 1977. Ergänzung und Vergleich zur Studie über 669 Fälle bis 1970 Stuttgart: Hippokrates; 1982. (Buck-Gramcko D, Nigst H (eds) Frakturen, Luxationen und Dissoziationen der Karpalknochen)
6. Pechlaner S, Kathrein A, Gabl M et al. Distale Radiusfrakturen und Begleitverletzungen – Experimentelle Untersuchungen zum Pathomechanismus. Handchir Mikrochir Plast Chir. 2002; 34 (3): 150–7
7. Weber ER, Chao EY. An experimental approach to the mechanism of scaphoid waist fractures. J Hand Surg [Am]. 1978; 3 (2): 142–8
8. Böhler L, Trojan E, Jahna H. Behandlungsergebnisse von 734 frischen einfachen Brüchen des Kahnbeinkorpers der Hand. Wiederherstellungschir Traumatol. 1954; II: 86–111
9. Schädel-Höpfner M, Böhringer G, Gotzen L. Die perkutane Osteosynthese der Skaphoidfraktur mit der Herbert-Whipple-Schraube–Technik und Resultate. Handchir Mikrochir Plast Chir. 2000; 32 (4): 271–6
10. Schädel-Höpfner M, Junge A, Böhringer G. Scapholunate ligament injury occurring with scaphoid fracture–a rare coincidence? J Hand Surg [Br]. 2005; 30 (2): 137–42
11. Breederveld RS, Tuinebreijer WE. Investigation of computed tomographic scan concurrent criterion validity in doubtful scaphoid fracture of the wrist. J Trauma. 2004; 57 (4): 851–4
12. Krimmer H, Schmitt R, Herbert T. Kahnbeinfrakturen. Diagnostik, Klassifikation und Therapie. Unfallchirurg. 2000; 103 (10): 812–9
13. Breitenseher MJ, Metz VM, Gilula LA et al. Radiographically occult scaphoid fractures: value of MR imaging in detection. Radiology. 1997; 203 (1): 245–50
14. Keim S, Mack M, Vogl T, Windolf J. Klinische Relevanz der MRT bei akuten Handgelenkverletzungen. Indikation und therapeutische Konsequenz. Unfallchirurg. 2003; 106 (2): 127–35
15. Petracic B, Siebert H. AO-Klassifikation der Frakturen des Handskeletts. Handchir Mikrochir Plast Chir. 1998; 30 (1): 40–4
16. Lögters TT, Linhart W, Schubert D, Windolf J, Schädel-Höpfner M. Diagnostic approach for suspected scaphoid fractures in children. Eur J Trauma Emerg Surg. 2008; 34 (2): 131–134
17. Petracic B, Siebert H. Klassifikation der Handskelettfrakturen nach Prinzipien der AO Berlin Heidelberg New York: Springer; 1989 [Müller ME, Nazarian S, Koch P (eds) AO-Klassifikation der Frakturen]
18. Herbert TJ. The fractured scaphoid St. Louis: Quality Medical Publishing; 1990
19. Russe O. Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. J Bone Joint Surg; 42-A: 759–68 (1960)
20. Krakauer JD, Bishop AT, Cooney WP. Surgical treatment of scapholunate advanced collapse. J Hand Surg [Am]. 1994; 19 (5): 751–9
21. Bhandari M, Hanson BP. Acute nondisplaced fractures of the scaphoid. J Orthop Trauma. 2004; 18 (4): 253–5
22. Bond CD, Shin AY, McBride MT, Dao KD. Percutaneous screw fixation or cast immobilization for nondisplaced scaphoid fractures. J Bone Joint Surg Am. 2001; 83-A (4): 483–8
23. Hanson B, Dettori J, Novell D. Acute nondisplaced scaphoid fractures. Operative versus nonoperative management. Orthopedic Trauma Directions. 2003; 1: 1–6
24. Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Fractures of the scaphoid: a rational approach to management. Clin Orthop & Relat Res. 1980 (149): 90–7
25. Eddeland A, Eiken O, Hellgren E, Ohlsson NM. Fractures of the scaphoid. Scand J Plast Reconstr Surg. 1975; 9 (3): 234–9
26. Garcia-Elias M, Irisarri C, Henriquez A et al. Perilunar dislocation of the carpus. A diagnosis still often missed. Ann Chir Main. 1986; 5 (4): 281–7
27. Herbert TJ, Fisher WE. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. J Bone Joint Surg 66-B: 114–123 (1984)
28. Herzberg G, Comtet JJ, Linscheid RL, Amadio PC, Cooney WP, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. J Hand Surg [Am]. 1993; 18 (5): 768–79
29. Siebert HR, Leixnering M, Braun M, Schädel-Höpfner M. Skaphoidfraktur. Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. AWMF online; 2008
30. Trumble TE, Gilbert M, Murray LW, Smith J, Rafijah G, McCallister WV. Displaced scaphoid fractures treated with open reduction and internal fixation with a cannulated screw. J Bone Joint Surg 82A: 633–641 (2000)
31. Wozasek GE, Moser KD. Percutaneous screw fixation for fractures of the scaphoid. J Bone Joint Surg 73-B: 138–142 (1991)
32. Brauer RB, Dierking M, Werber KD. Die Anwendung der Herbert-Schraube mit der Freehand-Methode zur Osteosynthese der frischen Skaphoidfraktur. Unfallchirurg. 1997; 100 (10): 776–81
33. Ender HG. Zur Behandlung von veralteten Bruchen und Pseudarthrosen des Kahnbeines mit der Kahnbeinplatte. Unfallheilkunde. 1977; 80 (12): 509–13
34. Mayfield JK. Mechanism of carpal injuries. Clin Orthop & Relat Res. 1980 (149): 45–54
35. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. J Hand Surg [Am]. 1980; 5 (3): 226–41
36. Christodoulou AG, Colton CL. Scaphoid fractures in children. J Pediatr Orthop. 1986; 6 (1): 37–9

37. D'Arienzo M. Scaphoid fractures in children. J Hand Surg [Br]. 2002; 27 (5): 424–6
38. Fabre O, De Boeck H, Haentjens P. Fractures and nonunions of the carpal scaphoid in children. Acta Orthop Belg. 2001; 67 (2): 121–5
39. Goddard N. Carpal fractures in children. Clin Orthop & Relat Res. 2005 (432): 73–6
40. Nafie SA. Fractures of the carpal bones in children. Injury. 1987; 18 (2): 117–9
41. Düppe H, Johnell O, Lundborg G, Karlsson M, Redlund-Johnell I. Long-term results of fracture of the scaphoid. A follow-up study of more than thirty years. J Bone Joint Surg 76-A: 249–252 (1994)
42. Moritomo H, Tada K, Yoshida T, Masatomi T. The relationship between the site of nonunion of the scaphoid and scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC). J Bone Joint Surg 81-B: 871–876 (1999)
43. Mehrhoff F, Meindl RC, Muhr G. Unfallbegutachtung Berlin, New York: Walter de Gruyter; 2005
44. Rompe G, Erlenkämper A. Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane Stuttgart, New York: Thieme; 2004
45. Stecher WR. Roentgenography of the carpal navicular bone. Am J Roentgenol. 1937; 37: 704–705

Literatur zu Kap. 17.2

46. Windolf J, Siebert H. Finger- und Mittelhandfrakturen. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2007; 2 (3): 41–62
47. Petracic B, Siebert H. AO-Klassifikation der Frakturen des Handskeletts. Handchir Mikrochir Plast Chir. 1998; 30 (1): 40–4
48. Petracic B, Siebert H. Klassifikation der Handskelettfrakturen nach Prinzipien der AO Berlin Heidelberg New York: Springer; 1989. (Müller ME, Nazarian S, Koch P (eds) AO-Klassifikation der Frakturen)
49. Bennett EH. Fractures of the metacarpal bones. Dublin J Med Sci. 1882; 73: 72–75
50. Rolando S. Fracture de la base du premier metacarpien, et principement sur une variete non encore decreite. Presse Med. 1910; 33: 303
51. Winterstein O. Die Frakturformen des Os metacarpale I. Schweiz Med Wochenschr. 1927; 57: 193–197
52. Foucher G. »Bouquet« osteosynthesis in metacarpal neck fractures: a series of 66 patients. J Hand Surg [Am]. 1995; 20 (3 Pt 2): S86–90
53. Foucher G, Chemorin C, Sibilly A. Nouveau procédé d'ostéosynthèse original dans les fractures du tiers distal du cinquième métacarpien. Nouvelle Presse Médical. 1976; 5: 1139–40
54. Schädel-Höpfner M, Wild M, Windolf J, Linhart W. Antegrade intramedullary splinting or percutaneous retrograde crossed pinning for displaced neck fractures of the fifth metacarpal? Arch Orthop Trauma Surg. 2007; 127 (6): 435–440
55. Abdon P, Muhlow A, Stigsson L, Thorngren KG, Werner CO, Westman L. Subcapital fractures of the fifth metacarpal bone. Arch Orthop Trauma Surg. 1984; 103 (4): 231–4
56. Bloem JJ. The treatment and prognosis of uncomplicated dislocated fractures of the metacarpals and phalanges. Arch Chir Neerl. 1971; 23 (1): 55–65
57. Maitra A, Sen B. Displaced boxers' fractures: a simple and effective method of external splintage. Br J Clin Pract. 1990; 44 (9): 348–51
58. Prokop A, Kulus S, Helling HJ, Burger C, Rehm KE. Gibt es Richtlinien zur Behandlung von Mittelhandfrakturen? Eigene Ergebnisse und eine Literaturanalyse der letzten 12 Jahre. Unfallchirurg. 1999; 102 (1): 50–8
59. Cannon SR, Dowd GS, Williams DH, Scott JM. A long-term study following Bennett's fracture. J Hand Surg [Br]. 1986; 11 (3): 426–31
60. Griffiths JC. Fractures At The Base Of The First Metacarpal Bone. J Bone Joint Surg 46-B: 712–719 (1964)
61. Kjaer-Petersen K, Jurik AG, Petersen LK. Intra-articular fractures at the base of the fifth metacarpal. A clinical and radiographical study of 64 cases. J Hand Surg [Br]. 1992; 17 (2): 144–7
62. Livesley PJ. The conservative management of Bennett's fracture-dislocation: a 26-year follow-up. J Hand Surg [Br]. 1990; 15 (3): 291–4
63. Mehrhoff F, Meindl RC, Muhr G. Unfallbegutachtung Berlin, New York: Walter de Gruyter; 2005
64. Rompe G, Erlenkämper A. Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane Stuttgart, New York: Thieme; 2004

Literatur zu Kap. 17.3

65. Windolf J, Siebert H. Finger- und Mittelhandfrakturen. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2007; 2 (3): 41–62
66. Petracic B, Siebert H. AO-Klassifikation der Frakturen des Handskeletts. Handchir Mikrochir Plast Chir. 1998; 30 (1): 40–4
67. Petracic B, Siebert H. Klassifikation der Handskelettfrakturen nach Prinzipien der AO Berlin Heidelberg New York: Springer; 1989. (Müller ME, Nazarian S, Koch P (eds) AO-Klassifikation der Frakturen)
68. Hintringer W, Leixnering M. Knöcherne oder ligamentäre Verletzungen am Mittelgelenk und ihre Behandlung. Handchir Mikrochir Plast Chir. 1991; 23 (2): 59–66
69. Rudigier J. Frakturen Stuttgart, New York: Georg Thieme; 2006. (Rudigier J, ed. Kurzgefaßte Handchirurgie)
70. Windolf J, Siebert H, Werber KD, Schädel-Höpfner M. Behandlung von Fingerfrakturen: Empfehlungen der Sektion Handchirurgie der Deutschen Gesellschaft fur Unfallchirurgie. Unfallchirurg. 2008; 111 (5): 331–339
71. Foucher G. »Bouquet« osteosynthesis in metacarpal neck fractures: a series of 66 patients. J Hand Surg [Am]. 1995; 20 (3 Pt 2): S86–90
72. Foucher G, Chemorin C, Sibilly A. Nouveau procédé d'ostéosynthèse original dans les fractures du tiers distal du cinquième métacarpien. Nouvelle Presse Médical. 1976; 5: 1139–40
73. Bauwens K, Stengel D, Böttcher R, Lautenbach M, Eisenschenk A. Frakturversorgung des Zeige-, Mittel-, Ring- und Kleinfingers. Phys Med Rehab Kuror. 2007; 17: 28–34
74. Mehrhoff F, Meindl RC, Muhr G. Unfallbegutachtung. Berlin, New York: Walter de Gruyter; 2005
75. Rompe G, Erlenkämper A. Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane Stuttgart, New York: Thieme; 2004

18 Fuß

M. Metzner, C.M. Müller-Mai

Frakturen des Fußes lassen sich ebenso wie die Brüche an der Hand nicht durch eine einfache Übertragung der Prinzipien zur Therapie langer Röhrenknochen oder großer Gelenke auf kleine Knochen und Gelenke behandeln. Der Fuß ist ein sehr komplexes System aus 28 Knochen und 35 Gelenken. Anders als am Handskelett ist nicht die Greif-, sondern die Stützfunktion mit Gewährleistung eines normalen Bewegungsablaufes beim Gehen entscheidend. Auch am Fuß steht mehr als in anderen anatomischen Regionen eine Weichteilschonung im Vordergrund, um die Durchblutung nicht zu gefährden und Weichteildefekte zu vermeiden, die der plastischen Deckung bedürfen. Nach dem 2-Säulen-Modell existieren ein lateraler (Calcaneus, Cuboid, Metatarsale 5) und medialer (Naviculare, Cuneiformia, Metatarsale 1) Pfeiler.

Der Talus hat hier gewissermaßen eine Umschaltfunktion. Frakturen in diesem Bereich unterliegen daher strengen Kriterien der Rekonstruktion. Das Fersenbein fungiert als Kraftüberträger zwischen M. triceps surae und der Plantaraponeurose. Bei Verkürzung durch Höhertreten seines Ansatzes bei Fraktur kann der M. triceps surae nicht mehr vollständig als Antagonist zum M. tibialis anterior wirken.

Die Ossa cuboideum, naviculare et cuneiformia bilden zudem den zentralen Teil des Fußlängs- und -quergewölbes und werden daher nach der ICI-Klassifikation in einer Einheit erfasst (Mittelfuß). Die ICI-Klassifikation übernimmt das Prinzip der AO-Klassifikation und versucht, auch die Begleitverletzungen nach demselben alphanumerischen Prinzip zu erfassen. Beide Gewölbe müssen bei der Frakturbehandlung wiederhergestellt werden, da sonst Folgeprobleme wie Gang- und Belastungsstörungen entstehen. Komplizierend bei der Behandlung kommt hinzu, dass häufiger als in anderen Regionen auch benachbarte Strukturen wie Gelenke und Kapsel-Band-Strukturen betroffen sind. Ihre Versorgung muss in das Behandlungskonzept einfließen.

Aus didaktischen Gründen folgt auch hier die vorliegende Aufarbeitung der Frakturbehandlung dem Gesamtkonzept dieses Buchs auf der Basis der ICI-Klassifikation, welche an die Anatomie des Fußes angepasst und an anderer Stelle publiziert wurde (◘ Abb. 18.1, 18.2 [1]). Auch hier steigt der Schweregrad der Verletzung von A1 bis zu C3, sodass sich aus dem Code für die Verletzungsschwere auch prognostische Schlussfolgerungen ableiten lassen sollen. Andere bewährte Klassifikationen werden zusätzlich berücksichtigt.

Der Fuß ist nach der an die AO-Klassifikation adaptierten ICI-Klassifikation [1] am schwersten zu kodieren. Die Knochen werden dabei von proximal nach distal und von medial nach lateral durchnummeriert. Neben der knöchernen Verletzungsschwere betreffen weiterführende Buchstaben und Ziffern die Aufschlüsselung des jeweils betroffenen Gelenks, des verletzten Gewebes, der

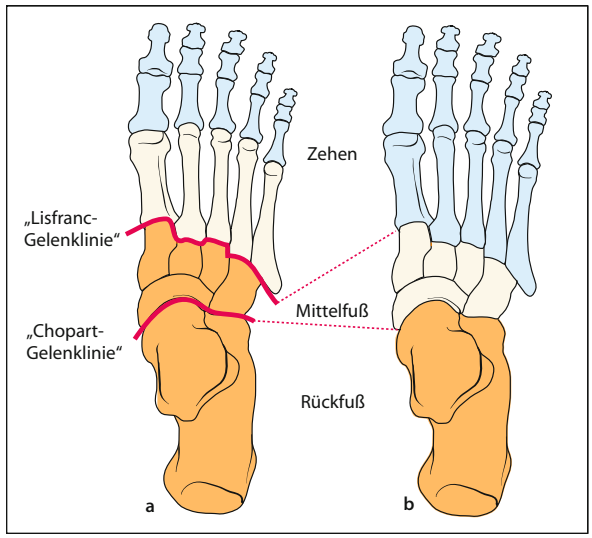


Abb. 18.1. Anatomische Einteilung des Fußes
a Die anatomische Einteilung kennt 3 Abschnitte: die Zehen (Phalangen, bilden den Antetarsus) mit den 14 Ossa digitorum, den Mittelfuß (Metatarsus) und die Fußwurzel (Tarsus)
b Die ICI-Klassifikation hält sich an die klinisch gebräuchliche Einteilung in 81 Rückfuß *(orangefarben)*, 82 Mittelfuß *(beigefarben)* und 83 Vorfuß *(blau)*. Dabei werden die einzelnen Abschnitte durch die Gelenklinien nach Lisfranc und Chopart getrennt, sodass der anatomische Tarsus nach ICI in Rückfuß (Talus, Calcaneus) und Mittelfuß (Os naviculare, Os cuboideum, Ossa cuneiformia) geteilt wird. Zum Vorfuß zählen hier Zehen und Metatarsalia (▶ Kap. 1)

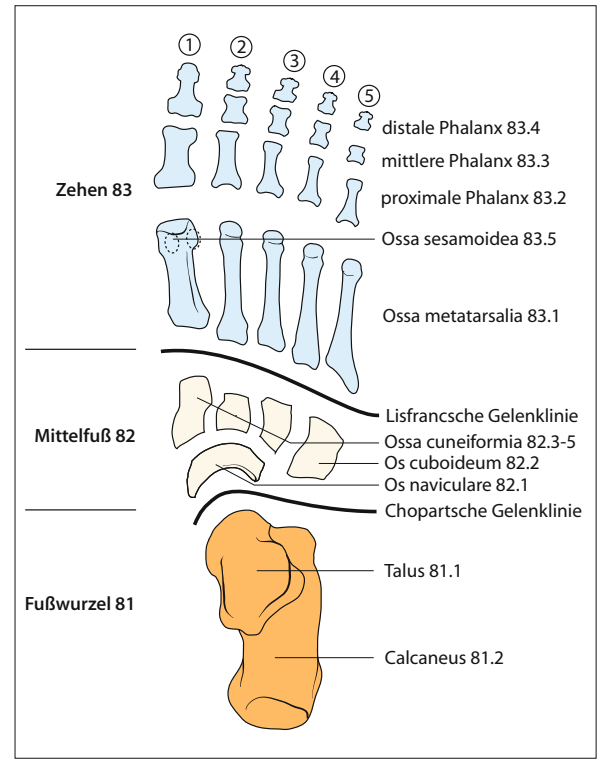


Abb. 18.2. Der AO-Klassifikation ähnelnde ICI-Klassifikation (Integral classification of injuries) des Fußskeletts
81 Rückfuß *(orangefarben)*, 82 Mittelfuß *(beigefarben)*, 83 Vorfuß *(blau)* mit Metatarsalia und Zehen. Die Abschnitte werden durch die Gelenklinien nach Lisfranc und Chopart getrennt. Die Nummer hinter dem ersten Punkt charakterisiert den Knochen, z. B. 81.2 Calcaneus, 82.3 Os cuneiforme mediale, 83.1 Metatarsalia, 83.1.5 Os metatarsale 5, 83.2.2 Grundphalanx des 2. Zehs, 83.3.3 Mittelphalanx des 3. Zehs, 83.4.3 Endphalanx des 3. Zehs, 83.5.1 mediales Os sesamoideum

Frakturschwere, des Ausmaßes des Knorpel- und Kapsel- sowie des ligamentären Schadens und der Dislokation. Diese komplexe Kodierung ist für eine wissenschaftliche Erfassung erforderlich, aber für den Klinikalltag nicht praktikabel, sodass die Verletzungen der Begleitstrukturen deskriptiv z. B. im Operationsprotokoll erfasst werden sollten.

Der Fuß (erste Ziffer 8) wird in der ICI-Klassifikation in die 3 Abschnitte (Regionen) *Rückfuß* (zweite Ziffer 1), *Mittelfuß* (zweite Ziffer 2) und *Vorfuß* (zweite Ziffer 3) unterteilt, welche durch die beiden Gelenklinien nach *Chopart* und *Lisfranc* getrennt sind (Abb. 18.1). Der Rückfuß besteht demnach aus Talus und Calcaneus, der Mittelfuß aus den übrigen Fußwurzelknochen (Abb. 18.2). Demzufolge erhält die Region die zweite Ziffer, eine dritte Ziffer ist zur Kodierung des Knochens erforderlich (z. B. 82.5 Mittelfuß, Os cuneiforme laterale).

Die Segmente der betroffenen Knochen sind von proximal nach distal durchnummeriert (Abb. 18.3); sodass je nach Frakturverlauf eine weitere Zusatzziffer den entsprechenden Knochenanteil beschreibt. Die beteiligten Gelenke können mit kleinen lateinischen und die Dislokationsrichtung mit kleinen griechischen Buchstaben beschrieben werden. Aus Vereinfachungsgründen wird in der hier vorliegenden Darstellung darauf verzichtet. Sind bei komplexen Verletzungsmustern wie am Fuß nicht selten mehrere Knochen durch dasselbe Trauma frakturiert, werden diese einzeln kodiert und die Codes durch ein + verbunden.

Auffallend ist die Differenz zur vorgestellten Kodierung der Hand und zur anatomischen Einteilung. Bei der AO-Einteilung der Hand bezeichnet die zweite Ziffer den Strahl und nicht die Region und die dritte Ziffer die Höhe (Mittelhandknochen, Grund, Mittel- oder Endglied). Beim Fuß ist nicht nach Strahlen nummeriert, sondern die Regionen des Fußes werden von proximal nach distal kodiert, d. h. der Rückfuß erhält die Ziffer 81, der Mittelfuß die 82 und der Vorfuß die 83. Zudem erhält bei der Hand der Metacarpalknochen die Ziffer 0, beim Fuß das Metatarsale die Ziffer 1, sodass z. B. das Metatarsale 5 mit der Nummer 83.1.5 kodiert wird (Abb. 18.2).

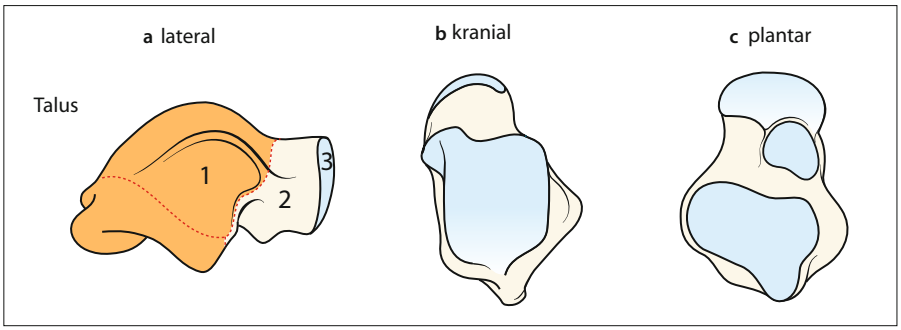


Abb. 18.3. Am Rückfuß, Nr. 81 nach der ICI-Klassifikation, erhält der Talus die Zusatznummer 1, also den numerischen Code 81.1. Die einzelnen Abschnitte Corpus *(1, proximal, einschließlich posteriorem und lateralem Fortsatz, orangefarben)*, Hals *(2, Mitte, beigefarben)* und knorpelüberzogener Kopf *(3, distal, blau)* erhalten Zusatznummern, sodass sich je nach Frakturlokalisation und -ausmaß nach dem Buchstaben die Ziffern 1–3 (A1: 1 betroffenes Segment bis A3: 3 betroffene Segmente) ergeben (**a** rechter Talus, Ansicht von lateral, **b** von oben, **c** von unten)

18.1 Rückfuß

Definition

Nach der ICI-Klassifikation besteht der Rückfuß aus dem *Talus 81.1* und dem *Calcaneus 81.2*. Beide Knochen werden vom Mittelfuß durch die *Chopart-Gelenklinie* getrennt. Demzufolge handelt es sich hier um Brüche dieser beiden Knochen. Diese sind separat oder in Kombination mit anderen Verletzungen betroffen.

Periphere Frakturen können konservativ behandelt werden, neigen jedoch zur pseudarthrotischen Ausheilung, *gelenkbeteiligende Brüche* sind auch bei nur minimaler Dislokation in der Regel *operativ* zu versorgen.

Das *Sprungbein, Talus*, nimmt als Verbindungsstück zwischen Unterschenkel und Fuß eine zentrale Stellung in Funktion und Biomechanik der unteren Extremität ein und überträgt die Last auf die laterale und mediale Fußsäule. Demzufolge werden oft Kombinationsverletzungen beobachtet. Brüche sind aufgrund der Lage des Knochens und der festen Knochenstruktur selten und machen nur etwa 0,3% aller Brüche und etwa 3% der Fußfrakturen aus. Etwa 3/4 der Patienten sind männlichen Geschlechts.

Der Talus besteht aus 3 Hauptteilen: Dem Körper (Corpus), dem Hals (Collum) und dem Kopf (Caput) sowie zusätzlichen Fortsätzen. In etwa 50% der Brüche ist das Collum betroffen, >20% betreffen den Corpus, 4% das Caput und um 20% den Proc. posterior oder lateralis. Der Talus besitzt keine Sehnenansätze, und 70% der Talusoberfläche sind von Knorpel überzogen. Der Talus ist am oberen Sprunggelenk und am aus 3 Kammern bestehenden unteren Sprunggelenk beteiligt.

Das *Talonaviculargelenk* wird als das *zentrale Fußgelenk*, die sog. Coxa pedis, gesehen. Die Gefäßversorgung ist mit von peripher nach proximal eintretenden Gefäßen problematisch, zentrale Frakturen haben daher ein hohes Nekroserisiko. Es sind 5 Eintrittsareale in den Knochen vorhanden: Obere und untere Oberfläche des Talushalses, anterolaterale und mediale Oberfläche des Taluskörpers und das hintere Tubercel. Werden diese durch den Bruch oder die Behandlung beeinträchtigt, besteht die Gefahr der Talusnekrose.

Offene Frakturen und Luxationsfrakturen des Talus stellen *Notfälle* dar und müssen daher sofort versorgt werden. Auch die Versorgung dislozierter zentraler Frakturen sollte dringlich erfolgen; dies stößt jedoch aufgrund der Komplexität der operativen Versorgung oft an personelle oder logistische Grenzen. Des Weiteren müssen natürlich die Begleitmorbidität und der konkret zu erwartende Funktionsgewinn berücksichtigt werden.

Das *Fersenbein, Calcaneus*, ist der größte und am häufigsten frakturierte tarsale Knochen. Er besitzt 4 Gelenkflächen, 3 davon zum Talus (Facies articularis talaris anterior, media et posterior) und eine zum Os cuboideum (Facies articularis cuboidea). Die größte Gelenkfläche ist die hintere zum Talus. Sie ist bei axialen Stauchungstraumata oft betroffen und fusioniert bei etwa 20% der Patienten mit der medialen und der anterioren Facette.

4 Fortsätze gehen vom Calcaneus ab. Das Sustentaculum tali stützt den Talus medial wie eine Säule ab und ist mit diesem ligamentär sehr fest verbunden. Der Tuber calcanei dient als Ansatz für die Achillessehne und plantar medial für die Plantaraponeurose. Bei einem Zusammenbruch des Längsgewölbes geht die Funktion der Plantaraponeurose für die Verspannung des Fußgewölbes verloren, und es kommt insbesondere zu einer Fehlbelastung im Chopart-Gelenk im Sinne einer präarthrotischen Deformität. Der Proc. anterior stellt die Verbindung zum Os naviculare et cuboideum dar. Die Trochlea peronaealis dient als Umlenkpunkt für die Peronäalsehnen.

Insgesamt sind Calcaneusfrakturen mit etwa 2% aller Frakturen und 60–70% der tarsalen Brüche selten.

81

75% der Brüche gehen mit Gelenkbeteiligung einher; oft handelt es sich auch hier um Kombinationsverletzungen (oberes Sprunggelenk, Metatarsalia etc.). Betroffen sind 5-mal häufiger Männer mit einem Altersgipfel zwischen 30 und 50 Jahren. In etwa 10% werden offene Frakturen gesehen; bis zu 5% der Patienten entwickeln ein *Fußkompartmentsyndrom*. Zu beachten ist auch hier, dass eine wesentliche Veränderung der Stellung nach Frakturen zu einer Änderung der Fußstatik und Mechanik sowie der Gelenktrophik und Beweglichkeit führt. Dies gilt nicht nur für die Gelenkflächen, sondern auch für Rückfußlänge, -achse und Rotation. Imbalancen im oberen Sprunggelenk, ein Rückfußkollaps, Fehlbelastungen im Chopart-Gelenk u. a. können die Folge sein. Daher sind sowohl die Wiederherstellung der Gelenkflächenkontinuität als auch die Rekonstruktion der Rückfußform von entscheidender prognostischer Bedeutung.

18.1.1 Mechanismus

Der *Talus* besitzt eine extrem stabile Knochenstruktur. Daher sind hohe Kräfte erforderlich, um eine Fraktur herbeizuführen. Frakturen des Sprungbeins werden hervorgerufen durch große Gewalt, meist durch *Hochrasanztraumata* mit großen *axialen Kompressionskräften* [hier sind aber häufiger die »weicheren« angrenzenden Knochen betroffen; ▶ Kap. 13 »Distaler Unterschenkel (Pilon tibial)«] oder aber auch durch *indirekte Kräfte* im Rahmen von Distorsionen (z. B. Dorsalextension im OSG) oder im Rahmen von Luxationen oder Subluxationen. Die *Fußstellung* beeinflusst die Frakturmorphologie. Ist der Fuß im Moment des Auftreffens der Gewalt *dorsalextendiert*, entstehen eher *Halsfrakturen*, bei *Plantarflexion* eher *Korpusfrakturen*. Das Sustentaculum tali des Calcaneus wirkt hier als Hypomochlion.

Bei der *Calcaneusfraktur* stellen *axiale Stauchungstraumata* die wesentliche Ursache dar. Stürze aus Höhen ab etwa 1,5 m, die zur axialen Kompression führen, sind bei etwa 80% der Frakturen ursächlich, bei 10% sind es Verkehrsunfälle und bei 5% der Patienten Sportunfälle. Bei *25%* der Patienten besteht ein *Polytrauma*. Die Calcaneusfraktur wird hier oft initial übersehen (»neglected injury«). Die axiale Stauchung führt dabei zur Primärfraktur am Winkel von Gissane, wo der Proc. lateralis tali im Sinne eines Meißels wirkt und den Calcaneus in 2 Haupt- (das Sustentaculum tragende vordere und das posterolaterale, die posteriore Gelenkfacette tragende hintere Hauptfragment) und je nach einwirkender Energie ggf. mehrere Nebenfragmente teilt. Das Sustentaculum tragende Hauptfragment gilt als Schlüsselfragment, da es aufgrund der festen Bandverbindungen fast immer im Verbund mit dem Talus verbleibt.

Mehr als 4/5 der Fälle sind intraartikuläre Bruchformen, und bei etwa 40% der Fälle sind die posteriore und die cuboidale Gelenkfläche betroffen. Es werden *5 wichtige Fragmente* unterschieden. Diese umfassen

- das *Tuberfragment* mit dem Achillessehnenansatz,
- das *posteriore Facettenfragment* mit der hinteren Gelenkfläche zum Talus,
- das medial gelegene *sustentaculäre Schlüsselfragment* mit der Facies articularis talaris media,
- das *anteriore Facettenfragment* und
- das anterolateral gelegene *Proc.-anterior-Fragment*.

Sog. Entenschnabelfrakturen stellen *Abrissfrakturen* dar und entstehen durch Zug an der Achillessehne; *Distorsionstraumata* führen eher zu Frakturen der Fortsätze oder zu osteochondralen Verletzungen (»flake fractures«).

Über die Pathobiomechanik der zentralen Calcaneusfraktur existieren verschiedene Erklärungsansätze. Am wahrscheinlichsten ist die These, dass ein Zusammenhang mit der Rückfußinversion/-eversion im Moment des Auftreffens der Gewalt besteht, wobei der Position der Vertikalachsen von Talus und Calcaneus die entscheidende Bedeutung zukommt.

18.1.2 Klinik

Die klinischen *Symptome* sind eher *unspezifisch* und können bei Frakturen beider Knochen ähnlich sein. Bei Brüchen des *Talus* können diskrete bis massive Schwellungen, Belastungs- und Bewegungsschmerz und Bewegungseinschränkungen bis hin zu Fehlstellungen beobachtet werden. Bewegungs- und Druckschmerz finden sich häufig in Höhe des oberen Sprunggelenks; starke Weichteilschwellungen mit ausgedehnten Hämatomen bis hin zum Kompartmensyndrom kommen vor.

Bei der *Calcaneusfraktur* ist ein wichtiges klinisches Merkmal das *Plantarhämatom*, welches allein schon Anlass zur Calcaneusdiagnostik geben sollte. Des Weiteren besteht eine Belastungsunfähigkeit, der *Rückfuß* ist oft *verplumpt*, die Weichteilschwellung erheblich und nicht selten kritisch bis hin zur Ausbildung von Bullae. Typisch ist die Ausbildung eines *lateralen Fersenbeinbuckels*, eines sog. »lateral bulge«, d. h. es kommt durch die Varusfehlstellung zur Aufwerfung der lateralen Corticalis. Klinisch ist hier die aktive Fußrandhebung beeinträchtigt und führt unbehandelt zu einem Impingement der Peronäalsehnen. Es kommt zu einem Anstoßphänomen des relativ zu langen Außenknöchels (»abutment«). Sicher ausgeschlossen werden muss ein *Kompartmentsyndrom* des Rückfußes, das in >10% aller Fälle beobachtet wird. Begleitverletzungen und Weicheilschäden sind nicht selten, in Einzelfällen sind sogar die simultane Osteosynthese und plastische Defektdeckung erforderlich.

18.1.3 Diagnostisches Vorgehen

Talus

Auch beim Verdacht auf eine Rückfußverletzung ist eine *Röntgenaufnahme* in 2 (Talus) bzw. 4 Ebenen (Calcaneus) der erste Schritt in der Diagnostik. In der Regel wird beim Verdacht auf eine Talusverletzung zunächst eine Aufnahme des *Sprunggelenks* in den beiden Standardebenen (»*true« a.-p. und seitlich*) angeordnet. Dem lateralen Strahlengang kommt besondere Bedeutung zu, weil hier die Verhältnisse des unteren Sprunggelenkes gut zu beurteilen sind. Diskrete Dislokationen können der einzige Hinweis auf eine Fraktur sein, und Fissuren des Talushalses und -corpus sind in dieser Ebene evtl. erkennbar. Im Zweifel sind auch Schrägaufnahmen möglich.

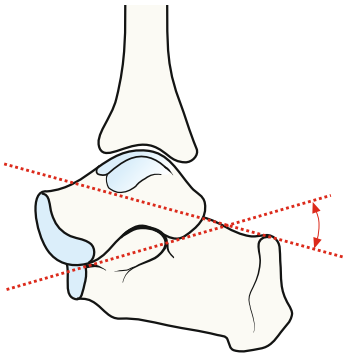
Eine sich anschließende *CT-Diagnostik* ist *obligat*, um das Verletzungsausmaß vollständig zu erfassen, insbesondere dann, wenn im Röntgenbild keine Fraktur erkennbar ist und eine klinische Symptomatik vorliegt. Die CT bildet die axialen Schichten ab und ermöglicht Rekonstruktionen in der coronaren und sagittalen Ebene. Intraoperativ hat sich der Einsatz der dreidimensionalen Bildwandlerkontrolle zur Beurteilung von Repositionsergebnis und Implantatlage bewährt. Auch in der postoperativen Kontrolle kann die gewünschte Beurteilung des Repositionsergebnisses und der Schraubenlage eine Indikation zur Computertomographie sein. Partialnekrosen sind am besten mittels *MRT* nachweisbar; hier kann auch die Revaskularisation beurteilt werden.

Calcaneus

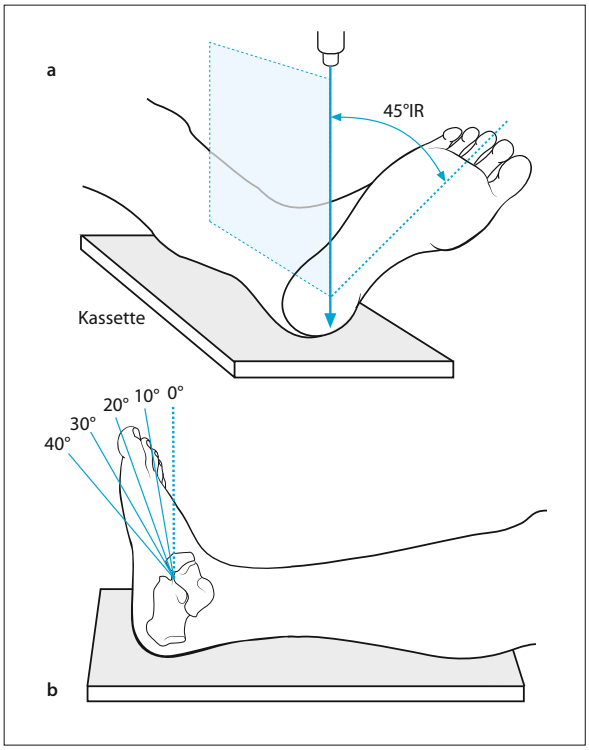
Besteht Verdacht auf eine Calcaneusfraktur, verläuft die Diagnostik ähnlich. Zunächst werden *Röntgenaufnahmen in mehreren standardisierten Ebenen* durchgeführt. Da häufig Mehrfachverletzungen am Fuß bestehen, sind Aufnahmen in verschiedenen Ebenen erforderlich. Zunächst ist der *Calcaneus axial* und *seitlich* abzubilden; ergänzend sind oft der *Fuß d.-p.* und das *obere Sprunggelenk a.-p.* zu röntgen, um das Verletzungsausmaß vollständig zu erfassen. In der seitlichen Ebene kann der Tuber-Gelenkwinkel (Böhler-Winkel) beurteilt werden (◘ Abb. 18.4). Findet sich eine Abflachung, ist dies ein Hinweis auf eine Fraktur. Ein annähernd normaler Winkel schließt jedoch eine dislozierte Fraktur keinesfalls aus.

Bei der Joint-depression-Fraktur nach Essex-Lopresti kann der Böhler-Winkel relativ normal sein, beim Tongue-Type ist der Winkel in der Regel deutlich vermindert bis negativ.

Besteht der Verdacht auf eine Fraktur oder ist diese bereits radiologisch gesichert, ist eine axiale *CT-Untersuchung* mit coronaren und sagittalen Rekonstruktionen obligat, um die Frakturmorphologie zu erfassen bzw. um die Stellung der einzelnen Fragmente beurteilen und die Klassifikation vornehmen zu können. Sie ist zur Operationsplanung eminent wichtig und erlaubt prognostische Rückschlüsse. Ist kein CT vorhanden, sind auch die *Aufnahmen nach Brodén* [2] möglich (◘ Abb. 18.5).



◘ **Abb. 18.4. Vermessung des Tuber-Gelenkwinkels in der seitlichen Ebene.** Normal mit individuellen Schwankungen sind 30°–35°. Synonym werden auch die Begriffe Böhler-Gelenkwinkel oder Tuber-Calcaneus-Winkel benutzt. Eine Abflachung weist eine Fraktur nach, ein normaler Winkel schließt sie nicht aus



◘ **Abb. 18.5. Brodén-Aufnahmen.** Der Fuß wird in Neutralstellung des OSG und 45°–Innenrotationsstellung geröntgt. Dabei wird die Röntgenröhre um 10°, 20°, 30° und 40° nach caudal gekippt. Dies bietet insbesondere Einblick in das Subtalargelenk

Auch die *intraoperativen* Röntgenkontrollen folgen dem oben genannten Schema. Besteht nicht die Möglichkeit, einen intraoperativen 3-D-Scan mit einem entsprechend ausgestatteten Bildwandler durchzuführen, werden zum Nachweis einer korrekten Reposition und Implantatlage 4 Einstellungen erforderlich. Der Fuß wird d.-p. und seitlich geröntgt, zusätzlich werden Aufnahmen des Calcaneus axial und nach Brodén mit 20° craniocaudaler Kippung durchgeführt.

18.1.4 Klassifikationen

Für den Rückfuß sind viele Klassifikationen entwickelt worden, wobei die meisten nur auf jeweils einen Knochen anwendbar sind.

Die an den Fuß angepasste ICI-Klassifikation [1] übernimmt das »Prinzip« der Klassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen der AO und adaptiert es an den Fuß. Die Systematik ist aufgrund der komplexen Anatomie nicht leicht anzuwenden. Aufgrund verschiedenster Zusatzkodierungen für den Weichteilschaden etc. erscheint die Klassifikation klinisch nicht vollständig im Alltag einsetzbar. Trotzdem wird diese Adaptation hier vorgestellt, um die Einheitlichkeit des Buchs nicht zu gefährden. Wir beschränken uns dabei wie auch in den anderen Kapiteln auf die erste Ziffer nach dem Buchstaben, sodass *extraartikuläre* von *intraartikulären* Frakturen mit/ohne *Luxationskomponente* und die Anzahl der betroffenen Gelenkflächen unterschieden werden. Angegeben werden auch konkurrierende und weiterhin gebräuchliche Einteilungen. Die aktuellen Klassifikationen sind CT-basiert, da nur so die vollständige Morphologie der Frakturen erfasst werden kann.

Talus

ICI-Klassifikation

Beim Talus wird nach der ICI-Klassifikation ein *proximales (81.1.1), mittleres (81.1.2)* und ein *distales Segment (81.1.3)* unterschieden. Das proximale Segment umfasst neben dem Corpus den hinteren und lateralen Processus. Das mittlere Segment besteht aus dem nicht knorpelüberzogenen Hals und das distale aus dem knorpelüberzogenen Kopf (■ Abb. 18.3). Unterschieden werden *extraartikuläre Frakturen (A),* die bei Dislokation operativ und bei nicht dislozierter Stellung auch konservativ behandelt werden können, von *<50% der Gelenkfläche* betreffende Brüche *(B)* und *>50% der Gelenkfläche betreffende* Frakturen mit *Luxationskomponente,* die in aller Regel operativ versorgt werden müssen *(C)*. Die C-Frakturen weisen Luxations- oder Subluxationsfehlstellungen auf. Sie machen rund 50% der Fälle aus. Die auf den Buchstaben folgende Ziffer beschreibt die Anzahl der betroffenen Knochensegmente (A-Frakturen) bzw. Gelenkflächen (B-

Typ A = Extraartikuläre Brüche	
A1	1 Segment des Knochens betroffen
A2	2 Segmente des Knochens betroffen
A3	3 Segmente des Knochens betroffen
Typ B = Intraartikuläre Frakturen, <50% der Gelenkfläche betroffen	
B1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
B2	2 Gelenkoberflächen betroffen (bei 40% der Brüche ist die posteriore und cuboidale Gelenkfläche betroffen)
B3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ C = Artikuläre Frakturen mit Luxation/Subluxation, >50% der Gelenkfläche betroffen	
C1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
C2	2 Gelenkoberflächen betroffen (bei 40% der Brüche ist die posteriore und cuboidale Gelenkfläche betroffen)
C3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ D = Subluxationen/Luxationen ohne knöcherne Verletzung	
1	1 Gelenk dislozierT
2	2 Gelenke dislozierT
3	≥3 Gelenke dislozierT

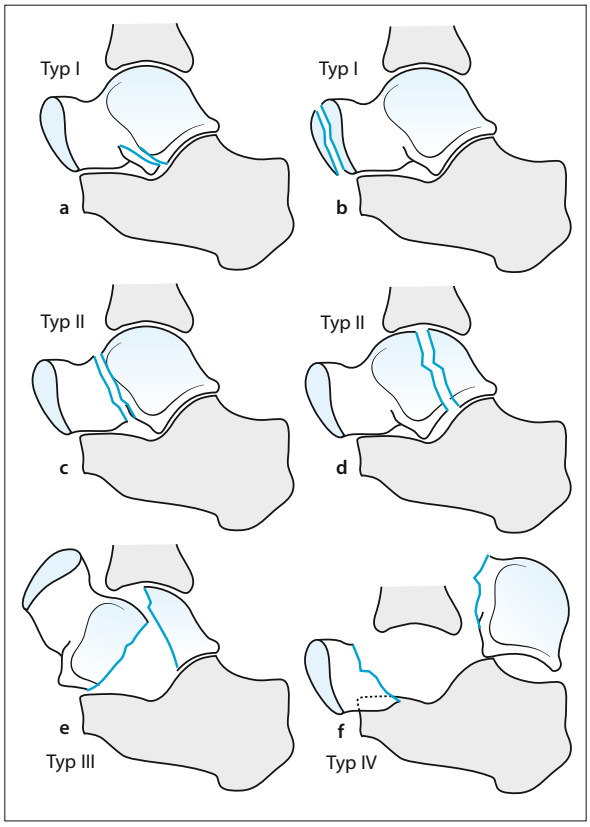
■ **Abb. 18.6. ICI-Klassifikation der Region 81 Rückfuß – Talusfrakturen**

oder C-Frakturen nach ICI). Eine Sonderform sind die mit dem Buchstaben *D* kodierten *nicht knöchernen Dislokationen*, wobei hier die nachgestellte Ziffer die Anzahl der dislozierten Gelenke beschreibt.

Die ICI-Klassifikation (◘ Abb. 18.6) gibt zwar einen aufsteigenden Schweregrad für die Talusfrakturen an, doch lässt sich hier nicht immer eine eindeutige therapeutische Konsequenz und prognostische Einschätzung daraus ableiten.

Beispiele weiterer Klassifikationen

Einteilung nach Marti u. Weber [3]. Klassifikation der Talusbrüche nach betroffenem Anteil mit besonderer Berücksichtigung der Dislokation und der daraus resultierenden Nekrosegefahr (◘ Abb. 18.7).



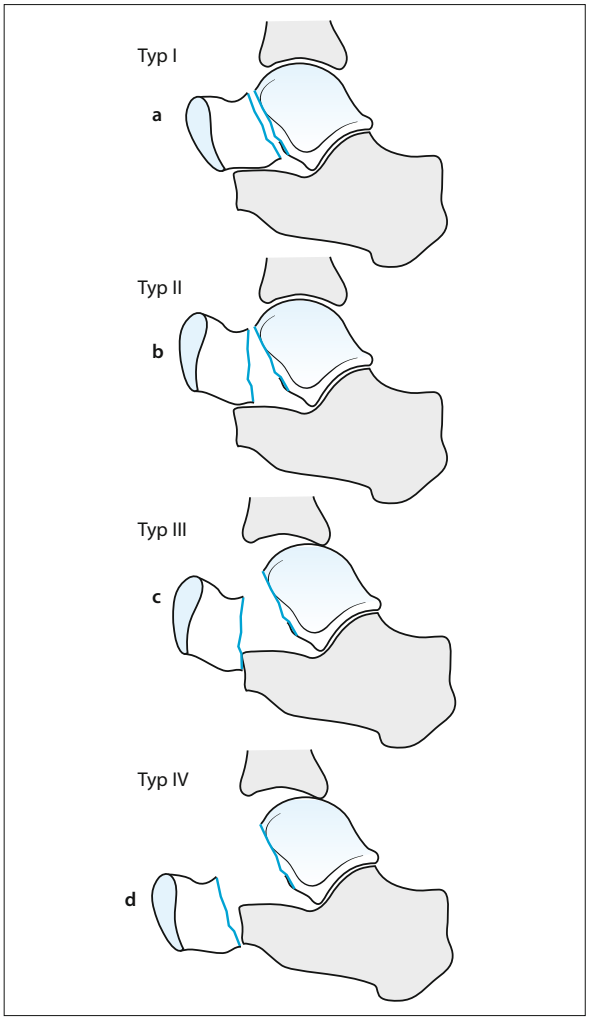
◘ **Abb. 18.7. Einteilung der Talusfrakturen nach Marti u. Weber mit besonderer Berücksichtigung der Nekrosegefahr [3]**
a, b Typ-I-Brüche: Kopf- oder distaler Halsbereich, Processus betroffen, oder es sind Avulsions- oder osteochondrale Frakturen (»flake fracture«); keine Nekrosegefahr
c, d Typ-II-Frakturen: Nicht dislozierte Körper- oder Halsfrakturen; geringe Nekrosegefahr
e Typ III: Proximale Körper- oder Halsfrakturen mit hoher Nekrosegefahr
f Typ IV: Frakturen mit Dislokation subtalar und tibiotalar sowie mehrfragmentäre Corpusfrakturen; Bandrupturen und Gefäßverletzungen sind obligat; es entwickeln sich immer Nekrosen

Einteilung nach Hawkins [4]. Klassifikation der Vertikalfrakturen des Talushalses nach Dislokationsgrad mit prognostischer Bedeutung (◘ Abb. 18.8).

Calcaneus

ICI-Klassifikation

Die ICI-Klassifikation unterscheidet auch hier *extraartikuläre A-Frakturen*, die bei Dislokation operiert und bei guter Stellung konservativ behandelt werden können.



◘ **Abb. 18.8. Einteilung der Talushalsfrakturen nach Hawkins.** Diese Einteilung bezieht sich ausschließlich auf die Vertikalfrakturen des Halses [4]
a Typ I: Nicht oder minimal dislozierte Fragmente, kongruente talocalcaneare Gelenkfläche
b Typ II: Dislozierte Brüche mit Luxation/Subluxation im unteren Sprunggelenk, Talusrolle noch in der Malleolengabel
c Typ III: Luxation des Corpus aus der Malleolengabel, d. h. Luxation im oberen Sprunggelenk und unteren Sprunggelenk
d Typ IV: Zusätzlich zu Typ III Luxation talonavicular

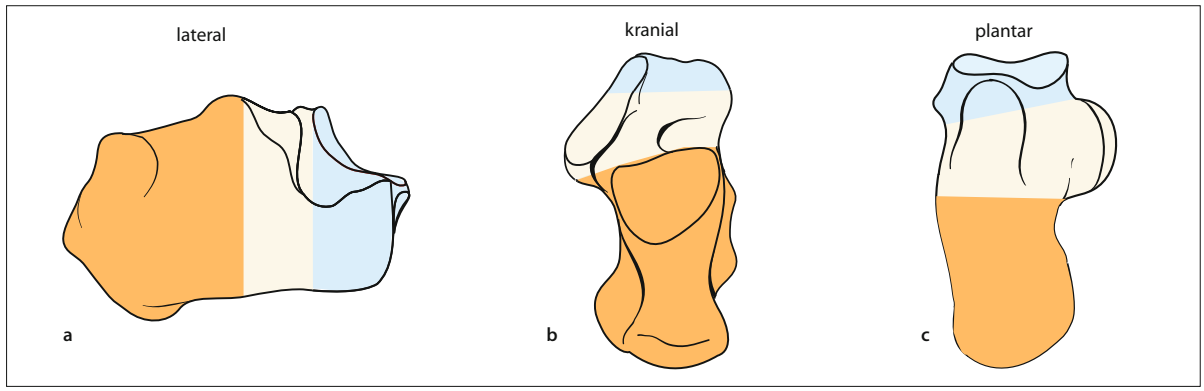


Abb. 18.9. Am Rückfuß erhält der Calcaneus die Zusatznummer 2, also den numerischen Code 81.2. Die einzelnen Abschnitte proximales Segment 81.2.1 (Corpus, Tuber und hintere Facette, *blau*), mittleres Segment 81.2.2 (Sustentaculum tali mit der mittleren Facette und dem Sulcus calcanei, *beigefarben*) und distales Segment 81.2.3 (anteriore und cuboidale Facette) erhalten Zusatznummern, sodass sich je nach Frakturlokalisation und -ausmaß nach dem Buchstaben die Ziffern 1–3 (A1: 1 betroffenes Segment bis A3: 3 betroffene Segmente) ergeben. Ansicht rechter Calcaneus von lateral (**a**), von oben (**b**), von plantar (**c**)

Typ A = Extraartikuläre Brüche	
A1	1 Segment des Knochens betroffen
A2	2 Segmente des Knochens betroffen
A3	3 Segmente des Knochens betroffen
Typ B = Intraartikuläre Frakturen, <50% der Gelenkfläche betroffen	
B1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
B2	2 Gelenkoberflächen betroffen
B3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ C = Artikuläre Frakturen mit Luxation/Subluxation, >50% der Gelenkfläche betroffen	
C1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
C2	2 Gelenkoberflächen betroffen
C3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ D = Subluxationen/Luxationen ohne knöcherne Verletzung	
1	1 Gelenk dislozierт
2	2 Gelenke dislozierт
3	≥3 Gelenke dislozierт

Abb. 18.10. ICI-Klassifikation der Region 81 Rückfuß – Calcaneusfrakturen

B-Frakturen betreffen unter 50% der Gelenkfläche und werden wie die *C-Frakturen* (>50% der Gelenkfläche, mit Subluxation/Luxation) in der Regel operativ versorgt. Je nach Frakturform werden Zugschrauben oder Plattenosteosynthesen angewendet. Die auf den Buchstaben folgende Ziffer beschreibt die Anzahl der betroffenen Knochensegmente (A) bzw. Gelenkflächen (B, C).

Auch beim Calcaneus werden drei Segmente (81.2.1 bis 81.2.3) untergliedert. Das *proximale Segment 81.2.1* umfasst Corpus, Tuber und die hintere Facette, das *mittlere Segment 81.2.2* besteht aus dem Sustentaculum tali mit der mittleren Facette und dem Sulcus calcanei, und das *distale Segment (81.2.3)* betrifft die anteriore sowie die cuboidale Facette (Abb. 18.9, 18.10).

Zusatzcodes beschreiben die betroffenen Gelenke und die mitverletzten Strukturen. Sie werden aus Praktikabilitätsgründen hier nicht dargestellt. Es wird auf die weiterführende Literatur verwiesen. Eine Sonderform sind auch hier die mit dem Buchstaben D kodierten nicht knöchernen Dislokationen, wobei hier die Nummer hinter dem Buchstaben die Anzahl der dislozierten Gelenke beschreibt.

Beispiele weiterer Klassifikationen

Einteilung nach Essex-Lopresti [5]. Die Einteilung basiert auf Röntgenaufnahmen und orientiert sich an der Primärfraktur im Winkel von Gissane und sekundären Frakturlinien. Beurteilt wird die Form des posterioren Facettenfragmentes der dorsalen Gelenkfläche. Grundlage ist die Überlegung, dass der Proc. tali bei axial wirkender Kraft in den Calcaneus getrieben wird und dort zu einer vertikal verlaufenden Fraktur führt. In Abhängigkeit von der Kraft und der Stellung des Fußes kommen sekundäre Frakturlinien hinzu.

Die wichtigsten Bruchformen sind:

- *Tongue-Type* (Abb. 18.11a): Die sekundäre Frakturlinie läuft horizontal nach dorsal durch den Tuber calcanei unter Einschluss des posterolateralen hinteren Anteils der subtalaren Gelenkfacette.
- *Joint-depression-Type* Abb. 18.11b): Die sekundäre Frakturlinie verläuft bogenförmig hinter der dorsalen Gelenkfacette nach kranial aus dem Tuber. Dieses posterolaterale Fragment wird in den Calcaneus im Sinne einer Kompression getrieben.

Frakturen ohne Beteiligung der Gelenkfläche:

- *Entenschnabelfraktur* (Abrissfraktur der Achillessehne; Abb. 18.11c) u. a. periphere Frakturen.

Einteilung nach Zwipp (sog. Hannover- oder X-Y-Klassifikation und Zwipp-Score [6]). Einteilung aufgrund der Anzahl der beteiligten Gelenkflächen (Y) und Fragmente (X) nach CT-morphologischer Analyse. 5 Hauptfragmente werden unterschieden:

- 1 sustentaculäres Facettenfragment,
- 2 tuberositäres Facettenfragment,
- 3 posteriores Facettenfragment (subtalares Gelenkfragment),
- 4 Proc.-anterior-Fragment,
- 5 anteriores Facettenfragment (anteriores subtalares Gelenkfragment).

Die 3 Gelenke sind

- die posteriore Facette (hinteres Subtalargelenk),
- das Calcaneocuboidalgelenk und
- das vordere Subtalargelenk.

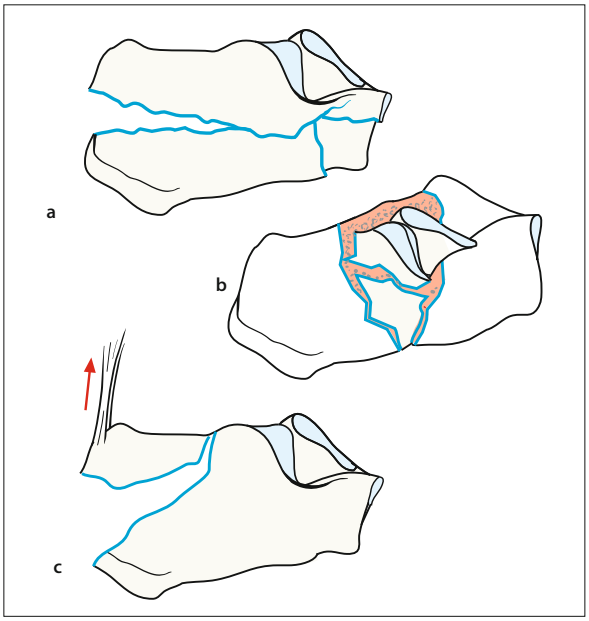


Abb. 18.11. Wichtige Frakturformen nach Essex-Lopresti [5] mit Beteiligung der hinteren Gelenkfläche (a, b) und ohne (c)
a Tongue-Type
Die sekundäre Frakturlinie läuft horizontal nach dorsal durch den Tuber calcanei unter Einschluss des posterolateralen hinteren Anteils der subtalaren Gelenkfacette
b Joint-depression-Type
Die sekundäre Frakturlinie verläuft bogenförmig hinter der dorsalen Gelenkfacette nach cranial aus dem Tuber. Dieses posterolaterale Fragment wird in den Calcaneus getrieben
c Entenschnabelfraktur
Abrissbruch der Achillessehne

Der einfachste Bruch ist ein 2-Fragmentbruch ohne Gelenkbeteiligung, der komplizierteste ein 5-Fragment-3-Gelenk-Bruch (Abb. 18.12). Pro betroffenem Fragment und Gelenk wird je 1 Punkt vergeben (Maximum 8) sowie bis zu 4 Zusatzpunkte (Weichteilschaden maximal 3 Punkte und Fraktur anderer Knochen 1 Punkt) für Begleitverletzungen. Die Prognose verschlechtert sich mit steigender Punktzahl.

Einteilung nach Sanders [7]. Einteilung anhand der CT-Morphologie in der coronaren Schicht. Bestimmend ist die Anzahl der Fragmente der hinteren Facette (Abb. 18.13).

- *Typ 1:* Alle undislozierten Frakturen.
- *Typ 2:* 1 Frakturlinie, 2 Fragmente in der posterioren Facette.
- *Typ 3:* 2 Frakturlinien, 3 Fragmente.
- *Typ 4:* ≥3 Frakturlinien (Trümmerbrüche). Untergliederung je nach betroffenem Anteil der posterioren Facette von lateral A nach medial C.

