

Übersicht

Obere Extremität

<https://doi.org/10.1007/s11678-022-00726-4>

Eingegangen: 26. Oktober 2022

Angenommen: 29. November 2022

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2023



Frakturfolgen – Indikationen und Vorgehen zum Gelenkerhalt

Maren Bieling · Alexander Ellwein · Helmut Lill

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, DIAKOVERE Friederikenstift, Hannover, Deutschland

Zusammenfassung

Hintergrund: In bis zu 20 % der Fälle kommt es nach konservativer und operativer Therapie von proximalen Humerusfrakturen zu sog. posttraumatischen Frakturfolgen. Aufgrund ihrer ausgesprochenen Heterogenität hinsichtlich ihrer sowohl funktionellen als auch biomechanischen Auswirkungen gibt es bislang noch keine validierten Therapierichtlinien und es liegen vorrangig nur Empfehlungen mit geringem Evidenzgrad vor.

Fragestellung: Ziel dieser Arbeit war das Herausarbeiten der jeweiligen Indikationen zur operativen gelenkerhaltenden Korrektur- und Revisionsosteosynthese von Frakturfolgen nach proximalen Humerusfrakturen und von entsprechenden Therapieempfehlungen sowie das Erläutern des jeweiligen operativen Vorgehens.

Material und Methoden: Methodisch erfolgte eine differenzierte Literaturanalyse zum Thema der jeweiligen Indikationen zur gelenkerhaltenden Revision, aktueller Therapieempfehlungen sowie des entsprechenden operativen Vorgehens.

Ergebnisse: Posttraumatische Frakturfolgezustände lassen sich anhand morphologischer Kriterien nach Boileau in vier Frakturfolgezustände klassifizieren oder nach Art der Fehlstellung differenzieren. Klinisch führen sie zu einer reduzierten Schulterfunktion sowie zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung. Das endoprothetische Vorgehen gilt bei Frakturfolgen Typ I nach Boileau als Therapie der Wahl. Bei jüngeren Patienten < 60 Jahren mit guter Knochenqualität und bei entsprechendem funktionellen Anspruch sind Frakturfolgen Typ II–IV nach Boileau primär gelenkerhaltend mittels Korrekturosteotomien und Revisionsosteosynthesen therapeutisch zu adressieren. Des Weiteren führen bei intraartikulärer Schraubenlage, posttraumatischer Schultersteife oder anderen Formen des materialbedingten Impingementsyndroms arthroskopische Korrekturingriffe zu signifikanten Verbesserungen des klinischen Befunds.

Schlussfolgerungen: Das gelenkerhaltende Vorgehen bei posttraumatischen Frakturfolgen erweist sich als höchst komplex und technisch anspruchsvoll. Zudem sind der individuell unterschiedliche funktionelle Anspruch des Patienten, seine jeweilige klinische Beschwerdesymptomatik sowie weichteilige Begleitverletzungen unbedingt bei der Therapieentscheidung mitzubedenken. Folglich erfordern gelenkerhaltende Revisionen posttraumatischer Frakturfolgen eine systematische und grundlegende Analyse sowie eine exakte präoperative Planung mit einer dreidimensionalen (3-D-)CT-radiologischen, ggf. bilateralen Darstellung der jeweiligen Frakturfolgen.

Schlüsselwörter

Humerusfraktur · Posttraumatischer Frakturfolgezustand · Korrekturosteotomie · Revisionsosteosynthese · Pseudarthrose



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Die proximale Humerusfraktur ist nach hüft- und handgelenksnahen Frakturen die dritthäufigste Fraktur der über 60-Jährigen [1] und stellt mit einer Inzidenz von 105–342 pro 100.000 pro Jahr [2] 4–5% aller Frakturen im Erwachsenenalter dar [3]. Die Wahl der primären Therapie ergibt sich zum einen aus der systematischen Analyse der Frakturmorphologie und dem Vorliegen möglicher, insbesondere weichteiliger Begleitverletzungen sowie zum anderen aus patientenspezifischen Faktoren. Trotz einer zunehmenden Optimierung und einer progressiven Standardisierung der Therapien kommt es bei proximalen Humerusfrakturen sowohl nach konservativem als auch nach operativem Vorgehen langfristig in bis zu 20% der Fälle zu chronischen Frakturfolgen, wie einer Varus- oder Rotationsfehlstellung, einem infolge einer Fehlstellung der Tubercula bedingtem Impingementsyndrom, einer avaskulären Humeruskopfnekrose, einer Pseudarthrose, einer adhäsiven Kapsulitis und/oder einer intraartikulären Schraubenperforation [4–6]. Aufgrund der ausgesprochenen Heterogenität dieser Frakturfolgen mit einem großen Spektrum an funktionellen und biomechanischen Auswirkungen erweist sich ihre Therapie als höchst komplex und technisch anspruchsvoll. Sie ist folglich sehr patientenindividuell durchzuführen sowie präoperativ exakt zu planen. Insbesondere die Frage, wann eine korrigierende Revision indiziert ist, ist daher unter Berücksichtigung der klinischen Beschwerdesymptomatik, des Allgemeinzustands, der Knochenstruktur, vorliegender Begleiterkrankungen sowie des Narkose- und Operationsrisikos gründlich zu prüfen. In Anbetracht des breiten Befundspektrums sowie des heterogenen Patientenkontexts existieren bislang zum einen noch keine validierten Therapierichtlinien und zum anderen liegen vorrangig nur Empfehlungen mit geringem Evidenzgrad vor [6, 7]. Aus diesem Grund sollen im Rahmen dieser Arbeit zunächst die Indikationen zur operativen gelenkerhaltenden Revision herausgearbeitet sowie im Anschluss daran das jeweilige operative Vorgehen erläutert werden.

