

Distale Radiusfraktur – 20 Jahre winkelstabile Osteosynthese

■ Hans Ulrich Rudolph, Kay H. Schmidt-Horlohé, Johann Pichl, Reinhard Hoffmann

Zusammenfassung

Zur operativen Therapie distaler Radiusfrakturen wird die Technik der winkelstabilen Plattenosteosynthese seit 20 Jahren genutzt und hat sich weitestgehend gegenüber der Kompressionsplatte durchgesetzt. Während die Kompressionsplatte durch die Zugkräfte ihrer im Knochen verankerten Schrauben gegen den Knochen gepresst wird und diesen dadurch schient, gleicht das Prinzip der winkelstabilen Platte einem Fixateur externe, welcher die Fraktur überbrückt, anstatt sie zu schienen. Die mechanische Grundlage hierfür bildet ein Gewinde im Schraubenkopf und im entsprechenden Schraubenloch der Osteosyntheseplatte. Ein Abkippen oder axiales Abrutschen der Schrauben wird dadurch vermieden, die Schrauben bleiben in einem stabilen Winkel zur Platte: somit besteht Winkelstabilität. Frakturen des distalen Radius im Erwachsenenalter stellen eine häufige Verletzung dar. Die konservative Therapie durch Immobilisation führt bei stabilen Frakturen ohne Gelenkbetei-

ligung in der Regel zu guten Ergebnissen. Bei instabilen oder die Gelenkfläche einbeziehenden Frakturen ist das Ziel einer dauerhaft stabilen und schmerzfreien Gelenkfunktion oft nur mittels offener Reposition und übungstabiler Plattenosteosynthese zu erreichen. Die operative Therapie wird durch multifragmentäre Frakturformen und die oftmals schlechte Knochenqualität der bevorzugt im höheren Lebensalter vorkommenden Fraktur erschwert. Eine strenge Indikationsstellung auf Grundlage detaillierter Kenntnisse von Anatomie und Biomechanik, Zugangswegen und geeigneten Implantaten führt in den meisten Fällen zu guten Ergebnissen.

Distal Radius Fractures – 20 Years of Locking Compression Plates

The technique of locking compression plates (LCP) has been used for the operative treatment of distal radius fractures for 20 years and is gaining in importance compared to the dynamic compression plates (DCP). In contrast to the DCP,

which is pressed against the bone by the tractive forces of the screws, the principle of the newer LCP imitates an external fixator, which bridges the fracture rather than splinting it. A thread in the screw head and in the plate's corresponding screw hole enables this technique. A tilting or axial sliding of the screw is prevented and the screws remain in a fixed angle to the plate. Fractures of the distal radius in adults are the most common injury. In stable fractures without articular involvement the conservative treatment by immobilisation leads to good results in general. In unstable or intraarticular fractures the goal of a permanently stable and painless joint function often can only be achieved by means of open reduction and internal plate fixation. Surgical therapy is complicated by the multifragmentary injury patterns and the frequently poor quality of bone in a large proportion of elderly patients. Thorough indications based on detailed knowledge of the anatomy and biomechanics, approaches and appropriate implants lead to good results in most cases.

Anatomie und Biomechanik

Der distale Radius bildet zusammen mit der distalen Ulna und mit 3 der 4 proximalen Handwurzelknochen – dem Skaphoid, Lunatum und Triquetrum – das proximale Handwurzelgelenk.

Nach der klassischen 3-Säulen-Theorie verteilt sich die Belastung auf eine skaphoidale (Fossa scaphoidea), eine zentrale (Fossa lunata) und eine ulnotriquetrale (Fossa sigmoidea) Säule [25]. Hierbei tragen die skaphoidale und zentrale

Säule gemeinsam ca. 82% der axialen Last, die ulnotriquetrale Säule hingegen nur ca. 18% [42]. In-vivo-Druckmessungen legen eine andere Verteilung mit einer höheren Belastung der ulnotriquetralen Säule von ca. 55% nahe. Demnach tritt auch durch aktive Extension des Handgelenks keine wesentliche Änderung der Druckverteilung ein. Lediglich in Radial- und Ulnarabduktion verteilt sich der Druck vermehrt auf die Seite der Abduktionsrichtung [50,52]. Aus einer Krafteinleitung in Hyperextensionsstellung kann praktisch jede bekannte Frakturform resultieren, einschließlich des „die punch“-Fragments mit Aufsprengung der Radiusepiphyse in 4 Hauptfragmente. Als einzige Ausnahme setzt der dorsale Kantenabbruch (Bar-

ton-Fraktur) die Anwendung von Scherkräften mit Impaktierung der Gelenkfläche voraus [43].

Das Frakturmuster ergibt sich aus der Energiemenge, der Handgelenkstellung mit den resultierenden Kraftvektoren und aus der Knochenqualität.

Die Gefäßversorgung erfolgt epiphysär aus der A. radialis sowie aus dem palmar-karpalen und anterioren Ast der A. interossea anterior. Die Hauptversorgung des distalen Radius konzentriert sich in der Metaphyse, sie entstammt den Muskelästen des M. pronator quadratus und der A. interossea anterior [10,28]. Die Gefäßversorgung über den M. pronator quadratus hat eine wichtige nutritive

OP-JOURNAL 2012; 28: 148–159
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1315300>

Funktion für den distalen Radius, was es traditionell bei der Wahl des operativen Zugangs zu beachten galt. Klinisch scheint sich der palmare Zugang mit Dissektion des M. pronator quadratus ohne anschließende Naht jedoch nicht nachteilig auszuwirken [17].

Epidemiologie und Unfallmechanismus

Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur des erwachsenen Menschen. Die Inzidenz bei Frauen über 35 Jahre beträgt jährlich 370/100 000 und bei Männern über 35 Jahre 90/100 000 [38]. Die Altersverteilung ist zweipipflig, wobei der Hauptgipfel ab einem Alter von 85 Jahren bei Frauen mit einer jährlichen Inzidenz von 1200/100 000 Einwohnern und bei Männern von 280 bis 330/100 000 Einwohnern markiert wird [61].

Das Patientenalter zeigt einen Zusammenhang zu den typischen Unfallmechanismen und zur Frakturkomplexität. Bei jungen Patienten überwiegen hochenergetische Unfallmechanismen im Rahmen von Arbeitsunfällen und Sportverletzungen, welche gehäuft mit ligamentären Begleitverletzungen einhergehen. In der Gruppe der über 60-jährigen Patienten liegen der Verletzung oftmals einfache Stolperstürze zugrunde [43]. 83% der über 50-jährigen Patienten mit instabiler distaler Radiusfraktur nach Niedrigenergetrauma weisen eine verminderte Knochendichte auf [63]. Damit zählen distale Radiusfrakturen zu den typischen osteoporotischen Frakturen und sind nicht selten die Erstmanifestation einer bisher unbekannt und unbehandelten Osteoporose [31, 41, 62]. Daher sind bei entsprechender Unfallanamnese distale Radiusfrakturen im Alter und hierbei insbesondere metaphysäre Trümmerfrakturen ohne Gelenkbeteiligung (A3-Frakturen) und sowohl intraartikulär als auch metaphysär mehrteilige Frakturen (C3-Frakturen) als osteoporotische Frakturen zu betrachten und sollten eine entsprechende Diagnostik und Therapie nach sich ziehen [63].

Entsprechend der demografischen Entwicklung ist mit einer Zunahme der Inzidenz bei den distalen Radiusfrakturen im höheren Lebensalter auszugehen.

Diagnostik

Zu den unsicheren Frakturzeichen (Schmerz, Schwellung, Hämatom) findet sich üblicherweise eine schmerzhaft ein-

geschränkte Gelenkfunktion (Functio laesa) und eine teilweise erhebliche Fehlstellung.

Neben der Unfallanamnese kommt der allgemeinen Krankheitsanamnese interner Grunderkrankungen (Malignome, systemische Kortisontherapie) und sowohl vorausgegangener Verletzung des Handgelenks als auch bereits prätraumatisch bestehender Gelenkstörungen (rheumatoide Arthritis, vorbestehende Bewegungslimitierung) eine besondere Bedeutung zu.

Nach der Inspektion, Palpation und Bewegungsprüfung des Handgelenks ist die Untersuchung der angrenzenden Gelenke und des Handgelenks der Gegenseite immer durchzuführen. Insbesondere bei axialen Stauchungstraumen sind Verletzungen der Handwurzel möglich, bspw. ein begleitender Riss der skapholunären Bänder oder ein Kahnbeinbruch. Außerdem muss eine Kombinationsverletzung von Ellenbogen und Unterarm (Galeazzi-Fraktur, Monteggia-Fraktur und Monteggia-like-Lesion) ausgeschlossen werden. Die erhobenen Befunde sind sorgfältig zu dokumentieren, bei Weichgewebsschäden wird zur Verlaufsbeurteilung eine Fotodokumentation empfohlen.