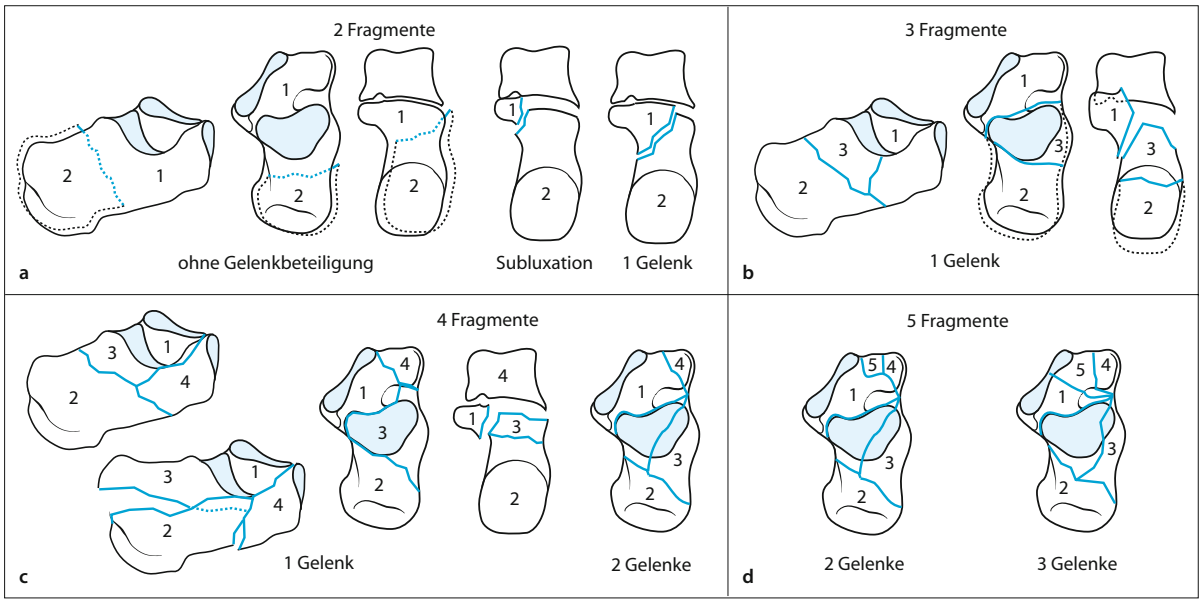


Abb. 18.12. Hannover-Klassifikation nach Zwipp et al. [6]. Einteilung nach Anzahl der beteiligten Gelenkflächen und Fragmente anhand der CT-Darstellung

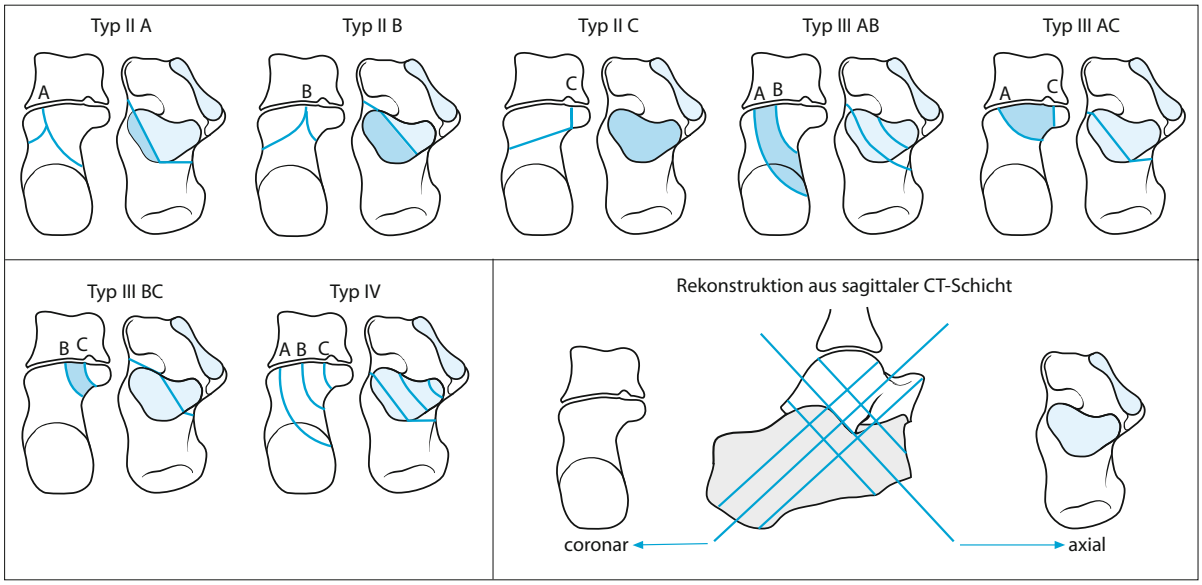


Abb. 18.13. Sanders-Einteilung der Calcaneusfrakturen (*links* jeweils coronare Schicht, *rechts* axial). Beurteilung anhand der coronaren CT-Schicht mit dem größten Anteil der hinteren Gelenkfacette. Untergliederung je nach betroffenem Anteil der posterioren Facette (A lateral, B zentral, C medial). **Typ I** nicht disloziert (nicht abgebildet). **Typ II:** 2 Fragmente. **Typ III:** 3 Fragmente mit Einstauchung des zentralen Fragments. **Typ IV:** 4 Fragmente oder Mehrfragmentfraktur mit Gelenkbeteiligung

18.1.5 Therapeutisches Vorgehen

Die verschiedenen Bruchformen beider Knochen gehören zu den *problematischen Brüchen*. Sie treten häufig in Kombinationsverletzungen mit anderen Knochenbrüchen und Weichteilproblematiken bis hin zum manifesten Kompartmentsyndrom auf. Die operative Vorgehensweise ist allerdings different (Abb. 18.14, 18.15).

Wichtig

Beim Talus besteht die besondere Gefahr der Knochennekrose. Offene Frakturen und Luxationsfrakturen des Talus

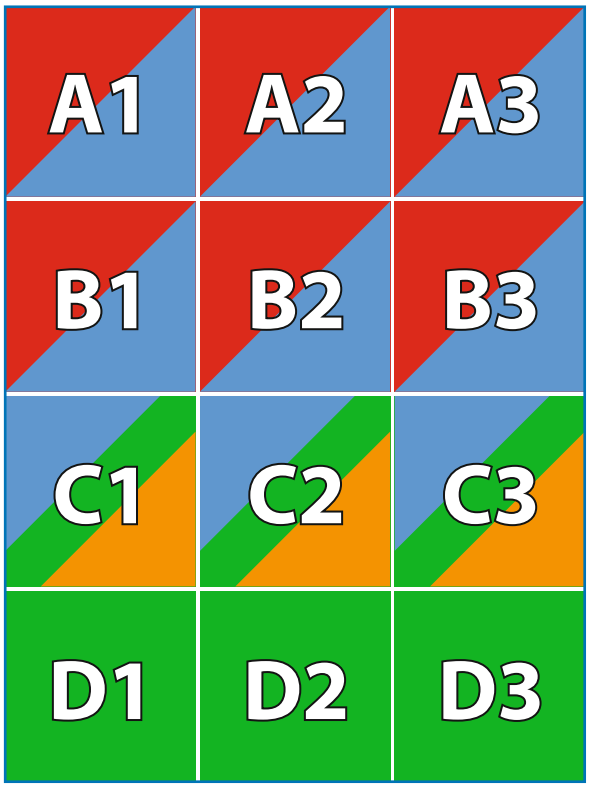


Abb. 18.14. Therapieoptionen bei Talusfrakturen. Einteilung nach der ICI-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
*Kirschner-Drähte eignen sich als ergänzende Implantate bei Komplexverletzungen nach Repositionen von Luxationen oder bei erheblichen Weichteilschäden im Rahmen einer temporären Minimalosteosynthese
**Die Indikation zur Anlage eines Fixteurs ist in erster Linie der Grad des Weichteilschadens (offene Fraktur, Kompartment) und nicht die nach ICI-Klassifikation vorgenommene Einteilung der Frakturschwere. Hochgradige Weichteilschäden sind eher bei großer Frakturschwere zu erwarten, demzufolge sind die C-Verletzungen als mögliche Fixateur-Indikationen gekennzeichnet worden
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese*
- Fixateur externe**

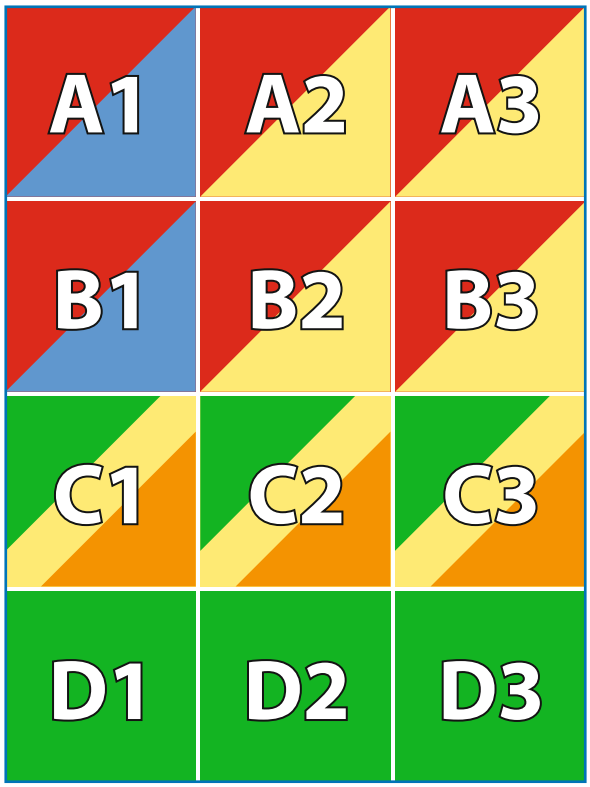


Abb. 18.15. Therapieoptionen bei Calcaneusfrakturen. Einteilung nach der ICI-Klassifikation (*Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
*Kirschner-Drähte eignen sich als ergänzende Implantate bei Komplexverletzungen nach Repositionen von Luxationen oder bei erheblichen Weichteilschäden im Rahmen einer temporären Minimalosteosynthese
**Die Indikation zur Anlage eines Fixteurs ist in erster Linie der Grad des Weichteilschadens (offene Fraktur, Kompartment) und nicht die nach ICI-Klassifikation vorgenommene Einteilung der Frakturschwere. Hochgradige Weichteilschäden sind eher bei großer Frakturschwere zu erwarten, demzufolge sind die C-Verletzungen als mögliche Fixateur-Indikationen gekennzeichnet worden
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese*
- Fixateur externe**

stellen daher Notfälle dar und müssen sofort versorgt werden, dislozierte zentrale Frakturen müssen dringlich operiert werden. Beim Calcaneus stehen dagegen die Weichteilproblematik und die Änderung der Fußstatik im Vordergrund, sodass hier nicht primär, aber nach Abschwellung in den Tagen 6–10 operiert werden sollte.

Beim *Talus* ist in jedem Fall die *Durchblutungssituation* mit der Gefahr der Entwicklung einer aseptischen Nekrose zu beachten. Das frakturbedingte Risiko lässt sich durch einige Klassifikationen abschätzen, die Gefahr steigt jedoch mit zunehmender Zeitdauer zwischen Unfall und Versorgung. Daraus ergibt sich, dass viele Talusfrakturen (Dislokation!) zeitnah oder sogar notfallmäßig operiert werden müssen.

Wichtig

Die meisten Autoren sind sich daher darüber einig, dass nicht dislozierte Frakturen konservativ behandelt werden können, während dislozierte oder luxierte Brüche anatomisch reponiert und osteosynthetisch versorgt werden müssen.

81

Standardverfahren ist die Zugschraubenosteosynthese. Bei *Trümmerbrüchen* werden *Stellschrauben* mit durchgehendem Gewinde verwendet. Dies geschieht im Hinblick auf die Revaskularisation und auf die Weichteilsituation möglichst frühzeitig, in aller Regel notfallmäßig. In jedem Fall ist die Weichteilsituation genau zu überprüfen; ein sich entwickelndes oder bereits bestehendes Kompartmentsyndrom ist über eine Fasziotomie zu entlasten.

Wichtig

Bei Talusfrakturen besteht aufgrund der vulnerablen Durchblutungssituation ein enges diagnostisch-therapeutisches Zeitfenster zur Versorgung; dislozierte Brüche sind dringlich zu operieren, Luxationsfrakturen stellen ebenso wie offene Frakturen Notfälle dar.

Beim *Calcaneus* steht die Durchblutungssituation des Knochens im Gegensatz zum Talus nicht im Vordergrund. Daher liegt initial das Hauptaugenmerk auf dem *Weichteilmanagement*. Abschwellende Maßnahmen wie Hochlagerung und Kühlung und Immobilisation sind dringend zu empfehlen, ebenfalls die Gabe von Antiphlogistika. Gipse aller Art sind gefährlich, da sie den Blick auf die Weichteile verstellen und den Weichteilschaden noch vergrößern können. Insgesamt wird die Dynamik der Weichteilschädigung selten über-, oft jedoch unterschätzt. Insbesondere Stufen im Bereich der Gelenkfacetten sind Operationsindikationen, dabei gelten *Stufen ab 1 mm* als Indikation zur *anatomischen Reposition* und *Osteosynthese*. Das Osteosyntheseverfahren sollte eine frühfunktionelle Therapie ermöglichen.

Kontraindikationen stellen alle Nebenerkrankungen dar, die zu einer erhöhten Infektrate (Diabetes mellitus etc.) oder zu Durchblutungsstörungen (pAVK u. a.) führen, ebenso wie Suchtproblematiken wie z. B. Nikotin- oder Alkoholabusus.

Wichtig

Indikationen zur anatomischen Rekonstruktion und übungsstabilen Osteosynthese sind alle intraartikulären Frakturen der posterioren, cuboidalen und medialen Gelenkfacette, die eine Stufe von 1 mm und mehr aufweisen, sowie isolierte Brüche des Sustentaculums und extraartikuläre Brüche mit Rückfußfehlstellung von >5° Varus oder 10° Valgus.

Offene Frakturen des Talus und des Calcaneus zählen aufgrund der schlechten Weichteilsituation zu den hoch problematischen Brüchen. Beim Calcaneus werden Infektraten von bis zu 60% und Amputationsraten bis >10% in der Literatur berichtet. Daher ist ein spezielles Management erforderlich [8]. Es besteht eine Indikation zur notfallmäßigen Versorgung. Diese umfasst ein ausgiebiges Débridement, eine Reposition und minimalinvasive Osteosynthese mit Kirschner-Drähten, ggf. eine Fascienspaltung sowie eine temporäre Weichteildeckung mit alloplastischen Hautersatzmaterialien. Eine zusätzliche Stabilisierung mit einem medial aufgebrachten Fixateur externe (Schanz-Schrauben in der distalen Tibia, Tuber und Metatarsale 1) wird empfohlen [8]. Eine Revision ist obligat. Bei diesem Eingriff erfolgen endgültige Osteosynthese und Weichteilverschluss.

Konservative Therapie

Generell eignen sich zur konservativen Therapie *periphere Frakturen* oder *nicht dislozierte Brüche* bei Talus und Calcaneus (◘ Abb. 18.16). Beim *Talus* kann die nicht dislozierte Talushalsfraktur Hawkins I konservativ mit einem Gips für 6 Wochen behandelt werden. Fußwurzel und Vorfuß stehen dabei in Neutralposition. Die Heilung tritt meist nach 6 Wochen ein, kann aber auch 10–12 Wochen in Anspruch nehmen. Die Stellung ist in jedem Fall mittels CT zu überprüfen, um das wahre Verletzungsausmaß zu erfassen und auch kleine Dislokationen im Bereich der Gelenkflächen oder am Taluscorpus zu erfassen. Nach Gipsabnahme kann bei weiter notwendiger (Teil-)entlastung ein Allgöwer-Gehapparat angepasst werden.

Auch beim *Calcaneus* eignen sich periphere oder nicht dislozierte extraartikuläre Frakturen zur konservativen Behandlung. Eine Gipsruhigstellung ist meist nicht sinnvoll. Eine frühfunktionelle Therapie mit aktiven Bewegungen und Lymphdrainage im OSG sowie abschwellende Maßnahmen (Hochlagerung, Kühlung, Antiphlogistika) sind zu empfehlen. Ein Kompartmentsyndrom des Fußes ist immer auszuschließen. Ist der Proc. anterior calcanei nicht mitbetroffen, kann der Rückfuß durch eine Orthese (z. B. nach Settner/Orthner) entlastet werden.

Kirschner-Drahtosteosynthese

Diese hat am Rückfuß allenfalls eine Berechtigung im Rahmen von Minimalosteosynthesen bei Schwerstverletzten oder bei erheblichen Weichteilschäden wie z. B. offenen Frakturen, wenn eine andere osteosynthetische Versorgung nicht angewendet werden kann. Eine anatomische Reposition sowie die sichere Fragmentfixation sind hiermit nicht möglich. Dies gilt gleichermaßen für den Talus und den Calcaneus. Auf eine weitere Darstellung wird daher verzichtet.

Schraubenosteosynthese

Verwendet werden sollten bei der *Talus*osteosynthese *generell Titanschrauben*, um eine spätere MRT-Diagnostik zu ermöglichen. Im eigenen Vorgehen werden *Spongiosazugschrauben* verwendet, wobei *kanülierte* Schrauben



Abb. 18.16. 36 Jahre, männlich. Leitersturz aus 2 m Höhe. Klinisch zunächst nur Verdacht auf Innenknöchelläsion. Fraktur des Proc. lateralis tali ohne Dislokation, nach ICI-Klassifikation 81.1A1. Die Talusfraktur ist nur in der CT zu erkennen. Konservative Behandlung. Begleitfraktur des Innenknöchels, im Verlauf operativ versorgt

eine sichere Platzierung zulassen. Die Indikation besteht bei jeder auch nur minimal dislozierten Talusfraktur, weil jede Dislokation, auch wenn diese nur 1 oder 2 mm ausmacht, mit einer Subluxation des subtalaren Gelenkes einhergeht und damit die Chance auf eine rechtzeitige Revaskularisation verringert.

Wichtig

Alle dislozierten zentralen Talusfrakturen (Hawkins II–IV; Weber/Marti III–IV) sind dringlich bzw. notfallmäßig zu operieren, um die Nekrosegefahr zu minimieren. Die Indikation zur operativen Stabilisierung ist auch bei geringer Fragmentdislokation von 1 mm großzügig zu stellen.

Die Gelenkflächen sind exakt zu rekonstruieren, Defekte sind bei entsprechender Größe mit autologer Spongiosa aufzufüllen. Eine Verkürzung des Talus oder Inkongruenzen in den Gelenken sind in jedem Fall zu vermeiden. Eine frühzeitige Reposition, subtile Operationstechnik, Osteotomie des Innenknöchels bei offener Reposition sowie stabile Osteosynthese beugen einer Sekundärschädigung der Durchblutung des Talusdoms vor und können den Revaskularisierungsprozess unterstützen.

Talushalsfrakturen Typ I nach Hawkins stellen trotz konservativer Therapiemöglichkeit eine Indikation zur Zugschraubenosteosynthese dar (Abb. 18.17). Es gibt Hinweise in der Literatur, dass dieses Vorgehen die Durchblutung optimiert. Offene Repositionen bei Talusfrakturen sind anspruchsvoll, der Zugang muss sich an der Frakturmorphologie orientieren und der Operateur mit den anatomischen Besonderheiten der einzelnen Zugänge vertraut sein.

Die Reposition geschieht durch Zug und Gegenzug, kann aber technisch schwierig sein. Sie kann durch eine Osteotomie des medialen Knöchels erleichtert oder erst ermöglicht werden. Die Osteotomie ist auf jeden Fall der Durchtrennung des Lig. deltoideum und damit möglicherweise der Läsion der letzten versorgenden Arterie vorzuziehen, da die Nekroserate leicht reduziert zu sein scheint, wenn der Innenknöchel osteotomiert wurde, im Vergleich zu Osteosynthesen ohne Osteotomie. Die Reposition kann durch eine Schanz-Schraube im Tuber calcanei als Joystick erleichtert werden. Interponate von den umliegenden Flexoren- oder Extensorensehnen sind sicher zu vermeiden.

Bei *Luxationsfrakturen* ist eine sofortige Versorgung durch *Verschraubung* nach *offener Reposition notfallmäßig* indiziert. Ausgedehnte Trümmerfrakturen vom Typ IV können auch eine Indikation zur früh sekundären Arthrodese nach Konsolidierung der Weichteile sein. Die von manchen Autoren noch empfohlene Talektomie halten wir fast ausnahmslos nicht für indiziert. Die Resultate sind unbefriedigend.

Aufgrund der engen Lagebeziehungen wichtiger knöcherner- und Weichteilstrukturen sind ausgedehnte Präparationen nicht sinnvoll. Der operative Zugang sollte daher in größtmöglicher Nähe der zu reponierenden und zu fixierenden Fragmente liegen. Hierfür steht eine



Abb. 18.17. 35 Jahre, männlich. Sturz beim Snowboard-Fahren. Minimal dislozierte Talushalsfraktur, nach ICI-Klassifikation 81.1A1 (**a–c**). Operative Versorgung mit 2 Zugschrauben, die intraoperative Kontrolle erfolgte mit dem 3-D-Bildwandler (**d–f**)

Reihe von möglichen Schnittführungen zur Verfügung: medial, anteromedial, anterior, anterolateral, lateral, dorsolateral, dorsomedial, arthroskopisch (Abb. 18.18). Der wichtige *anteromediale Zugang* zum Talus eignet sich zur Verschraubung von *Talushalsfrakturen*. Er liegt zwischen dem Innenknöchel und der Tuberositas des Kahnbeins im Bereich zwischen den Sehnen des M. extensor hallucis longus und M. extensor digitorum communis. Der Talushals kann auch von proximal nach distal über einen *posterolateralen Zugang* verschraubt werden. Dieser Zugang eignet sich auch für annähernd quer verlaufende *Corpusfrakturen* sowie solche des Proc. posterior tali. Der Hautschnitt verläuft längs zwischen Achillessehne und Außenknöchelhinterrand. Nach Darstellung von N. suralis und V. saphena parva und Spaltung der Unterschenkelfaszie wird zwischen Peronäalsehnen und M.-flexor-hallucis-longus-Sehne eingegangen.

Ein wichtiger Zugang zum *Taluscorpus* ist der *mediale Zugang* mit Innenknöchelosteotomie. Der Hautschnitt erstreckt sich vom Os naviculare bis hinter den Innenknöchel. Dieser sollte V-förmig osteotomiert und die innere Corticalis gebrochen werden, um die spätere Reposition zu erleichtern. Bewährt hat sich auch das Vorbohren der Schraubenlöcher für die Refixation noch vor der Osteotomie.

Bestimmte *Calcaneusfrakturen* eignen sich zur Schraubenosteosynthese (Abb. 18.19). Zu nennen sind periphere Frakturen oder dislozierte Zweifragmentfrakturen. Eine eindeutige Indikation sind *Entenschnabelbrüche*. Die Versorgung kann bei geschlossen reponierbaren Brüchen per-

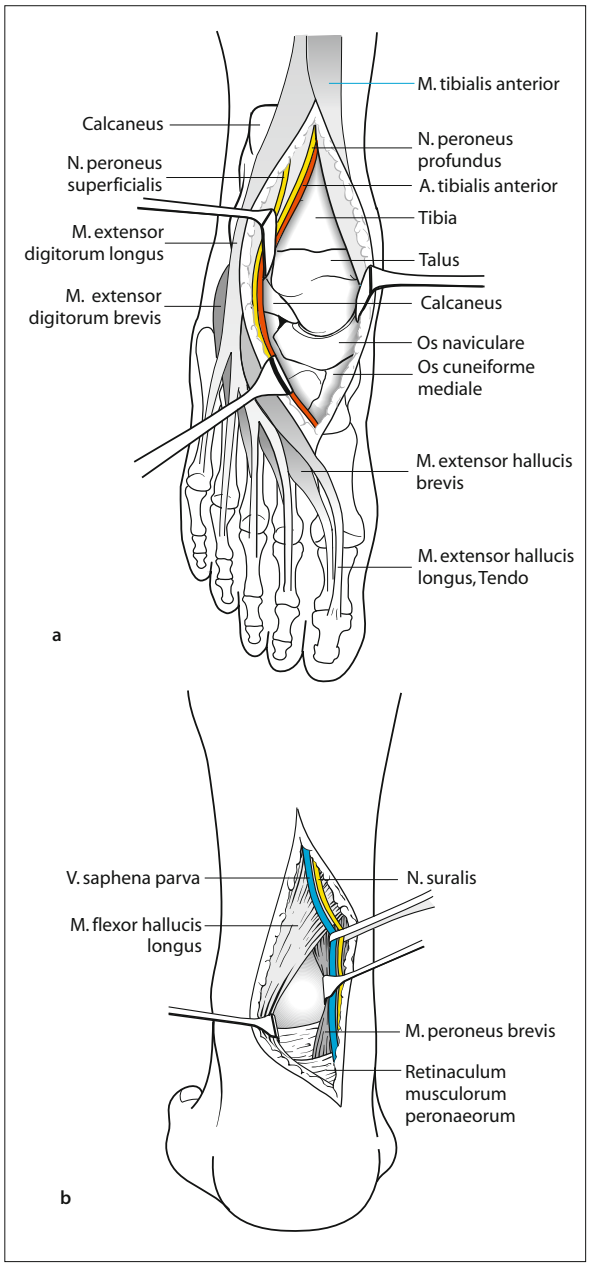


Abb. 18.18. Zugänge zum Talus. a Anteromedialer Zugang; er eignet sich v. a. für Talushalsosteosynthesen und wird zwischen der M.-extensor-hallucis-longus- und der M.-extensor-digitorum-communis-Sehne angelegt. **b** Posterolateraler Zugang zum Talus. Er eignet sich für Talushals-, Corpus- und Proc.-posterior-Frakturen und liegt zwischen M.-flexor-hallucis-longus- und Peronaeus-brevis-Sehne

cutan oder offen erfolgen. Die minimalinvasive Versorgung von Frakturen mit einfacher Beteiligung der posterioren Gelenkfacette ist möglich. Die intraoperative Repositionskontrolle kann arthroskopisch oder durch 3-D-Bildgebung erfolgen. Die Retention erfolgt mit 1–2 subtalar geführten Zugschrauben in das Sustentaculum tali.

Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese ist das Standardverfahren der offenen Versorgung von Calcaneusfrakturen.

Verschiedene anatomisch vorgeformte und in letzter Zeit auch winkelstabile Low-profile-Platten stehen zur Verfügung, insbesondere für mehrfragmentäre Situationen, da nicht immer eine ausreichende Festigkeit nach dem Zugschraubenprinzip zu erreichen ist.

Es existieren mehrere *Zugänge*. Standardzugang für Frakturen der hinteren oder der cuboidalen Facette ist der ausgedehnt laterale Zugang (Abb. 18.20), der die beste Übersicht ermöglicht, Nervenstrukturen schont und eine vergleichsweise geringe Quote an Wundheilungsstörungen hat. Eine Kombination mit dem medialen sustentaculären Zugang (quer, direkt über dem Sustentaculum) ist bei Beteiligung der medialen Gelenkfacette erforderlich [9]. Die Operation erfolgt in *Seitenlagerung* (auf der kontralateralen Seite) oder bei kombiniertem Zugang in Rückenlagerung unter Anhebung des zu operierenden Beins.

Schwierig bei der operativen Versorgung von Frakturen unter Einbeziehung der posterioren Facette ist die postrepositionelle Einschätzung der Gelenkkontur und Schraubenlage, da das Gelenk selbst aufgrund seiner komplexen konvexen Form und Lage nicht direkt einsehbar ist. Um Fehllagen und schlechte Repositionsergebnisse zu vermeiden, kann intraoperativ eine bildwandlergestützte 3-D-Rekonstruktion oder auch eine Arthroskopie erfolgen [10]. Stehen beide Methoden nicht zur Verfügung, empfiehlt sich eine postoperative CT-Kontrolle.

3 in den Talus eingebohrte Kirschner-Drähte retinieren den Weichteillappen schonend und zuverlässig. Die Reposition des Tuberfragmentes kann durch eine dorsal eingebrachte Schanz-Schraube erleichtert werden.

Referenzpunkte für den *ausgedehnt lateralen Zugang* stellen die Achillessehne, der Außenknöchel und die Basis des 5. Metatarsale dar. Der Schnitt beginnt einige cm oberhalb der Außenknöchelspitze und verläuft senkrecht nahe der Achillessehne. Er biegt auf Höhe des Metatarsale-5-Oberrandes nach ventral um und verläuft parallel zur Fußsohle. Ein Anzeichnen mit dem sterilen Stift empfiehlt sich. Es wird direkt auf den Knochen präpariert, sodass ein einschichtig gehobener subperiostaler Lappen auf dem Periost entsteht (Abb. 18.20). Dieser enthält die Peronäalsehnen und die Nn. suralis et cutaneus dorsalis lateralis. Diese Strukturen sind in jedem Fall zu schonen. Der präparierte Lappen wird weggeklappt, und die Gelenkfragmente werden angehoben und reponiert. Eine Sustentaculumzugschraube, isoliert oder

81

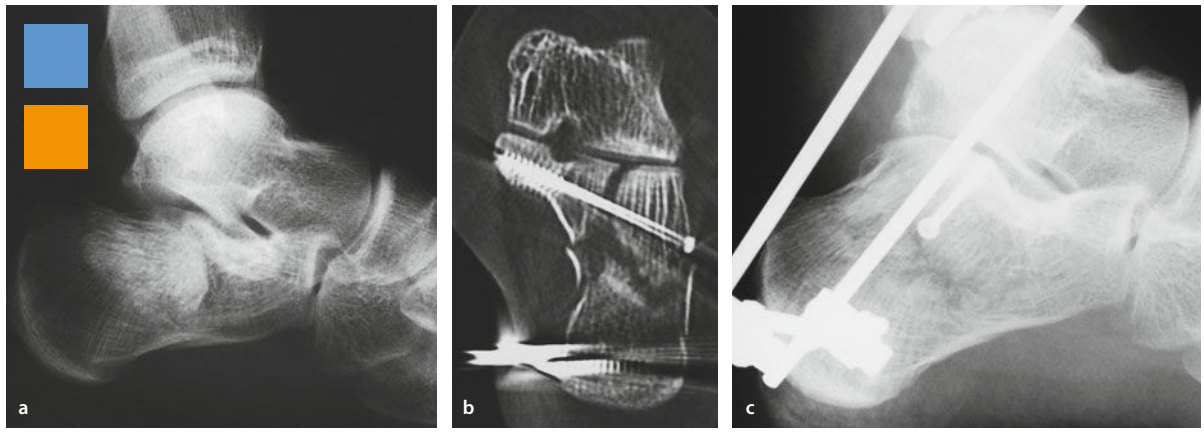


Abb. 18.19. Joint-depression-Fraktur nach Essex-Lopresti mit deutlich imprimiertem Facettenfragment, nach ICI-Klassifikation 81.2C2-Fraktur (**a**). **b, c** Postoperative Bilder nach minimalinvasiver Schraubenosteosynthese. Der Tuber-Gelenk-Winkel ist normalisiert, es besteht keine Gelenkstufe bei geringer Deshiszenz. Zur Sicherung der Reposition zusätzlich Fixateur externe

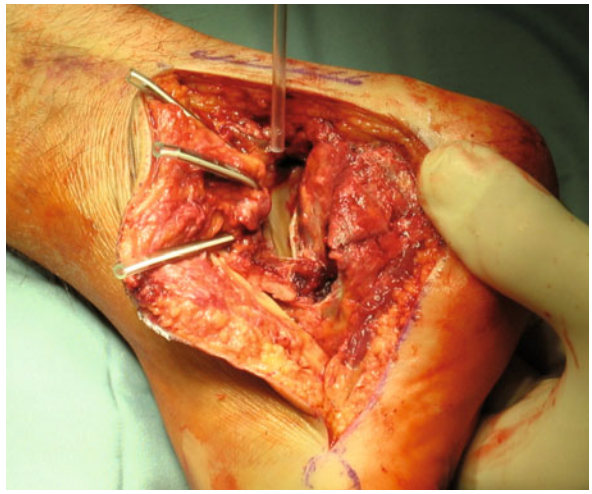


Abb. 18.20. Ausgedehnt lateraler Zugang zur Versorgung einer Calcaneusfraktur. Schnittführung angezeichnet. Die Präparation des Weichteillappens erfolgt subperiostal, die Peronäalsehnen werden en bloc mitgehoben. Der Weichteillappen muss intraoperativ vor Instrumentenzug oder -druck geschützt werden. In den Talus eingebohrte Kirschner-Drähte retinieren den Lappen (gekürzte Drainageschläuche auf den Drähten zum Schutz)

durch die Osteosyntheseplatte, sichert das Repositionsergebnis (Abb. 18.21). Zugangsmodifikationen orientieren sich an der Gefäßanatomie des Calcaneus.

Die *Reposition* komplexer Bruchformen gelingt am sichersten *von medial nach lateral* und im zweiten Schritt *von dorsal nach ventral* [9]. Ist das Sustentaculumfragment verkippt, wird es kongruent zur Talusgelenkfläche reponiert und mit plantar percutan eingebrachten Kirschner-Drähten gehalten. Besteht ein Zwischenfragment in Höhe der posterioren Facette, wird es an das stehende Sustentaculum reponiert und ebenfalls mit Drähten gehalten. Diese werden lateral eingebohrt und medial transcutan ausgeleitet, sodass sie die abschließende Reposition der lateralen Fragmente nicht behindern. Zum Abschluss der temporären Fixation der Reposition werden die medial ausgeleiteten Drähte durch die lateral liegenden, nun ebenfalls reponierten Fragmente zurückgebohrt.

Nun wird das Tuberfragment mit der percutan eingebrachten Schanz-Schraube durch Zug reponiert. Ausgeglichen werden die Verkürzung und Varusfehlstellung (oder Valgusfehlstellung) des Rückfußes. Abschließend wird noch das Proc.-anterior-Fragment eingestellt. Auch hier werden Drähte über den Tuber nach ventral bis in den Proc. anterior zur temporären Fixierung eingebohrt. Jetzt können die Platte zur endgültigen Fixierung aufgebracht und die Drähte entfernt werden.

Problematisch sind die sustentaculären Schrauben, die direkt unter der schlecht einsehbaren Gelenkfläche verlaufen sollen. Eine visuelle Lagekontrolle ist nicht möglich. Daher wird von einigen Autoren die arthroskopische Gelenkkontrolle angestrebt. Als Alternative steht die intraoperative 3-D-Bildwandler-gestützte Repositionskontrolle zur Verfügung, die CT-ähnliche Bilder generiert. Verbliebene Stufen oder fehlplatzierte Schrauben können noch während der Operation erkannt und korrigiert bzw. ausgetauscht werden. Alternativ ist ein navigiertes Einbringen mit gutem Erfolg möglich [10].

Eine Augmentation der reponierten posterioren Gelenkfläche mit autologem Knochen oder Knochenersatzmaterialien ist nur bei ausgedehnten Defekten und v. a. bei Verwendung nicht winkelstabiler Implantate notwen-



Abb. 18.21. 47 Jahre, männlich. Sturz aus 1,5 m Höhe von einem Gerüst auf Beton. Calcaneusfraktur vom Joint-depression-Type nach Essex-Lopresti, nach ICI-Klassifikation 81.2C3-Fraktur. Erst die CT zeigt das wahre Ausmaß der Dislokation. (**b, c**) Postoperativ sind die anatomiegerechte Rekonstruktion sowie die Plattenlage erkennbar (**d**)

dig. Die von einigen Autoren beobachtete Fistelbildung und Infektanfälligkeit kann im eigenen Patientengut nicht bestätigt werden. Wir verwenden in Knochen umbaubare poröse Implantate, z. B. aus β-Tricalciumphosphat möglichst in Blockform, die unter die Gelenkfläche abstützend implantiert werden [11].

Fixateur externe

Die Versorgung von Talus- oder Calcaneusfrakturen mit einem Fixateur stellt eine Ausnahmeindikation dar. Sie orientiert sich nicht an der Frakturmorphologie, sondern an der *Weichteilsituation (offene Fraktur, Kompartment)* und der Gesamtverletzungsschwere (*Polytrauma*; s. unten). Bei solchen Brüchen wird eine mediale *Dreipunktabstützung* über Schanz-Schrauben in der distalen Tibia, im Tuber calcanei und im Os metatarsale 1 verwendet [8]. Zusätzlich wird eine Schanz-Schraube im Metatarsale 5 platziert. Nach Weichteilkonsolidierung erfolgen die endgültige Osteosynthese und der Weichteilverschluss, der bei Defekten über ein Lappentransplantat erfolgen muss. Auch bei *Polytraumatisierten* kommt diese Art des Fixateurs zum Einsatz.

Die Reposition kann durch eine von dorsal in den Tuber calcanei eingedrehte Schanz-Schraube erleichtert werden. Auch hier wird zusätzlich minimalinvasiv mit Kirschner-Drähten stabilisiert; das Hämatom wird über Stichinzisionen entlastet. Auch bei einem manifesten Kompartmentsyndrom ist der Fixateur nach Fasciotomie und Reposition sinnvoll.

18.1.6 Nachbehandlung

In jedem Fall sind bei Frakturen der Rückfußknochen sofort abschwellende Maßnahmen einzuleiten ebenso wie die üblichen antithrombotischen Therapien. Ein Kompartmentsyndrom des Fußes kann sich nach dem Trauma, aber auch erst postoperativ entwickeln. Bei Bedarf sind die Kompartimente zu spalten; in jedem Fall ist bei erheblichen Schwellungen am 1. postoperativen Tag eine Überwachung angezeigt.

81

Bei den *Talusfrakturen* empfiehlt sich immer eine *Entlastung*, die sich nach der Bruchschwere richtet. Bei konservativ behandelten Typ-I-Frakturen nach Hawkins reicht in der Regel eine Immobilisation im Unterschenkelgipsverband für 6–8 Wochen aus, um zur Ausheilung zu führen. Fußwurzel und Vorfuß stehen in Neutralposition, sonst sind die funktionellen Ergebnisse schlecht. Die Heilung tritt meist nach 6 Wochen ein, kann aber auch 4 Wochen mehr in Anspruch nehmen. Bei höhergradigen Frakturformen sind auch Entlastungen bis zu 12 Wochen möglich. Bestehen Zweifel über den Abschluss der Frakturheilung, sollte eine CT-Untersuchung durchgeführt werden. Werden Typ-II-Frakturen nach Hawkins oder höhergradige Brüche stabil osteosynthetisch versorgt, ist eine postoperative äußere Fixation nicht erforderlich, sondern es wird mit einer frühzeitigen Bewegungstherapie begonnen.

Die komplette Entlastung der Extremität bis zum Nachweis der Frakturheilung wird unseren Patienten empfohlen; andere Autoren empfehlen bei stabil osteosynthetisch versorgten Frakturen eine Teilbelastung mit Sohlenkontakt bis 20 kg. Auch sind ggf. Entlastungsorthesen (Allgöwer-Gehapparat o. Ä.) sinnvoll.

Eine *Metallentfernung* ist nur bei lokalen, durch das Osteosynthesematerial verursachten Problemen indiziert. Zur postoperativen Kontrolle kann die gewünschte Beurteilung des Repositionsergebnisses und der Schraubenlage eine Indikation zur Computertomographie sein. Als sehr wertvoll hat sich eine CT-Untersuchung etwa 8 Wochen nach dem Unfall erwiesen, weil hier einerseits der Stand der Frakturheilung selbst beurteilt werden kann und weil andererseits die Dekalzifizierung der Fußwurzelknochen beurteilbar ist.

Die relativ hohe Sensitivität der MRT zur Diagnose idiopathischer Knochennekrosen ließ hoffen, auch prognostische Informationen bei posttraumatischen Knochennekrosen zu erhalten. Allerdings sind die MRT-Befunde bei der Talusfraktur schwierig zu interpretieren, sodass sie keine sichere prognostische Aussage erlauben. Eine Perfusions-MRT könnte hier in Zukunft bessere Resultate liefern. Histologische Untersuchungen und Einblicke in das magnetresonanztomographische Signalverhalten unterstützen eine Aufgabe der vollständigen Entlastung zum Konsolidierungszeitpunkt oder sogar bereits nach 4 Wochen. Die Kollapsrate ist offenbar davon unbeeinflusst [12–14].

Bei der *Calcaneusfraktur* wird nach Möglichkeit *frühfunktionell* behandelt. Extension und Flexion im oberen Sprunggelenk sowie Pro- und Supination im unteren Sprunggelenk werden sofort oder nach wenigen Tagen freigegeben. Periphere Frakturen des Tuber und zentrale Frakturen ohne Beteiligung des Proc. anterior können in einer Rückfußentlastungsorthese ruhiggestellt und der Patient hiermit mobilisiert werden. Für alle übrigen Frakturen gilt eine 6-wöchige *Entlastungsphase*, gefolgt von einer 6-wöchigen ansteigenden Teilbelastung. Hilfreich sind in dieser Phase langsohlige Hartschaleneinlagen.

Da häufig Restbeschwerden verbleiben, hoffen Patient und auch Arzt gelegentlich auf den positiven Effekt einer *Implantatentfernung*. Diese ist jedoch bei reizfrei einliegenden Implantaten kaum indiziert, auch die Entfernung im Rahmen einer operativen Arthrolyse des unteren Sprunggelenkes hat die Erwartungen in Bezug auf Funktionsverbesserung und Beschwerdeminderung nicht erfüllt.

18.1.7 Sonderformen

Mehrfachverletzte Personen. Frakturen beider Knochen gehören zu den problematischen Brüchen. Sie treten nicht nur in Kombinationsverletzungen mit anderen Verletzungen des Fußes, sondern auch im Rahmen von Mehrfachverletzungen (Abb. 18.22) und Polytraumata auf. So besteht bei etwa 25% der Patienten mit Calcaneusfraktur ein Polytrauma. Ursächlich sind bei beiden Knochen Hochrasanztraumata, wobei hier unterschiedliche Kräfte wie z. B. große axiale Kompression wirksam werden. Offene Frakturen, Luxationsfrakturen und andere komplexe Bruchformen sind dann nicht selten. Weichteilproblematiken bis hin zum manifesten Kompartmentsyndrom müssen ausgeschlossen oder dringend behandelt werden. Weniger hochgradige Frakturen werden hier oft initial übersehen (»neglected injury«). Die Behandlungsprinzipien richten sich nach den oben genannten Richtlinien.

Kinder. Talusfrakturen und Calcaneusfrakturen bei Kindern sind eine Rarität, aber Typ-I- und -II-Frakturen nach Hawkins kommen gelegentlich selbst nach banalen Traumata wie etwa einem Sturz mit einem Tretroller vor. Da im Verlauf der kindlichen Entwicklung ein buntes Bild an Knochenkernen entsteht, kann die Diagnostik irreführend sein. Bei entsprechender Traumaschwere und Unklarheit nach dem Röntgen kann auch eine MRT, ggf. in Narkose, indiziert sein. Die Behandlung entspricht der beim Erwachsenen, jedoch wird eine Adaptation durch Bohrdrahtosteosynthese durchgeführt, wenn bei kleinen Kindern die Verschraubung technisch zu aufwendig erscheint.

Ältere Personen. Bei hochbetagten Patienten hat sich bewährt, im Zweifelsfall lieber einen für die Weichteile sicheren konservativen Weg zu gehen, als durch eine Osteosynthese mit fraglichem Ausgang eine anatomi-

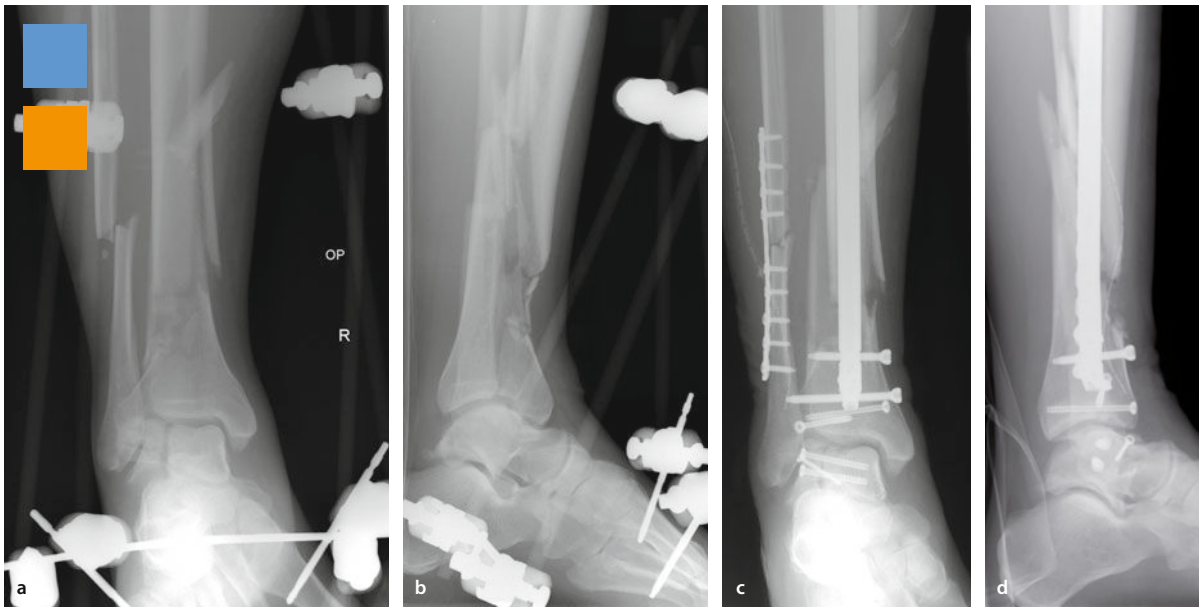


Abb. 18.22. 38 Jahre, männlich. Sprung von einer Mauer aus 2 m Höhe. Taluscorpusfraktur im Rahmen einer Mehrfachverletzung, nach ICI-Klassifikation 81.1C2-Verletzung. Initiale Versorgung über Fixateur externe (**a, b**). Postoperatives Bild nach Verfahrenswechsel und offener Reposition und Schraubenosteosynthese über anteromedialen Zugang. Außenknöchelfraktur an der unteren 1/3-Grenze über Plattenosteosynthese versorgt, limitiert aufgebohrter Marknagel im Unterschenkel; zusätzliche Zugschrauben zur Sicherung der distalen Tibiagelenkplateaus

sche Rekonstruktion zu versuchen. Kritisch zu betrachten sind sowohl die Komorbidität (insbesondere Durchblutungsstörungen, trophische Störungen und metabolische Erkrankungen) als auch das bisherige Mobilitätsniveau. Entscheidet man sich doch zur Operation, entsprechen die Prinzipien denen der jüngeren Erwachsenen.

18.1.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Talus

Bei den Knochenbrüchen des Talus ist die Prognose ganz wesentlich von der Frakturschwere, vom Frakturverlauf und der -dislokation sowie vom zeitlichen Ablauf der Versorgung abhängig. Typische Komplikationen sind die aseptische Nekrose, Arthrose oder die Arthrose der angrenzenden Gelenke. Mit einer vollständigen Wiederherstellung nach zentraler Talusfraktur ist nicht regelhaft zu rechnen.

Das Hauptrisiko der Verletzung besteht in der Ausbildung einer gestörten Frakturheilung mit Entwicklung einer avaskulären Nekrose. Die Kompressionszugschraubenosteosynthese verbessert die Prognose deutlich, da Stabilität der Fraktur und Revaskularisierung verbessert werden. Das histologische Bild zeigt im Fall von Nekrosen den Untergang von Osteozyten sowie das Einwachsen von zell- und gefäßreichem mesenchymalem Gewebe und einen Knochenanbau. Dieser Prozess wird als schleichender Knochenersatz (»creeping substitution«) bezeichnet.

Bei Gelenkbeteiligung oder verbleibender Fehlstellung kann es zu vorzeitigem Verschleiß bis hin zur Gelenkversteifung kommen. Eine rasche chirurgische Stabilisierung in anatomischer Position sowie eine frühfunktionelle Nachbehandlung verbessern die Langzeitergebnisse entscheidend.

Bei schneller Versorgung und anatomischer Reposition liegt die Nekroserate bei zentralen Brüchen <20% [15] und bei fast 30% bei Talushalsfrakturen. Für die Typ-I-Frakturen nach Hawkins liegt sie bei etwa 10%, bei Typ-III- und -IV-Frakturen werden dagegen posttraumatische Nekrosen in weit >50% der Fälle beobachtet. Aber auch bei vollständiger Luxation entsteht nicht in jedem Fall, sondern in etwa 70% der Fälle eine Nekrose. Bei etwa 2/3 der Patienten mit Nekrose sind die klinischen Ergebnisse schlecht; nur 1/3 haben keine Schmerzen. Die Resultate werden auch durch die Rate subtalarer Arthrosen in praktisch 100% und durch eine Arthrose des oberen Sprunggelenkes in rund 35% beeinträchtigt.

81

82

Solche Folgen führen mitunter zu sekundären Versteifungen oder anderen *Folgeoperationen*. Die *»core decompression«* des Talus bei nicht traumabedingter Nekrose wird empfohlen und kann auch bei der posttraumatischen Talusnekrose eine Behandlungsoption darstellen. Das Gleiche gilt für die Transplantation gefäßgestielter Späne. Die Therapie beim kollabierten Talus richtet sich in erster Linie nach dem klinischen Beschwerdebild. Die Arthrodese des oberen Sprunggelenks oder die partielle Talektomie mit tibiocalcanearer Fusion wurden als Ultima ratio beschrieben.

Insgesamt zeigten 35% der Patienten ein sehr gutes Ergebnis. Nur 16% waren unzufrieden. Mit *Einschränkungen der Gehleistung* ist oft zu rechnen bis hin zur erforderlichen dauerhaften Nutzung von Gehhilfen. Bewegungseinschränkungen sowohl im oberen als auch im unteren Sprunggelenk betreffen die meisten Patienten. Allerdings kommt es auch nach Ausbildung von Talusnekrosen zu spontanen Reperfusionen (ca. 1/5 nach 2 Jahren). Von allen Patienten mit Talusfrakturen erreichen nur etwa 15% eine völlige Wiederherstellung der Funktion. Mehr als die Hälfte der Verletzten hat Beschwerden, ohne eine Arthrose oder Nekrose erkennen zu lassen.

Prognostisch günstig ist das sog. *Hawkins-Zeichen*. Dieses ist positiv, wenn die Talusrolle in der a.-p. Röntgenprojektion 6–8 Wochen nach dem Unfall und nach vollständiger Entlastung der Extremität eine subchondrale Atrophie zeigt. Dies wird als Zeichen einer intakten Vaskularisation des zentralen Talus gesehen, da die Entlastungsatrophie der der übrigen Fußwurzelknochen entspricht. Pseudarthrosen entstehen mit einer Häufigkeit von ca. 10%, wobei die konservativen Behandlungen hier dominieren.

Calcaneus

Bei den Calcaneusfrakturen belegen mehrere Studien die prinzipielle Überlegenheit der Osteosynthese gegenüber dem konservativen Vorgehen [16–19]. Nach konservativem Vorgehen wurden 28% Früharthrosen, 10% Arthrodesen und 3% Amputationen notwendig [20]. Dieser Vorteil war jedoch teilweise nur dann nachweisbar, wenn eine anatomiegerechte Rekonstruktion der subtalaren Gelenkfläche erfolgt war. In >20% der Fälle waren Nachrepositionen aufgrund verbliebener Fehlstellungen erforderlich [9].

Die Rate fehlplatzierter Schrauben mit Korrekturbedarf wird in der Literatur zwischen 6 und 25% angegeben, wenn nicht eine intraoperative arthroskopische Konrolle oder eine 3-D-Kontrolle durchgeführt wurde. Werden intraoperative 3-D-Scans durchgeführt, werden solche Probleme nicht mehr beobachtet [10].

Die Ergebnisse nach operativer Therapie haben sich in den letzten Jahren deutlich verbessert, sind jedoch nach wie vor nicht vollständig befriedigend, obwohl funktionell >2/3 der Patienten gute Ergebnisse zeigen. Lokal sind Wundrandnekrosen bei etwa 10% der Operierten zu beobachten, revisionspflichtige Hämatome treten in <5% der Fälle auf. Tiefe Infektionen finden sich bei ca. 1% bis >5% der Fälle je nach Schweregrad der Fraktur und des Weichteilschadens [20]. Pseudarthrosen sind mit <1% der Fälle selten. Wurden Knochenersatzmaterialien implantiert, stieg in einer Kleinserie die Infekthäufigkeit auf >10% [21]. Wir können dies aus eigenen Erfahrungen nicht bestätigen.

Die funktionellen Resultate nach offenen Frakturen des Calcaneus sind schlecht, da es zu Bewegungseinschränkungen durch Fibrosierungen in Gelenken und um Sehnen kommt. Der Langzeiterfolg wird vom Ausmaß der unteren Sprungelenk-Arthrose bestimmt. Bei erheblichen Beschwerden sind in bis zu 5% der Fälle Arthrodesen erforderlich. Erhebliche verbliebene Dislokationen führen zu Störungen der Biomechanik, insbesondere bei Rückfußverkürzung mit veränderten Hebelverhältnissen und beim Rückfußkollaps, der aufwendige operative Rekonstruktionen notwendig machen kann.

Nichtoperativ lassen sich die Beschwerden der Patienten durch orthopädisches Schuhwerk (z. B. Arthrodesestiefel) lindern.

18.1.9 Begutachtung

Die Frakturen beider Knochen führen, da sie benachbart liegen und dieselben Gelenke funktionell beeinträchtigen, zu ähnlichen Bewertungen des Grades der Behinderung/der Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE). Häufige Probleme sind neben der funktionellen Problematik auch Verformungen des Fußes und Sekundärarthrosen. Je nach dem Grad der Fehlstellung oder Arthrose ist ein GdB/MdE von ≤30 gerechtfertigt. Ein Beispiel ist die Versteifung des oberen Sprunggelenks. Je nach Fußstellung werden bei einer Steife in Plantarflektion von 0–20° ein GdB/MdE von 20, bei einem Spitzfuß >0° von 30 und bei einem Hackenfuß >20° Dorsalextension ein GdB/MdE von 40 gegeben. Bei Neutralstellung erzielt eine Versteifung im unteren Sprunggelenk einen GdB/MdE von 10 und simultan im oberen und unteren Sprunggelenk demzufolge von 20. Fixierte Fehlstellungen in Varus/Valgus werden je nach Winkel mit einem GdB/MdE um 10 bewertet.

Bei Calcaneusfrakturen kommen Bewertungen des GdB/MdE je nach Funktionsstörung von 20–40 zum Tragen. Ein posttraumatischer Plattfuß wird mit 30 bewertet. Die Bewertungen für die private Unfallversicherung liegen in vergleichbaren Bereichen.

18.2 Mittelfuß

Definition

Der Mittelfuß besteht nach der ICI-Klassifikation aus einer ersten *proximalen Reihe* mit den *Ossa naviculare et cuboideum* sowie in einer zweiten *distalen Reihe* mit den *Ossa cuneiformia mediale, intermedium et laterale* (▶ Kap. 18.1 »Rückfuß«, ◘ Abb. 18.2). Sie bilden den *zentralen Teil des Fußlängs- und -quergewölbes*. Die Nummer hinter dem ersten Punkt charakterisiert den Knochen, z. B. 82.2 Os cuboideum, sodass sich die numerische Kodierung von 82.1 Os naviculare bis 82.5 Os cuneiforme laterale ergibt. Die Knochen werden dabei von proximal nach distal bzw. von medial nach lateral durchnummeriert. Die Anzahl der betroffenen Segmente bzw. Gelenke ergibt die Schweregrade A1 bis C3, genau wie beim Rückfuß.

Demzufolge handelt es sich hier um Brüche der 5 kleineren Ossa tarsalia. Diese sind gelegentlich separat oder in Abhängigkeit der vorherrschenden Verletzungsmechanismen meist in *Kombination mit anderen Verletzungen* betroffen.

Nicht dislozierte Frakturen können konservativ behandelt werden, gelenkbeteiligende Brüche sind auch bei nur geringer Dislokation in der Regel operativ zu versorgen.

In Abhängigkeit von den vorherrschenden Verletzungsmechanismen treten Verletzungen der kleinen Mittelfußknochen meist in Kombination mit anderen Verletzungen auf. Auf der Seite der Krafteinwirkung werden meist Kompressionsfrakturen beobachtet, die Biegungsseite zeigt oft Abrissfrakturen.

Die mediale Fußsäule besteht aus Talus (▶ Kap. 18.1), Os naviculare und den Ossa cuneiformia. Das *Os naviculare* ist eingebettet zwischen den Ossa cuneiformia und dem Talus. Es nimmt daher eine *Schlüsselstellung im medialen Fußgewölbe* gleich dem *Schlussstein* im romanischen Bogen ein. Demzufolge stellt das Talonaviculargelenk das zentrale Gelenk für alle Komplexbewegungen des Fußes dar. In der konkaven Gelenkfläche kann sich der Talus wie in einem Kugelgelenk bewegen. Es wird daher auch als Acetabulum pedis bezeichnet. Medial findet sich die Tuberositas ossis navicularis als Ansatz des M. tibialis posterior.

Den Abschluss der medialen Fußsäule und den wichtigsten Anteil des Quergewölbes bilden die Ossa cuneiformia. *Os cuneiforme intermedium et laterale* besitzen im Frontalschnitt Keilform. Somit haben sie auf das *Quergewölbe* bezogen gleich dem Os naviculare in der medialen Säule *Schlusssteinfunktion* für das Fußquergewölbe.

Fußlängs- und -quergewölbe sind durch die Plantaraponeurose, die kleinen Fußmuskeln sowie durch den M. tibialis posterior und die Mm. peronaei verspannt (Steigbügel). Das Os cuboideum stellt die Fortsetzung der lateralen Fußsäule dar. Es bildet ein stabiles Sattelgelenk mit dem Proc. anterior calcanei und garantiert so eine stabile laterale Säule.

Am Fuß findet sich ein spärlicher Weichteilmantel, der bei jeder Form der Versorgung nicht zusätzlich geschädigt werden darf. *4 Kompartimente* gliedern die Fußbinnenmuskulatur.

- Das größte *zentrale* Kompartiment beinhaltet u. a. die Flexoren.
- Das darüberliegende *interossäre* Kompartiment fasst die Mm. interossei.
- Im *medialen* Kompartiment liegen die Großzehenmuskeln.
- Im *Lateralen* finden sich die Muskeln des 5. Zehs.

Wegen der meist zugrunde liegenden *Hochrasanztraumata* liegen oft komplexe Verletzungsmuster wie Chopart-Luxationsfrakturen vor. Diese betreffen das Chopart-Gelenk, Articulatio tarsi transversa, das medial aus Talus und Os naviculare, lateral aus dem Proc. anterior calcanei und dem Os cuboideum gebildet wird. Das kräftigste das Chopart-Gelenk stabilisierende Band ist das Lig. bifurcatum (Chopart-Band) zwischen dorsalem Proc. anterior calcanei zum seitlichen Rand des Os naviculare bzw. zum dorsalen Anteil des Os cuboideum.

Die meisten gelenkigen Verbindungen sind Amphiarthrosen (»straffes Gelenk« – echtes Gelenk mit durch straffe Bandverbindungen stark eingeschränkter Beweglichkeit). Der 1. Strahl hat seine Beweglichkeit fast vollständig verloren.

Peritalare Luxationen werden wie andere Luxationen, die nach der Dislokationsrichtung des distalen Fragments benannt werden, dem distalen anatomischen Anteil des Fußes zugeordnet. Demzufolge finden sich die Verletzungen des *Chopart-Gelenks* beim Mittelfuß und die des Lisfranc-Gelenks beim Vorfuß. Chopart-Luxationsfrakturen machen 15% aller Talusverletzungen und 1% aller Luxationen aus [1]. Bei etwa 80% der Patienten finden sich *Kettenverletzungen* der betroffenen Extremität. Rein ligamentäre Luxationen sind extrem selten.

Jede Störung des diffizilen Systems aus knöchernen Strukturen und ligamentären Verspannungen führt unvermeidlich zu einer Änderung und Störung der Achsenverhältnisse und der Statik der beiden Fußsäulen.

Wichtig

Bei nicht adäquater Behandlung resultieren daher erhebliche Störungen der Statik und der Fußfunktion.

Aufgrund der stabilen Bandführung sind erhebliche Kräfte zur Luxation erforderlich. Nicht selten wird aufgrund der vorherrschenden Unfallmechanismen ein *komplexes*

82

Fußtrauma beobachtet. Hier sind mehrere Anteile des in 5 Abschnitte untergliederten Fußes betroffen. Die betroffenen funktionell-anatomischen Ebenen sind

- oberes Sprunggelenk,
- Talus,
- Calcaneus,
- Chopart- und Lisfranc-Gelenk,
- Weichteilschaden.

Es werden der Grad des Weichteilschadens, bestimmte besonders schädigende Mechanismen und die Anzahl der betroffenen Etagen mit jeweils 1 Punkt versehen. Werden 5 und mehr Punkte erreicht, handelt es sich um ein komplexes Fußtrauma [2].

18.2.1 Mechanismus

Generell führen Krafteinwirkungen auf der Seite der einwirkenden Kraft, der *Kompressionsseite,* zu *Impressionsfrakturen* und auf der *Zugseite* zu Bandverletzungen oder *Abrissfrakturen*. So entstehen einfache Frakturen durch Fußaußenrandhebung oder Abduktion (oder laterale Krafteinwirkung auf den Mittelfuß) bzw. Innenrandhebung oder Adduktion (mediale Krafteinwirkung mit innen liegendem Stauchungsmoment bzw. lateraler Biegung). Ein typisches Beispiel ist die Kompression des *Os cuboideum* zwischen Calcaneus und den Basen der Metatarsalia 4 und 5 wie bei einem Nussknacker. Sie wird daher als *Nussknackerfraktur* bezeichnet.

Häufig kommen auch axial stauchende Momente bei fixiertem Vorfuß oder Rückfuß hinzu. Die Stellung des Fußes bestimmt also den Verlauf der Fraktur. Nach [3] sind >2/3 der Fälle auf axiale und mediale Krafteinwirkungen zurückzuführen. Bei Stürzen werden axiale Kompressionen, die zu Plantarflexion oder Dorsalextension führen, beobachtet.

Abrissfrakturen am *Os naviculare* finden sich bei Fußaußenrandhebung oder forcierter Flexion. Corpusfrakturen entstehen durch die beschriebenen Mechanismen. Rein axiale Stauchung führt zu Spaltung in ein plantares und ein dorsales Fragment. Kommt ein plantar flektierendes Moment dazu, findet sich ein typischer Verlauf des Bruchs von dorsolateral nach plantar medial. Das große dorsomediale Fragment zeigt häufig eine Dislokation nach dorsomedial mit entsprechender Subluxation im Talonaviculargelenk. Laterale Kompression führt zu außen gelegenen Impressionen, häufig mit Klaffen des Gelenks durch begleitende Kapselverletzungen. Anhaltende Überlastung kann *Ermüdungsbrüche* mit sich bringen. Es findet sich in der Regel eine sagittale Fraktur im Corpus.

Als Ursachen komplexer Verletzungsmuster sind fast ausschließlich *große lokale Krafteinwirkungen* zu nennen, da nur diese aufgrund der stabilen Kapsel-Band-Strukturen am Fuß zu entsprechenden Verletzungen führen. So werden in etwa 50% Verkehrsunfälle, in 40% Stürze aus großer Höhe und in 10% ein lokales Trauma (Barytrauma, schwere Verletzung einer Region, die Funktionsstörungen anderer Organe nach sich ziehen kann) beobachtet. Beim *Verkehrsunfall* ist der Auffahrmechanismus mit axialer Kompression die häufigste Ursache, wobei hier die Energie des Aufpralls auf den Fuß übertragen wird. Beim Barytrauma sind erhebliche Weichteilschäden die Regel, sodass *Kompartmentsyndrome* oder *primäre Amputationen* möglich werden können. Aufgrund der großen auslösenden Gewalt sind in 1/3 der Fälle das Lisfranc- und das Chopart-Gelenk zusammen betroffen.