Frakturfolgezustände

Posttraumatische Folgezustände lassen sich anhand verschiedener Klassifikationssysteme jeweils unter Berücksichtigung morphologischer Kriterien einteilen. In Bezug auf die Frakturfolgeerscheinungen von proximalen Humerusfrakturen hat sich die Klassifikation nach Boileau sowohl als praktikabel als auch prognostisch und therapeutisch relevant erwiesen [6, 8, 9]. Letztere differenziert anhand pathophysiologischer Kriterien vier Frakturfolgezustände, die sich in intra- (Typ I und Typ II) und extrakapsuläre Typen (Typ III und Typ IV) unterscheiden lassen. Zu den Typ-I-Frakturfolgen werden avaskuläre Nekrosen nach proximalen Humerusfrakturen oder Frakturen mit einem sekundären Humeruskopfkollaps gezählt. Verhakte Luxationen bzw. Luxationsfrakturen des proximalen Humerus oder sekundäre Frakturdislokationen stellen Typ-II-Frakturfolgen dar. Zu den Typ-III-Frakturfolgen werden proximale Humerusfrakturen mit ausbleibender Knochenheilung oder subkapitale Pseudarthrosen gezählt. Eine erhebliche Fehlstellung der Tubercula kennzeichnet die Frakturfolgen des Typs IV [8].

Neben der pathophysiologischen Differenzierung der Frakturfolgen nach Boileau ist aus biomechanischen Gründen auch eine systematische Analyse der posttraumatischen Fehlstellungen des proximalen Humerus nach rein anatomischen Kriterien für das weitere Vorgehen entscheidend. Meller et al. [7] differenzieren dabei zwischen epiphysären (Tubercula und Kalotte) und metaphysären Fehlstellungen. Insbesondere Fehlstellungen der Tubercula führen neben einer Impingementsymptomatik zu chronischen Tendinopathien der langen Bizepssehne und zu einem eingeschränkten Wirkungsgrad der Rotatorenmanschette [3, 5, 7]. Bei Frakturen des Tuberculum majus kommt es infolge des Muskelzugs – zusätzlich zu einem subakromialen Impingement – zu einer posterosuperioren Dislokation mit konsekutiver Limitation sowohl der Außenrotation als auch der Abduktion [4, 5, 7, 10]. Bei einem in medialisierter Fehlstellung verheilten Tuberculum minus kann es neben einem subkorakoidalen Impingement durch ein Kompromittieren der Funktion des M. subscapularis

darüber hinaus zu einer eingeschränkten Innenrotation kommen [5, 7, 11]. Fehlstellungen der intakten Kalotte, z. B. durch ein verringertes mediales Offset, können infolge einer konsekutiven Veränderung des Drehzentrums zu einer insgesamt veränderten Artikulation im Schultergelenk führen [7]. Dabei haben bereits kleinste Alterationen des Drehzentrums Auswirkungen auf die biomechanischen Hebelverhältnisse der Rotatorenmanschette [7]. Eine posttraumatische Stufenbildung der Kalotte, z. B. infolge von Luxationsfrakturen, kann zu einer direkten Verschlechterung der glenohumeralen Artikulation führen [7]. Bei Vorliegen einer posttraumatischen Varusfehlstellung kann es einerseits infolge eines konsekutiv funktionell höherstehenden Tuberculum majus zu einem subakromialen Impingementsyndrom und einer eingeschränkten Abduktion [7, 12] sowie andererseits infolge eines verkürzten Hebelarms der Rotatorenmanschette zu einer kraftgeminderten Abduktion kommen [5, 7, 13, 14].

Aufgrund der Auswirkungen posttraumatischer Fehlstellungen auf die Biomechanik und die Funktion des Schultergelenks, z. B. auf die Wirkungsweise der Rotatorenmanschette, sind im Rahmen der Therapieplanung mögliche weichteilige Begleitpathologien, insbesondere Läsionen der Rotatorenmanschette, Kontrakturen der Gelenkkapsel und/oder Affektionen der langen Bizepssehne, in jedem Fall mitzuberücksichtigen.

Indikationen zur operativen Korrektur

Posttraumatische Frakturfolgezustände führen klinisch zu einer reduzierten Schulterfunktion mit symptomatischer Kraftminderung sowie zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung. Jüngere Patienten entwickeln hierunter meist einen hohen Leidensdruck und tolerieren posttraumatische Fehlstellungen im Vergleich zu älteren Patienten insgesamt schlechter [3, 7]. Der röntgenologische Befund korreliert dabei, insbesondere bei älteren Patienten, hingegen häufig nicht mit der klinischen Beschwerdesymptomatik der Patienten [6, 7]. Aus diesem Grund erweist sich die exakte kausale Zuordnung der klinischen Beschwerdesymptomatik zur

ursächlichen Pathologie zum einen als diffus und zum anderen als essentiell für die Planung des therapeutischen Vorgehens [7].

Bei Vorliegen von die Gelenkfläche kompromittierenden Faktoren (z.B. bedingt durch eine intraartikuläre Schraubenlage) und/oder von Inkongruenzen der glenohumeralen Gelenkfläche (> 2 mm artikuläre Inkongruenz) ist die Indikation zur operativen Korrekturosteosynthese möglichst frühzeitig zu stellen, um langfristig das Risiko einer posttraumatischen Arthrose zu reduzieren [6, 7, 15]. Da es ab einer Fehlstellung der Tubercula von 3–5 mm bereits zu biomechanischen und funktionellen Auswirkungen kommen kann [6, 7, 10, 14, 16], werden in Bezug auf das Tuberculum minus eine mediale Dislokation und in Bezug auf das Tuberculum majus eine kraniale Dislokation von jeweils 5 mm als Grenze des tolerablen Dislokationsgrades angesehen [6, 7]. Hinsichtlich einer posttraumatischen Varusfehlstellung konnte anhand von biomechanischen Untersuchungen gezeigt werden, dass ein Winkel von < 120° bereits als klinisch relevant zu werten ist, so dass ab einer Varusfehlstellung von 20° folglich eine operative Korrektur zu empfehlen ist [6, 7, 14]. Darüber hinaus ist auch der individuell unterschiedliche funktionelle Anspruch des Patienten sowie seine jeweilige klinische Beschwerdesymptomatik in die Therapieentscheidung richtungswesend miteinzubeziehen. Dies betrifft u.a. Patienten, die trotz konservativer Therapiemaßnahmen infolge einer adhäsiven Kapsulitis fortwährend über eine klinisch nachvollziehbar eingeschränkte Funktion mit meist nur unterhalb des Schulterniveaus auszuführenden, teilweise auch schmerzhaften Bewegungen klagen. In einem solchen Fall ist bei Vorliegen einer realistischen Chance auf Befundverbesserung eine operative Revision indiziert [6].

