



Augmentation bei der Versorgung proximaler Humerus- und Femurfrakturen

Nicole M. van Veelen¹ · Frank JP Beeres¹ · Björn-Christian Link¹ · Reto Babst^{1,2}

¹Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Luzerner Kantonsspital, Luzern 16, Schweiz

²Departement Gesundheitswissenschaften und Medizin, Universität Luzern, Luzern, Schweiz

In diesem Beitrag

- **Operationstechnik**
Proximales Femur · Proximaler Humerus
- **Ergebnisse**
Proximales Femur · Proximaler Humerus
- **Diskussion**

Zusammenfassung

Hintergrund: Proximale Humerus- und pertrochantäre Femurfrakturen sind beim älteren Patienten meist durch Niedrigenergietraumata verursacht und häufig mit einer Osteoporose assoziiert. Die Versorgung solcher Fragilitätsfrakturen kann erschwert sein, da Implantate im osteoporotischen Knochen schlechteren Halt finden. Durch die Augmentation mit Zement wird die Kontaktfläche zwischen Knochen und Implantat vergrößert, um die Stabilität der Osteosynthese zu erhöhen.

Ziel der Arbeit: Diese Arbeit beschreibt das operative Vorgehen bei Augmentationen von pertrochantären Femurfrakturen, die mithilfe des Trochanteric Fixation Nail-Advanced (TFNA; Fa. DePuy Synthes, Schweiz) versorgt werden, und von proximalen Humerusfrakturen unter Verwendung einer PHILOS-Platte (Fa. DePuy Synthes, Schweiz). Des Weiteren wird die Evidenzlage der Augmentation bei diesen beiden Frakturtypen erläutert.

Ergebnisse: Biomechanische Studien konnten bei beiden Frakturtypen nach erfolgter Augmentation eine verbesserte Stabilität der Osteosynthese aufzeigen. Auch klinisch weist die aktuelle Evidenz auf eine Reduktion von Fixationsversagen hin. Ob die Augmentation auf die funktionellen Resultate einen Einfluss hat, konnte bisher noch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Schlussfolgerung: Die Augmentation der Osteosynthese mit Knochenzement scheint eine sichere und wertvolle Erweiterung der Therapieoptionen zu bieten, insbesondere für Patienten mit Fragilitätsfrakturen.

Schlüsselwörter

Knochenzement · Knochennägel · Knochenplatten · Fragilitätsfraktur · Osteoporose

Sowohl pertrochantäre Femurfrakturen wie auch proximale Humerusfrakturen gehören bei älteren Patienten zu den sog. Fragilitätsfrakturen, die durch Niedrigenergietraumata verursacht werden. Aufgrund der reduzierten Verankerung der Implantate im osteoporotischen Knochen stellt die Versorgung solcher Frakturen eine Herausforderung dar. Ein Fixationsversagen kann zu einer sekundären Dislokation der Fraktur, einer Dislokation des Osteosynthesematerials bis hin zu einer Schraubenperforation ins Gelenk führen. Die Augmentation vergrößert die Kontaktfläche zwischen Implantat und Knochen und erhöht die

biomechanische Stabilität der Osteosynthese.

Hintergrund

Proximale Humerus- und auch proximale Femurfrakturen treten gehäuft beim älteren Patienten auf [18, 26]. Meist werden sie durch Niedrigenergietraumata, wie einen Sturz aus dem Stand, verursacht und entsprechen sog. Fragilitätsfrakturen. Die zugrunde liegende Problematik ist die Osteoporose [10, 20, 37]. Da mediale Schenkelhalsfrakturen bei älteren Patienten (> 65-jährig) mehrheitlich mithilfe des Gelenkersatzes versorgt werden, wird in diesem Beitrag nicht auf diese Frakturtypen ein-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

