

Aus dem Muskuloskelettalen UniversitätsZentrum München (MUM)
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Boris Holzapfel
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Aktuelle Behandlungskonzepte nach Verletzungen der oberen Extremität

**mit Fokus auf die proximale Humerusfraktur unter besonderer
Berücksichtigung auftretender Komplikationen**



Kumulative Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi

für das Fach

Orthopädie und Unfallchirurgie

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität

von

Dr. med. Georg Siebenbürger

2025

Für Magdalena Anne

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG UND STAND DER WISSENSCHAFT.....	4
2. ZIELSETZUNG DES HABILITATIONSPROJEKTS.....	12
3. STUDIENDESIGN UND AUSWERTUNG.....	15
4. LISTE DER PUBLIKATIONEN	17
5. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER EIGENEN PUBLIKATIONEN.....	21
5.1. OP ZEITPUNKT	21
5.2. ZUGANGSMODIFIKATIONEN/OP TECHNIK	23
5.3. (AUGMENTIERTE) PLATTENOSTEOSYNTHESE VS. MARKNAGELOSTEOSYNTHESE.....	
vs. INVERSE FRAKTURENDOPROTHESE	28
5.4. KOMPLIKATIONEN/EINFLUSS OPERATEUR	34
5.5. KLINISCHE ERGEBNISSE MITTEL- UND LANGFRISTIG	44
5.6. EINFLUSS DER IMPLANTATENTFERNUNG	48
6. AUSSICHT	52
6.1. AUSWERTUNG OP DAUER UND BLUTVERLUST	52
6.2. AUSWERTUNG LOKALE KNOCHENDICHTE HUMERUSKOPF/IMMUNOLOGIE.....	53
7. LITERATUR.....	54

1. Einleitung und Stand der Wissenschaft

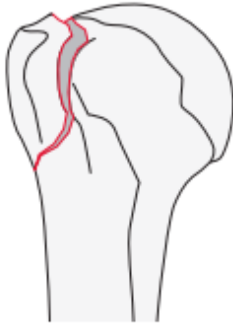
Die proximale Humerusfraktur ist eine häufige Fraktur und macht circa 6% aller Frakturen des adulten Menschen aus. Als Indikatorfraktur der Osteoporose sind vor allem Patienten jenseits des 60. Lebensjahres, mit einer Inzidenzspitze nach dem 80. Lebensjahr, betroffen.[13] Epidemiologische Studien zeigen, dass die Inzidenz der proximalen Humerusfraktur aufgrund der demografischen Entwicklung weiter steigen wird.[13] Dementsprechend spielt die Therapieentscheidung hinsichtlich konservativer oder operativer Therapie, aufgrund einer zunehmend älteren und weiblichen Gesellschaft, auch aus sozioökonomischen Gründen eine tragende Rolle.

Der proximale Humerus besteht anatomisch aus der Diaphyse (Schaft), dem Tuberculum majus, dem Tuberculum minus sowie dem Kopf- bzw. der Kalotte. Der Übergang von Kopf zu Metaphyse kann des Weiteren in einen anatomischen sowie chirurgischen Hals unterteilt werden. Dementsprechend können auftretende Frakturen in zwei Teile/2-part, drei Teile/3-part und vier Teile/4-part/ „den anatomischen bzw. chirurgischen Hals“ betreffende Frakturen eingeteilt werden. Im Folgenden werden die beiden etabliertesten Klassifikationssysteme nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) sowie die Einteilung nach Neer dargestellt.

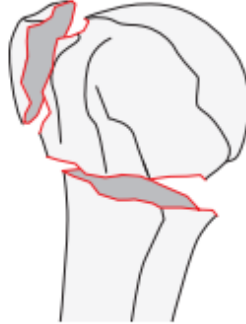
Das Klassifikationssystem der AO weist dem proximalen Humerus als Lokalisation die Ziffer 11 zu und unterteilt extraartikuläre unifokale, extraartikuläre bifokale sowie artikuläre Verletzungen (A, B, C). Siehe Abbildung 1. [14]

Types:

Humerus, proximal end segment,
extraarticular, unifocal, 2-part fracture
11A



Humerus, proximal end segment,
extraarticular, bifocal, 3-part fracture
11B



Humerus, proximal end segment,
articular or 4-part fracture
11C

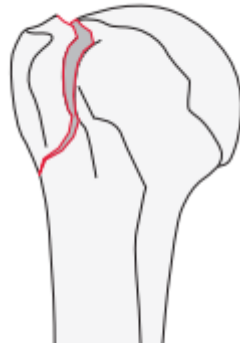


Abbildung 1: Extraartikuläre unifokale A Frakturen 11A, extraartikuläre bifokale B Frakturen 11B sowie artikuläre und/oder 4-part Frakturen.

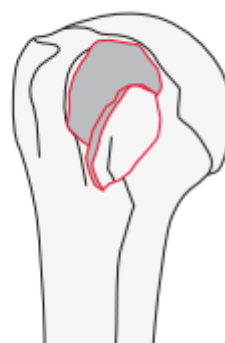
Die extraartikulären unifokalen 2-part Frakturen betreffen entweder das Tuberculum majus, das Tuberculum minus oder den chirurgischen Hals, siehe Abbildung 2.

Group: Humerus, proximal end segment, extraarticular, unifocal, 2-part, **tuberosity fracture** 11A1

Greater tuberosity fracture
11A1.1

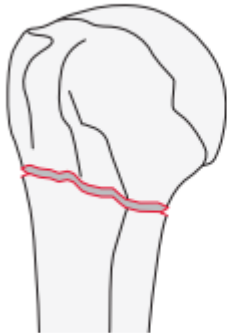


Lesser tuberosity fracture
11A1.2

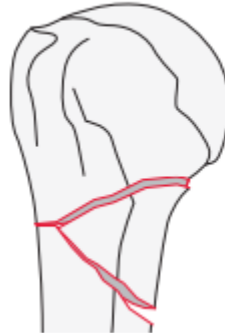


Group: Humerus, proximal end segment, extraarticular, unifocal, 2-part, **surgical neck fracture** 11A2

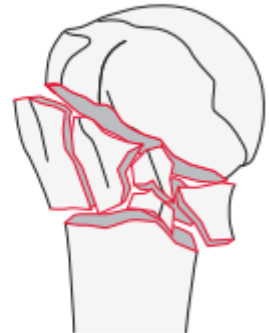
Simple fracture
11A2.1



Wedge fracture
11A2.2



Multifragmentary fracture
11A2.3



Group: Humerus, proximal end segment, unifocal, 2-part, **extraarticular vertical fracture** 11A3

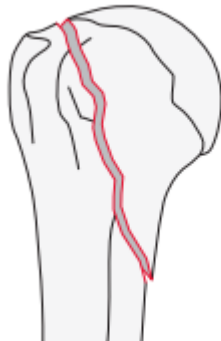


Abbildung 2: Extraartikuläre unifokale 2-part Frakturen (A-Frakturen).

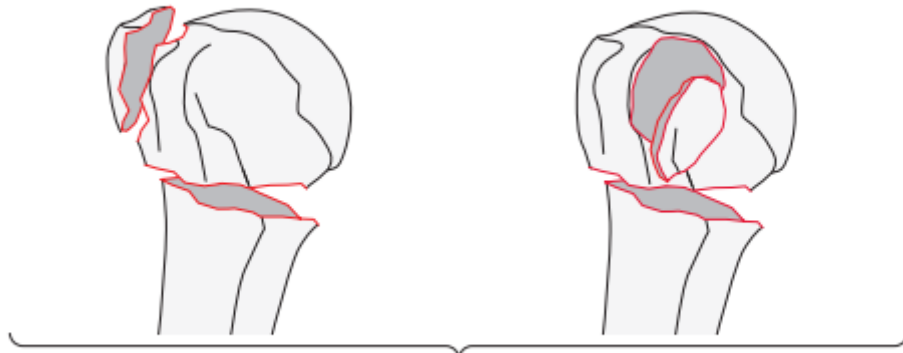
Die extraartikulären bifokalen 3-Part Frakturen werden der Gruppe B zugeordnet. Hierbei wird noch einmal unterteilt, ob der Übergang zum Calcar bzw. dem medialen Scharnier = „hinge“ intakt oder frakturiert ist.

Group: Humerus, proximal end segment, extraarticular, bifocal, 3-part, **surgical neck fracture** 11B1

Subgroups:

With greater tuberosity fracture
11B1.1*

With lesser tuberosity fracture
11B1.2*



*Qualifications:
u Intact wedge
v Fragmentary wedge

Abbildung 3: Extraartikuläre bifokale 3-part Frakturen (B-Frakturen).

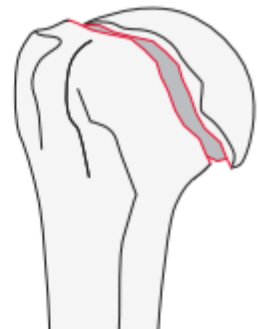
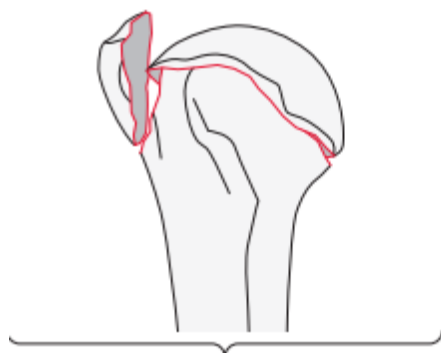
Die artikulären oder 4-part Frakturen werden der Gruppe C zugeordnet. Hierbei wird unterschieden, ob beide Tubercula betroffen sind, die Fraktur den anatomischen Hals betrifft bzw. eine multifragmentäre Fraktursituation mit gegebenenfalls Beteiligung der Gelenkfläche oder Luxation besteht.

Group: Humerus, proximal end segment, articular or 4-part, **anatomical neck fracture** 11C1

Subgroups:

Valgus impacted fracture
11C1.1*

Isolated anatomical neck fracture
11C1.3

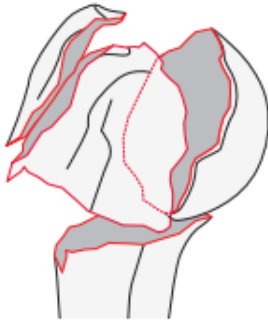


*Qualifications:
n **Greater tuberosity**
o Lesser tuberosity
p Both tuberosities

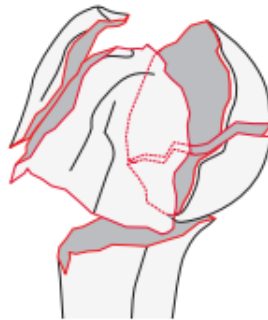
Group: Humerus, proximal end segment, articular or 4-part, **anatomical neck fracture associated with metaphyseal fracture** 11C3

Subgroups:

With a multifragmentary metaphyseal segment with intact articular surface
11C3.1



With a multifragmentary metaphyseal segment with articular fracture
11C3.2*



With a multifragmentary metaphyseal fracture, with diaphyseal extension and articular fracture
11C3.3*



*Qualifications:
x Simple articular
y Multifragmentary articular

Abbildung 4: Artikuläre bzw. 4-part Frakturen +/- Beteiligung der Metaphyse (C-Frakturen).