Demgegenüber sind konservative Therapiemaßnahmen aufgrund der Komplexität dieser Frakturfolgen mit ihren konsekutiv klinisch-symptomatischen Beschwerden hingegen nur in begründeten Ausnahmefällen zu empfehlen. Letztere kommen für ältere Patienten mit einem geringen funktionellen Anspruch an ihr Aktivitätslevel, einem niedrigen und zu to-

lerierenden Schmerzniveau und/oder mit einer infolge von signifikanten Komorbiditäten bedingten hohen perioperativen Morbidität und Mortalität in Betracht. Konservative Therapiemaßnahmen setzen sich in diesem Kontext folglich aus einer zunächst kurzzeitigen Ruhigstellung mittels Orthesen und einer sich anschließenden intensiven physiotherapeutischen Übungsbehandlung unter schmerzadaptierter Analgesie zusammen, um langfristig sowohl das Bewegungsausmaß als auch die Kraft verbessern zu können [3].

Gelenkerhaltende operative Korrektur posttraumatischer Frakturfolgezustände

Insgesamt sind operative Korrektur- und Revisionsosteosynthesen von posttraumatischen Frakturfolgezuständen am proximalen Humerus technisch herausfordernd und bedürfen einer intensiven systematischen präoperativen Planung, um u.a. evtl. auftretende technische Schwierigkeiten im Rahmen eines gelenkerhaltenden Vorgehens, wie z.B. beim Mobilisieren dislozierter Tubercula, beim Gewinnen ausreichender Subscapularislänge nach Innenrotationsfehlstellung oder beim Wiederherstellen der Gelenkkongruenz, präemptiv erkennen zu können [17]. Darüber hinaus sind auch weichteilige Begleitverletzungen (z.B. Rotatorenmanschettenläsionen [inkl. Vernarbungen und Verkürzungen], Pathologien der langen Bizepssehne, Kontrakturen der Gelenkkapsel) zu berücksichtigen und therapeutisch zu adressieren.

Posttraumatische Typ-I-Frakturfolgen nach Boileau mit sekundärem Humeruskopfkollaps oder avaskulärer Nekrose lassen sich aufgrund der zerstörten, nicht rekonstruierbaren glenohumeralen Gelenkfläche in der Regel nicht mehr gelenkerhaltend versorgen, so dass in diesen Fällen das endoprothetische Vorgehen als Therapie der Wahl gilt [6–8, 13, 17, 18]. Im Gegensatz hierzu und entgegen den früheren Empfehlungen, Frakturfolgen Typ II und IV ebenfalls endoprothetisch zu versorgen [8], konnten zunehmend erfolgversprechende Ergebnisse nach gelenkerhaltenden Korrektur- und Revisionsosteosynthesen von Frakturfolgen Typ II und IV nach Boileau dokumentiert werden

[6, 7, 17–19]. Beispielsweise konnten Lill et al. [17] in einer kleinen Fallserie von insgesamt 11 Patienten 19,5 Monate nach Korrektur- und Revisionsosteosynthesen durchschnittlich bessere Ergebnisse erzielen als nach Implantation anatomischer Schulterprothesen. In Bezug auf die Typ-III-Frakturfolgen nach Boileau lassen sich in der Fachliteratur übereinstimmende Empfehlungen zur operativen Korrektur- und Revisionsosteosynthese mit Spongiosaplastik finden. Letztere konnten dank einer signifikant höheren Ausheilungsrate und einer Verbesserung des klinischen Befunds in den letzten Jahren ihren Stellenwert als effektive Behandlungsstrategie gegenüber dem endoprothetischen Vorgehen, insbesondere mit anatomischen Frakturprothesen, verdeutlichen [5, 6, 9, 20]. In einer Studie von Aytac et al. [20] kam es beispielsweise nach gelenkerhaltender Korrektur- und Revisionsosteosynthese mit Spongiosaplastik von proximalen Humeruspseudarthrosen in 93% der Fälle zu einer knöchernen Konsolidierung. Die Wiederherstellung der Schulterfunktion zeigte sich insbesondere bei Frauen und bei Patienten < 60 Jahren als verbessert. Bei Verwendung eines zusätzlichen intramedullären kortikalen Allografts in Kombination mit winkelstabilen Plattenosteosynthesen kam es neben einem guten klinischen Ergebnis in 94% der Fälle zu einer knöchernen Durchbauung [21]. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Aytac et al. [20] sind gelenkerhaltende Korrektur- und Revisionsosteosynthesen von Typ-II- bis -IV-Frakturfolgen nach Boileau primär bei jüngeren Patienten < 60 Jahren mit guter Knochenqualität und bei entsprechendem funktionellen Anspruch zu empfehlen [6, 7, 17, 20] und als berechtigte Alternative zum endoprothetischen Vorgehen zu sehen, das u.a. auch mit Risiken wie einer Luxation, einer septischen oder aseptischen Lockerung, einer periprothetischen Fraktur oder einer erforderlichen Wechseloperation einhergehen kann [20]. Insbesondere jüngere Patienten, die noch keine posttraumatisch bedingten arthrotischen Veränderungen aufweisen, profitieren von einem gelenkerhaltenden Vorgehen [7]. Bei Patienten > 60 Jahren ist hingegen, u.a. aufgrund einer zunehmenden Degeneration der Rotatorenmanschette, in der Regel ein

