



Posttraumatische Korrekturen und Revisionen bei proximaler Humerusfraktur

Frakturfolgen kommen gleichermaßen nach konservativer und operativer Therapie proximaler Humerusfrakturen vor. Die Therapie ist anspruchsvoll und muss der jeweiligen Frakturfolge angepasst werden. Bei jüngeren Patienten werden zunehmend kopferhaltende operative Eingriffe durchgeführt. Bei der Behandlung von Frakturfolgen mit Schulterprothesen kommen vermehrt schaftlose Implantate sowie inverse Schulterprothesen zum Einsatz, um Problematiken mit den Tuberkula zu umgehen. Bei weniger komplexen Folgezuständen mit Schultersteife, artikulärer Schraubenperforation oder mechanischem Materialimpingement verbessert eine arthroskopische Arthrolyse/Kapsulotomie mit Materialentfernung die klinische Situation.

ständen vorgeschlagen [3–5, 23]. Die umfassendste und aus Sicht der Autoren praktikabelste Klassifikation ist dabei die Boileau-Klassifikation [4, 5]. Die Einteilung der Frakturfolgen nach Boileau bezieht sich zwar auf chronische Frakturfolgezustände, nach Erfahrung der Autoren können auch frühzeitige Folgezustände mit Notwendigkeit einer Korrektur- oder Revisionsosteosynthese in der Regel analog eingeteilt und nach ähnlichen Prinzipien behandelt werden. Die Boileau-Klassifikation unterscheidet 4 Typen von Frakturfolgen [4, 5]:

- Typ I – Humeruskopfkollaps oder avaskuläre Nekrose (AVN),
- Typ II – verhakte Luxationsfrakturen/ Luxationsfrakturen,

- Typ III – subkapitale Pseudarthrose/ ausbleibende Knochenheilung,
- Typ IV – erhebliche Fehlstellung der Tuberkula.

Um eine Frakturfolge einer entsprechenden Kategorie zuteilen zu können, wurde der folgende Fragenkatalog von Boileau et al. vorgeschlagen:

- Ist das Kalottenfragment luxiert? – Wenn ja: Typ II.
- Besteht eine Pseudarthrose/ ausbleibende Frakturheilung subkapital? – Wenn ja: Typ III.
- Könnte eine Prothese ohne Osteotomie der Tuberkula implantiert werden? – Wenn nein: Typ IV, wenn ja: Typ I.

Häufigkeit und Typen von Frakturfolgen

In bis zu 20 % der Fälle kommt es bei der Therapie proximaler Humerusfrakturen zu sog. Frakturfolgen [30]. Operative Therapieverfahren werden dabei in der Regel mit höheren Komplikationsraten assoziiert [27]. In einer aktuellen Fallserie hielten sich Frakturfolgen nach operativer und konservativer Therapie in Bezug auf die Frequenz von korrigierenden Osteotomien jedoch in etwa die Waage. In 5 von 11 Fällen (45 %) wurde dabei die Korrekturosteosynthese bei posttraumatischem Zustand nach konservativer Therapie durchgeführt [18].

Verschiedene Klassifikationssysteme, die sich an diversen morphologischen Kriterien orientieren, wurden zur Einteilung von posttraumatischen Folgezu-

Tab. 1 Operationsindikationen bei posttraumatischen Problematiken nach proximaler Humerusfraktur im eigenen Vorgehen der Autoren und in Abhängigkeit diverser patientenassoziierter Kriterien

Posttraumatische Problematik	Operationsindikation
Verhakte/verhakende Luxationsfraktur	Regelhaft
Varusfehlstellung des Humeruskopfes	Bei >20° Fehlstellung
Fehlstellung der Tuberkula	Bei >5 mm kranialer Dislokation des Tuberculum majus oder medialer Dislokation des Tuberculum minus
Stufe der Humeruskopfgelenkfläche	Bei >2 mm artikulärem Versatz
Pseudarthrose (ausbleibende Knochenheilung >6 Monate)	Regelhaft, sofern symptomatisch
Bewegungseinschränkung der Schulter	Wenn therapierefraktär auf konservative Therapie, v. a. bei Bewegung unterhalb Schulterniveau
Humeruskopfnekrose	Regelhaft, wenn symptomatisch und mit Einbezug der Humeruskopfgelenkfläche
Rotationsfehlstellung	Bei >30° Fehlstellung mit Rotationsdefizit als klinischem Korrelat
Artikuläre Schraubenperforation	Regelhaft bei zu erwartendem Überstand über Knorpelniveau (2–4 mm)