Zusätzlich zur beschriebenen AO Klassifikation wurde 1970 durch Charles Neer[17] die Neer Klassifikation etabliert, welche die proximale Humerusfraktur in 6 Typen (I-VI) einteilt:

- Typ I: nicht und wenig dislozierte Frakturen
- Typ II: dislozierte Frakturen des anatomischen Halses
- Typ III: dislozierte Frakturen des chirurgischen Halses
- Typ IV: dislozierte Frakturen des Tuberculum majus
 - Typ IV/2: Isolierte Tuberculum majus Fraktur mit Dislokation
 - Typ IV/3: Tub. Majus Fraktur und Fraktur des chirurgischen Halses
 - Typ IV/4: Frakturen beider Tubercula und des chirurgischen Halses
- Typ V: Frakturen des Tuberculum minus
 - Typ V/2: Isolierte Fraktur des Tuberculum minus
 - Typ V/3: Tub. minus- und chirurgische Hals-Fraktur
 - Typ V/4: = Typ IV/4
- Typ VI: Luxationsfrakturen (Klassifikation nach Luxationsrichtung anterior/posterior)
 - Typ VI/2: Isolierte Luxationsfraktur eines Tuberculums oder des chirurgischen Halses

- Typ VI/3: Luxationsfraktur eines Tuberculum und des chirurgischen Halses
- Typ VI/4: Luxationsfraktur beider Tubercula und des chirurgischen Halses
- Frakturen der Gelenkfläche
- Impressionsfrakturen
- Headsplit-Frakturen

Neben beiden genannten Klassifikationssystemen wurden in der Vergangenheit noch weitere Klassifikationssysteme beschrieben, welche teilweise noch detaillierter die unterschiedlichen Frakturmorphologien aufschlüsseln können (Hertel/Habermeyer, u.a.).

Die Wahl des Behandlungsverfahrens wird laut aktueller AWMF-Leitlinie wesentlich durch den Frakturtyp, die Knochenqualität (Osteopenie/Osteoporose), das biologische Alter des betroffenen Patienten, den funktionellen Anspruch sowie Begleiterkrankung des Patienten bestimmt.

Während nicht-dislozierte Frakturen mit guten Ergebnissen konservativ behandelt werden können, gibt es keinen weitreichenden evidenzbasierten Konsens bezüglich der optimalen Indikationsstellung zur operativen Versorgung bei dislozierten Frakturen. [4, 11, 15, 17] Grundsätzlich kann ein Großteil der proximalen Humerusfrakturen konservativ behandelt werden. Hierzu zählen nicht-dislozierte oder gering dislozierte Frakturen, reponible bzw. retinierbare Frakturen und Patienten mit Fraktur, bei denen allgemeine oder lokale Kontraindikation gegen eine operative Versorgung sprechen. Bei dislozierten Frakturen kann eine operative Therapie notwendig sein. Die operative Versorgung kann bei dislozierten Frakturen (<45 Grad Angulation bzw. Versatz um 5-10mm n. Neer)[17] mittels Rekonstruktion (Osteosynthese) oder durch Gelenkersatz (Endoprothese) durchgeführt werden. Hierbei ist immer auf eine individuelle rationale Indikationsstellung verwiesen.

Eine Osteosynthese kann bei dislozierten Frakturen, Luxationsfrakturen, Kettenverletzung der betroffenen Extremität, sekundärer Dislokation nach konservativer Therapie, begleitenden Gefäßschäden, Nervenschäden, offener Fraktur bzw. bei pathologischer Fraktur durchgeführt werden. Ein Gelenkersatz mittels Endoprothese ist potenziell bei Head Split Fraktur beim alten Menschen mit reduzierter Knochenqualität, bei Mehrfragmentfrakturen beim alten Menschen mit Defektzone und ausgedünnten Kopffragment, nicht ausreichend reponierbaren Frakturen, länger bestehenden Luxationsfrakturen, fehlgeschlagenen Osteosynthesen mit Gelenkdestruktion und fehlender Rekonstruktionsmöglichkeit, Humeruskopfnekrose mit Gelenkdestruktion und pathologischen Frakturen bei fehlender osteosynthetischer Versorgungsmöglichkeit möglich.

Bedauerlicherweise kommt es nach Erleiden einer proximalen Humerusfraktur zu hohen Komplikationsraten. Komplikationen treten bei 24 - 36% aller Patienten auf.[6, 19] Bei typischerweise betroffenen Patienten über 60 Jahren kommt es annähernd zu einer Verdoppelung der Komplikationsrate.[4, 11] Die allgemeinen Komplikationen sind wie folgt: Thrombose, Lungenembolie, Stressulzera vor allem bei zusätzlich bestehender NSAR-Medikation und Pneumonie. Als typische lokale Komplikation werden Gefäßverletzungen, Nachblutungen und Hämatome, Nervenschäden (insbesondere Nervus axillaris und Nervus musculocutaneus), Wundrandnekrosen und Wundheilungsstörungen, Weichteilinfekte, Gelenkempyem und Osteitis, Hauterkrankung in der Axilla und unter der Mamma bis hin zu Schweißdrüsenabszessen beschrieben. Als typische operationsabhängige Komplikationen sind die sekundäre Dislokation bzw. das Implantatversagen, die Implantatfehl- und -dislokation, die Schraubenperforation, die zusätzlich auftretende intraoperative (Anschluss-)Fraktur, die Humeruskopfnekrose, das Impingement zwischen Akromion und Implantat oder Fragment, Dreh- und Achsabweichungen, Luxationen bzw. Instabilitäten, skapuläres Notching, die Prothesenlockerung, Läsionen der langen Bizepssehne, Läsion der Rotatorenmanschette und Implantat Allergien beschrieben. Sekundär kann es nach

operativ erfolgter Versorgung zur Dislokation, verzögerten knöchernen Frakturheilung, bzw. Pseudarthrosenbildung, heterotopen Ossifikation, Bursitiden, Reflexdystrophie Syndrom, Arthrose, Frozen Shoulder und zur Funktionsstörung der Schulter und weiterer Gelenke der betroffenen Extremität kommen.

Die operative Versorgung erfolgt falls notwendig im Regelfall als elektive Operation solange keine begleitenden Gefäß-/Nervenschäden bzw. eine offene Fraktur vorliegen. Typischerweise erfolgt der operative Zugang durch einen deltopektoralen bzw. Delta-Split Zugang.[24]

Bezüglich der Implantat Wahl zur Rekonstruktion ist neben der winkelstabilen Plattenosteosynthese die intramedulläre Marknagelung das etablierteste Verfahren.[1] Beim hauptsächlich betroffenen Patienten (weiblich, über 60 Jahre Lebensalter) mit begleitender Osteopenie bzw. Osteoporose sind lokale Augmentationsmöglichkeiten mittels Knochenzement bzw. Kalzium Verbindungen möglich.[7, 16, 22] Klinische Ergebnisse bezüglich Implantatmaterial (Metall bzw. Kunststoffimplantat) liegen nur sehr wenig vor. Die klinischen Ergebnisse nach konservativer bzw. operativer Therapie nach proximaler Humerusfraktur werden häufig neben anderen etablierten Scores mittels Constant/Murley-Score (=CS) bzw. Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score (=DASH) erhoben.[5, 10] Nach erfolgter Rekonstruktion und Osteosynthese ist gegebenenfalls auf Wunsch der Patientin bzw. bei Impingementsymptomatik mit damit einhergehender Bewegungseinschränkung bei begleitender Arthrofibrose nach konsolidierter Fraktur eine Implantatentfernung im Verlauf notwendig.[4, 9]

2. Zielsetzung des Habilitationsprojektes

Ziel der durchgeführten Arbeiten des Habilitationsprojektes war es, aufgrund der hohen Komplikationsraten, bei fehlendem einheitlichen Konsens bezüglich konservativer und operativer Therapie der proximalen Humerusfraktur, Faktoren bzw. Aspekte der Indikationsstellung und operativen Versorgung zu untersuchen, welche einen Einfluss auf die aktuelle klinische Versorgung haben könnten.

OP Zeitpunkt

Zum Zeitpunkt des Beginns der wissenschaftlichen Arbeit lagen noch keine Daten bezüglich dem optimalen Versorgungszeitpunkt nach dislozierter proximaler Humerusfraktur mittels Rekonstruktion und Osteosynthese und damit möglicherweise einhergehende Veränderungen der auftretenden Komplikationsraten vor. Erst im Verlauf konnte in anderen Studien gezeigt werden, dass die verspätete (über 3 Tage posttraumatisch) operative Versorgung zu einer Erhöhung der Komplikationsrate und einer Verlängerung des Krankenhausaufenthalts mit gegebenenfalls ungeplanten Entlassungen führt. [15]

Zugangsmodifikationen/OP Technik

Als etablierter Standardzugang zur operativen Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur gilt der deltopektorale Zugang bzw. der Delta-Split-Zugang.[2, 20] Ein operativer Ansatz war die Auswertung des Einflusses eines erweiterten Zugangs im Rahmen eines deltopektoralen Zugangs durch das Rotatorenmanschettenintervall bzw. die intraoperative glenohumerale Gelenkspülung im Rahmen der Rekonstruktion und Plattenosteosynthese zur besseren Exposition bzw. Vermeidung von Arthrofibrose und damit einhergehender Bewegungseinschränkung. Des Weiteren wurde der Einfluss einer standardisierten Tenotomie der

Sehne des Musculus supraspinatus im Rahmen der Versorgung mittels inverser Frakturendoprothese bei Gelenkersatz analysiert.

(Augmentierte) Plattenosteosynthese vs. Marknagelosteosynthese vs. Inverse Frakturendoprothese

Die Wahl des optimalen Versorgungsverfahrens nach dislozierter proximaler Humerusfraktur gibt auch im Rahmen der aktuellen Evidenzlage weiterhin Anlass zur Diskussion. Ziel der wissenschaftlichen Arbeit war außerdem die winkelstabile Plattenosteosynthese, welche bei reduzierter Knochenqualität durch Schraubenspitzen-Augmentation biomechanisch gestärkt werden kann, mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese ohne Schraubenspitzen-Augmentation, der Marknagelosteosynthese sowie der inversen Frakturendoprothese hinsichtlich auftretender Komplikationen zu vergleichen.

Komplikationen/Einfluss Operateur

Im Rahmen der rekonstruktiven Versorgung nach dislozierter proximaler Humerusfraktur kommt es bei einem hohen Anteil der Patienten zu Osteosynthese-assoziierten Komplikationen. Neben der sekundären Dislokation der Fraktur, dem Schrauben Cutout und der Dislokation der Tubercula spielt die avaskuläre Humerkopfnekrose hier eine wesentliche Rolle. Dementsprechend wurde der Einfluss der variablen Fehlpositionierung nach winkelstabiler Plattenosteosynthese analysiert. Des Weiteren erfolgte eine Auswertung der auftretenden Komplikationen sowie deren Veränderung im zeitlichen Verlauf, der Einfluss der Osteoporose auf auftretende Komplikationen und die Erarbeitung einer Klassifikation der typischerweise auftretenden Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese der dislozierten proximalen Humerusfraktur. Ebenfalls wurde der Einfluss der operativen Erfahrung des Operateurs auf die auftretenden Komplikationsraten analysiert.

Klinische Ergebnisse mittel- und langfristig.

Bezüglich des klinischen Ergebnisses nach operativer Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur lagen zum Zeitpunkt des Beginns der wissenschaftlichen Arbeit nur kurz- bis mittelfristige Ergebnisse vor. Dementsprechend erfolgte eine strukturierte Auswertung der funktionellen klinischen Ergebnisse im mittelfristigen (4/5 Jahre nach operativer Versorgung) sowie im langfristigen Verlauf (10 Jahre nach operativer Versorgung).

Einfluss der Implantatentfernung

Nach operativer Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese kommt es regelmäßig, bei relativer konsekutiver Enge im Subakromialraum, aufgrund der aufragenden Plattenosteosynthese zu einem mechanischen Outlet-Impingement mit Bewegungseinschränkungen. Weitere Fragestellungen der wissenschaftlichen Arbeit waren es, die Patientenzufriedenheit unter funktionellen sowie kosmetischen Aspekten nach Implantatentfernung sowie den Einfluss des Osteosynthesematerials (PEEK vs Titan) zu erfassen.