Subtalare Luxationen führen zu Dislokationen im Talonavicular- und Talocalcaneargelenk. Sie treten nach erheblichen Krafteinwirkungen auf und sind extrem selten. Meist wird die Luxation des Taluskopfs nach medial beobachtet. Bei der lateralen Luxation kann die Tibialis-posterior-Sehne interponiert sein, sodass eine operative Reposition erforderlich ist.

18.2.2 Klinik

Es finden sich die üblichen *unspezifischen Frakturzeichen* wie Schmerz, Schwellung, Hämatom und Fehlstellungen bis hin zur auffälligen Deformität. Sind einzelne Knochen betroffen, sind die Symptome eher lokalisiert. Beispiele sind die *Os-naviculare-Abrissfraktur der Tuberositas* oder die naviculare Ermüdungsfraktur. Hier finden sich anhaltende Schmerzen im dorsomedialen Fußgewölbe. Wegweisend ist die Anamnese. Betroffen sind insbesondere Leistungsportler mit Sprungbelastung. Ein Beispiel für Frakturen in der lateralen Säule ist die *Nussknackerfraktur des Os cuboideum*.

Auch komplexe Verletzungen wie Chopart-Luxationsfrakturen zeigen eine unspezifische Klinik. Als wichtigste Zeichen gelten eine *prallelastische Schwellung* des gesamten Vorfußes wie auch bei Lisfranc-Luxationsfrakturen und das *plantare Hämatom*. Ursache ist die Ruptur verschiedener Sehnenansätze (M. tibialis posterior, Lig. calcaneonaviculare plantare). Die Vorfußbeweglichkeit ist gestört wie auch die Belastbarkeit. Gelegentlich finden sich *tastbare Stufen*. In Abhängigkeit von der einwirkenden Kraft entstehen *Vorfußfehlstellungen* im Sinn von Achsenabweichungen mit Verkürzung der medialen (Vorfußadduktion) oder lateralen Fußsäule (Vorfußabduktion). Im ersteren Fall findet sich oft eine Taluskopfluxation nach dorsolateral, demzufolge steht der Vorfuß medialisiert, ist nicht belastbar, und es ist eine Schwellung des Fußrückens vorhanden.

Wichtig
Führen Fehlstellungen zu einer Überdehnung des Haut-Weichteil-Mantels, ist die Fehlstellung sofort zu beseitigen, um Durchblutungsstörungen bis hin zur Nekrose und daraus resultierende spätere Folgeoperationen und funktionelle Einschränkungen zu vermeiden.

18.2.3 Diagnostisches Vorgehen

Die genaue Anamnese (Mechanismus!) und die klinische Untersuchung geben Hinweise auf eine Fußverletzung. Die Diagnostik beginnt mit dem *Röntgen in 3 Ebenen*

- dorsoplantar bei 30° Kippung der Röhre in caudocranialer Richtung,
- seitlich und
- 45° Schrägaufnahme.

In der Schrägaufnahme werden die 4 am Chopart-Gelenk beteiligten Knochen am sichersten frei projeziert. Dies ist besonders wichtig, da nach Literaturangaben Verletzungen hier besonders häufig übersehen werden (bis 40% [3]). Die *Cymalinie* ist ein wesentliches Hilfsmittel zur Beurteilung (Abb. 18.23). Sie ist in der seitlichen Ebene S-förmig und markiert das Chopart-Gelenk (Articulatio talonavicularis et calcaneocuboidea). Jede Störung dieser Konfiguration liefert einen Anhalt auf eine Fraktur, wenn hier eine Inkongruenz erkennbar ist. Gegebenenfalls sind Schrägaufnahmen oder auch ein *CT* zur Sicherung der Diagnose im Anschluss durchzuführen. In der Cymalinie können Überlagerungen wie z. B. von Os naviculare und Talus wichtige Hinweise liefern. In der seitlichen Ebene sind auch dorsale oder seltener plantare Dislokationen der Metatarsalia erkennbar. Daraus ergibt sich, dass bei jedem Verdacht oder deutlicher Klinik ohne nachweisbare Fraktur ein CT als obligat anzusehen ist. Hier werden insbesondere in den coronaren Schichten okkulte Frakturen oder Avulsionen und Impressionen darstellbar. zum Ausschluss ligamentärer Verletzungen oder von Ermüdungsbrüchen ist das *MRT* das Mittel der Wahl.

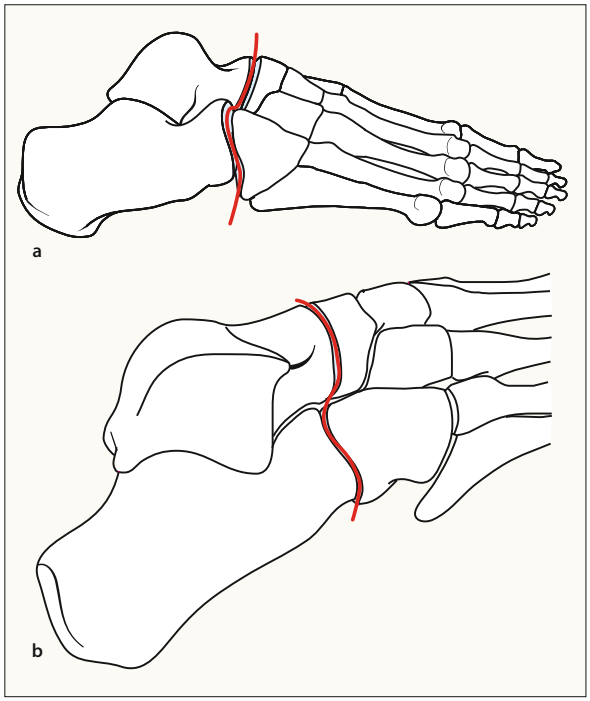


Abb. 18.23 Cyma-Linie im streng seitlichen Röntgenbild (**a**) und in der Schrägaufnahme (**b**). Jede Störung der Gelenklinie weist auf eine Verletzung hin. Ist sie auf den Röntgenaufnahmen nicht sicher abgrenzbar oder finden sich Überlagerungen, ist eine weiterführende Diagnostik einzuleiten

Bei veralteten Verletzungen oder spontan reponierten Luxationen werden *Stressaufnahmen* in Vorfußadduktion oder -abduktion sowie Belastungsaufnahmen a.-p. und seitlich empfohlen. *Vergleichsaufnahmen der Gegenseite* können zur weiteren Klärung beitragen [2]. Auch hier empfiehlt sich die Durchführung einer CT, da mit dieser Methode die Diagnose am sichersten gestellt werden kann.

Der Fuß steht bei Schwerverletzten häufig außerhalb des Interesses. Die spätere Lebensqualität und Arbeitsfähigkeit wird aber durch die Beeinträchtigung von Stand- und Gangbild erheblich beeinflusst. Daher ist eine detaillierte Diagnostik obligat. Diese wird nach Sicherung der Vitalfunktionen direkt nach der Traumaspirale durchgeführt.

Jede Diagnostik, insbesondere bei Hochrasanztraumata, muss eine exakte Beurteilung der *Weichteilsituation* und eine Untersuchung von *Durchblutung* (A. dorsalis pedis et tibialis posterior), Motorik und Sensibilität einschließen. Ein Kompartmentsyndrom muss sicher ausgeschlossen werden; ggf. müssen die intrakompartimentellen Drücke gemessen werden. Schwere Quetschtraumata sind regelhaft von einem Kompartmentsyndrom begleitet. Bei Drücken >35 mm Hg wird die Dermatofasciotomie empfohlen [2].

Hinweis auf eine Luxationsfraktur im Chopart- aber auch im Lisfranc-Gelenk kann ein Plantarhämatom sein. Im seitlichen Röntgenbild geht die harmonische Schwingung der Cyma-Linie verloren.

18.2.4 Klassifikationen

ICI-Klassifikation

Auch für den Mittelfuß gilt wie für den Rückfuß, dass die für den Fuß entwickelte und an die AO angepasste ICI-Klassifikation das »Prinzip« der Klassifikation der

82

Frakturen der langen Röhrenknochen übernimmt und versucht, es an die Besonderheiten des Fußes zu adaptieren [4]. Die Systematik ist wie erwähnt aufgrund der komplexen Anatomie schwer anzuwenden und im klinischen Alltag nicht praktikabel. Auch hier wird diese Adaptation vorgestellt, um die Einheitlichkeit des Buchs zu erhalten und weil andere brauchbare Klassifikationen für die Fußwurzel, insbesondere für einzelne Fußwurzelknochen, nicht existieren. Wir beschränken uns aus Gründen der klinischen Anwendbarkeit bei der ICI-Klassifikation auf die Kodierung bis zur ersten Zahl nach dem Buchstaben nach dem Prinzip der AO (Abb. 18.24).

Beim *Os naviculare* werden morphologisch knöcherne Ausrisse, Corpusfrakturen und selten Ermüdungsbrüche abgegrenzt. Beim Os naviculare ist die Abrissfraktur der Tuberositas besonders zu beachten. Das Os naviculare besteht aus 3 Segmenten (82.1 nach ICI):

- Die talare Facette mit anhängendem Knochen bildet das proximale Segment.
- Der mittlere Abschnitt besteht aus dem Corpus und dem Tuberculum sowie der cuboidalen Facette.
- Das distale Segment wird von den distalen Facetten und dem angrenzenden Knochen gebildet (Abb. 18.25).

Frakturen des *Os cuboideum* finden sich bei komplexen Frakturmustern oder bei Kompression des Knochens zwischen angrenzenden Metatarsalia bzw. dem Calcaneus bei Mechanismen, die mit forcierter Vorfußabduktion einhergehen (*Nussknackerfraktur*). Auch hier bestimmt die Frakturmorphologie die Art der Versorgung. Die 3 Segmente des Os cuboideum (82.2 nach ICI) sind

- die calcaneare Facette mit dem angrenzenden Knochen (proximales Segment),
- Corpus und Tuberculum (mittleres Segment) sowie
- die metatarsalen Facetten mit dem angrenzenden Knochen einschließlich des Sulcus peronaealis (distales Segment).

Wie auch bei den anderen Knochen dieses Kapitels bestimmt die Frakturmorphologie bei den *Ossa cuneiformia* die Art der Versorgung. Es handelt sich oft um Kompressionsfrakturen, die mit Luxationen der angrenzenden Gelenklinien einhergehen. Die Ossa cuneiformia werden ebenso in 3 Segmente untergliedert (82.3–82.5).

- Das proximale Segment besteht aus der navicularen, proximalen intercuneiformen bzw. cuboidalen Facette.
- Der mittlere Abschnitt wird durch die Corpora und die distalen intercuneiformen Facetten gebildet.
- Das distale Segment besteht aus den metatarsalen Facetten und dem angrenzenden Knochen.

Typ A = Extraartikuläre Brüche	
A1	1 Segment des Knochens betroffen
A2	2 Segmente des Knochens betroffen
A3	3 Segmente des Knochens betroffen
Typ B = Intraartikuläre Frakturen, <50% der Gelenkfläche betroffen	
B1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
B2	2 Gelenkoberflächen betroffen
B3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ C = Artikuläre Frakturen mit Luxation/Subluxation, >50% der Gelenkfläche betroffen	
C1	1 Gelenkoberfläche frakturiert
C2	2 Gelenkoberflächen betroffen
C3	≥3 Gelenkoberflächen frakturiert
Typ D = Subluxationen/Luxationen ohne knöcherne Verletzung	
1	1 Gelenk dislozierte
2	2 Gelenke dislozierte
3	≥3 Gelenke dislozierte

Abb. 18.24. ICI-Klassifikation der Region 82 Frakturen der kleinen Mittelfußknochen

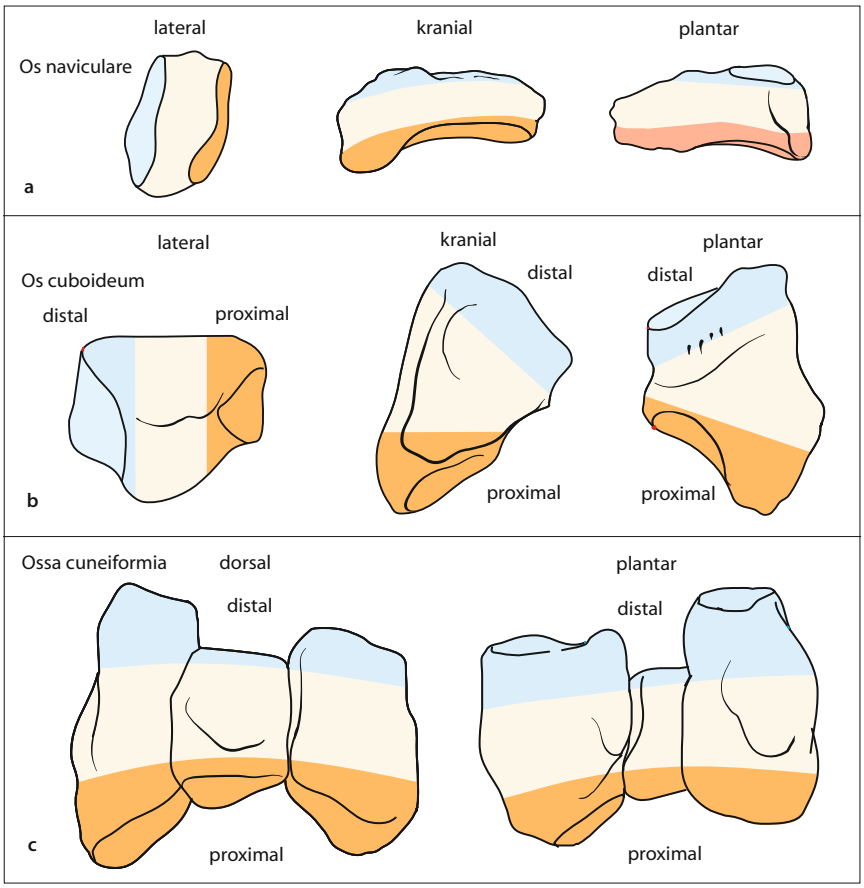


Abb. 18.25. Segmente des Os naviculare, Os cuboideum, Ossa cuneiformia
Segmente des Os naviculare
Proximales Segment *(orangefarben):* talare Facette mit anhängendem Knochen
Mittleres Segment *(beige):* Corpus, Tuberculum und cuboidale Facette
Distales Segment *(blau):* distale Facetten und angrenzender Knochen
Segmente des Os cuboideum und der Ossa cuneiformia s. Text

Beispiele weiterer Klassifikationen

Main u. Jowett [3]. Einteilung der Luxationen im Chopart-Gelenk nach dem Unfallmechanismus in 5 Formen (Häufigkeiten in Klammern):

- *mediale Stauchung* durch Vorfußadduktion (etwa 30%),
- *laterale Stauchung* durch Vorfußabduktion (<20%),
- *longitudinale Stauchung* durch axiale Kraft (ca. 40%),
- *plantare Stauchung* durch Hyperplantarflexion (<10%),
- *direktes Quetschtrauma* (ca. 5%).

Zwipp [5]. Einteilung der Luxationen im sog. Chopart-Gelenk nach der Richtung der luxierenden Krafteinwirkung durch das Chopart-Gelenk (Abb. 18.26). Die Einteilung erlaubt die Lokalisation der maximalen Destruktion, der Luxationsrichtung und die Festlegung der Behandlung.

1. *Transligamentär:* Verläuft nur durch das Chopart-Gelenk, sehr selten, etwa 1% der Verletzungen.
2. *Transnavicular*: Axiale Stauchung mit Vorfußadduktion (durch das Os naviculare und das Chopart-Gelenk, häufigste Form.
3. *Transtalar*: Große axiale Stauchung mit Vorfußadduktion, Impression des Taluskopfes, verläuft durch den Talus und das Chopart-Gelenk.
4. *Transcuboidal:* Axiale Stauchung mit Vorfußabduktion, wobei die Abuktion die dominierende Kraft zu sein scheint, Verlauf durch das Chopart-Gelenk und das Os cuboideum.
5. *Transcalcanear*: Axiale Stauchung mit Vorfußabduktion. Das Os cuboideum wird wie ein Hammer in den Proc. anterior calcanei gestößelt. Ligamentäre Instabilität der medialen Fußsäule, Verlauf durch das Chopart-Gelenk und den Calcaneus.
6. *Kombinierte Formen:* Am häufigsten, z. B. Transnaviculocuboidal, durch beide Knochen verlaufend.

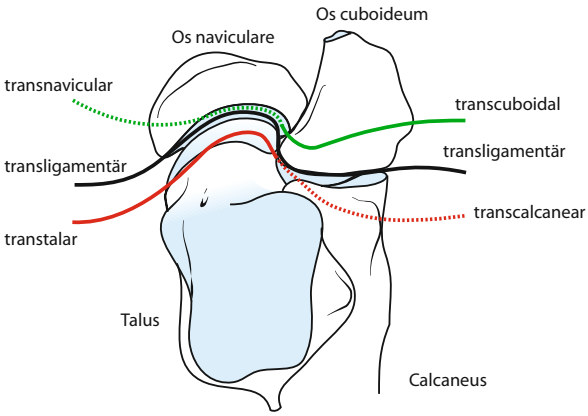


Abb. 18.26. Klassifikation der Verletzungen im sog. Chopart-Gelenk nach Richtung der luxierenden Krafteinwirkung nach Zwipp. Verlauf der Verletzungen (weitere Erläuterungen ▶ Text)

18.2.5 Therapeutisches Vorgehen

Eine schematische Darstellung der Therapieoptionen bei Os-naviculare-, Os-cuboideum- und Ossa-cuneiformia-Frakturen zeigt Abb. 18.27.

Die verschiedenen Bruchformen der Mittelfußknochen gehören ebenso wie die des Rückfußes zu den *problematischen Brüchen*. Auch sie treten häufig in *Kombinationsverletzungen* mit anderen Knochenbrüchen und *Weichteilproblematiken* bis hin zum manifesten Kompartmentsyndrom auf. Das operative Vorgehen richtet sich nach dem Verletzungsmuster, da es sich meistens um Kombinationen verschiedener Frakturen und/oder Luxationen des Mittelfußes handelt. Wesentlich ist die anatomische Wiederherstellung der Gelenkkongruenzen und der Gelenklinien, der ligamentären Stabilität und der Zweisäulenstatik. Eine Operationsindikation besteht bei allen Brüchen, die mit einer Verkürzung einer der beiden Säulen einhergehen, sowie bei Impressionen mit Gelenkstufen ab 2 mm.

Offene Frakturen und *Luxationsfrakturen* in der Chopart-Gelenklinie stellen *Notfälle* dar und müssen sofort reponiert und operativ versorgt werden. Dies gilt auch für geschlossene Bruchformen, wenn die Reposition konservativ nicht erreicht oder gehalten werden kann. *Dislozierte zentrale Frakturen* müssen *dringlich operiert* werden. Indikationen sind demnach verhakte Luxationen, dislozierte Frakturen, Impressionen mit Verkürzung einer oder beider Säulen, da sonst Achsenabweichungen auftreten würden. So sind aufgrund der Mechanismen Cuboidfrakturen oft mit Abrissfrakturen am Os naviculare kombiniert und umgekehrt.

Bei allen diesen Verletzungen spielt die *Weichteilproblematik* eine entscheidende Rolle, sodass sich das

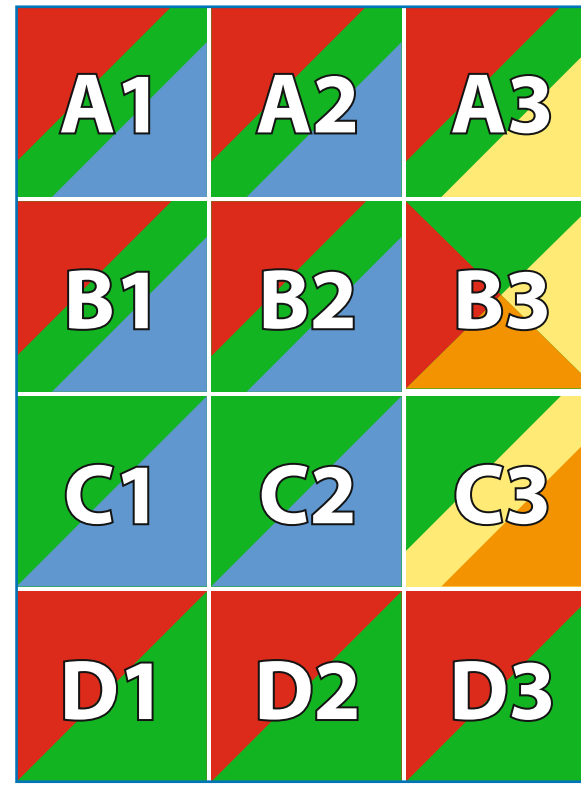


Abb. 18.27. Therapieoptionen bei Frakturen von Os naviculare, Os cuboideum und Ossa cuneiformia. Einteilung nach der an die AO-Klassifikation adaptierten ICI-Einteilung. Da in den meisten Fällen komplexe Verletzungsmuster der Knochen des Mittelfußes auftreten, werden sie in einem Schema zusammengefasst. In den meisten Fällen sind Kombinationen verschiedener Verfahren bei der operativen Versorgung erforderlich, sodass dieses Schema lediglich einen Anhalt bieten kann (Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich, da sich das Verfahren der Art der Fraktur wie z. B. Impression oder knöcherner Ausriss etc. anpasst und nicht dem Schweregrad nach der ICI–Klassifikation).
- konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Kirschner-Drahtosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe

Therapieregime der Weichteilsituation anpassen muss. Zusätzliche Weichteilschäden durch die Behandlung sind unbedingt zu vermeiden. Notfälle stellen Frakturen mit zweit– bis drittgradigem Weichteilschaden und Kompartmentsyndrome dar. Hier muss innerhalb von 6 h operiert werden. Bei *Kompartmentsyndrom* sind alle *4 Kompartimente* des Fußes zu *spalten*, und es ist möglichst eine primäre Versorgung der Frakturen anzustreben. Die Wunden werden temporär gedeckt und nach einer oder mehreren Revisionen sekundär genäht oder mit Spalthaut gedeckt. Weichteildefekte werden entsprechend den Prinzipien der plastischen Chirurgie bis hin zur freien

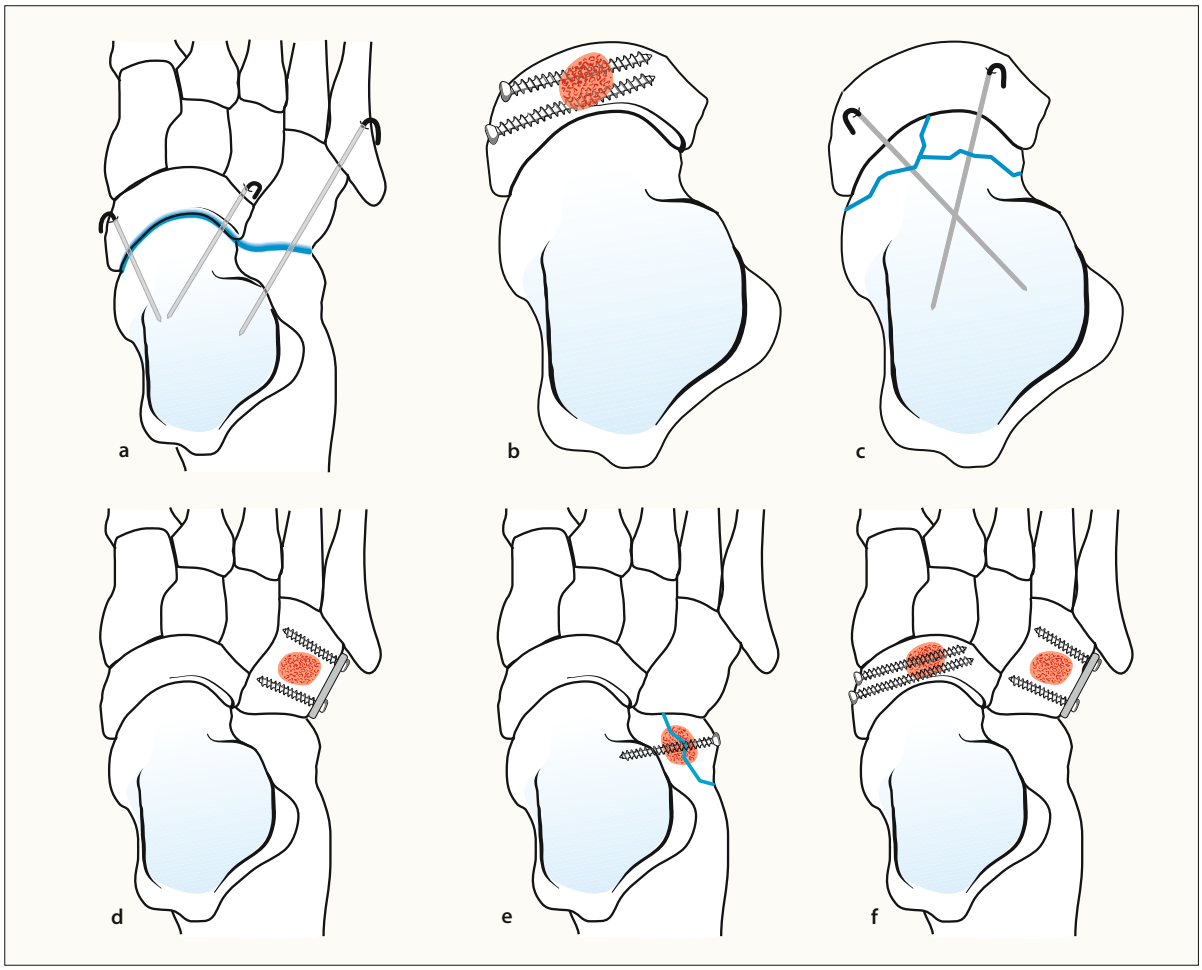


Abb. 18.28. Beispiele für Versorgungsstrategien bei Chopart-Luxationsfrakturen. Für die Wiederherstellung der Gelenkkongruenzen sind Spongiosaplastiken oder bei allseitigem Knochenkontakt auch Knochenersatzmaterialien zur Rekonstruktion der betroffenen Säule erforderlich
a Transligamentäre Verletzung. Versorgung mit Kirschner-Drähten
b Naviculare corpusfraktur. Unterfütterung bei Impression der Gelenkfläche mit Spongiosaplastik oder Knochenersatzmaterial und Zugschraubenosteosynthese
c Transtalare Fraktur. Zugschraubenosteosynthese oder transnaviculare Kirschner-Drahtosteosynthese, im letztgenannten Fall dient das Naviculare als Widerlager für die Talusstellung
d Transcuboidale Verletzung. Spongiosaplastik oder Knochenersatzmaterial und Zugschrauben- oder Plattenosteosynthese
e Transcalcaneare Verletzung. Spongiosaplastik oder Knochenersatzmaterial und Zugschraubenosteosynthese
f Kombinierte Formen. Rekonstruktion beider Säulen nach den beschriebenen Prinzipien, Os cuboideum mit Miniplatte versorgt

Lappentransplantation versorgt. Wir verweisen auf die einschlägige Literatur.

Amputationen werden *primär* entlang der klassischen Amputationslinien am Fuß durchgeführt. Die Höhe orientiert sich an der Durchblutungssituation. Die Anteile des Fußes, die sich nach Reposition nicht erholen, sind einzuschließen.

Die Wiederherstellung der Beweglichkeit konzentriert sich auf das Talonaviculargelenk. Daher ist dieses Gelenk exakt zu rekonstruieren (Schlüsselgelenk des Fußes). Die anderen Gelenke können versteift werden.

Das Grundprinzip der Versorgung von Verletzungen am Mittelfuß besteht aus der Rekonstruktion der medialen und lateralen Säule (Wiederherstellung der exakten Länge und damit der Zweisäulenstatik), der anatomischen Wiederherstellung der Kongruenz aller betroffenen Gelenke und der Gelenklinien sowie der Stabilisierung ligamentärer Instabilitäten. Die Wiederherstellung der Beweglichkeit konzentriert sich auf das Talonaviculargelenk.

Für alle Knochen dieses Kapitels richtet sich die Versorgungsstrategie nach der Art der Verletzung und nicht so

sehr nach der ICI-Klassifikation in Anlehnung an die AO. Für die Wiederherstellung der Gelenkkongruenzen sind häufig Spongiosaplastiken oder bei allseitigem Knochenkontakt auch Knochenersatzmaterialien erforderlich, damit die Länge der betroffenen Säule rekonstruiert werden kann. Versorgungsbeispiele gibt ◘ Abb. 18.28 schematisch wieder. Die Osteosynthese darf die spärlichen Weichteile am Fuß nicht zusätzlich gefährden, daher sind Kirschner-Drähte nicht selten das Verfahren der Wahl. Ein Fixateur kann ergänzend erforderlich sein, um die Osteosynthese temporär zu schützen oder ligamentäre Instabilitäten zu überbrücken. Bei komplexen Verletzungsmustern wird eine intraoperative 3-D-Bildgebung empfohlen, um exakte Repositionen und korrekt platzierte Implantate nachzuweisen. Dieses Vorgehen soll Revisionsoperationen reduzieren [6].

Wichtig

Eine Operationsindikation besteht bei allen Brüchen, die mit einer Verkürzung einer der beiden Säulen einhergehen, sowie bei Impressionen mit Stufen ≥2 mm. Offene Frakturen und Luxationsfrakturen in der Chopart-Gelenklinie stellen Notfälle dar und müssen sofort reponiert und operativ versorgt werden. Dislozierte zentrale Frakturen einzelner Knochen müssen dringlich operiert werden.

Somit ist das *Ziel* der operativen Behandlung die Wiederherstellung der Fußsäulenlänge und damit der Achse sowie die Wiederherstellung der Gelenkflächen. Typische *Implantate* sind Kirschner-Drähte, Schrauben oder Miniplatten, die je nach intraoperativer Situation und Fragmentgröße eingesetzt und oft kombiniert werden. Bei verbleibender Instabilität ist ein tibiotarsaler Fixateur zwischen distaler Tibia und den Metatarsalia 1 und 5 indiziert.

Konservative Therapie

Indikationen für die konservative Behandlung stellen alle nicht dislozierten Frakturen oder Luxationen dar oder Brüche und Luxationen, bei denen eine stabile Situation ohne wesentliche Fehlstellung nach Reposition erreicht werden kann. Alle rein ligamentären Verletzungen des Chopart-Gelenks, die sich durch Umkehrung des Luxationswegs reponieren lassen, können ebenfalls konservativ im Gips zur Ausheilung gebracht werden. Die Behandlung erfolgt mit gespaltenem Gips und Entlastung für mindestens 6 Wochen.

Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese

Indikationen für die operative Behandlung mit Drähten sind alle dislozierten Frakturen oder Luxationen oder Brüche und Luxationen, bei denen eine stabile Situation ohne wesentliche Fehlstellung nach Reposition nicht erreicht werden kann. Je nach Verletzungsmechanismus sind Cuboidfrakturen oft mit Abrissfrakturen am Os naviculare kombiniert (Vorfußabduktion) und Naviculafrakturen mit knöchernen Ausrissen lateral (Vorfußadduktion). In solchen Fällen eignen sich temporäre Kirschner-Drahtarthrodesen auf der Seite des knöchernen Ausrisses für 6 Wochen. Sie sind auf der Kompressionsseite prinzipiell auch möglich, wenn auf diese Weise eine stabile Situation erreicht werden kann.

Auch die Fraktur der *Tuberositas ossis navicularis* kann mit einer Drahtosteosynthese im Sinn einer *Zuggurtungsosteosynthese* versorgt werden. Eine Operation ist bei Dislokation obligat. Besteht keine Dehiszenz, ist ein koservatives Vorgehen möglich. Eine Distanzheilung ist unbedingt zu vermeiden, da sonst eine Insuffizienz des M. tibialis posterior mit einem in der Folge auftretenden Plattfuß zu erwarten ist. Eine höhere Stabilität wird allerdings mit einer Zugschraubenosteosynthese erzielt.

Weitere Indikationen sind überwiegend ligamentäre Chopart-Luxationen (◘ Abb. 18.29), kleinere Avulsionen oder Impressionen bzw. Trümmersituationen. Die Kirschner-Drähte sind in der lateralen und medialen Säule zu platzieren, also cuboideocalcanear und cuneiformonaviculotalar. Es resultiert eine deutlich geringere Stabilität, wenn nur eine Säule stabilisiert wird.

Schraubenosteosynthese

Für die *Zugschraubenosteosynthesen* gelten dieselben Prinzipien wie oben bei der Drahtosteosynthese beschrieben. Immer dann, wenn *interfragmentäre Kompression* erforderlich ist, sollte der Schraubenosteosynthese der Vorzug gegeben werden. *Stellschrauben* sind statt Zugschrauben anzuwenden, wenn *Stück- oder Trümmerbrüche* und insbesondere Impressionen vorliegen.

Ein gutes Beispiel ist die Fraktur der *Tuberositas ossis navicularis*, die mit einer *KIeinfragmentzugschraube* stabil versorgt werden kann. Einzelne Fragmente des Os naviculare können auch gegen die Ossa cuneiformia, die als Schablone und Widerlager für die Rekonstruktion dienen, ohne großen Funktionsverlust verschraubt werden. Geeignet sind 3,5-mm-Corticalisschrauben oder kleinere Implantate.

Beispiele zeigen ◘ Abb. 18.30 und 18.31.

Plattenosteosynthese

Plattenosteosynthesen sind aufgrund der Morphologie und Größe der Knochen nur eingeschränkt durchführbar. Eine mögliche Indikation stellen Cuboidfrakturen



Abb. 18.29. 45 Jahre, männlich. Sprung aus 2 m Höhe. Initial Schwellung und Schmerzen im Mittelfuß. Radiologisch kein eindeutiges pathologisches Korrelat (**a, b**). Im CT transligamentäre Chopart-Luxation (**c, d**). Kirschner-Drahtosteosynthese nach geschlossener Reposition (**e, f**) [6]

dar. *Trümmerzonen* können nach entsprechender Abstützung durch Unterfütterung auf diese Weise *überbrückt* werden.

Der Zugang zur lateralen Säule ist ca. 10 cm lang und verläuft parallel zur Fußsohle. Der Zugang eignet sich für transcalcaneare und transcuboidale Verletzungen. Zentrum der Inzision ist das Gelenk zwischen Calcaneus und Os cuboideum. Falls erforderlich, erfolgt die Anhebung der Gelenkfläche nach Fensterung mit dem Stößel. Die Unterfütterung ist wichtig, um einen Repositionsverlust zu vermeiden. Dabei dient die korrespondierende Gelenkfläche als Widerlager.

Zur Rekonstruktion der medialen Säule eignet sich ein dorsomedianer längsgestellter Zugang. Transnaviculare Frakturen werden so sicher erreicht. Transtalare Luxationsfrakturen erfordern eine anteromediale Inzision in Verlängerung des 1. Strahls zwischen den Sehnen der Mm. tibialis anterior et posterior. *Kombinationsverletzungen* erfordern ein *bilaterales Vorgehen*, damit beide Säulen erreicht und rekonstruiert werden können. Dabei ist auf eine Weichteilbrücke von mindestens 5 cm zu achten, um Weichteilnekrosen zu vermeiden.

Ein Beispiel ist in ◘ Abb. 18.32 dargestellt.

Fixateur externe

Indikationen zur Anlage eines Fixteurs sind der Grad des Weichteilschadens (offene Fraktur, Kompartmentsyndrom, komplexes Fußtrauma) und die nach Osteosynthese verbleibende Instabilität. Der Fixateur externe ist daher selten allein indiziert. In Kombination mit anderen Verfahren kommt er jedoch häufiger zu Anwendung (◘ Abb. 18.33). Dann ist eine tibiometatarsale Fixation in Ergänzung zu anderen Verfahren erforderlich.

Das Prinzip der Montage ist in ▶ Kap. 18.1 (»Rückfuß«) beschrieben. Es wird eine mediale *Dreipunktabstützung* über Schanz-Schrauben in der distalen Tibia, im Tuber calcanei und im Os metatarsale 1 verwendet.



Abb. 18.30. 25 Jahre, männlich. Mehrfachverletzter durch Verkehrsunfall. Lisfranc-Luxationsfraktur durch lateral einwirkende Kraft mit Kompressionsfraktur des Calcaneus und Schrägfraktur des Os cuneiforme mediale (**a, b**). Die intraoperative Röntgenkontrolle (**c, d**) zeigt die wiederhergestellte Kongruenz im Lisfranc-Gelenk sowie die noch unkorrigierte Stufenbildung im Calcaneocuboidalgelenk *(Pfeile).* Nach Spongiosaunterfütterung und Miniplattenosteosynthese (**e, f**) ist die Kongruenz auch im Chopart-Gelenk erreicht [7]

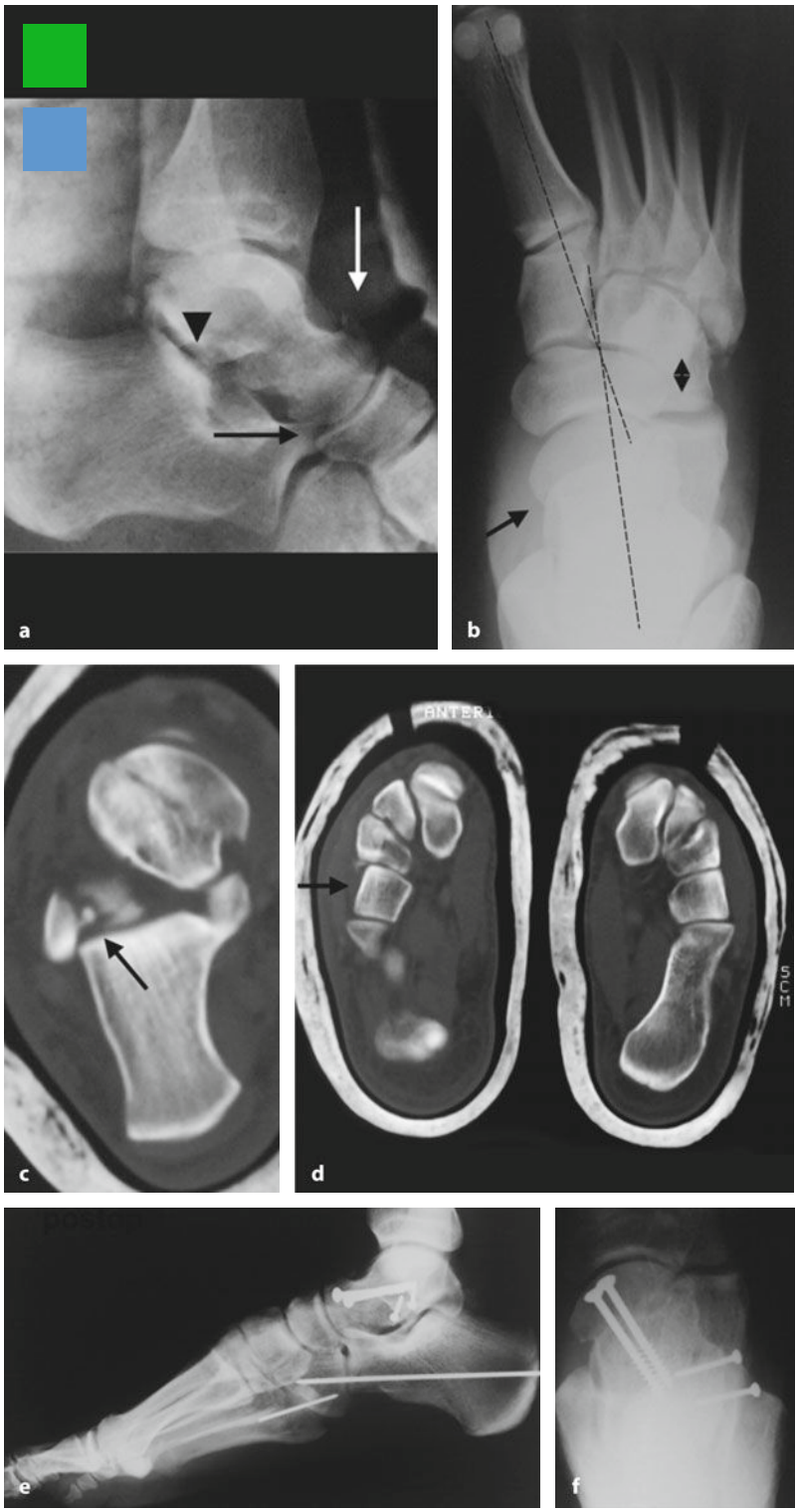


Abb. 18.31. Transtalare Chopart-Luxationsfraktur mit Subluxation des Cuboids durch Hyperadduktion des Vorfußes. **a** Knöcherne Avulsion des Taluskopfs *(weißer Pfeil)*, unruhige Knochenkontur im Bereich des -. fibularis tali *(Pfeilspitze)* sowie deutliche Verwerfung der Cyma-Linie *(schwarzer Pfeil)* in der seitlichen Aufnahme. **b** Dorsoplantare Aufnahme mit Varusknick der talometatarsalen Achse *(gestrichelte Linie)* mit seitlichem Überhang des Os naviculare *(Pfeil)* und erweiterter Gelenkspalt im Calcaneocuboidalgelenk *(Doppelpfeil)*. Im CT Darstellung des gesamten Verletzungsausmaßes mit Kompressionsfraktur des Taluskopfs und des Proc. fibularis tali (**c**) sowie Subluxation des Os cuboideum nach medial (**d**; indirekter Hinweis auf den Luxationsmechanismus). **e, f** Operative Versorgung mit Schraubenosteosynthese des Talus und Proc. fibularis tali sowie offene Reposition und temporäre Transfixation des Kuboids für 6 Wochen [8]

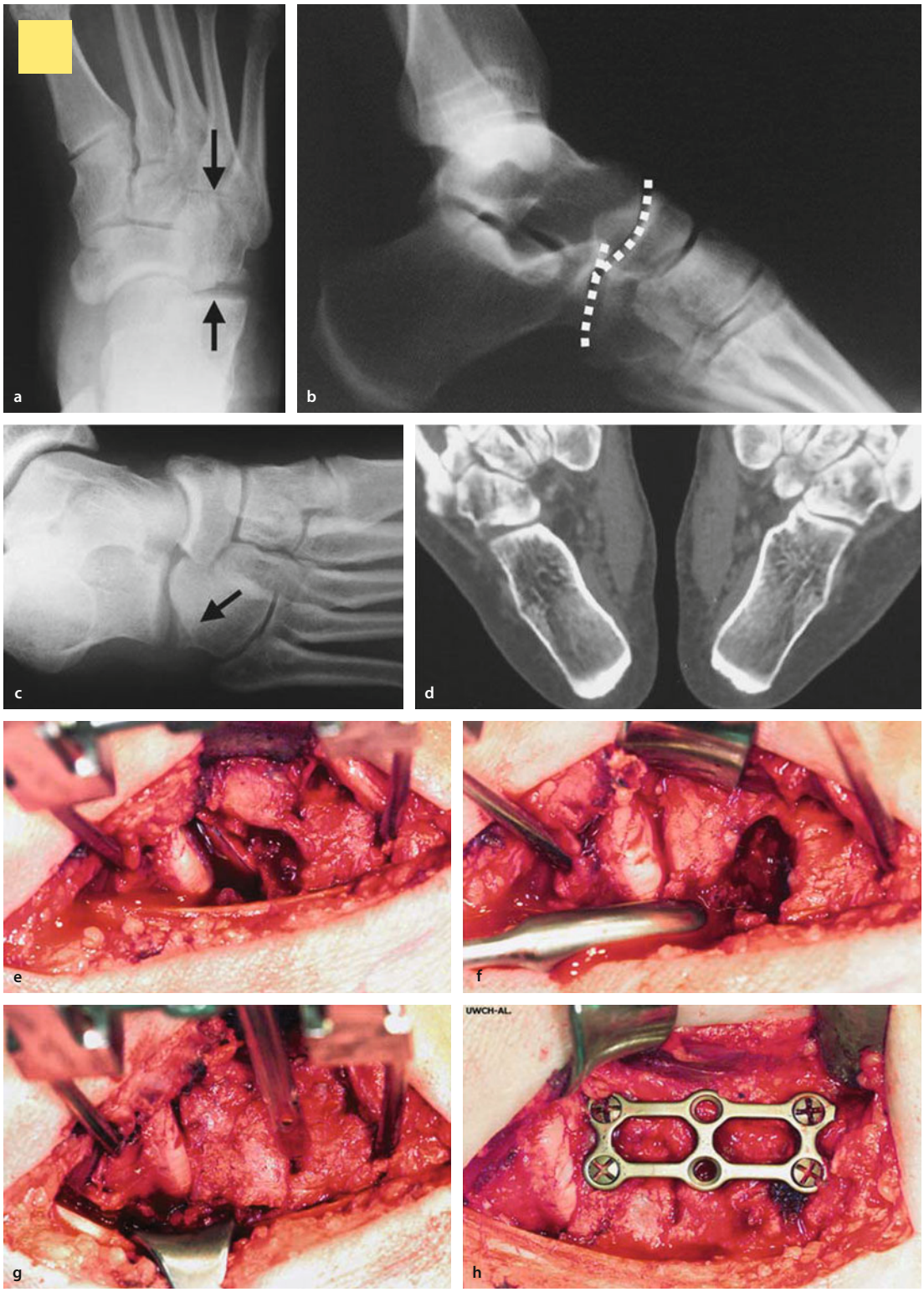


Abb. 18.32. Transkuboidale Chopart-Luxationsfraktur. **a, b** Standardröntgenaufnahmen mit Verkürzung der lateralen Fußsäule (**a** *Pfeile)* mit erweitertem calcaneocuboidalen Gelenkspalt (**c** *Pfeil)* und Verwerfung der Cyma-Linie (**b** *gestrichelte Linie).* **d** Axiale CT mit Gelenkinkongruenz und Impression des Kuboids. **e–h** Operatives Anheben der imprimierten Gelenkfläche zum Proc. anterior calcanei (**e**) unter Zuhilfenahme des Minidistraktors, verbleibender zentraler Stauchungsdefekt (**f**), Auffüllung mit corticospongiösem Span vom Beckenkamm (**g**). **h** Osteosynthese mit Miniplättchen. Transfixation des Calcaneocuboidalgelenks bei persistierender Instabilität für 6 Wochen [8]

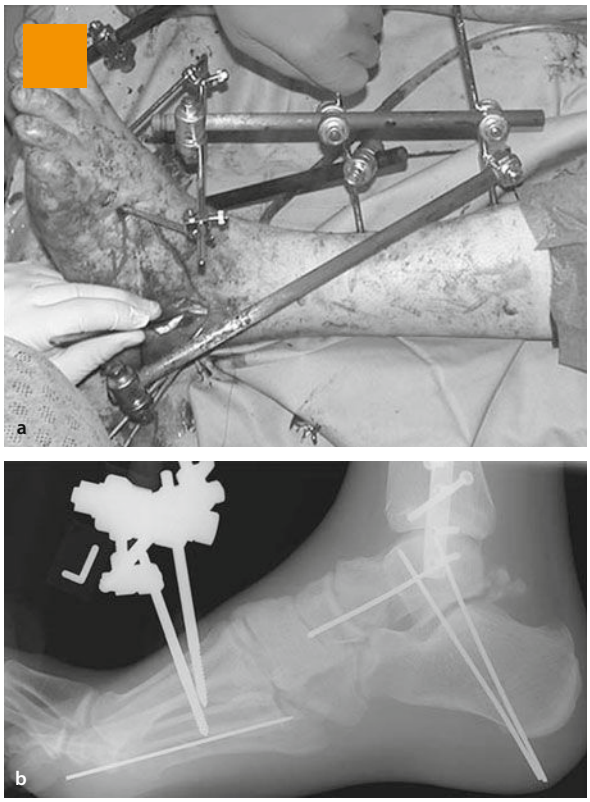


Abb. 18.33. Komplextrauma des linken Fußes, III.-gradig offen. **a** Fixateur-Montage. **b** Definitive Versorgung mit Minimalosteosynthesen und teilbelassenem Fixateur [9]

18.2.6 Nachbehandlung

Bei *konservativer Therapie* von Abrissfrakturen und Luxationsfrakturen hat sich eine Behandlung für *4 bzw. 6 Wochen im Unterschenkelgips* bewährt. Eine 6-wöchige Behandlung im Gehgips mit 20 kg Teilbelastung hat sich auch bei nicht dislozierten Abrissfrakturen der Tuberositas ossis navicularis bewährt. Dieser sollte in der posttraumatischen Schwellungsphase bis auf die letzte Faser gespalten werden. Die Entlastung muss bis zur Entfernung von Drähten, die zur Stabilitätssteigerung im Rahmen einer temporären Arthrodese eingebracht worden sind, beibehalten werden. In der Regel können eingebrachte Drähte nach 6 Wochen entfernt werden, die Vollbelastung sollte nach spätestens 12 Wochen erreicht sein. Knöcherne Verletzungen heilen in der Regel schneller, sodass hier in den meisten Fällen nach 8 Wochen auf eine normale Belastung des Fußes übergegangen werden kann. Wurde keine temporäre Arthrodese durchgeführt kann eine Teilbelastung von 20 kg gestattet werden. Dieses Konzept eignet sich für alle rein ligamentären Verletzungen des Chopart-Gelenks sowie für nicht oder nur gering dislozierte Luxationsfrakturen.

Ergänzend muss eine intensive *krankengymnastische* Übungsbehandlung durchgeführt werden, zusätzlich ist bei Bedarf Lymphdrainage und Gehschule zu verordnen.

18.2.7 Sonderformen

Kinder und ältere Personen. Generell gelten bei Kindern und Betagten dieselben Versorgungsprinzipien. Allerdings sind die Indikationen zur operativen Versorgung bei Kindern großzügig zu stellen, da Spätfolgen wie Arthrosen besonders zum Tragen kommen. Bei Betagten ist die Indikation aufgrund der kürzeren Lebenszeitspanne und der geringeren funktionellen Ansprüche bei oft deutlich schlechterer Knochenqualität strenger zu stellen.

Frakturen der kleinen Fußwurzelknochen sind bei *Kindern* ausgesprochen *selten* und betreffen dann am ehesten das *Os naviculare* (Abb. 18.34). Eher zu beobachten sind akzessorische Knöchelchen wie z. B. ein Os naviculare cornutum. Solche Knöchelchen sind oft prominent und können daher leicht traumatisiert werden. Sie sind dann oft schmerzhaft. Sie können mit Frakturen verwechselt werden. Werden dislozierte Os-naviculare-Frakturen nicht anatomisch reponiert und operativ stabilisiert, führt dies zu einem Einbruch des medialen Fußgewölbes (Schlussstein desselben) oder zur Nekrose. Frakturen des Naviculare sind oft mit Luxationen im Chopart-Gelenk assoziiert. Ist das Cuboid betroffen, werden meistens Kompressionen mit Verkürzung der lateralen Säule beobachtet. Die Versorgung erfolgt wie beim Erwachsenen.

18.2.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die funktionellen Ergebnisse und die Prognose hängen von der anatomischen Reposition und stabilen Retention bei intakten Weichteilen ab. Die exakte Rekonstruktion ist bei der großen Zahl der Knochen und ihrer geringen Größe sowie der häufigen Gelenkbeteiligung oft schwierig. Daher werden oft *posttraumatische Arthrosen und Pseudarthosen* beobachtet, die nicht selten zu Revisionen und komplizierten Verläufen führen. Insbesondere Inkongruenzen nach Impressionen oder Trümmerfrakturen neigen zur Entwicklung von posttraumatischen Arthrosen. Gleiches gilt für Fehlstellungen durch Verkürzung einer der beiden Säulen. Schlechte Ergebnisse werden auch bei längerer Immobilisation, primär offener Fraktur und ossärer Beteiligung gesehen [10].

Beim *Os naviculare* besteht das Risiko der *aseptischen Nekrose*. Insbesondere bei verzögerter Versorgung werden Infekte und avaskuläre Nekrosen beobachtet [11].



Abb. 18.34. 11 Jahre, weiblich. Absturztrauma beim Bergwandern. Isolierte Naviculareträmmerfraktur durch mediale Krafteinwirkung mit Verkürzung der medialen Säule und Inkongruenz der Cyma-Linie. Versorgung durch Plattenosteosynthese nach Reposition und temporärer Arthrodese für 6 Wochen [7]

Pseudarthosen entwickeln sich gelegentlich bei Abrissfrakturen der Tuberositas. Diese können konservativ behandelt werden, wenn keine Beschwerden vorliegen. Bei deutlichen Problemen kann auch die Resektion des Fragments mit knöcherner Refixation der M.-tibialis-posterior-Sehne im Rest des Knochens erforderlich werden.

Nach Frakturen des *Os cuboideum* droht ein *Impingement der Peronaeus-longus-Sehne* unter der Fibulaspitze, wenn die laterale Kontur nicht sicher wiederhergestellt wird.

Die konservative Therapie ligamentärer Verletzungen erbringt gute Ergebnisse bei exakter Reposition und möglichst früh einsetzender funktioneller Behandlung.

Eine Algodystrophie wird eher selten beobachtet. Sie ist bei der Nachbehandlung zu beachten und ggf. entsprechend zu behandeln.

Bei etwa 60% der Betroffenen bestehen anhaltend Schmerzen und funktionelle Einschränkungen aufgrund arthrotischer Veränderungen [12]. Funktionell schlechte Ergebnisse nach Arthrosen können Arthrodesen der betroffenen Gelenke erforderlich machen. Diese werden als reorientierende Arthrodesen mit Korrektur der Achsen- und Längenverhältnisse ausgeführt. Für die Planung und Durchführung der Korrektur ist die Wiederherstellung der Balance zwischen medialer und lateraler Fußsäule von wesentlicher Bedeutung. Bei komplexen Fehlstellungen ist die korrigierende Chopart-bzw. Triplearthrodese indiziert.

18.2.9 Begutachtung

Die Werte für den Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) in der gesetzlichen und die Invalidität der privaten Unfallversicherung richten sich wie auch in anderen Körperregionen nach den Funktionseinschränkungen. Zu erheblichen Einschränkungen führen Arthrosen und insbesondere Versteifungen. So erzielt eine Arthrodese im unteren Sprunggelenk ohne Einbeziehung des Chopart-Gelenks einen GdB/MdE von 10% oder 1/4 Fußwert; eine Versteifung im unteren Sprunggelenk mit Einbeziehung des Chopart-Gelenks wird mit einem GdB/MdE von 25% oder 1/3 Fußwert

beziffert. Eine Versteifung von oberem Sprunggelenk und unterem Sprunggelenk wird mit GdB/MdE 30% oder 4/10 Fußwert bewertet [13]. Bei extremer Spitzfußstellung sind entsprechend GdB/MdE 40% oder 2/5 Beinwert anzusetzen. Ein vollständig ausgebildeter Plattfuß kann je nach Beeinträchtigung einen GdB/MdE von bis 30% erhalten. Eine Os-naviculare-Fraktur mit Sekundärarthrose wird je nach Funktionsstörung mit einem GdB/MdE von bis zu 30% bewertet. Sollten Amputationen erforderlich werden, kann der Verlust im Chopart-Gelenk mit GdB/MdE 35% oder 1/2 Fußwert taxiert werden; der Verlust im Lisfranc-Gelenk erzielt einen GdB/MdE von 30% oder 2/5 Fußwert; eine Pirogoff-Amputation wird mit einem GdB/MdE von 35% oder 1/3 Fußwert eingeschätzt.

18.3 Vorfuß

Definition

Nach der an die AO-Klassifikation angepasste ICI-Klassifikation besteht der Vorfuß aus den *5 Metatarsalia* (83.11 bis 83.15 vom 1. Mittelfußknochen bis zum 5. und den 5 *Zehenstrahlen* sowie den 2 *Ossa sesamoidea* am 1. Strahl. Die Vorfußknochen werden vom Mittelfuß (Nummer 82 nach der ICI-Klassifikation) durch die *Lisfranc-Gelenklinie* getrennt. Das *Lisfranc-Tarsometatarsalgelenk* ist die Verbindung zwischen Ossa cuneiformia et cuboideum und den Ossa metatarsalia. Es besteht aus 3 Gelenkräumen zwischen dem Metatarsale 1 und dem Os cuneiforme mediale, zwischen den Ossa metatarsalia 2 und 3 und den Ossa cuneiformia intermedium et laterale sowie den Ossa metatarsalia 4 und 5 und dem Os cuboideum. Anatomisch besonders und *stabilitätsbestimmend* ist die weit nach proximal zwischen das Os cuneiforme mediale und laterale reichende *Metatarsale-2-Basis*. Das Lisfranc-Gelenk wird durch schwächere dorsale und kräftigere plantare Bänder stabilisiert und zusätzlich durch Anteile der M.-tibialis-posterior-Sehne und des Lig. plantare longum.

Die Vorfußknochen sind separat oder in Kombination mit anderen Verletzungen betroffen. Der Großteil der *Vorfußknochen* besteht aus *Röhrenknochen* (Metatarsus et Phalanges) die aus 3 Abschnitten bestehen, von proximal nach distal aus *Basis*, *Schaft* und *Köpfchen*. Sie sind durch zahlreiche Bandstrukturen untereinander verbunden, was geringfügige Bewegungen gegeneinander ermöglicht. Diese *Verformbarkeit des Vorfußes* kommt bei Bewegungen wie der Pro- und Supination zum Tragen und ermöglicht einen Ausgleich von Unebenheiten des Bodens beim Gehen. Die Lastverteilung auf die Metatarsaleköpfchen ist von einer anatomisch korrekten Position abhängig, bereits geringfügige Dislokationen in der Sagittal- oder Frontalebene können schmerzhafte und hartnäckige Metatarsalgien hervorrufen. Stressfrakturen der Metatarsalia sind mit Abstand die häufigsten derartigen Schädigungen des menschlichen Skeletts. Sie treten bei intensiver körperlicher Beanspruchung auf, ein Beispiel ist die sog. Marschfraktur des Soldaten.

Nach dem eingangs Gesagten handelt es sich definitionsgemäß um Frakturen

- der 5 Metatarsalia (83.11–83.15),
- der einzelnen Zehenknochen (83.21–83.45) und
- der beiden Sesambeine (83.51–83.52) unter dem Großzehengrundgelenk.

Die genannten Strukturen sind separat oder auch in Kombination mit anderen Verletzungen betroffen.

Nicht dislozierte Frakturen können konservativ behandelt werden, gelenkbeteiligende Brüche insbesondere am Großzehengrundgelenk sind auch bei Dislokation in der Regel operativ zu versorgen. Aufgrund des *spärlichen Weichteilmantels* sind nach Möglichkeiten *minimalosteosynthetische Maßnahmen* anzuwenden.

Metatarsalefrakturen machen etwa 1/3 aller Fußfrakturen aus. Das Metatarsale 5 ist am häufigsten betroffen, gefolgt von den Metatarsalia 3, 2, 1 und 4 in abnehmender Häufigkeit. Funktionell unterscheiden sich das 1., 5. und die dazwischen liegenden Metatarsalia, sodass unterschiedliche Therapieprinzipien wirksam werden. Bereits geringe Dislokationen der Metatarsalia 1 und 5 führen zu einer Störung der Fußgeometrie und sollten daher korrigiert werden. Bei Köpfchenfrakturen kommt es zu einer plantaren Dislokation der Köpfchen durch den im Vergleich zu den Strecksehnen stärkeren Zug der oberflächlichen Beugesehnen. Diese werden in Höhe der Grundgelenke in osteofibrösen Kanälen knochennah geführt. Die Inzidenz von Stressfrakturen (Brüche durch wiederholt einwirkende starke Belastungen, kein Unfallereignis) weicht von dieser Häufigkeitsverteilung ab. Die zentralen Metatarsalia (2–4) sind davon häufiger betroffen als die Metatarsalia 1 und 5.

Zehenfrakturen werden entsprechend ihrer Lokalisation beschrieben. Die größte Bedeutung kommt der Großzehe zu, welche beim Gehen wesentliche Kräfte auf den Boden überträgt. Eine spezielle Klassifikation ist mit der an die AO-Einteilung adaptierten ICI-Klassifikation [1] zwar vorgestellt worden, aber unserer Ansicht nach wie auch bei den Metatarsalia für die klinische Anwendung nur eingeschränkt praktikabel. Da es sich um Röhrenknochen handelt, würde sich eher eine Einteilung in Anlehnung an die AO-Klassifikation der langen Röhrenknochen (Schaft abzugrenzen von gelenknahen/-beteiligenden Frakturen) eignen. Da diese Verletzungen in der Regel wenig schwerwiegend und leicht zu behandeln sind und schwere Folgeschäden die Ausnahme sind, beschränken wir uns im Folgenden auf den *alphanumerischen Code nach ICI und eine morphologische Beschreibung der Fraktur.*

Frakturen der *Zehen* stellen die Mehrzahl der Frakturen des Fußskeletts. Frakturen der 2.–5. Zehe sind meist unkritisch. Die *Großzehe* hat für die Biomechanik der Abrollphase Bedeutung, sie dient der Steuerung und dem Abstoßen. Unterhalb des Metatarsale-1-Köpfchens befinden sich 2 Sesambeine. Frakturen der Sesambeine sind selten und dürfen nicht mit anlagebedingten Teilungen verwechselt werden. Ist die Fraktur gesichert, sollte nach weiteren Verletzungen im Bereich der Großzehe gefahndet werden.

Sogenannte *Lisfranc-Luxationen* oder *Luxationsfrakturen* sind durch die Verrenkung von Metatarsalia gegen den Mittelfuß gekennzeichnet. Sie sind selten (<1% aller Frakturen) und in rund 90% mit Frakturen der Basen der Metatarsalia vergesellschaftet. Das Lisfranc-Gelenk hat eine mechanische Schlüsselfunktion am Fuß und bildet das Zentrum des Längs- und Quergewölbes. Daher ist die Erkennung und adäquate Therapie derartiger Luxationsfrakturen von entscheidender prognostischer Bedeutung. Da diese Frakturen insbesondere im Rahmen der Polytraumaversorgung der Diagnostik entgehen können, werden die diagnostischen und therapeutischen Algorithmen im Folgenden miteinbezogen (Einteilung ▶ Kap. 18.3.4).