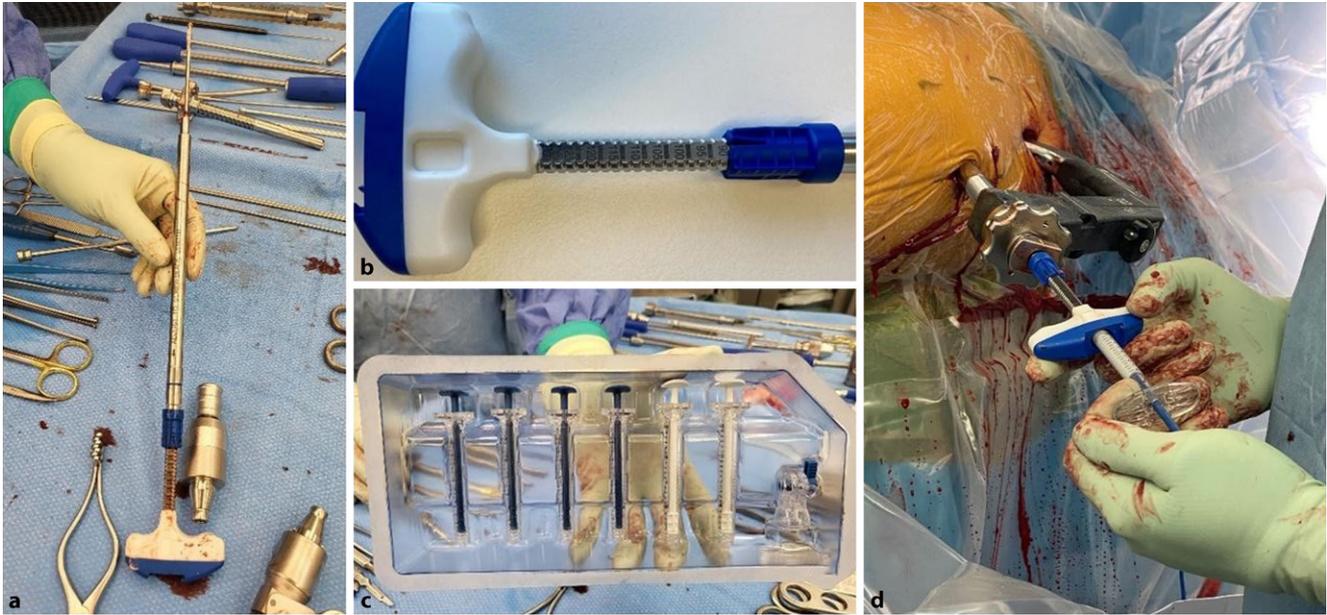


Abb. 1 ▲ Intraoperatives Vorgehen bei der Augmentation eines Trochanteric Fixation Nail-Advanced (TFNA; Fa. DePuy Synthes, Schweiz). **a,b** Injektionskanüle, die auf die Länge der Schenkelhalsklinge/-schraube eingestellt wurde, **c** farblich markierte Spritzen des TRAUMACEMV⁺-Sets (Fa. DePuis Synthes, Synthes GmbH, Zuchwil, Switzerland), **d** Zementapplikation über den Zielbügel

gegangen [4]. Die Osteoporose ist nicht nur ein Risikofaktor für die Frakturentstehung, sondern auch für das Versagen einer Frakturfixation [32].

» Osteoporose ist ein Risikofaktor für die Frakturentstehung und das Versagen einer Frakturfixation

Sowohl bei pertrochantären Femur- wie auch proximalen Humerusfrakturen kann ein Versagen der Frakturfixation zur sekundären Dislokation der Fraktur und zur Dislokation des Osteosynthesematerials, einschließlich der Penetration in das entsprechende Gelenk, führen [1, 9]. Die Häufigkeit solcher Komplikationen beträgt für pertrochantäre Femurfrakturen zwischen 1,8 und 8% [1, 5, 28, 29] sowie für proximale Humerusfrakturen zwischen 7,5 und 20% [8, 23, 40].

Mit der Zementaugmentation wird versucht, die Lastübertragung zwischen Implantat und Knochen zu optimieren, indem ihre Kontaktflächen vergrößert werden. Ziel ist es, Spitzenbelastungen auf die rarefizierten Trabekel des osteoporotischen Knochens zu verringern und die Stabilität des Konstrukts zu erhöhen, um die Rate des Fixationsversagens zu reduzieren [44].

Operationstechnik

Proximales Femur

Der Trochanteric Fixation Nail-Advanced (TFNA; Fa. DePuy Synthes, Schweiz) ist in 4 Größen erhältlich, die alle dank perforierter Schenkelhalsklinge resp. -schraube eine Augmentation mit hochviskösem Polymethylmethacrylatzement (TRAUMACEM V⁺; Fa. DePuis Synthes, Synthes GmbH, Zuchwil, Switzerland) nach Einbringen des Implantats erlauben. Alle Repositions- und Operationsschritte werden unabhängig von einer Augmentation gleich durchgeführt. Diese Schritte wurden bereits anderweitig beschrieben und können ebenso der technischen Anleitung des TFNA entnommen werden [27, 29]. Auch bei geplanter Augmentation sind eine anatomisch anatomisch richtige Reposition und die korrekte Lage des Osteosynthesematerials unabdingbar [35]. Vor der Applikation von Zement sollte der Anästhesist informiert werden, da der Patient mit einem Blutdruckabfall reagieren kann [33].

Nach Einbringen der Schenkelhalsklinge/-schraube wird der Führungsdraht entfernt und die Injektionskanüle des TRAUMACEM V⁺-Sets, die vorgängig auf

die Länge der Schraube/Klinge eingestellt wird, über den Zielbügel in Letztere eingebracht (■ Abb. 1). Die Kanüle weist im distalen Anteil eine Seitenöffnung auf, sodass der Zement durch Rotation der Kanüle gezielt in die gewünschte Richtung appliziert werden kann. Vor dem Einbringen des Zements muss mithilfe von wasserlöslichem Röntgenkontrastmittel dessen intraartikuläres Austreten ausgeschlossen werden. Durch das wasserlösliche Kontrastmittel wird eine Perforation der Kopfkalotte nachgewiesen. Das Kontrastmittel ist im Gegensatz zum Zement auswaschbar und für das Gelenk nicht schädlich. Hierzu wird das Kontrastmittel unter radiologischer Kontrolle mithilfe des C-Bogens über die Injektionskanüle gespritzt. Sofern kein Kontrastmittel nach intraartikulär austritt, kann der Zementierungsprozess initiiert werden. Der Knochenzement wird angerührt und in die mitgelieferten Spritzen aufgezogen (■ Abb. 1). Unter Bildwandlerkontrolle wird der Zement, beginnend mit den weiß markierten 2-ml-Spritzen, appliziert, wobei zu berücksichtigen ist, dass die ersten ca. 4 ml (entspricht dem Inhalt der beiden weißen Spritzen) lediglich dem Befüllen des Kanülensystems dienen. Durch Rotieren der Kanüle kann der Zement optimal um die Klinge/Schraube