3. Studiendesign und Auswertung für die klinischen Studien

Es wurden prospektiv alle Patienten die aufgrund einer dislozierten proximalen Humerusfraktur mittels Osteosynthese (winkelstabile Plattenosteosynthese/winkelstabile Plattenosteosynthese mit Schraubenspitzen-Augmentation/Marknagelosteosynthese) bzw. Gelenkersatz (inverse Frakturendoprothese) in einer Datenbank erfasst. Patienten mit pathologischen Frakturen, polytraumatisierte Patienten, Patienten mit begleitender Gefäß- bzw. Nervenverletzung und Patienten mit ausgeprägter Demenz (aufgrund der nicht erhebbaren funktionellen Ergebnisse) wurden ausgeschlossen. Neben demografischen Parametern erfolgte eine Auswertung des verwendeten operativen Zugangs und des OP-Zeitpunktes (Zeitraum auftretende Fraktur/Trauma bis definitive Versorgung). Die Patienten wurden konsekutiv klinisch und radiologisch über unsere Sprechstunde für Schulter- und Ellenbogenchirurgie radiologisch und klinisch nachuntersucht.

Die auftretenden Komplikationen wurden anhand radiologischer Auswertungen erfasst (sekundäre Dislokation, Schrauben Cutout, Dislokation der Tubercula und avaskuläre Humeruskopfnekrose). Des Weiteren wurde im Rahmen des stationären Aufenthaltes eine Knochendichtemessung (DXA) durchgeführt um die bestehende Knochenqualität zu validieren (Osteopenie/Osteoporose).

Die klinische Nachuntersuchung umfasste eine Anamneseerhebung sowie eine funktionelle Testung der Patienten (u.a. Constant Score/DASH Score). Die Nachuntersuchungszeiträume hingen von der Fragestellung ab.

Bei durchgeführter Rekonstruktion und Osteosynthese mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese erfolgte nach radiologisch gesicherter Frakturkonsolidierung nach ausführlicher Aufklärung über Chancen und Risiken des Materialverbleibs bzw. der Implantatentfernung bei Wunsch des Patienten und bestehenden funktionellen Einschränkungen mit mechanischem Outlet-Impingement oder/und bestehender Arthrofibrose eine Implantatentfernung und Evaluierung der Kosmetik der bestehenden Narbe.

Die statistischen Methoden zur Aufarbeitung und Analyse waren von der jeweiligen Fragestellung abhängig und sind in den assoziierten Publikationen beschrieben.

4. Liste der zur kumulativen Habilitationsschrift beitragenden Publikationen

Erst bzw. Letztauthorenschaft:

1. **Siebenbürger G**, Neudeck R, Daferner M P, Fleischhacker E, Böcker W, Ockert B, Helfen T. „It Is Always the Same—A Complication Classification following Angular Stable Plating of Proximal Humeral Fractures” J Clin Med. 2023 Mar 28;12(7):2556. doi: 10.3390/jcm12072556 (* Geteilte Erstautorschaft)
2. Neudeck R, Daferner M P, Fleischhacker E, Helfen T, Gilbert F, Böcker W, Ockert B, **Siebenbürger G**. “Mid-term functional outcome (minimum 24 months, mean 4 years) after locking plate osteosynthesis for displaced fractures of the proximal humerus in 557 cases” Injury 2023 Mar 29:S0020-1383(23)00289-9. doi: 10.1016/j.injury.2023.03.033.
3. **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Stumpf U, Helfen T, Böcker W, Ockert B. „Screw-Tip Augmented Locked Plating Versus Primary Reverse Total Shoulder Arthroplasty in Displaced Proximal Humeral Fractures: A Retrospective Comparative Cohort Study With a Mean Follow-Up of 39 Months” Geriatric Orthopaedic Surgery& Rehabilitation 2021 Volume 12: 1–8, <https://doi.org/10.1177/21514593211039026>
4. **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Gleich J, Helfen T, Böcker W, Ockert B. “Supraspinatus Tenotomy in Reverse Shoulder Arthroplasty for Fractures: A Comparative Cohort Study” Geriatric Orthopaedic Surgery& Rehabilitation 2021 Volume 12: 1-6, <https://doi.org/10.1177/21514593211019973>
5. Fleischhacker E, **Siebenbürger G***, Helfen T, Gleich J, Böcker W, Ockert B. “Varus malposition relates to functional outcomes following open reduction and internal fixation for

proximal humeral fractures: A retrospective comparative cohort study with minimum 2 years follow-up” September 2020 Injury 52(3), DOI: 10.1016/j.injury.2020.09.003 (* Geteilte Erstautorschaft)

6. **Siebenbürger G**, Helfen T, Biermann N, Haasters F, Böcker W, Ockert B. „Screw-tip augmentation versus standard locked plating of displaced proximal humeral fractures: a retrospective comparative cohort study” May 2019 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 28(7) DOI: 10.1016/j.jse.2018.12.001
7. **Siebenbürger G**, Van Delden D, Helfen T, Haasters F, Böcker W, Ockert B. „Timing of surgery for open reduction and internal fixation of displaced proximal humeral fractures” October 2015 Injury Volume 46(Supplement 4):58-62, DOI: 10.1016/S0020-1383(15)30019-X
8. **Siebenbürger G**, Biermann N, Haasters F, Mutschler W, Ockert B. „Klinisches Outcome (Median 5 Jahre) nach winkelstabiler Plattenosteosynthese von 228 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur“ September 2014 Obere Extremität 9(3):215-221, DOI: 10.1007/s11678-014-0272-2

Coautorenschaft:

9. Jägerhuber L, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Gilbert F, Böcker W, Helfen T. „Patient satisfaction after removal of locking plates in proximal humeral fractures - worth the surgery under functional and cosmetic aspects?” JSES Int 2024 Apr 27;8(5):921-925. doi: 10.1016/j.jseint.2024.04.010. eCollection 2024 Sep.

10. Fleischhacker E, Sprecher CM, Milz S, Saller MS, Gleich J, **Siebenbürger G**, Helfen T, Böcker W, Ockert B. “Functional outcomes before and after implant removal in patients with posttraumatic shoulder stiffness and healed proximal humerus fractures: does implant material (PEEK vs. titanium) have an impact? – a pilot study” BMC Musculoskeletal Disorders (2022) 23:95, <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05061-x>
11. Fleischhacker E, **Siebenbürger G**, Gleich J, Helfen T, Böcker W, Ockert B. „Open reduction and internal fixation of displaced head-split type humeral fractures and role of the rotator-interval approach” Shoulder & Elbow 2021, Vol. 0(0) 1–7, <https://doi.org/10.1177/17585732211065449>
12. Helfen T, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Gleich J, Böcker W, Ockert B. Operative treatment of 2-part surgical neck type fractures of the proximal humerus in the elderly: Cement augmented locking plate PHILOS™ vs. proximal humerus nail MultiLoc® June 2020 Injury 51(10), DOI: 10.1016/j.injury.2020.06.026
13. Biermann N, Schirren M, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Helfen T, Böcker W, Ockert B. “Glenohumeral joint lavage does not affect clinical outcomes in open reduction and internal fixation of displaced intracapsular proximal humeral fractures. A prospective, randomized, double-blinded trial.” June 2020 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 29(9) Follow journal DOI: 10.1016/j.jse.2020.04.026
14. Helfen T, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Biermann N, Böcker W, Ockert B. “Open reduction and internal fixation of displaced proximal humeral fractures. Does the surgeon’s

- experience have an impact on outcomes?” November 2018 PLoS ONE 13(11):e0207044, DOI: 10.1371/journal.pone.0207044
15. Helfen T, **Siebenbürger G**, Mayer M, Böcker W, Ockert B, Haasters F. “Operative treatment of 2-part surgical neck fractures of the proximal humerus (AO 11-A3) in the elderly: Cement augmented locking plate Philos™ vs. proximal humerus nail MultiLoc®” October 2016 BMC Musculoskeletal Disorders 17(1) DOI: 10.1186/s12891-016-1302-6
16. Haasters F, **Siebenbürger G**, Helfen T, Daferner MP, Böcker W, Ockert B. „Complications of locked plating for proximal humeral fractures—are we getting any better” April 2016 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 25(10) DOI: 10.1016/j.jse.2016.02.015
17. Haasters F, Kindsvater J, **Siebenbürger G**, Mutschler W, Ockert B. „Osteoporose als Risikofaktor für das Versagen der winkelstabilen Plattenosteosynthese am proximalen Humerus“ November 2014 Osteologie/Osteology 23(1):16-21, DOI: 10.1055/s-0037-1620032
18. Ockert B, **Siebenbürger G**, Kettler M, Braunstein V, Mutschler W. Long-term functional outcomes (median 10 years) after locked plating for displaced fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg. 2014 Aug;23(8):1223-31., doi: 10.1016/j.jse.2013.11.009. Epub 2014 Feb 16.

5. Ergebnisse und Diskussion der eigenen Publikationen

5.1. OP Zeitpunkt

Siebenbürger G, Van Delden D, Helfen T, Haasters F, Böcker W, Ockert B, „Timing of surgery for open reduction and internal fixation of displaced proximal humeral fractures” October 2015 Injury Volume 46(Supplement 4):58-62

Im Zeitraum Februar 2002 bis November 2010 konnten 329 Patienten mit einem mindest Follow-Up von 12 Monaten nach Versorgung einer dislozierten proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese ausgewertet werden. Die Analyse des radiologischen Outcomes umfasste die sekundäre Dislokation (über 10°), den Schrauben Cutout und die avaskuläre Humeruskopfnekrose. Bezogen auf das Patientenalter, Geschlecht und Fraktur Typ erfolgte eine Auswertung in 3 Gruppen: Versorgung unter 48 h nach Trauma, geplante operative Versorgung innerhalb von 3 - 5 Tagen sowie die verspätete Versorgung über 5 Tage posttraumatisch. Der mediane Zeitraum zwischen Trauma und operativer Versorgung war 3,2 Tage. Die operative Versorgung erfolgte bei 2-part Frakturen nach median 3,3 Tagen, bei 3-part Frakturen nach 3,3 Tagen, bei 4-part Frakturen nach 2,9 Tagen und bei Head Split Fraktur nach 2,2 Tagen. Die operative Versorgung von Luxationsfrakturen erfolgte nach 0,8 Tagen. Es zeigte sich eine sekundäre Dislokation bei 12,8% der Patienten, ein Schrauben Cutout bei 4,9% der Patienten sowie eine avaskuläre Nekrose bei 6,8% der Patienten. Patienten, die eine Komplikation aufwiesen wurden im median 2,5 Tage nach Trauma operativ versorgt. Patienten welche keine postoperative Osteosynthese-assoziierte Komplikation zeigten, wurden im median nach 3,2 Tagen versorgt. Die Odds ratio für das Auftreten einer Komplikation lag in der Gruppe der Patienten mit Versorgung unter 48 h nach Trauma bei 0,924, bei Patienten welche innerhalb von 3 - 5 Tagen nach Trauma operativ versorgt wurden bei 0,836 und bei Patienten die später als 5 Tage nach Trauma operativ versorgt wurden bei 1,637 für das Auftreten einer Komplikation.

Cumulative odds ratio for complications in relation to timing of surgery (<48 hours, 48 hours to 5 days, > 5 days).

Δ trauma – surgery	cumulative odds ratio for complications
<48h	0,924
≥ 48 h – 5 days	0,836
>5 days	1,637

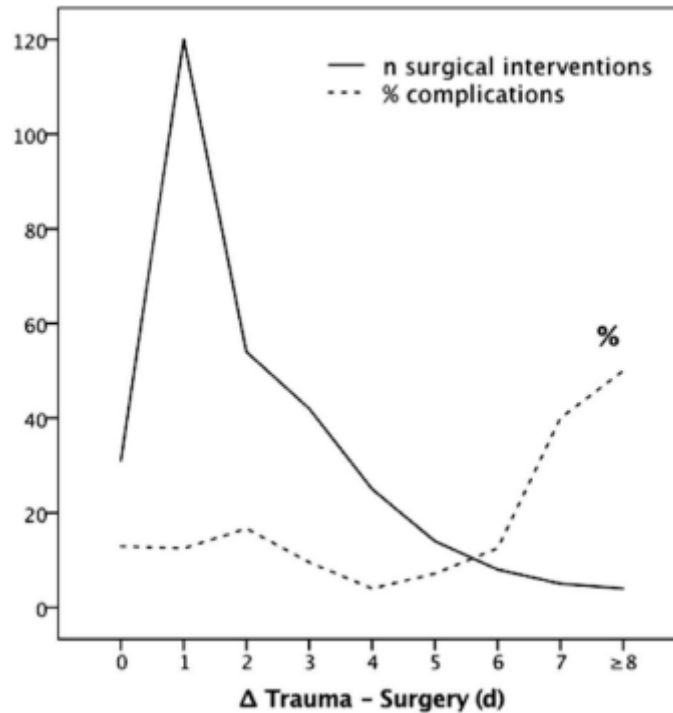


Abbildung 5: Kumulative Odds-ratio für das Auftreten von Komplikationen in Relation zum OP-Zeitpunkt sowie Gesamtzahl der offenen Repositionen und Retentionen mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese und der Rate in Prozent an auftretenden Komplikationen in Relation zum OP-Zeitpunkt.