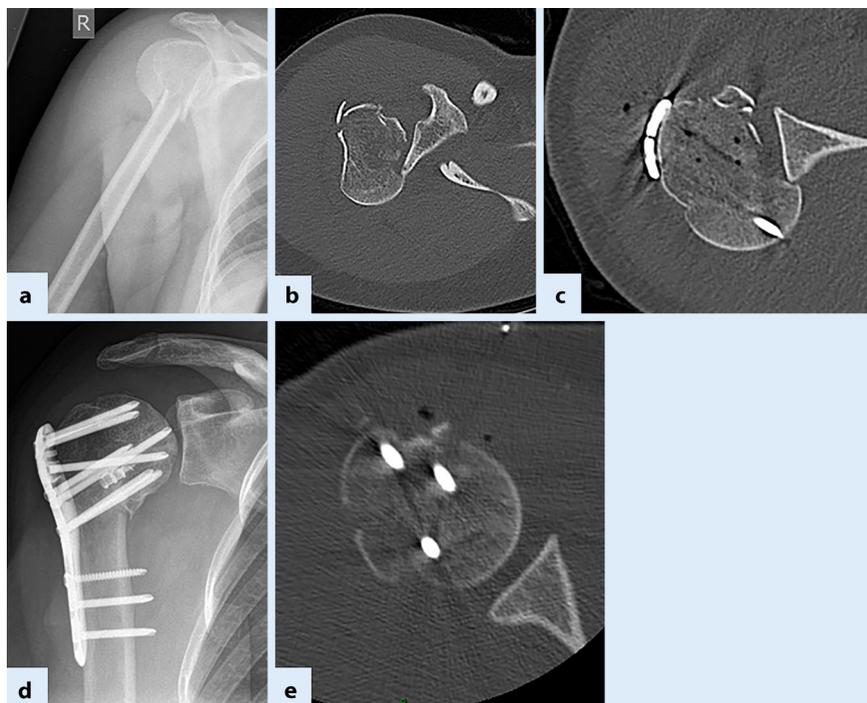


Abb. 1 ▲ 40-jährige Patientin, rechte Schulter, dorsale Luxationsfraktur (präoperative Röntgen- und CT-Aufnahmen: **a** a.-p., **b** axial); ex domo in dorsaler Luxationsfehlstellung osteosynthetisch versorgte proximale Humerusfraktur (Frakturfolge Typ II nach Boileau [8], postoperative CT-Aufnahme: **c** axial); plattenosteosynthetische Revision mit Augmentation der Imprimatzone, medialem Support durch Allograft, Medialisierung und Refixation der Subscapularissehne und der Bizepssehne mittels Fadenankern in Double-row-suture-bridging-Technik (postoperative Röntgen- und CT-Aufnahmen: **d** a.-p., **e** axial)

endoprothetisches Vorgehen indiziert [6, 18, 22, 23].

Operatives Vorgehen

Im Rahmen einer gelenkerhaltenden Revision posttraumatischer Folgezustände des proximalen Humerus sind zunächst eine lokale Arthrolyse sowie eine subakromiale Dekompression durchzuführen. Sollte eine Läsion der langen Bizepssehne (z. B. Tendinitis, Partialruptur, ausgeprägte Vernarbung) festzustellen oder letztere durch den Frakturverlauf lädiert sein, ist eine Tenodesse der langen Bizepssehne indiziert. Nach diesen supportiven Maßnahmen ist sich dem zu korrigierenden Frakturfolgezustand zuzuwenden.

Frakturfolgezustand Typ II nach Boileau

Bei Frakturfolgen Typ II (■ **Abb. 1**) liegt der Fokus der Korrekturosteosynthese auf der Reposition des Humeruskopfes, der Wiederherstellung der Gelenkfläche und der Rezentrierung des Glenohumeralgelenks

[17]. Um die Gelenkfläche rekonstruieren zu können, ist es zunächst erforderlich, den Humeruskopf nach ventral zu exponieren. Insbesondere bei einer Beteiligung des Tuberculum minus an der Fraktur kann hierfür ggf. eine Osteotomie des Tuberculum minus mit der ansetzenden Subscapularissehne erforderlich sein. Eine Alternative zur Osteotomie stellt die rein weichteilige Peel-off-Technik mit Subscapularis-Flap und mit bifokaler infraglenoidaler Kapsulotomie dar [6, 13, 17]. Infolge einer längeren Innenrotationsfehlstellung und einer konsekutiv verkürzten Subscapularissehne kann es sich hierbei allerdings als schwierig erweisen, eine ausreichende Länge des Subscapularis zu gewinnen, weshalb in diesem Fall anstatt des weichteiligen Vorgehens mit einem Subscapularis-Flap eine Osteotomie des Tuberculum minus, ggf. mit einer zusätzlichen Medialisierung, zu empfehlen ist [13]. Im Folgenden kann die Defektzone am Humeruskopf jeweils in Extensions- und Außenrotationsstellung nach ventral exponiert und dargestellt werden. Je nach Art und Größe

des Befunds ist die Gelenkfläche zur Rekonstruktion zu osteotomieren und aufzustoßeln. Der hierbei unter der Fraktur oder dem Imprimat entstehende Defekt kann anschließend entweder mit spongiosen Auto- oder Allograft oder mit Knochenersatzmaterial aufgefüllt werden [17]. Mittels subchondral zu versenkender Schrauben (z. B. Biokompressionsschrauben) kann die rekonstruierte Gelenkfläche und das Augmentat im Weiteren fixiert werden [17]. Um die Funktion des M. subscapularis nicht sekundär zu kompromittieren, ist die abschließende Refixation des Subscapularis in 20° Außenrotationsstellung des Arms durchzuführen [13, 17].

