

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der
Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Einflussfaktoren auf klinisches und radiologisches Outcome der
operativen Versorgung proximaler Humerusfrakturen mit Head Split
Komponente**

**Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of
Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Paulina-Maria Peters
aus Wien

Datum der Promotion: 04. März 2022

Inhaltsverzeichnis

Paulina-Maria Peters, Fabian Plachel, Victor Danzinger, Michele Novi, Sven Märdian, Markus Scheibel, Philipp Moroder. Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component. J Bone Joint Surg Am. 2019;00:1-8

1 Abstrakt	4
1.1 Abstrakt	4
1.2 Abstract	6
2 Darstellung des Forschungsstandes	8
2.1 Der proximale Humerus	8
2.1.1 Anatomie.....	8
2.1.2 Proximale Humerusfrakturen im Allgemeinen.....	8
2.2 Die Head-Split Fraktur	9
2.2.1 Klassifizierung.....	9
2.2.2 Operative Versorgung	10
2.3 Zielsetzung	11
3 Vertiefende Schilderung der Methodik	12
3.1 Patientenkollektiv	12
3.2 Datenerhebung	13
3.3 Bildgebung	14
3.3.1 Radiologische Analyse.....	14
3.3.2 Bildgebung bei Primärversorgung	14
3.3.3 Bildgebung bei Nachsorge.....	15
3.4 Parameter für negatives Outcome	15
3.5 Statistik	16
3.5 Ethikvotum und gute wissenschaftliche Praxis	16
4 Wesentliche neue Ergebnisse	17
4.1 Studienkollektiv	17
4.2 Radiologische Ergebnisse	18
4.3 Klinische Merkmale	20
4.3.1 Bewegungsausmaß	20
4.3.2 Klinische Scores	21
4.3.3 Risikofaktoren für klinisches Versagen	22
5 Klinische Anwendung	24
5.1 Dokumentation des Outcomes	24
5.2 Empfehlung für die Versorgung	24
6 Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen	26

6.1 Übertragbarkeit auf ein größeres Patientenkollektiv	26
6.2 Verbesserte Analyse der Frakturcharakteristika	27
6.3 Langzeitergebnisse	27
7 Literaturverzeichnis.....	28
8 Eidesstattliche Versicherung	31
9 Anteilserklärung an der erfolgten Publikation	32
10 Auszug aus der Journal Summary List	33
11 Druckexemplar.....	35
12 Lebenslauf.....	43
13 Publikationsliste	45
14 Danksagung	46

1 Abstrakt

1.1 Abstrakt

Hintergrund

Die Head-Split Fraktur (HSF) ist eine Untergruppe der proximalen Humerusfrakturen, bei der die Frakturlinie die Gelenkoberfläche betrifft. Da es sich um eine seltene Frakturform handelt, gibt es kaum Informationen zu Outcome und Risikofaktoren für ein Therapieversagen.

Methodik

30 von 45 Patienten (67%) mit HSF wurden in dieser retrospektiven Studie eingeschlossen. Die Nachsorgeuntersuchung erfolgte im Mittel nach 49 ± 18 Monaten [12-83 Monate]. Die initiale Versorgung erfolgte bei 24 Patienten mit Plattenosteosynthese (ORIF), bei 4 mit inverser Schulterendoprothese (RTSA) und bei 2 mit Hemiendoprothese (Hemi). Erfasst wurden Bewegungsausmaß (ROM), Subjective Shoulder Value (SSV), Simple Shoulder Test (SST) und Constant Score (CS). Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen wurden erstellt. Es erfolgte eine Analyse des Frakturpatterns, Repositionsergebnisses, eventueller Komplikationen, Revisionseingriffe und klinischen Versagens (angepasster $CS < 40$) in Assoziation mit potenziellen Risikofaktoren.

Ergebnisse

Die Komplikationsrate insgesamt betrug 83% (initiale ORIF: 21/24 (88%), initiale RTSA: 3/4 (75%), Hemi: 1/2 (50%)). Am häufigsten traten nach ORIF eine avaskuläre Nekrose (42%), ein Fehlverhalten des Tuberkulum minus (33%) und eine Schraubenperforation (29%) auf. Alle Komplikationen nach Einsatz einer Endoprothese betrafen die Tuberkula. Bei 29% der Patienten mit ORIF wurde eine Revisionsoperation vorgenommen, keine Revision erfolgte bei Endoprothesen. 4 Patienten (16.7%) wurden zu RTSA revidiert, bei 3 (12.5%) wurde eine Materialentfernung aufgrund von Schraubenperforation durchgeführt. Die Versagensrate betrug insgesamt 50% (initiale ORIF: 12/24 (50%), initiale RTSA: 1/4 (25%), Hemi: 2/2 (100%)). Es konnte keine signifikante Assoziation zwischen präoperativen Faktoren und klinischem Versagen gefunden werden. ORIF und primäre RTSA zeigten bessere Ergebnisse in den klinischen Scores als primäre

Hemi und sekundäre RTSA. Ein Revisionseingriff führte zu schlechteren Ergebnissen in SSV ($p=0.014$), SST ($p=0.028$) und angepassten CS ($p=0.069$).

Schlussfolgerung

Die Versorgung mit ORIF zeigt eine hohe Komplikations- und Revisionsrate. Das klinische Ergebnis sowie die Komplikationsrate nach RTSA waren vergleichbar. Da die Komplikationen jedoch hauptsächlich Tuberkula-bezogen waren und in dieser kleinen Fallserie keine Revisionen erforderten, scheint RTSA eine angemessene Therapieoption für ältere Patienten zu sein.

1.2 Abstract

Background

Subject of this study is the Head Split Fracture, a rare subgroup of the proximal humeral fractures in which the articular surface is affected by the fracture line. Due to its' rarity there is only little information available on general outcome and risk factors for eventual treatment failure.

Methods

This retrospective study follows up 30 out of 45 patients meeting inclusion criteria (67%). The average follow-up time period was 49±18 months [12-83]. The initial treatment was open reduction and internal fixation (ORIF) in 24 patients, reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) in 4 and hemiarthroplasty (Hemi) in 2. The follow-up examination included assessment of Range of motion (ROM), Subjective Shoulder Value (SSV), Simple Shoulder Test (SST) and Constant Score (CS) as well as the creation of biplanar radiographs. Presurgical as well as directly postsurgical images were analysed for fracture pattern and quality of reduction, follow-up images for eventual complications and revision surgeries. An attempt was made to associate clinical failure (adjCS <40) with potential preoperative and patient-specific risk factors.