5.2. Zugangsmodifikationen/OP Technik

5.2.1 Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall

Fleischhacker E, **Siebenbürger G**, Gleich J, Helfen T, Böcker W, Ockert B, „Open reduction and internal fixation of displaced head-split type humeral fractures and role of the rotator-interval approach” Shoulder & Elbow 2021, Vol. 0(0) 1–7

Es wurden 37 Patienten, die mittels offener Reposition und interner Retention mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese über einen standardisierten deltopektoralen Zugang operiert wurden, ausgewertet. Bei 17 Fällen wurde der Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall zwischen Musculus supraspinatus und Musculus subscapularis erweitert. In der Gruppe mit isoliertem deltopektoralen Zugang wurde eine anatomische Reposition in 45% der Fälle erreicht, eine akzeptable Reposition in 25% der Fälle und eine Fehlreposition in 30% der Fälle. In der Gruppe mit erweitertem Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall wurde eine anatomische Reposition in 71% der Fälle erreicht, eine akzeptable Reposition in 29% der Fälle und eine Fehlreposition in keinem Fall. Der mittlere Constant Score war in der Gruppe mit erweitertem Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall sowohl anhand des Constant Score sowie des Constant Scores im Vergleich zur Gegenseite (= %CS) besser ($p = 0,07/p = 0,08$) besser. Ebenso war der DASH Score in der Gruppe mit erweitertem Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall mit 22,8 Punkten Punkten niedriger als in der Gruppe mit standardisierten deltopektoralen Zugang mit 25,2 Punkten (höherer DASH Score entspricht größerer Einschränkung). Sowohl anhand des Constant Score sowie anhand des DASH Score zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Durch den erweiterten Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall lässt sich eine bessere Visualisierung der Reposition und damit radiologisch eine bessere Versorgung erreichen. Anhand der Daten lässt sich kein wesentlicher funktioneller Unterschied zwischen standardisiertem deltopektoralen Zugang bzw. Erweiterung mittels Zugang durch das Rotatorenmanschettenintervall zeigen.

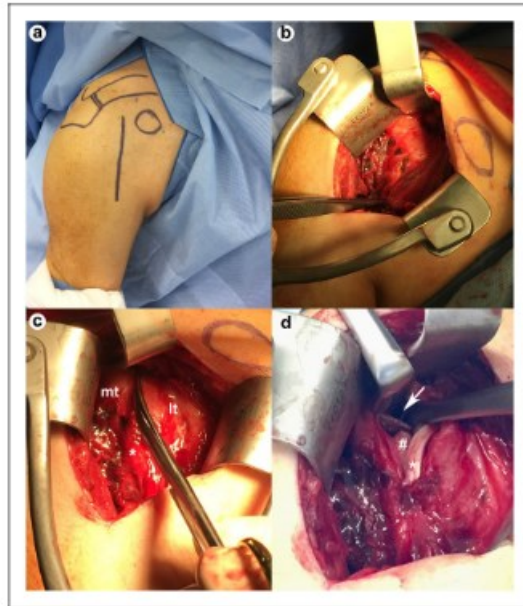


Abbildung 6: Darstellung des erweiterten Zugangs durch das Rotatorenmanschettenintervall der rechten Schulter mit in Abbildung der eröffneten Intervall zwischen Musculus supraspinatus sowie Musculus subscapularis (Pfeil).

5.2.2 Glenohumerale Gelenkspülung

Biermann N, Schirren M, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Helfen T, Böcker W, Ockert B, “Glenohumeral joint lavage does not affect clinical outcomes in open reduction and internal fixation of displaced intracapsular proximal humeral fractures. A prospective, randomized, double-blinded trial.” June 2020 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 29(9)

Es wurden im Zeitraum Januar 2016 bis April 2018 86 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese operativ versorgt. Die Patienten wurden randomisiert und doppelt verblindet ausgewertet. Es konnten 2 Gruppen gebildet werden, wobei intraoperativ bei der einen Gruppe eine intraoperative glenohumerale offene Gelenkspülung erfolgte und bei der anderen Gruppe nicht. Die Hypothese war, dass durch die intraoperative glenohumerale Spülung eine Reduktion des Hämarthros und damit der gegebenenfalls Arthrofibrose fördernden immunologischen Reaktion eintreten könnte. Insgesamt konnten nach einem Jahr 62 Patienten ausgewertet werden. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied im Constance Score zwischen beiden Gruppen. Insbesondere in Bezug auf die Außenrotation zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Die Gesamtkomplikationsrate betrug 9,6% und unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen. Zusammenfassend lässt sich in dieser Studie keine Verbesserung des funktionellen Ergebnisses bezogen auf die postoperative mögliche Beweglichkeit der Schulter durch eine glenohumerale Ausspülung des Hämarthros nachweisen.

5.2.3 Tenotomie der Sehne des. M. supraspinatus bei der Versorgung mittels inverser Frakturendoprothese

Siebenbürger G, Fleischhacker E, Gleich J, Helfen T, Böcker W, Ockert B, “Supraspinatus Tenotomy in Reverse Shoulder Arthroplasty for Fractures: A Comparative Cohort Study” Geriatric Orthopaedic Surgery& Rehabilitation 2021 Volume 12: 1-6

Eines der Grundprinzipien der Funktion der inversen Frakturprothese ist die Veränderung des Hebelarms des Musculus deltoideus durch eine Medialisierung des Drehzentrums des Gelenks sowie Distalisierung des Muskelansatzes durch Längengewinn. Die inverse Schultergelenktotalendoprothese ist neben der endoprothetischen Versorgung in der Fraktursituation auch bei der Behandlung der ausgeprägten Cuffarthropathie bei Rotatorenmanschettendefekt etabliert. In der elektiven Schulterendoprothetik wird zum besseren Weichteil-Balancing teilweise von manchen Operateuren eine geplante Tenotomie der Sehne des Musculus supraspinatus nahe des Tuberculum majus zum besseren Weichteilbalancing durchgeführt. Ebenso kann gegebenenfalls durch die geplante Tenotomie der Sehne des Musculus supraspinatus und damit Unterbindung der nach kranial und dorsal einwirkenden Zugkraft auf das Tuberculum majus eine sekundäre Dislokation verhindert werden. Die sekundäre Dislokation des Tuberculum majus stellt ansonsten eine häufig beobachtete Komplikation der inversen Frakturprothese dar.[3, 18] In Vorarbeiten konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit vollständiger Einheilung der Tubercula ein besseres funktionelles Ergebnis sowie niedrigere Komplikationsraten zu erwarten sind. Ausgewertet wurden im Zeitraum Juni 2011 bis Juni 2018 159 Patienten. Bei einem Teil der Patienten wurde eine geplante Tenotomie des Musculus supraspinatus, nahe dem Tuberculum majus, durchgeführt, wobei die Entscheidung durch den Operateur getroffen wurde. Nach einem mittleren Follow-Up Zeitraum von 22,2 Monaten zeigte sich bei 76 Patienten kein radiologischer Unterschied in der Einheilung der Tubercula bzw. deren Resorption oder sekundäre Dislokation zwischen den Gruppen mit bzw. ohne Tenotomie der

Sehne des Musculus supraspinatus. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezogen auf das funktionelle Outcome gemessen am Constant Score mit 76,2 Punkten in der Gruppe mit Tenotomie des Musculus supraspinatus versus 64,5 Punkten in der Gruppe ohne Tenotomie des Musculus supraspinatus. Besonders deutlich war dieser Unterschied bezogen auf die Außenrotation und aktive Abduktion der Patienten. Über beide Gruppen hinweg zeigten Patienten mit eingeeilten Tubercula bessere klinische funktionelle Ergebnisse. Zusammenfassend führt die Tenotomie der Sehne des Musculus supraspinatus bei der Versorgung der proximalen Humerusfraktur mittels inverser Frakturoendoprothese zu vergleichbaren radiologischen Ergebnissen bezogen auf die Einheilung, Resorption und Dislokation der Tubercula jedoch zu besseren funktionelle Ergebnissen in Bezug auf das Bewegungsausmaß.

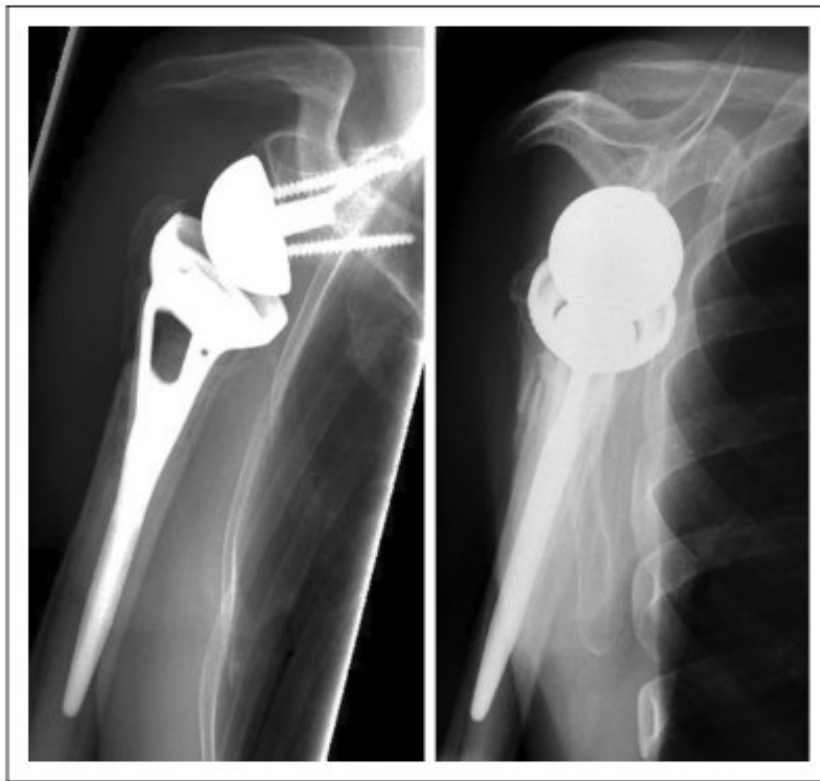


Abbildung 7: Vollständige radiologische Einheilung der Tubercula nach inverser Fraktur Endoprothese in a.p. und y-view Aufnahme.