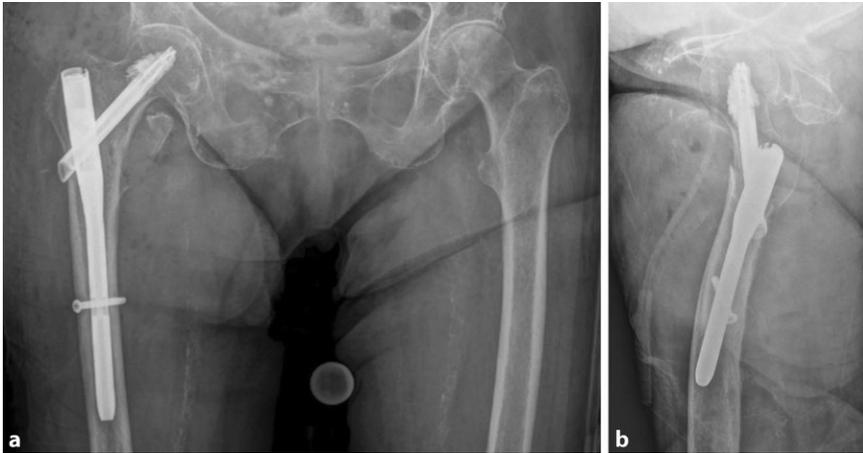


Abb. 2 ▲ Postoperative Röntgenbilder nach Versorgung einer pertrochantären Femurfraktur mit augmentiertem Trochanteric Fixation Nail-Advanced (TFNA; Fa. DePuy Synthes, Schweiz). **a** Tiefzentrierte Beckenaufnahme, **b** axiale Aufnahme der rechten Hüfte

verteilt werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass eine Distanz von mindestens 6 mm zwischen Zement und Gelenkfläche eingehalten wird, um das Entstehen von Nekrosen durch die exotherme Reaktion des Zements zu verhindern [46]. Gemäß Anleitung sollen 3 ml Zement injiziert werden. In vitro wurden bei der Augmentation einer Schenkelhalschraube mit 3 ml und 6 ml keine Temperaturen erreicht, die eine Nekrose induzieren könnten [6]. In vivo konnten bei der Verwendung von durchschnittlich 3,8–4,2 ml Zement ebenfalls keine Anzeichen einer Knochennekrose nachgewiesen werden [19, 21]. Nach Einbringen des Zements kann die Kanüle entfernt werden (▣ Abb. 2) Die weitere Operation wird analog des Vorgehens ohne Zement fortgeführt.

Proximales Humerus

Eine Augmentation am proximalen Humerus wird durch plattenkompatible kanülierte und perforierte Schrauben ermöglicht. Auch am Humerus wird für die Augmentation der bereits beschriebene hochviskose Knochenzement (TRAUMACEM V+) verwendet. Die Repositions- und Operationsschritte werden analog der Operation ohne Augmentation durchgeführt und wurden anderweitig bereits beschrieben [3, 7, 8]. Sie sind auch in der entsprechenden Operationsanleitung nachzulesen [46]. Es kann sowohl ein deltopektoraler wie auch ein anterolateraler Zugang (Deltasplit) gewählt werden. Eine anatomisch gerechte

Reposition mit guter medialer Abstützung reduziert die Häufigkeit von implantatassoziierten Komplikationen und soll auch bei geplanter Augmentation angestrebt werden [2, 15]. Wenn eine Augmentation durchgeführt wird, müssen die entsprechenden kanülierten, winkelstabilen Schrauben in den proximalen Verriegelungslöchern Anwendung finden. Gemäß Operationsanleitung sollen 4 bis 6 Schrauben augmentiert werden. Die Anleitung empfiehlt prioritär, die oberste Schraubenlochreihe und die 5. kalkarnahe Reihe zu augmentieren. Wenn 4 Schrauben augmentiert werden, wird empfohlen, zusätzlich 2 weitere nichtaugmentierte Schrauben zu verwenden. Klare Empfehlung und Evidenz hierzu gibt es aber bisher nicht.