Results

A radiologically detectable complication occurred in 83% of patients, 21/24 (88%) of which with primary ORIF, 3/4 (75%) with primary RTSA and 1/2 (50%) of which with Hemi. After primary ORIF, avascular head necrosis was the most common (42%), followed by malunion of the lesser tuberosity (33%) and screw protrusion (29%). Complications after arthroplasty were all tuberosity related. Revision surgery was performed in 29% of patients with ORIF and 0% of patients with arthroplasty. Revision to RTSA was done in 4 patients (16.7%), in 3 others (12.5%) screw protrusion made material removal necessary. The overall rate of clinical failures was 50%, 12/24 (50%) after treatment with primary ORIF, 1/4 (25%) after primary RTSA, and 2/2 (100%) after Hemi. There was no observable, significant association between potential risk factors and clinical failure. The clinical outcome scores were the highest in patients with initial ORIF and initial RTSA. A revision surgery was associated with a less satisfying clinical outcome, with a significant difference

regarding SSV ($p=0.014$) and SST ($p=0.028$) and a trend regarding the adjCS ($p=0.069$).

Conclusion

The treatment with ORIF was associated with a high rate of complications and revision. RTSA showed similar clinical outcomes and complication rates. As complication for the latter were mostly tuberosity-related and did not lead to a revision surgery in this collective, RTSA seems to be an adequate treatment for elderly patients with this particular type of fracture.

2 Darstellung des Forschungsstandes

2.1 Der proximale Humerus

2.1.1 Anatomie

Humeruskopf, Tuberkulum majus, Tuberkulum minus und Humerusschaft bilden zusammen den proximalen Humerus. In Relation zum Schaft ist der Humerkopf in der Sagittalachse um circa 30° retrovertiert (1), in der Koronarachse besteht ein Winkel zwischen 130°-150° zur Diaphyse. Unterschieden werden das sogenannte „collum anatomicum“ und „collum chirurgicum“. Das „collum anatomicum“ liegt zwischen dem Gelenkknorpel und den Ansatzstellen für Ligamente und Sehnen. Eine Fraktur in diesem Bereich begünstigt die Entstehung einer avaskulären Nekrose, da die Vaskularisierung des Knochens durch die A. Circumflexa humeri anterior und posterior beeinträchtigt werden kann (2, 3). In Neutralstellung befindet sich lateralseitig das Tuberkulum majus. Es ist Ansatzstelle für M. Supraspinatus, M. Infraspinatus und M. Teres Minor. Direkt anterior liegt das Tuberkulum minus, die Ansatzstelle für den M. Subscapularis. Das „collum chirurgicum“ befindet sich unterhalb des Humerkopfes und der Tuberkula (2). Der Humerkopf bildet zusammen mit dem Glenoid der Skapula das glenohumerale Gelenk, welches das größte Bewegungsausmaß aller Gelenke des Körpers besitzt. Die an den Tuberkula ansetzenden Sehnen bilden zusammen die sogenannte Rotatorenmanschette, welche essentiell für die Durchführung von Rotationsbewegungen ist (4).

2.1.2 Proximale Humerusfrakturen im Allgemeinen

Frakturen des proximalen Humerus machen 5,7% aller Frakturen aus und gelten damit als häufig (5). Die Einteilung erfolgt mittels der Klassifikation von Resch et al., welche wie folgt lautet: (a) nicht dislozierte Frakturen werden als Typ I kategorisiert, (b) nach anterior oder posterior dislozierte Frakturen als Typ II, (c) eine Valgusfehlstellung kennzeichnet den Typ III und (d) eine Varusfehlstellung den Typ IV. Der Zusatz G kennzeichnet eine Beteiligung des Tuberkulum majus („Greater Tuberosity“), der Zusatz L eine des Tuberkulum minus („Lesser Tuberosity“) (6).

Zu den häufigen Begleitpathologien zählen weitere Verletzungen an Schultergürtel und oberer Extremität sowie der Halswirbelsäule. Die am häufigsten mitbeteiligten

Nerven sind der N. Axillaris oder der N. Suprascapularis (7). Ursächlich ist in der älteren Bevölkerung mit reduzierter Knochenqualität meist ein Niedrigenergietrauma und bei jüngeren Patienten ein Hochenergietrauma wie z.B. Stürze aus der Höhe, Verkehrsunfälle, Krämpfe sowie elektrische Schocks (8, 9). Die Diagnostik erfolgt anhand von Röntgenaufnahmen im anterioposterioren Strahlengang sowie der sogenannten Y-View. Dies bildet eine adäquate Grundlage zur Beurteilung der Frakturmorphologie inklusive Analyse der Fragmentanzahl und Fragmentposition. Die Anfertigung eines CT-Bildes verbessert die Beurteilbarkeit und ist außerdem in der Lage, die Gelenkoberfläche besser darzustellen (10). Sie wird zur Diagnostik der proximalen Humerusfraktur aktuell zwar häufig jedoch nicht routinemäßig durchgeführt. Ein MRT wird meist nur bei Verdacht auf eine pathologische Fraktur angefertigt (7).

Studien zeigen, dass bei nicht dislozierten Frakturen auch bei konservativer Versorgung ein positives Outcome erwartet werden kann, ebenso bei 2-Segment-Frakturen nach Neer (11). Bei 3 bis 4 Segmenten ist das Alter des Patienten offenbar ein wichtiger Einflussfaktor auf das Outcome (7). Zur operativen Versorgung stehen perkutane Drahtspickung, intramedulläre Fixierung, Plattenosteosynthese oder Implantation einer Endoprothese zur Verfügung. Ein Review von Tepass et al. zeigt, dass keine dieser Techniken klar zu bevorzugen ist. Es zeigt sich ein Trend zu einem besseren klinischen Outcome bei Versorgung mittels Humeruskopf-erhaltender Maßnahmen, im Vergleich zur Hemiendoprothese, nicht aber zu konservativen Maßnahmen (12).

2.2 Die Head-Split Fraktur

2.2.1 Klassifizierung

Fokus der vorliegenden Studie ist die sogenannte Head-Split Fraktur, eine Sonderform der proximalen Humerusfraktur. Hierbei betrifft der Frakturspalt die Gelenkoberfläche, welche zusammen mit dem Glenoid das Glenohumeralgelenk bildet (11). Entstehungsmechanismus ist meist ein Hochrasanztrauma mit einem direkten Anprall des Humerus gegen die Gelenkspfanne. Häufige Begleitverletzung ist eine Dislokation des Gelenks (13). Anhand des Verlaufs des Frakturspalts werden nach Scheibel et al. vier Typen unterschieden: (a) Typ 1: Die Frakturlinie betrifft den posterioren Anteil des Humeruskopfes und das größere Frakturfragment befindet

sich anterior. Im anterior-posterioren Strahlengang ist das sogenannte Pelican Sign sichtbar. (b) Typ 2: Die Frakturlinie betrifft den anterioren Anteil des Humeruskopfes und es besteht eine Verbindung des größeren Frakturfragments zum Tuberkulum majus. Das Pelican Sign ist im axialen Strahlengang sichtbar. (c) Typ 3: Es liegt ein loses zentrales Fragment vor. (d) Typ 4: Eine Trümmerfraktur liegt vor (14). Vorangegangene Studien sehen die Head-Split Fraktur meist als Indikation zur operativen Versorgung (7), an unserer Klinik stellen eine Fragmentverschiebung >5mm und eine Abkipfung >20° sowie patientenspezifische Faktoren die Kriterien zur chirurgischen Versorgung dar.