5.3.(Augmentierte) Plattenosteosynthese vs. Marknagelosteosynthese vs. inverse Frakturendoprothese

5.3.1. PMMA Schraubenspitzen-Augmentation der winkelstabilen Plattenosteosynthese vs. Standard winkelstabile Plattenosteosynthese

Siebenbürger G, Helfen T, Biermann N, Haasters F, Böcker W, Ockert B, „Screw-tip augmentation versus standard locked plating of displaced proximal humeral fractures: a retrospective comparative cohort study” May 2019 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 28(7)

Die proximale Humerusfraktur als Indikatorfraktur der Osteoporose zeigt bei operativer Versorgung mittels Rekonstruktion und winkelstabiler Plattenosteosynthese hohe Komplikationsraten. Ein grundsätzliches Problem ist vor allem die reduzierte Knochenqualität subchondral in der Hauptverankerungszone der Schrauben. Um dieses biomechanische Problem zu lösen kann durch Einspritzen von Knochenzement (PMMA) eine Vergrößerung der Schraubenspitzenoberfläche und damit gegebenenfalls eine erhöhte Stabilität gegenüber einer sekundären Dislokation erreicht werden. Dies könnte beim älteren Patienten mit reduzierter Knochenqualität zu einer geringeren Rate an sekundären Komplikationen (Dislokation bzw. Schrauben Cutout) führen.[7, 12, 21, 22]

Es wurden insgesamt 94 Patienten ausgewertet wobei bei 55 Patienten eine Osteosynthese mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese nach dislozierter proximaler Humerusfraktur durchgeführt wurde und bei 39 Patienten eine Schraubenspitzen-Augmentation unter Bildwandlerkontrolle mit PMMA-Knochenzement. Es zeigte sich im Vergleich beider Gruppen kein signifikanter Unterschied gemessen am Constant Score, Constant Score im Vergleich zur Gegenseite sowie dem Alters- und Geschlechts- adaptierten Constant Score nach Katolik (nCS). Dies gilt ebenso für den DASH Score im Vergleich beider Gruppen. Die gesamt Komplikationsrate war 16,3% in der Gruppe ohne Zementaugmentation im Vergleich zu 12,8% in der Gruppe mit Zementaugmentation. Eine sekundäre

Dislokation zeigte sich in der Gruppe ohne Zementaugmentation in 10,9% der Fälle im Vergleich zu 5,1% der Fälle in der Gruppe mit Zementaugmentation ($p = 0,74$). Zusammenfassend führt die Schraubenspitzen-Augmentation mit PMMA zu einer Reduktion der Osteosynthese assoziierten Komplikationen (sekundäre Dislokation/Schrauben Cutout). Dies war in unserem Kollektiv allerdings nicht signifikant. Wir konnten mit dieser Arbeit jedoch zeigen, dass das Verfahren zu keiner höheren Rate an avaskulären Nekrosen führt (aufgrund der externen Aushärtungsreaktion war eine Hypothese in der Arbeit, dass es hier vermehrt zu Nekrosen kommen könnte) und sicher durchgeführt werden kann.



Abbildung 8: Schraubenspitzen-Augmentation mit PMMA nach proximaler Humerusfraktur. Bild A/B röntgen a.p. und Y view der Fraktur. Bild C/D CT koronar sowie sagittal der Fraktur. Bild E/F mit anatomischer Reposition und Schraubenspitzen Augmentation mit PMMA.

5.3.2. PMMA Schraubenspitzen-Augmentation der winkelstabilen Plattenosteosynthese vs. Marknagelosteosynthese

Helfen T, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Gleich J, Böcker W, Ockert B, “Operative treatment of 2-part surgical neck type fractures of the proximal humerus in the elderly: Cement augmented locking plate PHILOS™ vs. proximal humerus nail MultiLoc®” June 2020 Injury 51(10)

Helfen T, **Siebenbürger G**, Mayer M, Böcker W, Ockert B, Haasters F, “Operative treatment of 2-part surgical neck fractures of the proximal humerus (AO 11-A3) in the elderly: Cement augmented locking plate Philos™ vs. proximal humerus nail MultiLoc®” October 2016 BMC Musculoskeletal Disorders 17(1)

Biomechanische Vorarbeiten konnten zeigen, dass die Marknagelosteosynthese zur Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur aufgrund des Nageleintritts zentral in der Kalotte einen weiteren Abstützungspunkt (sogenannten 5. Verankerungspunkt) bietet.[8] Dementsprechend sollte dieser potenzielle biomechanische Vorteil mit der zementaugmentierten winkelstabilen Plattenosteosynthese verglichen werden. Dies wurde besonders auf die instabilen metaphysären 2-part Frakturen bezogen. Um diese Fragestellung zu lösen, wurde eine randomisiert kontrollierte Studie etabliert. Eine der Arbeiten beschreibt die Überlegungen bei fehlender Evidenzlage und das daraus resultierende Studienprotokoll, die andere Arbeit die Ergebnisse der durchgeführten Studie. Es erfolgte eine Randomisierung in 2 Gruppen: Zementaugmentierte winkelstabile Plattenosteosynthese im Vergleich zum Humerus Marknagel. Es wurden die funktionellen Ergebnisse mittels DASH Score sowie Constant Score und weiteren funktionellen Scores bezüglich der Lebensqualität erfasst. Zwei Jahre nach operativer Versorgung zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezogen auf den DASH Score jedoch nicht bezogen auf den Constant Score ($p = 0,04/p = 0,08$). Der ebenso erfasste Oxford Shoulder Score war in beiden Gruppen ebenso signifikant

unterschiedlich. Ein Schrauben Cutout zeigte sich isoliert bei 6,7% der Patienten in der Gruppe mit winkelstabiler Plattenosteosynthese. In jeweils 2 Fällen (6,7%) war eine operative Revision notwendig. Zusammengefasst zeigt sich kein signifikanter funktioneller Unterschied im Vergleich der winkelstabilen Plattenosteosynthese mit Zementaugmentation und der Marknagelosteosynthese bei 2-part Frakturen des proximalen Humerus einhergehend mit vergleichbaren Komplikationsraten. Die Zementaugmentation der Schraubenspitzen kann so gegebenenfalls die ansonsten bestehenden biomechanischen Vorteile der Marknagelosteosynthese im Vergleich zur winkelstabilen Plattenosteosynthese ohne Zementaugmentation ausgleichen

5.3.3. PMMA Schraubenspitzen Augmentation der winkelstabilen Plattenosteosynthese vs. Inverse Frakturendoprothese

Siebenbürger G, Fleischhacker E, Stumpf U, Helfen T, Böcker W, Ockert B, „Screw-Tip Augmented Locked Plating Versus Primary Reverse Total Shoulder Arthroplasty in Displaced Proximal Humeral Fractures: A Retrospective Comparative Cohort Study With a Mean Follow-Up of 39 Months” Geriatric Orthopaedic Surgery& Rehabilitation 2021 Volume 12: 1–8

Die proximale Humerusfraktur betrifft vor allem ältere Patienten weiblichen Geschlechts mit reduzierter Knochenqualität. Aufgrund der hohen Raten an auftretenden Komplikationen der Osteosynthese hat sich ein Trend hin zur Versorgung dieser Patienten bei komplexen Frakturmorphologien zur primären Versorgung mittels inverser Frakturendoprothese entwickelt. Ein Ansatzpunkt, um die reduzierte Knochenqualität lokal auszugleichen, ist die Schraubenspitzen-Augmentation mittels z.B. Polymethylmethacrylat = PMMA = Knochenzement. Im Rahmen dieser Studie sollte das klinische und radiologische Outcome nach operativer Versorgung dislozierter proximaler Humerusfraktur mittels Knochenzement augmentierter winkelstabiler Platten-Osteosynthese bzw. inverser Frakturendoprothese verglichen werden. Es wurde eine matched-pair Analyse von 60 Patienten über 65 Jahre mit dislozierter proximaler Humerusfraktur, die mittels PMMA Schraubenspitzen-augmentierter winkelstabiler Plattenosteosynthese im Vergleich zu 60 Patienten die mittels inverser Frakturendoprothese versorgt wurden, durchgeführt. 39 Monate nach Versorgung konnten 25 Patienten in der Gruppe mit Schraubenspitzen-Augmentation mit 22 Patienten in der Gruppe nach inverser Frakturendoprothese verglichen werden. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezogen auf den Constant Score 68 vs. 60,6 Punkte ($p = 0,33$). Bezogen auf den Constant Score im Vergleich zur Gegenseite zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0,14$). In der Gruppe der PMMA augmentierten winkelstabilen Plattenosteosynthese zeigte sich eine Komplikationsrate von 32%. In der Gruppe nach inverser Fraktur Endoprothese eine

Komplikationsrate von 4,5% ($p = <0,05$). Circa 3 Jahre nach operativer Versorgung zeigt sich ein vergleichbares funktionelles Ergebnis im Vergleich der winkelstabilen Plattenosteosynthese mit Schraubenspitzen-Augmentation und inverser Frakturendoprothese. Nichtsdestotrotz zeigte sich eine deutlich höhere Komplikationsrate nach Osteosynthese sowie ebenso damit einhergehende höhere Revisionsrate. Zusammenfassend kann beim älteren Patienten mit bestehender reduzierter Knochenqualität mit der inversen Frakturendoprothese ein vergleichbares Ergebnis zur Rekonstruktion funktionell erreicht werden. Bei diesen Patienten besteht der Vorteil der inversen Frakturendoprothese in der deutlich reduzierten Komplikations- und Revisionsrate.

5.4. Komplikationen/Einfluss Operateur

5.4.1. Einfluss der Varusposition nach winkelstabiler Plattenosteosynthese

Fleischhacker E, **Siebenbürger G**, Helfen T, Gleich J, Böcker W, Ockert B, “Varus malposition relates to functional outcomes following open reduction and internal fixation for proximal humeral fractures: A retrospective comparative cohort study with minimum 2 years follow-up” September 2020 Injury 52(3)

Es wurden insgesamt 685 Patienten eingeschlossen, bei denen eine dislozierte proximale Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurde. Es erfolgte eine Auswertung der varischen Dislokation gemessen in Grad Abweichung (Referenz CCD = Kopf-Colum-Diaphysenwinkel von 135 Grad) auf standardisierten Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen mit einem minimalen Follow-Up von 2 Jahren. Es erfolgte eine Unterteilung in 3 Gruppen: Gruppe A anatomischer CCD Winkel bzw. maximal 10 Grad varische oder valgische Stellung, Gruppe B 10 – 20 Grad varische Stellung und Gruppe C über 20 Grad varische Stellung. Der anatomische CCD Winkel wurde mit 135° definiert. Ausgewertet werden konnten 565 Patienten. Der mittlere Constant Score betrug 72,5 Punkte in Gruppe A, 64,7 Punkte in Gruppe B und 54,1 Punkte in Gruppe C ($p = 0,02$). Der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite sowie der Alters- und Geschlechts-normalisierte Constant Score zeigten ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen Gruppe A, B und Gruppe C. Selbiges zeigte sich in einer Pearson Korrelation ($r = 0,23$ / $r = 0,21$, $r = 0,25$). Zusammengefasst zeigt die varische Kopfstellung nach winkelstabiler Plattenosteosynthese der dislozierten proximalen Humerusfraktur mit zunehmender Varisierung schlechtere funktionelle Ergebnisse im Vergleich zur anatomischen Stellung. In Fällen mit einer Varus Stellung über 20 Grad, CCD Winkel entsprechend <115 Grad, sollte eine operative Revision im Einzelfall diskutiert und in Erwägung gezogen werden.



Abbildung 9: Methode zur Messung des Kopf Schaft Winkels nach der Methode von Schnetzke et al.

[23]

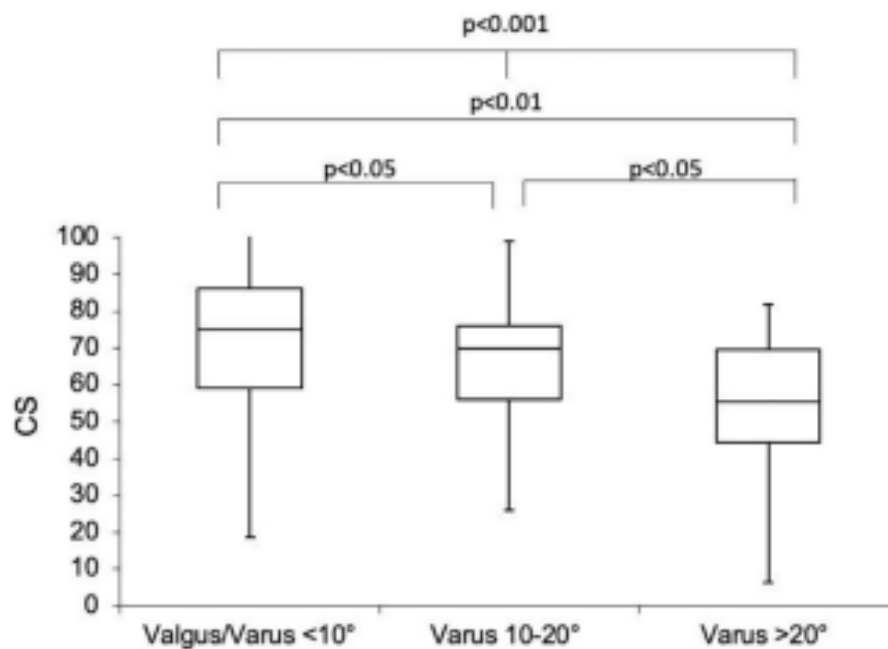


Abbildung 10: Der CS im Verhältnis zur Varusposition des CCD Winkels.