» **Unabhängig von einer Augmentation ist in jedem Fall die anatomisch korrekte Reposition anzustreben**

Es ist wichtig, vor dem Zementieren die Länge sämtlicher Schrauben im Bildverstärker zu kontrollieren, um eine primäre Perforation in das Gelenk auszuschließen [39]. Um die Unversehrtheit der Kopfkalotte zu dokumentieren und die Gefahr der intraartikulären Gabe des Zements zu minimieren, muss analog zum TFNA auch am proximalen Humerus vorgängig ein wasserlösliches Röntgenkontrastmittel appliziert werden. Unter Bildwandlerkontrolle sollten 0,5–1 ml Kontrastmittel pro zu augmentierende Schraube gespritzt wer-

den. Damit klar ersichtlich ist, wohin das Kontrastmittel jeder einzelnen Schraube fließt, sollte das entsprechende Kontrastmittel jeweils mit Kochsalzlösung weggespült werden. Sämtliche Schrauben, die keinen Kontrastmittelaustritt nach intraartikulär zeigen, können augmentiert werden. Der Knochenzement wird gemäß Anleitung angerührt und in den mitgelieferten Spritzen aufgezogen. Nach Anbringen des Adapters auf die Spritzen kann der Zement durch festes Andrücken der Spritze in der Öffnung der kanülierten Schraube injiziert werden. Pro Schraube sollen, gemäß Operationsanleitung, maximal 0,5 ml Zement verwendet werden, wobei die ersten 0,05–0,15 ml Zement dem Befüllen des Hohlraums in der jeweiligen Schraube dienen. Insgesamt sollen pro Humeruskopf nicht mehr als 3 ml eingebracht werden (▣ Abb. 3). Allfällige Zementreste in den Schraubenköpfen sollten entfernt werden, da sie sonst bei einer späteren Metallentfernung hinderlich sein können. Die Operation kann danach analog dem Vorgehen ohne Zement weitergeführt werden.

Ergebnisse

Proximales Femur

Biomechanische In-vitro-Studien mit verschiedenen Implantaten („sliding hip screw“, PFNA [Proximaler Femurnagel Antitrotation], TFNA) konnten aufzeigen, dass eine Augmentation die Stabilität der Versorgung erhöht [12, 13, 34–36]. Während nichtaugmentierte PFNA eine „Cut-out“-Häufigkeit bis zu 6,2% aufweisen [29, 30], wurde nach erfolgter Augmentation in einer klinischen Studie mit 62 Patienten (ohne Kontrollgruppe) kein Fall von Cut out berichtet, was die Befunde der biomechanischen Studien unterstützt [19]. Zwei Beobachtungsstudien, die augmentierte mit nichtaugmentierten PFN (Proximaler Femurnagel) und TFNA verglichen, zeigten ebenfalls signifikant mehr Fixationsversagen (Varuskollaps und/oder Cut-out) ohne Augmentation [24, 45]. In einer dieser Studien war jedoch nicht ersichtlich, ob es zwischen den Gruppen einen Unterschied bezüglich der Knochendichte gab. Randomisierte Studien konnten die möglichen Vorteile der Augmentation



Abb. 3 ◀ Augmentierte PHILOS-Platte (Fa. DePuy Synthes, Synthes GmbH, Zuchwil, Schweiz). **a,b** Postoperative Röntgenbilder in 2 Ebenen. **c,d** Verlaufskontrolle nach einem Jahr

bezüglich des Fixationsversagens bisher nicht bestätigen [11, 22].

Eine 2021 veröffentlichte Metaanalyse von Rompen et al., die augmentierte mit nichtaugmentierten Osteosynthesen von proximalen Femurfrakturen bei älteren Patienten verglichen hat und sowohl randomisierte wie auch Beobachtungsstudien einschloss, konnte hingegen doch signifikant weniger implantat-/frakturassoziierte Komplikationen (Cut out, Cut through, Infektionen, „malunion“, etc.) bei Patienten mit augmentierten proximalen Femurnägeln nachweisen (19,9% vs. 6,0%, [31]). Diese Ergebnisse bekräftigen die Befunde der oben erwähnten biomechanischen Studien. Weiter wurden in Fällen mit augmentierten Osteosynthesen weniger Revisionen durchgeführt [22], der Kranken-

hausaufenthalt war kürzer [31], die Patienten gaben weniger Schmerzen an [31], und auch die Hüftfunktion war besser [11, 31].

Zementassoziierte Komplikationen, wie das „bone cement implantation syndrome“ sind gemäß aktueller Literatur äußerst selten, jedoch kann es im Rahmen der Zementapplikation zum Blutdruckabfall beim Patienten kommen, der zur einer vorübergehenden Vasoaktivbedürftigkeit führen kann [31, 33, 45]. Das Risiko von Zementaustritt ins Gelenk kann durch die vorgängige Kontrolle mithilfe des Kontrastmittels minimiert werden [33]. Bei der Verwendung von maximal 6 ml Zement wurden bisher keine thermischen Nekrosen beschrieben [6, 21].

Proximaler Humerus

Eine biomechanische Studie, in der die Augmentation bei 3 verschiedenen Osteosyntheseverfahren am proximalen Humerus untersucht wurde, konnte aufzeigen, dass die interfragmentäre Bewegung durch die Augmentation deutlich reduziert und die Zahl der Belastungszyklen bis zum Versagen der Osteosynthese deutlich erhöht wurde [25]. In dieser Studie wurden jedoch inzwischen veraltete Fixationsmethoden verwendet, und der Zement musste vor dem Einbringen des Osteosynthesematerials in den Humeruskopf appliziert werden. Eine neuere biomechanische Studie, die PHILOS-Platten mit kanülierten Schrauben verwendete, konnte die Befunde jedoch bestätigen [41]. In dieser Studie war auffallend, dass Humeri mit schlechter Knochendichtewerte deutlich von einer Zementaugmentation profitierten, während solche mit guten Knochendichtewerte keinen wirklichen Benefit hatten. Aufgrund der limitierten Studiengröße und fehlender klinischer Daten dazu, ist aber noch kein Schwellenwert der Knochendichte bekannt, ab der die Augmentation vorteilhaft wäre.