2.2.2 Operative Versorgung

Etablierte Techniken zur chirurgischen Versorgung einer Head-Split Fraktur sind die Durchführung einer offenen Reposition und internen Fixation (ORIF) mittels Plattenosteosynthese (15) oder der Einbau einer Endoprothese (7), wobei eine inverse Schultertotalendoprothese (RTSA) oder eine anatomische Hemiendoprothese (Hemi) implantiert werden kann (16). Bei der ORIF wird angestrebt, den Knochen in seiner Anatomie wiederherzustellen und mittels Platten und Schrauben zu fixieren. Ein Zweiteingriff zur Materialentfernung wird nicht routinemäßig durchgeführt, kann aber beispielsweise auf Wunsch des Patienten erfolgen oder aufgrund einer Komplikation notwendig sein (7). Ist der Gelenkserhalt mittels ORIF aufgrund der Frakturkomplexität nicht möglich, besteht die Möglichkeit der Implantation einer Endoprothese (7). Zudem kann eine endoprothetische Versorgung bei Frakturen mit hohem Nekroserisiko in Betracht gezogen werden. Häufige Kriterien hierfür sind eine metaphysäre Extension <8mm, eine Verschiebung am Calcar sowie Fraktur der Tuberkula (17). Bei der Hemiendoprothese wird nur der Humeruskopf ersetzt, während das Glenoid erhalten bleibt. Hierbei bleibt je nach Modell die Möglichkeit einer späteren Konversion oder Wechsels zur RTSA bestehen. Bei der RTSA wird auch eine Glenoidkomponente eingebaut, wobei im Gegensatz zur physiologischen Anatomie die Glenoidkomponente den Gelenkkopf und die humerale Komponente die Gelenkpfanne darstellt (18). Während Hemi gerade bei Patienten mit Head-Split Fraktur im Vergleich mit anderen proximalen Humerusfrakturen eine gute Flexion nach anterior ermöglicht (19), zeigen Studien, dass die Versorgung mit RTSA über 5 Jahre ein besseres Outcome hervorbringt als jene mit Hemi (20). Welche Form von Endoprothese bevorzugt wird, hängt

letztendlich von dem Zustand der Rotatorenmanschette und der voraussichtlichen Einheilung der Tuberkula zusammen. Bei fehlender Integrität und negativer Prognose wird eine RTSA bevorzugt (20, 21) aufgrund der geringeren Abhängigkeit von den Tuberkula und der Rotatorenmanschette.

Aus der klinischen Erfahrung sowie diversen Studien ist bekannt, dass die Versorgung mittels Endoprothese eine mangelhafte Einheilung der Tuberkula nach sich ziehen kann und damit die Range of Motion, vor allem im Bereich der Rotation eingeschränkt ist (22). Diese Fehlverheilung sowie weitere Endoprothesenspezifische Komplikationen wie Dezentrierung oder Lockerung der Bestandteile, sowie Infektionen und Knochendefekte (29) führen zu dem Problem der begrenzten Haltbarkeit der Bestandteile der Endoprothese. Diese müssen nach einem bestimmten Zeitraum ausgetauscht werden, was einerseits allgemeine Operationsrisiken mit sich bringt, andererseits das klinische Ergebnis aufgrund des reduzierten Knochenmaterials für die Verankerung als auch die zunehmende Schädigung der Weichteile verschlechtert. Die Rate an Reoperationen liegt dabei bei 10-50% (23). Daher sollte die Plattenosteosynthese wenn möglich als Alternative gewählt werden, gerade bei Patienten unter 50 Jahren, denen ansonsten möglicherweise mehrere Revisionsoperationen bevorstehen (6, 7). Des Weiteren erlaubt die Versorgung mit ORIF ein erhöhtes Bewegungsausmaß, weswegen diese Technik bei jungen, aktiven Patienten bevorzugt eingesetzt wird (6). Nun ist aber auch bei dieser Versorgungstechnik bekannt, dass die Revisionsrate mit 20-60% hoch ist, bedingt durch mögliche Komplikationen. Zu diesen zählen avaskuläre Osteonekrose, Fehlverheilung oder Pseudoarthrosen der Tuberkula sowie Schraubenperforationen (7).

2.3 Zielsetzung

Da die Head-Split Fraktur selten auftritt, existieren nur wenige Studien bezüglich des klinischen sowie radiologischen Ergebnisses und empfohlener Versorgungstechnik. Vorangegangene Studien konzentrieren sich meist auf die proximale Humerusfraktur im Allgemeinen und schließen Head-Split Frakturen entweder explizit aus, oder aber dieser Frakturtyp tritt nur bei einem kleinen Teil des analysierten Patientenkollektivs auf. Die wenigen Head-Split spezifischen Studien verzeichnen nicht

zufriedenstellende Ergebnisse mit einer hohen Komplikationsrate und einer schlechten Funktionalität des Schultergelenkes (17, 24). Jedoch sind die eingeschlossenen Patientenzahlen aufgrund der Seltenheit der Pathologie relativ gering. Da die Head Split Fraktur einen besonders komplexen Frakturtyp und damit bereits eine Ausgangslage darstellt, die ein negatives Therapieoutcome potenziell begünstigt, ist es wichtig, nicht nur Komplikations- und Revisionsrate für diese Frakturform speziell zu erheben, sondern auch Faktoren in der Primärversorgung zu identifizieren, welche das Outcome potenziell verbessern können. Hierzu gehören sowohl die Wahl der initialen Therapieoption, als auch die Analyse möglicher pathomorphologischer Frakturcharakteristika, welche das Risiko für Komplikationen erhöhen. Ziel dieser Studie ist es, Zusammenhänge zwischen den obengenannten Charakteristika sowie der primären Versorgungstechniken und dem subjektiven sowie objektiven Therapieoutcome zu untersuchen. Signifikante Korrelationen sollen hierfür festgestellt oder widerlegt werden. Die gewonnenen Ergebnisse sollen bei der zukünftigen Versorgung dieser komplexen Frakturform als Orientierung bei der Wahl des geeigneten Therapieverfahrens dienen. Weiters sollen Patienten mit hohem Risiko für Komplikationen basierend auf posttraumatischen radiologischen Aufnahmen rechtzeitig identifiziert und folglich engmaschiger nachuntersucht werden.