5.4.2. Veränderungen der Komplikationsraten nach winkelstabiler Plattenosteosynthese im zeitlichen Verlauf

Haasters F, **Siebenbürger G**, Helfen T, Daferner MP, Böcker W, Ockert B, „Complications of locked plating for proximal humeral fractures—are we getting any better” April 2016 Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.] 25(10)

Im Zeitraum 2002 - 2013 wurden insgesamt 788 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur, welche mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese, primärer Hemiprothese (=HA) oder inverser Frakturendoprothese versorgt wurden, bezüglich auftretender Komplikationen und ungeplanter Revisionen ausgewertet. Im Gesamtkollektiv wurden 82% der Patienten mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt, 10,4% mit HA und 7,6% mit inverser Frakturendoprothese. Der mittlere Follow-Up Zeitraum betrug 14,8 Monate. In der Gruppe der winkelstabilen Plattenosteosynthesen zeigte sich eine Komplikationsrate von 12,8% und eine Revisionsrate von 11,6%. In den letzten 5 Jahren der Auswertung zeigte sich ein Rückgang der sekundären Dislokationen von 14,3% auf 4,8%. Im gleichen Zeitraum nahm die Versorgungshäufigkeit mit inverser Frakturendoprothese zu. Zusammenfassend lässt sich in dieser Studie beobachten, dass die Komplikationsrate der winkelstabilen Plattenosteosynthese zur Versorgung dislozierter proximaler Humerusfrakturen im zeitlichen Verlauf am ehesten durch die vermehrte Indikationsstellung mit inverser Frakturendoprothese sowie zunehmender Erfahrung mit dem Implantat, abnimmt.

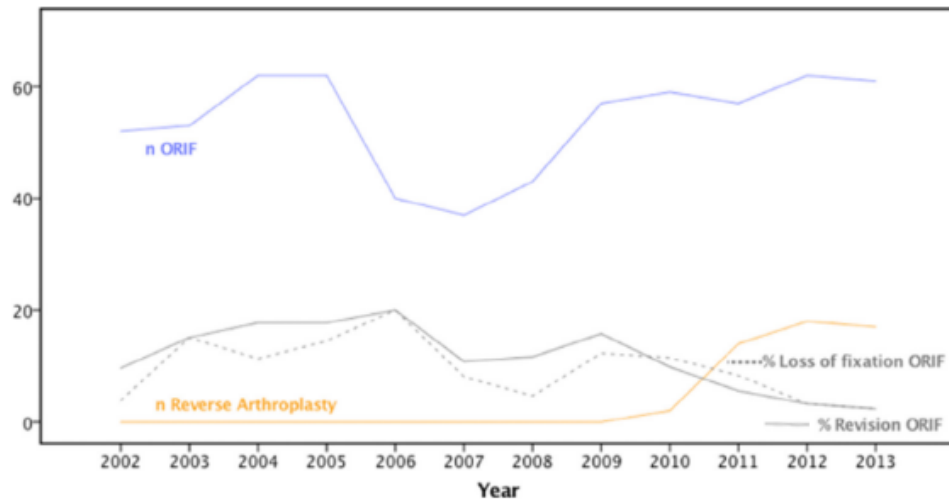


Abbildung 11: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese (n ORIF), der Rate an sekundären Dislokation (% Loss of fixation) und der Rate an notwendigen Revisionsoperationen (% Revision ORIF) pro Jahr.

5.4.3. Einfluss der Osteoporose auf die Komplikationsrate nach winkelstabiler Plattenosteosynthese

Haasters F, Kindsvater J, **Siebenbürger G**, Mutschler W, Ockert B, „Osteoporose als Risikofaktor für das Versagen der winkelstabilen Plattenosteosynthese am proximalen Humerus“ November 2014 Osteologie/Osteology 23(1):16-21

Über einen Zeitraum von 8 Jahren wurden Frauen älter als 50 Jahre und Männer älter als 60 Jahre, die aufgrund einer proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurden, prospektiv erfasst. Während des stationären Aufenthaltes erfolgte eine Knochendichtemessung (DXA). Bei 65,9% der Patienten zeigte sich eine Osteoporose. Bei Patienten mit begleitender Osteoporose war die Komplikationsrate im Vergleich zum knochengesunden Kollektiv deutlich erhöht (19,1% vs. 7,0%). Des Weiteren zeigten sich bezogen auf die auftretende Frakturmorphologie in der Gruppe der Patienten mit begleitender Osteoporose häufiger varisch dislozierte B2 Frakturen und stark dislozierte C2-Frakturen. Zusammenfassend lässt sich nachweisen, dass bei Patienten mit begleitender Osteoporose und dislozierter operationsbedürftiger proximaler Humerusfraktur ein signifikant erhöhtes Risiko für eine revisionspflichtige Komplikation besteht. Neben der biomechanisch reduzierten Versorgungsqualität spielt hierbei sicherlich auch das Auftreten von komplexeren Frakturtypen eine Rolle.

5.4.4. Klassifikationssystem für Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen

Siebenbürger G, Neudeck R, Daferner M P, Fleischhacker E, Böcker W, Ockert B, Helfen T, „It Is Always the Same—A Complication Classification following Angular Stable Plating of Proximal Humeral Fractures” J Clin Med. 2023 Mar 28;12(7):2556.

Typische Komplikation (Osteosynthese assoziierte Komplikationen) nach Versorgung dislozierter proximaler Humerusfrakturen umfassen unter anderem die (sekundäre) varische Dislokation, den Schrauben Cutout, die Dislokation der Tubercula bzw. die avaskuläre Humeruskopfnekrose. Es wurden insgesamt 1047 proximale Humerusfrakturen, welche mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurden, im Zeitraum 2002 - 2014 ausgewertet. Der mittlere Follow-Up Zeitraum betrug 4,0 Jahre und der mediane Zeitraum 3,3 Jahre. Es erfolgte eine Auswertung der Frakturtypen. Es zeigte sich eine Komplikationsrate von 24,5%. Es wurden insgesamt 4 Typen der Komplikation definiert. Typ 1 stellt eine milde Varus Dislokation (unter 20 Grad) oder Valgus Dislokation ohne Schrauben Cutout dar. Typ 2A ist definiert als Varusdislokation unter 20 Grad mit Schrauben Cutout. Typ 2B ist eine isolierte Dislokation eines oder beider Tubercula. Typ 2C ist definiert als schwere varische Dislokation über 20 Grad mit Schrauben Cutout. Typ 3 stellt ein mechanisches Ausreißen der Plattenosteosynthese im Bereich der Schrauben in der Diaphyse dar. Typ 4 bezeichnet eine avaskuläre Humeruskopfnekrose mit oder ohne glenoidaler Affektion (a/b). Es wird deskriptiv das Komplikationsmanagement der einzelnen Komplikationstypen ausgewertet. Zusammenfassend zeigen alle Patienten mit auftretender Komplikation ein schlechteres funktionelles Ergebnis im Vergleich zu Patienten ohne Komplikation. Patienten mit komplexeren Frakturtypen zeigen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, eine klinisch relevante Komplikation zu entwickeln. Anhand der Komplikationsklassifikation können Frakturtypen sowie Komplikationstypen identifiziert werden

und daraus Entscheidungen für die Indikationsstellung sowie das Komplikationsmanagement abgeleitet werden.

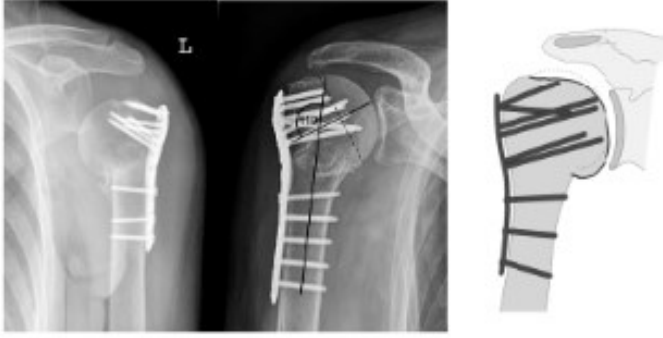
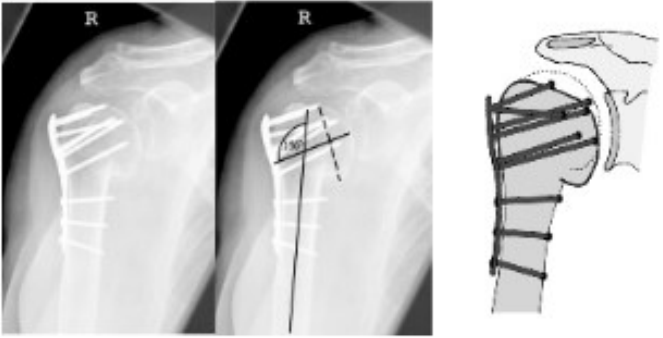
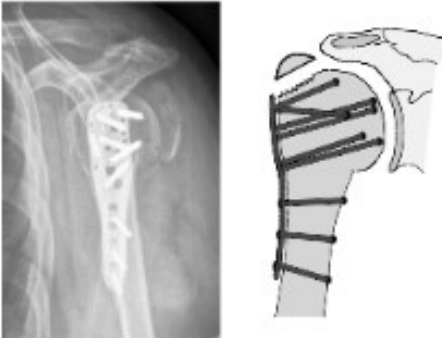
Complication Type	Exemplary Images by X-rays or Pattern Images	Definition
1		Complication Type 1 is defined by a mild, stable varus or valgus displacement ($<20^\circ$) of the humeral head without resulting in a screw cutout through the humeral head cortex.
2a		Complication Type 2a is defined by varus displacement ($<20^\circ$) of the humeral head associated with screw cutout through the humeral head cortex. The head sintering is considered relatively stable and non-progressive.
2b		Complication Type 2b is limited to displacement of the greater tuberosity, lesser tuberosity, or both tuberosities.
2c		Type 2c is defined by a severe varus displacement ($>20^\circ$) of the humeral head, which is associated with a screw cutout at the humeral head in parallel to Type 2a. In contrast to Type 2a, this varus displacement is characterized by an unstable osteosynthesis situation and progression.

Abbildung 12: Röntgenbildgebung sowie schematische Darstellung und Beschreibung der Komplikationstypen (1-2c).