Prä- und postoperativ sind zur Wahl des Therapieregimes sowie zur Kontrolle des Behandlungserfolgs die Frakturgeometrie und Gelenkwinkel zu bestimmen [20].

Die Beurteilung des Röntgenbilds in 2 Ebenen als Standardbildgebung umfasst die Messung der radialen Länge („ulnar variance“), des frontalen Radiusgelenkwinkels (radiale Inklination) und des dorsopalmaren Radiusgelenkwinkels (palmare Inklination). Da die palmare und dorsale Begrenzung der radialen Gelenkfläche im a.-p. Strahlengang nicht kongruent übereinander projiziert ist und somit 2 unterschiedliche Referenzpunkte entstehen, wird die Mitte zwischen dorsoulnarer und palmar-ulnarer Begrenzung der radialen Gelenkfläche als Referenzpunkt gewählt [34].

Die radiale Länge zeigt physiologisch eine leichte Ulna-Minus-Variante und beträgt im Mittel + 0,9 (– 4,2 bis 2,3 mm). Sie weist eine erhebliche Varianz auf und muss mit der unverletzten Gegenseite korreliert werden [20, 55]. Die palmare Inklination beträgt im Mittel 10° (5–12°), die radiale Inklination im Mittel 24° [34, 40].

Wenn das Ausmaß der knöchernen Verletzung mittels konventioneller Röntgendiagnostik nicht sicher zu erfassen ist, ist die Indikation zur CT-Diagnostik großzügig zu stellen.

Dreidimensionale Rekonstruktionen der Fraktur erleichtern ihr Verständnis und ermöglichen eine detaillierte OP-Planung. Im Falle eines ulnaren Kantenfragments, dessen dorsale oder palmare Lage nicht zweifelsfrei festzustellen ist, hat die CT-Diagnostik unmittelbaren Einfluss auf die Zugangswahl, da dislozierte dorsoulnare Kantenfragmente von palmar aus nur schwer zugänglich sind [13].

Frakturklassifikation

Frakturen des distalen Radius werden in Deutschland üblicherweise entsprechend der von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen vorgeschlagenen AO-Klassifikation eingeteilt [36].

Bei der AO-Klassifikation werden vollständig extraartikuläre Frakturen (A-Frakturen) von partiell intraartikulären Frakturen (B-Frakturen) und vollständig intraartikulären Frakturen (C-Frakturen) unterschieden.

Einige besonders häufige oder charakteristische Frakturformen tragen historische Bezeichnungen, bspw. die extraartikuläre, dorsal dislozierte Colles- oder Pouteau-Fraktur, die extraartikuläre, palmar dislozierte Smith-Fraktur und die partiell-intraartikuläre Barton-Fraktur mit Dislokation des Karpus nach dorsal.

Weitere Klassifikationen sind die Frykman-Klassifikation mit Berücksichtigung einer Begleitfraktur des Processus styloideus ulnae, die Melone-Klassifikation mit Unterscheidung der 4 Hauptfragmente Schaft, Processus styloideus radii, dorso-medialer Gelenkfacette und palmar-medialer Gelenkfacette. Die Fernandez-Klassifikation trägt neben dem Verletzungsmechanismus auch dem Patientenalter, der Stabilität, dem Dislokationsgrad und der Fragmentierung Rechnung und leitet daraus eine Therapiestrategie ab.

43–46% der Frakturen des distalen Radius sind extraartikulär. Von diesen haben Frakturen mit dorsaler Trümmerzone (A3) einen Anteil von ca. 40%. Partielle intraartikuläre Frakturen sind mit insgesamt 16,3% selten. Vollständig intraartikuläre Frakturen sind mit 41–54% äh-

lich häufig wie extraartikuläre Frakturen. Einfache Gelenkfrakturen mit metaphysärer Trümmerzone (C2) und komplexe Gelenkmehrfachfrakturen (C3) sind häufiger als einfache Gelenkfrakturen ohne metaphysäre Trümmerzone (C1) [8,10,44]. Das Ausmaß des begleitenden Weichgewebsschadens nimmt in der Regel mit der Frakturschwere zu. Daher sollte eine Einteilung gemäß der Klassifikation nach Tscherny und Oestern oder Gustilo-Anderson erfolgen [1, 39].

Therapieformen

Die geschlossene Reposition und äußere Schienung als konservative Therapie der distalen Radiusfraktur wird seit mindestens 5000 Jahren praktiziert. Bereits im Ägypten des 3. Jahrtausends vor unserer Zeitrechnung wurde die Ruhigstellung mit hölzernen Schienen und Leintüchern durchgeführt [6].

Für stabile Frakturen ohne Gelenkbeteiligung ist die konservative Behandlung mit geschlossener Reposition und Gipschienenruhigstellung immer noch der Therapiestandard.

Zur Reposition findet im eigenen Vorgehen der Aushang über Daumen, Zeige- und Ringfinger im sog. Mädchenfänger statt. Unter Röntgendurchleuchtungskontrolle kann die ligamentotaktische Reposition gegebenenfalls über Druck von dorsal unterstützt werden. Ebenfalls möglich ist der manuelle Zug mit Abstützung des Oberarms über ein Hypomochlion. In der Regel ist eine orale oder intravenöse Analgetikagabe ausreichend, bedarfsweise kann ergänzend eine inhalative Analgesie erfolgen, bspw. mit einem Distickstoffmonoxid-Sauerstoff-Gasgemisch. Alternativ ist die Bruchspaltanästhesie unter streng sterilen Kautelen zu erwägen. Es handelt sich um ein invasives Verfahren, über dessen mögliche Gefahren – bei falscher Anwendung ist in seltenen Fällen ein Kompartmentsyndrom möglich [66] – aufgeklärt werden muss. Valide Daten zur potenziell erhöhten Infektionsrate und zur Effektivität dieses Verfahrens liegen nicht vor, die jüngsten Daten hierzu sind gut 20 Jahre alt [21]. Daher findet die Bruchspaltanästhesie im eigenen Vorgehen selten Anwendung.

Im Anschluss an die Reposition wird ein Gipschienenverband von dorsal an den Unterarm modelliert. 24 Stunden nach Gipsanlage ist eine Gipsnachschaubildung

Kontrolle der korrekten Lage, des Auftretens von Druckstellen und einer intakten peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität durchzuführen. Nach Abschwellung der Weichgewebe ca. 3–5 Tage nach dem Trauma kann die Gipschiene bedarfsweise auf einen zirkulären Baycast umgestellt werden. Initial nach Reposition sollte kein Baycast Verwendung finden, da eine zunehmende Weichgewebsschwellung innerhalb der ersten 3 Tage weniger gut kompensiert werden kann. Die Ruhigstellung erfolgt in der Regel für 4–5 Wochen.

Die Verwendung einer volaren Schiene sollte vermieden werden, da eine u.U. schwerwiegende Störung der Wahrnehmung und des Gebrauchs der Hand bereits nach 2-wöchiger Ruhigstellung resultieren kann.

Die konservative Behandlung umfasst engmaschige Röntgenkontrollen: Vor und nach Reposition und bspw. nach 1, 3 und 6 Wochen.

Bei einer Sekundärdisklokation sind wiederholte Repositionsversuche zu vermeiden, da die Entstehung eines komplex-regionalen Schmerzsyndroms (CRPS) Typ I droht.

Stattdessen muss erneut die Indikation zur operativen Versorgung gründlich geprüft werden.

Albin Lambotte begründete 1908 die operative Therapie der distalen Radiusfraktur, indem er mit einem perkutan eingebrachten Metalldraht das radiale Styloid fixierte [48]. Lorenz Böhler beschrieb 1929 die Kombination aus Drahtosteosynthese und Gipsruhigstellung [5].

Gerade bei eingestauchten Frakturen blieb jedoch die Gefahr einer Verkürzung der radialen Länge mit damit einhergehender Gefügestörung am distalen Radioulnargelenk (DRUG). Hier fand zunehmend das Konzept der Ausheilung unter Zug Verbreitung. Der Zugverband von Donald Murray als konservative Maßnahme aus dem Jahr 1938 beinhaltete bereits das Prinzip von Ausrichtung und permanentem Längszug der Fraktur [37]. Die operative Umsetzung dieses Prinzips erfolgte im gleichen Jahr durch Raoul Hoffmann mit dem 1. Fixateur externe am distalen Radius, der sich mit seiner doppelten Rahmenkonstruktion deutlich von dem 1. externen Ringfixateur von Hey Groves aus dem Jahr 1916

zur Behandlung von Unterschenkelfrakturen unterschied [18].