3 Vertiefende Schilderung der Methodik

3.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen einer retrospektiven Studie wurden alle Patienten, welche im Zeitraum von 2011-2016 am Centrum für Musculoskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin aufgrund einer Fraktur des „collum chirurgicum“ und gleichzeitig bestehender Head-Split Fraktur operativ versorgt wurden, zur Nachsorgeuntersuchung eingeladen. Alle Patienten waren bereits bei der Erstversorgung volljährig. Für den Einschluss in das Patientenkollektiv wurden folgende Kriterien definiert: (a) Personen, welche im Zeitraum 2011-2016 aufgrund einer Head-Split Fraktur mit Fraktur des „collum chirurgicum“ operativ versorgt wurden, (b) ungeachtet möglicher Begleitverletzungen und Komorbiditäten. Fälle mit

Frührentenbegehren wurden ausgeschlossen. Vor Beginn der Follow-up-Untersuchungen wurde die Einwilligung der Ethikkommission eingeholt.

3.2 Datenerhebung

Die Nachsorgeuntersuchung setzte sich aus drei Anteilen zusammen: Erhebung der subjektiven und objektiven Funktionalität anhand von Fragebögen und klinischen Scores, Erfassung von Bewegungsausmaß und Kraft im Rahmen der klinischen Untersuchung und Erstellung von Röntgenaufnahmen. Das Ausfüllen der Fragebögen stellte als einzige Komponente keinen Teil des Standard-Follow-up-Protokolls dar. Hierbei wurden neben Alter, Geschlecht, Händigkeit, betroffener Seite, Geburtsort, Wohnort, Größe und Gewicht noch folgende Fragen beantwortet:

- (a) Wie stark behindern Ihre Schulterbeschwerden Ihren Alltag?
- (b) Wie stark behindern Ihre Schulterbeschwerden Ihre berufliche Tätigkeit?
- (c) Wie stark behindern Ihre Schulterbeschwerden Ihre sportliche Aktivität?
- (d) Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Operation?
- (e) Wurden Sie an Ihrer Schulter ein weiteres Mal operiert? Wenn ja, wann und um welchen Eingriff handelte es sich?
- (f) Waren Sie auf Grund Ihrer Schuldersymptomatik in physiotherapeutischer Behandlung?
- (g) Wie lange sind/waren Sie in physiotherapeutischer Behandlung?

Punkte (a) bis (d) waren auf einer Skala von 1 (keine Einschränkung, sehr zufrieden) bis 5 (extreme Einschränkung, gar nicht zufrieden) zu bewerten. Insgesamt dienten diese Fragen dazu, einen Überblick über den Heilungsprozess zu erlangen, aufgrund verschiedener Einflussfaktoren wie Patientenalter, Funktionsanspruch und Komorbiditäten wurden diese Informationen jedoch für zu ungenau befunden, um in die endgültige Auswertung einzufließen. Zur objektivierbaren Bewertung des klinischen Outcomes wurden folgende Scores eingesetzt.

- a. Subjektive Shoulder Value: Patienten geben hierbei an, wieviel Prozent ihre Schulter funktionsfähig sei, wenn eine normale Schulter 100% funktionsfähig wäre, beziehungsweise wieviel Euro die Schulter wert sei, wenn eine normale Schulter 100 Euro wert wäre. Dies ist der einzige

komplett subjektive Score, der in die Bewertung mitaufgenommen wurde. Als Ergebnis können Werte [0;100] erreicht werden (25).

- b. Simple Shoulder Test: bei diesem Test werden Fragen bezüglich Schmerzen, Beeinträchtigung des Schlafes, Beweglichkeit, Kraft und Fähigkeit der Berufsausübung gestellt. Auch dieser Test ist insofern subjektiv, als dass Patienten ihn in Abwesenheit einer untersuchenden Person beantworten können, allerdings wurden die Antworten im Rahmen der folgenden Untersuchung bestätigt, beziehungsweise wenn nötig korrigiert. Als Ergebnis können Werte [0;12] erreicht werden (26).
- c. Constant Score: bei diesem Score werden Schmerzen von 0 (keine Schmerzen, 15 Punkte) bis 15 (starke Schmerzen, 0 Punkte), Arbeitsfähigkeit [0;4] Freizeit-/Sportfähigkeit [0;4], Schlaffähigkeit [0;2] sowie schmerzlose Handreichweite [2;10] erhoben, weiters schmerzfreie und aktive Mobilität [0;40] sowie Kraft [0;25]. Die Kraftmessung erfolgte mit dem Isobex Kraftmessgerät der Cursor AG (Bern, Schweiz). Insgesamt konnte also ein Punktwert von [0;100] erreicht werden (27). Die Werte wurden entsprechend Alter und Geschlecht laut Tavakkolizadeh et al. angepasst und flossen als „adjusted Constant Score“ in die Auswertung ein (28).

3.3 Bildgebung

3.3.1 Radiologische Analyse

Die radiologische Analyse wurde separat von zwei spezialisierten Schulterchirurgen vorgenommen, welche nicht in die operative Versorgung involviert waren. Hierbei handelte es sich um eine anonymisierte Auswertung, sodass Patientennamen und Therapieoutcome zum Zeitpunkt der Bewertung unbekannt waren. Im Falle einer Uneinigkeit wurde in gemeinsamer Absprache ein Konsens gefunden.