Abb. 1 ◀ 59-jähriger Patient mit Frakturfolge Boileau Typ II Schulter rechts 1 Monat nach auswärtig übersehener, dorsal verhaltener Luxation des proximalen Humerus mit Impression der Gelenkfläche und undiszielter Fraktur des Tuberculum minus. **a** Präoperative Röntgenaufnahmen (links a.-p., rechts Y-Aufnahme). **b** Präoperative Computertomographie (oben axial, unten 3-D-Rekonstruktion). **c** Postoperative Röntgenaufnahmen (links a.-p., rechts axial) nach Subskapularis-Flap, Osteotomie der Gelenkfläche sowie Unterfütterung der Gelenkfläche mit Hydroxylapatit (Pfeile) und Refixation mit 2 Biotenodeschrauben. **d** Schulterfunktion 12 Monate postoperativ, von links nach rechts: Abduktion, Anteversion, Nackengriff, Schürzengriff. (Aus [18])

In Bezug auf die letzte der 3 Fragen muss festgestellt werden, dass sich diese auf konventionelle, anatomische Schaftprothesen bezieht und nicht auf neuere, schaftlose Implantate, bei denen ohnehin häufig auf eine Osteotomie der Tuberkula verzichtet werden kann [2].

Indikationen für Korrektur-eingriffe

Frakturfolgen proximaler Humerusfrakturen gehen häufig mit schmerzhafter Bewegungseinschränkung und limitierter Schulterfunktion einher [7, 8, 18, 23, 30]. Für die Frage welche Frakturfolgen korrigiert werden sollten, gibt es bislang keine validierten Richtlinien. Ältere

Patienten tolerieren Fehlstellung häufig besser als jüngere Patienten, und der Röntgenbefund korreliert nicht zwangsläufig mit der klinischen Funktion [23]. Varusfehlstellungen von über 20° und Tuberkulafehlstellungen ab 3–5 mm können sich jedoch bereits mechanisch und funktionell auswirken [6, 21, 33]. Bei Kompromittierung der Gelenkfläche und anderweitig zu erwartender, rascher Arthroseentwicklung (z. B. bei artikulärer Schraubenperforation) besteht eine eher großzügige Korrekturindikation. Die Therapieentscheidung muss immer vom Allgemeinzustand des Patienten, den Begleiterkrankungen sowie dem individuellen Narkose- und Operationsrisiko abhängig gemacht werden. Im

eigenen Vorgehen sind zudem insbesondere der klinische Befund, der Anspruch des Patienten und diverse morphologische Kriterien (■ Tab. 1) maßgebend. Hinsichtlich der Erfahrung mit eigenen Ergebnissen und der zu erwartenden Verbesserung der Schulterfunktion sehen die Autoren hinsichtlich des Bewegungsausmaßes eine eingeschränkte Funktion unter Schulterniveau als Korrektur-/ Revisionsgrund an, sofern die konservative Therapie erfolglos geblieben ist [15, 26].

J. C. Katthagen · A. Ellwein · H. Lill

Posttraumatische Korrekturen und Revisionen bei proximaler Humerusfraktur

Zusammenfassung

Hintergrund. In bis zu 20 % der Behandlungsfälle kommt es nach proximaler Humerusfraktur zu sog. posttraumatischen Frakturfolgen wie avaskulärer Humeruskopfnekrose, verhakter Luxationsfehlstellung, Pseudarthrose oder Fehlstellung der Tuberkula.

Ziel der Arbeit. Ziel war die Erstellung einer Zusammenfassung der relevanten und aktuellen Erkenntnisse zu posttraumatischen Korrekturen und Revisionen proximaler Humerusfrakturen.

Material und Methoden. Es erfolgte eine Analyse der Literatur zum Thema Frakturfolgen bei proximaler Humerusfraktur mit Darstellung aktueller Behandlungsempfehlungen, Indikationskriterien sowie zu erwartender Ergebnisse.

Ergebnisse. Frakturfolgen proximaler Humerusfrakturen können gut nach Boileau klassifiziert werden (Typ I–IV). Die Therapie symptomatischer Frakturfolgen ist in der Regel operativ. Bei der Frakturfolge Typ I ist mit Kollaps der Humeruskopf Gelenkfläche meist eine Prothesenimplantation erforderlich. Frakturfolgen Typ II–IV können bei Patienten <60 Jahren mit befriedigenden Ergebnissen mittels Korrekturosteosynthese gelenkerhaltend behandelt werden. Bei Patienten >60 Jahre werden zunehmend schaftlose Prothesen sowie inverse Prothesen implantiert. Eine arthroskopische Arthrolyse und Materialentfernung empfiehlt sich bei Schultersteife, artikulärer Schraubenperforation oder mechanischem Materialimpingement.

Diskussion. Die Therapie von Frakturfolgen proximaler Humerusfrakturen ist anspruchsvoll und erfordert eine den Frakturfolgen angepasste Herangehensweise. Bei Humeruskopf-erhaltender Therapie ist bei einem Großteil der Fälle eine Osteotomie und/oder Augmentation des proximalen Humerus erforderlich. Bei Behandlung von Frakturfolgen mit Implantation von Schulterprothesen stellen die Heilung der Tuberkula und die Vermeidung von Instabilitäten die größten Probleme dar.