Frakturfolgezustand Typ III nach Boileau

Da die Pseudarthrosen des proximalen Humerus oder eine ausbleibende Knochenheilung meist mit einer subkapitalen Fehlstellung des Humeruskopfes einhergehen (■ **Abb. 2**), ist neben dem Anfrischen der Frakturrenden im Rahmen der operativen Revision je nach valgischer oder varischer Fehlstellung entsprechend korrigierend zu reponieren. Die Osteotomie wird dabei im Collum chirurgicum zwischen den Ansätzen des M. pectoralis major und des M. subscapularis durchgeführt. Je nach Schwere der Fehlstellung werden eine Osteotomie, ggf. als laterale Closed-wedge-Osteotomie, sowie ein anschließendes Auffüllen der medialen und/oder subkapitalen Knochendefektzonen mittels Spongiosablöcken oder Knochenersatzstoffen notwendig [6, 13, 17]. Die höchste biomechanische Stabilität solcher Defektzonen ließ sich in diesem Kontext nach einer plattenosteosynthetischen Versorgung mit additiver Augmentation mittels kortikospongiosen Span feststellen [6, 24].

Frakturfolgezustand Typ IV nach Boileau

Bei Frakturfolgen Typ IV (■ **Abb. 3**) liegt der Schwerpunkt der Korrektur auf der Mobilisation und der anatomischen Rekonstruktion der in Fehlstellung verheilten Tubercula. Diese erfordern Osteotomien, die häufig unter Einbezug eines größeren Knochenfragments durchzuführen sind [17]. Je nach Ausmaß der Fehlstellung mit konsekutiver Retraktion der Sehnen der Rotatorenmanschette können da-

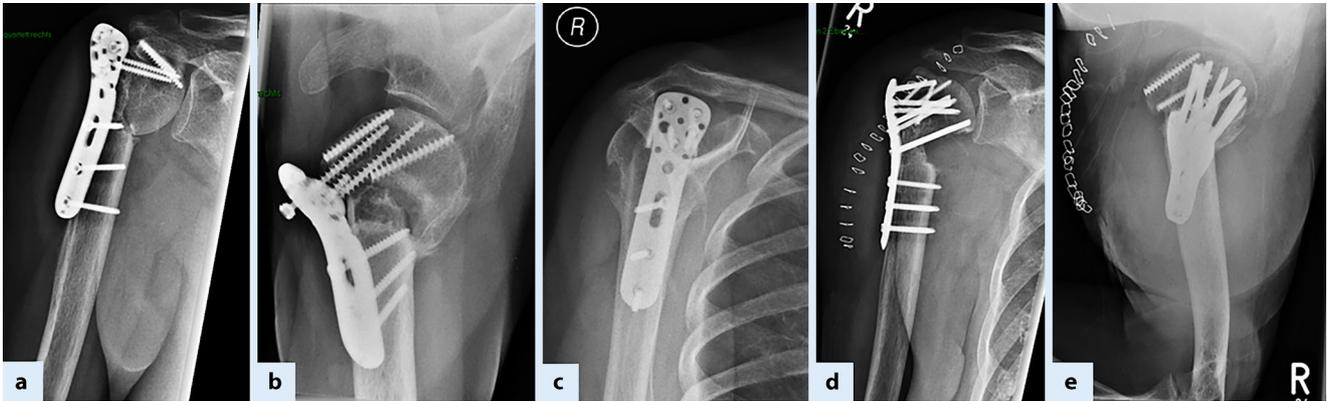


Abb. 2 ▲ 58-jährige Patientin, rechte Schulter, Varuspseudarthrose und -fehlstellung bei einliegender ex domo mittels Plattenosteosynthese versorgter proximaler Humerusfraktur (Frakturfolge Typ III nach Boileau [8], postoperative Röntgenaufnahmen: a a.-p., b axial, c Y-View); Revision mittels Closed-wedge-Osteotomie, valgischer Korrekturosteosynthese und medialer Spongiosaplastik (postoperative Röntgenaufnahmen: d a.-p., e axial). (Aus [25])