3.3.2 Bildgebung bei Primärversorgung

Von allen Patienten lagen präoperativ angefertigte Röntgenaufnahmen vor, bei 16 (53,3%) der Patienten war vor der chirurgischen Erstversorgung außerdem CT-Aufnahmen angefertigt worden. Letztere wurden mittels einer Software bearbeitet,

sodass die Frakturfragmente als 3D-Modell und ROI Segmentation (OsiriX) dargestellt werden konnten. Präoperative Röntgen- bzw. CT-Aufnahmen wurden auf die folgenden potenziellen morphologischen Risikofaktoren analysiert:

- (a) glenohumerale Dislokation nach anterior oder posterior, (b) sagittale beziehungsweise koronare Abkipfung (je >20%),
- (c) Impaktion/Avulsion/Neutralstellung, (d) Miteinbeziehung der Tuberkula in die Frakturlinie mit Unterscheidung Tuberkulum majus beziehungsweise minus,
- (e) Schaftdislokation, (f) metaphysäre Extension (\leq 8mm) sowie (g) mediale Displazierung des Gelenks (>2mm). Außerdem wurden alle Frakturen nach Resch et al. (6) sowie Scheibel et al. (14) klassifiziert, wobei die betreffenden Klassifikationen bereits eingehend beschrieben wurden. Weiters wurde das Repositionsergebnis anhand direkt nach chirurgischer Primärversorgung angefertigter Röntgenaufnahmen in (a) anatomisch, (b) adäquat oder (c) grobe Fehlstellung unterteilt. Als adäquat wurde jede nicht-anatomische Reposition, welche jedoch ein ausreichendes Maß an primärer Stabilität vermuten lässt, gewertet, als grobe Fehlstellung jede nicht-anatomische Reposition mit einem Mangel an primärer Stabilität und/oder einer Fehllage des Materials.

3.3.3 Bildgebung bei Nachsorge

Im Rahmen der Nachsorgeuntersuchung wurden Röntgenaufnahmen nach Möglichkeit im anterior-posterioren sowie axialen Strahlengang und in y-Aufnahme erstellt. Diese wurden auf folgende Komplikationen analysiert: (a) Fehlverheilung (Verschiebung < bzw. \geq 5mm) oder Pseudoarthrose der Tuberkula mit Unterscheidung Tuberkulum majus beziehungsweise minus, (b) partielle oder totale avaskuläre Nekrose, (c) Schraubenperforation, (d) Glenoidarosion, (e) Dezentrierung oder Fehlplatzierung der Endoprothesenbestandteile sowie (f) komplette oder partielle Materialentfernung. Hierbei ist zu erwähnen, dass (b) nur im Falle einer Versorgung mit ORIF auftreten kann, (e) hingegen nur bei der Versorgung mit Endoprothese.

3.4 Parameter für negatives Outcome

Ein eigener Parameter musste festgelegt werden, um objektiv das klinische Outcome

vergleichen zu können, da das Vorliegen einer radiologisch sichtbaren Komplikation nicht zwangsläufig zu einer Einschränkung der Lebensqualität und des Alltags des Patienten führt und daher nicht unbedingt als Therapieversagen zu werten ist. Als entscheidenden Parameter wurde ein Ergebnis im angepassten Constant Score <40 festgelegt. Dies basiert auf einer Studie von Booker et al (29), in welcher verschiedene Scoring-Systeme miteinander verglichen wurden. Diese hält fest, dass Patienten vor Einsatz einer Schulterendoprothese einen Constant Score <40 erreichten. Dieser Wert wurde von uns als Grenzwert für ein klinisches Versagen festgelegt.

3.5 Statistik

Zur statistischen Auswertung wurde das Programm SPSS Statistics version 21 (IBM, Armonk, NY, USA) verwendet. Mit dem Kolmogorov-Smirnov Test wurden alle Werte auf Normalverteilung geprüft. Patientencharakteristika sowie pathomorphologische Charakteristika wurden mittels Häufigkeitstabellen bewertet. Eine Assoziation zwischen klinischem Versagen und Patientencharakteristika wurde mittels Häufigkeitstabellen und dem χ^2 -Test untersucht, jene zwischen klinischem Versagen und ASA-Score sowie pathomorphologischen Frakturcharakteristika mittel dem exakten Fisher-Test und dem χ^2 -Test. Die Ergebnisse der klinischen Scores entsprechend der Versorgung bei der Nachsorgeuntersuchung (initial ORIF, initial RTSA, RTSA im Rahmen einer Revisionsoperation = sekundär, initial Hemi) wurden mittels des Kruskal-Wallis-Test verglichen, ebenso jene entsprechend des Vorliegens einer Revisionsoperation. Das Signifikanzniveau war bei $p < 0.05$ angesetzt. Die Ergebnisse wurden sowohl unabhängig von der Versorgung als auch entsprechend der Versorgung bei der Nachsorgeuntersuchung analysiert.

3.5 Ethikvotum und gute wissenschaftliche Praxis

Vor Studienbeginn wurde das Votum der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin eingeholt (EA2/207/17). Die „Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis“ sowie die Bestimmungen des Berliner Datenschutzgesetzes wurden eingehalten.

4 Wesentliche neue Ergebnisse

4.1 Studienkollektiv

Die Einschlusskriterien erfüllten insgesamt 45 konsekutive Patienten, in die Studie aufgenommen werden konnten schlussendlich die Daten von 30 Patienten. Hieraus ergibt sich eine Follow-up-Quote von 67%. Nicht an der Nachsorgeuntersuchung teilnehmen konnten 3 Patienten, welche im Nachsorgezeitraum verstorben waren, 4 konnten aufgrund fehlender Kontaktinformation nicht einbestellt werden und 8 hatten die Untersuchung aufgrund unbestimmter, jedoch nicht schulterrelevanter Gründe abgelehnt. Aus den Fragebögen sowie den Protokollen der Anästhesie und des Operationsteams konnten folgende allgemeine Informationen abgeleitet werden: 16 (53,3%) der eingeschlossenen Personen waren weiblich, die dominante Seite war bei 21 (70%) aller Fälle betroffen, das Durchschnittsalter bei OP war 63 Jahre \pm 14 (Spannweite: 30;87), der BMI zum OP-Zeitpunkt war 30 ± 7 (Spannweite: 19-46). Die Nachsorgeuntersuchung fand durchschnittlich nach 49 ± 18 Monaten statt (12-83). Laut American Society of Anesthesiologists hatten 15 Patienten einen Score von 1 (50%), 9 einen von 2 (30%) und 6 einen von 3 (20%). Der ASA-Score berücksichtigt das Vorhandensein verschiedener systemischer Erkrankungen und dient zur Risikoeinschätzung vor Einleitung einer Narkose. Ein Score von 1 kennzeichnet einen ansonsten gesunden Patienten, ein Score von 2 einen mit einer leichten und ein Score von drei einen mit einer schweren Allgemeinerkrankung (30). Eine ständige Lebensbedrohung, gekennzeichnet durch einen Score von 4, lag in keinem Fall vor.

Die primäre chirurgische Versorgung erfolgte in 24 Fällen (80%) mit ORIF, in 4 (13,3%) mit RTSA und in 2 (6,7%) mit Hemi. Tabelle 1 stellt Patientencharakteristika bezogen auf diese Subgruppen dar. Signifikant ist das Alter der Patienten bei Primärversorgung – am ältesten waren Patienten, welche mit RTSA versorgt wurden (76 ± 10 Jahre, Spannweite: 64-87), am jüngsten jene, welche mittels ORIF versorgt wurden (60 ± 13 Jahre, Spannweite: 30-82).