Schlüsselwörter

Osteotomie · Augmentation · Pseudarthrose · Therapie · Indikation

Posttraumatic corrective osteotomy and revision after proximal humeral fractures

Abstract

Background. Posttraumatic fracture sequelae, such as avascular humeral head necrosis, non-union, locked dislocation and malunion of the tuberosities can be observed in up to 20 % of cases after treatment of proximal humeral fractures.

Objective. Summary of relevant and current knowledge regarding posttraumatic correction and revision of proximal humeral fractures.

Material and methods. Analysis of the literature dealing with the topic of fracture sequelae after proximal humeral fractures and presentation of current treatment recommendations, indication criteria and expected results.

Results. A useful classification of the sequelae of humeral fractures is the Boileau classification (types I–IV). Treatment of symptomatic fracture sequelae is usually operative. Fracture sequelae type I with collapse of the humeral head joint surface are commonly treated with prosthesis implantation. Fracture sequelae types II–IV can be treated with corrective osteosynthesis and preservation of the humeral head with satisfactory results in patients younger than 60 years of age. In patients aged 60 years and older stemless prostheses and reverse arthroplasty are now more commonly used. Arthroscopic arthrolysis with implant removal is recommended in cases with shoulder

stiffness, articular screw perforation or mechanical implant impingement.

Discussion. The treatment of fracture sequelae of proximal humeral fractures is challenging and requires a case-adapted approach. Treatment for humeral head preservation requires osteotomy and bone augmentation in the majority of cases. The main problems associated with prosthesis implantation are related to malunion of the tuberosities and instability of the prosthesis

Keywords

Osteotomy · Pseudarthrosis · Therapy · Indications · Augmentation

Operative Therapie von Frakturfolgen der proximalen Humerusfraktur

Generell ist die operative Therapie der Frakturfolgen anspruchsvoll. Die Korrektur der knöchernen Fehlstellung reicht meist alleine nicht aus, in der Regel muss auch die Weichteilsituation adressiert werden [3, 4, 7, 30]. Häufig sind zusätzliche Maßnahmen bei Läsionen der Bizepssehne, bei kapsulärer Kontraktur und bei Vernarbung oder Verkürzung der Rotatorenmanschet-

te (RM) notwendig. Entsprechend der Empfehlung von Boileau et al., bei den Frakturfolgen vom Typ I, II und IV eine Schulterprothese zu implantieren, fanden sich in der Literatur bislang in der Mehrzahl der Fälle Berichte über Ergebnisse nach Prothesenimplantationen [4, 9, 10, 13, 20, 22, 25]. Dabei zeigten sich allerdings teils ernüchternde Ergebnisse nach anatomischen Frakturprothesen, v. a. in Assoziation mit schlechter Einheilung der Tuberkula [8]. Des Weiteren zeigten sich nach Schulterprothesenimplantation bei Frakturfolgen häufig

Probleme mit Instabilität der Prothese, assoziiert mit Rotatorenmanschetten- und Schulterkapselopathologien [13].

Nachdem für den Zeitraum 1992 bis 2012 in der Literatur lediglich 5 Arbeiten zu Korrektur-/Revisionsosteosynthese bei Frakturfolgen von proximalen Humerusfrakturen (PHF) gefunden werden konnten [3, 11, 29, 31, 34], zeigten sich in den vergangenen Jahren vermehrt Berichte zu diesem Thema [1, 18, 23]. Die Empfehlung einer Korrekturosteosynthese mit Spongiosaplastik bei Frakturfolge Typ III von Boileau et al.