Weitere Designs am distalen Radius folgten, wie das von Anderson und O'Neill im Jahr 1944 [2] und schließlich der Hoffmann-II-Fixateur Ende der Neunzigerjahre.

Die ersten Berichte über Osteosynthesplatten stammen aus dem Jahr 1886 [12]. Robert Danis entwickelte 1938 die 1. Druckplatte zur stabilen Knochenheilung am Unterarm. Seit 1960 steht ein ständig wachsendes Repertoire genormter Schrauben und Platten mit dazugehörigem Instrumentarium zur Verfügung [47]. Zur Osteosynthese komplexer distaler Radiusfrakturen sind diese dynamischen Kompressionsplatten (dynamic compression plate \triangleq DCP) jedoch nur eingeschränkt geeignet und die Ergebnisse blieben unbefriedigend, weil eine nicht winkelstabile Schrauben-Platten-Verbindung den Dislokationskräften instabiler Frakturen, insbesondere am osteoporotisch umgebauten Knochen, nicht entgegenwirken kann.

Auf Grundlage der Forderungen von Mast, Jakob und Ganz aus dem Jahr 1989 [32] wies Perren 1990 nach, dass eine anatomische Rekonstruktion nicht für den dia- und metaphysären Bereich, sondern lediglich für den epiphysären und intraartikulären Bereich erforderlich ist. Der Grundsatz der Frakturzonenkompensation und anatomischen Rekonstruktion wird durch das Konzentrieren auf die Reposition gelenkbildender Anteile und insbesondere durch die verminderte Kompression der Platte auf Knochen und Periost ersetzt [45]. Seither zeichnet sich ein klarer Trend hin zur operativen Versorgung ab [10].

Perren leitete vor gut 20 Jahren mit der Einführung winkelstabiler Platten einen Paradigmenwechsel mit einem klaren Trend hin zur operativen Versorgung ein.

Perrens Forderungen werden durch winkelstabile Osteosynthesplatten und -schrauben umgesetzt, indem diese zum einen die Verankerung im beim vorwiegend älteren Patienten oft osteoporotischen Knochen deutlich verbessern und zum anderen durch das Prinzip der Überbrückung deutlich günstigere biomechanische Eigenschaften haben, mehr Stabilität bieten und die Rate an Sekundärdisklokationen senken. Dieser Vorteil kommt insbesondere bei hochgradig in-

stabilen Frakturen mit ausgeprägten Trümmerzonen zum Tragen.

Die winkelstabile Platte hat die Kompressionsplatte in der operativen Therapie der distalen Radiusfraktur heute weitgehend ersetzt und auf wenige Ausnahmeindikationen zurückgedrängt.

Ziel der konservativen und der operativen Behandlung ist eine suffiziente Reposition und Retention in weitgehend anatomischer Stellung bis zur abgeschlossenen Frakturheilung. Wenn dies mit konservativen Maßnahmen nicht erreichbar ist, ist die operative Therapie indiziert [57].

Zur Entscheidung können Instabilitätskriterien herangezogen werden, die anhand der Parameter palmare Inklination, Verlust der radialen Länge und Gelenkstufenbildung eine Einteilung in undislozierte, minimal dislozierte und dislozierte Frakturen ermöglichen (Tab. 1) [27,29].

Eine adäquate Reposition liegt nach Erreichen einer palmaren Inklination $\geq 0^\circ$, einer radialen Länge mit einem Verlust von höchstens 3 mm und einer Gelenkstufe von höchstens 1 mm vor [29]. Eine frühe Instabilität und eine Sekundärdislokation werden durch ein Patientenalter von mehr als 80 Jahren, eine dorsale Frakturdislokation von mehr als 10° , das Vorhandensein einer dorsalen Trümmerzone, eine Dislokation nach palmar, eine Änderung der radialen Inklination von mindestens 5° , einen Verlust der radialen Länge von mehr als 2 mm und eine Gelenkstufenbildung von mehr als 1 mm begünstigt [27].

Ziel der operativen Therapie distaler Radiusfrakturen ist die Wiederherstellung einer dauerhaft stabilen und schmerzfreien Gelenkfunktion.

OP-Vorbereitung, Lagerung und operative Zugänge

Der Operationszeitpunkt richtet sich im Wesentlichen nach dem Unfallzeitpunkt und der begleitenden Weichgewebeschwellung.

Wenn keine zeitnahe Versorgung der Fraktur möglich ist, muss eine temporäre Gipsschienenruhigstellung oder im Falle offener Frakturen oder bei im Gipsverband persistierender Dislokation das Anlegen eines gelenküberbrückenden Fixateur externe erfolgen.

Tab. 1 Dislokationsgrade distaler Radiusfrakturen [27,29].

	minimal disloziert	disloziert
palmare Inklination	$\leq 10^\circ$	$> 10^\circ$
Verlust der radialen Länge	< 3 mm	> 3 mm
Gelenkstufe	≤ 1 mm	> 1 mm

Die perioperative Antibiotikaphylaxe sollte 30 Minuten vor Hautschnitt und vor dem Schließen der Oberarmblutsperre erfolgen.

Die Oberarmblutsperre sollte immer vorbereitet werden, ob diese dann genutzt wird, hängt vom OP-Verlauf ab. Eine Blutsperre über 120 Minuten sollte vermieden werden.

Der Patient wird auf dem Rücken liegend gelagert, das gilt sowohl für den ventralen als auch für den dorsalen Zugang. Die verletzte Extremität wird dabei gestreckt über einen Armtisch in 90° Abduktion ausgelagert (Abb. 1a). Die Supination und Pronation sollte jeweils zu mindestens 90° möglich sein. Für den dorsalen Zugang bietet es sich an, den Arm im Ellenbogengelenk in eine leichte Flexions- und im Schultergelenk in eine leichte Innenrotationsstellung zu bringen.

Sollte bei schweren Frakturen die präoperative CT eine artikuläre oder metaphysäre Trümmerzone mit Substanzverlust erahnen lassen, sollte die Indikation zur Spongiosoplastik geprüft werden. In diesem Fall muss eine Entnahmestelle (z. B. am vorderen oder hinteren Beckenkamm) zugänglich sein.

Der operative Zugang hängt maßgeblich von der Frakturmorphologie und den Begleitverletzungen ab.

Palmare Zugänge

Indikation: Frakturen vom Typ AO 23 A2 und A3, B1 und B3 sowie C1–3 ohne relevante dorsale Pathologie

Der palmare, modifizierte Henry-Zugang stellt den Standardzugang in der Versorgung komplexer Frakturen des distalen Radius dar.

Die palmaren Zugänge sind der modifizierte Henry-Zugang und der erweiterte Karpaltunnelzugang. Der modifizierte

Henry-Zugang eignet sich zur Darstellung der meisten Frakturen des distalen Radius. Während der klassische Henry-Zugang zwischen der A. radialis und dem M. brachioradialis erfolgt, wird beim modifizierten Henry-Zugang die Sehnenfaszie des M. flexor carpi radialis längs gespalten und zwischen ihr und der A. radialis eingegangen (Abb. 1b).

Nach Spaltung des Retinaculum flexorum wird die A. radialis zusammen mit dem M. brachioradialis nach radial gehalten. Die Sehnen der Mm. flexor carpi radialis und flexor pollicis longus werden mittels Selbsthalter, Langenbeck- oder Hohmann-Haken nach ulnarseitig gehalten. Unter Belassen eines ca. 5 mm messenden Saums wird der M. pronator quadratus am radialen Ansatz durchtrennt und nach ulnar abgeschoben (Abb. 1c) [15]. Da es hier erfahrungsgemäß zu störenden Blutungen kommen kann, kann es vorteilhaft sein, die angestrebte Durchtrennungslinie mit dem Elektrokauter zu koagulieren.

Wenn zusätzlich zur Fraktur bei einer vorbestehenden oder neu aufgetretenen Läsion der N. medianus adressiert werden soll, ist der erweiterte Karpaltunnelzugang geeignet. Darüber hinaus ermöglicht er die Darstellung des distalen Radioulnargelenks (DRUG). Der Zugang erfolgt weiter ulnar als der modifizierte Henry-Zugang, über dem N. medianus zwischen den Sehnen von M. flexor carpi radialis auf der radialen Seite und denen von M. palmaris longus und flexor digitorum superficialis auf der ulnaren Seite. Zur Mobilisierung des durch diesen Zugang gefährdeten N. medianus muss ebenfalls das Retinaculum flexorum gespalten und damit der Karpaltunnel eröffnet werden. Um nun den Eintrittspunkt des N. medianus in den Karpaltunnel darzustellen, wird der M. palmaris longus nach ulnar gehalten. Der N. medianus kann nun mobilisiert werden. Proximal des Retinaculum flexorum sollten der sensorische und unterhalb der motorische Ramus palmaris geschont werden.