18.3.1 Mechanismus

Metatarsalefrakturen werden durch *direkte* Gewalt (insbesondere Köpfchenfrakturen, Metatarsale 1, Kettenfrakturen, d. h. Brüche mehrerer Mittelfußknochen) oder *indirekte Krafteinwirkung* verursacht. Die einwirkenden Kräfte können von einfachem wiederholtem Stress (Ermüdungsfraktur, z. B. Marschfraktur bei Soldaten, meist Metatarsale-2-Fraktur) bis zu komplexen Verletzungsmechanismen (Lisfranc-Luxationsfraktur bei Verkehrsunfallopfern, dann oft erhebliche begleitende Weichteilschäden bis hin zum Kompartmentsyndrom) reichen. Für Stressfrakturen besonders anfällig sind Patienten mit vorbestehenden Fußfehlstellungen, wie Rückfußvarus oder Vorfußadduktion. Subcapitale Frakturen werden durch indirekte Kräfte (laterale Scherkräfte) oder direkte Gewalt verursacht. Ähnliches gilt für Schaftfrakturen. Hier ist ein direkter Anprall im Rahmen einer Quetschverletzung (Quer- oder Trümmerbrüche), aber auch wieder eine indirekte Krafteinwirkung möglich. Im letztgenannten Fall finden sich häufig Spiralbrüche, z. B. bei Supinationstraumata.

Das *Metatarsale 5* verdient eine gesonderte Betrachtung, da hier im proximalen Anteil auf engem Raum verschiedene Frakturmuster existieren. So kommen *Avulsionen* der Tuberositas vor (◘ Abb. 18.35a), die einem Abriss der Plantaraponeurose entsprechen, *akute extraartikuläre Brüche des Übergangs Metaphyse/Diaphyse* mit Tendenz zur verzögerten Bruchheilung (*Jones-Fraktur*; ◘ Abb. 18.35b) und reine *Stressfrakturen* des proximalen Schaftes. Besonders erwähnenswert sind die indirekt entstandenen basisnahen Frakturen, die meist, jedoch nicht ausschließlich, auf einen *Hyperflexions-Stauchungs-Mechanismus* zurückgehen. Hier muss sorgfältig nach einer Lisfranc-Luxationsfraktur gefahndet werden, da deren Erkennung und adäquate Therapie entscheidenden prognostischen Einfluss hat.

Zehenfrakturen können *indirekt* (»Hängenbleiben«) oder *direkt* (z. B. durch herabfallenden Gegenstand) verursacht sein. Es entstehen so meist extraartikuläre Schrägbrüche, knöcherne Kapsel-Band-Ausrisse oder mehrfragmentäre Brüche mit oder ohne Gelenkbeteiligung.

Frakturen der *Sesambeine* sind Raritäten und sollten nicht mit anlagebedingten Teilungen verwechselt werden. Sie werden neben der *direkten* Gewalteinwirkung auch durch indirekte Mechanismen wie der *Luxation* im Metatarsophalangealgelenk des 1. Strahls verursacht.

Lisfranc-Luxationsfrakturen kommen im Rahmen großer Gewalteinwirkungen, z. B. bei Verkehrsunfällen, Deformierung des Frontraums), Stürzen aus großer Höhe und anderen *Hochenergietraumata* vor. Daher besteht bei rund 20% der Patienten ein Polytrauma, 75% weisen weitere Brüche der unteren Extremität auf, und nur etwa 10% sind isolierte Verletzungen [2]. Ursächlich sind komplexe Mechanismen, die meist direkte und indirekte Krafteinwirkungen kombinieren. Demzufolge werden meist kom-



◘ **Abb. 18.35. a 48 Jahre, männlich. Abgleiten vom Bordstein mit Supinationstrauma.** Avulsionsfraktur des Metatarsale 5 in der Zone 1 (Tuberositas; ◘ Abb. 18.38) mit Dislokation, operationspflichtige Verletzung (Zuggurtungsosteosynthese oder Zugschraubenosteosynthese). **b 32 Jahre, weiblich. Fehltreten beim Barfußgang.** Fraktur des Metaphysen-Diaphysen-Übergangs am Metatarsale 5 (Jones-Fraktur) mit ausbleibender Frakturheilung. Es besteht Operationspflicht, z. B. mittels Kriechschraube nach Anfrischung des Frakturspaltes und ggf. Spongiosaplastik

plexe Verletzungsmuster beobachtet, wie z. B. bei etwa 1/3 der Fälle die Kombination mit Verletzungen des Chopart-Gelenks. Allerdings sind auch *reine Hyperflexionsverletzungen* möglich. Hier entstehen auch röntgenologisch nicht nachweisbare knöcherne und/oder ligamentäre Läsionen, die unerkannt oft zu Folgeschäden führen. Die Luxation erfolgt in den meisten Fällen nach dorsal. Die Stellung des Fußes in Ab- oder Adduktion bestimmt die verschiedenen Formen der Luxationsfrakturen.

18.3.2 Klinik

Bei Frakturen der *Metatarsalia* findet sich häufig nur ein belastungsabhängiger *punktueller Schmerz* unter der Fußsohle, begleitet von unterschiedlich ausgeprägten Schwellungen und Hämatomen. Die punktuellen Schmerzen verstärken sich bei Belastung und führen zu einer Minderbelastung des Fußes. Es finden sich ein lokaler Druck- und Bewegungsschmerz sowie starke Weichteilschwellungen bis hin zum Kompartmentsyndrom des Fußes. Die Schwellneigung wird durch mangelhafte Hochlagerung und Belastung unterstützt. Bei deutlichen Schwellungen ist eine stationäre Aufnahme und Anlage eines Überwachungsbogens dringlich zu empfehlen. Fehlstellungen wie Verkürzung, Achsenabweichung oder Fehlrotation sind selten klinisch sichtbar, insbesondere können sie selbst bei Lisfranc-Luxationsfrakturen aufgrund der erheblichen Weichteilschwellung der klinischen Betrachtung entgehen.

Zehenbrüche werden nicht regelmäßig dem Arzt vorgestellt und heilen so nicht selten unbehandelt folgenlos aus. Im Bereich der Zehen finden sich alle sicheren und unsicheren Frakturzeichen. Das Nagelorgan kann ebenfalls betroffen sein (vom subungualen Hämatom bis zum Verlust des Nagels und der Nagelmatrix).

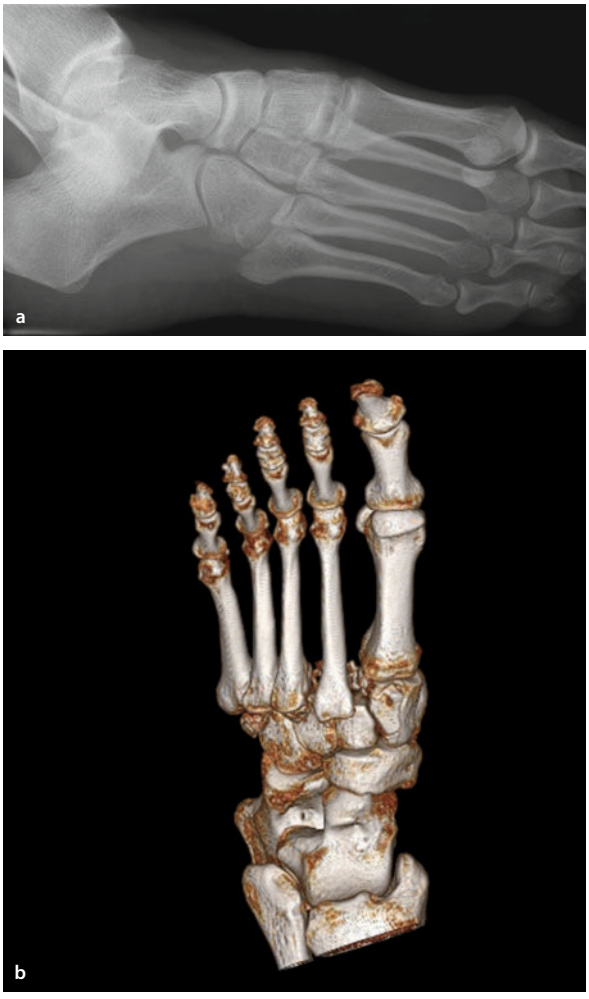
Frakturen der *Sesambeine* äußern sich in hartnäckigen *Belastungsschmerzen* unter dem *Metatarsale 1*, Hämatom und können Zeichen einer stattgefundenen Luxation im Großzehengrundgelenk sein.

Lisfranc-Luxationsfrakturen äußern sich neben dem heftigen Ruhe- und Belastungsschmerz in einer *sichtbaren Fehlstellung mit Stufenbildung am Fußrücken*. Demzufolge kann ein Hohlfuß durch dorsale Dislokation bestehen (Pes-cavus-Fehlstellung) oder eine Abflachung des *Fußgewölbes* durch Plantardislokation. Auch werden *Achsenabweichungen* im Sinne einer Vorfußabduktion beobachtet. Die Instabilität kann auch manuell geprüft werden. Da die *Weichteilschwellung* oft den ganzen Vor- und Mittelfuß betrifft, wird die *Fehlstellung maskiert*. Entspricht das konventionelle Röntgenbild der Verletzungsschwere nicht, muss bei jedem Schmerz im Bereich des Vor- und Mittelfußes dezidiert nach dieser Verletzung gefahndet werden.

18.3.3 Diagnostisches Vorgehen

Nach Erhebung der Anamnese und klinischer Untersuchung ist die Standardröntgendiagnostik oft ausreichend. *Zehenfrakturen* werden über *Röntgenaufnahmen* im a.-p.- und schrägen Strahlengang (45°) gesichert.

Metatarsalefrakturen bedürfen zusätzlich einer *seitlichen Röntgenaufnahme*, um Luxationen oder Subluxationen zu erkennen. Brüche der Basen der Metatarsalia können im Nativröntgenbild gelegentlich übersehen werden. Bestehen Frakturen im Bereich der Metatarsalebasen, muss nach einer Lisfranc-Luxationsfraktur gefahndet werden. Sie kann der Röntgendiagnostik leicht entgehen. Daher ist eine CT-Untersuchung obligat (◘ Abb. 18.36).



◘ **Abb. 18.36. 45 Jahre, weiblich. Motorradsturz.** Lisfranc-Luxationsfraktur. Die Röntgenschrägaufnahme (**a**) erlaubt keinen sicheren Nachweis einer Verletzung. Die fehlenden Gelenkspalte sind ein indirekter Hinweis auf die Luxationsfehlstellung der Metatarsalia 2–4 (◘ Abb. 18.44c, d, postoperative Bilder). Eine CT ist obligat indiziert (**b**). Die 3-D-Rekonstruktion zeigt hier Ausmaß und Luxationsrichtung

Stressfrakturen lassen sich durch eine Szintigraphie oder am sichersten über die *MRT* erkennen und als solche klassifizieren. Eine Kallusbildung im Nativröntgenbild kann ein später, aber sicherer Hinweis auf eine Stressfraktur sein. Daher ist im Zweifel die Röntgendiagnostik nach 10–14 Tagen zu wiederholen. Differenzialdiagnostisch schwierig ist bisweilen die Abgrenzung frischer oder älterer Verletzungen von *Normvarianten* des Fußskeletts. Bei Verdacht auf eine nicht dislozierte Fraktur ist ggf. nach 10 Tagen erneut zu röntgen.

Brüche der Metatarsalebasen werden im Nativröntgen leicht übersehen. Bei deutlicher Klinik und fehlendem Frakturnachweis im Röntgen ist eine CT-Untersuchung obligat.

Frakturen der Sesambeine können durch Röntgenspezialaufnahmen oder im CT gesichert werden.

Lisfranc-Luxationsfrakturen müssen bei entsprechend stark einwirkender Gewalt oder deutlicher Klinik immer ausgeschlossen werden. Zunächst empfehlen sich Röntgenaufnahmen in 3 Ebenen:

- dorsoplantar mit um 20° craniocaudal gekippter Röhre,
- exakt seitlich,
- 45° Schrägaufnahme.

Die CT (2 Ebenen, oblique axial, parallel zum Fußrücken und transversal) und in manchen Fällen erst die 3-D-Rekonstruktion ist obligat anzuschließen und macht die Pathologie deutlich (Abb. 18.36b). Auch dynamische Stressaufnahmen unter dem Bildwandler können ligamentäre Instabilitäten nachweisen. Aufgrund der möglichen Fehlstellung müssen obligat Fußpulse und neurologischer Status überprüft werden. Insbesondere ist ein Kompartmentsyndrom auszuschließen.

18.3.4 Klassifikationen

ICI-Klassifikation

Frakturen des Vorfußskeletts können nach der der AO-Klassifikation nachempfundenen ICI-Klassifikation eingeteilt werden. Diese hat sich bisher jedoch nicht allgemein durchgesetzt. Eine alternative Klassifikation isolierter Frakturen existiert nur für das *Metatarsale 5* mit Einteilung der proximalen Region in 3 Zonen nach *Dameron und Quill* [3, 4]. Man findet Brüche der Basis (Avulsionsfraktur), die akute Fraktur am gefäßarmen proximalen Meta-Diaphysen-Übergang (Jones-Fraktur) und die Stressfraktur der proximalen Diaphyse [5]. Je *nach Lokalisation* unterscheidet man an den Röhrenknochen des Fußes, insbesondere den Metatarsalia, basisnahe, Schaft-, subcapitale und capitale Brüche.

Klinisch bedeutsam und weit verbreitet ist die Einteilung der Lisfranc-Luxationsfrakturen nach *Quenu u. Küss* [6]. Diese ist der Beschreibung durch die ICI-Klassifikation an Anschaulichkeit und Praktikabilität weit überlegen.

Für die Einteilung nach der ICI-Klassifikation gelten folgende Konventionen: Der Vorfuß ist mit der *Kennzahl 83* belegt. Die *dritte Stelle* der Kodierung kennzeichnet die Nummerierung der einzelnen Knochen des Vorfußes von *proximal nach distal* (Metatarsalia 1; proximale Phalangen 2; mittlere Phalangen 3; distale Phalangen 4; Sesambeine 5). Die einzelnen Knochenreihen werden zudem von *medial nach lateral* durchnummeriert, dies repräsentiert die *vierte Stelle* der Klassifikation. Die *fünfte Stelle* wird durch den *Buchstaben* repräsentiert und beschreibt das Vorliegen und *Ausmaß der Gelenkbeteiligung* (extraartikulär A, intraartikulär B, Luxationsfraktur C, reine Luxation D). Die *sechste Stelle* gibt ähnlich wie beim Rück- und Mittelfuß Auskunft über die *Anzahl der* beteiligten *Knochensegmente*. Die Segmente sind auch hier definiert als proximales Segment (proximale Gelenkfläche und Metaphyse), mittleres Segment (Diaphyse) und distales Segment (distale Gelenkfläche und Metaphyse, Abb. 18.37).

Im klinischen Alltag erfolgt die Beschreibung von Frakturen der Zehen deskriptiv. Auch Frakturen der Metatarsalia 1–4 werden so am besten erfasst.

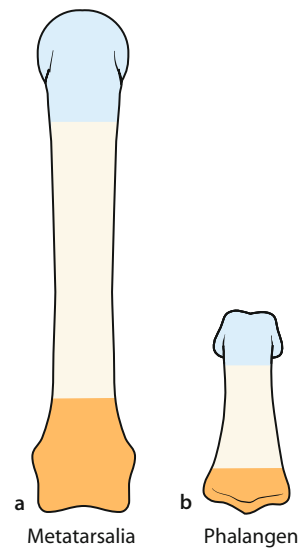


Abb. 18.37. Am Vorfuß, Nr. 83 nach der ICI-Klassifikation, werden die Phalangen und die Metatarsalia mit den Nummern 83.21 bis 83.45 von proximal nach distal und von medial nach lateral versehen (▶ Kap. 18.1, Abb. 18.2). Die Unterteilung erfolgt in **proximales Segment** (*orangefarben,* proximale Gelenkfläche, Metaphyse), **mittleres Segment** (*beigefarben,* Diaphyse) und **distales Segment** (*blau,* distale Gelenkfläche, Metaphyse). Je nach Frakturlokalisation und -ausmaß folgen nach dem Buchstaben die Ziffern 1 bis 3 (z. B. A1 extraartikulär, ein betroffenes Segment, bis A3 extraartikulär, drei betroffene Segmente)

Beispiele weiterer Klassifikationen

Dameron und Quill [3, 4]. Einteilung der isolierten Frakturen der proximalen Metatarsale-5-Region in 4 Typen je nach Lokalisation. Klinisch bedeutsam aufgrund der Therapie und Prognose (◘ Abb. 18.38).

Quenu u. Küss [6]. Die Einteilung der Lisfranc-Luxationsfrakturen erfolgt unter morphologischen Gesichtspunkten nach Richtung der Luxation/Dislokation in 3 Haupt- und verschiedene Untergruppen (◘ Abb. 18.39). Häufig beobachtet werden die homolaterale Luxation aller Metatarsalia mit etwa 2/3 und die isolierte Luxation mit etwas weniger als 1/3 der Fälle. Divergierende Luxationen sind selten.

18.3.5 Therapeutisches Vorgehen

Struktur und Funktionsunterschiede zwischen den einzelnen Metatarsalia führen zu einem unterschiedlichen therapeutischen Management. Deshalb sollte zwischen Frakturen des 1. (trägt etwa die Hälfte der Körperlast), der zentralen (2–4) und des 5. Metatarsale unterschieden werden. Diese Einteilung berücksichtigt das Säulenmodell der Lastverteilung am Fuß mit besonderer Bedeutung des 1. und des 5. Strahls. Folgt man diesem Modell, gilt der *Rekonstruktion dieser Lastsäulen* besondere Aufmerksamkeit.

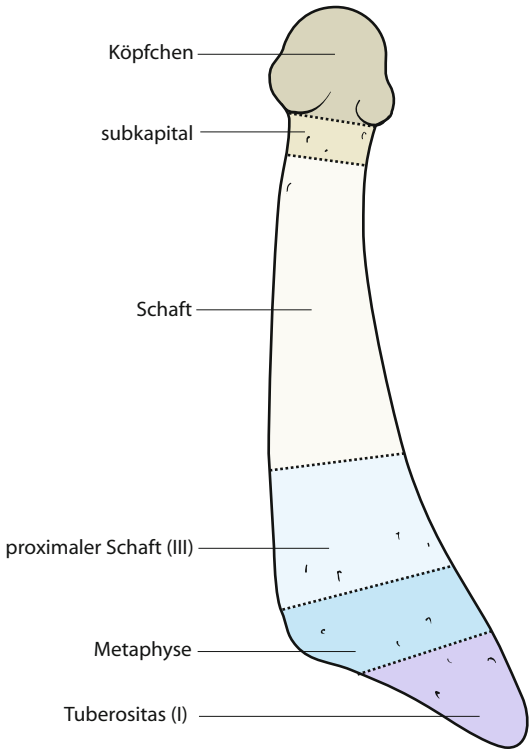
Ziele einer jeden Therapie sind die schmerzfreie Belastungsfähigkeit und ein ungestörtes Stand- und Gangbild. Achse und Länge der Knochen sind wiederherzustellen. Daher werden Seitverschiebungen von 3 mm und mehr oder Achsenabweichungen ab 10° als korrekturbedürftig angesehen.

Die Behandlung von *Metatarsalefrakturen* erfolgt bei inkompletten oder wenig bis nichtdislozierten Brüchen und Stressfrakturen konservativ. Operativ versorgt werden alle übrigen dislozierten Frakturen, Kettenfrakturen oder veraltete Stressfrakturen, die bereits Sklerosezonen aufweisen. Eine Achsen- und Längenrekonstruktion ist aus den oben genannten Gründen besonders bei Metatarsale-1- und -5-Frakturen erforderlich. Bei jungen Patienten und Leistungssportlern ist die Indikation großzügig zu stellen.

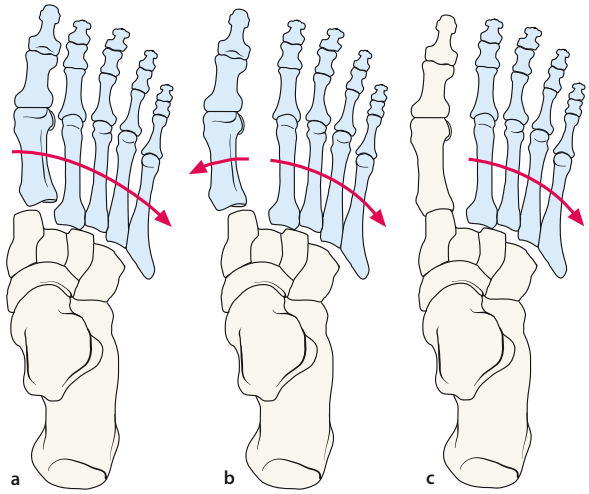
Wichtig

Die Metatarsalia zeigen erhebliche Struktur- und Funktionsunterschiede. Daher sollte zwischen Frakturen des 1., der zentralen (2–4) und des 5. Metatarsale unterschieden werden. Diese drei Abschnitte des Metatarsus erfordern ein unterschiedliches therapeutisches Management.

Frakturen der *Zehen 2–5* werden fast ausschließlich *konservativ* therapiert. Offene Frakturen oder solche mit ungenügender Fragmentstellung nach Reposition sollten unter Schmerzausschaltung reponiert und (ggf. nach



◘ **Abb. 18.38. Klassifikation der Frakturzonen des proximalen Metatarsale 5 nach Dameron und Quill: Typ I:** Abrissfraktur der Tuberositas
Typ II: Bruch am Übergang Meta-/Diaphyse
Typ III: Stressfraktur des proximalen Schaftes
Typ IV: Distale Schaftfrakturen einschließlich Kopf und Hals



◘ **Abb. 18.39. Klassifikation der Lisfranc-Luxationsfrakturen nach Quenu und Küss**
a Homolaterale Form: Alle Metatarsalia sind in die gleiche Richtung nach lateral luxiert
b Divergierende Form: Metatarsale 1 und die Metatarsalia 2–5 luxieren in verschiedene Richtungen
c Isolierten Form: Nur die Metatarsalia 2–4 luxieren

Weichteilversorgung) mit Kirschner-Draht transfixiert werden. Subunguale Hämatome bedürfen der Nageltrepanation, luxierte Nägel sollten möglichst reponiert und refixiert werden. Das Nagelbett ist bei Verletzung mit adaptierenden Nähten zu versorgen, um Nagelwachstumsstörungen und Deformierungen zu vermeiden.

Praktisch alle Frakturen der *Großzehe*, die sich geschlossen reponieren lassen, können *konservativ*, behandelt werden. Aufgrund der Bedeutung des 1. Strahls für ein physiologisches Gehen wird die Indikation zur Osteosynthese jedoch großzügiger gestellt. Die *operative Therapie* dient v. a. der Gelenkrekonstruktion bei B- und C-Frakturen, aber auch der temporären Fixation von D-Verletzungen. Hier kommen Kirschner-Drähte, Schrauben und Plättchen aus dem Minifragmentinstrumentarium zur Anwendung.

Frakturen der *Sesambeine* werden *konservativ* behandelt. Die Exstirpation eines oder gar beider Sesambeine sollte vermieden werden, da hierdurch die Lastverteilung im Vorfußbereich empfindlich gestört werden kann.

Lisfranc-Luxationsfrakturen müssen *notfallmäßig* ohne Beachtung der Nüchterngrenze reponiert und *operativ stabilisiert* werden. Die Reposition kann geschlossen erfolgen, wenn eine gute Reposition erreicht wird. Konservative Behandlungen stellen Ausnahmen bei nicht nachweisbarer Reluxationstendenz und akzeptablem Weichteilschaden dar. Ein drohendes oder manifestes Fußkompartmentsyndrom macht die Spaltung der Vorfußkompartimente zwingend erforderlich. In gleicher Sitzung erfolgt die operative Stabilisierung weiterer Verletzungen.

Abb. 18.40 und 18.41 geben einen Anhalt für die Versorgungsmöglichkeiten bei Frakturen der Metatarsalia und der Phalangen. Eine Unterscheidung bei den B-, oder C-Frakturen in die Schweregrade 1–3, wie sonst bei der Darstellung in diesem Buch üblich, wird nicht vorgenommen, da sich keine wesentlichen Unterschiede in der Therapie ergeben. Die Luxationsfrakturen im Lisfranc-Gelenk werden bei der Therapieempfehlung nach Farbschema aufgrund ihrer Komplexizität nicht berücksichtigt.

Konservative Therapie

Die Behandlung von *Metatarsalefrakturen* erfolgt bei inkompletten und undislozierten Brüchen durch Ruhigstellung im Gipsschuh oder in einer Orthese mit Entlastung für 4–6 Wochen oder in Sonderfällen auch länger. Dem Zustand der Vorfußweichteile muss in den ersten Tagen

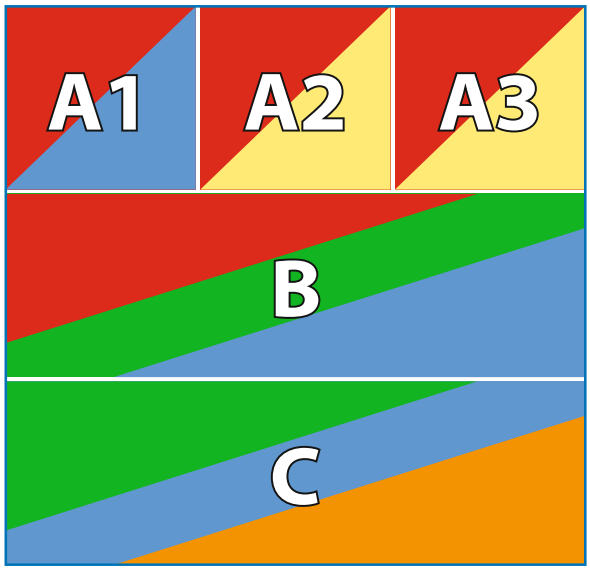


Abb. 18.40. Therapieoptionen bei Metatarsalefrakturen. Einteilung nach der ICI-Klassifikation (*Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe – Die Indikation zur Anlage eines Fixteurs ist eine Ausnahmeindikation, z. B. bei Trümmerfakturen oder erheblichen Weichteilschäden (offene Fraktur, Kompartmentsyndrom) und wird in der Regel in Kombination mit anderen Verfahren angewendet

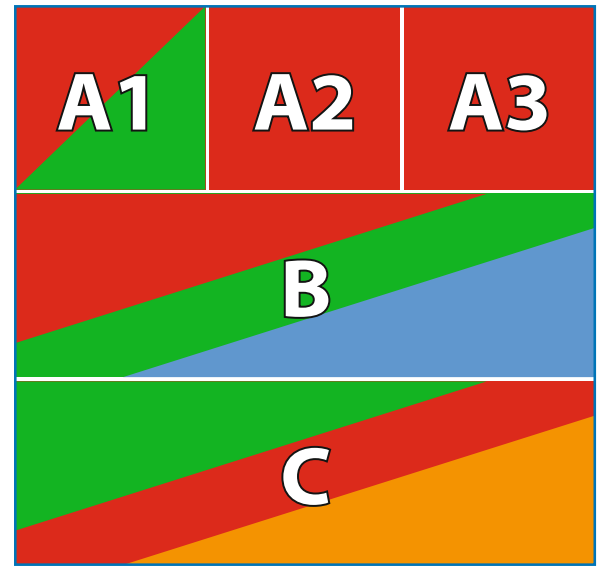


Abb. 18.41. Therapieoptionen bei Brüchen der Phalangen. Einteilung nach der ICI-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynthese
- Schraubenosteosynthese
- Fixateur externe – Die Indikation zur Anlage eines Fixteurs ist eine Ausnahmeindikation, z. B. bei Trümmerfakturen oder erheblichen Weichteilschäden (offene Fraktur, Kompartmentsyndrom) und wird in der Regel in Kombination mit anderen Verfahren angewendet

der Behandlung besondere Beachtung geschenkt werden. Hilfreich sind hier Lagerungstherapie, lokale Kälte und Antiphlogistika. Auch nicht dislozierte Avulsionsfrakturen der Metatarsale-5-Basis können im Gipsschuh ausbehandelt werden. Eine Röntgenkontrolle nach 7–10 Tagen ist obligat. Kommt es zu einer sekundären Dislokation von >2 mm ist die Osteosynthese anzuschließen. Für Frakturen am Übergang Metaphyse–Diaphyse des Metatarsale 5 (Jones-Fraktur) gelten längere Ruhigstellungszeiten (8–10 Wochen). Die Pseudarthrose- und Refrakturrate ist in diesen Fällen mit etwa 30% hoch.

Frakturen der *Kleinzehen* können fast ausnahmslos durch temporäre Vorfußentlastung und Pflasterzügelverband therapiert werden. Entscheidend für die Belastung des Fußes sind nicht in erster Linie konkrete Zeiträume, sondern die Schmerzen des Patienten. Deutliche Fehlstellungen sollten in Leitungsanästhesie durch Reposition behoben werden. Die *Großzehe* sollte nur bei fehlender Dislokation möglichst bei Frakturen ohne Gelenkbeteiligung und Stufenbildung konservativ durch Entlastung im Gipsschuh für 4–6 Wochen behandelt werden.

Frakturen der *Sesambeine* werden rein konservativ mit schmerzabhängiger Entlastung therapiert.

Die konservative Therapie von *Lisfranc-Luxationsfrakturen* ist prinzipiell möglich, wenn nach geschlossener Reposition Stabilität besteht. Dies ist jedoch selten der Fall, und auch dann verbleibt eine erhebliche Weichteilproblematik, sodass eher die Retention im Fixateur externe indiziert ist.

Kirschner-Drahtosteosynthese, Zuggurtungsosteosynythese

Frakturen der *Metatarsalia* können nach geschlossener Reposition mittels Kirschner-Draht retiniert werden. Schaftfrakturen lassen sich in der »*Schaukeltechnik*« stabilisieren, bei der zunächst der Draht von proximal durch die Fraktur in das distale Fragment eingebracht und dann rückwärts in das proximale Fragment vorgebohrt wird. Der Kirschner-Draht sollte auf jeden Fall die Basis der Grundphalanx in korrekter Gelenkstellung plantar miterfassen, um bleibende Gelenkfehlstellungen zu vermeiden. Nachteil bei dieser Technik kann eine sich entwickelnde Arthrofibrose mit Bewegungseinschränkungen durch die Transfixation des Gelenks sein.

Frakturen der *Metatarsaleköpfchen* können auch *antegrad* intramedullär fixiert werden. Das Gelenk wird nicht transfixiert; daher halten wir, wie auch andere Autoren, diese Methode für das Verfahren der Wahl [7]. Ähnlich wie bei Metacarpalefrakturen wird im proximalen Fragment basisnah eine Stichinzision gesetzt, ein Loch gebohrt und ein Draht der Stärke 1,8 mit um maximal 30° gebogener Spitze nach intramedullär eingebracht. Die Reposition erfolgt von plantar bei mit 90° gebeugtem Grundgelenk. Anschließend wird die Drahtspitze in den subchondralen Knochen eingeschlagen. Fehlstellungen bei seriellen subcapitalen Frakturen können sich summieren. Wir stellen die Indikation daher großzügig wie auch bei Kombinationsverletzungen. Ab 10° Abkippung oder Verkürzung ≥3 mm wird daher eine Indikation zur operativen Versorgung gesehen [5, 8].



Abb. 18.42. 58 Jahre, männlich. Sturz bei fixierter Großzehe. Extraartikuläre Fraktur des Großzehengrundgliedes mit Dislokation (A1 nach AO). Versorgungsbild nach geschlossener Reposition und Kirschner-Drahtosteosynthese

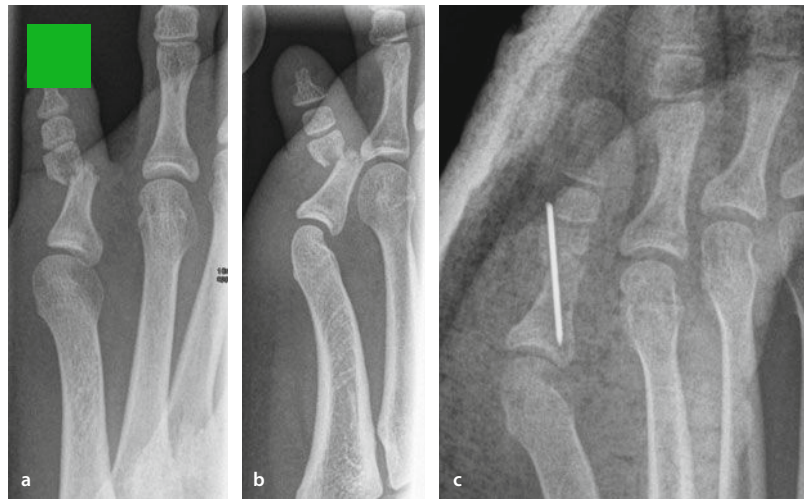


Abb. 18.43. 38 Jahre, weiblich. Hängenbleiben an einem Tischbein. Fraktur der Kleinzehe, die sich im Pflasterzügelverband nicht retinieren ließ (A1 nach AO). Versorgungsbild nach Kirschner-Drahtretention



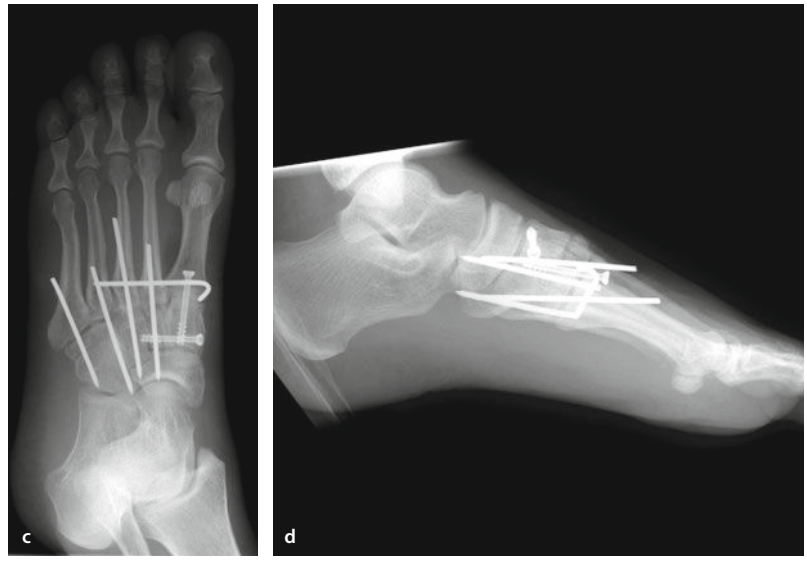


Abb. 18.44. 45 Jahre, weiblich. Motorradsturz. Lisfranc-Luxationsfraktur, homolaterale Form. Simultane Fasziotomie über medianen Zugang. Versorgungsbilder (**c, d**) der Verletzung aus Abb. 18.36

Wichtig

Ab 10° Abkippung oder geringeren Verschiebungen in der Transversal- oder Sagittalebene wird eine Indikation zur operativen Versorgung von subcapitalen Metatarsalefrakturen gestellt, um die Folgen von Fehlstellungen wie Abrollstörung, Belastungsinsuffizienz und Metatarsalgien zu vermeiden.

Frakturen der *Basen* können retrograd gegen den Mittelfuß fixiert werden. Abrissfrakturen der Metatarsale-5-Basis lassen sich durch eine Zuggurtung operativ versorgen, aufgrund der weichteilschonenderen Technik und der höheren primären Kompressionskräfte werden jedoch zunehmend Zugschrauben verwendet. Die Indikation besteht, wenn eine Verschiebung von >2 mm besteht oder >30% der Gelenkfläche betroffen sind. Kleine Fragmente eignen sich für die Zuggurtungsosteosynthese, bei größeren bietet die Zugschraubenosteosynthese höhere Stabilität.

Die Kirschner-Drahtretention ist die Methode der Wahl bei konservativ nicht retinierbaren *Zehenfrakturen* (Abb. 18.42, 18.43). Die Drähte können axial auch im Sinne einer temporären Arthrodese gelenkübergreifend geführt werden und das Hautniveau überragen.

Die Kirschner-Drahtretention von *Lisfranc-Luxationsfrakturen* wird häufig verwendet, bessere Ergebnisse zeigt jedoch die primäre In-situ-Schraubenarthrodese (s. unten). Kirschner-Drähte sollten nur verwendet werden, wenn sich dadurch eine stabile Retention erreichen lässt (Abb. 18.44). Der Ablauf der Reposition ist immer gleich (s. unten bei Schraubenosteosynthese).



Abb. 18.45. 28 Jahre, weiblich. Supinationstrauma beim Jogging. Abrissfraktur des Metatarsale 5 in der Zone 1 mit Dislokation (B-Fraktur nach ICI, nach Dameron und Quill Typ-I-Bruch). Operative Versorgung mittels Zugschraubenosteosynthese

Schraubenosteosynthese

Langstreckige Schaftfrakturen der *Metatarsalia* und Frakturen mit Gelenkbeteiligung lassen sich durch Schrauben aus dem Minifragmentinstrumentarium versorgen. Voraussetzungen sind in beiden Fällen die anatomiegerechte Reposition und eine ausreichende Verankerungsmöglichkeit des Implantats. Am Metatarsale 5 kommen Schraubenosteosynthesen der Basis bei Dislokation nach Avulsionsfraktur (Zug des lateralen Zügels der Plantaraponeurose und auch des M. peronaeaus brevis) in Betracht (Abb. 18.45).

Frakturen des Metaphysen-Schaft-Übergangsbereiches (Jones-Fraktur) sollten nach erfolglosem konservativem Therapieversuch mit einer intramedullären *Kriechschraube* versorgt werden, die der Größe des Knochens anzupassen ist (Abb. 18.46). In der Regel sind Schrauben ab 4 mm erforderlich, bisweilen auch bis zu 6,5 mm. Bei der Behandlung von *Pseudarthrosen* wird intramedullär kürettiert, dekortiziert und nach Spongiosaplastik mit einer Schraube versorgt. Alternativ kann eine Plattenosteosynthese erfolgen.

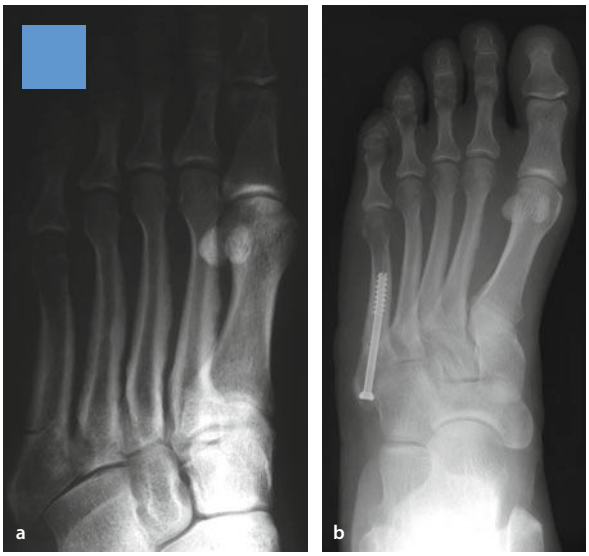


Abb. 18.46. 25 Jahre, männlich. Kollision beim Fußballspielen. Fraktur des Metaphysen-Diaphysen-Übergangs am Metatarsale 5. Konservativer Versuch mit ausbleibender Heilung (nach ICI A1-Fraktur, nach Dameron und Quill Typ II). Die Retention erfolgt mittels 5,0-mm-Kriechschraube nach Anfrischung des Frakturspalts

83

Schraubenosteosynthesen der *Zehen* sind nur an der Großzehe sinnvoll, es gelten die allgemeinen Prinzipien der Frakturversorgung im Gelenkbereich.

Lisfranc-Luxationsfrakturen werden über eine oder zwei Längsinzisionen über dem Fußrücken offen reponiert. Die Verwendung zweier Inzisionen ist möglich, das Risiko für Nekrosen der dazwischen liegenden Hautbrücke ist jedoch erhöht. Die Inzision ermöglicht auch die Spaltung der Vorfußkompartimente. Die Reposition orientiert sich am *Metatarsale 2*, das als *Schlüsselfragment* dient, da es die beste Orientierung für die Reposition bietet und sich die Gelenkgabel so am leichtesten stellen lässt. Im Anschluss folgen die Reposition und Stabilisierung des 1. und dann der Strahlen 3–5. Es wird die Kongruenz zwischen Os cuneiforme intermedium und dem Metatarsale 2 wiederhergestellt. Nach Reposition und temporärer Drahtfixation erfolgt die *retrograde Schraubenosteosynthese* transartikulär gegen die korrespondierenden Mittelfußknochen im Sinn einer temporären Arthrodese mit Mini- oder Kleinfragmentschrauben (■ Abb. 18.47).

Die Reposition der luxierten Metatarsalia beginnt am Metatarsale 2, dem Schlüsselfragment. Im Anschluss folgen die Reposition und Stabilisierung des 1. Strahls und der Strahlen 3–5.

Plattenosteosynthese

Plattenosteosynthesen kommen im Bereich des Vorfußes vorzugsweise am *Metatarsale 1 und 5* in Betracht



■ **Abb. 18.47. 69 Jahre, männlich. Leitersturz aus 1.5 m Höhe.** Schraubentransfixation der Lisfranc-Gelenkreihe nach Luxationsfraktur

(Abb. 18.48). Insbesondere Mehrfragment- und Trümmerfrakturen stellen Indikationen dar und sind dann auch an den Mittelfußknochen u. U. indiziert. Die Platten sollten über eine dorsale Schnittführung laterodorsal (5. Strahl) oder mediodorsal (1. Stahl) angelegt werden und ein flaches Profil aufweisen, um keine Sehnen-/Weichteilprobleme zu verursachen. Insbesondere am Metatarsale 1 muss aber darauf geachtet werden, das Implantat ausreichend stabil zu dimensionieren. Daher empfehlen einige Autoren sogar die Anwendung der sehr stabilen 3,5-mm-LCDCP. An den anderen Mittelfußknochen müssen weniger auftragende Implantate (z. B. 1/3–Rohrplatte) verwendet werden. Die Jones-Fraktur kann neben der Schraubenosteosynthese durch eine Miniplattenosteosynthese, auch in Kombination mit einer Spongiosaplastik, versorgt werden.

Fixateur externe

Die Indikation zur Anlage eines Fixteurs ist in erster Linie der Grad des Weichteilschadens (offene Fraktur, Kompartmentsyndrom, komplexes Fußtrauma) und nicht die nach ICI-Klassifikation vorgenommene Einteilung der Frakturschwere. Capitale Trümmerfrakturen können eine Indikation sein; die Reposition erfolgt dann über Ligamentotaxis. Außerdem kann der Minifixateur als ergänzendes Verfahren hilfreich bei der Versorgung von Basisfrakturen der Metatarsalia, insbesondere im Rahmen von Lisfranc-Luxationen sein.



Abb. 18.48. 41 Jahre, weiblich. Direktes Trauma durch herabfallenden Gegenstand. Mehrfragmentfraktur (Typ A2 nach ICI) des Metatarsale-5-Schaftes mit Dislokation vor und nach Plattenosteosynthese

18.3.6 Nachbehandlung

Jede Form der Versorgung sollte eine *frühzeitige Belastung* sowie die *Mobilität der Zehengelenke,* mindestens aber eine frühfunktionelle Nachbehandlung ermöglichen, um die Entwicklung einer Fußdystrophie zu vermeiden. Eine angepasste Krankengymnastik mit permanenter Mobilisation der Zehengelenke beugt Problemen wie der Einsteifung und der Ausbildung von Hammerzehen vor [9].

Metatarsalefrakturen werden bei konservativer Behandlung oder nach Osteosynthese postoperativ für 2–4 Wochen im *Gipsschuh* nachbehandelt. Eine längere Ruhigstellung von ca. 6 Wochen benötigt die konservativ behandelte nicht dislozierte Jones-Fraktur aufgrund der langsamen Heilungstendenz. Der Gipsschuh bietet den Vorteil einer hohen Stabilität kombiniert mit einer freien Beweglichkeit im OSG. Eine Thromboembolieprophylaxe ist nach Ansicht vieler Autoren nicht erforderlich. Sind nur die mittleren Strahlen betroffen, kann schmerzadaptiert voll belastet werden. Röntgenkontrollen empfehlen sich, um sekundäre Dislokationen zu erfassen. Wurden Kirschner-Drähte verwendet, muss eine Teilbelastung mit bis zu 20 kg bis zur Entfernung derselben nach 5–6 Wochen eingehalten werden, um ein Brechen der Drähte zu vermeiden. Operativ versorgte Metatarsalefrakturen können bei gegebener Übungsstabilität gipsfrei nachbehandelt werden. Bei Metatarsale-1-Frakturen empfehlen wir aufgrund der starken Belastung des Knochens einen Gipsschuh für 4–6– Wochen unter 20 kg Teilbelastung.

Frakturen der *Zehen* wie auch Luxationen der Zehen werden in der Regel mit einem Pflasterzügelverband behandelt. Dabei wird der betroffene Zeh am benachbarten Zeh für einige Wochen fixiert. Es folgt eine schmerzadaptierte Entlastung. Nach Kirschner-Drahtosteosynthese ist bis zur Drahtentfernung nach 4–6 Wochen der Vorfuß im Entlastungsschuh zu entlasten. Auch bei Brüchen des 1. Zehs empfehlen wir bei konservativer Therapie die Anlage eines Vorfußentlastungsschuhs für 4–6 Wochen.

Die Nachbehandlung von *Lisfranc-Luxationsfrakturen* ist komplexer und umfasst sowohl eine Versorgung mit *Einlagen* bei Beginn der Teilbelastung als auch ein differenziertes Konzept der *Gang- und Koordinationsschulung.* Nur Lisfranc-Luxationsfrakturen und Luxationen *ohne Dislokation* können nach Reposition ohne Dislokationstendenz für 4–6 Wochen im Gipsverband unter schmerzadaptierter Vollbelastung behandelt werden.

Bei *Kirschner-Drahtfixation* wird für 6 Wochen im gespaltenen *Unterschenkelgips* ruhiggestellt, stabile *Schraubenosteosynthesen* und Gelenktransfixationen lassen sich *gipsfrei funktionell* nachbehandeln. Die Drahtentfernung sollte nach 6 Wochen, die von Schrauben nach 8–12 Wochen erfolgen.

Weichteildefekte werden zum frühestmöglichen Zeitpunkt plastisch gedeckt, wenn ein sekundärer Nahtverschluss nicht risikoarm möglich ist.

18.3.7 Sonderformen

Kinder. Die Behandlung von Frakturen des Vorfußes im Kindesalter richtet sich nach den Behandlungsprinzipien des Erwachsenenalters, jedoch werden Osteosynthesen zurückhaltender und dann meist mit Kirschner-Drähten ausgeführt.

Erwähnenswert ist noch das »bunte Bild« an Knochenkernen im Verlauf der Wachstumsphase, durch das Frakturen vorgetäuscht werden können.

Etwa 4/5 stellen Monoverletzungen dar. Fehlstellungen können in etwas größerem Rahmen (bis 20° Ante-/Retrokurvation) toleriert werden. Die Ruhigstellungszeiten sind mit 3–5 Wochen je nach Fraktur kürzer als bei Erwachsenen.

Ältere Personen. Patienten in hohem Lebensalter unterliegen denselben Therapieprinzipien wie jüngere Erwachsene, jedoch müssen therapeutischer Aufwand und erreichbares Mobilitätsniveau in einem vertretbaren Verhältnis stehen.

18.3.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Der Heilverlauf von *Metatarsalefrakturen* ist günstig. Die Inzidenz von Komplikationen wie Infektionen oder Pseudarthrosenbildung ist gering. Ausnahme ist hier der *proximale Schaftbereich von Metatarsale 5 (Jones-Fraktur)*. Hier werden nach konservativer Behandlung in fast 1/3 der Fälle Pseudarthrosen beobachtet. Mit Kirschner-Draht fixierte Frakturen zeigen die besten Ergebnisse, wenn das Metatarsophalangealgelenk nicht mitgefasst wird. Die Entwicklung einer Arthrofibrose oder Fehlstellungen des Zehs werden so sicher vermieden. Insgesamt können aber auch posttraumatische Fehlstellungen bei verheilten Frakturen Probleme verursachen. Störungen der Lastverteilung wie z. B. bei in Fehlstellung verheilten Metatarsaleköpfchenfrakturen können Metatarsalgien hervorrufen, die konservativ durch Vorfußweichbettung oder Mittelfußrolle, operativ durch korrigierende Osteotomien therapiert werden (z. B. Helal oder Weil). Folge ist unbehandelt eine Abroll- und Belastungsinsuffizienz. Auch plantare Druckulzera können auftreten. Infektionen sind selten.

Die Prognose aller *Zehenfrakturen* ist ausgezeichnet. Probleme können gelenkbeteiligende Brüche insbesondere des 1. Strahls durch die Entwicklung von Arthrosen bereiten, wenn nicht stufenfrei reponiert wird.

Entscheidend für die Prognose der *Lisfranc-Luxationsfrakturen* sind die frühzeitige und anatomiegerechte Reposition sowie die ausreichend stabile Retention mit der Möglichkeit der funktionellen Nachbehandlung. Weichteilprobleme entstehen nach offenen Frakturen, manifestem Kompartmentsyndrom und bei Durchblutungsstörungen oder Stoffwechselerkrankungen. Nach Kompartmentsyndromen kann es zu Kontrakturen des Vorfußes und Krallen- oder Hammerzehenbildung kommen, die Schmerzen und Gangstörungen verursachen. Arthrodesen sind im weiteren Verlauf aufgrund komplexer Schäden und Beschwerdebilder nicht selten erforderlich. Bessere Ergebnisse liefern Teilversteifungen der medialen oder lateralen Säule, die bei erheblicher Destruktion möglichst primär nach Entknorpelung der Gelenkflächen durchzuführen sind.

18.3.9 Begutachtung

Nach Zehenfrakturen und normal verheilten Metatarsalefrakturen ist keine Funktionsbeeinträchtigung zu erwarten. Selbst der vollständige Verlust einer Kleinzehe hat keine messbaren Auswirkungen auf das Gangbild. Der Verlust der Großzehe kann jedoch eine messbare Minderung der Erwerbsfähigkeit in der gesetzlichen Unfallversicherung bedingen. Lisfranc-Luxationsfrakturen haben demgegenüber eine schlechtere Prognose. Jedoch gehen die radiologisch nachweisbaren Veränderungen der Gelenkreihe nicht parallel mit den Patientenbeschwerden. So ist in der gesetzlichen Unfallversicherung eine breite Spanne des Grades der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 10–30 möglich. Die Sätze in der privaten Unfallversicherung orientieren sich an diesen Werten.

Literatur

Literatur zu Kap. 18.1

1. H. Zwipp, F. Baumgart, P. Cronier, E. Jorda, K. Klaue, A.K. Sands, S.W. Yung, Integral classification of injuries (ICI) to the bones, joints, and ligaments – application to injuries of the foot, Injury, Int J Care Injured 35: SB3–SB9 (2004)
2. B. Brodén, Roentgen examination of the subtaloid joint in fractures of the calcaneus. Acta Radiol 31: 85–88 (1949)
3. R. Marti, Talus- und Calcaneusfrakturen. In: B.G. Weber, C. Brunner, F. Freuler (Hrsg.), Die Frakturenbehandlung bei Kindern und Jugendlichen, Springer, Berlin, 1979

4. L.G. Hawkins, Fractures of the neck of the talus. J Bone Joint Surg 52–A: 991–1002 (1970)
5. P. Essex-Lopresti, The mechanism, reduction technique, and results in fracture of the os calcis. Br J Surg 39: 395–419 (1952)
6. H. Zwipp, H. Tscherne, N. Wülker, Osteosynthese dislozierter intraarticulärer Calcaneusfrakturen. Unfallchirurg 91: 507–515 (1988)
7. R. Sanders, Intra-articular fractures of the calcaneus: present state of the art. J Orthop Trauma 6: 252–265 (1992)
8. H. Zwipp, S. Rammelt, S. Barthel, Kalkaneusfraktur. Unfallchirurg 108: 737–748 (2005)
9. H. Zwipp, S. Rammelt, S. Barthel, Kalkaneusfraktur: Operative Technik. Unfallchirurg 108: 749–760 (2005)
10. A. Rübberdt, V.R. Hofbauer, M. Herbort, L. Löhrer, S. Ochman, M.J. Raschke, 3D-navigierte Fersenbeinosteosynthese – Offene und minimal-invasive Technik. Unfallchirurg 112: 15–22 (2009)
11. C. Müller-Mai, Bioaktive Granulate in der Unfallchirurgie – Experimentelle Grundlagen und klinische Anwendung, VNM Science, München, Deutschland, 2003
12. M. Lutz, K. Golser, G. Sperner, M. Gab, M. Wambacher, R. Sailer, Die posttraumatische Durchblutungsstörung des Talus. Unfallchirurg 101: 461–467 (1998)
13. K. Kundel, W. Braun, A. Scherer, Spätergebnisse nach zentralen Talusverletzungen. Unfallchirurg 98: 124–129 (1995)
14. N. Schwarz, M. Gebauer, Die Fraktur des Sprungbeines beim Kind. Unfallheilk 86: 359–365 (1983)
15. E.H. Kuner, H.L. Lindenmaier, Zur Behandlung der Talusfraktur. Kontrollstudie von 262 Behandlungsfällen. Unfallchirurgie 9: 35–40 (1983)
16. U. Brunner, L. Schweiberer, Verletzungen des Talus und des Kalkaneus. Unfallchirurg 99: 136–151 (1996)
17. M. Myerson, G.E Quill, Late complications of fractures of the calcaneus. J Bone Jont Surg 75–A: 331–341 (1993)
18. D.B. Thodarson, L.E. Krieger, Operative vs. nonoperative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus. A prospective randomized trial. Foot Ankle Int 17: 2–9 (1996)
19. S.K. Benirschke, B.J. Sangeorzan, Extensive intraarticular fractures of the foot. Surgical management of calcaneal fractures. Clin Orthop & Rel Res 292: 128–134 (1993)
20. H. Zwipp, H. Tscherne, N. Wülker, R. Grote, Der intraartikuläre Fersenbeinbruch – Klassifikation, Bewertung und Operationstaktik. Unfallchirurg 92: 117–129 (1989)
21. T.A. Schildhauer, T.W. Bauer, C. Josten, G. Muhr, Open reduction and augmentation of internal fixation with an injectable skeletal cement for the treatment of complex calcaneal fractures. J Orthop Trauma 14: 309–317 (2000)

Literatur zu Kap. 18.2

1. R. Langenhan, G. Kohler, Chopart-Luxationen – eine einfache Diagnose? Unfallchirurg 112: 596–601 (2009)
2. T. Randt, H. Schikore, C. Dahlen, H. Zwipp, Verletzungen der Fußwurzel und des Mittelfußes. Unfallchirurg 101: 935–949 (1998)
3. B.J. Main, R.L. Jowett, Injuries of the midtarsal joint. J Bone Joint Surg 57–B: 89–97 (1975)
4. H. Zwipp, F. Baumgart, P. Cronier, E. Jorda, K. Klaue, A.K. Sands, S.W. Yung, Integral classification of injuries (ICI) to the bones, joints, and ligaments – application to injuries of the foot, Injury, Int J Care Injured 35: SB3–SB9 (2004)
5. H. Zwipp, Chirurgie des Fußes, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1994
6. A. Parteneimer, J. Gerling, H. Lill, Fehlbeurteilung und -versorgung von Fußverletzungen. Trauma & Berufskrankh 11 (Suppl 1): 122–127 (2009)
7. T. Randt, H. Schikore, C. Dahlen, H. Zwipp (1998) Verletzungen der Fußwurzel und des Mittelfußes. Unfallchirurg 101: 935–949
8. Rammelt, H. Zwipp (2005) Sprunggelenk und Fuß. In: B. Weigel, M. Nerlich (Hrsg.) Praxisbuch Unfallchirurgie Springer, Berlin Heidelberg New York
9. Boack H. Komplexes Fußtrauma. Fuß Sprungg 5: 168–181 (2007)
10. T. Ruiz Valdivieso, J.A. de Miguel Vielba, C. Hernandez Garcia, A.V. Castrillo, J.I. Alvarez Posadas, M.M. Sanchez Martin. Subtalar dislocation. A study of nineteen cases. Int Orthop 20: 83–86 (1996)
11. B.J. Sangeorzan, S.K. Benirschke, V. Moska, K.A. Mayo, S.T. Hansen, Displaced intra-articular fractures of the tarsal navicular. J Bone Joint Surg 71–A: 1504–1510 (1989)
12. S.B. Christensen, J.E. Lorentzen, O. Krogsøe, O. Sneppen, Subtalar dislocation. Acta Orthop Scand 48: 707–711 (1977)
13. R. Rotter, T. Mittelmeier, Weichteilverletzungen und Bandrupturen am Unterschenkel, Sprunggelenk und Fuß. Orthop Unfallchir up2date 3:133–154 (2008)

Literatur zu Kap. 18.3

1. H. Zwipp, F. Baumgart, P. Cronier, E. Jorda, K. Klaue, A.K. Sands, S.W. Yung, Integral classification of injuries (ICI) to the bones, joints, and ligaments – application to injuries of the foot, Injury, Int J Care Injured 35: SB3–SB9 (2004)
2. M. Richter, S. Zech, J. Geerling, C. Krettek, Metatarsalefrakturen. Akt Traumatol 34: 36–44 (2004)
3. T.B. Dameron, Fractures and anatomic variations of the proximal portion of the fifth metatarsal. J. Bone Joint Surg 57–A: 788–792 (1975)
4. G.E.J. Quill, Fractures of the proximal fifth metatarsal. Orthop Clin North Am 26: 353–361 (1995)
5. M. Beck, T. Mittlmeier, Metatarsale Frakturen. Unfallchirurg 111: 829–840 (2008)
6. E. Quénu, G. Küss. Études sur les luxations du métatarse. Rev Chir 39: 281, 720, 1093 (1909)
7. M. Beck, T. Mittlmeier, Antegrade intramedulläre K-Draht-Osteosynthese bei subkapitaler Metatarsalefraktur. Unfallchirurg 111: 841–844 (2008)
8. M.J. Shereff, Fractures of the forefoot. Instr Course Lect 39: 133–140 (1990)
9. U. Ochs, M. Walcher, K. Weise, Mittelfuß- und Zehenfrakturen. Trauma Berufskrankh 6: 165–168 (2004)

19 Patella

C.M. Müller-Mai, E. Mielke

Definition

Es handelt sich um Brüche der Kniescheibe, die meist isoliert auftreten und durch direkte Schädigung verursacht sind. Die häufigste Bruchform ist die Querfrakur, beim Kind Abrissfrakturen der Pole, die bei noch unvollständiger Ossifikation der Nachweisbarkeit im Röntgenbild entgehen können und daher leicht übersehen werden.

Die Patellafraktur ist mit etwa 1% der Brüche relativ selten und wird meist bei Menschen im mittleren Lebensabschnitt um ca. das 40.–50. Lebensjahr beobachtet. 2/3 der Patienten sind männlichen Geschlechts; <10% der Frakturen sind offen.

19.1 Mechanismus

Es handelt sich beim Erwachsenen fast ausschließlich um ein *direktes Trauma* mit Sturz auf das gebeugte Knie, den Anprall an das Armaturenbrett und ähnliches. Eine seltene Ausnahme stellt das indirekte Trauma dar, hier kommt es zur Fraktur durch eine plötzliche Anspannung des M. quadriceps. Prädisponiert sind Patienten mit anlagebedingten Verknöcherungsstörungen wie Patella bipartita. Auch werden Brüche der Kniescheibe nach Knietotalendoprothesenimplantation und nach Kreuzbandersatzplastik (Bone-tendon-bone-Transplantat mit knöchernem Patellaanteil) beobachtet.

19.2 Klinik

Es finden sich aufgrund des meist direkten Unfallmechanismus meist Weichteilschädigungen direkt über der Patella wie Schürfungen oder z. T. erhebliche Kontusionsmarken. Daneben zeigen sich die *typischen indirekten Frakturzeichen* mit Schwellungen, Hämatomen, Ödem, Spontan- und Druckschmerzhaftigkeiten.

Die Beweglichkeit des Kniegelenks ist schmerzbedingt eingeschränkt; die aktive Streckung des Knies gegen die Schwerkraft gelingt bei dislozierten Frakturen nicht. Typisch ist dann die *tastbare Lücke* in der Kniescheibe bei der Querfraktur aufgrund des Quadricepszugs nach cranial (die Patella ist als größtes Sesambein des Körpers in den Streckapparat integriert). Bei deutlich tastbaren Lücken besteht zusätzlich eine Schädigung des Reservestreckapparates. Durch den Kontakt zum Kniegelenk liegt ein *Haemarthros* vor. Aufgrund der klassischen Klinik gelingt die Diagnose meist durch eine genaue Untersuchung mit Inspektion und Palpation.

Bei nicht dislozierten Frakturen können die genannten Zeichen weitgehend fehlen, da die oberflächlich über die Patella laufenden Quadricepsfasern und die Retinacula eine Dislokation verhindern.

Begleitverletzungen sind selten, aber eine *Knieinstabilität* muss ausgeschlossen werden. Eine komplexe Instabilität in mehreren Richtungen deutet auf eine stattgehabte Knieluxation hin.

Bei einem Anprall am Armaturenbrett (»dashboard injury«) sind Verletzungen des Tibiakopfes, des hinteren Kreuzbandes, des Hüftgelenks und des Acetabulums sicher auszuschließen. Durchblutungsstörungen (*Cave:* stattgehabte Kniegelenkluxation) und sensible Einschränkungen sind die Ausnahme und betreffen meist temporär die Sensibilität in der Umgebung der Patella (z. B. R. infrapatellaris nervi sapheni).

19.3 Diagnostik

Die Diagnostik umfasst nach der Anamnese (Mechanismus) und der lokalen Inspektion und Palpation bzw. Untersuchung die *Röntgendiagnostik* in mindestens 2 exakt eingestellten Ebenen. Hier sind die a.-p. und seitlich eingestellte Aufnahme Standard. Ein axiales zusätzliches Bild ist hilfreich bei Längsbrüchen oder komplexen Frakturen und wird von den Autoren generell durchgeführt. Eine *CT* ist nur bei verbliebenen Unklarheiten in Ausnahmen erforderlich. Eine *MRT* ist bei Verdacht auf ligamentäre oder Knorpelschäden indiziert. Eine *Punktion* ist rein fakultativ nur bei erheblicher Schwellung zur Druckentlastung möglich.