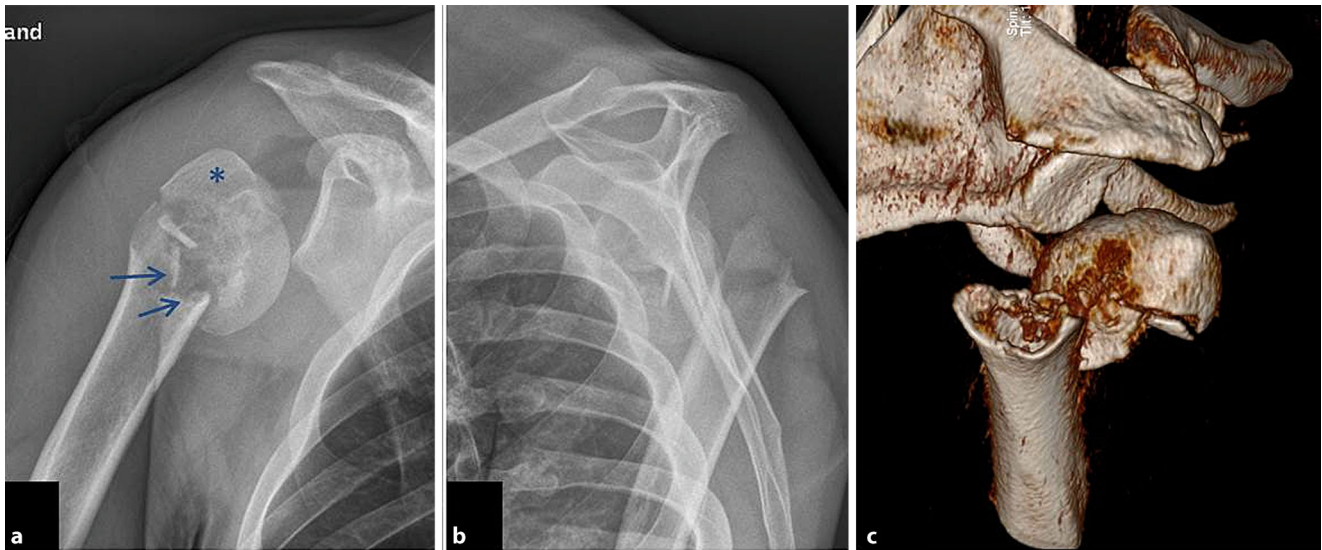


Abb. 2 ▲ 36-jähriger Patient, anteriore Humerkopfuxationsfraktur (Typ 5G nach [28]) mit Fraktur des Tuberculum majus (*) und metadiaphysärer Trümmerzone (Pfeile) rechte Schulter. a A.-p.-Röntgenaufnahme, b Y-View, c 3-D-CT-Rekonstruktion

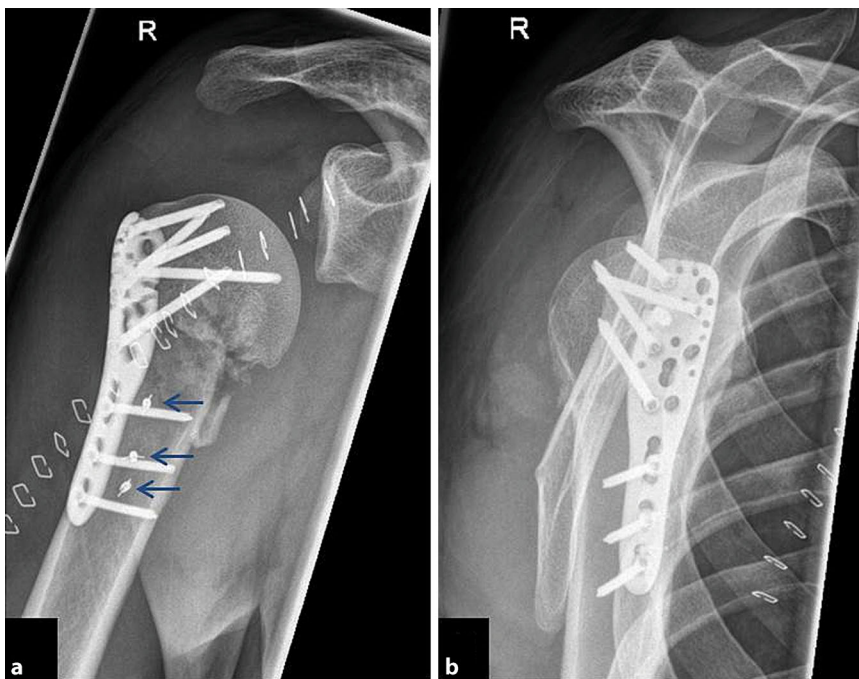


Abb. 3 ▲ 36-jähriger Patient, rechte Schulter. a A.-p.-Röntgenaufnahme, b Y-View, nach auswärtiger Rekonstruktion der Typ-5G-Fraktur in Dänemark mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese. Für die Reposition- und Rekonstruktion wurde der M. pectoralis major temporär vom Humerusschaft gelöst und später mittels dreier Fadenanker (Pfeile) wieder refixiert

konnte unlängst in einer aktuellen Arbeit mit hoher Rate an Ausheilung und signifikanter Verbesserung der klinischen Situation mit guten Ergebnissen unterstrichen werden [1, 4]. Aber auch Frakturfolgen Typ II und IV können erfolgreich gelenkerhaltend therapiert werden [10, 11, 18, 23, 34].

Dabei gibt es übereinstimmende Meinungen, dass Revisions- und Korrekturingriffe – mit Ausnahmen – eher bei jüngeren Patienten <60 Jahre indiziert sind, da diese Altersgruppe in der Vergangenheit vorteilhafte Ergebnisse aufweisen konnte [1, 18, 23]. Bei Patienten >60 Jahre ist demnach meist die prothetische Versorgung die Therapie der

Wahl. Allerdings wurden bei Indikation zur Prothesenimplantation zuletzt vermehrt Empfehlungen zur Verwendung schaftloser Implantate ohne Notwendigkeit der Tuberkulaosteotomie oder zur Verwendung inverser Schulterprothesen ausgesprochen [2, 10, 19]. Unabhängig vom Patientenalter kommt bei der Frakturfolge Typ I, die in der Regel mit Kollaps und Zerstörung der Humerkopf-gelenkfläche einhergeht, meist lediglich eine Schulterprothesenimplantation infrage [4, 10].