Als Standardzugang ist der modifizierte Henry-Zugang zu empfehlen, da über den erweiterten Karpaltunnelzugang der distale Radius schlechter darzustellen ist. Daher sollte der erweiterte Karpaltunnelzugang ausschließlich Spezialindikationen zur Adressierung des N. medianus vorbehalten sein.



Abb. 1 a Lagerung auf dem Armtisch.



Abb. 1 b Sehnenfaszie des M. flexor carpi radialis.

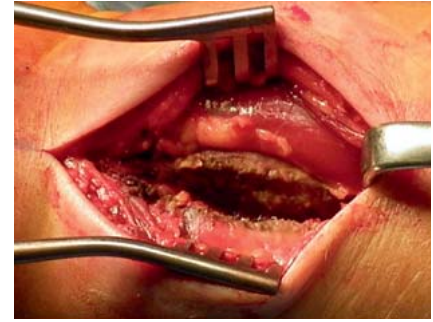


Abb. 1 c Nach Durchtrennung des M. pronator quadratus.

Dorsaler Zugang

Indikation: Frakturen vom Typ AO 23 B2, C1–3 mit überwiegend dorsaler oder nicht von volar adressierbarer Pathologie

Aufgrund der erhöhten Gefahr von Strecksehnenläsionen sollte der dorsale Zugang Frakturen vorbehalten sein, die auch mit modernen multidirektional-winkelstabilen Implantaten nicht sicher von ventral zu stabilisieren sind.

Aus biomechanischer Sicht bietet der dorsale Zugang gute Möglichkeiten der Stabilisierung und Rekonstruktion aller 3 Säulen des distalen Unterarms. Die radiale Länge kann sehr sicher wiederhergestellt und dadurch das DRUG anatomisch rekonstruiert werden. Jedoch ist der dorsale Zugang zum einen technisch anspruchsvoller als der palmare Zugang, zum anderen ist eine hohe Rate an Strecksehnenirritationen und -rupturen beschrieben [49].

Je nach Frakturlokalisierung sind 4 verschiedene dorsale Zugänge möglich, von denen der Zugang im 3. Strecksehnenfach hier exemplarisch dargestellt wird. Er ermöglicht die Darstellung der skaphoidalen, der zentralen und im begrenzten Umfang auch der ulnotriquetralen Säule. Die dorsale Inzision verläuft vom distalen Kahnbeinpol über die Basis des radialen Styloids nach proximal. Zur Darstellung der skaphoidalen Säule wird die Subkutis unter Schonung des sensiblen Astes des N. radialis nach radial abpräpariert. Das 2. Strecksehnenfach sollte dabei nicht eröffnet werden.

Der Zugang zur zentralen Säule erfolgt nach dem Hautschnitt zwischen den Sehnenfächern der Mm. extensor carpi radialis longus et brevis und dem Fach des M. extensor pollicis longus. Hierzu wird durch einen winkelförmigen

Schnitt ein Lappen geschaffen, der Schnitt kann nach proximal über dem Radiuschaft verlängert werden. Die Sehne des M. extensor pollicis longus wird angeschlungen und nach radial gehalten. Jetzt kann das 4. Strecksehnenfach mit dem Raspatorium en bloc subperiostal abgeschoben und dadurch die zentrale Säule dargestellt werden. Über eine begrenzte seitliche Arthrotomie, bei der der proximale Anteil der Gelenkkapsel mittels Naht nach proximal gezogen wird, können die radiokarpale Gelenkfläche und die proximale Handwurzelreihe dargestellt werden.

Da die Hauptgefährdung einer Sehnenirritation oder -ruptur für die Sehne des M. extensor pollicis longus besteht, wird diese nach subkutan verlagert. Dazu wird zum Wundverschluss der winkelförmige Retinakulumlappen unterhalb der Sehne und oberhalb der eingebrachten Metallimplantate verschlossen.

Zugang zum Processus styloideus radii

Indikation: gering dislozierte B1.1-Frakturen ohne wesentliche Gelenkinkongruenz

Der Zugang zum Processus styloideus radii eignet sich für den Ausnahmefall der gering verschobenen, instabilen B1.1-Frakturen. Die Hautinzision erfolgt geradlinig über der Tabatiere, sie kann bedarfsweise S-förmig nach distal und proximal erweitert werden. Zu schonen sind dabei der R. superficialis nervi radii sowie die Sehnen des 1. und 3. Strecksehnenfachs. Die nach S-förmiger Schnitterweiterung entstandenen Hautlappen können stumpf oberhalb der Faszie und des Retinakulum extensorum zur Seite präpariert werden. Zwischen dem 1. und 3. Strecksehnenfach wird stumpf in die Tiefe auf den Processus styloideus radii präpariert. Im Bedarfsfall ist ein Release

der Gelenkkapsel zur besseren Frakturdarstellung möglich.

Biomechanik und Osteosynthesematerialien

Fixateur externe

Bei frakturbedingt erheblicher Instabilität mit begleitendem, hochgradig offenem oder geschlossenem Weichgewebs-trauma stellt die Ruhigstellung im Fixateur externe die primäre Stabilisierung der Wahl dar. Insbesondere im Rahmen einer Polytraumatisierung erlaubt der Fixateur externe im Gegensatz zur Gips-schienenruhigstellung eine vereinfachte Behandlungspflege.

Die Platzierung der Schanz-Schrauben (bzw. der Kirschner-Drähte beim Mini-fixateur) erfolgt proximal in den Radiuschaft und distal in den MHK 2. Die Stichinzision erfolgt dorsolateral. Die Pins an Radiuschaft und MHK 2 werden jeweils parallel zueinander eingebracht. Über die Schrauben bzw. Kirschner-Drähte erfolgt eine Rohr-zu-Rohr-Montage.

Bereits in dieser Phase sollte die Position der Pins mit Hinblick auf die definitive Versorgung gewählt werden. Die Pinlöcher stellen eine Schwächung der kortikalen Struktur dar und können bei an diesen Punkten endender Osteosynthese eine periimplantäre Fraktur begünstigen.

Nach Stabilisierung des Allgemeinzustands des Patienten und Konsolidierung der Weichgewebe erfolgt dann in der Sekundärphase die definitive operative Versorgung der Fraktur.

Zusätzlich kann der Fixateur externe bei verbliebener Instabilität nach Osteosynthese Verwendung finden.

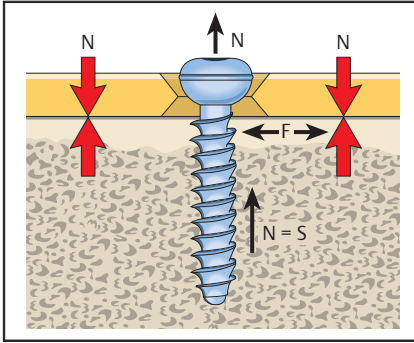


Abb. 2a Bei der konventionellen Platte erzeugen die Schraubenzugkräfte eine Kompressionskraft (N) zwischen Knochen und Platte. Durch Reibung zwischen Platte und Knochen sind Kräfte (F) vom proximalen zum distalen Fragment übertragbar. Scherkräfte (S) an der Grenzfläche von Schraube und Knochen treten überwiegend durch die Schraubenzugmomente auf (Aus: Claes L. Das Prinzip der winkelstabilen Platte – Eine kritische Bewertung. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2011; 6: 1–16) [7].

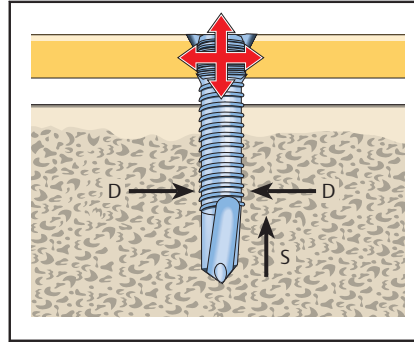


Abb. 2b Bei der winkelstabilen Platte werden die Kräfte direkt zwischen Schrauben und Knochen überwiegend durch Druckbelastung (D) übertragen. Scherkräfte (S) an der Grenzfläche von Schraube und Knochen treten vorwiegend durch äußere Belastungen auf (Aus: Claes L. Das Prinzip der winkelstabilen Platte – Eine kritische Bewertung. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2011; 6: 1–16) [7].