» In biomechanischen Studien erhöht die Augmentation die Stabilität der Frakturversorgung

Klinische Kohortenstudien zeigten bisher zwar keinen Unterschied bezüglich der Schulterfunktion, jedoch kam es bei erfolgreicher Augmentation signifikant seltener zu implantatassoziierten Komplikationen wie sekundärer Dislokation oder sekundärer Schraubenperforation [14, 16, 23]. Hierbei muss aber beachtet werden, dass die Patienten, die eine Augmentation erhielten, in einer dieser Studien deutlich häufiger eine Osteoporose aufwiesen und signifikant älter waren [16]. Daher ist es möglich, dass der Benefit einer Augmentation ggf. unterschätzt wird, da die Ergebnisse bei diesen Patienten ohne Augmentation ggf. schlechter ausgefallen wären [16]. In einer weiteren Studie ist unklar, welche Kriterien angewendet wurden, um die Entscheidung für eine Augmentation zu treffen [23]. Eine Verzerrung der Ergebnisse kann daher nicht ausgeschlossen werden. Eine randomisierte Studie, die die augmentier-

te mit der nichtaugmentierten Versorgung vergleichen sollte, wurde frühzeitig abgebrochen. In beiden Gruppen war die Häufigkeit eines Osteosyntheseversagens fast identisch und deutlich geringer als erwartet, sodass die Studie unter diesen Voraussetzungen eine zu geringe Teststärke aufwies [17].

» Humeri mit schlechter Knochendichte scheinen deutlich von einer Zementaugmentation zu profitieren

Welche der 6 Schrauben augmentiert werden sollten, ist zurzeit noch unsicher. Eine biomechanische Studie zeigte bezüglich der Stabilität mögliche Vorteile der Augmentation von Schrauben, die im Bereich des Kalkars und im posterioren Anteil des Humeruskopfes zu liegen kommen [42]. Die Operationsanleitung zur PHILOS-Platte empfiehlt ebenfalls das Augmentieren der Kalkarschrauben, jedoch primär soll die proximalste Schraubenreihe augmentiert werden. Das Augmentieren der Kalkarschrauben scheint aber eine gewisse Gefahr des intraartikulären Austritts von Zement zu bergen, wie in der Studie von Foruria et al. demonstriert werden konnte. In dieser Studie fiel auch auf, dass eine partielle avaskuläre Nekrose nur um den Zement der proximalsten Schraubenreihe aufgetreten war [14].

Diskussion

Sowohl für pertrochantäre Femur- wie auch für proximale Humerusfrakturen scheint die Zementaugmentation aufgrund der bisherigen Datenlage biomechanische Vorteile zu haben. In beiden anatomischen Regionen konnte eine verbesserte Stabilität der Osteosynthese aufgezeigt werden [35, 41]. In der klinischen Anwendung ist die Evidenzlage hingegen noch nicht eindeutig. Während die Augmentation von proximalen Humerusfrakturen die Häufigkeit von Fixationsversagen in Form von sekundärer Dislokation mit oder ohne Schraubenperforation reduziert [14, 16, 23], konnten für klinische Parameter wie den Disabilities of Arm, Shoulder and Hand Score, den Constant Score oder den Short-Form-12-Fragebogen keine signifikanten resp.

klinisch relevanten Unterschiede nachgewiesen werden [14, 16, 23, 38]. Auch bei pertrochantären Femurfrakturen ist die Datenlage aktuell noch unsicher. Während einige Studien zum Schluss kommen, dass die Augmentation die Häufigkeit von Fixationsversagen (Schraubenpenetration, Implantatbruch, sekundäre Dislokation) reduzieren kann, wurde in anderen Studien diesbezüglich wiederum kein signifikanter Unterschied nachgewiesen [11, 22, 24, 45]. Eine Metaanalyse, die die Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen mit und ohne Augmentation anhand von 4 randomisierten kontrollierten Studien und 3 Beobachtungsstudien verglich, konnte allerdings signifikante Unterschiede, das Fixationsversagen und auch die klinischen Ergebnisse (Schmerzen, Hüftfunktionscores) betreffend, aufzeigen, was ein Hinweis sein könnte, dass die bisherigen Studienkohorten zu klein waren, um einen Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen nachzuweisen [31].