Korrekturosteosynthese-Techniken bei Frakturfolgen proximaler Humerusfrakturen nach Lill et al.

Die Autoren empfehlen die Durchführung von Korrektur- und Revisionsosteosynthesen des proximalen Humerus in Rückenlage des Patienten bei 30° erhöhtem Oberkörper mit beweglich gelagertem Arm auf einem Beistelltisch. Als Operationszugang wird der deltopektorale Zugang empfohlen. Dieser Zugang bietet eine gute Übersicht und Erreichbarkeit der relevanten Strukturen. Nach Darstellen des proximalen Humerus erfolgen zunächst in allen Fällen eine subakromiale Burssektomie und „Arthrolyse“. Sofern die lange Bizepssehne (LBS) durch den Frakturverlauf affektiert ist oder eine Läsion der LBS vorliegt, sollte im Rahmen des Korrektur- oder Revisi-

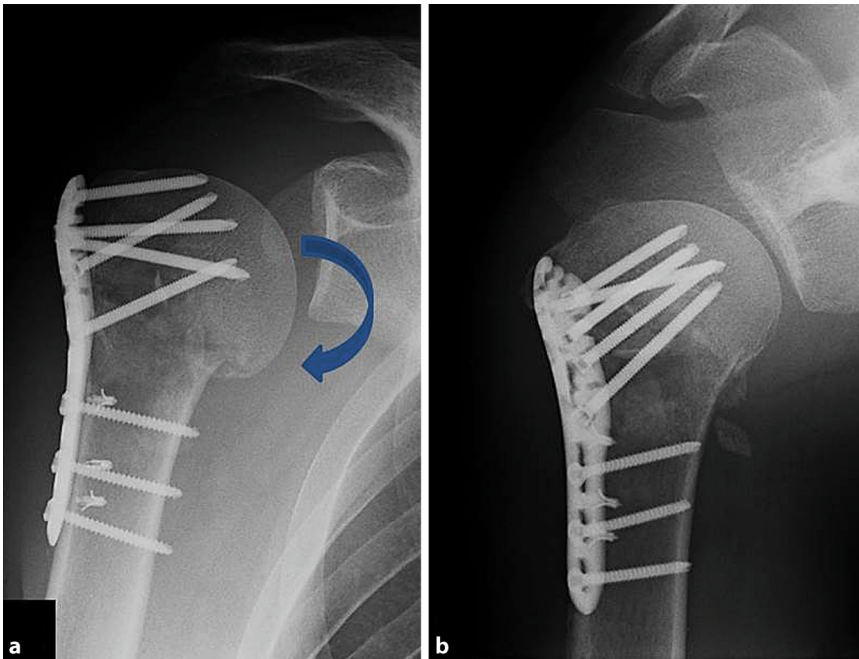


Abb. 4 ▲ 36-jähriger Patient, rechte Schulter, **a** A.-p.-Röntgenaufnahme, **b** axiale Röntgenaufnahme; 8 Wochen nach Plattenosteosynthese beginnendes „Abrutschen“ der Kalotte in Varusfehlstellung (Pfeil)

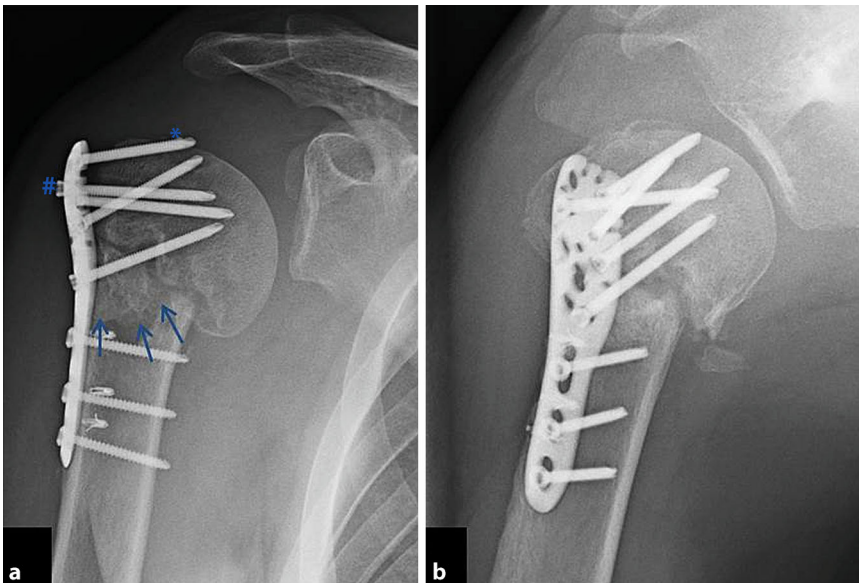


Abb. 5 ▲ 36-jähriger Patient, rechte Schulter. **a** A.-p.-Röntgenaufnahme, **b** axiale Röntgenaufnahme; 5 Monate nach Plattenosteosynthese Varusrepositionsverlust bei ausgeprägter metadiaphysärer Defektsituation (Pfeile) mit Schraubenmigration (*) und artikulärer Schraubenperforation (#), resultierend in Frakturfolge Typ III nach Boileau [3, 4]

onseingriffs eine Tenodesen erfolgen. Eine detaillierte Ausführung zur Operationstechnik bei Frakturfolge Typ II–IV kann einer Vorarbeit der Autoren entnommen werden [18]. Nachfolgend sind die entscheidenden Schritte zusammengefasst.