Kirschner-Drähte

Die isolierte K-Draht-Osteosynthese bietet keine ausreichende Primärstabilität, um eine funktionelle Nachbehandlung zu gewährleisten. Eine ergänzende Gipschienenruhigstellung für in der Regel 4 Wochen ist notwendig. Dennoch sind Sekundärdisklokationen häufig – insbesondere beim älteren Patienten [24]. Dieses Verfahren sollte nur bei Frakturen im Kindes- und Wachstumsalter angewendet werden. Im Ausnahmefall des alten und sehr alten Menschen kann es zudem im Sinne einer additiven Sicherung genutzt werden, wenn die Fraktur für ein rein konservatives Vorgehen zu instabil ist, aber ein erniedrigter Aktivitätsanspruch des Patienten keine Plattenosteosynthese rechtfertigt. Regelmäßige Verwendung finden K-Drähte intraoperativ für die temporäre Fragmentfixierung.

Schrauben

Kanülierte Schraubensysteme kommen in Ausnahmefällen ergänzend zur Plattenosteosynthese oder alleinstehend zur Fixierung radialer Styloidfragmente (B1.1- und B1.2-Frakturen) zur Anwendung. Eine isolierte Schraubenosteosynthese bietet in den übrigen Fällen keine primäre Übungsstabilität, sodass eine Schraubenosteosynthese in der Regel durch eine Plattenosteosynthese gesichert wird.

Konventionelle Osteosyntheseplatten

Die Osteosyntheseplatte wird mit mehreren Schrauben an die Knochenfragmente gezogen und damit befestigt. Kräfte können über die Platte vom einen zum anderen Fragment übertragen werden, solange die Platte nicht gegenüber dem Knochen verrutscht. Diese Stabilität wird durch die durch die Schrauben erzeugte Kompression der Platte an den Knochen realisiert. Im gesunden diaphysären Knochen können Schraubenzugkräfte ausreichend erzeugt und dadurch belastungsstabile Osteosynthesen ermöglicht werden (**Abb. 2a**).

Durch den Anpressdruck an den Knochen wird die periostale Durchblutung kompromittiert.

Der spongiöse Knochen an der Meta- und Epiphyse und insbesondere der osteoporotische Knochen limitiert die Schraubenzugkräfte stark und schränkt damit die Belastbarkeit der Osteosynthese ein. Auf dieses Problem ging man mit der Entwicklung winkelstabiler Platten ein [7].

Winkelstabile Platten (LCP, locking compression plate)

Winkelstabile Platten verlagern das Prinzip des Fixateur externe nach subkutan, indem die Schrauben über ein Gewinde zwischen Schraubenkopf und dem dafür vorgesehenen Loch in der Platte fest verriegelt werden.

Dadurch wird ein Abkippen oder Abrutschen der Schrauben vermieden (**Abb. 2b**). Das Gewindeloch gibt die Richtung der Schraubenplatzierung fest vor, was den Operateur in der Schraubenpositionierung sehr einschränkt. Technische Lösungsansätze für dieses Problem sind vorgeformte Platten, die der Anatomie des distalen Radius angepasst sind. Später waren diese anatomisch vorgeformten Platten zudem nachträglich durch den Operateur leichter anzupassen, was die Freiheit der Schraubenpositionierung in sehr begrenztem Ausmaß erweitert. Schließlich ermöglichte die Technik der polyaxialen winkelstabilen Platte eine erhebliche Erweiterung der Einbringungsmöglichkeiten. Der Gewinn an Freiheit beträgt bei den meisten dieser neueren Implantate in jeder Richtung 15° . Ermöglicht wird dies durch jeweils unterschiedliche Ansätze, sei es durch ein Titanschraubengewinde, das sich in ein weiches Plattenmaterial einschneidet [56], sei es durch ein mehrgängiges, mehrfach unterbrochenes Plattenlochgewinde, in dem sich das Schraubenkopfgewinde verkantet [19].

Aufgrund kleinerer Gewindeprofile relativ zum Außendurchmesser größerer Kerndurchmesser ist die Schraube im Gegensatz zu den nicht winkelstabilen Kompressionsplatten biegesteifer und die Kontaktfläche zwischen Kerndurchmesser und Knochen größer. Dies resultiert in größeren übertragbaren Kräften senkrecht zur Schraubenlängsachse [7].

Die Überlegenheit winkelstabiler Implantate in der Versorgung distaler Radiusfrakturen wurde in klinischen Studien nachgewiesen. So zeigte sich ein sicherer Schrauben- und Plattenhalt insbesondere im osteoporotischen Knochen und die Sekundärdisklokationsrate konnte im Vergleich zu nicht winkelstabilen Implantaten reduziert werden, in der Arbeit von Walz sogar von 40 auf 4,6% [33, 65]. Dennoch sind die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen teilweise weniger überzeugend, als ursprünglich angenommen wurde [59]. Als Gründe für ein Osteosyntheseversagen trotz winkelstabiler Implantate konnten einige typische Fehlerquellen identifiziert werden: zu kurze Platten, bei Mehrteilfrakturen zu frakturferne Schrauben, zu kleine frakturnahe Schraubenabstände bei abstützenden Frakturen mit kleinen Frakturspalten oder Knochenkontakt, Besetzung zu vieler frakturferner Plattenlöcher mit Schrauben [7].

Frakturversorgung

A-Frakturen

Vollständig extraartikuläre Frakturen des distalen Radius eignen sich zur konservativen Therapie, sofern sie stabil sind und keine relevante Trümmerzone vorliegt (A2-Frakturen) [44]. Zur Entscheidungsfindung ist der Ausschluss oder Nachweis einer Trümmerzone zwingend erforderlich und gegebenenfalls mittels CT zu erzwingen. Eine Trümmerzone mit einer Größe von mindestens 2 mm geht mit einer hohen Sekundärdislokationsrate einher und rechtfertigt die Indikation zur primären Operation [9]. Ein weiterer prognostischer Faktor ist ein höheres Patientenalter, da es mit einer erhöhten Sekundärdislokationsrate assoziiert ist. Der Versuch einer konservativen Behandlung kann daher beim bis 44-jährigen Patienten eher als beim über 65-jährigen unternommen werden [30]. Die Kirschner-Draht-Osteosynthese mit ergänzender Gipsschienenruhigstellung für in der Regel 4 Wochen findet im eigenen Vorgehen nur bei kindlichen Frakturen Anwendung. Bei älteren Patienten und bei dorsaler Trümmerzone sind Sekundärdislokationen trotz fixierender Bohrdrähte häufig, dennoch konnte sich die Plattenosteosynthese erst mit Einführung der winkelstabilen Technik durchsetzen. Die konservative Therapie führt außerdem bei über 70-jährigen in 89% zur Heilung in Fehlstellung (Malunion). Eine Sonderstellung nehmen geriatrische Patienten mit einem niedrigen Aktivitätsniveau ein, die in 4-Jahres-Ergebnissen nach konservativer Therapie bei mit der operativen Therapie vergleichbaren klinischen Ergebnissen weniger Schmerzen beklagen, sodass im Einzelfall auch bei instabilen Frakturen eine konservative Therapie versucht werden kann [3].

Die Plattenosteosynthese als Standardverfahren der Behandlung von instabilen A2- und A3-Frakturen kann von dorsal und von palmar erfolgen. Aufgrund der deutlich günstigeren Weichgewebssituation und eines größeren Abstands zum Sehngewebe hat sich die technisch einfachere winkelstabile Plattenosteosynthese von palmar weitgehend gegenüber der Instrumentierung von dorsal durchgesetzt. Sie ist der Befestigung von dorsal auch bei dorsal dislozierten Frakturen biomechanisch nicht unterlegen [23]. Nach palmar dislozierte A-Frakturen sollten von palmar gestützt werden, wobei in der Regel eine Kompressions-

platte ausreicht und kein winkelstabiles Implantat erforderlich ist [10].

Bei der Plattenosteosynthese von palmar gestaltet sich die Platzierung der distalen Schrauben teilweise schwierig. Durch Bohrung und Längenmessung können dorsale Fragmente abgehoben werden und sich dem Gewinde der Schrauben entziehen. Um dies zu vermeiden, kann gleichzeitig manueller Druck von dorsal ausgeübt werden, um ein Abheben zu vermeiden.

Zur Vermeidung von Strecksehnenirritationen als der häufigsten Komplikation ist es erforderlich, den dorsalen Schraubenüberstand zu minimieren. Dies wird durch eine intraoperative Röntgendurchleuchtung mit dem C-Bogen überprüft. Mit dieser Technik kann gegebenenfalls auch eine Schraubenlage im distalen Radioulnargelenkspalt nachgewiesen werden. Die Rate an falsch negativen Befunden ist jedoch hoch. Nur 70% aller im DRUG platzierten Schrauben können mittels Durchleuchtung detektiert werden [60]. Einen Lösungsansatz kann evtl. die intraoperative 3-D-Bildwandlerkontrolle bieten, die bspw. zur Steuerung der Sprunggelenksosteosynthese vermehrt eingesetzt wird. Valide Daten zu diesem Thema stehen allerdings noch aus.