Tabelle 1: Patientencharakteristika nach Subgruppe

	ORIF	Primäre RTSA	Hemi	p-Wert
	n= 24	n = 4	n = 2	
Durchschnittliches Alter (Jahre)	60 ±13 (Spannweite: 30-82)	76 ±10 (Spannweite: 64-87)	74 ±0 (beide Patienten 74 Jahre alt)	.042
Zeitraum zwischen Fraktur und Intervention (Tage)	4.2±11	2.2±1.2	1.1±0.7	.089
Dominante Seite betroffen	15	3	1	.981
Durchschnittlicher BMI	30±7	31±10	30±10	.862
ASA Score	1.7±0.7	1.9±0.7	2±1.4	.784
Dauer Physiotherapie (Wochen)	80±91 (Spannweite: 0-312)	38±14 (Spannweite: 20-52)	208±220 (Spannweite: 52-364)	.653

4.2 Radiologische Ergebnisse

Die operativ erreichte Reposition war in 16 Fällen (53,3%) anatomisch, in 11 (36,7%) adäquat und in 3 (10%) ungenügend.

Bei der primären Versorgung mit ORIF betrug die Rate an radiologisch erkennbaren Komplikationen 88%. Am häufigsten waren Fehlverheilung der Tuberkula bei 13 Patienten (54%), davon 5 (21%) mit Fehlverheilung des Tuberkulum majus und 8 (33%) mit Fehlverheilung des Tuberkulum minus. Ebenfalls zu beobachten waren Schraubenperforationen bei 7 Patienten (42%), totale oder partielle avaskuläre Nekrose bei je 5 Patienten (je 21%), subkapitale Pseudoarthrosen bei 5 Patienten (21%) und Glenoidarosionen bei 8 Patienten (8%). Bei 3 Patienten (13%) wurde eine Revisionsoperation aufgrund von Schraubenperforation durchgeführt, durchschnittlich nach einem Zeitraum von 36±14 Wochen. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl an Schraubenperforationen von 10 (42%). Bei 3 weiteren Patienten wurde eine Materialentfernung auf Patientenwunsch ohne radiologische Indikation durchgeführt. Bei 4 der 24 Patienten (17%), die ursprünglich mit ORIF versorgt wurden, wurde ein Wechsel der Versorgungstechnik zu RTSA vollzogen,

durchschnittlich nach 38±30 Monaten. Bei 3 dieser 4 Patienten lag eine Fehlverheilung des Tuberkulum majus vor, bei 1 von 4 eine Pseudoarthrose ebendessens und bei 2 von 4 eine Pseudoarthrose des Tuberkulum minus. Damit ergibt sich für ORIF eine Revisionsrate von 29%, wobei die Revisionen aufgrund von Patientenwunsch aus der Berechnung ausgeschlossen wurden. Tabelle 2 stellt die Komplikationen in den einzelnen Subgruppen dar.

Tabelle 2: Komplikationen

Komplikation	ORIF	Initial RTSA	Sekundär RTSA	Hemi
	n = 20	n = 4	n = 4	n = 2
Fehlverheilung Tuberkulum majus	5 (25%)	3 (75%)	3 (75%)	0
Leicht	4 (20%)	3 (75%)	1 (25%)	0
Grob	1 (5%)	0	2 (50%)	
Pseudoarthrose Tuberkulum majus	0	0	1 (25%)	1 (50%)
Fehlverheilung Tuberkulum minus	8 (40%)	3 (75%)	2 (50%)	0
Leicht	4 (20%)	3 (75%)	0	0
Grob	4 (20%)	0	2 (50%)	
Pseudoarthrose Tuberkulum minus	0	0	0	1 (50%)
Totale avaskuläre Nekrose	5 (25%)	/	/	/
Partiale avaskuläre Nekrose	5 (25%)	/	/	/
Schraubenprotrusion	7 (35%)	/	/	/
Glenoidarosion	2 (10%)	/	/	/
Pseudarthrose subcapital	5 (25%)	/	/	/
Dezentrierung	0	0	0	1 (50%)

Bei primärer Versorgung mit RTSA betrug die Komplikationsrate 75%. Bei 3 der 4 Patienten lag je eine Fehlverheilung des Tuberkulum majus und minus vor. Hier wurde keine Revision durchgeführt.

Bei primärer Versorgung mit Hemi betrug die Komplikationsrate 50%, da bei 1 von 2 Patienten ein Nicht-Einheilen der Tuberkula und eine Dezentrierung der Endoprothese vorlag. Auch hier wurde keine Revision vorgenommen.

4.3 Klinische Merkmale

4.3.1 Bewegungsausmaß

Für die Auswertung der Ergebnisse der klinischen Untersuchung wurden Patienten aufgrund der Versorgungstechnik zum Zeitpunkt der Follow-Up-Kontrolle in 4 Gruppen unterteilt: (a) Initiale ORIF, (b) initiale RTSA, (c) sekundäre RTSA und (d) Hemi. Die Unterscheidung zwischen (b) und (c) wurde vorgenommen, da bekannt ist, dass eine spätere Intervention nach > 2 Wochen sowie Revisionen zu einem schlechteren Outcome führen und somit sekundär eingebaute RTSA das Ergebnis der RTSA allgemein verfälscht hätten (7). Es wurde sekundär keine Hemi eingebaut. Insgesamt gab es 20 Patienten, welche noch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit ORIF versorgt waren (66,7%), jeweils 4 initiale und sekundäre RTSA (13,3%) und 2 Hemis (6,7%).

Das erreichte Bewegungsausmaß auf der betroffenen Seite zum Zeitpunkt der Nachsorgeuntersuchung ist in Tabelle 3 dargestellt. Die angegebenen p-Werte zeigen hierbei die Signifikanz im Vergleich mit den anderen Versorgungstechniken. Eine initiale Versorgung mit RTSA zeigt im Durchschnitt das höchste Ausmaß an Flexion ($140 \pm 40^\circ$) und Abduktion ($130 \pm 35^\circ$), jene mit ORIF zeigt vergleichbare Werte (Flexion $130 \pm 45^\circ$, Abduktion $120 \pm 45^\circ$). Bei der Rotation hingegen erreichen Patienten mit ORIF deutlich höhere Werte mit einer mittleren Außenrotation von $40 \pm 25^\circ$ und einer Innenrotation, welche im Durchschnitt 5.3 ± 2.6 Punkte im CS ergibt. Bei Patienten mit initialer RTSA ist die Rotation deutlich eingeschränkt. Das unterschiedliche Rotationsausmaß ist statistisch signifikant. Patienten, welche sekundär mit RTSA oder primär mit Hemi versorgt wurden, erreichten deutlich niedrigere Werte in allen Bewegungsebenen.