Typ II. Um eine Rekonstruktion der Gelenkfläche durchführen zu können, muss der Humeruskopf nach ventral exponiert werden. Meist ist dazu eine Osteotomie des Tuberculum minus mit anhängender Subskapularissehne notwendig. Bei

Einschränkung der Außenrotation kann bei späterer Refixation des Tuberculum minus eine Medialisierung notwendig sein. Alternativ zur Osteotomie kann auch eine rein weichteilige Peel-off-Technik mit Subskapularis-Flap und bifokaler Kapsulotomie durchgeführt werden [32]. In der Regel kann anschließend durch Extension und Außenrotation der Humeruskopfdefekt exponiert werden. Je nach Art und Größe des Defekts kann die Gelenkfläche aufgestößelt oder osteotomiert werden. In der Regel muss ein spongioser Auto- oder Allograft oder auch ein Knochenersatzstoff zur Auffüllung des entstehenden Defekts verwendet werden (Abb. 1). Die rekonstruierte Gelenkfläche kann mittels versenkter Schrauben (z. B. Biokompressionsschrauben) fixiert werden. Die Refixation des Subskapularis, ob medialisiert oder nicht, sollte in ca. 20° Außenrotationsstellung des Armes erfolgen.

Typ III. Zur Korrektur der mit Pseudarthrose oder ausbleibenden Knochenheilung einhergehenden Frakturfolge, die häufig mit einer Varusdislokation des Humeruskopfes assoziiert ist (Abb. 2, 3, 4 und 5), wird meist eine Osteotomie zwischen den Ansätzen des M. subscapularis und M. pectoralis erforderlich. In der Regel ist in diesen Fällen eine Knocheninterposition/Defektauffüllung notwendig (Abb. 6). In einer eigenen biomechanischen Arbeit zur optimalen Stabilisierung großer medialer und subkapitaler Defektzonen bei Varusfrakturen des proximalen Humerus zeigte sich die höchste Stabilität bei Plattenosteosynthese mit additiver Augmentation mittels kortikospöngiösem Span [16].

Typ IV. In diesen Fällen stehen die Mobilisation und anatomische Rekonstruktion der Tuberkula im Vordergrund. In der Regel sind dafür Osteotomien notwendig, die unter Einbezug eines möglichst großen Fragments erfolgen sollten. Häufig sind eine Mobilisation der Rotatorenmanschette und das Lösen von Vernarbungen notwendig. Für isolierte Fehlstellung des Tuberculum majus wurden alternative, arthroskopische Korrekturerein-



Abb. 6 ▲ 36-jähriger Patient, rechte Schulter. **a** A.-p.-Röntgenaufnahme, **b** axiale Röntgenaufnahme nach Korrektur- und Revisionsosteosynthese mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese und Interposition eines kortikospongiösen Beckenkammspans (Pfeile)

griffe und modifizierte Osteotomietechniken mit transossärer Fadenrefixation beschrieben [17, 24].

Zur Korrektur von Rotations- oder Varusfehlstellungen mit ausgeheilter Knochensituation sind in der Regel metaphysäre Osteotomien indiziert [12, 23]. In allen Fällen sollten dem Korrekturingriff eine exakte Analyse der posttraumatischen Situation mittels CT [8, 18] und eine entsprechende präoperative Planung vorausgehen. Während des operativen Eingriffs kann die Zuhilfenahme von Landmarken und Markierungsdrähten bei der Orientierung helfen.

Nachbehandlung und eigene Ergebnisse

Die Nachbehandlung erfolgt mit frühzeitiger Mobilisation entsprechend der Nachbehandlung primärer Osteosynthesen. Nur nach weichteiliger Refixation der Subskapularissehne ist die Nachbehandlung restriktiver mit passiver Anteversion und Abduktion bis 90° für 6 Wochen. Weiterhin sollen in diesen Fällen die Innenrotation gegen Widerstand sowie die Außenrotation und Retroversion für 6 Wochen vermieden werden.