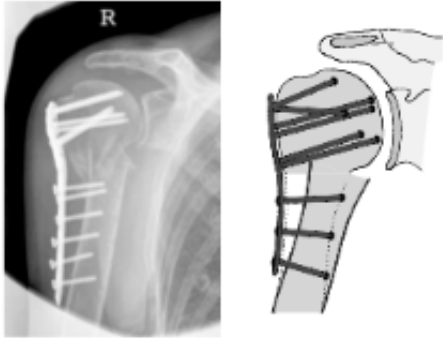
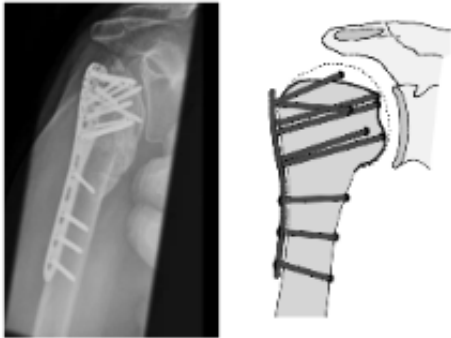
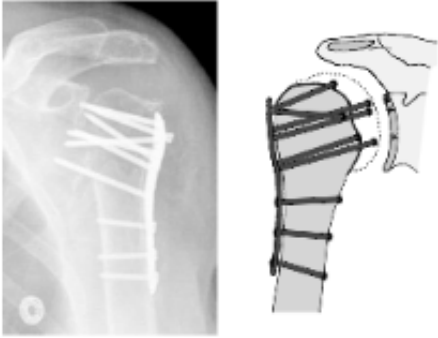
Complication Type	Exemplary Images by X-rays or Pattern Images	Definition
3		Type 3 describes a displacement of the angular stable plate osteosynthesis with screw cutout/fracture avulsion in the humeral shaft region, while the humeral head position remains intact.
4		Complication Type 4a is based on the presence of AVN of the humeral head without concomitant destruction of the glenoid articular surface due to an associated screw cutout through the humeral head cortex.
4b		Complication Type 4b is also based on the presence of an AVN of the humeral head combined with a destruction of the glenoid articular surface due to the associated screw cutout through the humeral head cortex.

Abbildung 13: Röntgenbildgebung sowie schematische Darstellung und Beschreibung der Komplikationstypen (3-4b).

5.4.5. Einfluss der Erfahrung des Operators auf das funktionelle Ergebnis nach winkelstabiler

Plattenosteosynthese der proximalen Humerusfraktur

Helfen T, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Biermann N, Böcker W, Ockert B. “Open reduction and internal fixation of displaced proximal humeral fractures. Does the surgeon’s experience have an impact on outcomes?” November 2018 PLoS ONE 13(11):e0207044

Es erfolgte eine Auswertung im Zeitraum 2002 - 2014 (12,5 Jahre) von 278 2-part Frakturen des proximalen Humerus (AO-Typ A2/A3). Die Ergebnisse der offenen Reposition sowie das funktionelle Ergebnis wurden zwischen 3 Gruppen mit unterschiedlich ausgeprägter operativer Erfahrung des durchführenden Operators verglichen. Gruppe 1 „junge“ Fachärzte für Orthopädie und Unfallchirurgie (TS), erfahrene Fachärztin (über 2 Jahre nach Erlangen des Facharztes fürs Orthopädie und Unfallchirurgie STS) sowie in der Schulterchirurgie erfahrene Fachärzte mit über 50 Eingriffen pro Jahr (SS). Die Eingriffe im genannten Zeitraum wurden in 25,7% der Fälle durch TS, in 41,5% der Fälle durch STS und in 29,1% der Fälle durch SS durchgeführt. Das funktionelle Ergebnis gemessen anhand des Alters und Geschlechts normalisierten Constant Scores (nCS) war mit steigender Erfahrung des Operators signifikant höher (93,3 SS vs. 83,0 STS vs. 79,6 TS Punkte). Die Rate an Komplikationen verhielt sich ähnlich (7,8% SS vs. 11,7% STS vs. 11,3% TS). Die Rate an notwendigen Revisionsoperationen zeigte ebenso genannte Verteilung (3,9% vs. 7,4% vs. 8,2%). Eine primäre Revision aufgrund von primärer Malreposition war in 4,7% der Fälle notwendig. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass anhand der vorliegenden Daten, für 2-part Frakturen des proximalen Humerus, die Erfahrung des Operators einen positiven Einfluss auf die Qualität der Reposition sowie das funktionelle Ergebnis hat. Des Weiteren zeigt sich eine signifikante Reduktion

der auftretenden Komplikationen sowie notwendigen Revisionen mit steigender Erfahrung des Operateurs. Dies zeigt die Notwendigkeit der spezialisierten Schulterchirurgie.

5.5. Klinische Ergebnisse mittel- und langfristig

5.5.1. Mittelfristige funktionelle Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese (4 Jahre)

Neudeck R, Daferner M P, Fleischhacker E, Helfen T, Gilbert F, Böcker W, Ockert B, **Siebenbürger G**, “Mid-term functional outcome (minimum 24 months, mean 4 years) after locking plate osteosynthesis for displaced fractures of the proximal humerus in 557 cases” Injury 2023 Mar 29:S0020-1383(23)00289-9.

Zwischen Februar 2002 und Dezember 2014 wurden 1031 Patienten mit 1047 dislozierten proximalen Humerusfrakturen mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese und dem gleichen Implantat operativ versorgt. Eine klinische Nachuntersuchung erfolgte nach mindestens 2 Jahren nach operativer Versorgung. Die klinische Nachuntersuchung umfasste den CS, DASH sowie den SF 36. Es konnten insgesamt 557 Patienten nachuntersucht werden. Der CS war 68,4 Punkte. Der nCS betrug 80,4 Punkte und der %CS 87,2 Punkte. Der DASH Score betrug 23,8 Punkte. Es zeigte sich eine Komplikationsrate von 21%. Patienten mit einer Osteosynthese assoziierten Komplikation (sekundäre Dislokation, Schrauben Cut out, avaskuläre Nekrose) zeigten niedrigere funktionelle Outcome Score Werte: CS 54,5 Punkte, nCS 64,5 Punkte, %CS 71,2 Punkte, DASH Score 31,9 Punkte. Der SF 36 für die Bewertung der Lebensqualität zeigte in der Gruppe ohne Komplikationen für die Vitalität einen mittleren Wert von 69,4 Punkten. In der Gruppe mit Komplikation betrug der Wert für die Vitalität 64,9 Punkte. Zusammenfassend zeigt die Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese gute bis moderate Ergebnisse 4 Jahre nach operativer Versorgung. Es besteht eine enge Korrelation mit den Ergebnissen ein Jahr postoperativ. Patienten mit auftretender Komplikation zeigen deutlich schlechtere funktionelle Werte.

5.5.2. Mittelfristige funktionelle Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese (5 Jahre)

Siebenbürger G, Biermann N, Haasters F, Mutschler W, Ockert B, „Klinisches Outcome (Median 5 Jahre) nach winkelstabiler Plattenosteosynthese von 228 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur“ September 2014 Obere Extremität 9(3):215-221

Im Zeitraum 2002 - 2012 wurden 467 Patienten, die aufgrund einer dislozierten proximalen Humerusfraktur mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt wurden, eingeschlossen. Es konnten insgesamt 228 Patienten nach im median 5,7 Jahren postoperativ mittels Constant Score und DASH Score ausgewertet werden. Der mittlere Constant Score 5,7 Jahre betrug 75,5 Punkte, der alters- und geschlechtsadaptierte Constant Score 85,5 Punkte und der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 84,5%. Es erfolgte eine Einzelgruppenunteranalyse bezogen auf den Frakturtyp. Hier zeigten sich vor allem für die 4-part Fraktur sowie Headsplit Fraktur reduzierte funktionelle Ergebnisse. Die Bewertung der Schulterfunktion war bei 41,7% der Patientin „sehr gut“, bei 24,1% „gut“, bei 19,3% „befriedigend“ und in 14,9% „schlecht“. Der beobachtete Constant Score nach 5 Jahren korrelierte negativ mit dem Patientenalter und einer ungeplanten Revisionsoperation. Zusammenfassend lässt sich aufgrund der vorliegenden Daten aussagen, dass bei 2/3 der Patienten (65,8%) ein sehr gutes bis gutes klinisches Ergebnis nach winkelstabiler Plattenosteosynthese der proximalen Humerusfraktur nachzuweisen ist. In circa 15% der Fälle liegt eine schlechte Schulterfunktion vor, die gehäuft bei Patienten mit hohem Lebensalter bzw. ungeplanter Revisionsoperation beobachtet werden kann.

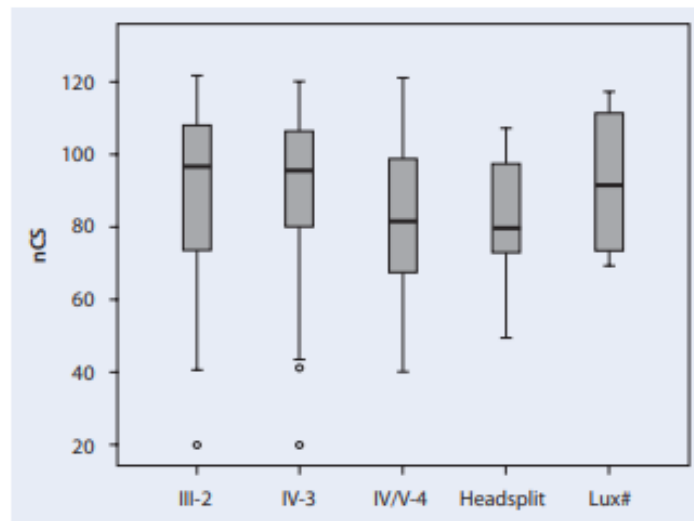


Abbildung 14: Schulterfunktion und Frakturtyp (Schulterfunktion gemessen am nCS unterteilt nach Frakturtypen nach Neer Klassifikation, Headsplit = VI mit Headsplitkomponente, Lux# = VI mit Luxationskomponente des Kopffragments).

5.5.3. Langfristige funktionelle Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese (10 Jahre)

Ockert B, **Siebenbürger G**, Kettler M, Braunstein V, Mutschler W, „Long-term functional outcomes (median 10 years) after locked plating for displaced fractures of the proximal humerus.” J Shoulder Elbow Surg. 2014 Aug;23(8):1223-31.

Ausgewertet wurde der Zeitraum 2002 – 2004. In diesem Zeitraum wurden insgesamt 121 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt. Es erfolgte eine Auswertung der Patienten nach im Median 10 Jahren (minimum 8 Jahre). Es konnten 43 Patienten ausgewertet werden. Der Constant Score betrug 75,3 Punkte, der alters und geschlechtsnormalisierte Constant Score 88,4 Punkte und der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 83,7%. Verglichen dazu waren die funktionellen Werte ein Jahr postoperativ wie folgt: Constant Score 73,9 Punkte, alters- und geschlechtsnormalisierte Constant Score 87,2 Punkte und der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 78,7 Punkte. Es bestand eine signifikante Korrelation der Ergebnisse des Constant Score 10 Jahr postoperativ mit dem Constant Score 1 Jahr postoperativ, dem weiblichen Geschlecht und dem Patientenalter. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach proximaler Humerusfraktur 10 Jahre postoperativ gute bis exzellente klinisch funktionelle Ergebnisse zeigen, welche auch verglichen mit den Ergebnissen 1 Jahr postoperativ nicht wesentlich im zeitlichen Verlauf abnehmen. Dementsprechend kann bereits im Rahmen der Nachuntersuchung 1 Jahr postoperativ ein Großteil der Patienten mit zu erwartend schlechtem funktionellem Ergebnis nach proximaler Humerusfraktur identifiziert und gegebenenfalls Maßnahmen ergriffen werden.

5.6. Einfluss der Implantatentfernung

5.6.1. Patientenzufriedenheit funktionell und kosmetisch nach Implantatentfernung der winkelstabilen Plattenosteosynthese

Jägerhuber L, **Siebenbürger G**, Fleischhacker E, Gilbert F, Böcker W, Helfen T, „Patient satisfaction after removal of locking plates in proximal humeral fractures - worth the surgery under functional and cosmetic aspects?“ JSES Int 2024 Apr 27;8(5):921-925.