Tabelle 3: Bewegungsausmaß der betroffenen Seite

	Gesamt	ORIF	Initial RTSA	Sekundär RTSA	Hemi	P-Wert
Flexion (°)	120±50	130 ± 45	140±40	80±45	25±20	.064
Abduktion (°)	120±50	120 ± 45	130±35	80±30	30±30	.084
ARO (°)	30±30	40 ± 25	5±5	5±0	0±0	.002
IRO (Punkte CS)	4.7±2.7	5.3 ± 2.6	2.8±1.4	0±0	1±1.4	.036

4.3.2 Klinische Scores

Patienten, welche initial mit RTSA versorgt wurden, erreichten den durchschnittlich höchsten Wert im SST (6.5±3.9) und adjusted CS (59±16), wobei auch durch eine initiale ORIF ähnlich hohe Werte erreicht wurden. Umgekehrt verhält es sich bei SSV, bei dem Patienten mit initialer ORIF den höchsten mittleren Wert erzielen (63±22), gefolgt von Patienten mit initialer RTSA (61±19). Patienten mit Hemi erreichten in allen Scores die niedrigsten Werte (SSV: 35±7, SST: 3±0, adj.CS 27±13), auch nach sekundärer RTSA war das Ergebnis deutlich unter dem Durchschnitt (SSV: 40±18, SST: 4±0.8, adj.CS 35±15). Alle Werte finden sich in Tabelle 4.

Tabelle 4: Ergebnisse der klinischen Scores

Score	Overall	ORIF	Initial RTSA	Sekundär RTSA	Hemi	P-Wert
	n=30	n=20	n=4	n=4	n=2	
SSV	58±22	63±22	61±19	40±18	35±7	.119
SST	5.7±3.8	6.2±4.2	6.5±3.9	4±0.8	3±0	.540
Adj. CS	46±24	47±27	59±16	35±15	27±13	.371

4.3.3 Risikofaktoren für klinisches Versagen

Mit einem adjusted CS <40 als Kriterium für ein klinisches Versagen wurden 15 Patienten (50%) als klinische Versager eingestuft. Die initiale Versorgung erfolgte bei 12 mit ORIF, bei 2 mit Hemi und bei 1 mit RTSA. Hieraus ergibt sich für initiale ORIF eine Versagensrate von 50%, für Hemi eine von 100% und für RTSA eine von 25%. Der Versuch, eine Assoziation zwischen möglichen Risikofaktoren und klinischem Versagen auszumachen, ergab keine statistische Signifikanz. Dies gilt sowohl für patientenspezifische Faktoren (Alter bei OP, Geschlecht, BMI, ASA-Score) als auch für pathomorphologische Frakturcharakteristika und Repositionsergebnis. Einzig ein Trend zu einer möglichen Assoziation zwischen einem hohen BMI und einem negativen Outcome kann beobachtet werden. Genaue p-Werte finden sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Potenzielle Risikofaktoren für Failure

Faktor	Häufigkeit n=30 (%)	P-Wert
Klassifikation lt. Scheibel et al. ¹⁵		.642
1	10 (33%)	
2	13 (43%)	
3	7 (23%)	
4	0	
Klassifikation lt. Resch et al. ¹⁸		.596
2G	2 (6.7%)	
2L	3 (10%)	
3G	5 (16.7%)	
3GL	6 (20%)	
4G	4 (13.3%)	
4GL	3 (10%)	
5G	3 (10%)	
5GL	4 (13.3%)	
Glenohumerale Dislokation	6 (20%)	.340
Anterior	4 (13.3%)	
Posterior	2 (6.7%)	
Sagittale Abkippung	13 (43.3%)	1000
>20° Anterior	3 (10%)	
>20° Posterior	10 (33.3%)	
Koronare Abkippung	22 (73%)	.368
>20° Varus	8 (26.7%)	
>20° Valgus	14 (46.7%)	
Impaktion	15 (50%)	.715
Avulsion	14 (46.7%)	
Neutral	1 (3.3%)	

Fraktur Tuberkulum majus	27 (90%)	.386
<5 mm	8 (26.7%)	
>5 mm	19 (63.3%)	
Fraktur Tuberkulum minus	17 (56.7%)	1000
<5 mm	5 (16.7%)	
>5mm	12 (40%)	
Schaftdislokation	25 (83.3%)	1000
<5 mm	6 (20%)	
>5 mm	19 (63.3%)	
Metaphysäre Extension <8 mm	15 (50%)	1000
Calcardislokation > 2mm	18 (80%)	1000
Repositionsergebnis		.809
Anatomisch	16 (53.3%)	
Adäquat	11 (36.7%)	
Ungenügend	3 (10%)	

Eine signifikante Assoziation lässt sich jedoch zwischen der Durchführung einer Revisionsoperation und klinischem Versagen festmachen. Wie in Tabelle 6 dargestellt, weisen Patienten nach einem aufgrund einer Komplikation indizierten Revisionseingriff signifikant schlechtere Ergebnisse in SSV (40 ± 20 , vergleiche 64 ± 21 ohne Revision) und SST (2.8 ± 2 , vergleiche 6.6 ± 3.8 ohne Revision) vor. Eine solche Signifikanz lässt sich zwar im angepassten CS nicht beobachten, dennoch ist ein Trend zu einer möglichen Assoziation zu beobachten. Revisionen, welche alleine aus Patientenwunsch heraus erfolgten, wurden in dieser Auswertung nicht inkludiert.

Tabelle 6: Ergebnisse der klinischen Scores im Vergleich zwischen Patienten mit und ohne Revisionsoperation

Score	Keine Revision	Revision	P-Wert
	n=23	n=7	
SSV	64 ± 21	40 ± 20	.014
SST	6.6 ± 3.8	2.8 ± 2	.028
Adj. CS	50 ± 24	31 ± 17	.069

5 Klinische Anwendung

5.1 Dokumentation des Outcomes

Ein Ziel der Studie war es, anhand einer möglichst großen Kohorte an Patienten mit Head-Split Fraktur eine konkrete Aussage über das zu erwartende Outcome zu treffen. Als häufigste Komplikationen konnten Fehlverheilung beziehungsweise Pseudoarthrose der Tuberkula festgemacht werden, wobei das Tuberkulum majus in 43% der Fälle und das Tuberkulum minus in 47% aller Fälle betroffen war. Im Vergleich zur Studienlage zur proximalen Humerusfrakturen im Allgemeinen treten derartige Komplikationen deutlich häufiger auf – berichtet werden Werte zwischen 2-12% für Fehlverheilung (31, 32), respektive zwischen 3-15% für Pseudoarthrose (33, 34)