In einer eigenen Fallserie mit Einschluss von 11 Patienten (4 weiblich, 7 männlich; Altersdurchschnitt 53

[29–71] Jahre) zeigten sich durchschnittlich 19,5 Monate nach Korrekturosteosynthesen eine signifikante Verbesserung der Schulterbeweglichkeit sowie eine befriedigende Situation im alters- und geschlechtsadaptierten Constant Score (durchschnittlich 75 %, 65 Punkte) [18]. Bei 4 Patienten lag eine Frakturfolge Typ II mit dorsal verhakter Luxationsfraktur vor, bei 2 Patienten eine Frakturfolge Typ III mit subkapitaler Pseudarthrose und in 5 Fällen eine Frakturfolge Typ IV mit Fehlstellung der Tuberkula. Bei 3 Patienten (27 %) erfolgten bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt eine arthroskopische Arthrolyse und Materialentfernung [14], bei 1 Patientin (9 %) wurde die Implantation einer inversen Schultertotalendoprothese notwendig. Ein weiterer Patient lehnte die empfohlene Humeruskopfersatzprothese bei sekundärer Humeruskopfnekrose zunächst ab. Trotz dieser 2 Fälle mit nachfolgender Prothesenindikation konnte bei 9 von 11 Patienten (82 %) der Humeruskopf durch die Korrekturosteosynthese erhalten werden.

Arthroskopische Revisionseingriffe nach Osteosynthese von proximalen Humerusfrakturen

Bei posttraumatischer Schultersteife, intraartikulärer Schraubenperforation

und Materialimpingement nach Therapie proximaler Humerusfrakturen kann auch ein arthroskopischer Folgeeingriff zur signifikanten Verbesserung der klinischen Situation führen [14]. In einer Serie von 46 Schultern (medianes Alter 58,5 Jahre) zeigten sich 2 Jahre nach arthroskopischer Arthrolyse/Kapsulotomie und Materialentfernung bei problematischen Verläufen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese eine signifikante Verbesserung der Anteversion, Abduktion und Innenrotation. In 75 % der Fälle wurden intraartikuläre Begleitpathologien adressiert. Die beste Prognose zeigte sich bei Patienten mit mechanischem Materialimpingement, gefolgt von Patienten mit artikulärer Schraubenperforation und Patienten mit posttraumatischer Schultersteife.