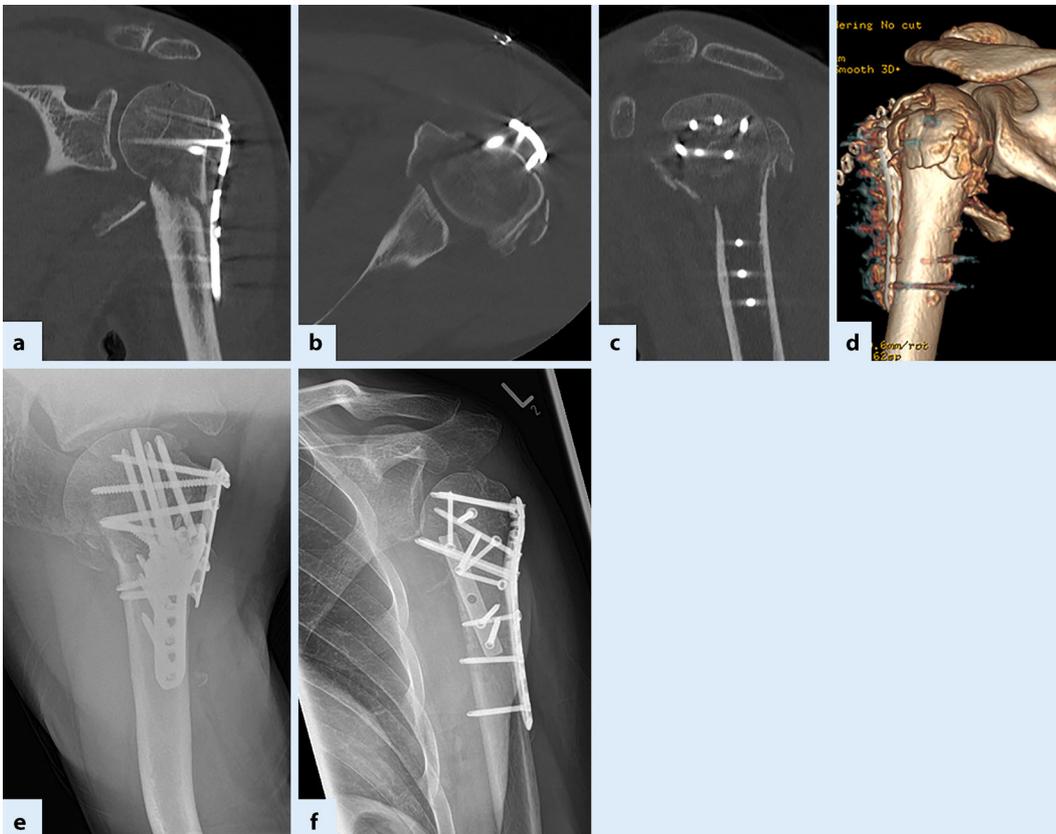


Abb. 3 ◀ 43-jähriger Patient, linke Schulter, Dislokation der Tubercula und Varusfehlstellung nach ex domo osteosynthetisch versorgter proximaler Humerusfraktur (Frakturfolge Typ IV nach Boileau [8], postoperative [dreidimensionale, 3-D-]CT-Aufnahmen: a koronar, b axial, c sagittal, d 3-D-CT-Rekonstruktion); nach doppelplattenosteosynthetischer Reosteosynthese, schraubenosteosynthetischem Aufbau des Schafts, Einbringen eines Allograft-Knochenblocks und additiver Zuggurtung des Subscapularis und des Infraspinatus (postoperative Röntgenaufnahmen: e axial, f a.-p.)

rüber hinaus ein begleitendes Mobilisieren der Rotatorenmanschette und/oder ein Lösen möglicher Vernarbungen notwendig werden [6, 13, 17]. Eine begleitende Varus- oder Valgusfehlstellung ist im Rahmen der Revision mittels einer Osteotomie therapeutisch zu adressieren. Dabei entstehende Knochendefektzonen sind gemäß des operativen Vorgehens bei Frakturfolgen Typ III nach Boileau mittels Spongiosaplas-

tiken und/oder Knochenersatzstoffen aufzufüllen. Alternativ zu den offen operativen Korrekturingriffen wurden bei isolierten Fehlstellungen des Tuberculum majus von < 1,5 cm auch arthroskopische Korrekturingriffe mit modifizierten Osteotomietechniken, transossären Fadenrefixationen und/oder arthroskopisch gestützten perkutanen Schraubenosteosynthesen entwickelt und haben sich als zielführend er-

wiesen [3, 6, 26–28]. Nach Korrekturosteotomien des Tuberculum majus und/oder minus, teilweise in Kombination mit einer ergänzenden Akromioplastik, konnten bei Patienten mit jeweils erhaltener Kongruenz der Gelenkfläche in über 90% der Fälle zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden [7, 15]. Bei Patienten mit einem symptomatisches subakromiales Impingementsyndrom infolge eines fehler-

heilten Tuberculum majus können rein arthroskopische Akromio- oder Tuberculo- plastiken bereits eine signifikante Besse- rung der Beschwerden erreichen [3, 5, 7]. In einer Kohorte von insgesamt 9 Patien- ten mit einem jeweils fehlverheilten Tu- berculum majus konnte gezeigt werden, dass nach einer arthroskopischen Tuberculo- plastik und Naht der Rotatorenman- schette insgesamt 8 Patienten wieder ihr Aktivitäts- und/oder Sportniveau von vor dem Unfall aufnehmen konnten [26].

Metaphysäre Fehlstellungen

Bei Vorliegen von metaphysären Fehlstel- lungen wie Varusfehlstellungen von $> 20^\circ$, Valgusfehlstellungen oder von Rotations- fehlstellungen von $> 30^\circ$ mit Nachweis eines klinischen Rotationsdefizits sind bei knöcherner Konsolidierung jeweils meta- physäre Osteotomien zu empfehlen [6, 7, 13]. So ist beispielsweise bei klinisch re- levanten Varusfehlstellungen durch valg- sierende Korrekturosteotomien ein Wie- derherstellen der physiologischen Bewe- gungsabläufe möglich [7, 29]. Um im Rah- men metaphysärer Osteotomien das Risiko einer iatrogenen Humeruskopfnekrose zu reduzieren, sind intraoperativ die für die Vaskularisation des proximalen Humerus entscheidenden Äste der A. circumflexa humeri anterior unbedingt zu schonen [7]. Präoperativ ist zur exakten Planung die- ser Korrekturosteotomien der posttrauma- tisch fehlverheilte Zustand systematisch und grundlegend mithilfe einer 3-D-CT- radiologischen Darstellung zu analysieren [3, 17]. Die Analyse der zugrunde liegen- den Fehlstellung erweist sich dabei häu- fig als komplex und technisch anspruchsvoll, insbesondere wenn es sich um kom- binierte Fehlstellungen handelt, so dass in diesen Fällen eine ergänzende bilaterale CT-radiologische Darstellung der Humeri zum präoperativen 3-D-computergestütz- ten Planen der operativen Korrekturosteo- tomie zu empfehlen ist [7, 30].