Es erfolgte eine Auswertung von Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur welche mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese über einen deltopektoralen Zugang operativ versorgt wurden. Bei allen Patienten war im Verlauf eine Implantatentfernung erfolgt. Die Nachuntersuchung umfasste die Erhebung des Status vor dem Unfall bzw. der primären operativen Versorgung (A), vor der sekundären operativen Versorgung mit Implantatentfernung bzw. Narbenrevision (B) und nach der sekundären operativen Versorgung (C). Es wurde der Constant Score sowie der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite erfasst. Es konnten insgesamt 81 Patienten ausgewertet werden. Der mittlere Constant Score zum Zeitpunkt A war anamnestisch 85,8 Punkte und der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 99,4%. Zum Zeitpunkt B war der mittlere Constant Score 72,2 Punkte und der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 84,5. Der Constant Score zum Zeitpunkt C war 80 Punkte, der Constant Score im Vergleich zur Gegenseite 92,3 Prozent. Nach dem primären operativen Eingriff waren 30,1% der Patienten mit ihrer Narbe aufgrund der Farbe, Kontur oder Größe unzufrieden. Nach der Implantatentfernung bzw. Narbenkorrektur waren dies noch 28,4%. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Implantatentfernung nach radiologisch konsolidierter proximaler Humerusfraktur, welche mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurde, zu einer Verbesserung des funktionellen sowie kosmetischen Ergebnisses führt. Bei den Patienten bei denen eine Implantatentfernung durchgeführt wurde kam es zu einer Verbesserung der subjektiven Einschätzung der Kosmetik der Narbe sowie der Gesamtzufriedenheit. Nichtsdestotrotz ist die

Notwendigkeit einer sekundären operativen Versorgung mit Narbenkorrektur sowie Implantatentfernung von dem Wunsch des Patienten abhängig.

5.6.2. Funktionelles Ergebnis vor und nach Implantatentfernung mit posttraumatischer Schultersteife – Einfluss des Implantats PEEK vs. Titan

Fleischhacker E, Sprecher CM, Milz S, Saller MS, Gleich J, **Siebenbürger G**, Helfen T, Böcker W, Ockert B, “Functional outcomes before and after implant removal in patients with posttraumatic shoulder stiffness and healed proximal humerus fractures: does implant material (PEEK vs. titanium) have an impact? – a pilot study” BMC Musculoskeletal Disorders (2022) 23:95

Nach operativer Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese ist die posttraumatische Schultersteife ein relevantes Problem. Dementsprechend wurde eine Studie als Pilotstudie etabliert, um herauszufinden ob die Wahl des Implantatmaterials (Titan/PEEK = Polyetheretherketon) sowie das anhaftende Weichgewebe einen Einfluss auf die Beweglichkeit der Schulter (range of motion = ROM) vor bzw. nach Implantatentfernung haben. Es konnten insgesamt 16 Patienten eingeschlossen werden, wovon 8 Patienten ein Implantat aus PEEK und 8 Patienten ein Implantat aus Titan erhielten. Alle Patienten zeigten eine eingeschränkte ROM sowie Schmerzen woraufhin die Indikation zur Implantatentfernung gestellt wurde. Es wurde die ROM vor und nach Implantatentfernung sowie der Constant Score und Constant Score im Vergleich zur Gegenseite erfasst. In der Gruppe mit PEEK Implantat zeigte sich eine Elevation von 116,3 Grad vor Implantatentfernung und 129,4 Grad nach Implantatentfernung. Die Außenrotation war 35 Grad vor Implantatentfernung und 50,6 Grad nach Implantatentfernung. Hier zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich vor und nach Implantatentfernung. In der Gruppe der Patienten mit Titanimplantat war die Elevation 110 Grad vor Implantatentfernung und 133,8 Grad nach Implantatentfernung. Die Außenrotation war vor Implantatentfernung 33,8 Grad und nach Implantatentfernung 48,8 Grad. Auch hier zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied vor und nach Implantatentfernung. Im Vergleich beider

Materialien zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Der Constant Score war 90,3 Punkte und der konzentrieren Vergleich zur Gegenseite war 91,8 Punkte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass kein signifikanter Unterschied bezogen auf die Beweglichkeit der Schulter, Constant Score und Constant Score im Vergleich zur Gegenseite im Bezug auf die verwendeten Implantat Materialien bestand, wenngleich auch weniger zelluläre Verklebungen für die hydrophobe PEEK Platte beschrieben sind. Dementsprechend kann unabhängig von der Wahl des Implantats durch eine Implantatentfernung eine Verbesserung des Bewegungsumfanges und damit auch der Patientenzufriedenheit erzielt werden.

6. Aussicht

Aktuell sind noch zwei konkrete weitere Fragestellungen, die Teil des Habilitation Projektes sind, in klinischer bzw. experimenteller Datenerfassung und Auswertung

6.1. Auswertung OP Dauer und Blutverlust

Aufgrund des im Durchschnitt höheren Lebensalters der betroffenen Patienten nach proximaler Humerusfraktur und begleitenden Komorbiditäten spielt der intraoperative Blutverlust und die damit einhergehende kardiovaskuläre Belastung sowie gegebenenfalls die (sekundär) notwendige Gabe von Blutprodukten eine Rolle für die betroffenen Patienten. Eine aktuell durchgeführte Auswertung umfasst die Dauer der Operation, deren Einfluss auf den intraoperativen Blutverlust sowie die prä-, intra- und postoperative Gabe von Blutprodukten und deren Einfluss auf Osteosynthese unabhängige Komplikation sowie die Dauer der stationären Versorgung postoperativ inklusive gegebenenfalls notwendiger Überwachung auf der Intensivstation. Gegebenenfalls kann hier eine Aussage bezüglich vergleichbarer Operationsdauer der Rekonstruktion mit winkelstabiler Plattenosteosynthese bzw. Marknagelosteosynthese und inverser Fraktur Endoprothese bei gegebenenfalls vergleichbaren Blutverlusten getroffen werden. Dementsprechend wäre dies relevant für die Abwägung der Verfahrenswahl zur operativen Versorgung bei kardiovaskulär vorerkrankten Patienten.

6.2. Auswertung lokale Knochendichte Humeruskopf/lokale immunologische Reaktion

Im Rahmen eines durchgeführten Projektes des FöFoLe (Förderprogramm für Forschung und Lehre, LMU) wurden bei Patienten mit proximaler Humerusfraktur und Versorgung mittels inverser Fraktarendoprothese Blutproben aus dem peripheren Blut sowie aus dem Frakturhämatom intraoperativ entnommen. Des Weiteren wurde der frakturierte Humeruskopf entnommen und asserviert. Die hier laufenden Teilprojekte umfassen eine immunologische Auswertung mittels Proteomanalyse bezüglich Immunreaktion in Abhängigkeit vom OP-Zeitpunkt. In Vorarbeiten zum proximalen Humerus liegen hier keine Daten vor, z. B. an der Tibia konnte gezeigt werden, dass je nach Zeitpunkt nach Trauma eine höhere bzw. reduzierte Immunantwort und gegebenenfalls damit einhergehende veränderte Rate an knöcherner Heilung zu erwarten ist. Des Weiteren soll bezüglich der asservierten Humerusköpfe mittels Mikro CT-Untersuchung eine Aussage über die Unterschiede in der lokalen Knochenqualität je nach Lokalisation am Humeruskopf getroffen werden. Hier liegen bislang nur Daten von knochengesunden Individuen mit nicht frakturierten Humerusköpfen vor. Gegebenenfalls kann aufgrund dieser Daten und Unterschieden in der lokalen Knochenqualität eine Aussage mittels CT-Bildgebung, welche standardmäßig präoperativ bei dem betroffenen Patienten durchgeführt wird, bezüglich Frakturmorphologie oder Möglichkeit der Schraubenverankerung getroffen werden.

7. Literaturverzeichnis

1. Bell, J.E., et al., *Trends and variation in incidence, surgical treatment, and repeat surgery of proximal humeral fractures in the elderly*. J Bone Joint Surg Am, 2011. **93**(2): p. 121-31.
2. Bhayana, H., et al., *Outcomes of plate osteosynthesis for displaced 3-part and 4-part proximal humerus fractures with deltopectoral vs. deltoid split approach*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2022. **48**(6): p. 4559-4567.
3. Boileau, P., et al., *SECEC Grammont Award 2017: the prejudicial effect of greater tuberosity osteotomy or excision in reverse shoulder arthroplasty for fracture sequelae*. J Shoulder Elbow Surg, 2020. **29**(12): p. 2446-2458.
4. Brunner, F., et al., *Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate: a prospective multicenter analysis*. J Orthop Trauma, 2009. **23**(3): p. 163-72.
5. Constant, C.R. and A.H. Murley, *A clinical method of functional assessment of the shoulder*. Clin Orthop Relat Res, 1987(214): p. 160-4.
6. Egol, K.A., et al., *Early complications in proximal humerus fractures (OTA Types 11) treated with locked plates*. J Orthop Trauma, 2008. **22**(3): p. 159-64.
7. Egol, K.A., et al., *Fracture site augmentation with calcium phosphate cement reduces screw penetration after open reduction-internal fixation of proximal humeral fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(6): p. 741-8.
8. Euler, S.A., et al., *Biomechanical evaluation of straight antegrade nailing in proximal humeral fractures: the rationale of the "proximal anchoring point"*. Int Orthop, 2017. **41**(9): p. 1715-1721.
9. Faraj, D., et al., *Results of 131 consecutive operated patients with a displaced proximal humerus fracture: an analysis with more than two years follow-up*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2011. **21**(1): p. 7-12.
10. Hudak, P.L., P.C. Amadio, and C. Bombardier, *Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]*. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). Am J Ind Med, 1996. **29**(6): p. 602-8.
11. Jost, B., et al., *Locking plate fixation of fractures of the proximal humerus: analysis of complications, revision strategies and outcome*. J Shoulder Elbow Surg, 2013. **22**(4): p. 542-9.
12. Kammerlander, C., et al., *The use of augmentation techniques in osteoporotic fracture fixation*. Injury, 2016. **47 Suppl 2**: p. S36-43.
13. Launonen, A.P., et al., *Epidemiology of proximal humerus fractures*. Arch Osteoporos, 2015. **10**: p. 209.
14. Meinberg, E.G., et al., *Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018*. J Orthop Trauma, 2018. **32 Suppl 1**: p. S1-S170.
15. Menendez, M.E. and D. Ring, *Does the timing of surgery for proximal humeral fracture affect inpatient outcomes?* J Shoulder Elbow Surg, 2014. **23**(9): p. 1257-62.
16. Namdari, S., P.B. Voleti, and S. Mehta, *Evaluation of the osteoporotic proximal humeral fracture and strategies for structural augmentation during surgical treatment*. J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(12): p. 1787-95.
17. Neer, C.S., 2nd, *Displaced proximal humeral fractures. II. Treatment of three-part and four-part displacement*. J Bone Joint Surg Am, 1970. **52**(6): p. 1090-103.
18. Ohl, X., et al., *How the greater tuberosity affects clinical outcomes after reverse shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2018. **27**(12): p. 2139-2144.

19. Owsley, K.C. and J.T. Gorczyca, *Fracture displacement and screw cutout after open reduction and locked plate fixation of proximal humeral fractures [corrected]*. J Bone Joint Surg Am, 2008. **90**(2): p. 233-40.
20. Rouleau, D.M., et al., *Deltopectoral vs. deltoid split approach for proximal HUmerus fracture fixation with locking plate: a prospective RAndomized study (HURA)*. J Shoulder Elbow Surg, 2020. **29**(11): p. 2190-2199.
21. Schliemann, B., et al., *Screw augmentation reduces motion at the bone-implant interface: a biomechanical study of locking plate fixation of proximal humeral fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2015. **24**(12): p. 1968-73.
22. Schliemann, B., et al., *How to enhance the stability of locking plate fixation of proximal humerus fractures? An overview of current biomechanical and clinical data*. Injury, 2015. **46**(7): p. 1207-14.
23. Schnetzke, M., et al., *Quality of Reduction Influences Outcome After Locked-Plate Fixation of Proximal Humeral Type-C Fractures*. J Bone Joint Surg Am, 2016. **98**(21): p. 1777-1785.
24. Xie, L., et al., *Deltoid-split approach versus deltopectoral approach for proximal humerus fractures: A systematic review and meta-analysis*. Orthop Traumatol Surg Res, 2019. **105**(2): p. 307-316.