» Die Augmentation stellt eine wertvolle Erweiterung der Therapieoptionen bei Fragilitätsfrakturen dar

Gemäß der biomechanischen Studie von Unger et al. ist eine Augmentation v. a. bei niedrigen Knochendichtewerten vorteilhaft [41]. In bisherigen klinischen Studien wurde diesem Aspekt jedoch nicht genügend Rechnung getragen. So waren in den Studien von Hakimi et al. und Siebenbürger et al. signifikant mehr Patienten mit Osteoporose der augmentierten Gruppe zugeteilt als in der nichtaugmentierten Gruppe. Die fehlende Differenz bezüglich des klinischen Ergebnisses zwischen nichtosteoporotischem Knochen und augmentiertem osteoporotischem Knochen könnte aber ein Hinweis auf den positiven Effekt einer Augmentation bei geringer Knochendichte sein. Ein Schwellenwert der Knochendichte oder eine intraoperative Dichtmessung, die einen Schwellenwert zur Augmentation definieren könnte, steht bislang nicht zur Verfügung. Das Ausmaß der Osteoporose wird außerhalb von Studienprotokollen oft erst in der postoperativen Phase im Rahmen von alterstraumatologischen Patientenpfaden zur Einleitung einer Se-

kundärprophylaxe erfasst [43]. Deshalb kann die Entscheidungsfindung für oder gegen eine Augmentation weiterhin nicht auf evidenzbasierten Kriterien erfolgen.

Möglicherweise spielt der irreversible Aspekt der Zementaugmentation auch eine Rolle in der restriktiven Verwendung im klinischen Alltag [44]. Einmal eingebracht, kann der Zement nicht mehr umplatziert oder entfernt werden. Klinische Studien konnten aber klar zeigen, dass das Entfernen der Schrauben beim proximalen Humerus resp. der Schenkelhalsimplantate bei pertrochantären Femurfrakturen trotz Augmentation problemlos möglich ist [23, 45] und das Risiko eines Zementaustritts ins Gelenk durch die vorgängige radiologische kontrastmittelunterstützte Kontrolle minimiert werden kann [33].

Zusammenfassend sind die Risiken einer Augmentation am proximalen Humerus und am proximalen Femur bei pertrochantären Frakturen gering, und das Verfahren ist sicher. Die Augmentation scheint, gemessen am Auftreten von Fixationsversagen in klinischen Studien, die biomechanischen In-vitro-Messungen zu bestätigen. Für die klinisch funktionellen Ergebnisse zeigt die Augmentation in diesen Lokalisationen bisher keinen evidenzbasierten Vorteil. Beim Patientenkollektiv mit Fragilitätsfrakturen, bei dem eine Reintervention durch sorgfältige Indikationsstellung und operative Technik vermieden werden muss, scheint die Augmentation, unter Berücksichtigung der nachgewiesenen Reduktion von Fixationsversagen und der sicheren Augmentationstechnik, eine wertvolle Erweiterung der Therapieoptionen zu bieten.

Fazit für die Praxis

- Proximale Humerus- und pertrochantäre Femurfrakturen werden bei Zuzug durch einen Sturz aus dem Stand als Fragilitätsfrakturen bezeichnet.
- Die osteosynthetische Versorgung von Frakturen in osteoporotischem Knochen stellt im klinischen Alltag aufgrund verminderter Verankerungsmöglichkeit weiterhin eine Herausforderung dar.
- Die Augmentation mit Zement erhöht die Stabilität einer Osteosynthese biomechanisch. Klinische Studien weisen auf eine Reduktion von Fixationsversagern hin. Für eine klare Aussage bezüglich einer

Verbesserung funktioneller Ergebnisse ist die Evidenzlage noch ungenügend.

- Die standardisierte Verwendung von Zement zur Augmentation von proximalen Humerus- und pertrochantären Femurfrakturen birgt nur geringe Risiken, solange auf die korrekte Anwendung geachtet wird.
- Die Augmentation kann als wertvolle Erweiterung der Therapieoptionen bei Fragilitätsfrakturen am proximalen Humerus und bei pertrochantären Femurfrakturen betrachtet werden.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. Reto Babst
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
Luzerner Kantonsspital
Spitalstraße, 6000 Luzern 16, Schweiz
Reto.babst@luks.ch

Funding. Open access funding provided by University of Luzern

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. N.M. van Veelen, F.J. Beeres, B.-C. Link und R. Babst geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für