B-Frakturen

Sog. Chauffeur-Frakturen, Abscherfrakturen des Processus styloideus radii (B1.1- und B1.2-Frakturen), sind die einzige Indikation für eine minimal-invasive Schraubenosteosynthese über den radialen (B1.1) bzw. den dorsalen (B1.2) Zugang. Voraussetzung ist eine nur geringe Dislokation, die sich geschlossen gut reponieren lässt und keine Stufenbildung an der Gelenkfläche zeigt. Bei größeren Dislokationen mit Gelenkstufen ist die Indikation zur Plattenosteosynthese von dorsal zu stellen. Bei B1.3-Frakturen ist die Plattenosteosynthese die 1. operative Option, nur bei sehr kleinen Fragmenten oder bei bestehenden Kontraindikationen zur offenen Reposition, bspw. bei prekärer Weichgewebssituation, kann über den dorsalen Zugang die Schraubenosteosynthese durchgeführt werden.

Dorsale Kantenabscherfragmente (B2- oder Barton-Frakturen) werden mittels dorsaler Plattenosteosynthese stabilisiert, volare Kantenabscherfragmente (B3- oder Reversed-Barton-Fraktur) ana-

log zur palmar dislozierten A-Fraktur mittels abstützender Kompressionsplatte von palmar. Eine Ausnahme bildet der seltene Fall einer Reversed-Barton-Fraktur mit simultaner dorsaler Frakturlinie, da diese besonders instabil ist und auch nach palmarer Plattenosteosynthese zur Sekundärdislokation nach dorsal neigt. Die Versorgung kann entweder mittels „Sandwich-Osteosynthese“ als Kombination aus palmarer und dorsaler Plattenosteosynthese oder aus palmarer Platten- und dorsaler Fixateur-externe-Osteosynthese erfolgen. Eine palmar winkelstabile Plattenosteosynthese kann ausreichend sein, wenn die dorsalen Fragmente sicher gefasst werden können [14]. Zur exakten Adressierung der einzelnen Fragmente stehen multidirektional-winkelstabile Plattendesigns verschiedener Hersteller zur Verfügung.

C-Frakturen

Sofern keine Kontraindikation gegen ein operatives Vorgehen besteht, fordert eine Fraktur mit kompletter Dissoziation der Gelenkfragmente vom Schaft (C-Fraktur) eine Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese. Einzige Ausnahme sind die seltenen dorsoularen Kantenfragmente ohne Trümmerzone (C1-Frakturen). Hier ist beim jungen Patienten auch ein Therapieversuch mit geschlossener Reposition und Kirschner-Draht-Osteosynthese und anschließender Gipschienenruhigstellung möglich – Voraussetzung sind große, geschlossen gut zu reponierende Fragmente.

Als Zugang zur Plattenosteosynthese empfiehlt sich für diesen Frakturtyp der dorsale Zugang zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach, da die Fragmentreposition über einen palmaren Zugang frustan sein kann.

Einfache, vollständig intraartikuläre Frakturen mit metaphysärer Trümmerzone (C2-Frakturen) mit zentraler Impression und stark dislozierten dorsalen oder palmaren Kantenfragmenten sind offen zu reponieren [4,22]. Zur Versorgung eignen sich von palmar eingebrachte uni- oder multidirektional winkelstabile Platten [35], bei einer komplexen Frakturgeometrie mit schwierig anzusteuernden Fragmenten erleichtern multidirektional winkelstabile Platten das Vorgehen (**Abb. 3 a-f**).

Intraartikulär und metaphysär mehrteilige Frakturen (C3-Frakturen) sollten vorrangig plattenosteosynthetisch ver-



Abb. 3a A.-p. Röntgenbild: C2-Fraktur.



Abb. 3b Laterales Röntgenbild: C2-Fraktur.



Abb. 3e Postop. a.-p. Röntgen: C2-Fraktur von volar mit 2,4-mm-LCP-VA-Platte (Fa. Synthes) versorgt.



Abb. 3c CT koronar: C2-Fraktur.



Abb. 3d CT sagittal: C2-Fraktur.



Abb. 3f Postop. laterales Röntgen: C2-Fraktur von volar mit 2,4-mm-LCP-VA-Platte (Fa. Synthes) versorgt.

sorgt werden. Hierbei muss aus der gesamten Bandbreite an Zugängen und Implantaten das Richtige oder die richtige Kombination an die Frakturgeometrie angepasst werden. Winkelstabile palmare Platten, und hierbei nach Möglichkeit multidirektional winkelstabile, können ebenso wie dorsale Platten (Abb. 4a–e) oder eine Kombination aus beiden das ideale Verfahren darstellen (Abb. 5a–e).

Handwurzelverletzungen werden entsprechend mitversorgt – skapholunäre Bandläsionen bspw. mittels Kirschner-Draht-Transfixation (Abb. 4a–e) [46].

Die Zugangs- und Plattenauswahl bleibt eine Einzelfallentscheidung. Bei zentralen Knochendefekten kann eine autologe

Plastik mit einem trikortikalen Beckenkammspan notwendig sein [54].

Häufig liegt eine erheblich geschwollene Weichgewebssituation vor, die das primäre Anbringen eines Fixateur externe nahelegt. Die Ligamentotaxis kann die sekundäre offene Reposition und Plattenosteosynthese deutlich erleichtern. Zwischen Anlage des Fixateur externe und Durchführung des Verfahrenswechsels ist eine Röntgenkontrolle und häufig eine CT-Untersuchung zur Beurteilung der Fraktursituation angezeigt (radiologische Feinanalyse). In Ausnahmefällen kann bei sehr gutem Repositionsergebnis im Fixateur externe ohne Verfahrenswechsel ausbehandelt werden. Im Sonderfall einer besonders instabilen Fraktur kann andererseits der Fixateur externe nach sekundärer Plattenosteosynthese



Abb. 4a A.-p. Röntgenbild: dorsal instabile C2-Fraktur mit begleitender skapholunärer Bandruptur nach geschlossener Reposition und AO-Handgelenksfixateur.



Abb. 4b Laterales Röntgenbild: dorsal instabile C2-Fraktur mit begleitender skapholunärer Bandruptur nach geschlossener Reposition und AO-Handgelenksfixateur.



Abb. 4d A.-p. Röntgenbild: dorsal instabile C2-Fraktur mit begleitender skapholunärer Bandruptur nach Verfahrenswechsel (Metallentfernung Fixateur externe; dorsal winkelstabile 2,4-mm-LCP-Doppelplattenosteosynthese [Fa. Synthes]; temporäre skapholunäre Kirschner-Draht-Transfixation).



Abb. 4c CT sagittal: dorsal instabile C2-Fraktur mit begleitender skapholunärer Bandruptur.

Tab. 2 3-Stufen-Konzept bei komplexen distalen Radiusfrakturen [16].

Stufe 1	geschlossene Frakturreposition
Stufe 2	radiologische Feinanalyse
Stufe 3	interne Osteosynthese

synthese additiv für 2–4 Wochen belasten werden [51, 53].

Für komplexe intraartikuläre Frakturen des distalen Radius nutzen wir unser 2010 von Herdrich vorgestelltes 3-Stufen-Konzept (Tab. 2) [16]:

Initial wird als 1. Stufe die geschlossene Frakturreposition mittels Ligamentotaxis und Handgelenkstransfixation durchgeführt. In der 2. Stufe findet eine radiologische Feinanalyse mittels CT und multiplanaren Rekonstruktionen statt. Wenn sich hier der Verdacht auf eine begleitende ligamentäre oder intraartikuläre Weichgewebsverletzung (Verletzung von distalem Radioulnargelenk [DRUG] oder Discus triangularis) er-



Abb. 4e Laterales Röntgenbild: dorsal instabile C2-Fraktur mit begleitender skapholunärer Bandruptur nach Verfahrenswechsel (Metallentfernung Fixateur externe; dorsal winkelstabile 2,4-mm-LCP-Doppelplattenosteosynthese [Fa. Synthes]; temporäre skapholunäre Kirschner-Draht-Transfixation).



Abb. 5a A.-p. Röntgenbild: C3-Fraktur mit zentraler Impression und antero-posteriorer Instabilität.



Abb. 5b Laterales Röntgenbild: C3-Fraktur mit zentraler Impression und antero-posteriorer Instabilität.

gibt, erfolgt eine weitere Abklärung mittels MRT.