Fazit für die Praxis

- Bei jüngeren Patienten (<60 Jahre) und bei guter Knochenqualität stellen frühsekundäre Revisions- und Korrekturosteosynthesen von Frakturfolgen proximaler Humerusfrakturen (Typ II–IV nach Boileau) mit befriedigenden Ergebnissen als gelenkerhaltende Maßnahme eine gute Alternative zur Prothesenimplantation dar.
- Diese anspruchsvolle Schulterchirurgie erfordert eine den Frakturfolgen angepasste Herangehensweise mit Osteotomie und/oder Augmentation des proximalen Humerus im Großteil der Fälle.
- Bei Frakturfolge Typ I nach Boileau sowie bei Patienten >60 Jahren mit symptomatischen Frakturfolgen Typ II–IV ist in der Regel der endoprothetische Ersatz indiziert. Hierbei kommen vermehrt schaftlose Prothesen sowie inverse Frakturprothesen zum Einsatz.
- Bei posttraumatischer Schultersteife, artikulärer Schraubenperforation und auch mechanischem Materialimpingement kann eine arthroskopische Arthrolyse/Kapsulotomie mit Materialentfernung und Behandlung von intraartikulären Begleitpathologien eine signifikante Verbesserung der Schulterfunktion herbeiführen.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. H. Lill
Klinik für Orthopädie und
Unfallchirurgie, DIAKOVERE
Friederikenstift gGmbH
Humboldtstr. 5, 30169 Han-
nover, Deutschland
helmut.lill@diakovere.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Das Steadman Philippon Research Institut (SPRI) erhält Unterstützung von Smith&Nephew, Arthrex Inc., Ossür und Siemens. Die Position von J.C. Katthagen im SPRI ist von Arthrex gesponsert. H. Lill ist Berater für Arthrex (Karlsfeld, Deutschland) und DePuy Synthes (Umkirch, Deutschland). A. Ellwein gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Aytac SD, Schnetzke M, Hudel I, Studier-Fischer S, Grützner PA, Gühring T (2014) Hohe knöcherner Aushheilungsraten nach kopferhaltender Revision von proximalen Humeruspseudarthrosen. *Z Orthop Unfall* 152:596–602
2. Ballas R, Teissier P, Teissier J (2016) Stemless shoulder prosthesis for treatment of proximal humeral malunion does not require tuberosity osteotomy. *Int Orthop*. doi:10.1007/s00264-016-3138-y
3. 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* 80:1484–1497
4. Boileau P, Chuinard C, Le Huec J-C et al (2006) Proximal humerus fracture sequelae. Impact of a new radiologic classification on arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 442:121–130
5. Boileau P, Trojani C, Walch G et al (2001) Shoulder arthroplasty for the treatment of the sequelae of fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg* 10:299–308
6. 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
7. Cheung EV, Sperling JW (2008) Management of proximal humerus nonunions and malunions. *Orthop Clin North Am* 39:475–482
8. Duparc F (2013) Malunion of the proximal humerus. *Orthop Traumatol Surg Res* 99S:S1–S11
9. Duquin TR, Jacobson JA, Sanchez-Sotelo J et al (2012) Unconstrained shoulder arthroplasty for treatment of proximal humeral nonunions. *J Bone Joint Surg Am* 94:1610–1617
10. Gwinner C, Greiner S, Gerhardt C, Scheibel M (2013) Inverse Schulterprothetik bei Frakturfolgezuständen. *Orthopade* 42:531–541
11. Habermeyer P, Schweiberer L (1992) Korrekturingriffe infolge von Humeruskopffrakturen. *Orthopade* 21:148–157
12. Imrecke J, Voigt C, Lill H, Habermeyer P, Magosch P (2014) Posttraumatische Zustände. In: Lill H, Scheibel M, Voigt C (Hrsg) *Die proximale Humerusfraktur*. Springer, Berlin, S 158–190
13. Jacobson JA, Duquin TR, Sanchez-Sotelo J, Schleck CD, Sperling JW, Cofield RH (2014) Anatomic shoulder arthroplasty for treatment of proximal humerus malunions. *J Shoulder Elbow Surg* 23:1232–1239
14. Katthagen JC, Henneke 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
15. Katthagen JC, Millett PJ, Jensen G, Lill H (2016) Primäre kapsuläre Schultersteife. *Arthroskopie (in press)*
16. 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 (Bristol, Avon)* 29:735–741
17. Lädemann A, Denard PJ, Burkhart SS (2012) Arthroscopic management of proximal humerus malunion with tuberopecty and rotator cuff retensioning. *Arthroscopy* 28:1220–1229
18. Lill H, Voigt C, Jensen G, Warnhoff M, Katthagen JC (2015) Korrekturosteosynthesen proximaler Humerusfrakturen. *Unfallchirurg* 118:18–28
19. Mansat P, Bonneville N (2015) Treatment of fracture sequelae of the proximal humerus: anatomical vs reverse shoulder prosthesis. *Int Orthop* 39:349–354
20. Martinez AA, Bejarano C, Carbonell I et al (2012) The treatment of proximal humerus nonunions in older patients with reverse shoulder arthroplasty. *Injury* 43(S2):S3–S6
21. Martinez AA, Calvo A, Domingo J, Cuenca J, Herrera A (2010) Arthroscopic treatment for malunions of the proximal humeral greater tuberosity. *Int Orthop* 34:1207–1211
22. Melean P, Loew M, Magosch P et al (2014) Restoration of humeral head geometry in posttraumatic fracture sequelae with stemless or resurfacing arthroplasty: a matched-pair analysis. *Obere Extremität* 9:45–50
23. Meller R, Hawi N, Schmidden U, Millett PJ, Petri M, Krettek C (2015) Posttraumatische Fehlstellungen und Pseudarthrosen des proximalen Humerus. Möglichkeit und Grenzen der Korrekturosteotomie. *Unfallchirurg* 118:577–585
24. Ogawa K, Matsumura N, Yoshida A (2014) Modified osteotomy for symptomatic malunion of the humeral greater tuberosity. *J Orthop Trauma* 28:e290–e295
25. Panagopoulos A, Tsoumpas P, Evangelou K et al (2013) Late prosthetic shoulder hemiarthroplasty after failed management of complex proximal humeral fractures. *Adv Orthop* 2013:403580
26. Raab C (2014) Posttraumatische Bewegungseinschränkung des Schultergelenks – ein multimodales Therapiekonzept. *Obere Extremität* 9:295–300
27. Rabi S, Evaniew N, Sprague SA, Bhandari M, Slobogean GP (2015) Operation vs non-operative management of displaced proximal humeral fractures in the elderly. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *World J Orthop* 6:838–846
28. Resch H, Tauber M, Nevasier RJ, Nevasier AS, Majed A, Halsey T, Hirzinger C, Al-Yassari G, Zyto K, Moroder P (2016) Classification of proximal humeral fractures based on a pathomorphological analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 25:455–462
29. Russo R, Vernaglia Lombardi L, Guidice G et al (2005) Surgical treatment of sequelae of fractures of the proximal third of the humerus. The role of osteotomies. *ChirOrgani Mov* 90:159–169
30. Siegel JA, Dines DM (2000) Proximal humeral malunions. *Orthop Clin North Am* 31:35–50
31. Solonen KA, Vastamaki M (1985) Osteotomy of the neck of the humerus for traumatic varus deformity. *Acta Orthop Scand* 56:79–80
32. Van Tongel A, De Wilde L (2015) Subscapularis handling in anatomical shoulder arthroplasty. *Obere Extremität* 10:41–46
33. 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* 25:399–405
34. Walch G, Badet R, Nové-Josserand L, Levigne C (1996) Nonunions of the surgical neck of the humerus: surgical treatment with an intramedullary bone peg, internal fixation and cancellous bone grafting. *J Shoulder Elbow Surg* 5:161–168