Arthroskopische Revisionseingriffe

Bei posttraumatischen Frakturfolgezu- ständen, wie z.B. einer intraartikulären Schraubenlage, einer posttraumatischen Schultersteife mit symptomatischer „stiff shoulder“ oder einer anderen Form des ma-

terialbedingten Impingementsyndroms, eignen sich rein arthroskopische Korrek- tureingriffe, um bereits eine signifikante Verbesserung des klinischen Befunds zu erzielen [3, 6]. Katthagen et al. [31] beschrieben in einer 45 Patienten umfas- sende Studie mit jeweils beschwerde- behafteten Verläufen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese einer proximalen Humerusfraktur 2 Jahre nach arthrosko- pischer Arthrolyse bzw. Kapsulotomie und Materialentfernung eine signifikante Verbesserung sowohl der Innenrotation, der Abduktion als auch der Antever- sion. Intraartikuläre Begleitpathologien wurden dabei in 75 % der Fälle thera- peutisch mitbehandelt. Aufgrund dieser klinischen Relevanz mit einer Verbes- serung der Schulterfunktion und einer signifikanten Schmerzreduktion wird die arthroskopische Arthrolyse mit Entfernen des Osteosynthesematerials in Bezug auf die posttraumatische Schultersteife nach operativ versorgter proximaler Humerus- fraktur mittlerweile bereits als „geplanter Zweiteingriff“ angesehen [32].

Fazit für die Praxis

- Die Analyse der zugrunde liegenden, teil- weise auch kombinierten Fehlstellungen erweist sich häufig als komplex, technisch anspruchsvoll und erfordert folglich ein exaktes Planen der operativen Revision.
- Jüngere Patienten tolerieren posttrauma- tische Fehlstellungen im Vergleich zu äl- teren Patienten insgesamt schlechter.
- Bei Vorliegen von die glenohumerale Ge- lenkfläche kompromittierenden Fraktur- folgezuständen mit erhöhtem Risiko ei- ner konsekutiven posttraumatischen Ar- throseeentwicklung ist die Indikation zur operativen Korrekturosteosynthese mög- lichst frühzeitig zu stellen.
- Bei Frakturfolgen Typ I nach Boileau gilt in der Regel das endoprothetische Vorgehen als Therapie der Wahl.
- Bei Frakturfolgen Typ II–IV nach Boileau sind bei jüngeren Patienten < 60 Jahren mit guter Knochenqualität und bei ent- sprechendem funktionellen Anspruch primär gelenkerhaltende Korrekturosteo- tomien und Revisionsosteosynthesen zu empfehlen.
- Bei einer intraartikulären Schraubenla- ge, einer posttraumatischen Schultersteife mit symptomatischer „stiff shoulder“ oder einer anderen Form des materialbe- dingten Impingementsyndroms führen rein arthroskopische Korrekturingriffe zu einer signifikanten Verbesserung des klinischen Befunds.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Maren Bieling
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
DIAKOVERE Friederikenstift
Humboldtstraße 5, 30169 Hannover,
Deutschland
maren.bieling@diakovere.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Bieling, A. Ellwein und H. Lill geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Stahl D, Fuente GDL (2016) Reverse total shoulder arthroplasty for a 4-part proximal humerus fracture. *J Orthop Trauma* 30:S9–S10
2. Burkhart KJ, Dietz SO, Bastian L, Thelen U, Hoffmann R, Müller LP (2013) The treatment of proximal humeral fracture in adults. *Dtsch Arztebl Int* 110(35–36):591–597
3. Pinkas D, Wanich TS, DePalma AA, Gruson KI (2014) Management of malunion of the proximal humerus: current concepts. *J Am Acad Orthop Surg* 22(8):491–502
4. Siegel JA, Dines DM (2000) Proximal humeral malunions. *Orthop Clin North Am* 31:35–50
5. Duparc F (2013) Malunion of the proximal humerus. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(1 Suppl):S1–S11
6. Katthagen JC, Ellwein A, Lill H (2016) Posttrauma- tische Korrekturen und Revisionen bei proximaler Humerusfraktur. *Trauma Berufskrankh* 18(Suppl 5):S461–S467
7. Meller R, Hawi N, Schmiedem U, Millet PJ, Petri M, Krettek C (2015) Posttraumatische Fehlstellungen und Pseudarthrosen des proximalen Humerus. Möglichkeiten und Grenzen der Korrekturosteo- tomie. *Unfallchirurg* 118:577–585
8. Boileau P, Chuinard C, Le Huec J-C, Walch G, Trojani C (2006) Proximal humerus fracture sequelae. Impact of a new radiographic classification on arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 442:121–130
9. Boileau P, Trojani C, Walch G, Krishnan SG, Romeo A, Sinnerton R (2001) Shoulder arthroplasty for the treatment of the sequelae of fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg* 10(4):299–308
10. Martinez AA, Calvo A, Domingo J, Cuenca J, Herrera A (2010) Arthroscopic treatment for malunions of the proximal humeral greater tuberosity. *Int Orthop* 34(8):1207–1211
11. Hinov V, Wilson F, Adams G (2002) Arthroscopically treated proximal humeral fracture malunion. *Arthroscopy* 18(9):1020–1023
12. Gill TJ, Waters P (1997) Valgus osteotomy of the humeral neck. A technique for the treatment of humerus varus. *J Shoulder Elbow Surg* 6(3):306–310
13. Dey Hazra RO, Lill H, Ellwein A, Warnhoff M, Jensen G (2020) Corrective osteosynthesis in failed proximal humeral fractures. Korrekturmöglichkeiten bei