Differenzialdiagnostisch abzugrenzen sind v. a. Prellungen, aber auch Luxationen der Kniescheibe, Knorpelschäden, Kapsel-Band-Läsionen, Bursaverletzungen und die anlagebedingten Veränderungen Patella bipartita oder tripartita (fehlende Verschmelzung mehrerer Ossifikationszentren; beide treten bevorzugt im craniolateralen Anteil der Kniescheibe, seltene Formen auch an anderen Stellen und dann meist beidseits auf). Hier kann es zu Ausrissfrakturen kommen, da die knorpelige Verbindung eine Schwachstelle darstellt.

Eine zusätzliche Röntgenaufnahme der Gegenseite a.-p. ist beim Verdacht einer anlagebedingten Veränderung erforderlich.

19.4 Klassifikationen

Eine einheitliche und international anerkannte Klassifikation existiert bisher nicht. Wichtig ist die *Differenzierung* in *dislozierte oder nicht dislozierte Frakturen*. Nur Letztere sind konservativ behandelbar. Hier bleiben die Retinacula und das die Kniescheibe überziehende Lig. patellae intakt.

19.4.1 AO-Klassifikation

Allerdings ist eine Einteilung, die in ihrem Aufbau der AO-Klassifikation ähnelt, bereits 1994 vorgenommen worden [1]. Eine genauer den AO-Prinzipien folgende Einteilung berücksichtigt das Prinzip extraartikulärer, partiell intraartikulärer und intraartikulärer Frakturen (Abb. 19.1 [2]). Die Klassifikation von Speck u. Regazzoni [1] dagegen (Abb. 19.2) unterscheidet nur Längsfrakturen (A), Querfrakturen (B) sowie mehrfragmentäre Brüche (C). Danach sind einige Bruchformen schwer zuzuordnen. Im Folgenden wird daher die AO-Klassifikation verwendet.

A-Frakturen. Nach der AO-Klassifikation eingeteilt zeigen die A-Frakturen in aller Regel ein gutes funktionelles Resultat nach adäquater Behandlung. Nicht dislozierte Frakturen (intakte Retinacula, Fähigkeit zur Anhebung des gestreckten Beins oft erhalten, keine tastbare Delle)

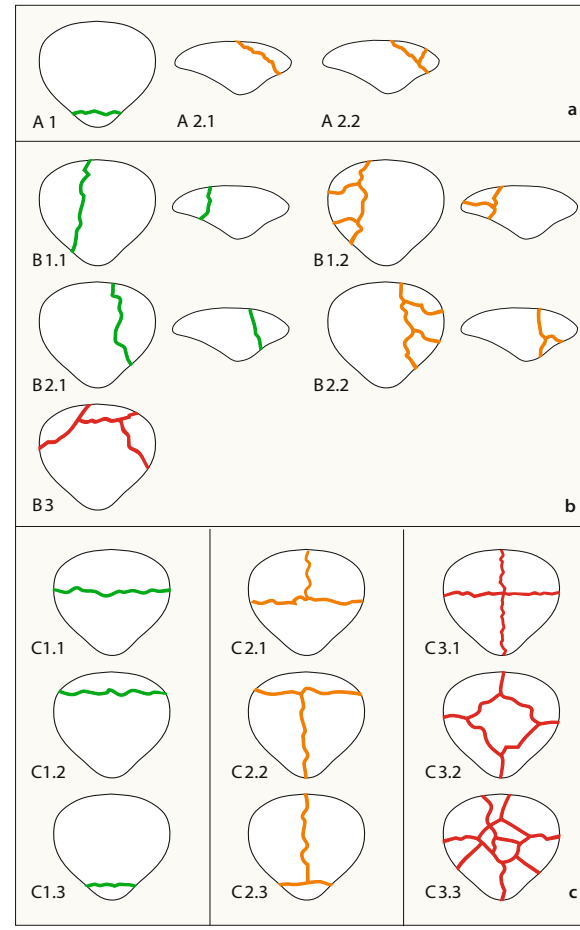
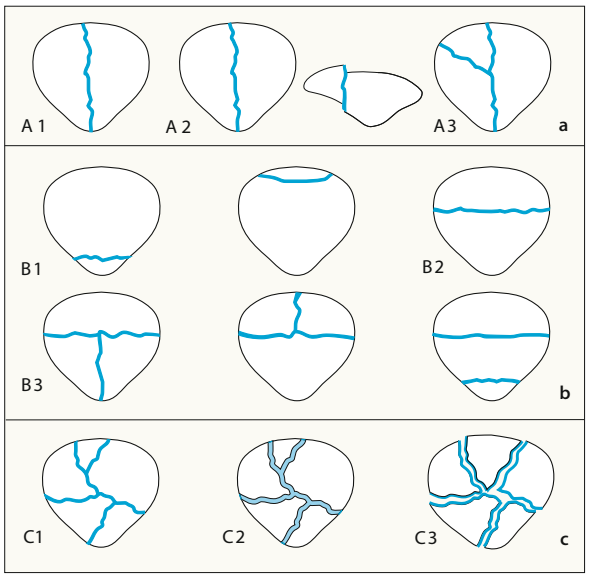


Abb. 19.1. AO-Klassifikation der Region 911 Patellafraktur
a »Extraartikuläre« Patellafrakturen
A1: Extraartikulärer Polabriss, Ruptur des Streckapparats
A2.1: Kantenfragment
A2.2: Mehrere Kantenfragmente
b Partiell intraartikuläre Frakturen (Längsfraktur)
B1.1: Mediale Längsfraktur:
B1.2 Mediale Längsfraktur mit zusätzlichem Fragment
B2.1: Laterale Längsfraktur
B2.2: Laterale Längsfraktur mit zusätzlichem Fragment
B3 Partieller Stückbruch
c Intraartikuläre Frakturen (Querfraktur)
C1.1: Querfraktur
C1.2 Obere Polfraktur
C1.3 Untere Polfraktur:
C2.1 Querfraktur, cranial mit weiterem Fragment
C2.2 Querfraktur, caudal mit weiterem Fragment
C2.3 Mediane Längsfraktur mit Polfragment
C3.1 Mehrfragmentär
C3.2 Mehrfragmentät mit zentralem Hauptfragment
C3.3: Mehrfragmentät irregulär

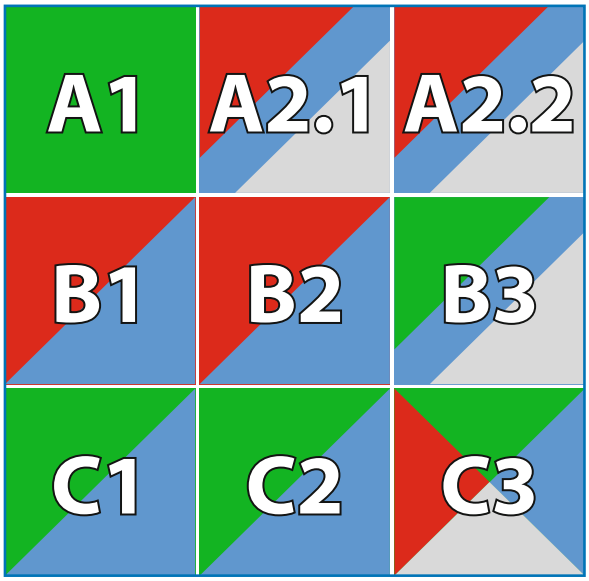
können konservativ behandelt werden. Bei operativer Versorgung eigenen sich insbesondere Zuggurtungs- und Schraubenosteosynthesetechniken, aber auch bei entsprechender Fragmentgröße kanülierte Kleinfragmentschrauben. Kleine, nicht refixierbare Kantenfragmente sollten entfernt werden, da sie oft zu Beschwerden führen. Dislozierte Polfrakturen erfordern Osteosynthesen über Drähte oder Zugschrauben. Gegebenenfalls müssen protektive Drähte zusätzlich implantiert werden.

B-Frakturen. Die B-Frakturen (medial oder lateral paramedian verlaufende Längsbrüche, auch mehrfragmentär, oder partielle Berstungen) sollten auch nicht dislozierte aufgrund der Gefahr einer sekundären Dislokation oder der Ausbildung einer Sekundärarthrose operativ behandelt und stufenfrei reponiert werden. Bei einfachen B-Frakturen dominieren die Zugschraubenosteosynthesen mit kanülierten Kleinfragmentschrauben, bei mehrfragmentären Brüchen empfiehlt sich eine zusätzliche Äquatorial-Cerclace. Einzelne kleine Zwischenfragmente werden, wenn sie nicht refixierbar sind, entfernt. Das Retinaculum ist mit der Restpatella zu vernähen.

C-Frakturen. Hier reicht das Spektrum von der konservativen Versorgung (nicht dislozierte C-Frakturen, nur wenn Stabilität auch bei Beugung bis 45° unter dem Bildwandler erhalten bleibt) über Zuggurtungs- und kombinierte Osteosynthesen, ggf. unter Einschluss einer Äquatorial-Cerclage. Operative Standardtherapie ist die Zuggurtungsosteosynthese, aber auch die Zugschraubenosteosynthese bei einfachen Querbrüchen. Durch die Zuggurtung ist eine Umwandlung von Zug (M. quadriceps) in interfragmentäre Kompression möglich. Besteht ein Zwischenfragment, kann dieses zunächst mit einer kanülierten Kleinfragmentschraube an ein Hauptfragment unter Kompression gebracht werden. Anschließend erfolgt die klassische Zuggurtungsosteosynthese. Diese Versorgung sollte frühfunktionell nachbehandelt werden. Kleine Fragmente können entfernt werden. Eine partielle oder totale Patellektomie ist in schwersten Fällen als Ultima ratio erforderlich, wenn die Gelenkfläche nicht mehr rekonstruierbar ist. Eine schematische Übersicht der Therapieoptionen in Abhängigkeit vom Frakturtyp gibt (◘ Abb. 19.3).



◘ Abb. 19.2. Einteilung der Patellafrakturen nach Speck u. Regazzoni 1994 [1]
a Patellalängsfrakturen
A1: Nicht dislozierte
A2: Dislozierte
A3: Dislozierte mit Zusatzfragment
b Patellaquerfrakturen
B1: Polabriss ohne Gelenkbeteiligung (oberer Pol <5 mm, unterer Pol <15 mm):
B2: Einfache Querfraktur mit Gelenkbeteiligung
B3: Einfache Querfraktur mit Zusatzfragment (Längspaltung eines Hauptfragments) oder doppelte Querfraktur
c Mehrfragmentfrakturen mit Gelenkbeteiligung
C1: Ohne Dislokation:
C2: Dislokation <2 mm
C3: Dislokation >2 mm



◘ Abb. 19.3. Therapieoptionen bei Patellafrakturen. Einteilung nach der AO-Klassifikation *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich; eine konservative Behandlung ist z. B. bei jeder nicht dislozierten Fraktur denkbar)*
- Konservativ
- Zuggurtungsosteosynthese, Kirschner- Drahtosteosynthese, Äquatorial-Cerclage, McLaughlin-Cerclage, transossäre Nähte
- Kanülierte Zugschraube (vorzugsweise Großfragmentinstrumentarium für Querfrakturen, Kleinfragmentinstrumentarium für entsprechend kleinere Fragmente)
- Patellektomie, partielle Patellektomie (einschließlich Entfernung einzelner Fragmente)

19.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

Einteilung nach Böhler [3]. Morphologische Einteilung (Einteilung nach der Frakturverlaufsrichtung):
- quer,
- längs,
- gesplittert.

Einteilung nach Magerl [4]. Genauere morphologische Einteilung:
- quer,
- längs,
- schräg,
- komplex,
- kombiniert und
- andere wie Polabrisse, Abrisse der seitlichen Kanten, chondrale und osteochondrale Frakturen (sog. »flake fractures«.)

Einteilung nach Speck u. Regazzoni 1994 [1]. Einteilung (◘ Abb. 19.2) in Anlehnung an die AO-Gliederung in
- A- (Längsfrakturen),
- B- (Querbrüche) und
- C-Frakturen (Mehrfragmentbrüche).

19.5 Therapieverfahren

Die Therapieverfahren im Überblick zeigt ◘ Abb. 19.3.

Ziele jeder Therapie sind die Wiederherstellung der Gelenkmechanik, die Rekonstruktion der Gelenkfläche und die suffiziente Retention des Repositionsergebnisses. Insbesondere ist die Rekonstruktion der dorsal liegenden Gelenkfläche zum Femur essenziell, um einer Sekundärarthrose vorzubeugen. Dies ist für eine adäquate Belastbarkeit und ein gutes funktionelles Ergebnis des betroffenen Gelenks von entscheidender Bedeutung. Bei einfachen Brüchen unter Beteiligung der Gelenkfläche können arthroskopisch gestützte Verfahren mit gutem Erfolg angewendet werden [5].

Zur Beurteilung der Operationsindikation wird neben einer aussagefähigen Frakturklassifikation der *Dislokationsgrad* herangezogen. Bei *bis zu 2 mm Diastase* werden Frakturen als *nicht dislozier*t betrachtet. Nur undislozierte Frakturen sollten konservativ behandelt werden. Generell sollte die operative Versorgung eine *gipsfreie frühfunktionelle Nachbehandlung* ermöglichen, um Immobilisationsschäden zu vermeiden. Intraoperativ nach Osteosynthese ist zu überprüfen, ob die Versorgung eine Flexion von 60° stabil zulässt. Bei offenen Frakturen beginnt die antibiotische Behandlung sofort (Cephalosporin der 2. Generation), und die osteosynthetische Versorgung erfolgt notfallmäßig unter Einschluss eines adäquaten Débridements und Jet-Lavage nach Abstrichentnahme. Bei Bursaeröffnung ist diese zu entfernen.

Zugang. Die Operation erfolgt in Blutleere und Rückenlage. Die Schnittführung sollte aufgrund der seitlich zulaufenden Gefäßversorgung vorzugsweise senkrecht über der Patella verlaufen. Es wird direkt auf die Retinacula fasciocutan präpariert, um die Hautdurchblutung nicht zu kompromittieren. Dabei sind mögliche Weichteilverletzungen oder Kontusionen zu berücksichtigen, sodass in solchen Fällen auch modifizierte Zugänge (z. B. quer) möglich sind.

Operiert wird wenn möglich primär, in jedem Fall bei offenen Brüchen.

Wichtig

Bei Weichteilverletzungen wie Schürfungen oder Kontusionen soll innerhalb von 6 h nach dem Trauma oder erst nach Weichteilkonsolidierung operiert werden, sonst ist aufgrund der Weichteilkontamination die Infektgefahr erhöht.

19.5.1 Konservative Therapie

Konservative Verfahren eignen sich *nur für undislozierte Brüche*, bei denen der *Reservestreckapparat intakt* bleibt (◘ Abb. 19.4, 19.5). Besonders gut lassen sich Längsbrüche bei fehlendem Muskelzug konservativ behandeln. Möglich sind aber auch alle anderen undislozierten Bruchformen sowie in Ausnahmefällen leicht dislozierte Frakturen (z. B. schlechte Retentionsmöglichkeit bei erheblicher Osteoporose). C-Frakturen sind aufgrund des Muskelzugs meistens dislozier.

Konservativ behandelt wird mit Oberschenkelgipstutor oder Orthese für 4–6 Wochen unter Abrollbelastung. Gelenkstufen >2 mm sollten immer operiert werden.

19.5.2 Zuggurtungs- und Kirschner-Drahtosteosynthese

Als ein operatives Standardverfahren steht die Zuggurtungsosteosynthese zur Verfügung. Sie gilt als »dynamisches« Verfahren. Prinzip ist die Umwandlung von Zug (M. quadriceps) in interfragmentäre Kompression durch die Bewegung bei exzentrischer Krafteinleitung über die Drähte. Daher ist eine gipsfreie Nachbehandlung sinnvoll.

Geeignet ist diese Versorgung für Polabrisse (◘ Abb. 19.6) und die meisten C-Frakturen (◘ Abb. 19.7), für bestimme B3-Frakturen und ggf. auch für A1-Frakturen. Bei mehreren Einzelfragmenten kann die zusätzliche Verwendung einer kanülierten Kleinfragmentschraube erforderlich

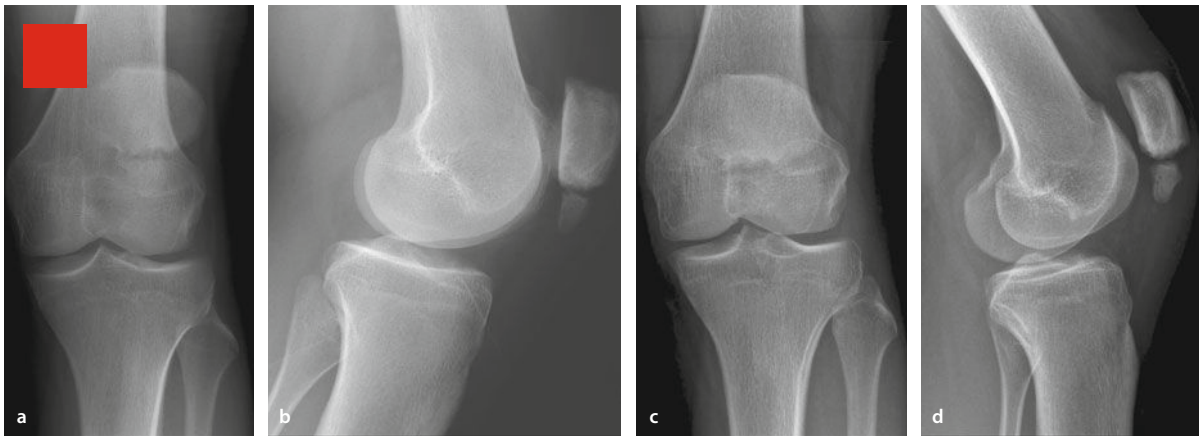


Abb. 19.4. 28 Jahre, männlich. Sportunfall mit Sturz auf das Kniegelenk. Querfraktur des unteren Patellapols mit Gelenkflächenbeteiligung (C1.3). Bei geringer Klinik mit erhaltener kraftgleicher Streckung am ehesten alte, pseudarthrotisch verheilte Fraktur (Sleeve-Fraktur als Kind?). Konservative Therapie, Stellungskontrolle nach 14 Tagen ohne Dislokation

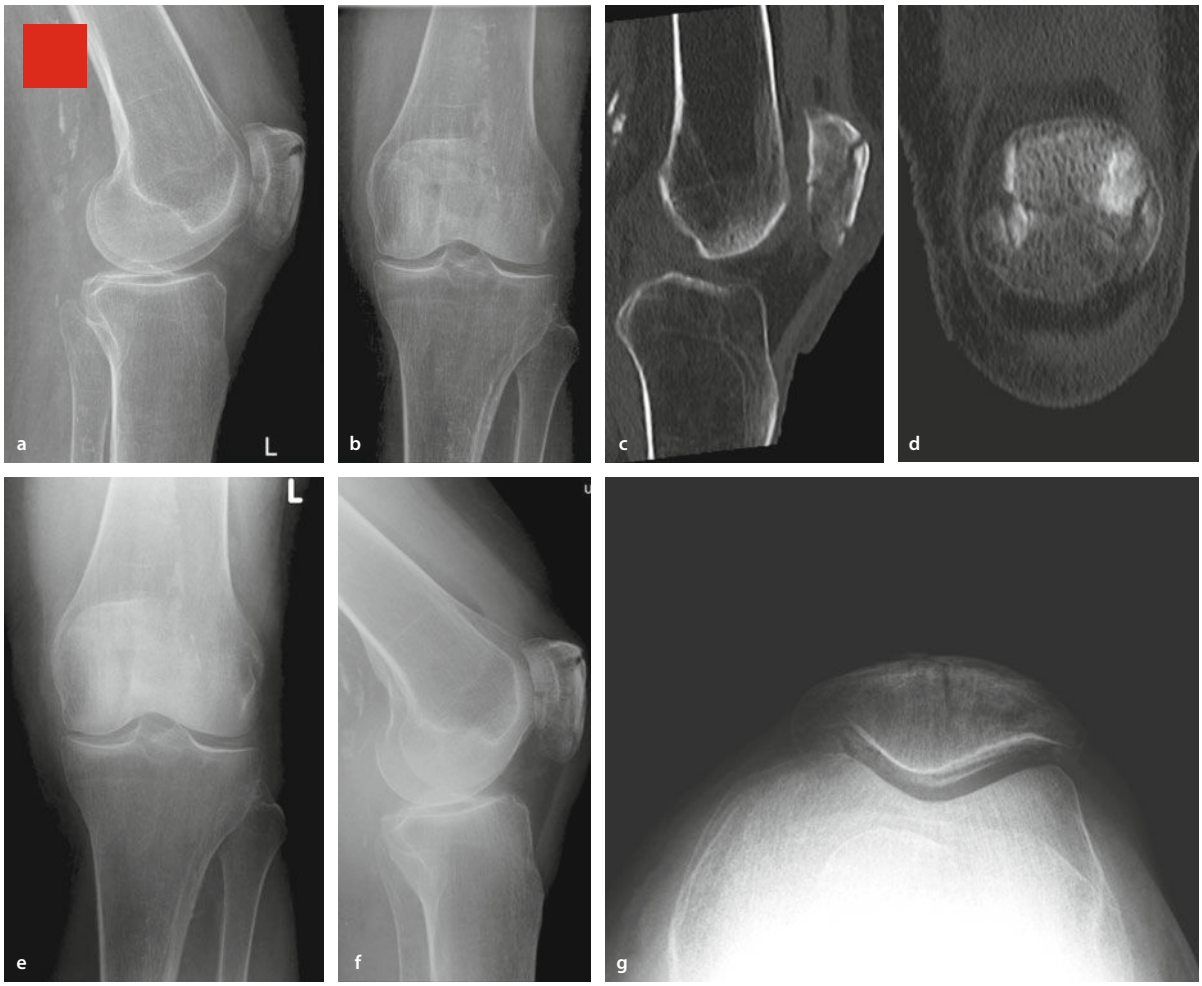


Abb. 19.5. 86 Jahre, weiblich. Zustand nach Stolpersturz direkt auf das Knie. Mehrfragmentärer Bruch der Patella mit zentralem Fragment (C3.2). Konservative Therapie bei bekannter Osteoporose ohne weitere Dislokation in der Verlaufskontrolle nach 1 Woche (**e–g**)

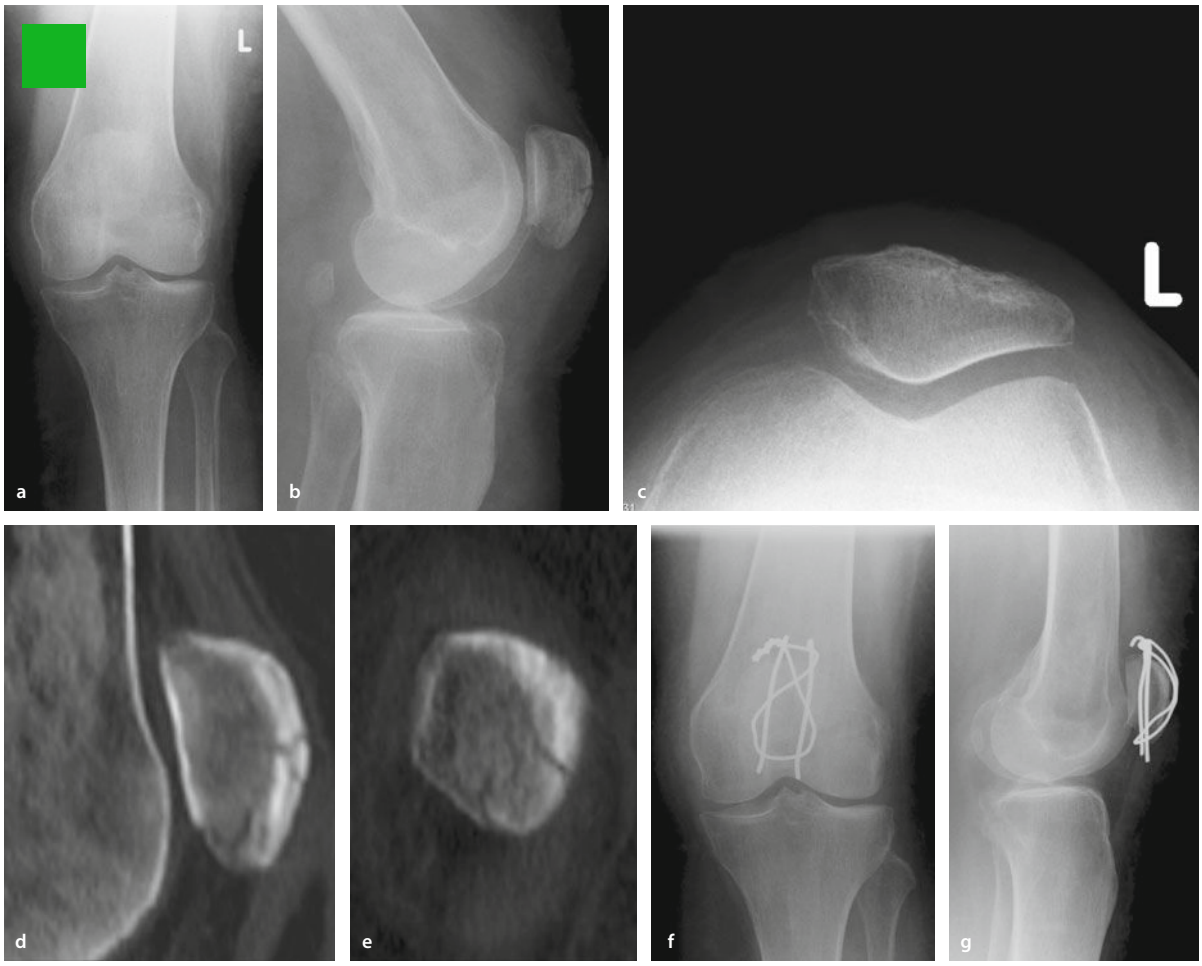


Abb. 19.6. 64 Jahre, weiblich. Stolpersturz auf das linke Knie. Extraartikuläre Fraktur des caudalen Pols bis an die Gelenkfläche heranreichend, CT-morphologisch gesichert ohne Gelenkflächenversatz (A1) **(a–e)**. Primärversorgung mit Zuggurtungsosteosynthese **(f, g)**. Empfohlen wird ein Umbiegen auch der caudalen Drahtenden, um Weichteilirritationen zu vermeiden

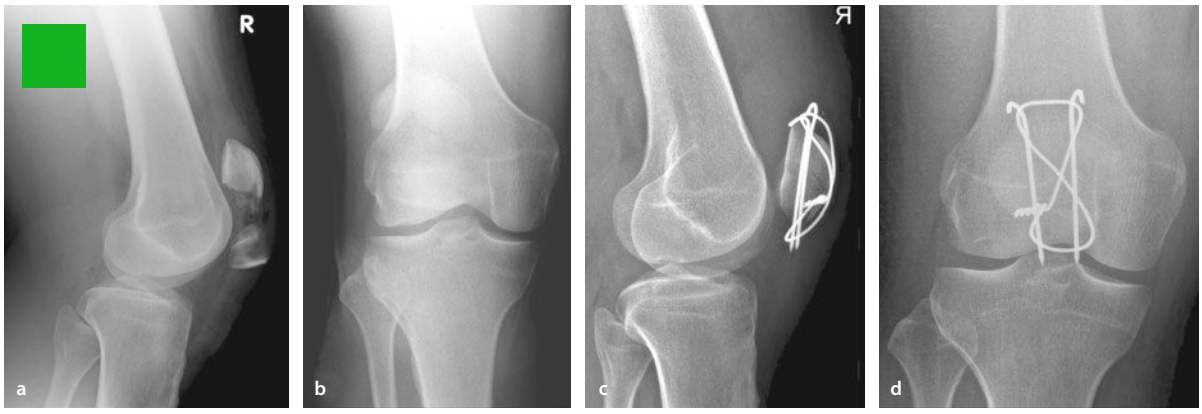
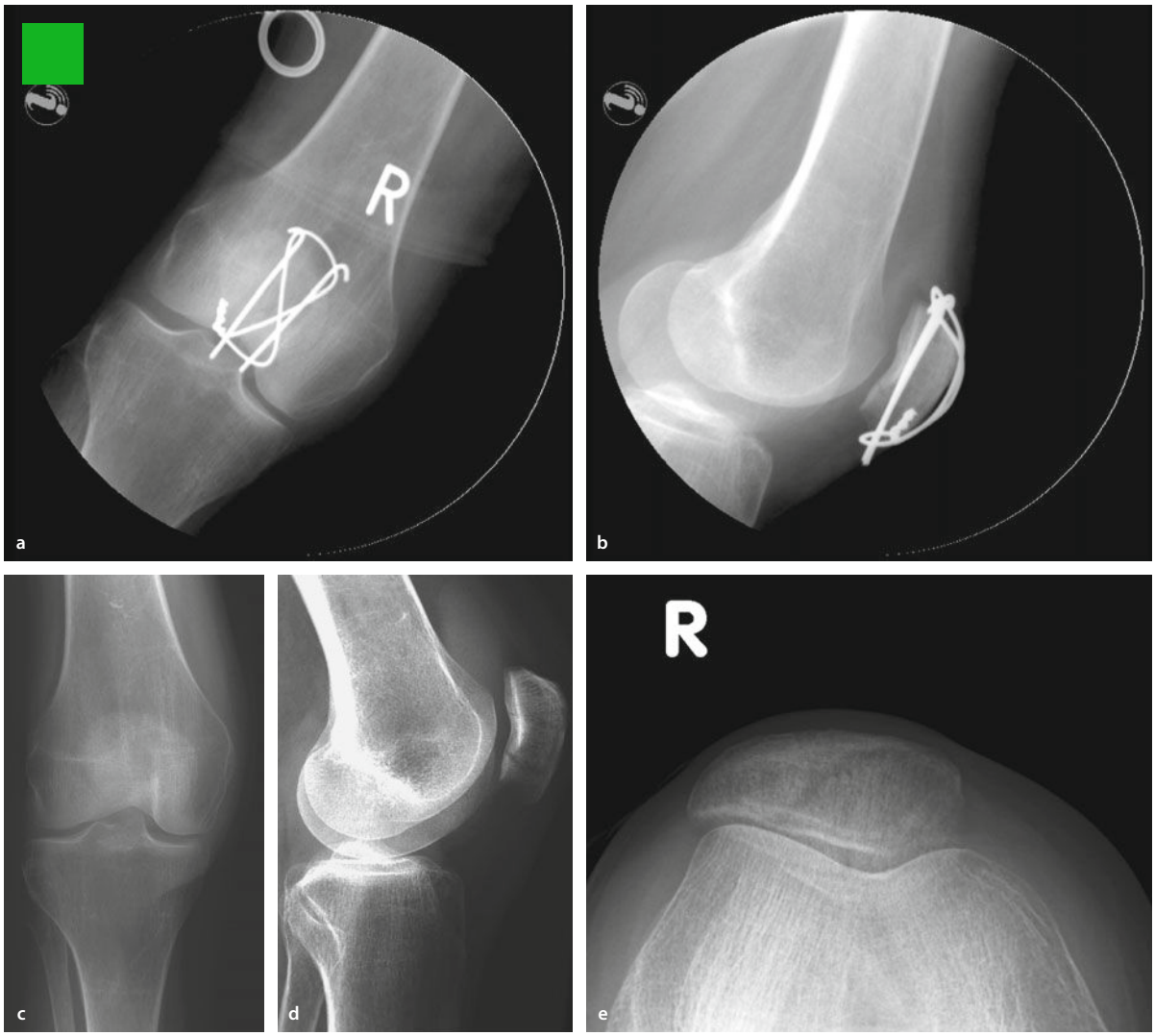


Abb. 19.7. 42 Jahre, männlich, als Rollerfahrer mit stehendem LKW kollidiert (Knieanprall). II.-gradig offene Patellaquerfraktur in Kniescheibenmitte (C1.1). Instabile Fraktur bei deutlicher Dislokation. Primärversorgung mit Zuggurtungsosteosynthese. Die Drähte sollten aus mechanischen Gründen direkt an der Gelenkfläche liegen **(c)**

werden, um ein Fragment an das nächstliegende Hauptfragment anzubinden. So kann z. B. eine 3-Fragment-Fraktur in eine 2-Fragment-Fraktur umgewandelt werden, die dann mit einer Zuggurtung gut zu versorgen ist.

Die *Kirschner-Drähte* für die Zuggurtung (vorzugsweise der Stärke 1,8, evtl. 2.0) sind bei leicht gebeugtem Knie nach Reposition *gelenkknorpelnah* einzubringen, um bei Beugung während der frühfunktionellen Nachbehandlung kein Klaffen des gelenknahen Frakturspalts zu provozieren. Sie sollten nur in Ausnahmefällen bei kleinen Zusatzfragmenten, die erhalten werden sollen, zusätzlich einzeln eingebracht werden. Andere Kleinstfragmente sind zu entfernen, und der Reservestreckapparat ist mit der verbleibenden Patella zu vernähen. Nach Anlage der 8- oder O-förmigen Cerclage empfehlen wir, die 4 Enden umzubiegen, da sonst Weichteilirritationen vermehrt beobachtet werden (◘ Abb. 19.8).

Modifikationen der Zuggurtung mit Führung der Drähte um die caudal liegenden Schraubenköpfe bzw. cranial durch einen ossären Kanal, aber auch durch kanülierte Schrauben sind möglich und führen sogar zu einer höheren Stabilität als die klassische Zuggurtung. Gleiches gilt auch für die Schraubenosteosynthese [6, 7]. Eine weitere Modifikation ist die statische laterale Seilzuggurtung, die die Kräfte axial einleitet [8]. Hier werden anstelle der Cerclage laterale Seile knochennah unter den seitlichen Weichteilen an der Patella herumgeführt. Diese Methode hat nach unserem Kenntnisstand keine weite Verbreitung gefunden.



◘ **Abb. 19.8. 42 Jahre, männlich. Als Rollerfahrer mit stehendem LKW kollidiert (Knieanprall).** II.-gradige offene Patellaquerfraktur in Kniescheibenmitte (C1.1). Instabile Fraktur bei deutlicher Dislokation. Primärversorgung mit Zuggurtungsosteosynthese. Die Drähte sollten aus mechanischen Gründen direkt an der Gelenkfläche liegen

911

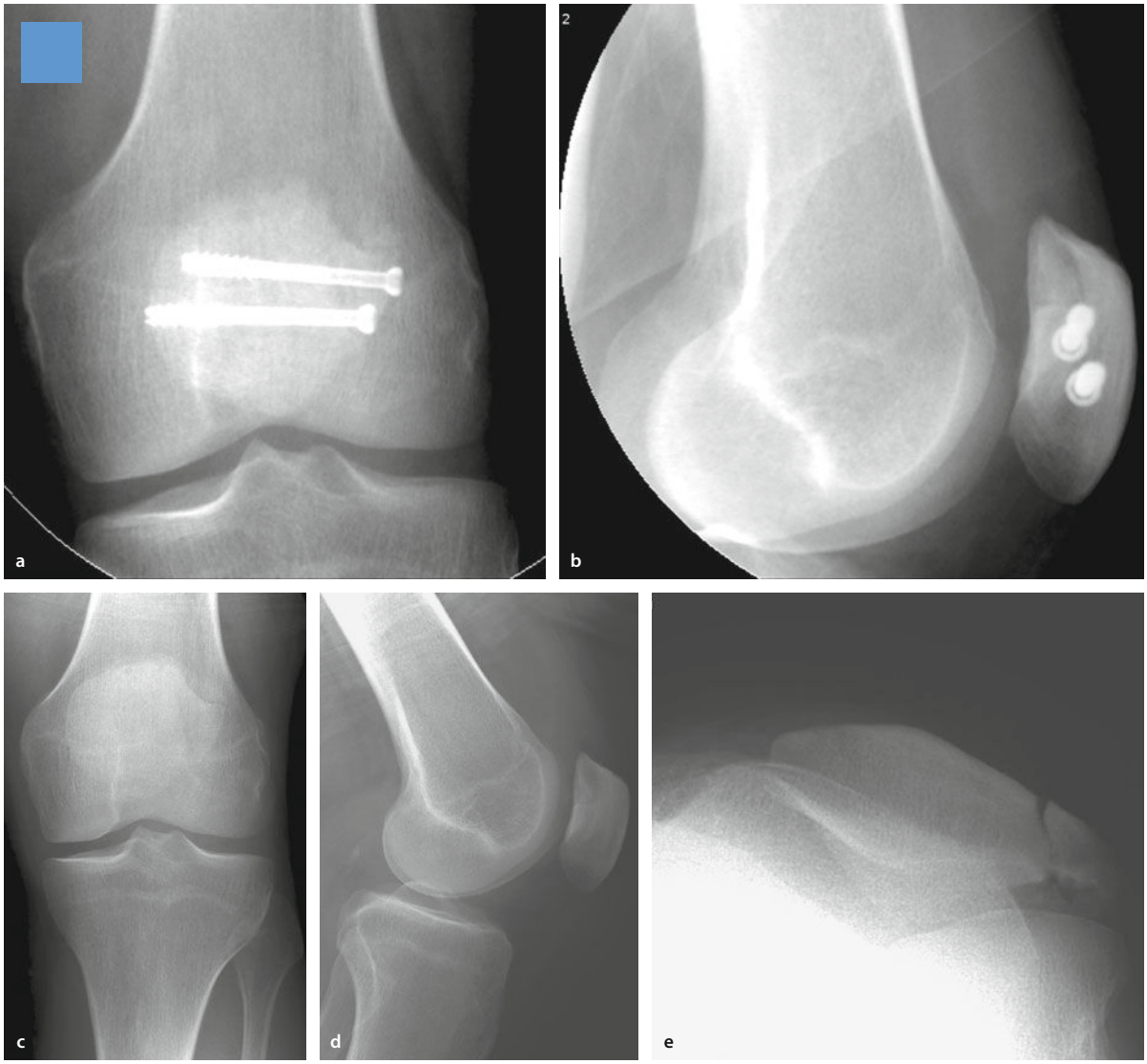
Wichtig

Bei der Zuggurtungsosteosynthese sind nach der Reposition eine primäre Kompression des gelenknahen Frakturspalts und eine dorsale, also knorpelnahe Lage der Kirschner-Drähte von entscheidender Bedeutung. Die Cerclage muss interfragmentäre Kompression erzeugen.

Die Stellung der Gelenkfläche nach Reposition muss kontrolliert werden. Es eignen sich arthroskopisch gestützte Verfahren, z. B. bei Längsfrakturen, aber auch die palpatorische Kontrolle der Stellung über eine kleine mediale Arthrotomie.

19.5.3 Zugschraubenosteosynthese

Die operative Versorgung mit Zugschrauben ist die zweite Standardtherapie neben der Zuggurtung. Sie ist die Versorgung der Wahl bei allen operationspflichtigen Längsfrakturen und kann bei zusätzlichen Fragmenten ebenfalls mit Erfolg angewendet werden (◘ Abb. 19.9, 19.10). Sie kann auch bei guter Knochenqualität bei Querfrakturen oder extra- und intraartikulären Polabrissen angewendet werden (◘ Abb. 19.11, 19.12). Bei mehreren Einzelfragmenten kann, wie in ▶ Kap. 19.5.2 bereits erwähnt, die zusätzliche Implantation einer kanülierten Kleinfragmentschraube erforderlich werden, um ein kleineres



◘ **Abb. 19.9. 38 Jahre, männlich. Direkter Sturz auf das Knie.** Laterale Längsfraktur (B2.1). Primärversorgung mit kanülierten Zugschrauben von lateral

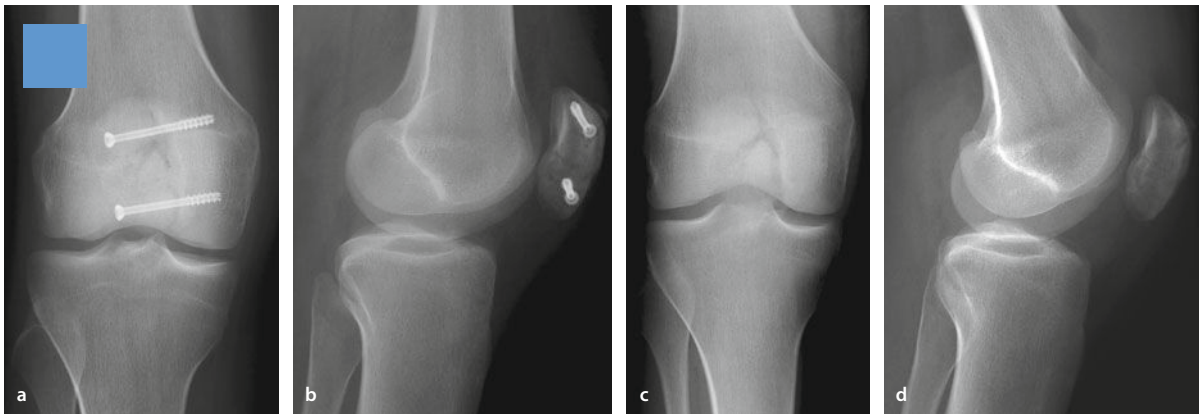


Abb. 19.10. 29 Jahre, weiblich. Sturz, direkter Aufprall mit der Patella auf eine Betonplatte. Patellalängsfraktur mit zusätzlicher lateraler, nahezu horizontaler Frakturlinie im Sinne einer 3-Fragment-Fraktur (B2.2). Offene Reposition und Osteosynthese mit kanülierten Zugschrauben

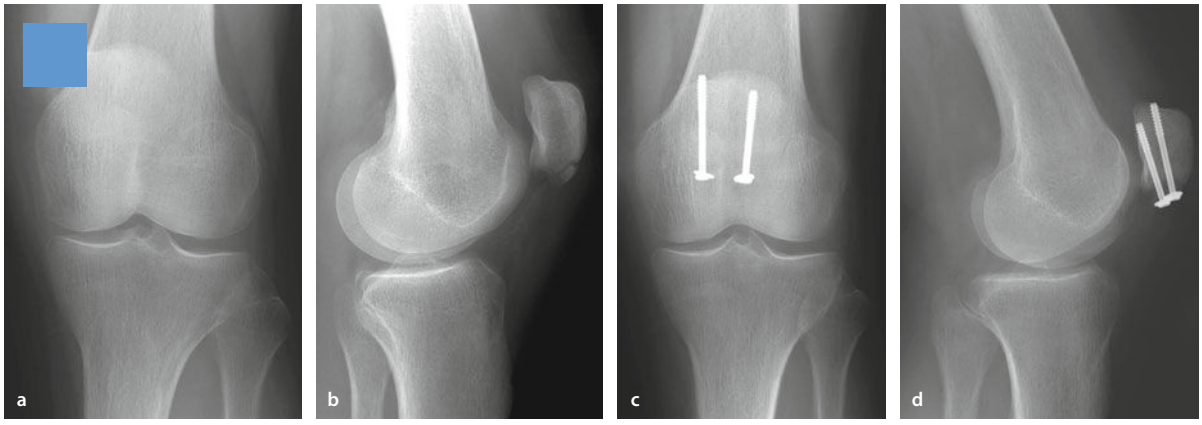


Abb. 19.11. 66 Jahre, weiblich. Direkter Sturz auf das Kniegelenk. Extraartikuläre Fraktur des unteren Patellapols (A1). Operative Primärversorgung mit kanülierten Zugschrauben

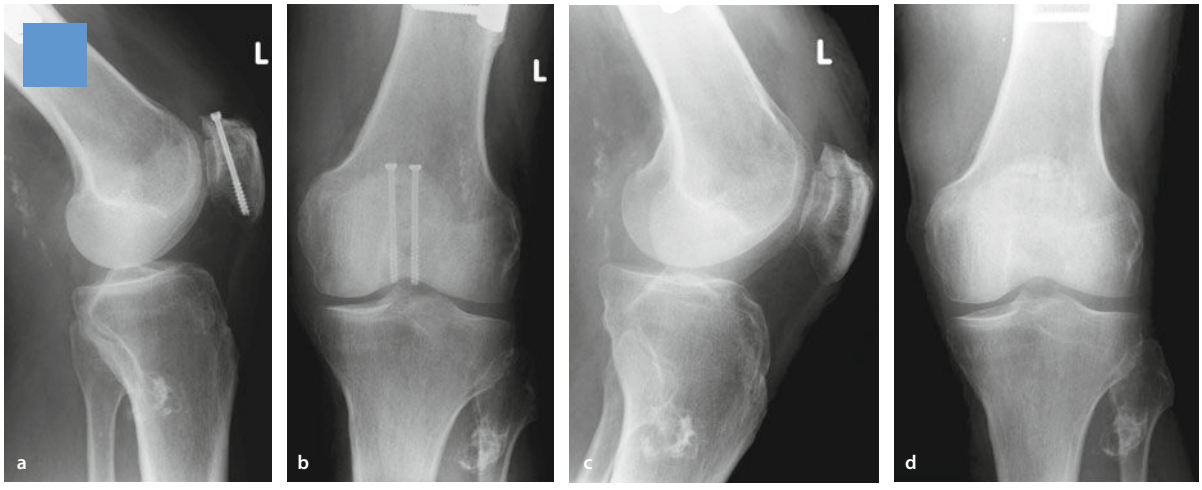


Abb. 19.12. 66 Jahre, männlich. Leitersturz aus 3 m Höhe direkt auf das Knie. Intraartikuläre Querfraktur des oberen Patellapols (C1.2). Osteosynthetische Primärversorgung mit kanülierten Zugschrauben. Nebenbefundlich zeigt sich eine kartilaginäre Exostose der proximalen Fibula

Fragment an ein Hauptfragment anzubinden. Bei großen Fragmenten erzielen 6,5 mm Großfragmentschrauben eine größere Kompression.

19.5.4 Andere (Äquatorial-Cerclage, McLaughlin-Cerclage)

Bei komplexen C-Frakturen oder schlechter Knochenqualität ist eine sichere Retention nach Reposition über die oben genannten Verfahren manchmal nicht mehr möglich. Daher müssen die Fragmente zusätzlich stabilisiert oder entlastet werden. Hierzu kann zusätzlich zur Zuggurtung und Zugschraubenosteosynthese eine Äquatorial-Cerclage um die Patella geführt werden. Diese lässt sich am besten über eine vorgestochene Hohlnadel platzieren.

Besteht z. B. bei kleinen Polfragmenten Unsicherheit über die Stabilität, kann der Quadricepszug über eine McLaughlin-Cerclage (◘ Abb. 19.13) oder eine Rahmennaht mit dickem, resorbierbarem Faden (PDS-Kordel) neutralisiert werden. Die McLaughlin-Cerclage wird mit der Hohlnadel cranial um die Patella durch die Weichteile geführt und kann über dem Lig. patellae gekreuzt werden. Die Verankerung im Knochen geschieht etwa 1 cm distal der Tuberositas tibiae.

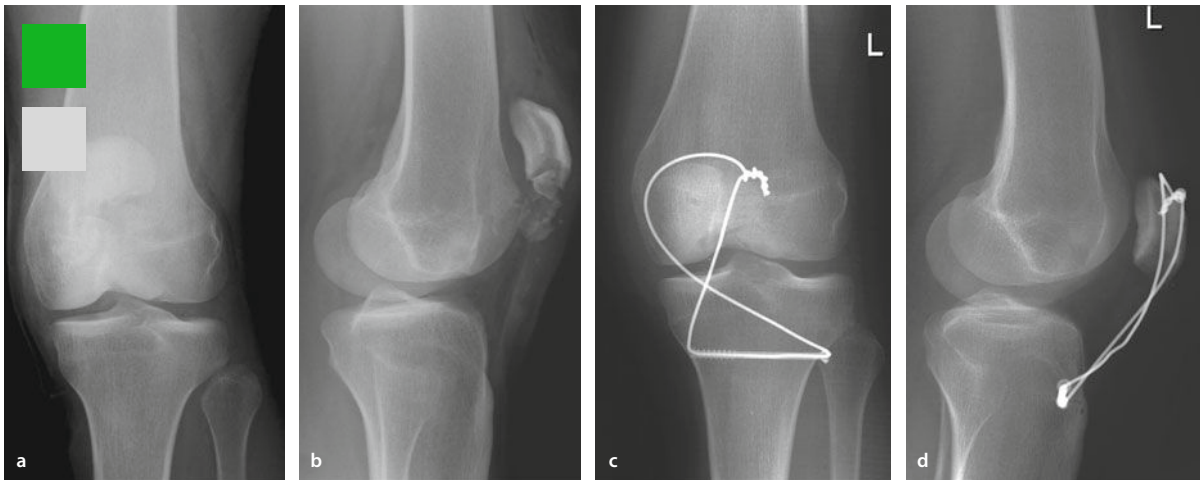
Eine direkte Führung durch den Knochen ist nur bei sehr guter Knochenqualität zu empfehlen, da es oft zum Durchschneiden kommt. Besser ist die Implantation einer Schraube in der Frontalebene.

Wird die Cerclage durch eine kanülierte Schraube geführt, kommt es oft zum Brechen des Cerclage-Drahts an den Schraubenenden. Wir empfehlen daher, die Cerclage mit einer Windung jeweils medial und lateral um die überstehende Schraube zu führen.

Die McLaughlin-Cerclage sollte nach etwa 5 Wochen nach vorausgegangener Röntgenkontrolle über eine Inzision entfernt werden.

19.5.5 Patellektomie

Die Patellektomie bleibt schwersten Trümmerfrakturen, die nicht mehr rekonstruierbar sind, vorbehalten. Typisches Beispiel ist die C3-Fraktur mit multiplen kleinsten Fragmenten. Es kann auch eine partielle Patellektomie erfolgen, wenn weniger als die Hälfte der Kniescheibe zerstört ist (◘ Abb. 19.13). Quadriceps- oder Patellasehne müssen am verbleibenden Anteil der Kniescheibe durch transossäre Nähte reinseriert werden. Die Sicherung dieser Nähte erfolgt über entsprechende Verfahren wie die Rahmennaht oder McLaughlin-Cerclage. Ein Tief- oder Hochstand der Patella ist durch entsprechende Verfahren (z. B. Umkippplastik) zu vermeiden, ebenso wie eine Verkippung, da erhebliche funktionelle Beeinträchtigungen resultieren. Bei Unsicherheit ist die Gegenseite intraoperativ unter Durchleuchtung darzustellen, um eine korrekte Höheneinstellung der Patella zu gewährleisten.



◘ Abb. 19.13. 27 Jahre, weiblich. Frontalaufprall mit PKW als Fahrzeugführerin; Knieanprall im Sinne einer »dashboard injury«. Offene Trümmerfraktur des unteren Patelladrittels (C1.3). Bei fehlender Rekonstruktionsmöglichkeit Resektion und transossäre Sehnennaht mit Zugentlastung über modifizierte McLaughlin-Cerclage für 5 Wochen, anschließend Entfernung der Cerclage. Gefahr des Drahtbruchs bei Führung durch kanülierte Schraube. Postoperativ nicht gewünschte Distalisierung der Patella (Patella baja, Gegenseite nicht abgebildet) mit funktionellem Defizit und Schmerz

Wichtig
Die Patellektomie ist als Ultima ratio zu betrachten, da immer funktionelle Beeinträchtigungen aufgrund reduzierter Kraft des M. quadriceps drohen. Einschränkungen finden sich daher z. B. beim Aufstehen oder Treppensteigen. Auch hier kann eine Umkippplastik den Defekt decken. Nach den Leitlinien sollte die Patellektomie möglichst primär erfolgen [9].

19.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung wird je nach Knochenzustand, Osteosyntheseverfahren und Stabilität durch den Operateur festgelegt. Prinzipiell ist eine frühfunktionelle Behandlung nach Zuggurtungsosteosynthese wichtig. Diese umfasst ab dem 1. postoperativen Tag eine gipsfreie Mobilisation unter 20 kg Teilbelastung für 5 Wochen postoperativ und anschließender schmerzadaptierter Aufbelastung.

Nach Osteosynthese ist eine *Motorschiene* mit einem Bewegungsausmaß bis zur Spannungsgrenze empfehlenswert. Bewährt haben sich Einstellungen nach der Neutral-Null-Methode von 0–0–30° für die ersten beiden Wochen, von 0–0–60° in der 3.–4. Woche und von 0–0–90° in der 5.–6. Woche. Danach kann die Freigabe erfolgen. Kryotherapie und antiphlogistische Behandlung sollten bis zur Ergussfreiheit erfolgen, eine Thromboseprophylaxe bis zur Vollbelastung.

Bei konservativer Therapie kann im *Oberschenkelgipstutor* oder in der *Orthese* unter gleichem Belastungsregime behandelt werden. In der Orthese kann die Bewegung nach 10–14 Tagen auf 30° und ab der 4. Woche auf 60° gesteigert werden. Ab der 5.–6. Woche kann nach Röntgenkontrolle mit entsprechender Heilung auf Vollbelastung übergegangen werden.

Metallentfernungen sind in der Regel erforderlich, da mechanische Irritationen der Weichteile auftreten können. Zuggurtungen und Schrauben sollten nach frühestens 6 Monaten entfernt werden; nur bei mechanischer Irritation kann dies bereits nach 3 Monaten nach Röntgenkontrolle mit Konsolidierungsnachweis erfolgen.

19.7 Sonderformen

Kinder. Besondere Prinzipien der Behandlung sind bei Kindern zu beachten. Hier finden sich sehr viel seltener als beim Erwachsenen Brüche der Kniescheibe in Form von Längs- oder Querfrakturen. Häufiger sind sog. Sleeve Frakturen (osteochondrale Ausrisse der Pole mit oder ohne knöchernen Anteil) im Rahmen plötzlicher Quadricepsanspannungen bei gebeugtem Knie [10] sowie chondrale oder osteochondrale Brüche im Rahmen einer Patellaluxation. Wichtigstes indirektes röntgenologisches Zeichen ist die Patella alta/baja bei unterem bzw. oberen Polabriss.

Osteochondrale Polabrisse bei Kindern werden leicht übersehen, da sie röntgenologisch nicht sicher erfasst werden (wenn kein bereits verknöcherter Anteil im Abrissfragment vorhanden ist). Diagnostisch wegweisend sind Anamnese und ggf. Sonographie oder das MRT. Unbehandelt verheilen sie mit Funktionsdefizit.

Wegweisend ist die Anamnese, z. B. Sprungsportart oder Skateboarden bei Sleeve-Frakturen, oder das Vorliegen prädisponierender Faktoren bei der Luxation (Hypoplasie lateraler Condylus, Patelladysplasie, Genu valgum, Patella alta, M.-vastus-medialis-Insuffizienz und M.-vastus-lateralis-Kontraktur).

Konservativ behandelt werden mit Oberschenkelgipstutor oder Orthese für 4 Wochen unter Abrollbelastung bis maximal 2 mm dislozierte Brüche, insbesondere Längsbrüche. Die klassischen Querbrüche oder »sleeve fractures« werden wie beim Erwachsenen versorgt. Übersehene Polabrisse können bei Ausheilung unter Verlängerung in einer Streckhemmung resultieren. Ursächlich ist, dass der ausgerissene Periostschlauch weiter Knochen bildet und eine deutliche Vergrößerung der Patellalänge resultiert. Die operative Therapie ist die Verkürzungsosteotomie und Osteosynthese [11].

Bei chondralen oder osteochondralen »flake fractures« muss eine sofortige Einpassung des Fragments erfolgen, da verspätet die anatomische Reposition deutlich erschwert ist. Zur Diagnosesicherung ist bei rein chondralem Fragment eine *dringliche MRT* erforderlich. Nach Reposition gelingt die Retention gut mit Polymerstiften (z. B. Ethipins), die unter das Knorpelniveau versenkt sein müssen. Bei »sleeve fractures« kann je nach Größe mittels klassischer Zuggurtungsosteosynthese oder transossären Nähten stabilisiert werden. Es empfiehlt sich ein resorbierbarer starker Faden (z. B. PDS 1,0). Wir empfehlen wie auch andere Autoren eine Nachbehandlung mit dem Gipstutor für 5 Wochen unter Teilblastung [12].

Ältere Personen. Bei älteren Menschen wird nach den in ▶ Kap. 19.5 beschriebenen Grundsätzen versorgt. Allerdings müssen Probleme wie die manifeste Osteoporose bei der Planung der Behandlung berücksichtigt werden. Neben der Behandlung der Grunderkrankung ist bei erheblicher Schwächung der Knochenstruktur die Indikation zur konservativen Behandlung großzügiger zu stellen (◘ Abb. 19.14). Gegebenenfalls sind zusätzliche Stabilisierungen wie z. B. die primäre Äquatorial-Cerclage zu implantieren.

911

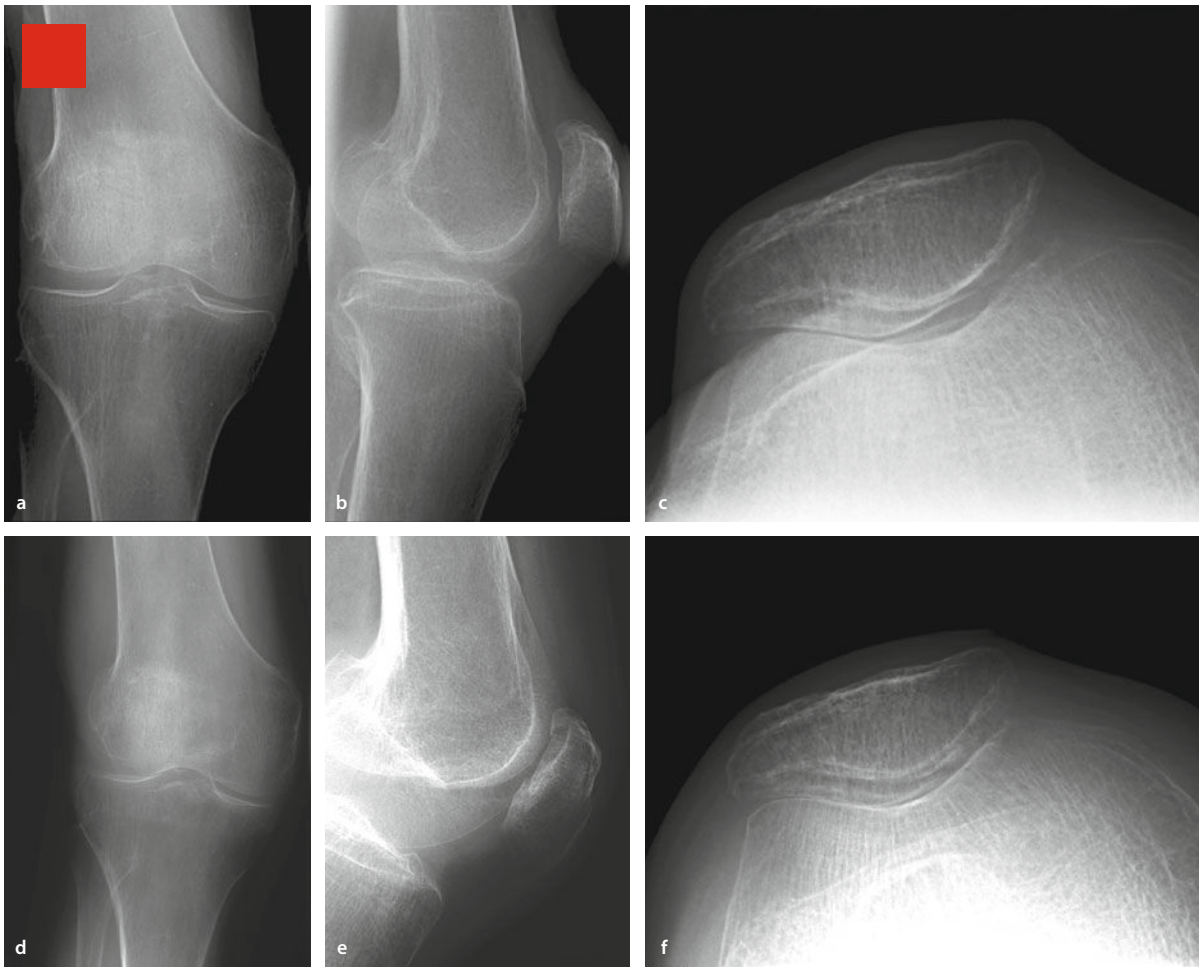


Abb. 19.14. 86 Jahre, weiblich. Demenz, unklarer Sturz auf das rechte Knie. Klinisch Haemarthros. Mehrfragmentäre, gering dislozierte Patellafraktur mit zentralem Fragment (C3.2). Aufgrund ausgeprägter Mineralsalzminderung eingeschränkte Beurteilbarkeit der Projektionsradiographie. Konservative Therapie mit Analgesie und Frühmobilisation

19.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Bei richtiger Behandlung mit exakter Rekonstruktion der Gelenkfläche ist die Prognose der Patellafraktur gut. Bei osteosynthetisch versorgten Brüchen wurden in 1/3 der Fälle sehr gute Resultate gefunden [13]. Als Verfahren der Wahl gilt für die meisten Bruchformen wie die häufig auftretenden Quer- und Schrägbrüche [14] die Zuggurtungsosteosynthese, die Zugschraubenosteosynthese oder Modifikationen der beiden Methoden (▶ Kap. 19.5.2).

Wichtiger als die Wahl des Verfahrens ist die *exakte Reposition der Gelenkfläche*. Dann ist die Komplikationsrate postoperativ bei guter Knochenqualität gering. So wurden bei überwiegend *zuggurtungs-* und *schraubenosteosynthetisch* versorgten Brüchen in etwa 5% der Fälle prolongierte Gelenkergüsse beobachtet, des Weiteren traten bei ca. 20% der Operierten belastungsabhängige Schmerzen auf [14]. Letzteres kann zu einer eingeschränkten Kniebeugung führen. Bei Zuggurtungsosteosynthesen sind Weichteilirritationen und Cerclage-Lockerung bzw. -brüche mit Redislokationen möglich. Andere Autoren berichten in >1/3 der Fälle über Beugedefizite, bei >60% der Patienten über subjektive Beschwerden [15]. Die klassische Zuggurtung wird damit kritisch bewertet. Auch berichtet Labitzke [8] über viele Nachteile, wie mäßige funktionelle Ergebnisse, präarthrotische Veränderungen wie Gelenkstufen, Verkantung und Auswalzung der Gelenkfläche, Verlängerung durch Distraktion, verzögerte Heilung und Pseudarthrosen.