die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Baumgaertner MR, Curtin SL, Lindsag DM, Keggi JM (1995) The value of the tip-apex distance in predicting failure of fixation of peritrochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 77:1058–1064. <https://doi.org/10.2106/00004623-199507000-00012>
- Beeres FJP, Hallensleben NDL, Rhemrev SJ et al (2017) Plate fixation of the proximal humerus: an international multicentre comparative study of postoperative complications. *Arch Orthop Trauma Surg* 137:1685–1692. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2790-z>
- Beeres FJP, Quaile OM, Link BC, Babst R (2019) Reduction techniques for minimally invasive stabilization of proximal humeral fractures. *Oper Orthop Traumatol* 31:63–80. <https://doi.org/10.1007/s00064-018-0586-0>
- Bhandari M, Swiontkowski M (2017) Management of acute hip fracture. *N Engl J Med* 377:2053–2062. <https://doi.org/10.1056/nejmcp1611090>
- Bojan AJ, Beimel C, Taglang G et al (2013) Critical factors in cut-out complication after gamma nail treatment of proximal femoral fractures. *BMC Musculoskelet Disord* 14:1–1. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-1>
- Boner V, Kuhn P, Mendel T, Gisep A (2009) Temperature evaluation during PMMA screw augmentation in osteoporotic bone—an in vitro study about the risk of thermal necrosis in human femoral heads. *J Biomed Mater Res Part B Appl Biomater* 90B:842–848. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31353>
- Brunner A, Thormann S, Babst R (2012) Minimally invasive plating osteosynthesis of proximal humeral shaft fractures with long PHILOS plates. *Oper Orthop Traumatol* 24:302–311. <https://doi.org/10.1007/s00064-012-0176-5>
- Brunner F, Sommer C, Bahrs C et al (2009) Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate: a prospective multicenter analysis. *J Orthop Trauma* 23:163–172. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e3181920e5b>
- Carbone S, Papalia M (2016) The amount of impaction and loss of reduction in osteoporotic proximal humeral fractures after surgical fixation. *Osteoporos Int* 27:627–633. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3304-x>
- Court-Brown CM, Caesar B (2006) Epidemiology of adult fractures: a review. *Injury* 37:691–697. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.04.130>
- Dall'Oca C, Maluta T, Moscolo A et al (2010) Cement augmentation of intertrochanteric fractures stabilised with intramedullary nailing. *Injury* 41:1150–1155. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.09.026>
- Elder S, Frankenburg E, Goulet J et al (2000) Biomechanical evaluation of calcium phosphate cement-augmented fixation of unstable intertrochanteric fractures. *J Orthop Trauma* 14:386–393. <https://doi.org/10.1097/00005131-200008000-00002>
- Fensky F, Nüchtern JV, Kolb JP et al (2013) Cement augmentation of the proximal femoral nail antirootation for the treatment of osteoporotic pertrochanteric fractures—a biomechanical cadaver study. *Injury* 44:802–807. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.03.003>
- Foruria AM, Martinez-Catalan N, Valencia M et al (2021) Proximal humeral fracture locking plate fixation with anatomic reduction, and a short-and-cemented-screws configuration, dramatically reduces the implant related failure rate in elderly patients. *JSES Int* 5:992–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.06.004>
- Gardner MJ, Weil Y, Barker JU et al (2007) The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures. *J Orthop Trauma* 21:185–191. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e3180333094>
- Hakimi SA, Schumacher K, Ring A (2021) Angle-stable polyaxial locked plating with and without polymethylmethacrylate cement augmentation for proximal humeral fractures in elderly. *Jt Dis Relat Surg* 32:575–582. <https://doi.org/10.52312/jdrs.2021.360>
- Hengg C, Nijs S, Klopfer T et al (2019) Cement augmentation of the proximal humerus internal locking system in elderly patients: a multicenter randomized controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 139:927–942. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03142-6>
- Iglesias-Rodríguez S, Domínguez-Prado DM, García-Reza A et al (2021) Epidemiology of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res* 16:402. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02551-x>
- Kammerlander C, Doshi H, Gebhard F et al (2014) Long-term results of the augmented PFNA: a prospective multicenter trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 134:343–349. <https://doi.org/10.1007/s00402-013-1902-7>
- Kammerlander C, Erhart S, Doshi H et al (2013) Principles of osteoporotic fracture treatment. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 27:757–769. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2014.02.005>
- Kammerlander C, Gebhard F, Meier C et al (2011) Standardised cement augmentation of the PFNA using a perforated blade: a new technique and preliminary clinical results. A prospective multicentre trial. *Injury* 42:1484–1490. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.07.010>
- Kammerlander C, Hem ES, Klopfer T et al (2018) Cement augmentation of the proximal femoral nail antirootation (PFNA)—a multicentre randomized controlled trial. *Injury* 49:1436–1444. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.04.022>
- Kathagen JC, Lutz O, Voigt C et al (2018) Cement augmentation of humeral head screws reduces early implant-related complications after locked plating of proximal humeral fractures. *Obere Extremität* 13:123–129. <https://doi.org/10.1007/s11678-018-0440-x>
- Kim S-J, Park H-S, Lee D-W, Lee J-W (2018) Is calcium phosphate augmentation a viable option for osteoporotic hip fractures? *Osteoporos Int* 29:2021–2028. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4572-z>
- Kwon BK, Goertzen DJ, O'Brien PJ et al (2002) Biomechanical evaluation of proximal humeral fracture fixation supplemented with calcium phosphate cement. *J Bone Joint Surg Am* 84:951–961. <https://doi.org/10.2106/00004623-200206000-00009>
- Launonen AP, Lepola V, Saranko A et al (2015) Epidemiology of proximal humerus fractures. *Arch*