- fehlgeschlagener Osteosynthese – proximaler Humerus. *Z Orthop Unfall* 158(5):524–531
14. Voigt C, Kreienborg S, Megatli O, Schulz AP, Lill H, Hurschler C (2011) How does a varus deformity of the humeral head affect elevation forces and shoulder function? A biomechanical study with human shoulder specimens. *J Orthop Trauma* 20:740–746
 15. Beredjickian PK, Iannotti JP, Norris TR, Williams GR (1998) Operative treatment of malunion of a fracture of the proximal aspect of the humerus. *J Bone Joint Surg Am* 80(10):1484–1497
 16. Bono CM, Renard R, Levine RG, Levy AS (2001) Effect of displacement of fractures of the greater tuberosity on the mechanics of the shoulder. *J Bone Joint Surg Br* 83:1056–1062
 17. Lill H, Voigt C, Jensen G, Warnhoff M, Katthagen JC (2015) Korrekturosteosynthesen proximaler Humerusfrakturen. Technik und prospektive Ergebnisse. *Unfallchirurg* 118:18–28
 18. Gwinner C, Greiner S, Gerhardt C, Scheibel M (2013) Inverse Schulterprothetik bei Frakturfolgezuständen. *Orthopaede* 42:531–541
 19. Habermeyer P, Schweiberer L (1992) Korrekturingriffe infolge von Humeruskopffrakturen. *Orthopaede* 21:148–157
 20. Aytac SD, Schnetzke M, Hudel I, Studier-Fischer S, Grützner PA, Gühring T (2014) Hohe knöcherner Ausheilungsraten nach kopferhaltender Revision von proximalen Humeruspseudarthrosen. High bone consolidation rates after humeral head preserving revision surgery in non-unions of the proximal humerus. *Z Orthop Unfall* 152:596–602
 21. Badman BL, Mighell M, Kalandiak SP, Prasarn M (2009) Proximal humeral nonunions treated with fixed-angle locked plating and an intramedullary strut allograft. *J Orthop Trauma* 23(3):173–179
 22. Mansat P, Bonneville N (2015) Treatment of fracture sequelae of the proximal humerus: anatomical vs reverse shoulder prosthesis. *Int Orthop* 39:349–354
 23. Ballas R, Teissier P, Teissier J (2016) Stemless shoulder prosthesis for treatment of proximal humeral malunion does not require tuberosity osteotomy. *Int Orthop* 40(7):1473–1479
 24. Katthagen JC, Schwarze M, Meyer-Kobbe J, Voigt C, Hurschler C, Lill H (2014) Biomechanical effects of calcar screws and bone block augmentation on medial support in locked plating of proximal humeral fractures. *Clin Biomech* 29:735–741
 25. Lill H, Scheibel M, Voigt C (Hrsg) (2014) Die proximale Humerusfraktur. Springer, Berlin Heidelberg
 26. Lädermann A, Denard PJ, Burkhart SS (2012) Arthroscopic management of proximal humerus malunion with tuberopectomy and rotator cuff retensioning. *Arthroscopy* 28(9):1220–1229
 27. Weixiong L, Hao Z, Zhongli L, Ji L (2016) Is arthroscopic technique superior to open reduction internal fixation in the treatment of isolated displaced greater tuberosity fractures? *Clin Orthop Relat Res* 474:1269–1279
 28. Huntley SR, Lehtonen EJ, Robin JX, Arguello AM, Rouleau DM, Brabston EW, Ponce BA, Momaya AM (2020) Outcomes of surgical fixation of greater tuberosity fractures: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res* 106:1119–1126
 29. Benegas E, Zoppi Filho A, Ferreira Filho AA, Ferreira Neto AA, Negri JH, Prada FS, Zumiotti AV (2007) Surgical treatment of varus malunion of the proximal humerus with valgus osteotomy. *J Shoulder Elbow Surg* 16:55–59
 30. Vlachopoulos L, Schweizer A, Meyer DC, Gerber C, Fürnstahl P (2016) Three-dimensional corrective osteotomies of complex malunited humeral

Fracture sequelae—indications and surgical procedures for joint preservation

Background: After conservative and surgical treatment of fractures of the proximal humerus, posttraumatic fracture sequelae occur in up to 20% of cases. Due to their distinctive heterogeneity regarding both their functional and biomechanical effects, there are still no validated treatment guidelines and the existing recommendations have primarily a low level of evidence.

Objectives: The aim of this study was to elaborate on the indications of surgical joint-preserving corrective and revision osteosynthesis of fracture sequelae of the proximal humerus and on the respective treatment guidelines as well as to illustrate the respective surgical procedures.

Materials and methods: Methodically a differentiated literature analysis was performed on the indications for joint-preserving surgical revisions, current treatment guidelines, and the respective surgical procedures.

Results: Posttraumatic fracture sequelae can be classified into four types based on the morphologic criteria according to Boileau or distinguished regarding the type of malalignment. Clinically, they lead to a painful, restricted mobility and a reduced function of the shoulder. With respect to fracture sequelae type I according to Boileau, endoprosthesis procedures are considered as the treatment of choice. In patients younger than 60 years of age with good bone quality and respective functional claim, fracture sequelae types II–IV according to Boileau are primarily meant to be treated in a joint-preserving manner via corrective osteotomy and revision osteosynthesis. In case of intra-articular screw positioning, posttraumatic shoulder stiffness, or other forms of mechanical implant impingement syndromes, arthroscopic corrective procedures lead to significantly enhanced clinical outcomes.

Conclusions: Joint-preserving surgical procedures regarding posttraumatic fracture sequelae of the proximal humerus reveal to be highly complex and technically demanding. In addition, the patient's individual functional requirements, clinical symptomatology, and concomitant soft-tissue injuries have to be considered in treatment decision-making. Consequently, joint-preserving surgical revisions of posttraumatic fracture sequelae require a systematic and thorough analysis as well as an exact preoperative planning by means of 3-D-computed tomographic (CT) scans and, if indicated, bilateral imaging of the fracture sequelae.

Keywords

Humeral fracture · Posttraumatic fracture sequela · Corrective osteotomy · Revision osteosynthesis · Pseudarthrosis

- fractures using patient-specific guides. *J Shoulder Elbow Surg* 25(12):2040–2047
31. Katthagen JC, Hennecke D, Jensen G, Ellwein A, Voigt C, Lill H (2014) Arthroscopy after locked plating of proximal humeral fractures: implant removal, capsular release and intraarticular findings. *Arthroscopy* 30:1061–1067
 32. Katthagen JC, Schliemann B, Dyma F, Raschke MJ (2021) Posttraumatische Schultersteife. *Unfallchirurg* 124:241–251