Die von ihm modifizierte Technik und als statische laterale Seilzuggurtung mit axialer Krafteinleitung (▶ Kap. 19.5.2) beschriebene Operation weist nach seinen

Angaben 78% sehr gute und gute funktionelle Ergebnisse auf und liegt in seinem Patientengut deutlich über der konventionellen Zuggurtung [8]. Diese Probleme mit der klassischen Zuggurtung werden von den Autoren nicht in dem Maße gesehen, und es muss in diesem Zusammenhang auf die korrekte Indikationsstellung und exakte Reposition erneut hingewiesen werden. Bei anatomischer Reposition und primärer Kompression des Gelenkspalts ohne Stufenbildungen sind die Ergebnisse der konventionellen Zuggurtung weitaus besser als in der zitieren Arbeit dargestellt.

Trümmerzonen müssen wie oben beschrieben ggf. anderen Versorgungen zugeführt werden. Implantatdislokationen wie Wanderungen von Drähten sind verstärkt bei Osteoporose möglich, dann ist gelegentlich ein Gipstutor für einige Wochen postoperativ sinnvoll.

Aufgrund der beschriebenen Probleme wird nach alternativen Implantaten wie z. B. *Nagelsystemen* gesucht. Der XS-Nagel ermöglicht eine Kompression der Fraktur und eine frühfunktionelle Beübung sowie eine direkt postoperative Vollbelastung [15]. Eine endgültige Bewertung steht aber noch aus.

Bei verbliebenen Stufen intraartikulär kommt es auch unterstützt durch den primären Knorpelschaden bei Anprall zur Ausbildung einer Sekundärarthrose mit schlechten klinischen Resultaten. Die Angaben der Literatur liegen in einem Bereich von 5–36% [13]. Pseudarthrosen werden bei richtiger Osteosynthesetechnik mit intrafragmentärer Kompression selten beobachtet.

Nach *Patellektomie* ist immer mit einer Kraftminderung der Kniegelenkstreckung zu rechnen, da der Hebelarm durch die Entfernung des Sesambeins Patella verringert worden ist. Insgesamt werden die Langzeitergebnisse als akzeptabel beurteilt [13]. Andere Untersuchungen geben sogar in rund 75% der Fälle gute bis exzellente Resultate an [16]. Weitere Probleme ergeben sich durch eine reduzierte, schmerzhafte Beweglichkeit, Schwellneigung und Instabilität mit »giving-way«-ähnlicher Symptomatik [2].

Ist eine transossäre Refixation nach Teilpatellektomie erforderlich, ist der Quadricepszug zu antagonisieren. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass keine Patella baja/alta resultiert; dann werden schlechte funktionelle Ergebnisse beobachtet. Bei richtiger Positionierung und Patellastellung sind die Ergebnisse funktionell überwiegend gut bis sehr gut [17]. Insgesamt ist die Methode als Ultima ratio zu betrachten und kommt möglichst primär zum Einsatz, wenn eine Rekonstruktion nicht mehr möglich ist.

19.9 Begutachtung

Wie oben erwähnt, ist die Prognose in der Regel gut, sodass bei exakter Reposition eine gute Funktion ohne verbleibende wesentliche Funktionseinschränkungen erreicht wird. Bei unkritischer Versorgung werden Funktionseinschränkungen beobachtet. Bei einer Beweglichkeit von 0–0–90° ist von einem Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) von 10 in der gesetzlichen Unfallversicherung auszugehen. Kommt eine relevante Arthrose hinzu, kann die der GdB/MdE auf bis zu 30% ansteigen. Pseudarthrosen ohne wesentliche Funktionseinschränkung bedingen einen GdB/MdE von 10–20.

In der privaten Unfallversicherung ist je nach Funktionseinschränkung und Arthrosegrad mit einer Invalidität von 1/7–3/10 Beinwert zu rechnen. Pseudarthrosen ohne wesentliche Funktionseinschränkung bedingen 1/10–1/5 Beinwert.

Literatur

1. M. Speck, P. Regazzoni, Klassifikation der Patellafrakturen. Z Unfallchir Vers Med 87: 27–30 (1994)
2. M. Galla, P. Lobenhoffer, Frakturen der Patella. Chirurg 76: 987–999 (2005)
3. L. Böhler, Die Technik der Knochenbruchbehandlung, Maudrich, Wien, 1957
4. F. Magerl, Das patello-femorale Gelenk. Ursachen, Formen und Begleitverletzungen der Patellafraktur. Hefte Unfallheilkd 120: 45–60 (1975)
5. M. Veselko, M. Tonin, V. Semekovič, Arthroskopisch assistierte Behandlung intraartikulärer Frakturen des Kniegelenks. Arthroskopie 11: 246–251 (1998)
6. J.G. Burvant, R. Alexander, M.B. Harris, Evaluation of methods of internal fixation of transverse patella fractures: a biomechanical study. Orthop Trauma 8: 147–153 (1994)
7. J.E. Carpenter, R.A. Kasman, N. Patel, M.L. Lee, S.A. Goldstein, Biomechanical evaluation of current patella fracture fixation techniques. J Orthop Trauma 11: 351–356 (1997)
8. R. Labitzke, Zuggurtungen – Richtiges und Falsches am Beispiel der Patellafraktur. Chirurg 68: 638–642 (1997).
9. K.M. Stürmer (Hrsg.), Leitlinien Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart, 1999
10. D.M. Hunt, N. Somashekar, A review of sleeve fractures of the patella in children. Knee 12: 3–7 (2005)
11. D. Seybold, F. Hopf, T.Kälicke, T.A. Schildhauer, G.Muhr, Avulsionsfrakturen des unteren Patellapols. Unfallchirurg 108: 591–596 (2005)
12. P. Kaivers, T. Busch, A. Lies, Die Ausrissfraktur (»sleeve fracture«) des oberen Patellapols beim Kind. Unfallchirurg 106: 676–679 (2003)
13. K. Wendl, R. Zinser, P. Hochstein, P.A. Grützner, Frakturen der Kniescheibe. Trauma Berufskrankh 4: 30–37 (2002)
14. G. Sperner, P. Wanitschek, Therapieformen und Behandlungsergebnisse der Patellafraktur. Unfallchirurgie 15: 247–252 (1989)
15. J. Gehr, W. Friedl, Probleme der Zuggurtungsosteosynthese von Patellafrakturen und deren Konsequenzen für weitere Implantatentwicklungen. Chirurg 72: 1309–1318 (2001)
16. G. Blatter, R.W. Jackson, O. Bayne, F. Magerl, Patellektomie als Salvage Operation. Orthopäde 16: 310–316 (1987)
17. A. Ahrberg, C. Josten, Augmentation von Patellafrakturen und Patellasehnenrupturen mittels McLaughlin-Cerclage. Unfallchirurg 110: 685–690 (2007)

20 Clavicula

G. Matthes, C.M. Müller-Mai

Definition

Es handelt sich hier um Brüche des Schlüsselbeins in seinem mittleren, lateralen oder medialen Drittel. Anatomisch und funktionell spielt das Schlüsselbein eine besondere Rolle. Es stellt die einzige knöcherne Verbindung zwischen oberer Extremität und Rumpfskelett dar. Dies bedingt auch, dass die Schlüsselbeinfraktur eine häufige Verletzung des Bewegungsapparates ist.

In der Literatur wird die Claviculafraktur beim Erwachsenen mit einer Häufigkeit von <10% aller Frakturen, bei Kindern mit etwa 15% aller Frakturen angegeben. Etwa 40% der Brüche des Schultergürtels betreffen das Schlüsselbein. Überwiegend sind Männer und die linke Seite betroffen. Deutliche Dislokationen werden in der Hälfte der Fälle und Trümmersituationen in rund 20% beobachtet [1].

Die S-förmig geschwungene Clavicula weist ihre dünnste Stelle im mittleren Anteil auf. 80% aller Frakturen finden sich daher in diesem Drittel des Schlüsselbeins. Ca. 15% der Schlüsselbeinfrakturen sind im lateralen Anteil und <5% im medialen, proximalen Anteil lokalisiert [1].

20.1 Mechanismus

Entgegen der weit verbreiteten Annahme ist der Sturz auf den ausgestreckten Arm eher selten auslösender Mechanismus einer Schlüsselbeinfraktur. >90% aller Claviculafrakturen entstehen durch *direkte Gewalt* entweder auf die Schulter oder direkt auf das Schlüsselbein. Beim Sturz wird der Arm nach hinten gestreckt, was zu einer Rückwärtsführung der gesamten Schulter mit Schulterblatt (Scapula) führt. Die Fraktur der Clavicula tritt dann an typischer Stelle, dem Drehpunkt über der 1. Rippe auf.

20.2 Klinik

Die klinische Diagnose einer Schlüsselbeinfraktur gelingt leicht. Dies ist allein schon durch die spärliche Weichteildeckung zu erklären. Oft imponiert eine deutliche *Dislokation*, die durch Muskelzug bedingt ist. Der M. sternocleidomastoideus inseriert am medialen Anteil der Clavicula. Er eleviert daher diesen Anteil nach stattgehabter Fraktur, während der laterale Anteil indirekt durch den Zug des M. pectoralis major am proximalen Oberarm nach unten gezogen wird. Daher findet man eine typische Knickbildung und Verkürzung der Schulterpartie. Klinisch zeigen sich ein Bluterguss sowie Schmerz an typischer Stelle. Schmerzabhängige Bewegungseinschränkungen des betroffenen Arms sind zu beobachten. Wegweisend ist die medial hochstehende Clavicula. Bei Druck zeigt sich das *Klaviertastenphänomen*, das sich auch weiter lateral bei einer vollständigen Sprengung der acromioclaviculären Bänder findet.

Insbesondere laterale Claviculafrakturen lassen sich klinisch u. U. nicht von einer reinen Bandverletzung, der

912

Schultereckgelenksprengung, abgrenzen. Hier ist die bildgebende Diagnostik wegweisend.

Bei Hochrasanztraumata sind *Begleitverletzungen* auszuschließen. Hierbei muss an einen Pneumothorax, besonders aber auch an eine begleitende Gefäßverletzung (A./V. subclavia) bzw. eine Läsion des Plexus brachialis gedacht werden. Durchblutung, Motorik und Sensibilität sind daher obligat zu prüfen, Ausfälle sind nicht selten.

20.3 Diagnostisches Vorgehen

Neben der typischen Klinik, die in den meisten Fällen bereits eine Diagnose erlaubt, muss immer eine *Röntgenaufnahme* des Schlüsselbeins im a.-p.-Strahlengang angefertigt werden. Zusätzlich empfiehlt sich eine um 45° nach cranial geneigte tangentiale Aufnahme. Durch diese zusätzliche Aufnahme gelingt eine bessere Abschätzung der Frakturstellung (Ausmaß der Dislokation).

Bei lateralen Claviculafrakturen sollte zusätzlich eine Aufnahme des Schultergelenkes in 2 Ebenen angefertigt werden. Besteht hier bei fehlendem Hinweis auf eine knöcherne Verletzung der Verdacht auf eine Läsion des Schultereckgelenkes, sollte zusätzlich eine sog. Panoramaaufnahme (»Wasserträger«) unter 10-kg-Zug an beiden Armen angefertigt werden. Da dies schmerzhaft sein kann, wird diese Aufnahmetechnik nicht von allen Autoren empfohlen.

Die wesentliche *Differenzialdiagnose* stellen die Schultereckgelenkverletzungen ohne knöcherne Beteiligung dar, die üblicherweise nach Tossy/Rockwood klassifiziert werden. Eine weitere Differenzialdiagnose für die medial gelegenen proximalen Frakturen ist die Sternoclaviculargelenksprengung.

Weiterführende Diagnostik spielt nur in Ausnahmefällen wie Gefäß- oder Nervenverletzungen eine Rolle. Eine *MRT* wird bei Plexusläsionen im Verlauf erforderlich oder bei seltenen kindlichen Verletzungen im medialen Drittel mit Darstellung der Wachstumsfuge. Eine *Angiographie* wird bei Gefäßverletzungen notfallmäßig erforderlich.

20.4 Klassifikationen

20.4.1 Klassifikation nach Allman

Eine einfache Einteilung nach Lokalisation des Bruchs wurde 1967 von Allman vorgenommen. Da die Operationsindikation bei Frakturen ohne Begleitverletzungen prinzipiell an der *Frakturlokalisation* festgemacht wird, ist sie klinisch praktikabel und wird auch heute noch verwendet. Es werden abgegrenzt [2]:

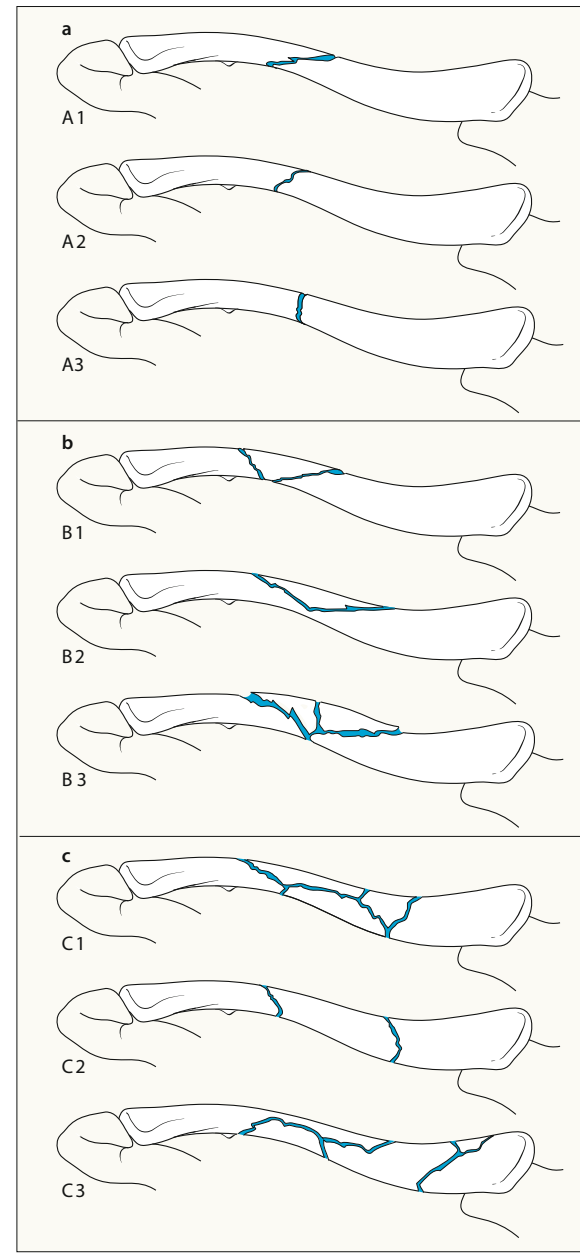


Abb. 20.1. Typ I nach Allman: Schaftfraktur, mittleres Drittel
a Nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen Frakturen Typ A, einfache Frakturen [3]
A1: Einfache Spiralfraktur
A2: Einfache Schrägfraktur
A3: Einfache Querfraktur
b Nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen Frakturen Typ B, Keilfrakturen [3]
B1: Spiralkeil
B2: Biegungskeil
B3: Komplexer Keil
c Nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen Frakturen Typ C, komplexe Frakturen [3]
C1: Komplexe Spiralfraktur
C2: Segmentbruch
C3: Irregulär

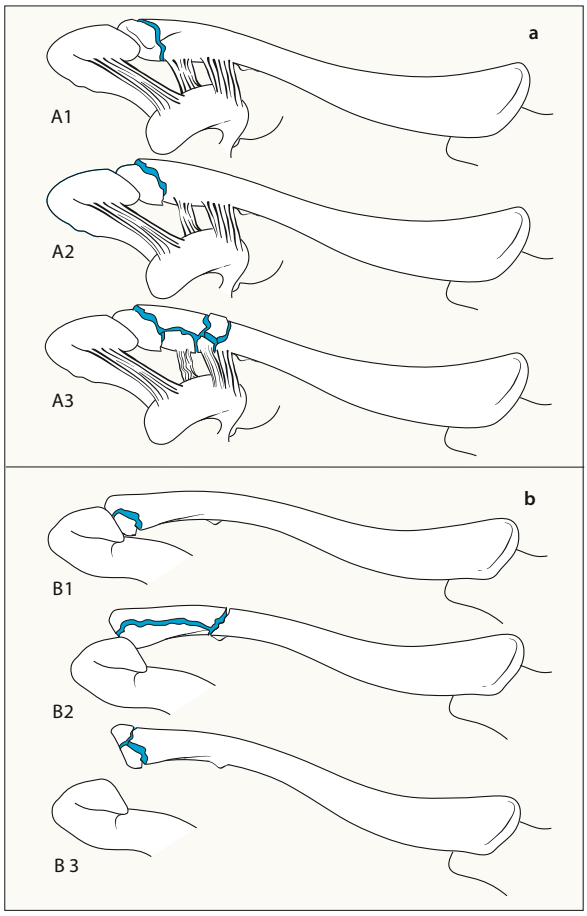


Abb. 20.2. Typ II nach Allman: Claviculafraktur lateral der coracoclavicularen Bänder, distaler Anteil
a Extraartikuläre Claviculafraktur; nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen Frakturen Typ A [3]
A1: Impaktierte Brüche
A2: Dislozierte, Lig. coracoclaviculare intakt
A3: Multifragmentär, Lig. coracoclaviculare intakt
b Intraarticuläre Claviculafraktur; nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen Frakturen Typ B [3]
B1: Ohne Dislokation
B2: Dislozierte, Lig. coracoclaviculare nicht intakt
B3: Multifragmentär, Lig. coracoclaviculare nicht intakt

Typ I (medial). Frakturen im mittleren Drittel.

Typ II (distal). Frakturen lateral der coracoacromialen Bänder, die zu Pseudarthrosen neigen.

Typ III (proximal). Frakturen im medialen Abschnitt, die selten dislozieren oder nicht durchbauen.

Weiter unterschieden werden jeweils *undislozierte*, *dislozierte* und *mehrfragmentäre Frakturen*. Da in Abhängigkeit von der Bandbeteiligung bei lateralen distalen Brüchen diese einfache Einteilung nicht ausreicht, ist hier eine weitere Untergliederung nach Jäger u. Breitner [4] vorgenommen worden (s. unten).

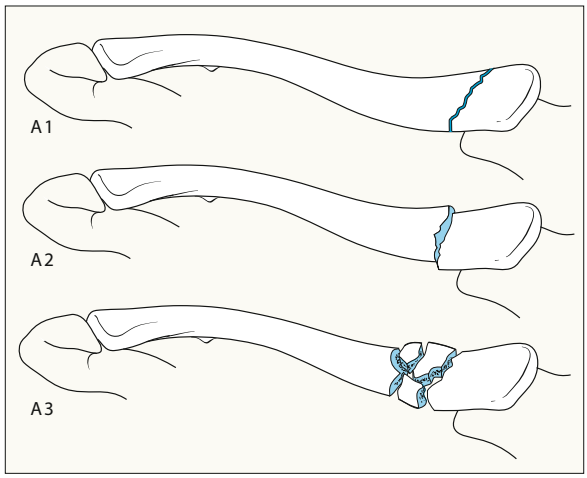


Abb. 20.3. Typ III nach Allman: Schaftfraktur, mediales Drittel. Nach OTA in Anlehnung an die AO-Klassifikation langer Röhrenknochen, proximale Frakturen [3]
A1: Medial-extraartikulär impaktiert
A2: Medial-extraartikulär dislozierte
A3: Medial-extraartikulär multifragmentär

20.4.2 AO-Klassifikation

Wichtig
Eine für alle Claviculafrakturen einheitliche und international akzeptierte Klassifikation existiert bisher nicht.

Um hier eine Verbesserung zu erreichen, wurde in Anlehnung an den Aufbau der AO-Klassifikation von der Orthopaedic Trauma Association (OTA) ein eigener Einteilungsversuch vorgenommen [3]. Zwar liegt damit eine spezifische Klassifikation vor, die sich an der üblichen Einteilung langer Röhrenknochen der AO mit einfacher (A), keilförmiger (B) und komplexer Fraktur (C) orientiert, jedoch lässt sich hieraus nicht in jedem Fall eine klare Behandlungsstrategie ableiten. Laterale Brüche werden nur in extra- und intraartikuläre Formen, proximale, also medial gelegene Brüche werden nur als extraartikulär beschrieben. Diese Einteilung hat daher in der Praxis nur einen eingeschränkten Stellenwert und bedarf unserer Ansicht nach einer Überarbeitung. Sie wird in diesem Buch zusätzlich erwähnt, um die einheitliche Struktur zu bewahren (Abb. 20.1–20.3).

Grundlage für die Farbkodierung der Therapieoptionen soll aber aus den beschriebenen Gründen die Einteilung nach Allman sein (s. unten).

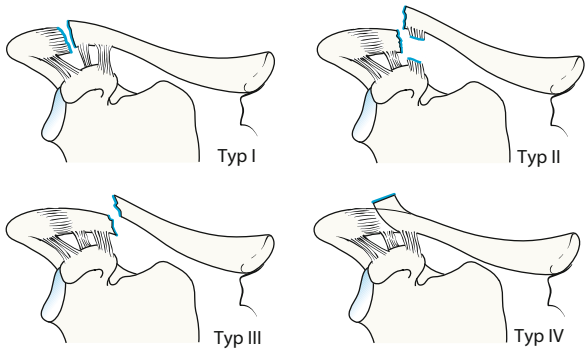


Abb. 20.4. Klassifikation nach Jäger u. Breitner [4]
Typ I: Fraktur lateral der Bänder, stabil
Typ II: Fraktur zwischen den beiden Anteilen des Lig. coracoclaviculare (IIa: Pars trapezoidea intakt, Pars conoidea gerissen, das mediale Fragment wird durch den M. sternocleidomastoideus nach cranial gezogen, IIb: Ruptur auch der Pars trapezoidea)
Typ III: Fraktur medial des Lig. coracoclaviculare, der mediale Anteil der Clavicula steht disloziert
Typ IV: Verletzung des kindlichen Skeletts, die Fraktur ist im Periost ausgehülst, Letzteres inseriert weiter am intakten Bandapparat

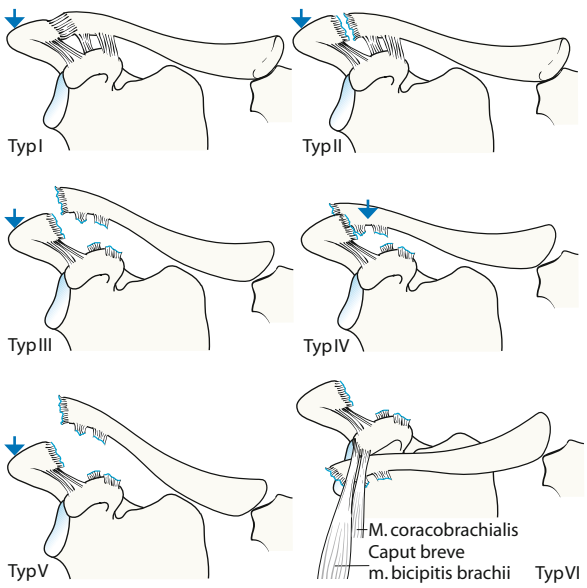


Abb. 20.5. Klassifikation der lateralen ligamentären Verletzungen als wichtigste Differenzialdiagnose zur Fraktur nach Tossy [5] und Rockwood [6]
Tossy I, Rockwood I: Distorsion, keine Bandruptur oder Dislokation
Tossy II, Rockwood II: Die acromioclaviculären Bänder sind gerissen, die coracoclaviculären Bänder sind intakt, Dislokation bis etwa Schaftbreite
Tossy III, Rockwood III: Die acromioclaviculären und die coracoclaviculären Bänder sind gerissen, Dislokation über Schaftbreite
Rockwood IV: Das mediale Fragment der Clavicula steht nach dorsal disloziert, in einen Schlitz des M. trapezius dislozierte Formen können geschlossen irreponibel sein (axiale Röntgenaufnahme sichert die Diagnose)
Rockwood V: Der Abstand zwischen Coracoid und Clavicula ist doppelt so groß wie auf der Gegenseite, subkutan stehendes mediales Fragment
Rockwood VI: Das mediale Fragment der Clavicula ist unter dem Coracoid verhakt

20.4.3 Beispiele weiterer Klassifikationen

Einteilung nach Jäger und Breitner [4]

Klassifikation lateraler Claviculafrakturen in Typ I-IV in Abhängigkeit vom Frakturlinienverlauf in Bezug zu den coracoclaviculären Bändern (Abb. 20.4).

Einteilung nach Tossy [5] und Rockwood [6]

Einteilung der rein ligamentären Verletzungen nach dem Grad der Dislokation. Die Schweregrade IV–VI nach Rockwood stellen Sonderformen dar (Abb. 20.5).

20.5 Therapeutisches Vorgehen

Grundlage für die Farbkodierung der Therapieoptionen ist die Einteilung nach Allman (Abb. 20.6).

Wichtig
Die Claviculafraktur ist noch immer eine Domäne der konservativen Therapie.

Intramedulläre Verfahren werden mit guten Ergebnissen zunehmend angewendet [7]. Mehr als 90% aller Frakturen bedürfen keiner operativen Intervention. Absolute Indikation zur *operativen Versorgung* einer Claviculafraktur sind *Begleitverletzungen*. Hier sind zum einen Nerven- und Gefäßverletzungen, zum anderen aber auch ein begleitender Pneumothorax, bedingt durch Durchspießung von cranialen Lungenanteilen, zu nennen. Auch eine drohende Hautdurchspießung ist eine Indikation. Weiterhin stellen offene Frakturen eine absolute Operationsindikation dar. Hier ist direkt bei Aufnahme die antibiotische Behandlung zu beginnen und die Operation notfallmäßig durchzuführen. Laterale Frakturen sollten bei Dehiszenz operiert werden, da hier gehäuft schmerzhafte Pseudarthrosen auftreten.



Abb. 20.6. Therapieoptionen bei Claviculafrakturen, Einteilung nach der Allman-Klassifikation. A I mittleres 1/3, A II laterales 1/3, A III mediales 1/3. Die in Abb. 20.1a–c in Anlehnung an die AO-Prinzipien erstellte OTA-Einteilung mit den Schweregraden A–C hat keine direkte therapeutische Konsequenz. *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Plattenosteosynthese
- Zuggurtungsosteosynthese
- Marknagelosteosynthese
- Hakenplatte

Als relative Operationsindikation sind die deutliche Fragmentdislokation (querstehendes Intermediärfragment), kaum oder nicht dislozierte laterale Claviculafrakturen (Typ Allmann II) sowie Refrakturen der Clavicula anzusehen. Auch ausgedehnte Rippenserienfrakturen können eine Indikation darstellen. Besteht nach ca. 6 Wochen immer noch eine schmerzauslösende Instabilität, dann sollte die Indikation zur Operation gestellt werden. Laterale Claviculafrakturen müssen aufgrund der Dislokationstendenz engmaschig röntgenkontrolliert werden. Auch die beidseitige Claviculafraktur oder der Bruch des Schlüsselbeins bei Mehrfachverletzten stellen relative Operationsindikationen zur besseren Funktionalität und Mobilisierbarkeit dar.

20.5.1 Konservative Therapie

Die meisten, insbesondere medial und proximal (Allman Typ I und III) gelegene Frakturen, werden durch einen *Rucksackverband* ruhiggestellt (Abb. 20.7). Prinzip ist, dass das mediale Fragment nach distal gedrückt und der Zug des M. sternocleidomastoideus antagonisiert wird. Bei nicht dislozierten lateralen Frakturen, die keine Indikation zur operativen Versorgung darstellen, kann alternativ auch kurzfristig ein Gilchrist-Verband angelegt werden.

Bei Ruhigstellung im Rucksackverband sollte dieser ca. 1- bis 2-mal pro Tag nachgespannt werden. Maßgabe ist hierbei die Toleranz des Patienten. Die Schultern sollten unterpolstert werden, um Druckprobleme zu verhindern. Bei anliegendem Verband ist schon initial eine Bewegung von Schulter und Unterarm möglich. Elevationen des Armes im Schultergelenk >90° sollten jedoch vermieden werden. Der Rucksackverband muss für mindestens 3 Wochen getragen werden. Da zu diesem Zeitpunkt in den meisten Fällen konventionell-radiologisch noch kein Kallus nachweisbar ist, jedoch die meisten Patienten bereits vollkommen beschwerdefrei sind, ist eine radiologische Verlaufskontrolle vor Abnahme des Rucksackverbandes nicht zwingend zu fordern. Die Kallusbildung ist radiologisch oft erst nach 4–6 Wochen und längeren Zeiträumen nachweisbar. Die lange Dauer allein rechtfertigt nicht den Verfahrenswechsel.

> Eine konservative Behandlung empfiehlt sich bis maximal 25° Angulation und bei einer Verkürzung von <2,5 cm bei intakten Weichteilen und ungestörter Perfusion, Sensibilität und Motorik.

Manche Autoren empfehlen bei deutlichen Dislokationen eine Reposition in Bruchspaltanästhesie. Dabei werden die Schultern zurückgezogen, und die Wirbelsäule wird als Widerlager bei der Reposition zur Abstützung benutzt [8]. Die Autoren folgen diesem Konzept aufgrund der Risiken nicht.

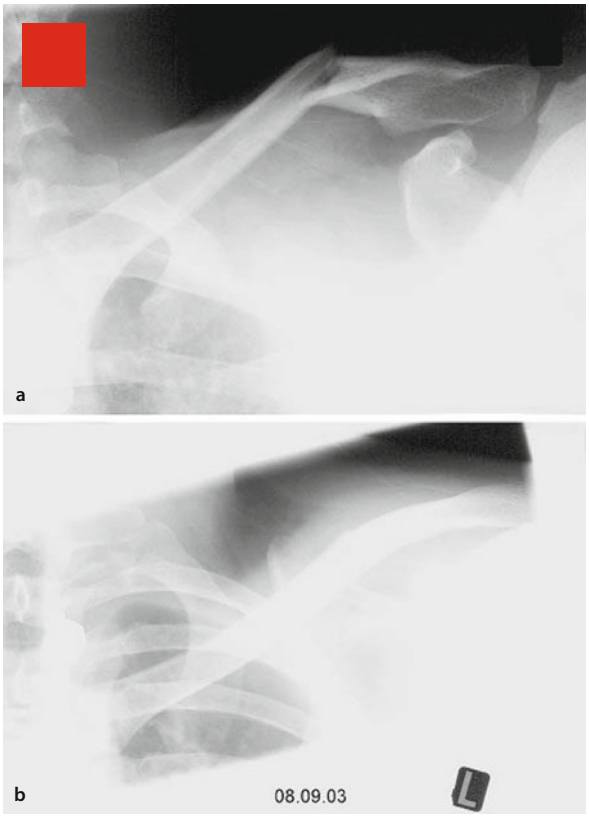


Abb. 20.7. Fraktur der Clavicula im mittleren Schaftdrittel vor (**a**) und nach Reposition (**b**) im Rucksackverband [9]

20.5.2 Zuggurtungsosteosynthese

Bei der Zuggurtungsosteosynthese werden 2 parallele Drähte der Stärke 1,8–2,5 mm transacromial in die Clavicula eingebracht, wobei die Fraktur sicher passiert werden muss. Zusätzlich wird dann eine 8-förmige Cerclage transkortikal eingebracht. Indikationen sind Frakturen im distalen oder proximalen Anteil (Allman II oder III; Abb. 20.8).

20.5.3 Schraubenosteosynthese

Eine weitere Alternative stellt die Bothworth-Technik [10] dar. Hier wird eine Zugschraube durch eine 1/3-Rohr-Platte oder nur mit Unterlegscheibe bis in den Processus coracoideus gesetzt. Geeignet ist die Methode für Brüche im lateralen Anteil oder für ligamentäre Verletzungen. Insgesamt hat sich dieses Verfahren allerdings nicht durchsetzen können.

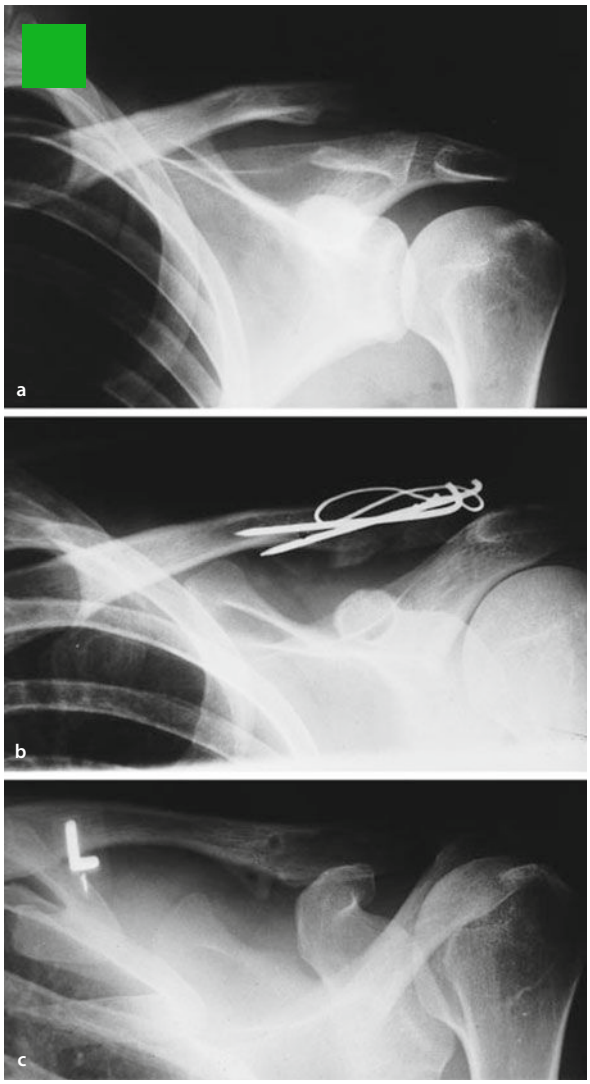


Abb. 20.8. Sturz vom Fahrrad direkt auf die Schulter. a Laterale Clavikulafraktur Typ IIa nach Jäger und Breitner. **b** Versorgung der Fraktur durch extraartikuläre Kirschner-Drahtzuggurtungsosteosynthese. **c** 2 Jahre postoperativ, mit Verkalkung der coracoclaviculären Bänder, Fraktur in korrekter Stellung verheilt [11]

20.5.4 Plattenosteosynthese

Indikationen zur Plattenosteosynthese sind Frakturen im medialen oder lateralen Anteil (Allman I und II).

Zur operativen Versorgung einer Claviculafraktur sollte der Patient in der sog. Beach-chair-Position mit leicht erhöhtem Oberkörper gelagert werden. Vor Operationsbeginn ist hierbei sicherzustellen, dass die Clavicula problemlos mit dem Bildwandler darstellbar ist.

Mediale und laterale Claviculafrakturen werden über den gleichen Zugang versorgt. Als operativer Zugang haben sich zwei Varianten etablieren können. Beim sog. »Säbelhiebzugang« erfolgt der Hautschnitt im rechten Winkel zur Clavicula über der Fraktur, wobei den Hautspaltlinien gefolgt wird. Alternativ wird aber auch häufig der horizontale Zugang im Verlauf der Clavicula gewählt oder modifizierte angedeutet S-förmige Zugänge in Verlaufsrichtung des Knochens. Insbesondere medial sind Verletzungen der Pleura, der Gefäße oder des Plexus brachialis bei falscher Schraubenbohrrichtung möglich.

Implantat der Wahl ist die 3,5-mm-Rekonstruktionsplatte oder die LCDCP. Bei lateralen Brüchen werden verschiedene auf dem Markt erhältliche Hakenplatten angewendet. Bei kleinen lateralen Fragmenten kann auch eine Zuggurtungsosteosynthese erfolgreich sein (▶ Kap. 20.5.2). Bei der Plattenosteosynthese sollten medial und lateral der Fraktur mit jeweils mindestens 3 Corticalisschrauben bicortical fixiert werden. Je weiter medial die Claviculafraktur liegt, desto größer ist die Gefahr einer Verletzung der begleitenden Gefäße durch unkontrollierte Bohrmanöver. Es empfiehlt sich ein zusätzlicher Schutz durch einen stumpfen Haken, der unter der Clavikula eingebracht wird. Die Platte kann von vorn oder oben, selten auch caudal, angelegt werden.

Bei jeder nicht zweifelsfrei zu lokalisierenden starken *Blutung* muss ggf. intraoperativ eine Angiographie durchgeführt werden, um eine konsekutive Revision anzuschließen zu können. Zusätzlich ist die Belüftung der ipsilateralen Lunge zu kontrollieren.

Bei anteriorer Lage der Platte ist das Risiko der Gefäßverletzung verringert. Bei Keilbrüchen sollten durch die Platte gesetzte Zugschrauben den Keil an die beiden Hauptfragmente fixieren.

Bei *Trümmerfrakturen* empfiehlt sich eine »*biologische*«, also *überbrückende Plattenosteosynthese*, sodass das Frakturhämatom nicht tangiert wird. Spongiosaplastiken können bei Defektzonen oder devitalisierten Claviculasegmenten erforderlich werden. Gleiches gilt auch für die Versorgung von nach konservativer Therapie aufgetretenen Pseudarthrosen (Abb. 20.9).

Als Implantat bei lateralen Claviculafrakturen bevorzugen wir sog. *Hakenplatten*, wie z. B. die Balser-Platte oder die AcroPlate®, welche wie die Zuggurtungsosteosynthese auch bei kompletten Schultereckgelenksprengungen (Typ Tossy III) eingesetzt werden [12]. Bei der Verletzung vom Typ Tossy III sind die Ergebnisse konservativer und operativer Therapie vergleichbar bei höheren Komplikationen nach Operation [13]. Daher wird die operative Versorgung nur in Sonderfällen wie bei Über-Kopf-Arbeitern oder -Sportlern empfohlen.

Solche Implantate weisen am lateralen Ende einen rechtwinkligen Haken auf. Er wird unter dem Acromion

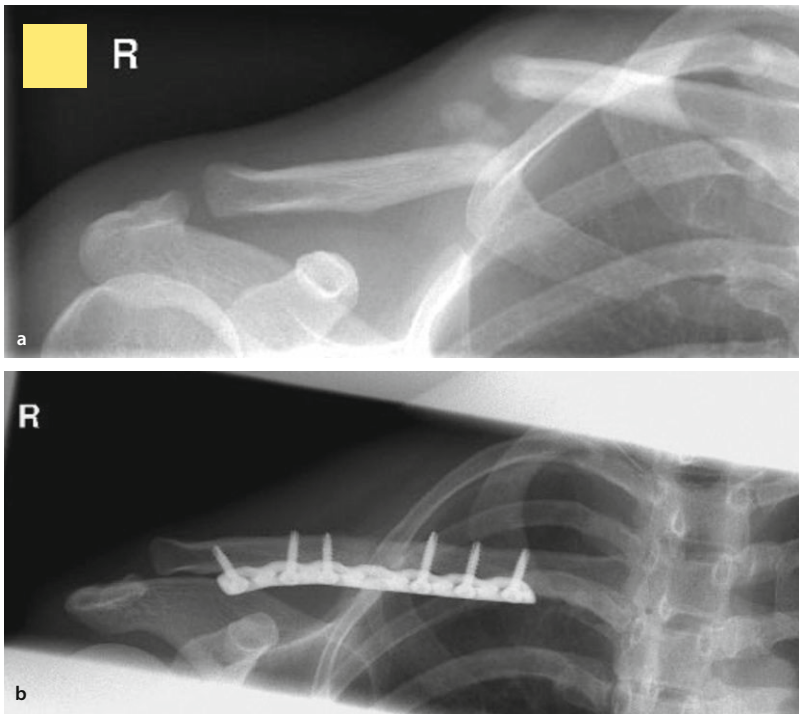


Abb. 20.9. 47 Jahre, weiblich. Verkehrsunfall. Mediale Claviculafraktur rechts Typ Allman I. Initial konservative Therapie. Nach 1 Jahr Vorstellung mit schmerzhafter, klinisch instabiler Pseudarthrose. Versorgung mittels 3,5-mm-LCDC-Platte und Spongiosaplastik. Aufgrund der sehr schlanken Physiognomie der Patientin wurde die Platte von caudal angelegt

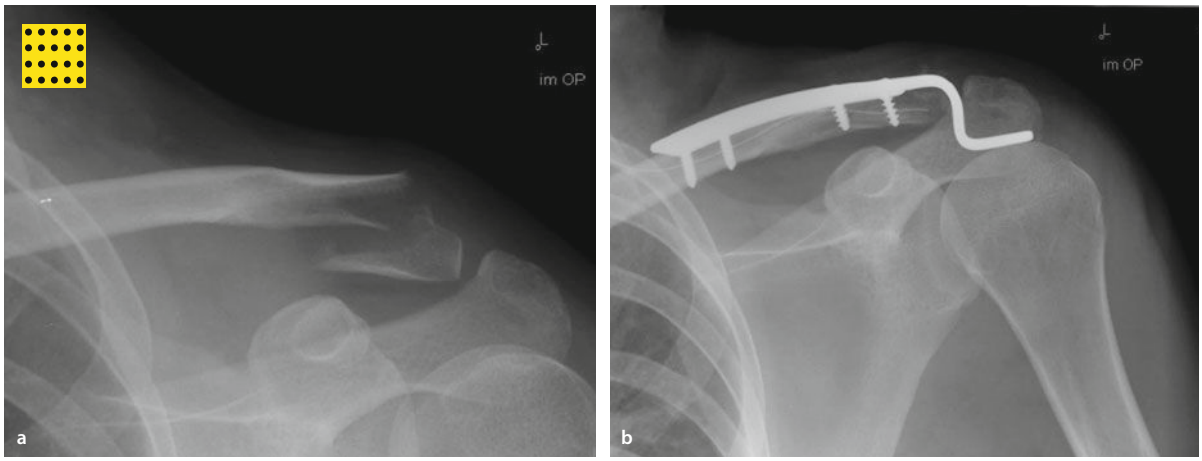


Abb. 20.10. 33 Jahre, männlich. Sturz auf die linke Schulter. Laterale Claviculafraktur Typ Allman II. Versorgung mittels Balser-Hakenplatte. Das laterale Claviculafragment wurde mit einer Schraube gefasst

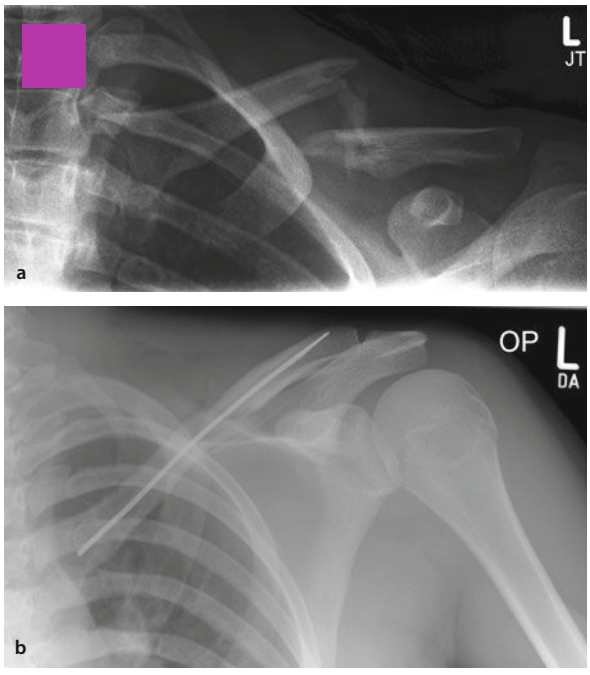
eingehängt und der proximale Plattenanteil konsekutiv auf die Clavicula aufgebracht. Die Platte wird dann mit mindestens 3 Corticalisschrauben fixiert. Abhängig von der Größe eines lateralen Claviculafragments bei lateraler Fraktur sollte versucht werden, dieses auch mit mindestens einer Schraube zu fassen (Abb. 20.10). In den meistens Fällen gelingt dies allerdings nicht, sodass zusätzliche Zugschrauben möglich werden. Nachteil des Verfahrens ist die geringe Stabilität in anteroposteriorer Richtung. Dislokationen nach ventral oder auch nach dorsal in das Acromion sind möglich, aber selten.

Eine Variation ist die Hakenplatte nach Rahmanzadeh. Prinzip ist die breite, plattenförmige Verlängerung des Schaftanteils auf das Acromion, die über ein Kugelge-

lenk mit der Claviculaplatte verbunden ist. Der acromiale Anteil wird über Haken verankert, die lateral um das Acromion herum unter dieses reichen. Nachteil ist hier die mögliche Dislokation beim Abrutschen der Haken, ein Brechen in Höhe des Kugelgelenks bei nicht sachgerechter Bewegung des Arms sowie nicht selten auftretende aseptische Fisteln bei nur spärlicher Weichteildeckung über dem Acromion.

20.5.5 Intramedulläre Schienung

In neuerer Zeit kommen bei medialen Claviculafrakturen zunehmend auch intramedulläre Verfahren zum Einsatz. Hierbei werden z. B. kräftige Kirschner-Drähte oder aber Prévot-Nägel eingesetzt. Es werden verschiedene Verfahren beschrieben. So kann der Nagel entweder von lateral nach medial oder aber von medial nach lateral eingebracht werden. Insbesondere bei Frakturen im mittleren Anteil der Clavicula kann, bedingt durch den geringen Knochenquerschnitt, die Positionierung des Drahtes kompliziert sein. Wir favorisieren den medialen Zugang zur Clavicula. Zum einen werden so unkontrollierte Dislokationen des Drahtes in das Mediastinum mit u. U. schweren Komplikationen vermieden, zum anderen kommt es bei lateralem Zugang oft zu störenden Irritationen der Weichteile (◘ Abb. 20.11).



◘ **Abb. 20.11. 14 Jahre, männlich. Fahrradsturz.** Mehrfragmentfraktur der linken Clavicula Typ Allman I. Versorgung mittels Prévot-Nagel

20.6 Nachbehandlung

Ziel der Behandlung ist die Wiederherstellung der Funktion des Schultergürtels. Ruhigstellungen sollten, wenn überhaupt, nur kurz erfolgen.

Nach operativer Versorgung einer Claviculafraktur kann aus Gründen der Weichteilerholung ein *Gilchrist-Verband* für einige Tage angelegt werden. Danach muss eine *Beübung* des Schultergelenkes sowie der angrenzenden Gelenke erfolgen, beginnend mit Pendelbewegungen in der Schulter. Über-Kopf-Arbeiten und stärkere sportliche Belastungen sollte für 3 Monate nach der Operation vermieden werden.

Wichtig

Alle oben beschriebenen Hakenplatten ermöglichen lediglich eine Elevation bis 90°. Sollte diese Limitierung vom Patienten nicht eingehalten werden, kann es zu Plattenbrüchen; aber auch zum Abrutschen der acromialen Haken oder zum Bruch in Höhe des Kugelgelenks kommen.

Aufgrund der exponierten Lage des Implantates sowie der nicht seltenen mechanischen Komplikationen ist eine *Entfernung* des *Osteosynthesematerials* zu empfehlen. Dies gilt insbesondere für alle Variationen der Hakenplatte bei lateralen Frakturen. Wir empfehlen eine zeitige Entfernung, frühestens jedoch nach 12 Wochen. Auch eine Zuggurtung oder ein Prévot-Nagel kann bei Hautirritation zu diesem Zeitpunkt entfernt werden. Nach Plattenosteosynthese einer medialen Claviculafraktur kann das Osteosynthesematerial nach ca. 1 Jahr entfernt werden. Der Bruchspalt sollte radiologisch nicht mehr nachweisbar sein.

20.7 Sonderformen

»Floating shoulder«. Einen Sonderfall stellt die sog. »floating shoulder« dar. Hierbei liegt eine kombinierte Verletzung mit sowohl Fraktur der Clavicula als auch einer Scapulahalsfraktur und oft auch der ersten Rippen vor. Es handelt sich folglich um eine instabile Situation des Schultergürtels (◘ Abb. 20.12). Es kommt daher zu einer Verkippung der Fraktur am Scapulahals mit Ausbleiben der Konsolidierung. Hier ist durch eine alleinige Osteosynthese der Clavicula in den meisten Fällen eine ausreichende Stabilität im Schultergelenk herzustellen, sodass die Frakturfragmente des Scapulahalses knöchernen Kontakt zur Heilung erhalten.

Kinder. Bei Kindern treten Claviculafrakturen häufiger als bei Erwachsenen auf. Sie stellen die vierthäufigste

Fraktur dar und kommen auch im Rahmen des Geburtstraumas vor. In der Adoleszenz sind Stürze auf die Schulter, z. B. bei sportlichen Aktivitäten, eine häufige Ursache (Abb. 20.11). Aufgrund des ausgeprägten Periostschlauchs sind die Claviculafrakturen bei Kleinkindern oft undisloziert, bei Adoleszenten überwiegen dislozierte Brüche. Die meisten Formen können mit gutem Ergebnis konservativ behandelt werden. Eine Besonderheit stellen die seltenen Frakturen im proximalen Anteil dar (Typ III nach Allman). Oft verläuft die Fraktur durch die Wachstumsfuge.

Die Diagnostik umfasst zur sicheren Erfassung der Situation auch Schichtaufnahmen, vorzugsweise eine MRT oder auch eine CT. Die Behandlung kann meist konservativ durch eine 2- bis 3-wöchige Ruhigstellung je nach Alter erfolgen. Indikationen zur operativen Versorgung stellen Dislokationen dar. Empfohlen werden Zuggurtungsosteosynthesen. Alleinige Kirschner-Drahtversorgungen sind obsolet wegen der hohen Wanderungsgefahr.

Pathologische Frakturen. Bei Osteolysen z. B. im Rahmen eines Plasmozytoms empfiehlt sich bei drohender Instabilität (Corticalisarrosion) die prophylaktische Plattenosteosynthese, ggf. als Verbundosteosynthese.

20.8 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Mehr als 90% aller Claviculafrakturen heilen folgenlos trotz in vielen Fällen beobachteter leichter Verkürzung aus. Diese ist in der Regel funktionell unbedeutend und schmerzlos. Nur in seltenen Ausnahmefällen kommt es zu prolongierten stark schmerzhaften Zuständen mit konsekutiver Bewegungseinschränkung der Schulter. Dies kann bei in deutlicher Verkürzung verheilten Brüchen beobachtet werden. Solche seltene Verläufe bedürfen dann ggf. einer Verlängerungsosteotomie durch Interposition eines autologen corticospongiösen Spans und Plattenosteosynthese wie oben beschrieben [14].

Nach operativer Versorgung kann es vergleichsweise häufig zur Ausbildung einer hypertrophen Narbe kommen. In Abhängig vom Leidensdruck des Patienten ist hier ggf. eine Narbenrevision indiziert. Viele Patienten beklagen durch den oft stark ausgebildeten manschettenartigen Kallus im Bereich des Schlüsselbeines ein kosmetisch ungünstiges Ergebnis. Durch entsprechende Remodelling-Prozesse ist jedoch im Verlauf von etwa 1 Jahr eine Verjüngung des Kallusbereichs möglich.

In ca. 7–20% der Fälle kommt es nach einer Claviculafraktur zur Ausbildung einer Pseudarthrose, klinische

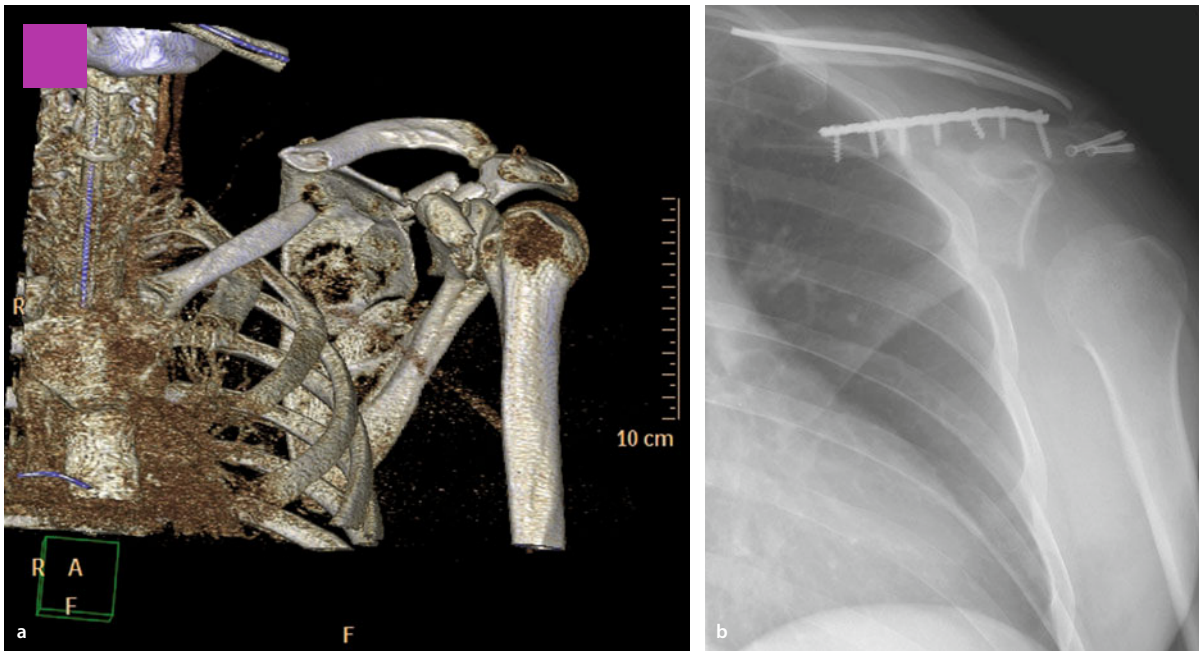


Abb. 20.12. 37 Jahre, männlich. Pfählungsverletzung der linken Schulterregion durch einen Ast im Rahmen eines Verkehrsunfalls. Dabei »floating shoulder« mit Claviculafraktur, Acromionfraktur und Scapulahalsfraktur unter Beteiligung der Spina scapulae. Nach initialer Weichteilsanierung dann Stabilisierung der Schulter: Versorgung der Clavicula mit Prévot-Nagel, Verschraubung des Acromions mit kanülierten 4-mm-Schrauben und Plattenosteosynthese der Scapula (3,5-mm-Reko-Platte). Aufgrund eines unfallbedingten Plexusschadens postoperativ Tiefstand des Humeruskopfes

Beschwerden treten allerdings nur in ca. 1% auf. In diesen Fällen ist eine (erneute) Plattenosteosynthese mit Pseudarthrosenresektion und Spongiosaplastik indiziert. Nach intramedullärer Versorgung wird über nur geringe Pseudarthroseraten und sehr gute funktionelle Ergebnisse berichtet [7].

In seltenen Fällen kann es zu einer Refraktur der Clavicula kommen. Besonders vulnerabel ist hier die Phase kurz nach Entfernung des Osteosynthesematerials, sodass in den ersten Wochen nach Metallentfernung starke körperliche Belastungen des betroffenen Schultergürtels zu vermeiden sind. Abhängig von der Fraktur kann eine konservative Therapie, ggf. jedoch auch eine operative Therapie indiziert sein.

20.9 Begutachtung

Bei guten funktionellen Ergebnissen ist nach ausgeheilter Schlüsselbeinfraktur mit keinem Dauerschaden bzw. einer wirtschaftlich messbaren Minderung der Erwerbsfähigkeit zu rechnen. Bei eindeutig durch die Fraktur bedingten Bewegungseinschränkungen der Schulter ist der Grad der Behinderung/Minderung der Erwerbsfähigkeit (GdB/MdE) dann von der Schulterbeweglichkeit abhängig zu machen. Ein GdB/MdE von 10 ergibt sich aus einer Elevation von <120°, ein GdB/MdE von 20 bei <90°. Entsprechend ist dann nach der Gliedertaxe 1/7, bzw. 2/10 Armwert zu schätzen.

Literatur

1. F. Postacchini, S. Gumina, P. De Santis, F. Albo, Epidemiology of clavicle fractures. J Shoulder Elbow Surg 11: 452–456 (2002)
2. F.L. Allman Jr., Fractures and ligamentous injuries of the clavicle and its articulation. J Bone Joint Surg 49-A: 774–784 (1967)
3. Orthopaedic Trauma Association, Committee for Coding and Classification, Fracture and dislocation compendium. J Orthop Trauma 10: Suppl.1, v-ix (1996)
4. M. Jäger, S. Breitner, Therapiebezogene Klassifikation der lateralen Claviculafraktur. Unfallheilkunde 87: 467–473 (1984)
5. J.D. Tossy, N.C. Mead, H.M. Sigmond, Acromioclavicular separations: useful and practical classification. Clin Orthop & Rel Res 28: 111–119 (1963)
6. C.A. Rockwood, F.A. Matsen, The shoulder, vol I. Saunders, Philadelphia, 1990, pp 422–425
7. A. Jubel, J. Andermahr, G. Schiffer, K.E. Rehm, Die Technik der intramedullären Osteosynthese der Klavikula mit elastischen Titannägeln. Unfallchirurg 105: 511–516 (2002)
8. A. Rüter , O. Trenz, M. Wagner (Hrsg.): Unfallchirurgie, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2003
9. T. Krackhardt, W.Löwe, K.Weise. Anerkannte Indikation zur konservativen Frakturbehandlung. Trauma Berufskrankh 6 [Suppl1]: S62–S65 (2004)
10. B.M. Bothworth, Acromioclavicular separation: New method of repair. Surg Gynecol Obstet 73: 866–871 (1941)
11. M.Krüger-Franke, G. Köhne, B. Rosemeyer, Ergebnisse operativ behandelter lateraler Klavikulafrakturen. Unfallchirurg 103: 538–544 (2000)
12. K. Schmittinger, A. Sikorski, Experiences with the Balser plate in dislocations of the acromioclavicular joint and lateral fractures of the clavicle. Aktuelle Traumatol 13: 190–193 (1983)
13. J.M. Hootman, Acromiclavicular dislocation: conservative or surgical therapy. J Athl Train 39: 10–11 (2004)
14. M. Skutek, R.W. Fremerey, J. Zeichen, U. Bosch, Posttraumatische Verlängerungsosteotomie der verkürzten Klavikula. Operat Orthop Traumatol 14: 215–225 (2002)

21 Scapula

M. Wich, O. Turan

Definition

Bei der Scapulafraktur handelt es sich um Brüche des Schulterblattes und von dessen Fortsätzen, häufig verursacht durch eine massive Gewalteinwirkung. Scapulafrakturen sind grundsätzlich seltene Frakturen, weil das Schulterblatt von kräftiger Muskulatur vor direkter und indirekter Gewalteinwirkung geschützt wird.

Der Anteil der Scapulafrakturen an der Gesamtzahl aller knöchernen Verletzungen beträgt nur 0,4–1% [1]. Bezogen auf alle Schultergürtelverletzungen entfällt auf die Scapulafrakturen ein Anteil von 3–5%. Im Kollektiv polytraumatisierter Patienten steigt die Inzidenz der Scapulafrakturen auf 5–10%. Etwa 2/3 der Frakturen betreffen das Schulterblatt, 1/3 den Scapulahals und 1/4 die Schultergelenkpfanne. Aufgrund mehrfacher Frakturen besteht eine Gesamthäufigkeit von >100% [1].

21.1 Mechanismus

Bei Frakturen der Scapula sind im Regelfall erhebliche Kräfte im Spiel, die bei Unfallereignissen mit hohen kinetischen Energien freigesetzt werden. Dies sind überwiegend Verkehrsunfälle mit dem PKW, welche ca. 90% aller Ursachen der Scapulafrakturen ausmachen, aber auch Zweiradstürze und Absturztraumata [2]. Hierbei kommen ursächlich *direkt einwirkende stumpfe Kräfte*, die eher zu einer Fraktur des Scapulablattes, der Spina und/oder des Acromions führen, sowie indirekte Hebel- und Zugkräfte, etwa bei einer Schulterluxation, mit der Folge einer Pfannen- oder Pfannenhalsfraktur in Frage [1].

Aufgrund des gehäuft kombinierten Auftretens der Scapulafraktur mit *Rippenfrakturen* und *Lungenkontusionen* sowie Traktionsverletzungen des Arms mit Schädigungen des *Plexus brachialis* und der *Armgefäße* werden Scapulafrakturen als sichere Indikatoren für erhebliche Gewalteinwirkungen auf den Oberkörper angesehen. Das Erkennen einer Scapulafraktur muss dazu führen, dass nach den oben genannten Begleitverletzungen gezielt gefahndet wird und diese ausgeschlossen werden [1].

In eher seltenen Fällen werden Scapulafrakturen als Folge generalisierter Krampfanfälle oder von Stromunfällen beobachtet. Hierbei können unkoordinierte Kontraktionen antagonistischer Muskelanteile entstehen, die zu einer Zerreißung der Scapula führen können [1, 3].

21.2 Klinik

Im Vordergrund stehen starke, oft atemabhängige Schmerzen in der Schulter- und seitlichen Brustkorbregion, die durch Verschiebung der Fragmente bei tiefer Inspiration oder bei Bewegungen des Arms verstärkt werden. Es findet sich weiterhin eine schmerzbedingte Bewegungseinschränkung der gleichseitigen Schulter mit *Schonhaltung in Adduktion* (der Arm wird am Körper gehalten, Bewegungen werden vermieden) [1, 2]. Gelegent-

lich liegt eine durch das Frakturhämatom hervorgerufene Funktionshemmung der Mm. supraspinatus, infraspinatus bzw. subscapularis vor, die auch als *Pseudoparalyse* der Rotatorenmanschette bezeichnet wird. Hinzu kommt, dass Scapulafrakturen häufig mit Verletzungen des oberen Thorax kombiniert sind, die die Symptome an der Schulter überdecken können (und vice versa).