- Osteoporos 10:2. <https://doi.org/10.1007/s11657-015-0209-4>
27. Liu Y, Tao R, Liu F et al (2010) Mid-term outcomes after intramedullary fixation of peritrochanteric femoral fractures using the new proximal femoral nail antirotation (PFNA). *Injury* 41:810–817. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.03.020>
 28. Lobo-Escolar A, Joven E, Iglesias D, Herrera A (2010) Predictive factors for cutting-out in femoral intramedullary nailing. *Injury* 41:1312–1316. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.08.009>
 29. Mereddy P, Kamath S, Ramakrishnan M et al (2009) The AO/ASIF proximal femoral nail antirotation (PFNA): A new design for the treatment of unstable proximal femoral fractures. *Injury* 40:428–432. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.10.014>
 30. Nikoloski AN, Osbrough AL, Yates PJ (2013) Should the tip-apex distance (TAD) rule be modified for the proximal femoral nail antirotation (PFNA)? A retrospective study. *J Orthop Surg Res* 8:35. <https://doi.org/10.1186/1749-799x-8-35>
 31. Rompen IF, Knobe M, Link B-C et al (2021) Cement augmentation for trochanteric femur fractures: a meta-analysis of randomized clinical trials and observational studies. *PLoS ONE* 16:e251894. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251894>
 32. von Rűden C, Augat P (2016) Failure of fracture fixation in osteoporotic bone. *Injury* 47:S3–S10. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(16\)47002-6](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(16)47002-6)
 33. Schuetze K, Ehinger S, Eickhoff A et al (2021) Cement augmentation of the proximal femur nail antirotation: is it safe? *Arch Orthop Trauma Surg* 141:803–811. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03531-2>
 34. Sermon A, Boner V, Boger A et al (2012) Potential of polymethylmethacrylate cement-augmented helical proximal femoral nail antirotation blades to improve implant stability—a biomechanical investigation in human cadaveric femoral heads. *J Trauma Acute Care Surg* 72:E54–E59. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e31821852ed>
 35. Sermon A, Hofmann-Fliri L, Zderic I et al (2021) Impact of bone cement augmentation on the fixation strength of TFNA blades and screws. *Ann Univ Mariae Curie Skłodowska [Med]* 57:899. <https://doi.org/10.3390/medicina57090899>
 36. Sermon A, Zderic I, Khatchadourian R et al (2021) Bone cement augmentation of femoral nail head elements increases their cut-out resistance in poor bone quality—a biomechanical study. *J Biomech* 118:110301. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110301>
 37. Shoji MM, Ingall EM, Rozental TD (2020) Upper extremity fragility fractures. *J Hand Surg Am* 46:126–132. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2020.07.010>
 38. Siebenbűrger G, Helfen T, Biermann N et al (2019) Screw-tip augmentation versus standard locked plating of displaced proximal humeral fractures: a retrospective comparative cohort study. *J Shoulder Elbow Surg* 28:1326–1333. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.12.001>
 39. Spross C, Jost B, Rahm S et al (2014) How many radiographs are needed to detect angular stable head screw cut outs of the proximal humerus—a cadaver study. *Injury* 45:1557–1563. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.05.025>
 40. Sproul RC, Iyengar JJ, Devic Z, Feeley BT (2011) A systematic review of locking plate fixation of proximal humerus fractures. *Injury* 42:408–413. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.11.058>
 41. Unger S, Erhart S, Kralinger F et al (2012) The effect of in situ augmentation on implant anchorage in proximal humeral head fractures.

Augmentation in the treatment of proximal humeral and femoral fractures

Background: Proximal humeral and trochanteric femoral fractures in older patients are typically caused by low-energy trauma and are therefore often associated with osteoporosis. The treatment of such fragility fractures can be difficult as implant purchase is reduced in osteoporotic bone. By augmenting the fixation with cement the contact surface between implant and bone can be increased, which improves the stability of the osteosynthesis.

Objective: This article describes the operative technique for the augmentation of trochanteric femoral fractures treated with the Trochanteric Fixation Nail-Advanced (TFNA, DePuy Synthes, Oberdorf BL, Switzerland) and proximal humeral fractures stabilized with a PHILOS plate (DePuy Synthes). Furthermore, the evidence for the augmentation of these two fracture types is elucidated.

Results: Biomechanical studies could show an improved stability of the osteosynthesis after successful augmentation for both fracture types. The current evidence also indicates a clinical reduction of fixation failure. Whether the augmentation has an influence on the functional result could so far not yet clearly be proven.

Conclusion: Augmentation seems to be a safe and valuable addition to available treatment options especially for patients with fragility fractures.

Keywords

Bone cement · Bone nails · Bone plates · Fragility fracture · Osteoporosis

- Injury 43:1759–1763. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.07.003>
42. Varga P, Inzana JA, Fletcher JWA et al (2020) Cement augmentation of calcar screws may provide the greatest reduction in predicted screw cut-out risk for proximal humerus plating based on validated parametric computational modelling: augmenting proximal humerus fracture plating. *Bone Joint Res* 9:534–542. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.99.bjr-2020-0053.r1>
43. van der Vet PCR, Kusen JQ, Rohner-Spengler M et al (2019) Secondary prevention of minor trauma fractures: the effects of a tailored intervention—an observational study. *Arch Osteoporos* 14:44. <https://doi.org/10.1007/s11657-019-0595-0>
44. Windolf M (2015) Biomechanik der Implantataugmentation. *Unfallchirurg* 118:765–771. <https://doi.org/10.1007/s00113-015-0050-7>
45. Yee DKH, Lau W, Tiu KL et al (2020) Cementation: for better or worse? Interim results of a multi-centre cohort study using a fenestrated spiral blade cephalomedullary device for peritrochanteric fractures in the elderly. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:1957–1964. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03449-9>
46. TFN-ADVANCED. http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/US%20Mobile/Synthes%20North%20America/Product%20Support%20Materials/Technique%20Guides/DSUSTRM06140109%20RevL_TFNACoreSTG_US.pdf. Zugegriffen: 7. Febr. 2022