Zur 3. Stufe werden bis zum Abklingen der umgebenden Weichgewebsschwellung 3–5 Tage abschwellende Maßnahmen (Hochlagerung, lokale Kühlung) angewendet und schließlich die definitive interne Osteosynthese durchgeführt.

Nachbehandlung

Die operative Stabilisierung einer distalen Radiusfraktur beim Erwachsenen muss eine übungstabile Situation als Voraussetzung einer frühfunktionellen Nachbehandlung zum Ziel haben. Wenn die Nachbehandlung allerdings erzwungen wird und oberhalb der Schmerzgrenze erfolgt, kann sich das kontraproduktiv auf die Weichgewebssolidierung und den weiteren Heilungsverlauf auswirken. Im eigenen Vorgehen erfolgt nach durchgeführter Plattenosteosynthese und ausgeprägter Schwellung die Ruhigstellung in dorsaler Unterarmgipschiene für 3–5 Tage. In dieser Zeit können die angrenzenden Gelenke bereits übt werden. Lokale Kälteanwendun-

gen und später Lymphdrainage unterstützen im Verlauf das Abschwellen. Anschließend erfolgt eine funktionelle Nachbehandlung ohne Belastung für insgesamt 6 Wochen. Bei komplexen Verletzungen mit Gelenkbeteiligung und möglicherweise begleitenden Läsionen des Bandapparats kann die Ruhigstellungszeit in der Gipsschiene ausgedehnt werden. In Funktionsstellung ruhiggestellt kann der geschädigte Bandapparat von der Schienungsbehandlung profitieren. Dies ist jedoch nur bei komplexen C3-Frakturen erforderlich, und auch da nicht obligat.

Die Physiotherapie hat einen fundamentalen Stellenwert für das klinische Outcome. Prospektiv-randomisierte Studien zeigen, dass ein Heimtrainingsprogramm nach professioneller Anleitung durch einen Physio- bzw. Ergotherapeuten einer dauerhaft betreuten Krankengymnastik nicht unterlegen ist [11,26,58,64]. Es ist allerdings zu beachten, dass das Austeilen eines Trainingsmerkblatts eine professionelle Anleitung nach Maßgabe des behandelnden Arztes nicht ersetzen kann.

Eine belastungsstabile knöcherne Konsolidierung tritt am distalen Radius um die 6. Woche ein. Eine Vollbelastung kann dann initiiert werden.

Die Indikation zur Entfernung des Osteosynthesematerials am distalen Radius ist eine individuelle Entscheidung.

Die Gefahr eines Nervenschadens ist vergleichsweise gering, dennoch muss eine differenzierte Abwägung gefordert werden. Auch beim beschwerdefreien Patienten können nach Jahren noch Sehnenirritationen und -rupturen, v. a. nach dorsaler, aber auch nach volarer Fixation, auftreten. Das hängt auch vom Design und der Lage der verwendeten Implantate ab. Moderne Low-Profile-Osteosyntheseplatten und proximal der Watershed-Line eingebrachte Platten versprechen ein reduziertes Gefährdungspotenzial für die Beugesehnen. Dorsalseitig können Doppelplatten eine Beeinträchtigung der Dynamik der Strecksehnen ebenfalls weiter reduzieren.

Die Indikation zur Metallentfernung ist nicht obligat und kann auf mechanische



Abb. 5c CT 3-D-Rekonstruktion: C3-Fraktur mit zentraler Impression und antero-posteriorer Instabilität.



Abb. 5d A.-p. Röntgen: C3-Fraktur von volar mit 2,4-mm-LCP-VA-Platte (Fa. Synthes) und von dorsal mit 3-Loch-T-Platte (Synthes GmbH) versorgt.



Abb. 5e Laterales Röntgen: C3-Fraktur von volar mit 2,4-mm-LCP-VA-Platte (Fa. Synthes) und von dorsal mit 3-Loch-T-Platte (Synthes GmbH) versorgt.

Irritationen durch das Implantatmaterial oder auf sensomotorische Störungen begrenzt werden. Jedoch sollte der Patient auf die Gefahr einer Sehenschädigung hingewiesen werden. Wenn die Indikation zur Metallentfernung gestellt wurde, ist eine umfangreiche Aufklärung des Patienten über Komplikationen und Risiken dieser oftmals als „kleine OP“ wahrgenommenen Eingriffe unbedingt zu fordern.

Komplikationen

Die häufigste Komplikation sowohl konservativ als auch operativ behandelter Frakturen des distalen Radius ist die Verheilung in Fehlstellung (Malunion) infolge ungenügender Reposition oder sekundärer Dislokation. 64% aller konservativ behandelten distalen Radiusfrakturen verheilen in Fehlstellung. Der osteoporotisch umgebaute Knochen geriatrischer Patienten führt sogar in 89% zu einer Malunion [3,4,9,30]. Ausgeheilte Frakturen nach palmarer Plattenosteosynthese weisen in 10 bis 20% eine signifikante Fehlstellung auf [30].

Weitere Komplikationen sind mit 14% Sehnenirritationen an der Streck- und

Beugeseite durch aufragendes Plattenmaterial oder überstehende Schrauben nach Plattenosteosynthese, ein Karpaltunnelsyndrom in 3–5% und die Entwicklung eines posttraumatischen oder postoperativen „complex regional pain syndrome“ (CRPS) Typ I in 5–8% der Fälle [4].

Literatur

- ¹ Anderson JT, Gustilo RB. Immediate internal fixation in open fractures. *Orthop Clin North Am* 1980; 11: 569–578
- ² Anderson R, O'Neill G. Comminuted fractures of the distal end of the radius. *Surg Gynecol Obstet* 1944; 78: 434–440
- ³ Arora R, Gabl M, Gschwentner M et al. A comparative study of clinical and radiologic outcomes of unstable colles type distal radius fractures in patients older than 70 years: Nonoperative treatment versus volar locking plating. *J Orthop Trauma* 2009; 23: 237–242
- ⁴ Arora R, Lutz M, Hennerbichler A et al. Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate. *J Orthop Trauma* 2007; 21: 316–322
- ⁵ Böhler L. Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Wien: Wilhelm Maudrich; 1929
- ⁶ Breasted JH. The Edwin Smith surgical papyrus. 2 vols. Oriental Institute Publications 3–4. Chicago: University of Chicago Press; 1930
- ⁷ Claes L. Das Prinzip der winkelstabilen Platte – Eine kritische Bewertung. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2011; 6: 1–16

- ⁸ Cuenca J, Martinez AA, Herrera A et al. The incidence of distal forearm fractures in Zaragoza (Spain). *Chir Main* 2003; 22: 211–215
- ⁹ Gabl M, Pechlaner S, Sailer R et al. Dorsale Stauchungsbrüche der distalen Radiusmetaphyse – Langzeitbeobachtungen nach konservativer Therapie. *Akt Traumatol* 1999; 22: 15–18
- ¹⁰ Gradl G. Distal radius fractures. *Z Orthop Unfall* 2009; 147: 621–635
- ¹¹ Handoll HH, Madhok R, Howe TE. Rehabilitation for distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2006; 3: CD003324
- ¹² Hansmann C. Eine neue Methode der Fixierung der Fragmente bei komplizierten Frakturen. *Verh Dtsch Ges Chir* 1886; 15: 134–137
- ¹³ Harness NG, Ring D, Zurakowski D et al. The influence of three-dimensional computed tomography reconstructions on the characterization and treatment of distal radial fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: 1315–1323
- ¹⁴ Harness N, Ring D, Jupiter JB. Volar barton's fractures with concomitant dorsal fracture in older patients. *J Hand Surg Am* 2004; 29: 439–445
- ¹⁵ Henry MH, Griggs SM, Levaro F et al. Volar approach to dorsal displaced fractures of the distal radius. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2001; 5: 31–41
- ¹⁶ Herdrich S, Bauer J, Pichl J et al. [Management of complex intra-articular distal radius fractures with open reduction and internal fixation with double dorsal locking plates]. *Z Orthop Unfall* 2010; 148: 72–79
- ¹⁷ Hershman SH, Immerman I, Bechtel C et al. The effects of pronator quadratus repair on outcomes after volar plating of distal radius frac-