Die Inspektion zeigt Zeichen einer Weichteilkontusion im Sinne indirekter *Frakturzeichen* (Hämatom, Ödem, Schwellung, Prellmarke, Schürfung) im Bereich des Schulterblattes, die aufgrund ihres Ausmaßes die sicheren Zeichen einer Fraktur (Fragmentverschieblichkeit, Crepitatio, tastbarer Frakturspalt oder Fehlstellung) überdecken können.

Auch bei Frakturen des Scapulahalses sind sämtliche Bewegungen in der verletzten Schulter sowie seitlicher Druck auf den Humeruskopf, aber auch Zugkräfte, mit massiven Schmerzen verbunden. Ist das Halsfragment mit Glenoid nach caudal abgesunken, so ergibt sich eine Abflachung der Deltoideuswölbung mit einer Stufenbildung unter dem Rand des Acromions. Hierbei kann es zu einer Läsion des N. suprascapularis mit Funktionseinschränkung der Mm. supra- und infraspinatus kommen [1].

Coracoidfrakturen verursachen Spontan- und Druckschmerzen unterhalb des lateralen Calviculaendes, die sich bei aktiver Beugung im Ellbogengelenk verstärken.

Acromionfrakturen führen zu stark schmerzhaften Bewegungseinschränkungen des Schultergelenks mit lokalisierter Schwellung und Druckdolenz. Je nach Lokalisation der Acromionfraktur können Krepitationen und Abflachungen des Schulterreliefs auffallen. Besonders bei Acromion- und dislozierter Coracoid-, aber auch bei Scapulahalsfrakturen können Verletzungen des Plexus bzw. der großen Armgefäße auftreten.

Wichtig

Allein aufgrund der klinisch stark variierenden Symptome ist die Diagnose einer Scapulafraktur schwierig zu stellen und birgt stets die Gefahr der Fehlinterpretation und des Übersehenwerdens (z. B. Frakturen der Rippen 2 und 3 werden erkannt, die Schmerzsymptomatik wird dieser Verletzung zugerechnet, und die Scapulacorpusfraktur wird übersehen).

21.3 Diagnostisches Vorgehen

Die erforderliche Diagnostik besteht zunächst aus einer eingehenden Anamneseerhebung, in der insbesondere dem Unfallmechanismus und der Art und *Richtung der Gewalteinwirkung* besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist.

Im Rahmen der sich daran anschließenden körperlichen Untersuchung sind neben der *Funktionsüberprüfung* der *oberen Extremität* (Beweglichkeit, Innervation und Durchblutung) auch der *Brustkorb* (Thoraxkompressionsschmerz, Auskultation, Perkussion), der cervicothoracale Übergang der *Wirbelsäule* und die Schulter-Nacken-Region (Clavicula, M. trapezius, M. sternocleidomastoideus etc.) eingehend zu untersuchen.

Der erfahrene Untersucher sollte noch eine Ultraschalldiagnostik anschließen, hier können weitere Verletzungszeichen wie Hämatome, Muskelzerreißungen oder Ergussbildungen im Schultergelenks- und Brustkorbbereich erkannt werden.

Als Standardaufnahmen im Rahmen der *konventionellen Röntgendiagnostik* von Scapulafrakturen werden die Traumaserie (»true« a.-p., transscapular und axial; ◘ Abb. 21.1) am sitzenden oder liegenden Patienten durchgeführt [1, 2]. Die Thoraxübersichtsaufnahme a.-p. (mit plattennaher Darstellung der beiden Scapulae) sollte schon bei dem Verdacht auf eine Gewalteinwirkung auf den Brustkorb erfolgen.

Bei Mehrfachverletzten, Polytraumatisierten oder nicht eindeutiger Befundbeurteilung ist die *Spiral-CT-Untersuchung* mit dreidimensionaler Rekonstruktion angezeigt. Damit lassen sich Frakturdetails und die oft komplexe Morphologie genau erfassen.

Die *MRT-Untersuchung* ist wichtig zur Darstellung von begleitenden Rotatorenmanschettenläsionen, Bandverletzungen im Zusammenhang mit der Verletzung des SSSC (»superior scapula suspensory complex«). Zur Darstellung von Rotatorenmanschettenverletzungen hat das MRT große Bedeutung, bei Bandverletzung des SSSC dagegen nur beschränkte Aussagekraft. Der SSSC entspricht der oberen Aufhängung der Schulter und besteht aus 3 Komponenten:

- Clavicula – AC-Gelenk – Acromion,
- Clavicula – coracoclaviculäre-Bänder – Coracoid,
- Spina – Coracoid – Glenoid.

Bedeutung hat das MRT auch beim Verdacht auf Plexus-cervicalis- oder -brachialis-Verletzungen.

Die *Schulterarthroskopie* wird eingesetzt, um eine genauere Beurteilung der intraartikulären Schultergelenkstrukturen zu ermöglichen. In letzter Zeit haben sich auch arthroskopische Behandlungen bei kleineren Glenoidrandfrakturen (knöcherne Bankart-Läsion) durchgesetzt.

Bei einem Incisura-Scapulae-Syndrom (Kompressionssyndrom des N. suprascapularis mit Funktionsbeeinträchtigung der Mm. supra- et infraspinatus) und bei anderen traumatisch bedingten Nervenschädigungen kann die *Elektromyographie* hilfreich sein.

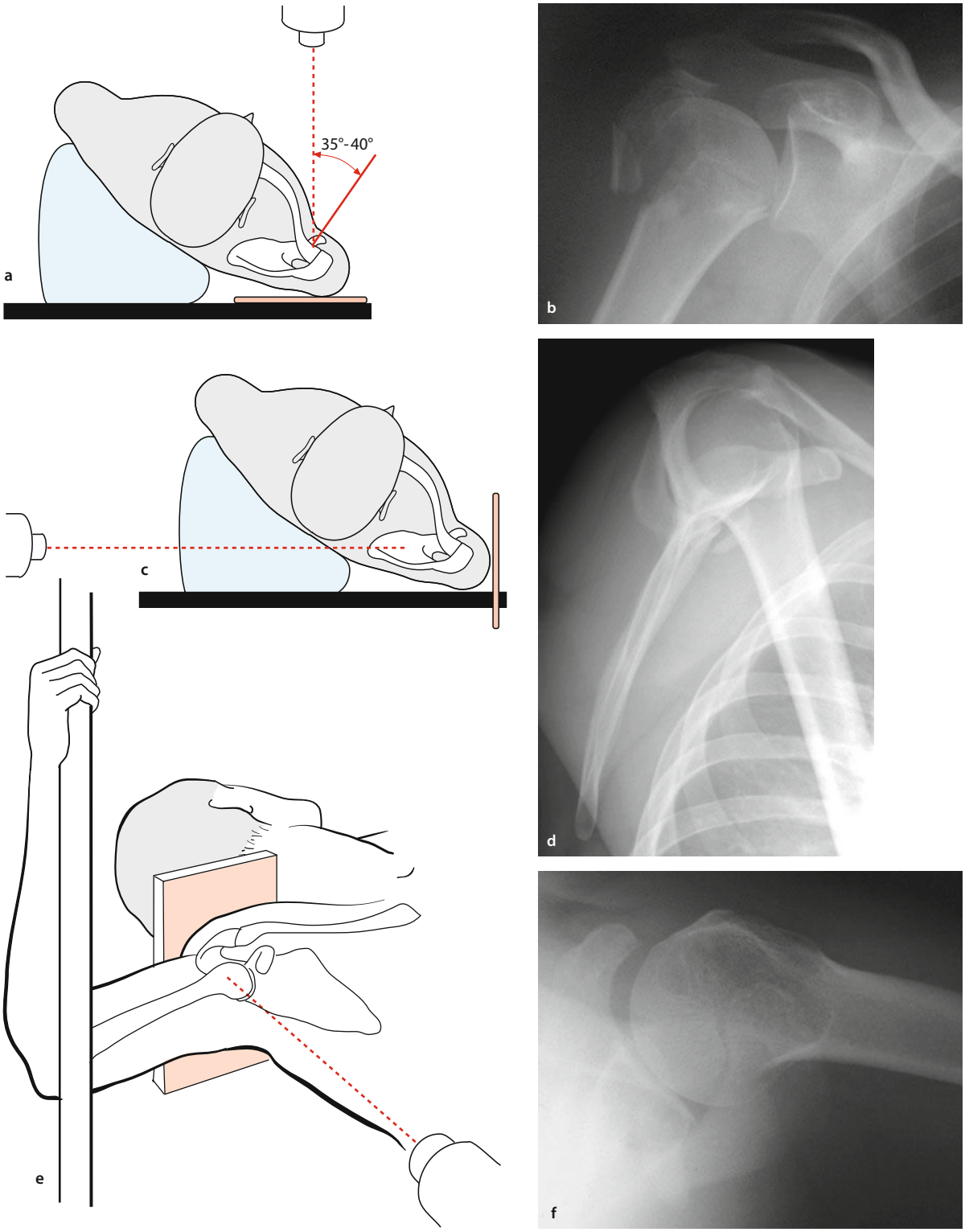


Abb. 21.1. Konventionelle Röntgendiagnostik von Scapulafrakturen (Traumaserie): **a, b** »true« a.-p., **c, d** transscapular, **e, f** axial

21.4 Klassifikation

Scapulafrakturen können zunächst danach eingeordnet werden, ob sie *intra- oder extraartikulär* sind [1–3]. Die Klassifikation der Scapulafrakturen dient darüber hinaus einerseits der morphologischen Beschreibung, andererseits spielt sie v. a. für die Entscheidungsfindung, ob konservativ oder operativ behandelt werden sollte, sowie auch für die Einschätzung des zu erwartenden Heilungserfolges eine Rolle.

21.4.1 Einteilung nach Euler u. Rüedi

Unter den in der Literatur vorhandenen Klassifikationen zur Einteilung von Scapulafrakturen hat sich im internationalen Schrifttum wie auch im klinischen Alltag die Einteilung nach Euler u. Rüedi durchgesetzt. Diese weist 5 Hauptgruppen auf (Abb. 21.2). Es sind dies die Gruppen

- Corpusfrakturen (Typ A),
- Fortsatzfrakturen (Spina, Coracoid und Acromion; Typ B),
- Pfannenhalsfrakturen (Typ C),
- Gelenk/-Glenoidfrakturen (Typ D)
- und die seltenen Kombinationsfrakturen einer Scapulafraktur mit einer Humeruskopffraktur (Typ E) [4].

Die Klassifikation der *Orthopaedic Trauma Association (OTA)* (Abb. 21.3a–f) [5] orientiert sich in ihrem Aufbau an der AO-Klassifikation und erscheint logisch strukturiert. Dennoch lassen sich damit bestimmte Scapulafrakturen nicht eindeutig zuordnen, und sie lässt die Übersichtlichkeit der Euler-Ruedi-Einteilung vermissen. Dies ist sicher auch ein wesentlicher Grund dafür, dass die AO noch keine eigene Klassifikation für die Scapulafrakturen vorgelegt hat.

Die 3 Gruppen A–C nach Euler u. Ruedi beschreiben *extraartikuläre Frakturen* (Abb. 21.4; Abb. 21.5) und

A	Corpusfraktur		Scapulablatt, einfach oder mehrfragmentär		
B	Fortsatzfrakturen	B1	Spina		
		B2	Coracoid		
		B3	Acromion		
C	Collumfraktur	C1	Collum anatomicum		
		C2	Collum chirurgicum		
		C3	Collum chirurgicum mit	a	Claviculafraktur
				b	Ruptur der Ligg. acromioclaviculare und coracoacromiale
D	Gelenkfrakturen	D1	Pfannenrandabbrüche		
		D2	Fossa-glenoidales-Frakturen	a	mit unterem Pfannenrandfragment
				b	mit horizontaler Scapulaabspaltung
				c	mit coracoglenoidaler Blockbildung
				d	Trümmerfraktur
		D3	Kombinationsfraktur mit Collum- bzw. Corpusfrakturen		
E	Kombination mit Humeruskopffraktur				

Abb. 21.2. Einteilung der Scapulafrakturen nach Euler u. Rüedi [4]

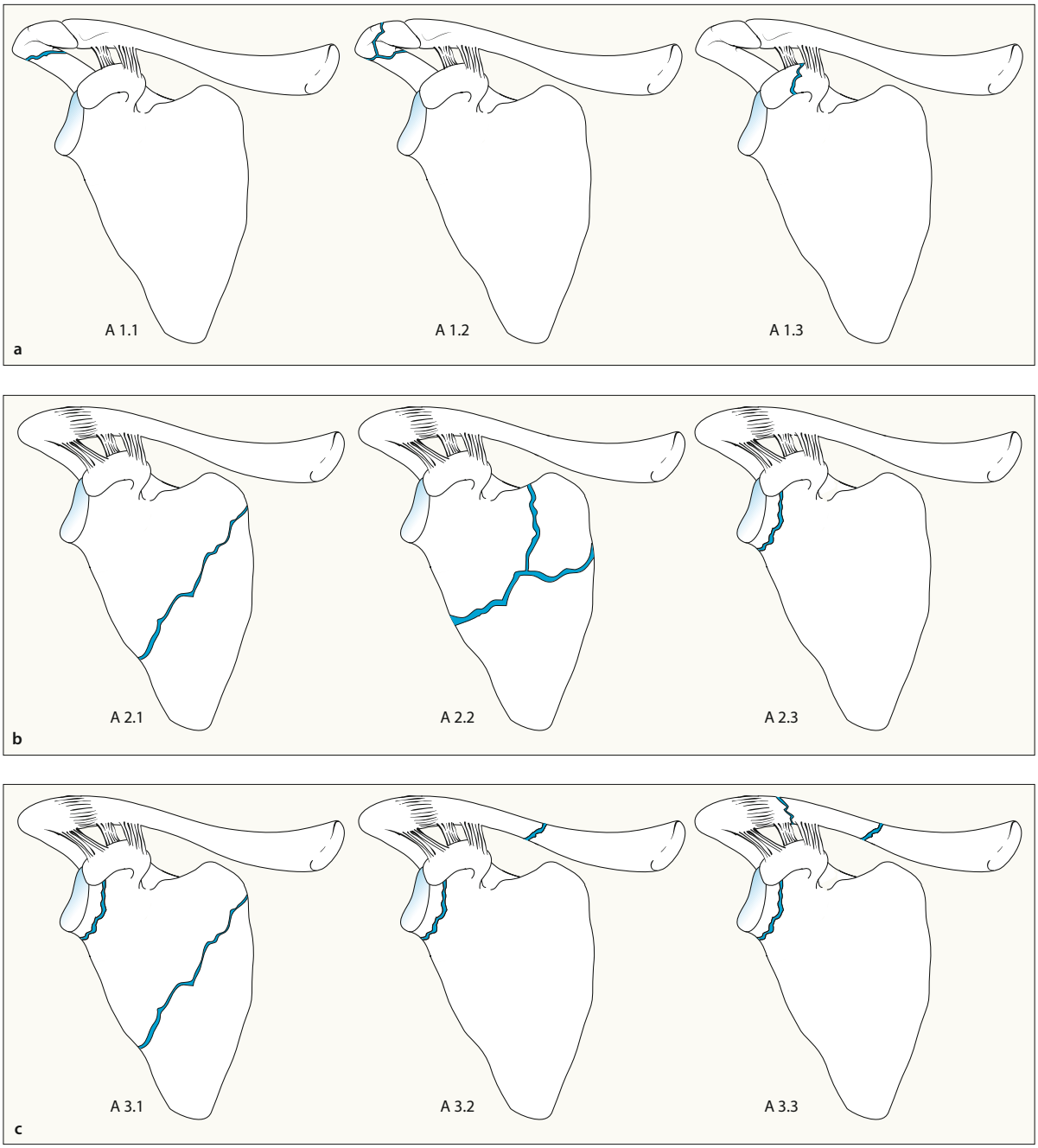


Abb. 21.3. OTA-**Klassifikation der Scapula** [5]
a Extraartikuläre Frakturen durch die Processus
A1.1: Acromion einfach
A1.2: Acromion mehrfach
A1.3: Processus coracoideus
b Extraartikuläre Frakturen des Corpus
A2.1: Corpus einfach
A2.2: Corpus mehrfach
A2.3: Scapulahals
c Komplexe extraartikuläre Frakturen
A3.1: Scapulahals und -corpus
A3.2: Scapulahals und einfache Claviculafraktur (»floating shoulder«)
A3.3: Scapulahals und komplexe Claviculafraktur (»floating shoulder«)

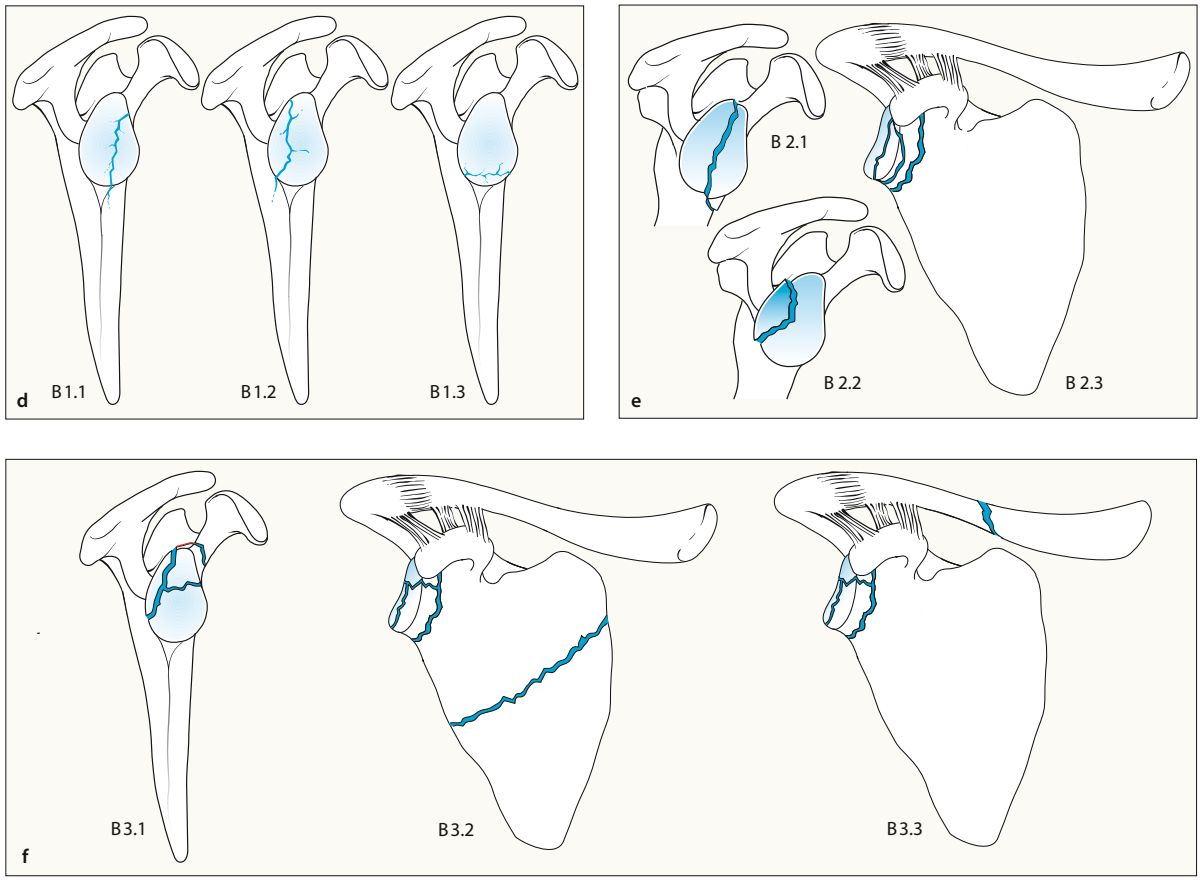


Abb. 21.3. *Fortsetzung*
d Impaktierte, stabile Glenoidrandfrakturen
B1.1: Anteriorer Rand
B1.2: Posteriorer Rand
B1.3: Inferiorer Rand
e Nicht impaktierte Glenoidfrakturen
B2.1: Vorderer Rand
B2.2: Hinterer Rand
B2.3: Vorderer oder hinterer Rand mit Scapulahalsfraktur
f Komplexe intraartikuläre Frakturen [5]
B3.1: Glenoid mehrfragmentär
B3.2: Glenoid mehrfragmentär mit Scapulahals oder -corpus
B3.3: Glenoid mehrfragmentär mit Clavicula (»floating shoulder«)

beziehen sich auf die Lokalisationen des Scapulablattes (*Typ A*), der knöchernen Fortsätze (*Typ B*) und des Pfannenhalses (*Typ C*) mit den in Abb. 21.2 genannten Untergruppen. Nicht dislozierte Frakturen werden aufgrund des stabilen Muskelmantels nach kurzer Ruhigstellung rasch funktionell behandelt.

Wichtig

Eine operative Indikation ist gegeben bei Dislokation eines Muskelansatzes Typ B, einer Dislokation des Glenoids >1 cm oder >30° Kippung, bei Vorliegen einer »floating shoulder« Typ C3a/C3b sowie bei Pfannenrandabbrüchen und Vorliegen einer Stufe im Glenoid.

Die Frakturen des Pfannenhalses werden dabei in die seltenen Frakturen im Collum anatomicum (C1, lateral der Coracoidbasis; Abb. 21.5a, b) und die häufigeren Frakturen im Collum chiurgicum (C2, medial der Coracoidbasis durch die Incisura scapulae; Abb. 21.5c, d) unterteilt. Letztere werden weiter in die Typen C3a/b unterschieden, falls eine zusätzliche Verletzung der coracoclaviculären Aufhängung der Scapula vorliegt (»*floating shoulder*«, Abb. 21.5c, d, untere Reihe). Diese kann aus einer zusätzlichen Fraktur der Clavicula bestehen (C3a Abb. 21.5c) oder aus einem Abriss der coracoclaviculären bzw. coracoacromialen Bänder (C3b, Abb. 21.5d). In beiden Fällen ist das laterale Fragment der Scapula, der sog. »coracoglenoidale Block«, von allen Strukturen getrennt, die ihn in seiner Position halten, sodass dieser Frakturtyp als instabil anzusehen ist [1, 3].

Intraartikuläre Frakturen werden unter *Typ-D*-Frakturen zusammengefasst. Dabei werden Bankart-Frakturen (D1) von »echten« Glenoidfrakturen (D2) unterschieden.

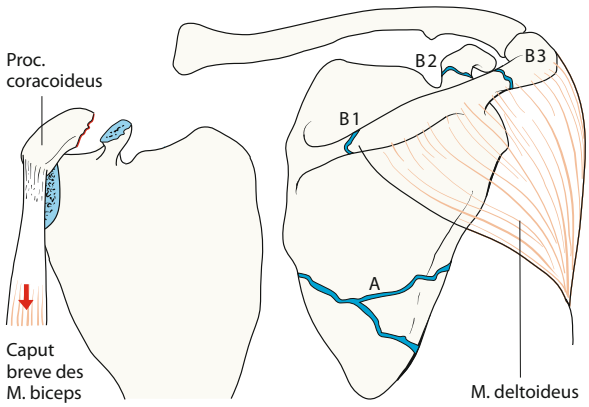


Abb. 21.4. Extraartikuläre Scapulafrakturen
Typ A: Korpusfrakturen
Typ B1: Brüche der Spina
Typ B2: Processus-coracoideus-Frakturen
Typ B3: Brüche des Acromions

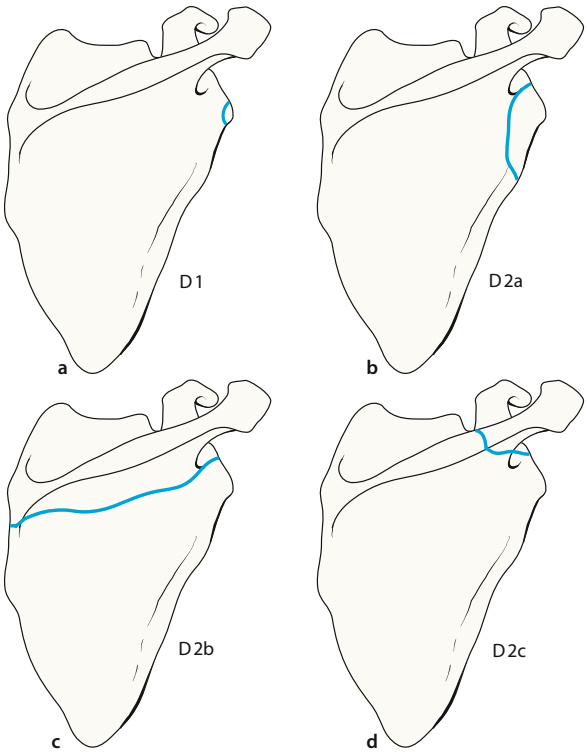


Abb. 21.6. Einteilung der Brüche der Fossa glenoidalis nach Euler u. Rüedi [4]
a D1: Pfannenrandabbruch
b D2a: Mit unterem Pfannenrandfragment
c D2b: Mit horizontalem Scapulaspalt
d D2c: mit coracoidaler Blockbildung

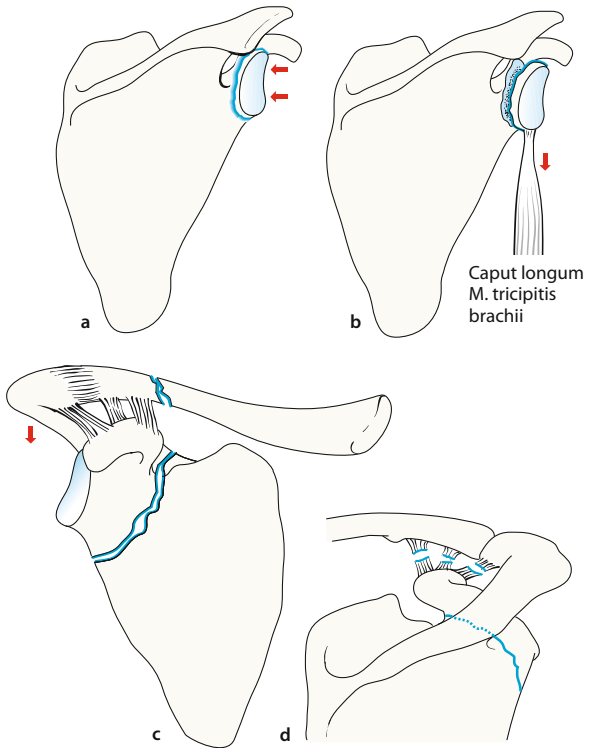


Abb. 21.5. Frakturen des Scapulahalses
a, b C1-Frakturen: Bruchlinie im Collum anatomicum lateral der Coracoidbasis
a Impaktiert stabil
b Nicht impaktiert, durch Zug des langen Tricepskopfs instabil (selten)
c, d C2-Frakturen des Collum chiurgicum (medial der Coracoidbasis durch die Incisura scapulae, häufig). Bei zusätzlicher Verletzung der coracoclaviculären Aufhängung der Scapula (»**floating shoulder**«) werden Brüche der Gruppe C3 zugeordnet
c C3a: Zusätzliche Fraktur der Clavicula
d C3b: Abriss der coracoclaviculären bzw. coracoacromialen Bänder

Hier erfolgt eine weitere Unterteilung
- mit unterem Pfannenfragment (D2a),
- mit horizontaler Scapulaspaltung (D2b),
- mit coracoglenoidaler Blockbildung (D2c) und
- als Trümmerfraktur der Fossa glenoidalis (Abb. 21.6).

Unter Typ *E-Frakturen* werden *Kombinationsfrakturen* mit zusätzlicher Fraktur des Caput humeri zusammengefasst. Sie entstehen meist bei massiver Gewalteinwirkung auf den Humeruskopf, die entweder nach vorn oder nach hinten gerichtet ist.

21.4.2 Beispiele weiterer Klassifikationen

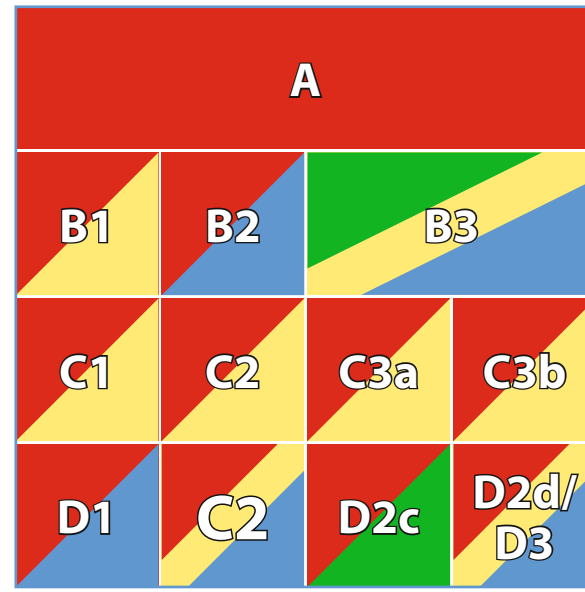
Klassifikation der Orthopaedic Trauma Association [5]

Die Einteilung erfolgt in Anlehnung an die AO-Gliederung.

913

Frakturen Typ A. Diese bezeichnen extraartikuläre Verläufe. A1-Frakturen stellen Verläufe durch die Processus dar (A1.1 Acromion einfach, A1.2 Acromion mehrfach, A1.3 Bruch des Processus coracoideus; ◘ Abb. 21.3a). A2-Frakturen sind im Corpus lokalisiert (A2.1 einfache Corpusfraktur, A2.2 multifragmentäre Corpusfraktur, A2.3 Scapulahals; ◘ Abb. 213b). A3-Frakturen stellen komplexe extraartikuläre Bruchformen dar (A3.1 Scapulahals und -corpus, A3.2 Scapulahals und einfache Calviculafraktur als eine Form der »floating shoulder«, A3.3 Scapulahals und komplexe Calviculafraktur als weitere Form der floating shoulder; ◘ Abb. 21.c).

Frakturen Typ B. Diese stellen Glenoidfrakturen dar. B1-Brüche sind impaktierte Brüche (B1.1 anteriorer Rand, B1.2 posteriorer Rand, B1.3 inferiorer Rand; ◘ Abb. 21.3d), die als stabil zu bewerten sind und damit konservativ behandelt werden. B2-Verletzungen stellen einfache nicht impaktierte intraartikuläre Glenoidfrakturen dar (B2.1 instabiler Bruch des vorderen Randes – Bankart Fraktur, B2.2 instabiler Bruch der hinteren Randes, B2.3 anteriorer oder posteriorer Rand mit Scapulahalsfraktur; ◘ Abb. 21.3e). Bei entsprechender Fragmentgröße und -dislokation sollte hier operiert werden. B3-Frakturen sind komplexe intraartikuläre Frakturen (B3.1 mehrfach glenoidal, B3.2 mehrfach glenoidal mit Scapulahals- und/oder Corpusfraktur, B3.3 mehrfach glenoidal mit Claviculafraktur; ◘ Abb. 21.3f).



◘ **Abb. 21.7. Therapieoptionen der Scapulafrakturen; Einteilung nach Euler u Ruedi A–D.** E entfällt, da sich die Angaben nur auf die Therapie der Scapula beziehen. Zur Behandlung der Humeruskopffraktur ▶ Kap. 2 *(Empfehlung der gängigsten Verfahren, Abweichungen sind möglich)*
- Konservativ
- Schraubenosteosynthese
- Plattenosteosynthese
- Zuggurtungsosteosynthese

21.5 Therapeutisches Vorgehen

Eine schematische Darstellung der Therapieoptionen bei Scapulafrakturen zeigt ◘ Abb. 21.7.

Ziele der Therapie sind wie bei anderen gelenknahen Brüchen die Wiederherstellung der Gelenkmechanik, die Rekonstruktion der Gelenkfläche und die suffiziente Retention des Repositionsergebnisses. Dazu müssen größere Stufen in der Gelenkfläche, wenn sie durch instabile Fragmente verursacht werden, beseitigt werden, um eine präarthrotische Deformität zu verhindern. Instabilitäten im Sinne einer »floating shoulder« sind durch operative Therapie mindestens eines Bruchs zu stabilisieren. Diese Prinzipien sind bei zunehmenden Anforderungen im Berufsleben an eine volle Belastbarkeit des Schultergelenks und des Arms von entscheidender Bedeutung.

21.5.1 Konservative Therapie

Bei der konservativen Therapie der Scapulafraktur wird stets eine möglichst frühzeitig einsetzende funktionelle Behandlung angestrebt. *Nicht dislozierte Frakturen* der Scapula können aufgrund der breitflächigen Ansätze des Muskelmantels nach kurzer Ruhigstellung von bis zu 5 Tagen in einem Gilchrist-, Desault- oder Velpeau-Verband meist funktionell behandelt werden. Darüber hinaus wird der Knochen durch die Muskelansätze optimal arteriell versorgt, sodass eine rasche knöcherne Heilung die Regel ist.

Bei den *Corpusfrakturen* kommt nahezu ausschließlich ein konservatives Vorgehen zur Anwendung, nur bei offenen Frakturen oder drohender Hautdurchspießung muss von dieser Regel abgewichen werden. Je peripherer die Fraktur lokalisiert ist, desto ungünstiger sind die anatomischen Voraussetzungen. Die umgebende Muskulatur ist weniger ausgeprägt und die optimalen Bedingungen der Frakturheilung vermindert, das Dislokationsrisiko steigt. Pfannenhalsbrüche werden bei fehlender oder geringer Dislokation sowie bei Nichtbeteiligung der coracoacromialen Bänder und der Clavicula ebenso konservativ behandelt. Fortsatzfrakturen, Kombinationsfrakturen wie auch Gelenkfrakturen können bei fehlender Dislokation nichtoperativ behandelt werden.

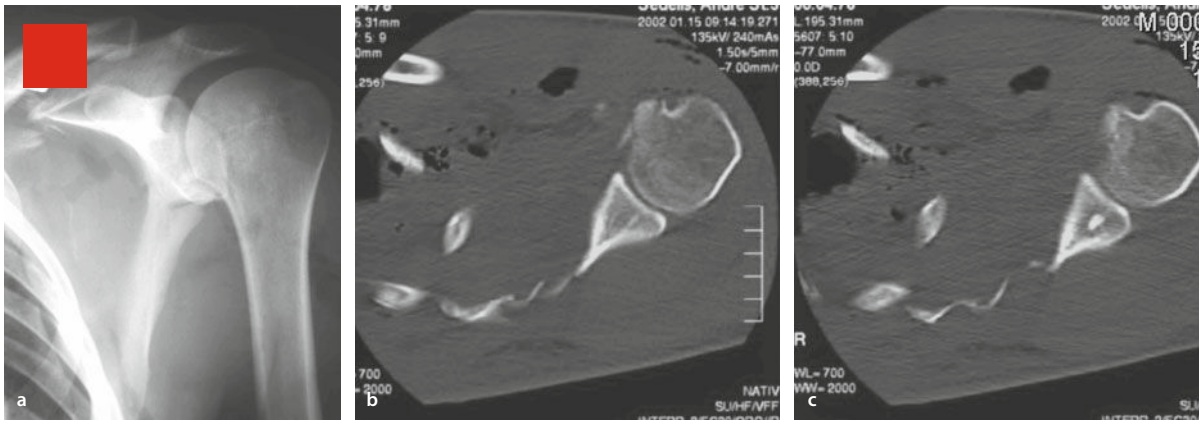


Abb. 21.8. 28 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Mehrfachverletzung, Corpus-scapulae-Fraktur Typ A nach Euler u. Ruedi, Typ A2.2 nach AO-adaptierter Einteilung der OTA. Zusätzliche AC-Gelenksprengung Typ Tossy I, Hautemphysem bei Rippenserienfraktur und Pneumothorax. **a** a.-p. Röntgenaufnahme der Schulter, **b, c** axiale CT-Schnitte. Konservative frühfunktionelle Behandlung aus dem Gilchrist-Verband heraus, Beginn nach 3–5 Tagen

21.5.2 Operative Therapie

Frakturen des Corpus scapulae (Typ-A-Frakturen nach Euler u. Rüedi, Typ A.2 nach OTA)

Frakturen des Schulterblattes (Corpus scapulae) werden nur in den extrem seltenen Fällen einer *starken Dislokation* mit *drohender Perforation* der Haut (oder den noch seteneren Fällen einer offenen Fraktur) mittels Zugschrauben- und/oder *Kleinfragmentplattenosteosynthese* versorgt.

Nur der knöcherne Rahmen (die Randstruktur des Schulterblattes) weist genügend Substanz für die Aufnahme von Osteosynthesematerial auf. Dies ist bei der Lage des Osteosynthesematerials zu berücksichtigen.

Als Implantate haben sich in diesen seltenen Fällen Minifragmentsysteme mit 2–2,7 mm starken Schrauben bewährt. Das Zentrum des Corpus scapulae weist oftmals nur eine Dicke von 2 oder 3 mm auf.

Fortsatzfrakturen (Typ B nach Euler u. Rüedi, Typ A1 nach [5])

Frakturen der *Spina scapulae* (Typ B1 nach Euler u. Rüedi) werden bei signifikanter Dislokation operativ mit interfragmentären Schrauben und/oder Miniplattenosteosynthese versorgt, um eine funktionelle Einschränkung bzw. eine Pseudarthrose zu vermeiden.

Coracoidfrakturen (Typ B2 nach Euler u. Rüedi, A1.3 nach OTA) können zentral oder peripher der coracoclaviculären Bandverbindungen auftreten. Bei den häufigen *zentralen Coracoidfrakturen* bleibt diese Bandverbindung meistens intakt, und das Coracoid folgt der aufsteigenden Clavicula bei einer gleichzeitigen AC-Gelenksprengung oder lateralen Claviculafraktur. Dieser Frakturtyp ist *instabil*, sodass neben der Coracoidosteosynthese (*Zugschraube*) eine Rekonstruktion der Claviculafraktur notwendig wird. Periphere Coracoidfrakturen werden ebenfalls mittels Zugschraubenosteosynthese stabilisiert, wenn die Coracoidspitze dem Zug der coracobrachialen Muskulatur nach unten folgt, wodurch die Entstehung einer Pseudarthrose begünstigt wird. Bei zerborstenen Fragmenten dieses Typs kann im Einzelfall auch eine Reinsertion des knöchern abgerissenen Muskelansatzes mit modernen *Ankertechniken* erfolgen.

Acromionfrakturen (Typ B3 nach Euler u. Rüedi, A1.1 und A1.2 nach OTA [5]) können durch Zug des M. deltoideus nach unten dislozieren. Hier kann es zu einem Impingement der Rotatorenmanschette kommen. Da der M. deltoideus dabei einen Teil seines Ansatzes einbüßt, besteht die Gefahr einer mechanischen Insuffizienz des M. deltoideus. Die operative Therapie besteht in einer Platten-, Zugschrauben- oder Zuggurtungsosteosynthese (Abb. 21.9).

Pfannenhalsfrakturen (Typ C, Typ A2.3. und A3 nach OTA)

Hier wird zwischen Frakturen des Collum anatomicum und des Collum chirurgicum unterschieden. In beiden Fällen sind *Dislokationen >1 cm (Medialisierung)* oder *Kippungen von >30°* und *Instabilität* als Operationsindikatoren anzusehen, weil bei konservativem Vorgehen in diesen Fällen die funktionellen Ausheilungsergebnisse deutlich schlechter sind.

913

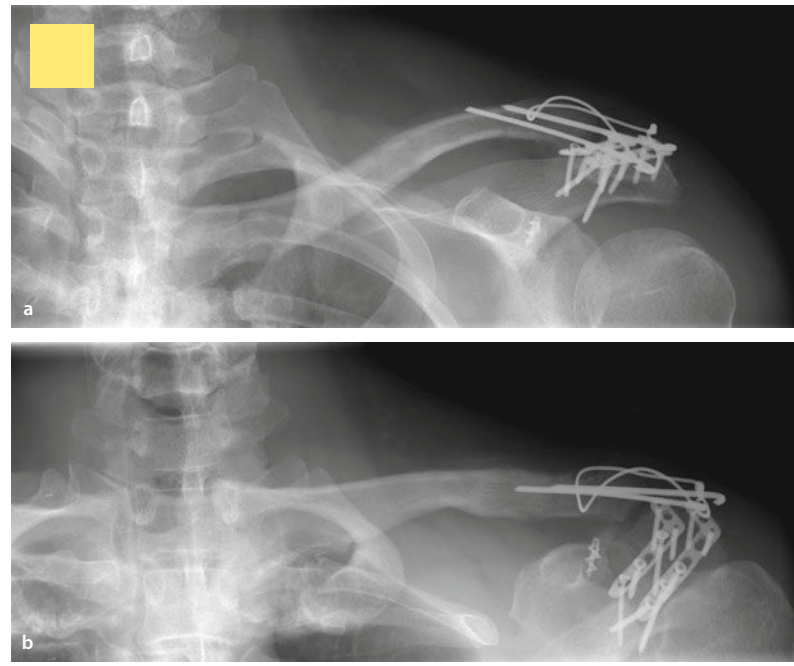


Abb. 21.9. Sprengung des Acromioclaviculargelenkes mit begleitender Acromionfraktur (Darstellung in 2 Ebenen). Versorgung der Gelenkluxation mit Zuggurtungsosteosynthese, Stabilisierung der Acromionfraktur mit Doppelplattenosteosynthese

Bei der Fraktur in Höhe des *anatomischen Scapulahalses* ist ein operativer Eingriff indiziert, wenn die Fraktur nicht eingestaucht ist und der lange Kopf des M. triceps brachii das laterale Fragment nach distal zieht und nach lateral abkippt. Die Stabilisation erfolgt über einen dorsalen Zugang mit Zugschrauben oder einer Plattenosteosynthese.

Eine Fraktur des *Collum chirurgicum* kann mit einer starken Dislokation des lateralen Scapulawinkels einhergehen. Bei Fehlstellung des Glenoids ist eine Plattenosteosynthese über einen dorsalen Zugang durchzuführen. Eine etwaige Einklemmung des N. suprascapularis (Incisura-scapulae-Syndrom) ist über einen superioren Zugang (entlang der Spina scapulae) zu entlasten.

Bei einer Kombinationsverletzung des chirurgischen Halses und der Clavicula *(»floating shoulder«)* bei intakter coracoclaviculärer Bandaufhängung kann die Osteosynthese des Schlüsselbeins (Abb. 21.10) auseichend sein, wenn keine relevante Verschiebung der Stellung der Schulterpfanne vorliegt [1–3]. Sind die Bänder aber zerrissen oder besteht eine Fehlstellung des Glenoids, wird die Versorgung der Scapula über einen hinteren Zugang empfohlen [1, 2].

Intraartikuläre Frakturen (Typ D nach Euler u. Rüedi, Typ B nach OTA)

Vordere und/oder untere Pfannenrandfrakturen (*Bankart-Frakturen*, D1 nach Euler u. Rüedi; B1.1, B1.3 und B2.1 nach OTA) treten als typische Folge einer traumatischen Schulterluxation auf. Aufgrund der zu erwartenden *Instabilität* wird die Indikation zur Operation mittels 1 oder 2 Minifragmentzugschrauben großzügig gestellt. Hierbei wird über einen vorderen Zugang das Fragment mit anhängendem Labrum und den Kapselstrukturen refixiert. Kleinere knöcherne Fragmente werden heute zuverlässig mit einer rein arthroskopischen Ankertechnik am vorderen Pfannenrand reinseriert. Intraartikuläre Frakturen, die eine Stufenbildung von >2 mm aufweisen, sollten operativ versorgt werden.

Bei inferioren intraartikulären Frakturen (Typ D2a nach Euler u. Rüedi) wird unter direkter oder arthroskopischer Sicht und über einen dorsalen, lateralen oder ventralen Zugang die Reposition vorgenommen (je nachdem, wie die Frakturlinie im präoperativen CT verläuft). Die Stabilisierung erfolgt mit Zug- oder Minifragmentschrauben.

Eine Glenoidquerfraktur (D2b) wird am besten über einen dorsalen oder lateralen Zugang erreicht, reponiert und mittels Zugschrauben und/oder Minifragmentplatte stabilisiert (Abb. 21.11, 21.12). Eine Fraktur des superoanterioren Glenoidquadranten (D2c) wird über einen direkten anterioren Zugang mit 1 oder 2 Zugschrauben stabilisiert.

Zugänge, Operationstechnik

Die Scapula kann über *4 Standardzugänge* von anterior, posterior, lateral und superior operativ versorgt werden [6].



Abb. 21.10. 45 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Mehrfachverletzung, u. a. »floating shoulder« bei Scapulafraktur und Claviculafraktur (Typ C3a nach Euler u. Rüedi, B3.3 nach OTA) und zusätzlicher Glenoidfraktur in Höhe der Fossa glenoidalis (Typ D2 nach Euler u. Rüedi, B2.2 nach OTA). **a** Röntgenaufnahme a.-p. der Schulter. **b** CT-Schnitt in Höhe des Glenoids. **c–e** Operative Versorgung mit Verplattung der Clavicula und des Scapulahalses, Zugschraubenosteosynthese der Glenoidfraktur über dorsalen Zugang [Schulteraufnahme axial (**c**) und a.-p. (**d**), axiale CT-Schicht mit korrekter Reposition (**e**)]

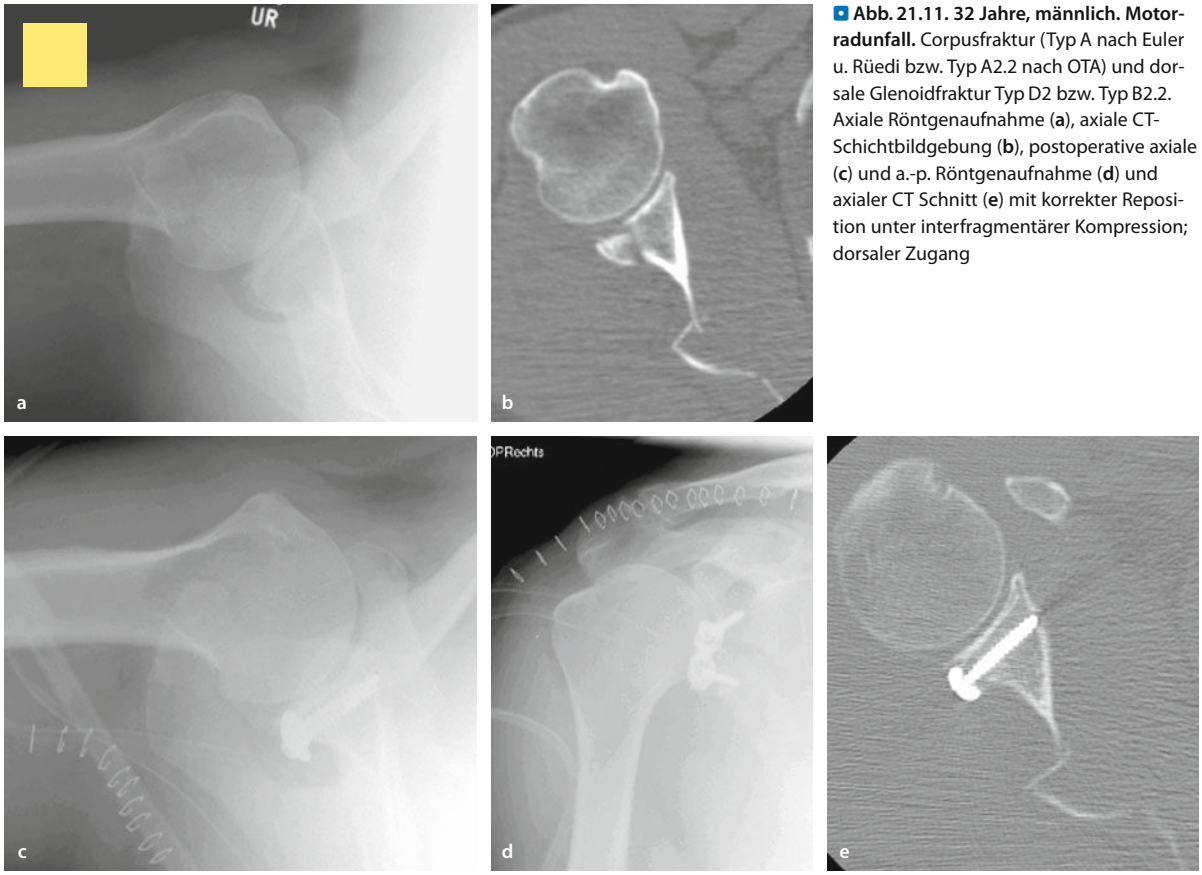


Abb. 21.11. 32 Jahre, männlich. Motorradunfall. Corpusfraktur (Typ A nach Euler u. Rüedi bzw. Typ A2.2 nach OTA) und dorsale Glenoidfraktur Typ D2 bzw. Typ B2.2. Axiale Röntgenaufnahme (**a**), axiale CT-Schichtbildgebung (**b**), postoperative axiale (**c**) und a.-p. Röntgenaufnahme (**d**) und axialer CT Schnitt (**e**) mit korrekter Reposition unter interfragmentärer Kompression; dorsaler Zugang

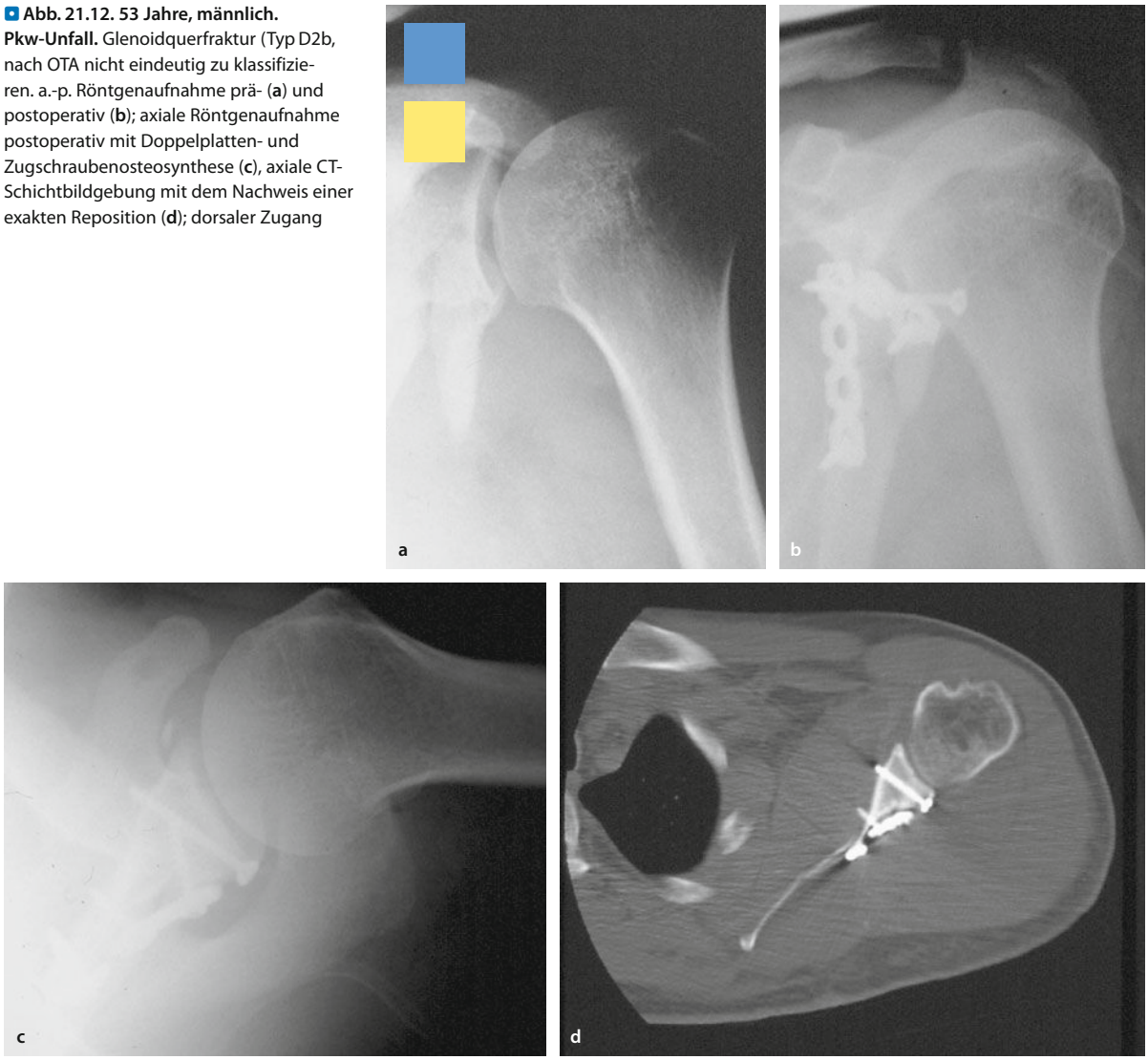


Abb. 21.12. 53 Jahre, männlich. Pkw-Unfall. Glenoidquerfraktur (Typ D2b, nach OTA nicht eindeutig zu klassifizieren. a.-p. Röntgenaufnahme prä- (**a**) und postoperativ (**b**); axiale Röntgenaufnahme postoperativ mit Doppelplatten- und Zugschraubenosteosynthese (**c**), axiale CT-Schichtbildgebung mit dem Nachweis einer exakten Reposition (**d**); dorsaler Zugang

Anteriorer Zugang. Dieser Zugang wird bei Frakturen des vorderen und vorderen/unteren Pfannenrandes, der Bankart-Operation sowie bei Coracoid- und den sehr seltenen D2c-Frakturen (zusammenhängendes coracoglenoidales Fragment) gewählt. Die Inzision wird im Sulcus deltoideopectoralis vorgenommen und die Sehne des M. subscapularis ansatznah durchtrennt.

Dorsaler Zugang. Der dorsale Zugang (Abb. 21.13) wird bei Frakturen des Scapulahalses, (anatomisch und chirurgisch) des Margo lateralis und bei dorsalen Frakturen der Fossa glenoidalis bevorzugt. Hierbei wird die Haut bogenförmig vom Acromion über die Spina scapulae zum unteren Winkel hin inzidiert. Die Dissektion wird zwischen dem M. infraspinatus und dem M. teres minor fortgesetzt, wobei der N. suprascapularis und die beteiligten Gefäße geschont werden müssen. In einigen Fällen ist dabei die Durchtrennung der Sehne des M. infraspinatus (mit anschließender Naht derselben) erforderlich.

Lateraler Zugang. Beim lateralen Zugang wird die Margo lateralis scapulae erreicht. Nach kranial hin kann unter Schonung des N. axillaris der hintere Recessus axillaris eröffnet und der untere Teil der Gelenkpfanne eingesehen werden.

Superiorer Zugang. Über diesen Zugang ist die vordere und hintere Pfanne zu erreichen. Der Zugang verläuft zwischen der Clavicula und der Spina scapulae.

Schulterarthroskopie. Hier haben sich 2 primäre Standardports bewährt. Die Optik wird über einen dorsalen

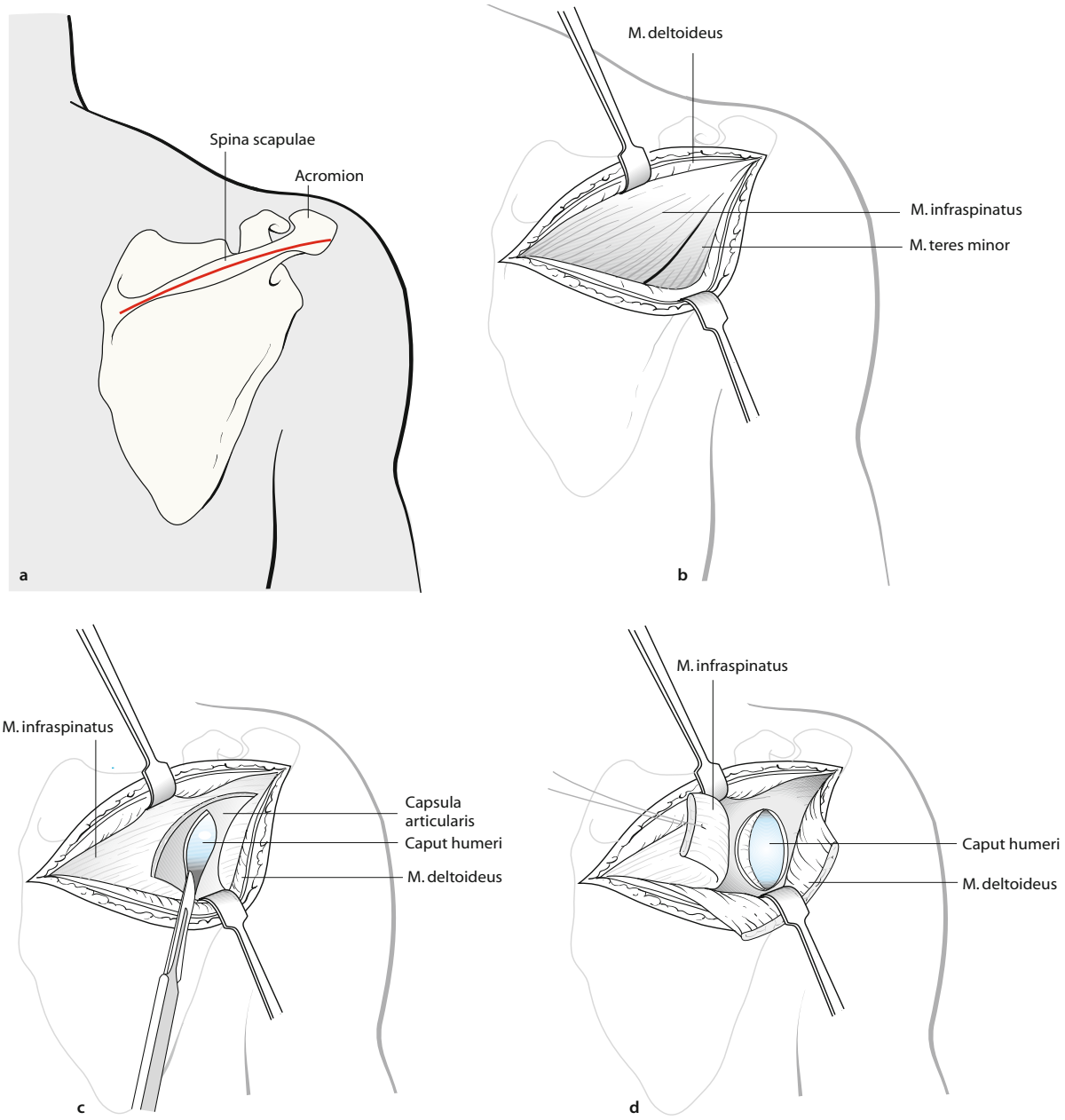


Abb. 21.13. Dorsaler Zugang. **a** Hautschnitt vom Acromion über Spina scapulae. **b** Dissektion M. infraspinatus und M. teres minor unter Schonung des N. suprascapularis. **c** Trennung der Sehne des M. infraspinatus mit anschließender Reinsertion. **d** Die Kapsel wird von dorsal dargestellt und inzidiert. Eine an der Margo medialis bogenförmig nach distal verlängerte oder diagonale Schnittführung ist ebenso möglich

Zugang eingeführt, der etwa 1 Querfinger distal und medial des knöchernen Vorsprungs platziert wird (gebildet aus dem Zusammenschluss zwischen Acromion und Spina scapulae). Der ventrale Zugang für die Arbeitskanüle wird meist durch Sicht über die zuvor eingebrachte Optik so positioniert, dass er cranial der Sehne des M. subscapularis im vorderen Recessus zu liegen kommt.

21.6 Nachbehandlung

Die Schulter darf postoperativ nur sehr kurzfristig ruhiggestellt werden, um ein gutes funktionelles Ergebnis zu erzielen. Trotz Immobilisation in einem Gilchrist-Verband sollte jedoch unter krankengymnastischer Anleitung eine passive Durchbewegung des Schulter-

gelenks erfolgen, wenn aktive Übungen noch nicht gestattet sind.

21.7 Prognose und funktionelle Ergebnisse

Die Prognose konservativ behandelter Scapulafrakturen ist sehr gut und führt meist zu freier Beweglichkeit und Schmerzfreiheit in der betroffenen Schulterregion. Bei Begleitverletzungen des N. suprascapularis oder des N. axillaris können jedoch erhebliche funktionelle Defizite mit Kraftminderung, Bewegungseinschränkung und einer Subluxationsstellung des Gelenks resultieren [7].

Während nicht dislozierte *Collumfrakturen* eine fast ebenso gute Prognose aufweisen, ist die Prognose bei dislozierten Frakturen deutlich schlechter. Neben persistierenden Schmerzen sind z. T. erhebliche Bewegungseinschränkungen zu erwarten [1, 2, 7].

Kleine nicht dislozierte *Glenoidfrakturen*, die konservativ behandelt werden, zeigen meist gute Resultate. Verbliebene relevante Dislokationen bei der Glenoidfraktur weisen eine ungünstige Prognose auf mit Gefahr der Entwicklung einer posttraumatischen Omarthrose.

Dagegen führen operativ behandelte und in anatomisch regelrechter Position reponierte Glenoidfrakturen meist zu guten Ergebnissen. Wie bei allen Gelenkeingriffen an der Schulter besteht hier jedoch, auch bei anatomischer Reposition der Fragmente, die Gefahr der Entwicklung einer sog. »frozen shoulder«, einer hochgradigen Bewegungseinschränkung aufgrund von Reizzustand, Kapselschrumpfung und Schmerzen [1, 3].

Einfache *Acromion-* und *Coracoidfrakturen* verheilen meist unproblematisch, wenn sie, ohne Dislokation, konservativ funktionell behandelt werden. Aber auch bei dislozierten Befunden sind unproblematische Verläufe zu erwarten, wenn sie, im Rahmen von kleinen Inzisionen, offen reponiert und dann achsgerecht verschraubt werden. Nur in seltenen Fällen finden sich nach diesen knöchernen Fortsatzverletzungen funktionell relevante Pseudarthrosen, Schmerzen oder anhaltende Bewegungseinschränkungen.

Zur subjektiven und objektiven *Beurteilung* der funktionellen Behandlungsergebnisse konservativer und chirurgischer Therapien existieren international anerkannte Scores. So umfasst z. B. der Score nach Kohn ausschließlich subjektive Kriterien. In ihm werden Fragen bezüglich Schmerz, Beweglichkeit, Instabilität und Aktivitätseinschränkung gestellt und jeweils zwischen 3 und 5 Antwortmöglichkeiten vorgegeben, wohingegen der Score nach Constant zusätzlich objektive Kriterien miterfasst [1, 6, 7].

21.8 Begutachtung

Die Funktion des Schultergelenks ist wesentlich von der Intaktheit der mit der Scapula verbundenen Gelenke abhängig. Neben einem ausreichenden Bewegungsumfang im glenohumeralen Gelenk ist v. a. die Beweglichkeit des Schulterblatts in der thoracoscapularen Gleitschicht notwendig, um die Elevation des Arms über die Horizontalebene zu erreichen. Gerade diese Fähigkeit ist es, der in vielen gutachterlichen Bewertungsmaßstäben eine besondere Bedeutung zugemessen wird. So ist in der gesetzlichen Unfallversicherung eine Bewegungseinschränkung des Arms in der Vorwärtshebung, die auf <90° limitiert ist, ein wesentliches Kriterium für eine GdB/MdE-Einschätzung von 20 vom Hundert.

Literatur

[1] E. Wiedemann, Frakturen der Scapula. Unfallchirurg 107: 1124–1133 (2004)
[2] J. Cramer, S. David, M. Wich, Scapula- und Glenoidfrakturen, Trauma & Berufskr 9 (Suppl.2): S220–S222 (2007)
[3] P. Hepp, C. Josten, Diagnostik und Klassifikation von Schulterverletzungen. Skapulafrakturen, floating shoulder und proximale Humerusfrakturen. Trauma & Berufskr 9 (Suppl 2): S213–S219 (2007)
[4] E. Euler, T. Rüedi, Skapulafraktur. In: P. Habermeyer, L. Schweiberer (Hrsg.), Schulterchirurgie, Urban & Schwarzenberg, München, pp 261–272 (1996)
[5] Orthopaedic Trauma Association, Committee for Coding and Classification, Fracture and dislocation compendium. J Orthop Trauma 10: Suppl.1, v-ix (1996)
[6] G. Bauer, W. Fleischmann, E. Dussler, Displaced Scapular Fractures: Indication and Long –Term Results of Open Reduction and Internal Fixation. Arch Orthop Trauma Surg 114: 215–219 (1994)
[7] M. Stoll, H. Lill, M. Wuttke, C. Josten, Acromionfrakturen. Diagnose-Behandlungstrategie und Outcome, Unfallchirurg 104: 877–881 (2001)



Stichwortverzeichnis

A

Abduktionsfraktur 106, 107, 109, 116
Acetabulumfraktur
– 3-D-Bildwandler 324, 326, 327
– Acetabulumdachbogen 316
– A. circumflexa femoris medialis 329
– A. circumflexa femoris profunda 323
– A. femoralis communis 316
– Alaaufnahme 316, 317, 320, 326
– AO-Klassifikation 317, 318, 320
– axiale Aufnahme, Hüftgelenk 316
– Beckenübersicht 316, 317, 320, 322, 328
– Burch-Schneider Ring 327, 328
– Crista iliaca 318, 321, 324, 325
– dash board injury 315, 316, 321, 322
– Dreifenstertechnik 323
– Eminentia iliopectinea 324
– Epiphysiolyse 327
– erweiterter Zugang nach Judet und Letournel 325
– Extension 320, 329
– Foramen obturatum 317, 324
– Girdlestone-Situation 330
– heterotope Ossifikation 323, 327, 329
– hintere Pfannenrandlinie 316
– hintere Pfeilerfraktur 106
– Hüftgelenksluxation 320
– Hüftluxation 315, 322
– ilioinguinaler Zugang nach Judet und Letournel 323, 324
– Incisura ischiadica major 317, 323, 324
– ISG 321, 323, 324, 327
– Judet und Letournel Klassifikation 319
– Kocher-Langenbeck Zugang 322, 323, 329
– Köhler-Tränenfigur 316
– Ligamentotaxis 320
– Lig. rotundum 324
– Linea 323
– Linea ilioischiadica 316
– Linea terminalis 316, 323, 324
– Maryland Zugang 325
– M. glutaeus maximus 323
– M. iliopsoas 324
– Mm. gemelli 323
– Morel-Lavallée-Syndrom 316
– M. piriformis 323
– Navigation 327
– N. cutaneus femoris lateralis 324, 329
– N. femoralis 316, 324
– N. ischiadicus 316, 322, 323, 329, 330
– Obturatoraufnahme 316, 317, 320, 326
– Os ilium 318, 327, 328
– Os ischium 327, 328
– Os pubis 317, 327
– Os sacrum Fraktur 321
– Osteoporose 327
– Outlet-Aufnahme 322
– Pfannendachbogen 317
– Pfannenlockerung 327
– Pfeilerfraktur 318, 319, 322, 323, 324
– Pfeilerschrauben 320
– Pipkin-Klassifikation 317
– Roof-arc-Messung 316
– Samenstrang 324
– Spina iliaca anterior superior 323, 324, 329
– Spina iliaca posterior superior 321, 323
– Spina ischiadica 316, 324
– Totalendoprothese 320, 327, 328, 330
– Triradiatezugang 325
– Trochanter major 321, 323, 326, 328
– Trochanterosteotomie 323
– Tuber ischiadicum 323

– vordere Pfannenrandlinie 316
– Y-Fuge 327
– zentrale Luxationsfraktur 315, 327
Acromioclaviculargelenk 21
Acromion 22
Acromionfraktur 428, 431, 433, 435, 440
Adam-Bogen 116
A. dorsalis pedis 377
Aebi und Nazarian Einteilung 236
Aitken-Klassifikation 173, 229
Alaaufnahme 107, 316, 317, 320, 326
Alignementindex nach Garden 109
Allis-Reposition 113
Allman-Klassifikation 419
Anderson und D'Alonso-Klassifikation 238
Anderson und Montesano-Klassifikation 241
ankylosierende Spondylitis 287
Antetarsus (Vorfuß) 356
Antigleitplatte 224
Antirotationsschraube 116, 117
autologe Chondrozytentransplantation 175
AO-Klassifikation 2
– Frakturzentrum 3
– gelenknahe Fraktur 5
– Knochenregion 3
– Knochensegment 3
– Region 3
– Schaftfraktur 6
– Schweregrad 5
AO-/OTA-Klassifikation 4
Äquatorial-Cerclage 405, 412, 413
Articulatio calcaneocuboidea 377
Articulatio talonavicularis 377
Articulatio tarsi transversa 375
aseptische Nekrose 387
A. tibialis anterior 178
A. tibialis posterior 177, 377
atlantoaxiale Dislokation 243
atlantoaxiale Instabilität 234, 235, 237
atlantooccipitale Dissoziation 234, 236, 237, 243, 248
Atlasfraktur 234, 236, 252, 256, 258
ATLS 308
aufgebohrter Marknagel 184
Außenrotationsfehlstellung 106
Außenrotationstest nach Frick 216
avaskuläre Femurkopfnekrose 107, 109
A. vertebralis 235
Axis 238
Axisfraktur 234, 256

B

Bado-Klassifikation 74
Bajonettfehlstellung 87
Bankart-Fraktur 432, 434, 436
Bankart-Läsion 428
Bankart-Operation 438
Barton-Fraktur 88
Barytrauma 376
Battered-child-Syndrom 144
Bauer-Zugang 122
Beach-chair-Position 422
Becken-Bein-Gips 135
Beckenfraktur
– Acetabulumfraktur 295
– AO-Klassifikation 295
– Beckenringfraktur 295
– Os sacrum Fraktur 295
– Polytrauma 295
Beckenringfraktur 107
– Abdomensonographie 298
– A. glutaea superior 296
– A. ilaca communis 296
– A. iliaca interna 302
– Ala ossis ilii 304
– Anus praeter 299
– A. obturatoria 296
– AO-Klassifikation 298, 300, 301, 302
– Apophysenfraktur 302
– A. pudenda 296
– ATLS 308
– Beckentamponade 299
– Beckenübersicht 298
– Beckenzwinge 299, 302, 307, 308, 309
– beidseitige Sacrumfraktur 311
– bilaterale querstabilisierende lumbopelvine Abstützung 310, 311, 312, 314
– Colapinto-Klassifikation 299
– Crista iliaca 304
– damage control 299
– Darmspülung, intraoperative 299
– Darmverletzung 296
– Denis-Klassifikation 299
– digitale Substraktionsangiographie 298
– Doppelplattenosteosynthese 304, 305
– Fascia lumbosacralis 304, 311
– FAST 298
– Foramina sacralia 299
– Fossa iliaca 304
– Harnröhrenverletzung 297
– heterotope Ossifikation 314
– hinterer Beckenring 295
– ilioinguinaler Zugang nach Letournel 304, 306
– Iliosacralgelenk (ISG) 295, 296, 299, 300
– Incisura ischiadica major 309
– Inlet-Aufnahme 298, 311, 314
– interventionelle Embolisierung 302
– komplexes Beckentrauma 295
– Kriechschraube 302
– Laparoskopie 296
– Laparotomie 296, 298, 299, 302
– laterale Kompressionsverletzung 296, 298
– Ligg. sacroiliacum posterius 296
– Lig. pectineale (Cooper) 302
– Ligg. sacroiliaca posteriora 299, 300, 301
– Ligg. sacroiliaca anteriora 296, 300,301
– Lig. sacroiliacum interosseum 296
– Ligg. sacrospinalia 300, 301
– Ligg. sacrotuberalia 301
– Linea terminalis 304
– lumbopelvine Abstützung 309, 310
– Malgaigne-Fraktur 296, 301
– Massa lateralis 299
– Morel-Lavallée-Syndrom 297
– Navigation 303, 314
– Open-book-Verletzung 296, 298, 300, 306, 309, 314
– Os coccygeum Fraktur 300
– Os coxae 300
– Os ilium 295, 298, 303, 304, 308
– Os Ilium Fraktur 304
– Os ischium 295, 298
– Os pubis 295, 298
– Os sacrum 295, 297, 298, 309
– Os sacrum Fraktur 296, 300, 303, 308
– Osteoporose 308, 313
– Outlet-Aufnahme 298, 311, 314
– Pfannenstielschnitt 304
– Plexus lumbosacralis 303
– Plexus paravesicalis 305

– Plexus praesacralis 305
– Pohlemann-Klassifikation 299
– Polytrauma 299, 308
– rectale Untersuchung 297
– retroperitoneales Hämatom 296
– Sacralstäbe 312
– Sacrumfraktur 304
– Schambeinastfraktur 304
– Schmetterlingsfraktur 296, 300
– Schockhose 302
– Skrotalhaematom 296
– Sphinctertonus 297
– Spina iliaca anterior inferior 310, 311
– Spina iliaca anterior superior 297, 309
– Spina iliaca posterior superior 309, 311
– Stellschraube 303, 304, 311
– supraacetabulärer Fixateur externe 305
– Symphyse 296, 297
– Symphysensprengung, Symphysenruptur 298, 300, 302, 303, 304, 305
– Tile und Pennal Klassifikation 298, 299
– transiliacale Luxationsfraktur 304
– transiliosacrale Fraktur 304
– transiliosacrale Fraktur/Luxation 304
– transiliosacrale Verschraubung 303, 311, 314
– traumatische Hemipelvektomie 299
– trianguläre vertebropelvine Aufhängung 310, 311, 314
– Trochanter major 297, 309
– Tuber ischiadicum 300
– Urethraverletzung 296
– Urethrozystographie 298
– vaginale Untersuchung 297
– ventrale Kompressionsverletzung 296
– vorderer Beckenring 295
– Vulvahaematom 296
– Zuggurtungsosteosynthese 303
Beckenübersichtsaufnahme 106, 107, 316, 317, 320, 328
Beckenzwinge 299, 308
Bennett-Fraktur 340
Bewegungsschiene 123
3-D-Bildwandler 327
biologische Osteosynthese 74, 138, 190, 191, 196
Biomaterial 101
Blockwirbel 236
Bogenschluss, unvollständiger 235
Böhler-Winkel 359
bone bruises 107
Bothworth-Schraube 421
bowing deformation 75
bowing fracture 75
Boyd Zugang 80
Brachialgia paraesthetica nocturna 103
Brodén-Aufnahmen 359
Brückenkallus 80

C

Calcaneocuboidalgelenk 385, 386
Calcaneus 356, 358, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 376, 378, 380, 383, 384
Calcaneusextension 182, 202
Calcaneusfraktur 358, 364, 368, 370, 371, 372, 373, 374
Capitulum radii 84
Caput humeri 13
Cervicalorthese 242, 246, 247, 248, 256
Chance-Fraktur 261, 280
Chopart Gelenk 376, 377, 379, 380, 382, 384, 387, 388, 390
Chopart'sche Gelenklinie 357
Chopart'sche Luxation 383
– Os cuboideum Fraktur 382
– Stellschraubenosteosynthese 382
Chopart'sche Luxationsfraktur 376, 381, 385, 386, 387
Crista iliaca 114
Claviculafraktur
– Acromion 422
– Allman-Klassifikation 418, 419, 420, 421, 423, 424, 425
– Angiographie 418
– A. subclavia 418
– Beach-chair-Position 422
– biologische Osteosynthese 422
– Bothworth Schraube 421
– Floating shoulder 424, 425
– Gilchrist-Verband 421, 424
– Hakenplatte 422, 423
– Jäger und Breitner Klassifikation 420
– Klaviertastenphänomen 417
– laterale Claviculafraktur 419, 420, 421, 422, 423
– Lig. coracoclaviculare 419, 420
– M. biceps brachii 420
– M. coracobrachialis 420
– M. pectoralis major 417
– M. sternocleidomastoideus 417, 420, 421
– M. trapezius 420
– OTA-Klassifikation 418, 419
– Pars conoidea 420
– Pars trapezoidea 420
– Plexus brachialis 418, 422
– Pneumothorax 420
– Prévot-Nagel 424
– Pseudarthrose 420, 423, 425
– Rockwood-Klassifikation 418, 420
– Rucksackverband 421
– Säbelhiebzugang 422
– Schultereckgelenksprengung 418
– Sternoclaviculargelenksprengung 418
– Tossy-Klassifikation 418, 420
– Verlängerungsosteotomie 425
– V. subclavia 418
– Wasserträgeraufnahme 418
Codman Einteilung 14
Colles-Fraktur 101
Collum anatomicum 13, 14, 21, 23, 26
Collum chirurgicum 13, 14, 25
Condylenplatte 149
Condylus occipitalis Fraktur 244
Condylus radialis Fraktur 48
– hängende Fraktur 48
Constant Score 440
Continuous Passive Motion (CPM) 123, 139, 152, 161, 172, 193
Coracoidfraktur 428, 435, 438, 440
Corticalissprungzeichen 149
Coxa vara 127
CRPS 103
Crutchfield-Klammer 243
Cutting-out 116, 118
Cyma-Linie 385, 386, 388

D

damage control 299
Dameron und Quill Klassifikation 392, 397
Danis und Weber-Einteilung 219

dash board injury 187, 315, 316, 322, 403, 412
DCP 77, 189
Deckplattenimpressionsfraktur 269
Densfraktur 235, 238, 243, 248, 252, 256, 257
Denszielaufnahme 235, 256
De-Quervain-Fraktur 338
De Quervain Luxationsfraktur 87
Dermatofasziotomie 181
Desault-Verband 38
digitale Substraktionsangiographie 298
direkte Frakturzeichen 216
distale Oberschenkelfraktur
– AO-Klassifikation 144
– Begleitverletzungen 144
– biologische Osteosynthese 146
– dynamische Kompressionsschraube (DCS) 150
– distaler Femurmarknagel (DFN) 144, 148
– Fixateur externe 151
– Hoffa-Fraktur 145, 147
– LISS 144
– Marknagelosteosynthese, retrograd 147, 148
– NCB 144
– percondyläre Femurfraktur 143
– Schraubenosteosynthese 146
– supracondyläre Femurfraktur 143
– supracondylärer Nagel 144, 148
distale Radiusfraktur
– dorsoulnares Kantenfragment 95, 98
– Extensionsfraktur (Colles) 87, 93
– Fixateur externe 99
– Flexionsfraktur (Smith) 87
– Instabilitätskriterien 90
– palmare Plattenosteosynthese 95
– π- (Pi-)Plattenosteosynthese 95
– Plattenosteosynthese 93, 94
– Schraubenosteosynthese 93
– winkelstabile Plattenosteosynthese 95
distaler Oberarm
– AO-Klassifikation 42
– Epicondylus ulnaris Fraktur 49
– Extensionsfraktur 42
– Fixateur externe 52
– Gartland-Klassifikation 42
– Kirschner-Drahtosteosynthese 45
– Plattenosteosynthese 49, 50, 51
– von-Laer-Klassifikation 44
– Zugschraubenosteosynthese 48
distaler Oberschenkel
– Plattenosteosynthese 149
distaler Radiusnagel 101, 102
distaler Unterarm
– AO-Klassifikation 88
– Frykman-Klassifikation 89
– Kirschnerdrahtosteosynthese 91
– Melone-Klassifikation 89
distale Unterschenkelfraktur
– 1/3-Rohr-Platte 205
– AO-Klassifikation 202, 203
– autologe Spongiosaplastik 205
– Fixateur externe 209
– Kirschnerdrahtosteosynthese 205
– Knochenersatzmaterial 205
– LCDC 205
– Marknagelosteosynthese 209
– Pilon tibial 201
– Plattenosteosynthese 205
– Rekonstruktionsplatte 205
– Rüedi und Allgöwer-Klassifikation 202
– Schraubenosteosynthese 205
– Spongiosaplastik 203, 205
– Tubercule de Chaput 205
Distraktions-Cages 251
dorsale Schraubenosteosynthese nach Judet 248, 250
dorsale Spondylodese 253, 267, 274, 275, 277, 278, 279, 280
Drittelrohrplatte 222
DRUG 90, 103
– Klaviertastenphänomen 87
Duokopfprothese 121, 122, 127
dynamische Hüftschraube 112, 116, 117, 118
dynamische Verriegelung 185
Dynamisierung 185

E

Effendi-Klassifikation 245, 249
Ellenbogen, terrible triad 66
Eminentiaausriss 158, 159, 173
Eminentia intercondylaris 158, 160, 162, 165
Ender-Nagel 117
Entenschnabelfraktur 358, 363, 368
Epicondylus radialis 80
Epiphysiolyse 124
ESIN 68, 80, 194, 195
espace claire 216
Essex-Lopresti-Klassifikation 363
Essex-Lopresti-Läsion 57, 66, 72, 74
Etagenfraktur 132
Euler und Rüedi Klassifikation 430, 433, 435
Evans-Klassifikation 110
Extension 320
Extensionsfraktur (Colles) 87
Extension, supracondyläre 123
extrafokale Kirschnerdrahtosteosynthese nach Willenegger 91

F

Facettengelenke 235
Facies medialis tibiae 225
Fascia lata 137
FAST 298
federnde Fixation 106
Femurkopfendoprothese 121
Femurkopfprothese 127
Fenton-Syndrom 338
Fettpolsterzeichen 45
Fibula 177
Fibulafraktur 178
Fibulaschaftfraktur 182
Fielding-Klassifikation 234, 237
Fingerfraktur
– AO-Klassifikation 346
– Foucher-Technik 349
– Intrinsic-plus-Position 347
– Kirschner-Drahtosteosynthese 348
– palmare Platte 347
– palmare Platte, knöcherner Ausriss 351
– PIP-Stack-Schiene 351
– Plattenosteosynthese 350
– Schaftfraktur 349
– Spiralfraktur 350
– Stack'sche Schiene 348, 351
– Streckapparat, pars terminalis 351
– Strecksehnenausriss, knöcherner 346, 347, 351
– subcapitale Fraktur 349
– subunguales Hämatom 346

– Torsions-(Rotations)fehler 346, 347
– Trümmerfraktur 350
flake fracture 107, 358, 406, 413
Flexions-Distraktions-Verletzung 275, 277, 279, 291
Flexionsspondylolyse 251
Floating shoulder 432, 434, 436, 437
Foramen magnum 236
Fossa lunata 88
Fossa poplitea 165
Fossa scaphoidea 88
Foucher-Technik 341
Fourchettefehlstellung 87
Fraktur 179
Frankel Schema 234
Freihandverriegelung 137
Frick-Test 224
Frozen shoulder 440
Frühmobilisation 126
Funktionsaufnahme 247
Fusion nach Brooks 251
Fusion nach Gallie 251
Fuß
– 3-D-Bildwandler 358, 360, 367, 369, 370, 374, 382
– Acetabulum pedis 375
– Amphiarthrose 375
– Amputation 381
– Antetarsus (Vorfuß) 356
– AO-Klassifikation 355, 356, 360
– aseptische Nekrose 387
– Barytrauma 376
– Böhler-Winkel 359
– Brodén-Aufnahmen 359
– Calcaneus 359
– Calcaneusfraktur 358, 359, 364, 365, 368, 370, 371, 372, 373
– – Knochenersatzmaterial 374
– Chopart-Gelenk 376, 377, 379, 382, 384, 387, 388, 390
– Chopart-Luxationsfraktur 376, 381, 385, 386, 387
– Chopart'sche Gelenklinie 356
– Chopart'sche Luxation 383
– Coxa pedis 357
– creeping substitution 373
– Cyma-Linie 377, 385, 386, 388
– Dameron und Quill Klassifikation 392, 397
– Dermatofasciotomie 377
– Entenschnabelfraktur 358, 363, 368
– Ermüdungsbruch 376, 390
– Essex-Lopresti-Klassifikation 359, 363, 370
– Fasziotomie 366, 371
– flake fracture 361
– Fußkompartmentsyndrom 358, 375, 377, 379, 380, 390, 391, 392, 394, 399, 400
– Fußlängsgewölbe 355, 357, 375
– Fußquergewölbe 355, 375
– Gissane-Winkel 358, 363
– Großzehenfraktur 394, 397
– Hawkins-Klassifikation 361, 363, 366, 367, 372, 373
– Hawkins-Zeichen 374
– Helal Osteotomie 400
– ICI-Klassifikation 355, 360, 361, 382, 399
– Joint-depression-Fraktur 359, 363, 370, 371
– Jones-Fraktur 390, 392, 393, 397, 399, 400
– Klassifikation 9
– Knochenersatzmaterial 381
– Kompartmentsyndrom 363, 366, 371, 372
– komplexes Fußtrauma 375
– laterale Fußsäule 375, 376, 388
– laterale Säule 381, 383
– Lisfranc-Gelenk 376, 384, 389
– Lisfranc-Luxationsfraktur 376, 384, 390, 392, 394, 395, 398, 399, 400
– Lisfranc'sche Gelenklinie 356
– Main und Jowett Klassifikation 379
– Marschfraktur 389, 390
– Marti und Weber Klassifikation 361
– mediale Fußsäule 375, 376, 388
– mediale Säule 381, 383
– mediales Fußgewölbe 387
– Metatarsale-5-Basisfraktur 392, 393, 397
– – Jones Fraktur 389
– Metatarsale-5-Stressfraktur 392
– Metatarsalebasisfraktur 392
– Metatarsalefraktur 389, 390, 393, 397, 400
– – Kriechschraube 397
– – Schaukeltechnik 394
– Metatarsaleköpfchenfraktur 395
– Metatarsaleschaftfraktur 397
– Metatarsalestressfraktur 389
– Metatarsalgie 397
– Metatarsalia 389
– Metatarsus (Mittelfuß) 356
– Mittelfuß 374, 375, 380, 381
– M. tibialis posterior 383
– Nageltrepanation 394
– Nussknackerfraktur 376
– Os cuboideum
– – Nussknackerfraktur 378
– Os cuboideum Fraktur 381, 382, 386
– Os naviculare Fraktur 382, 387
– – Ermüdungsbruch 377
– Ossa sesamoidea 389
– Os sesamoideum Fraktur 391, 392, 394, 395
– osteochondrale Fraktur 361
– Pes-cavus-Fehlstellung 391
– Phalangen 356
– Pirogoff-Amputation 389
– Plantarhämatom 358, 376, 377
– posttraumatischer Plattfuß 382
– Quenu und Küss Klassifikation 392
– reorientierende Arthrodese 388
– Rückfuß 356, 357, 358, 361, 362
– Sanders-Klassifikation 363, 364
– Steigbügel 375
– Stellschraube 366
– Stressfraktur 389, 392, 393
– subunguales Hämatom 391, 394
– Talektomie 367
– Talonaviculargelenk 375
– Taluscorpusfraktur 361
– Talusfraktur 358, 361, 365, 366, 367, 371, 373
– Talushalsfraktur 361, 367
– Talus (Sprungbein) 357
– Tarsus (Fußwurzel) 356
– Tongue-Type 359, 363
– transcalcaneare Luxationsfraktur 381
– transtalare Luxationsfraktur 381
– Triplearthrodese 388
– Tuber-Gelenkwinkel 359, 369
– Vorfuß 388
– Weber und Marti-Klassifikation 367
– Weil Osteotomie 400
– Zehen 356
– Zehenfraktur 389, 394, 397, 399, 400
– Zweisäulenprinzip 355
– Zwipp-Klassifikation 363
– Zwipp-Klassifikation (Chopart-Gelenk) 379, 380
– Zwipp-Score 363
Fußkompartmentsyndrom 358, 380, 390, 391, 392, 394, 399

G

Galeazzi-Fraktur 71, 74
Garden-Klassifikation 109, 116
Gartland-Klassifikation 42, 43
gehaltene Funktionsaufnahme 235
Gehweiler-Klassifikation 236, 237, 244
Gilchrist-Verband 38, 421, 439
Girdlestone-Situation 128, 330
Gissane-Winkel 363
Glenoidfraktur 432, 437, 440
Großzehenfraktur 394
Grünholzbruch 101
Grünholzfraktur 71, 75, 84, 85
Gustilo und Anderson Klassifikation 159, 179, 186, 188, 192, 198, 202

H

Halo-Fixateur 243, 245, 252, 256
Halswirbelfraktur
– Aebi und Nazarian-Klassifikation 236, 242
– Anderson und D'Alonso-Klassifikation 238
– Anderson und Montesano-Klassifikation 241
– AO-Klassifikation 239, 240, 241, 242
– Argenson-Klassifikation 242
– Atemlähmung 234
– atlantoaxiale Dislokation 243
– atlantoaxiale Instabilität 234, 235, 237, 238
– atlantoaxiale Spondylodese nach Magerl 247
– atlantodentaler Abstand 238
– atlantooccipitale Dissoziation 234, 237, 243, 248, 249, 251
– Atlasfraktur 234, 252, 256, 258
– A. vertebralis 235, 248
– Axis 238
– Axisfraktur 234, 256
– Bewegungssegment 233
– Blockwirbel 235
– Bogenschluss, unvollständiger 235
– bone bruise 256
– Cervicalorthese 242, 245, 246, 247, 248, 256
– cervicothoracaler Übergang 233
– Condylus occipitalis Fraktur 244
– Crutchfield-Klammer 243
– day one surgery 257
– Dens-Fraktur 235, 238, 243, 248, 252, 255, 256, 257
– Denszielaufnahme 235, 256
– Distraktions-Cages 251
– Dornfortsatzfraktur 233, 258
– dorsale Schraubenosteosynthese nach Judet 248, 250
– dorsale Spondylodese 258
– Effendi-Klassifikation 238, 239, 245, 249, 252
– Epistropheus 238
– Facettenfraktur, verhakte 255
– Facettengelenke 235
– Fielding-Klassifikation 234, 237, 238
– Flexionsspondylolyse 251
– Frankel Schema 234, 235
– Funktionsaufnahme 247
– Fusion nach Brooks 251
– Fusion nach Gallie 247, 251
– GCS 257
– gehaltene Funktionsaufnahme 235
– Gehweiler-Klassifikation 237, 244
– Halo-Fixateur 242, 243, 245, 247, 252, 256
– hangman's fracture 238
– Hirnnerven 234
– Hyperextensionsscherverletzung 254
– Hyperextensionsspondylolyse 254
– Instabilitätskriterien 235
– Jeanneret-Klassifikation 236, 243, 244, 251
– Jefferson-Fraktur 243, 244, 248, 252, 258
– Josten-Klassifikation 239, 245, 249, 251
– Kneifzangenfraktur 239
– Längsband, vorderes 249
– Ligamenta alaria 238, 241
– Magerl-Klassifikation 239, 240, 241
– Magerl-Verschraubung 248, 251, 252
– Massa lateralis 237, 258
– Mayfield-Klammer 249
– M. Bechterew 233, 247, 255, 257
– Minervagipsverband 243
– MRT-Angiographie 235
– N. occipitalis major 234
– obere Halswirbelsäule 234
– Occipitalcondylenfraktur 234, 235, 251
– occipitocervicaler Übergang 233
– Os odontoideum 233, 235, 256
– Pincer Fraktur 239
– Plattenosteosynthese 249, 254
– Processus odontoideus 238
– Processus spinosi 243
– Pseudosubluxation 257
– Querfortsatzfraktur 233, 258
– Querschnittslähmung 233, 234
– Querschnittssyndrom 258
– Radikulärsyndrom 258
– retropharyngeales Hämatom 234
– rheumatoide Arthritis 233
– Rotationssubluxation 235
– Schwimmeraufnahme 235, 254
– SCIWORA-Syndrom 242, 256
– Slice-Fraktur 241, 255
– Spongiosaplastik 253
– Stimmbandlähmung 252
– Tabula interna 243
– Tear-drop-Verletzung 239, 246, 253
– traumatische Spondylolisthese 234, 238, 239, 245, 248, 249, 250, 251, 252
– Traynelis-Klassifikation 237
– tricorticaler Beckenkammspan 251, 253, 254, 255
– untere Halswirbelsäule 234, 239, 246
– ventrale Spondylodese 249, 251, 253, 254, 255, 257, 258
– Wolter-Klassifikation 242
– Zugangsmorbidität 257
– Zuggurtung 253
Halswirbelsäule
– atlantoaxialer Gelenkspalt 236
– atlantooccipitale Dissoziation 236
– Atlasfraktur 236
– Gehweiler-Klassifikation 236
– Lig. longitudinale posterius 236
– Membrana tectoria 236
– occipitoatlantaler Gelenkspalt 236
– Traynelis-Klassifikation 236
Hand, Klassifikation 8
Handwurzelfraktur
– AO-Klassifikation 334
– Chip-Fraktur 336
– Ender-Platte 338
– Herbert-Klassifikation 335
– Herbertschraube 337

– Krimmer-Klassifikation 335
– Luxationsfraktur 338
– Luxationsfraktur, carpometacarpale 342
– Pisiformefraktur 337
– Plattenosteosynthese 338
– Scaphoidfraktur 333, 335, 337
– Triquetrumfraktur 333, 336
Hawkins-Klassifikation 363, 367, 372, 373
– Innenknöchelosteotomie 367
Hawkins-Zeichen 374
Hemilaminektomie 266
Henry Zugang 80
Herbertschraube 337
heterotope Ossifikation 323
hinteres Längsband 260
Hintringer und Leixnering Einteilung 347, 351
Hochrasanztrauma 107
Holstein-Lewis-Typ 40
hüftgelenknahe Fraktur
– allgemeine Komplikationen 126
– AO-Klassifikation 107
– Frühmobilisation 126
– Hüftkopffraktur 105
– Schenkelhalsfraktur 105
– subtrochantäre Fraktur 105
– Spätkomplikationen 126
– Totalendoprothese 120
Hüftkopffraktur 105, 106, 107, 108, 123, 127
– Notfallreposition 113
Hüftkopfnekrose 126
Hüftluxation 106, 124, 315, 322
Humerusschaftfraktur
– Holstein-Lewis-Typ 30
– Marknagelosteosynthese 35
– N.-radialis-Schaden 29
– Pseudarthrose 40
Hybridfixateur 173
Hydroxylapatit 98

I

ICI-Klassifikation 360
ilioinguinaler Zugang nach Judet und Letournel 114, 304, 306, 324
Incisura scapulae Syndrom 436
Incisura tibiofibularis 223
indirekte Frakturzeichen 216
inkompletter Berstungsbruch 268, 281
Inlet-Aufnahme 107, 298, 311, 314
intertrochantäre Fraktur 118
intertrochantäre Osteotomie, valgisierende 126
interventionelle Embolisierung 302
intrafokale Kirschnerdrahtosteosynthese nach Kapandji 91
Ischiadicusläsion 124

J

Jeanneret-Klassifikation 236, 243, 244
Jefferson-Fraktur 243, 244, 248, 252, 258
Jet-Lavage 121
Joint-depression-Fraktur 359, 363, 370, 371
Jones-Fraktur 389, 390, 392, 393, 397
Josten-Klassifikation 245, 249
Judet-Klassifikation 61
Judet und Letournel Klassifikation 317

K

Kaltverschweißung 149
Kapsulotomie 124
Karpaltunnelsyndrom 88
– Spaltung Retinaculum flexorum 95
Kindliche Fraktur
– Bowing fracture 2
– Grünholzbruch 2
– Klassifikation 2
– Wulstbruch 2
Kirschnerdrahtosteosynthese
– extrafokale nach Willenegger 91
– intrafokale nach Kapandji 91
Klassiknagel 116, 120
Klaviertastenphänomen 417
Kneifzangenfraktur 260, 261, 267
Kniegelenkerguss 144
Kniegelenkluxation 144
Knochendefekt 98
Knochenersatzmaterial 202
Kocher-Langenbeck-Zugang 114, 122, 322, 323
Kompartmentsyndrom 138, 152, 178, 179, 181, 197, 380
komplette Berstungsfraktur 273, 274
komplexes Beckentrauma 295
komplexes Fußtrauma 375
komplexes Knietrauma 144
Kompressionsfraktur 266
Kompressionsplattenosteosynthese 77
Kreuzbandriss 146
Kriechschraube 302
Krümmungswinkel nach Cobb 292
Kyphoplastie 284, 286, 287, 288, 289

L

Laminektomie 266
laterale Fußsäule 376, 388
Lauensteinaufnahme 106
Lauge-Hansen-Klassifikation 216, 219, 220
LCDCP 33, 77, 189, 205
LCP 33, 77
Ligg. alaria 236, 241
Lig. anulare 63
Lig. bifurcatum 375
Lig. calcaneonaviculare plantare 376
Lig. capitis femoris 110
Lig. deltoideum (Deltaband) 216, 367
Lig. patellae 164, 188, 404, 412
Lig. plantare longum 389
Lig. transversum 237
ligne claire 216, 223
limitiert aufgebohrter Marknagel 187
limitierte Aufbohrung 184
Lisfranc-Gelenk 376, 384, 389
Lisfranc'sche Luxationsfraktur 376, 384, 390, 392, 394, 395, 398
LISS 137, 173, 174, 189, 190
Lumbotomie 282
Luxatio iliaca 106, 110
Luxatio ischiadica 106
Luxationsfraktur 14, 72

M

M. abductor pollicis longus 340
Mädchenfänger 90
M. adductor magnus 146

Magerl-Klassifikation 260
Magerl-Verschraubung 248, 251, 252
Main und Jowett Klassifikation 379
Maisonneuve-Fraktur 178, 216, 218
Malgaigne-Fraktur 296, 301
Malleolar-Fraktur 217
M. anconaeus 80
Margo medialis scapulae 439
Marknagelosteosynthese
– antegrad 135
– dynamische Verriegelung 135
– limitierte Aufbohrung 136
– retrograd 135
– Rotationsfehler 148
– statische Verriegelung 135
Marknagelosteosynthese/Oberarmschaft
– antegrad 35
– retrograd 35
Markraumsperre 121
Marschfraktur 389, 390
Marylandzugang 325
Mason-Klassifikation 58, 61
Massa lateralis 237, 258
M. Bechterew 233, 257, 287, 290
M. biceps 72
M. brachioradialis 80
McLaughlin-Cerclage 412
M. deltoideus 22
mediale Fußsäule 376, 388
mediales Fußgewölbe 387
Membrana interossea 177, 216
Meniscusläsion 146, 173
Merle-d'Aubigné-Score 125
Metacarpalefraktur s. Mittelhandfraktur 340
Metatarsale-5-Basisfraktur 389, 393, 397
Metatarsalebasisfraktur 392
Metatarsalefraktur 389, 390, 393, 394, 397
Metatarsaleköpfchenfraktur 395
Metatarsaleschaftfraktur 397
Metatarsalestressfraktur 389
Metatarsalgie 397
Metatarsus (MIttelfuß) 356, 389
M. extensor carpi radialis brevis 80
M. extensor carpi ulnaris 80
M. extensor digitorum communis 80
M. extensor pollicus longus 98
Meyers und McKeever Klassifikation 158, 159
M. flexor hallucis longus 368
M. gastrocnemius 143, 146
M. gracilis 156
M. iliopsoas 324
Minervagipsverband 243
Miss-A-Nail-Technik 123
Mittelfuß 374, 375, 380, 381
Mittelhandfraktur
– Basisfrakturen, Metacarpale-I 345
– Bennett-Fraktur 340, 343
– Boxerfraktur 338
– Foucher-Technik 341, 343
– Intrinsic-plus-Position 341
– Kirschner-Drahtosteosynthese 341
– Luxationsfraktur 341, 345
– Luxationsfraktur, carpometacarpale 342
– metacarpale Fraktur 341
– Plattenosteosynthese 344
– Rolando-Fraktur 340, 341, 344
– Schraubenosteosynthese 341
– subcapitale Fraktur 341, 343
– Torsions- oder Rotationsfehler 339, 340, 341
– Winterstein-Fraktur 340, 344, 345
Monteggia-Fraktur 64, 66, 71, 74, 84
Moore-Klassifikation 160
Morel-Lavallée-Syndrom 297, 316
Morrey-Klassifikation 59, 60
mortise view 216
Motorschiene 139, 152
M. peronaeaus brevis 367, 397
M. peronaeus longus 80
M. popliteus 143, 156
M. pronator quadratus 72
M. pronator teres 72, 80
M. quadriceps 156, 403, 405, 406, 413
M. quadriceps femoris 152
M. sartorius 156
M. semimembranosus 156
M. soleus 156
M. Sudeck 103
M. supinator 72, 80
M. supraspinatus 22
M. tensor fasciae latae 114
M. tibialis anterior 355, 368, 383
M. tibialis posterior 221, 375, 376, 382, 388, 389
M. triceps surae 355
M. vastus lateralis 137, 413
M. vastus medialis 413
Myelographie 266

N

γ-Nagel 116, 120
NCB 174
N. cutaneus dorsalis lateralis 369
Neer-Klassifikation 16, 21, 24, 25
Neutralisationsplatte 224
Neutralisationsplattenosteosynthese 77
N. medianus 88
N. occipitalis major 234
N. peronaeus 157, 165, 178, 204
N. peronaeus profundus 178, 179, 368
N. peronaeus superficialis 367
N.-radialis-Schaden 29, 40
N. suralis 165, 224, 367, 369
N. tibialis 165
Nussknackerfraktur 376, 378

O

Oberarmschaftfraktur
– anterolateraler Zugang 33
– AO-Klassifikation 30
– Fixateur externe 37
– Henry-Zugang 33, 35
– medialer Zugang 35
– Operationsindikation 32
– Plattenosteosynthese 33
obere Halswirbelsäule 234
oberes Sprunggelenk
– 3-D-Bildwandler 222
– Antigleitplatte 224
– AO-Klassifikation 217, 218
– Fibulafraktur 215
– Fixateur externe 225
– Innenknöchenfraktur 215
– innerer Dekubitus 215
– isolierte Fibulafraktur 215
– knöcherner Syndesmosenausriss 215
– Luxationsfraktur 215, 219, 225
– Maisonneuve-Fraktur 222
– Neutralisationsplatte 224
– Plattenosteosynthese 224
– Schraubenosteosynthese 222
– Stellschraube 223
– Syndesmose 222, 223
– true a.-p. 223
– Tubercule de Chaput 223

– Volkmann-Dreieck 223
– Wagstaffe-Fraktur 223
– Weber-Nase 222
– Zuggurtungsosteosynthese 221
Oberschenkelschaft
– Plattenosteosynthese 137
– subtrochantäre Fraktur 131
Oberschenkelschaftfraktur
– AO-Klassifikation 132
– biologische Osteosynthese 138
– ESIN 139
– Fixateur externe 135, 138
– Kompartmentsyndrom 138
– Marknagelosteosynthese 135
– offene Fraktur 132
– Pseudarthrose 132, 140
– Schraubenosteosynthese 137
– Spongiosaplastik 140
– Weichteilschädigung 134
– Weichteilverletzung 132
Obturatoraufnahme 107, 316, 320, 326
Occipitalcondylenfraktur 234
Ogden-Klassifikation 173
Olecranonfraktur 59, 62
Olecranonosteotomie 52
open book Verletzung 296, 298, 305, 306, 314
Os cuboideum 355, 356, 357, 375, 376, 380, 382, 383, 385, 389
Os cuboideum Fraktur 378, 381, 382, 386
Os cuneiforme 356
Os cuneiforme intermedium 389, 398
Os cuneiforme laterale 389
Os cuneiforme mediale 384, 389
Os metatarsale 356
Os naviculare 355, 357, 368, 375, 377, 378, 379, 380, 382, 387
Os naviculare Fraktur 377, 382, 387
Os odontoideum 233, 235
Os sacrum Fraktur 296
Ossa cuneiformia 355, 375, 380, 382, 389
Ossa digitorum 356
Ossa metatarsalia 389, 391
Ossa sesamoidea 389
Ossa tarsalia 375
Os sesamoideum 356
Os sesamoideum Fraktur 392, 394, 395
Ossifikationsprophylaxe 123
osteochondrale Fraktur 107
osteochondrale Transplantation 175
Osteoporose 13, 17, 19, 173, 174, 287
osteoporotische Sinterungsfraktur 285
OTA-Klassifikation 436
Outlet-Aufnahme 107, 298, 311, 314
Overhead-Extension 135

P

palmare Platte 347
Parierfraktur 71
Parona-Raum 72
partielle Berstungsfraktur 269
Patella alta 413, 415
Patella baja 413, 415
Patella bipartita 403, 404
Patellafraktur
– AO-Klassifikation 404
– Äquatorial-Cerclage 405, 412, 413
– dashboard injury 403, 412
– flake fracture 406
– Knieluxation 403
– McLaughlin-Cerclage 412
– Patella alta 413, 415
– Patella baja 412, 413, 415
– Patella bipartita 403, 404
– Patellaluxation 413
– Patellektomie 405, 412, 413, 415
– Reservestreckapparat 406, 409
– Sleeve-Fraktur 407, 413
– Speck und Regazzoni-Klassifikation 404, 405, 406
– Zuggurtungsosteosynthese 406, 410
Patellaluxation 413
Patellektomie 405, 412, 413, 415
Pauwels-Klassifikation 109
Pedikelschraube 266, 278
percondyläre Femurfraktur 143
periartikuläre Ossifikation 44, 52, 66, 121
perilunäre Luxation 338
periprothetische Femurfraktur 132
pertrochantäre Fraktur 105, 106, 107, 108, 117
Pes anserinus 165
Pfannendachbogen 317
Pilon tibial 201
Pincerfraktur 262
Pipkin-Klassifikation 108, 110
Pirogoff-Amputation 389
Pisiformefraktur 336
Plantaraponeurose 355, 357, 375
Plantarhämatom 376, 377
Plattenosteosynthese
– Four Corner Fusion 338
– Spider Plate 338
Plattenosteosynthesen (dist. Oberschenkelfraktur)
– LCP 149
– LISS 149
– NCB 149
pertrochantäre Fraktur 116
Pollerschraube 189
Polytrauma
– Damage Control 152
– Early Total Care 152
posttraumatischer Plattfuß 382
posttraumatisches Karpaltunnelsyndrom 103
Prévot-Nagel 68, 80, 81, 84, 195
primäre Arthrodese 212
primäre Knochenheilung 189
Proc. anterior calcanei 366, 370, 375, 379, 386
Proc. coracoideus Fraktur 431, 433
Proc. coronoideus 84
Proc. coronoideus Fraktur 58, 61, 62
Proc. coracoideus 14
Proc. odontoideus 238
Proc. spinosi 243
Proc. styloideus radii 84
Proc. styloideus ulnae 88
Proc. styloideus radii 80
Proc. coronoideus Fraktur 63
Protheseninfekt 128
Prothesen-Lockerung 128
Protrusio acetabuli 121
Proximale Oberarmfraktur
– avaskuläre Nekrose 26
– Constant-Murley-Score 25
– ESIN 25
– heterotope Ossifikation 26
– Neer-Klassifikation 25
– Omarthrose 26
– Prévot-Nagel 25
– Pseudarthrose 26
– Salter und Harris Klassifikation 24, 25
– subacromiales Impingement 26
proximaler Femurmarknagel 116
proximaler Femurnagel 120
proximaler Oberarm
– AO-Klassifikation 14, 15, 17, 20, 21, 22, 23
– Beach-chair-Position 22

– Fadenzuggurtung 21, 22
– Gilchrist-Verband 17
– Head-split-Fraktur 22, 24
– inverse Prothese 23
– Knochenersatzmaterial 21
– Luxationsfraktur 14, 22
– Neer-Klassifikation 14, 16, 20, 21, 22, 23, 24
– Osteoporose 23
– Rotatorenmanschette 14
– Scapula-Y-Aufnahme 14
– Schulterluxation 13
– – federnde Fixation 14
– subacromiales Impingement 22, 24
– subcapitale Humerusfraktur 13, 17, 18
– Tuberculum majus Fraktur 13, 14, 17, 19
– Tuberculum minus Fraktur 17, 19
proximaler Oberschenkel, AO-Klassifikation 107
proximaler Unterarm
– AO-Klassifikation 58
– Judet-Klassifikation 61
– Mason-Klassifikation 58
– Morrey-Klassifikation 59
– Plattenosteosynthese 63
– Regan und Morrey Klassifikation 58
– Schatzker-Klassifikation 59
– Schraubenosteosynthese 62
– Zuggurtungsosteosynthese 62
Pseudarthrose 126

R

Radiusköpfchenfraktur 58, 61, 63
Radiusköpfchenluxation 84
Radiusköpfchenprothese 66
Radiusköpfchenresektion 66
Radiusköpfchentrümmerfraktur 66
Regan und Morrey Klassifikation 58, 60, 61
reverse Barton Fraktur 88
R. infrapatellaris 403
Robert-Technik 49
Rockwood-Klassifikation 420
Rolando-Fraktur 340, 344
röntgendurchlässiges Winkelgetriebe 137
Rotationssubluxation 235
Rotatorenmanschette 14, 22, 23
Rotatorenmanschettenverletzung 428
R. superficialis nervi radialis 80, 88
Rückfuß 356, 357, 358, 361, 362
Rucksackverband 421
Rückschlagtechnik 188

S

Säbelhiebzugang 422
Sacrumfraktur 304
Salter und Harris Klassifikation 24, 25, 173, 229
Sanders-Klassifikation 364
Sarmiento-Brace 32, 38
Sarmientogips 182
Scaphoidfraktur 87, 333, 334, 336, 337
– Pseudarthrose 335, 338
– SNAC wrist 335
Scapulacorpusfraktur 428, 437
Scapulafraktur
– Acromion 428, 438, 439
– Acromionfraktur 427, 428, 431, 433, 435, 440
– Bankart-Fraktur 432, 434, 436
– Bankart-Läsion 428
– Bankart-Operation 438
– Clavicula 428
– Constant Score 440
– Coracoidfraktur 428, 435, 438, 440
– Corpus scapulae 435
– Desault-Verband 434
– Euler und Rüedi Klassifikation 430, 433, 435
– floating shoulder 431, 432, 433, 434, 436, 437
– Fossa glenoidalis 433, 438
– frozen shoulder 440
– Gilchrist-Verband 439
– Glenoidfraktur 432, 437, 440
– Incisura scapulae 432, 433
– Incisura scapulae syndrom 436
– Lig. acromioclaviculare 430
– Lig. coracoacromiale 430, 432
– Lig. coracoclaviculare 432
– Margo lateralis scapulae 438
– M. biceps brachii 433
– M. deltoideus 435, 439
– M. infraspinatus 428, 438, 439
– M. sternocleidomastoideus 428
– M. subscapularis 438
– M. supraspinatus 428
– M. teres minor 438, 439
– M. trapezius 428
– M. triceps brachii 433, 436
– N. axillaris 438, 440
– N. deltoideus 433
– N. suprascapularis 428, 436, 438, 439, 440
– OTA-Klassifikation 430, 433, 435, 436
– Plexus brachialis 427, 428
– Plexus cervicalis 428
– Proc. coracoideus-Fraktur 431, 433
– Pseudoparalyse 428
– Rotatorenmanschette 428
– Rotatorenmanschettenverletzung 428
– Scapulacorpusfraktur 428, 434, 437
– Scapulahalsfraktur 428, 431, 432, 433, 435, 437, 438, 440
– Schulterarthroskopie 428, 438
– Spina scapulae 435, 436, 438, 439
– Spina scapulae Fraktur 427, 435
– SSSC 428
– Sulcus deltoideopectoralis 438
– Traumaserie 428, 429
– traumatische Schulterluxation 436
Scapulahalsfraktur 428, 431, 432, 433, 435, 437, 438, 440
Schatzker-Klassifikation 59, 60, 158, 159
Schede-Stellung 99, 101
Schenkelhalsfraktur 106, 107, 108
– Frühkomplikationen 125
– Schraubenosteosynthese 113
Schenkelhalsschraube 120
Schmetterlingsfraktur 296, 300
Schulterarthroskopie 438
Schulterluxation 13, 14
Schwimmeraufnahme 254
SCIWORA-Syndrom 242, 256
Segond-Fraktur 160, 161, 164
sekundäre Knochenheilung 189
Singh-Index 105
skapholunäre Dissoziation 87
Skrotalhaematom 296
Sleeve-Fraktur 407, 413
Slice-Fraktur 241, 255, 261, 263, 264
SL-Ruptur 88
Smith-Peterson-Zugang 113, 114
Spaltfraktur 277, 289

Speck und Regazzoni Klassifikation 405, 406
Spina iliaca 311
Spina iliaca anterior superior 114
Spina scapulae Fraktur 435
Spongiosaplastik 140, 202
statische Verriegelung 185
Stecher Röntgenaufnahme 334
Stellschraube 223, 224, 227, 304
Sternoclaviculargelenksprengung 418
subacromiales Impingement 24
subkapitale Humerusfraktur 13, 18
subtrochantäre Fraktur 105, 106, 116, 118, 120, 135
Sulcus peronaealis 378
supracondyläre Femurfraktur 143
supracondyläre Humerusfraktur 47
Sustentaculum tali 357, 359, 362, 368
Symphysenruptur 302
Syndesmose 222, 223
Syndesmosensprengung 216, 230
Syndesmosenweite 217
Syndesmose, vordere 202

T

Tabula-Fixateur 243
talokruraler Winkel 216
Talonaviculargelenk 381
Talus (Sprungbein) 355, 356, 357, 358, 361, 366, 367, 375, 376, 378, 379, 380, 385
Talus-Fraktur 361, 366, 367, 371, 373
Talushalsfraktur 367
Tarsometatarsalgelenk 389
Tarsus (Fußwurzel) 356
Tear-drop-Verletzung 246
TEN 80
TFCC 84, 87
Thompson Zugang 80
Thromboseprophylaxe 112
Tibia 177
Tibiakopffraktur 169
– Aitken-Einteilung 173
– autologe Chondrozytentransplantation 175
– AO-Klassifikation 157, 158, 161
– ARIF 162
– Arthrofibrose 161, 162
– Augmentation 173
– biologische Osteosynthese 168
– continuous passive motion (CPM) 161, 172
– CRPS 155
– dashboard injury 163
– Depressions-Fraktur 156, 158, 173
– Depressions-Spalt-Fraktur 166
– Eminentiaausriss 157, 158, 159, 160, 162, 173
– Epiphysenlösung 173
– Ermüdungsbruch 156
– Fascienspaltung 157, 175
– Fasziotomie 160
– Femoralisangiographie 157
– Fibulaköpfchenfraktur 160
– Gastrocnemiustransfer 174
– Gustilo und Anderson Klassifikation 159
– hintere Kreuzbandruptur 165
– Hybridfixateur 173
– Impressions-Depressions-Fraktur 156, 167
– Impressionsfraktur 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 172, 173, 174
– Impressions-Spaltbruch 158
– ischämische Kontraktur 175
– Knochendefekt 157
– Knochenersatzmaterial 161, 164, 165, 172, 175
– Kompartmentsyndrom 155, 156, 157, 161, 164, 168, 175
– Komplexverletzung 156
– Kreuzbandruptur 160
– Kreuzbandverletzung 175
– Ligamentotaxis 160, 164, 168
– LISS 167, 173, 174
– Luxationsfraktur 157, 158, 160, 163, 165
– metaphysärer Knochendefekt 172
– Meyers und McKeever Klassifikation 158, 159
– Moore-Klassifikation 159, 160, 163
– NCB 174
– Ogden-Klassifikation 173
– osteochondrale Transplantation 175
– Pseudarthrose 175
– Salter-Harris-Klassifikation 173
– Schatzker-Klassifikation 158, 159
– Segond-Fraktur 160, 161, 164
– Seitenbandruptur 160
– Spaltbruch 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163
– Spätarthrose 175
– Trickey-Zugang 165
– Tscherne und Lobenhoffer Klassifikation 158
– Tscherne und Oestern Klassifikation 159
– Verbundosteosynthese 174
– Vierteilefraktur 160
– vordere Kreuzbandruptur 164
tibiofibularer Kompressionstest 216
Tibiofibulargelenk 177
Tillauxfraktur 228, 229
Tongue-Type 359, 363
Tossy-Klassifikation 420
Totalendoprothese 121
Tractus iliotibialis 137, 156, 164
traumatische Schulterluxation 436
traumatische Spondylolisthese 238, 245, 248, 249, 250, 251
Traynelis-Klassifikation 236, 237
Trendelenburg-Hinken 127
Trickey-Zugang 165
tricorticaler Beckenkammspan 251, 254
β-Trikalziumphosphat 98
Triplanefraktur 228, 229
Triquetrumfraktur 333
Triradiatezugang 325
Trochanterabstützplatte 116, 117
Trochanterhochstand 106
Trochanter major 106
Trochanterosteotomie 323
true a.-p. 216, 223
Tscherne und Lobenhoffer Klassifikation 158
Tscherne und Oestern Klassifikation 134, 159, 179, 181, 202
Tuber calcanei 357, 363, 367, 370, 371, 383
Tubercule de Chaput 202
Tuberculum majus 13, 14, 17, 22, 23
Tuberculum majus Fraktur 13, 14, 19
Tuberculum minus 13, 14, 17, 23
Tuberculum minus Fraktur 19
Tuberculum ossis naviculare 379
Tuber-Gelenkwinkel 359, 369
Tuberositas ossis metatarsalis V 391
Tuberositas ossis navicularis 375, 382, 387

Tuberositas tibiae 156, 164, 165, 173, 188, 412
Twoplanefraktur 229

U

Übergangsfraktur, Twoplanefraktur 227
UHN 35
unaufgebohrter Marknagel 184, 185, 187
Unterarmfraktur
– bowing deformation 75
– bowing fracture 75
– Brückenkallus 85
– DCP 77
– Grünholzfraktur 75, 85
– Kompressionsplattenosteosynthese 77
– LCDCP 77
– LCP 77
– Neutralisationsplattenosteosynthese 77
– Plattenosteosynthese 77, 78, 79, 85
– Prévot-Nagel 81, 85
– Sarmiento-Brace 75
– Spongiosaplastik 77
– Spucknapfstellung 75
– Synostose 85
Unterarmschaftbruch
– AO-Klassifikation 72, 73, 74
– Bado-Klassifikation 74
– biologische Osteosynthese 74
– CRPS 74
– Essex-Lopresti-Läsion 72, 74
– Galeazzi-Fraktur 71, 74
– Grünholzfraktur 71
– Kompartmentsyndrom 72
– Kompressionsplattenosteosynthese 72
– locking compression plate 74
– Luxationsfraktur 72
– Monteggia-Fraktur 71, 74
– Neutralisationsplattenosteosynthese 73
– Parierfraktur 71, 74
– Parona-Raum 72
– Prévot-Nagel 72, 74
– Pseudarthrose 74
Unterarmschaftfraktur
– bowing deformation 84
– bowing fracture 84
– Boyd Zugang 80
– Brückenkallus 80
– DRUG 84
– ESIN 80
– Fixateur externe 80, 83
– Galeazzi-Fraktur 84
– Grünholzfraktur 84
– Henry-Zugang 80
– Luxationsfraktur 83
– Monteggia-Fraktur 84
– N. musculocutaneus 80
– Plattenosteosynthese 80
– Prévot-Nagel 80, 82, 84
– Radioulnargelenk, distales 83
– Radiusköpfchenluxation 84
– Spucknapfstellung 84
– TEN 80
– Thompson-Zugang 80
– Ulnaköpfchenluxation 84
– Verbundosteosynthese 84
– Wulstfraktur 84
untere Halswirbelsäule 234
Unterschenkelschaftfraktur
– AO-Klassifikation 179, 180, 182, 183
– aufgebohrter Marknagel 184
– biologische Osteosynthese 191, 196
– biologische Plattenosteosynthese 189, 190
– Calcaneusextension 182
– CPM 193
– dashboard injury 187
– DCP 189
– Dermatofasziotomie 181
– Dermatotraktion 181
– dynamische Verriegelung 185
– Dynamisierung 185
– ESIN 194, 195
– Etagenfraktur 179, 181
– Fibulafraktur 178, 179
– Fibulaschaftfraktur 182
– geschlossene Fraktur 181
– Gustilo und Anderson Klassifikation 178, 179, 186, 188, 192, 198
– Keilfraktur 179
– Kompartmentsyndrom 178, 179, 181, 197, 199
– LCDCP 189
– limitiert aufgebohrter Marknagel 187
– limitierte Aufbohrung 184
– LISS 189, 190
– Maisonneuve-Fraktur 178
– Pollerschraube 188, 189
– Prévot-Nagel 195
– primäre Knochenheilung 189
– Pseudarthrose 198
– Querfraktur 183
– Rückschlagtechnik 188
– Sarmientogips 182
– sekundäre Knochenheilung 189
– selektive Femoralisangiographie 178
– Spiralfraktur 178, 179
– statische Verriegelung 185
– Syndesmosenverletzung 179
– Tscherne und Oestern Klassifikation 179, 181
– unaufgebohrter Marknagel 184, 185, 187
– Unterschenkelkompartiment 177
– Verfahrenswechsel 193, 197
– Weichteilschaden 181
Urethrozystographie 298

V

Vancouver-Klassifikation 132, 134
V. cephalica 21
ventrale Spondylodese 251, 257, 258
Verbundosteosynthese 39
Verfahrenswechsel 193, 197
Vertebra plana 289
Vertebroplastie 284, 285, 287
von-Laer-Klassifikation 44
vordere Hüftluxation 106
vorderes Längsband 260
Vorfuß 389
V. saphena magna 221, 225
V. saphena parva 368
Vulvahaematom 296

W

Watson-Jones-Zugang 114, 122
Weber und Marti Klassifikation 367
Weichteilschaden 202
– Gustilo-Anderson-Klassifikation 30
Winkelplatte 117
Winquist-Klassifikation 132
Winterstein-Fraktur 340, 344
Wirbelbögen 260

Wirbelfraktur (BWS, LWS)
– 2-Säulen-Modell 260
– 3-Säulen-Modell 260
– ankylosierende Spondylitis 287
– AO-Klassifikation 260, 262
– augmentierende Vertebroplastie 286
– Berstungsfraktur 260, 276, 277, 278, 279, 282, 283
– Berstungsspaltbruch 270, 271, 272
– Chance-Fraktur 261, 280
– Deckplattenimpressionsfraktur 269
– Distraktionsverletzung 261
– dorsale Spondylodese 267, 274, 275, 277, 278, 279, 280, 283, 290
– Facettengelenke 260
– Flexions-Distraktions-Verletzung 275, 277, 279, 291
– funktionelle Therapie nach Magnus 264
– Funktionsaufnahme 261
– Funktionsstörung 291
– Hemilaminektomie 266
– hinteres Längsband 260
– Impaktionsfraktur 261
– inkompletter Berstungsbruch 268, 272, 281
– Kalziumphosphatzement 286
– Keilfraktur 265
– Kneifzangenfraktur 260, 261, 262, 267
– komplette Berstungsfraktur 273, 274
– Kompressionsfraktur 259, 260, 266
– Korrekturverlust 281
– Krümmungswinkel nach Cobb 292
– Kyphoplastie 284, 286, 287, 288, 289
– Kyphose 285
– Kyphosierung 281
– Lagerung 281
– Laminektomie 266
– Lig. flavum 260
– Lumbotomie 282
– Magerl-Klassifikation 260, 262
– M. Bechterew 287, 290
– Metallentfernung 287
– Myelographie 266
– Navigation 281
– Osteoporose 284, 287, 289
– osteoporotische Sinterungsfraktur 285
– partielle Berstungsfraktur 269
– Pedikelschraube 266, 278
– Pincer-Fraktur 261, 262, 266
– postoperative Komplikationen 285
– posttraumatische Kyphose 290
– posttraumatische Skoliose 290
– Querschnittslähmung 259
– Querschnittssyndrom 292
– Radikulärsyndrom 292
– SCIWORA 287
– Slice-Fraktur 261, 263, 264
– Spaltfraktur 260, 277, 289
– spinale Dekompression 282
– Spinalkanalstenose 286
– Torsionsverletzung 259, 261
– Vertebra plana 289
– Vertebroplastie 284, 285, 286, 287
– visuelle Analogskala 284, 288, 289
– vorderes Längsband 260
– Wirbelbögen 260
– Wirbelkörperhaemangiom 284
– Zugang 282
Wulstfraktur 84, 101

Z

Z-Effekt 118
Zehenfraktur 389, 394, 397
Zuggurtungsosteosynthese 406, 410
Zwipp-Klassifikation 363
– Chopart-Gelenk 379
Zwipp-Score 363