- tures. *J Orthop Trauma* 2012 [Epub ahead of print]
- 18 Groves HED. On modern methods of treating fractures. New York: Wood and Co.; 1916
- 19 Hoffmeier KL, Hofmann GO, Muckley T. The strength of polyaxial locking interfaces of distal radius plates. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2009; 24: 637–641
- 20 Hollevoet N, Van Maele G, Van Seymourtier P et al. Comparison of palmar tilt, radial inclination and ulnar variance in left and right wrists. *J Hand Surg Br* 2000; 25: 431–433
- 21 Johnson PQ, Noffsinger MA. Hematoma block of distal forearm fractures. Is it safe? *Orthop Rev* 1991; 20: 977–979
- 22 Jupiter JB, Marent-Huber M. Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates. A multicenter prospective case series. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91: 55–65
- 23 Kandemir U, Matityahu A, Desai R et al. Does a volar locking plate provide equivalent stability as a dorsal nonlocking plate in a dorsally comminuted distal radius fracture? A Biomechanical Study. *J Orthop Trauma* 2008; 22: 605–610
- 24 Knigge-Barríos H, Rudolph H. [Bore wire Osteosynthesis in distal radius fracture] *Aktuelle Traumatol* 1987; 17: 105–108
- 25 Koebke J. Anatomy of the wrist joint and carpus. *Unfallchirurgie* 1988; 14: 74–79
- 26 Krischak GD, Krasteva A, Schneider F et al. Physiotherapy after volar plating of wrist fractures is effective using a home exercise program. *Arch Phys Med Rehabil* 2009; 90: 537–544
- 27 Lafontaine M, Hardy D, Delinco P. Stability assessment of distal radius fractures. *Injury* 1989; 20: 208–210
- 28 Lamas C, Llusa M, Mendez A et al. Intraosseous vascularity of the distal radius: anatomy and clinical implications in distal radius fractures. *Hand (NY)* 2009; 4: 418–423
- 29 Mackenney PJ, McQueen MM, Elton R. Prediction of instability in distal radial fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: 1944–1951
- 30 Makhni EC, Ewald TJ, Kelly S et al. Effect of patient age on the radiographic outcomes of distal radius fractures subject to nonoperative treatment. *J Hand Surg Am* 2008; 33: 1301–1308
- 31 Mallmin H, Ljunghall S, Persson I et al. Fracture of the distal forearm as a forecaster of subsequent hip fracture: a population-based cohort study with 24 years of follow-up. *Calcif Tissue Int* 1993; 52: 269–272
- 32 Mast J, Jakob R, Ganz R. Planning and Reduction Technique in Fracture Surgery. Heidelberg: Springer; 1989
- 33 Matschke S, Wentzensen A. Winkelstabile Implantate – Einsatzmöglichkeiten. *Am Distalen Radius*. *OP J* 2004; 1: 18–26
- 34 Medoff RJ. Essential radiographic evaluation for distal radius fractures. *Hand Clin* 2005; 21: 279–288
- 35 Mehling I, Meier M, Schlor U et al. [Multi-directional palmar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fracture]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2007; 39: 29–33
- 36 Müller ME, Nazarian S, Koch P et al. The comprehensive Classification of Fractures of long Bones. New York: Springer; 1990
- 37 Murray D. Treatment of fractures of the carpal end of the radius by traction. *Am J Surg* 1938; 44: 135–138
- 38 O'Neill TW, Cooper C, Finn JD et al. Incidence of distal forearm fracture in British men and women. *Osteoporos Int* 2001; 12: 555–558
- 39 Oestern HJ, Tscherner H, Sturm J et al. Classification of the severity of injury. *Unfallchirurg* 1985; 11: 465–472
- 40 Oestern HJ, Hüls E. Die differenzierte Behandlung distaler Radiusfrakturen. *Zentralbl Chir* 1994; 119: 521–532
- 41 Oyen J, Brudvik C, Gjesdal CG et al. Osteoporosis as a risk factor for distal radial fractures: a case-control study. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 348–356
- 42 Palmer AK, Werner FW. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res* 1984; 187: 26–35
- 43 Pechlaner S. Die Hyperextensionsverletzung des Handgelenks. Experimentelle Untersuchungen und klinische Aspekte. Reinbek/Hamburg: Einhorn-Press-Verlag; 1999
- 44 Pechlaner S, Gabl M, Lutz M et al. Distal radius fractures – aetiology, treatment and outcome. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2007 39: 19–28
- 45 Perren SM, Klaue K, Pohler O et al. The limited contact dynamic compression plate (Lc-Dcp). *Arch Orthop Trauma Surg* 1990; 109: 304–310
- 46 Pichl J, Hofmann T, Schmidt-Horlohé K et al. Winkelstabile Plattenfixation – Obere Extremität. *Trauma Berufskrankh* 2006; 8: 212–219
- 47 Probst J, Siebert H, Zwipp H. 60 Jahre deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie nach Wiedergründung. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V.; 2010
- 48 Rayhack JM. The history and evolution of percutaneous pinning of displaced distal radius fractures. *Orthop Clin North Am* 1993; 24: 287–300
- 49 Rein S, Schikore H, Schneiders W et al. Results of dorsal or volar plate fixation of AO type C3 distal radius fractures: a retrospective study. *J Hand Surg Am* 2007; 32: 954–961
- 50 Rikli DA, Honigsmann P, Babst R et al. Intra-articular pressure measurement in the radioulnocarpal joint using a novel sensor: in vitro and in vivo results. *J Hand Surg Am* 2007; 32: 67–75
- 51 Rikli DA, Kupfer K, Bodoky A. Long-term results of the external fixation of distal radius fractures. *J Trauma* 1998; 44: 970–976
- 52 Rikli DA, Regazzoni P. Fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function. A Preliminary Report of 20 Cases. *J Bone Joint Surg Br* 1996; 78: 588–592
- 53 Rogachevsky RA, Lipson SR, Applegate B et al. Treatment of severely comminuted intra-articular fractures of the distal end of the radius by open reduction and combined internal and external fixation. *J Bone Joint Surg Am* 2001; 83-A: 509–519
- 54 Rogachevsky RA, Ouellette EA, Sun S et al. The use of tricortico cancellous bone graft in severely comminuted intra-articular fractures of the distal radius. *J Hand Surg Am* 2006; 31: 623–632
- 55 Schuind FA, Linscheid RL, An KN et al. A normal data base of posteroanterior roentgenographic measurements of the wrist. *J Bone Joint Surg Am* 1992; 74: 1418–1429
- 56 Seide K, Triebe J, Faschingbauer M et al. Locked vs. unlocked plate osteosynthesis of the proximal humerus – a biomechanical study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2007; 22: 176–182
- 57 Simic PM, Weiland AJ. Fractures of the distal aspect of the radius: changes in treatment over the past two decades. *Instr Course Lect* 2003; 52: 185–195
- 58 Souer JS, Buijze G, Ring D. A prospective randomized controlled trial comparing occupational therapy with independent exercises after volar plate fixation of a fracture of the distal part of the radius. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 1761–1766
- 59 Strauss EJ, Schwarzkopf R, Kummer F et al. The current status of locked plating: the good, the bad, and the ugly. *J Orthop Trauma* 2008; 22: 479–486
- 60 Thomas AD, Greenberg JA. Use of fluoroscopy in determining screw overshoot in the dorsal distal radius: a cadaveric study. *J Hand Surg Am* 2009; 34: 258–261
- 61 Thompson PW, Taylor J, Dawson A. The annual incidence and seasonal variation of fractures of the distal radius in men and women over 25 years in Dorset, UK. *Injury* 2004; 35: 462–466
- 62 Vogt MT, Cauley JA, Tomaino MM et al. Distal radius fractures in older women: a 10-year follow-up study of descriptive characteristics and risk factors. The study of osteoporotic fractures. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 97–103
- 63 Plesz A, Voigt C, Jensen G et al. Winkelstabile Plattenosteosynthese am distalen Radius. Assoziiert eine Osteoporose schlechtere funktionelle Ergebnisse und höhere Komplikationsraten? *Chirurg* 2012; 83: 463–471
- 64 Vollinger C, Partecke BD. [Aftercare following distal forearm fractures and carpal trauma]. *Orthopade* 2003; 32: 380–385
- 65 Walz M, Kolbow B, Auerbach F. Was leistet die winkelstabile Plattenosteosynthese bei der distalen Radiusfraktur des alten Menschen? *Unfallchirurg* 2004; 107: 664–670
- 66 Younge D. Haematoma block for fractures of the wrist: a cause of compartment syndrome. *J Hand Surg Br* 1989; 14: 194–195

Dr. med. Hans Ulrich Rudolph

Assistenzarzt

Dr. med. Kay H. Schmidt-Horlohé

Funktionsoberarzt

Dr. med. Johann Pichl

Leitender Oberarzt

Prof. Dr. med. Reinhard Hoffmann

Ärztlicher Direktor, Chefarzt

Abteilung für Unfallchirurgie und
Orthopädische Chirurgie

BG Unfallklinik Frankfurt am Main

Friedberger Landstraße 430

60389 Frankfurt am Main

hansulrich.rudolph@bgu-frankfurt.de