Ebenfalls häufig waren Schraubenperforationen und avaskuläre Nekrose – beide betrafen jeweils 42% aller Patienten, welche initial mit ORIF versorgt wurden. Hieraus lässt sich vermuten, dass auch die Nekrose bei diesem Frakturtyp häufiger auftritt als bei proximalen Humerusfrakturen im Allgemeinen, wo die Rate je nach Studie zwischen 2 und 35% liegt (31, 32). Pathomechanismus für eine solche Nekrose ist eine humerale Ischämie, welche möglicherweise durch das komplexe Frakturmuster begünstigt wird. Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass Studien von Hertel et al. (17) sowie Gavaskar und Tummala (24) zeigen, dass keine signifikante Korrelation zwischen der isolierten Head-Split Komponente an sich und einer erhöhten Ischämierate besteht. Auch die Rate an Schraubenperforation lag in vorangegangenen Studien zur Versorgung mittels ORIF zwischen 7,5 und 19% und damit deutlich unter dem Wert, den diese Studie beobachtet (18). Vermutlich begünstigt das Vorhandensein einer Nekrose und der damit verbundene Volumenverlust des Humeruskopfes die sekundäre Schraubenperforation auch bei adäquater operativer Versorgung.

5.2 Empfehlung für die Versorgung

Ein wichtiges Ergebnis der Studie ist die hohe Komplikationsrate von insgesamt 83% sowie die sich daraus zum Teil ergebende Revisionsrate- und Versagensrate. Da

sich kein spezifischer pathomorphologischer Risikofaktor für ein klinisches Versagen festmachen lässt, lässt sich vermuten, dass die Head-Split-Komponente selbst den eigentlichen Risikofaktor für die radiologisch festgestellten Komplikationen darstellen könnte. Beispielhaft angeführt seien hier noch einmal die totalen oder partiellen avaskulären Nekrosen. Vorangegangene Studien zur proximalen Humerusfraktur im Allgemeinen identifizierten eine Dislokation des Calcar >2 mm (17) sowie eine kurze metaphysäre Extension <8 mm (33) als Risikofaktor für die zugrundeliegende Ischämie. Weiters wurde gezeigt, dass die Kombination aus einer Head-Split Komponente sowie einer Fraktur der Tuberkula mit einer höheren Ischämierate verbunden sind (24). In der vorliegenden Studie zeigte sich, dass Patienten mit diesen Frakturmerkmalen nicht signifikant häufiger an einer Nekrose litten. Andere Studien konnten einen Zusammenhang zwischen der Ebene der koronaren Abkippung und einem schlechten Outcome bei proximalen Humerusfrakturen im Allgemeinen zeigen (33, 34). So ist eine Varus-Abkippung (laut Solberg et al. $>20^\circ$ (33) bzw. laut Tauber et al. $>25^\circ$ (34)) mit einem signifikant schlechterem CS im Vergleich zu einer Valgus-Abkippung assoziiert. Die vorliegende Studie konnte keine signifikante Assoziation zwischen koronarer Abkippung und klinischem Versagen feststellen. Ob eine radiologisch detektierbare Komplikation vorlag, beeinflusste ebenfalls nicht signifikant die Versagensrate. Auch der Zeitraum zwischen Trauma und chirurgischer Intervention wirkte sich nicht signifikant aus. Dies widerspricht vorangegangenen Studien, laut denen eine späte Intervention (>14 Tage) zu einem signifikant schlechteren Outcome führt (7). Beim Großteil der Patienten der vorliegenden Studie fand allerdings eine zeitnahe Versorgung statt, nur in 1 Fall wurde eine konservative Therapie >14 Tage lang versucht.

Als Konsequenz der allgemein häufig auftretenden Komplikation nach Versorgung von Head-Split Frakturen ergibt es sich daher, Patienten mit dieser Frakturform generell engmaschiger nachzuuntersuchen.

Aufgrund der limitierten Patientenzahl ist es aktuell nicht möglich, aus den Studienergebnissen einen klaren Algorithmus bezüglich der initialen Versorgungstechnik abzuleiten. ORIF verzeichnete die höchste Rate an Komplikationen (21/24, 88%) und Revisionen (7/24, 29%), gefolgt von initialer RTSA (3/4, 75%) und schließlich Hemi (1/2, 50%). Die initiale Versorgung mit Hemi führte zu einer Versagensrate von 100% (2/2), jene mit ORIF zu einer von 50% (12/24) und jene mit initialer RTSA zu einer von 25% (1/4). Die Ergebnisse der klinischen Scores

waren bei Patienten, welche zum Nachfolgezeitraum mit ORIF beziehungsweise initialer RTSA versorgt waren, ähnlich, wie auch die Komplikationsrate. Die Komplikationen in der Versorgung mit RTSA betrafen jedoch im vorliegenden Patientenkollektiv nur die Tuberkula und bedurften keiner Revision. Da sich gezeigt hat, dass eine Revisionsoperation zu einem klinisch signifikant schlechteren Ergebnis führt, bietet sich die RTSA aufgrund der niedrigen Revisionsrate als primäre Versorgungstechnik für ältere Patienten an. Da Patienten nach der Versorgung mit Endoprothese jedoch ein eingeschränktes Rotationsausmaß mit in Vergleich zur ORIF nur unwesentlich höherem Grad an Flexion und Extension aufweisen, sollte bei jüngeren Patienten mit einem höheren Bewegungsanspruch und zu erwartender höherer Restlebensdauer weiterhin nach Möglichkeit eine Primärversorgung mit ORIF vorgenommen werden.

6 Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen

6.1 Übertragbarkeit auf ein größeres Patientenkollektiv

Aufgrund der Seltenheit dieser Pathologie war nur eine begrenzte Menge an Patienten ins Kollektiv eingeschlossen. Die Follow-up-Quote von 67% befindet sich im Rahmen der für diesen Studientyp üblichen Raten. Durch eine Multicenterstudie wäre es möglich, eine größere Menge an Patienten zu rekrutieren und somit eventuelle Risikofaktoren für Therapieversagen auszumachen, welche in der vorliegenden Studie nicht abschließend geklärt werden konnten. Aus wissenschaftlicher Sicht optimal wäre es, hierbei durch eine Randomisierung der Zuteilung zu den einzelnen Versorgungsformen vergleichbare Subgruppen zu schaffen, um Aussagen zu Komplikations-, Revisions- und Versagensrate noch aussagekräftiger zu machen. Auch wenn bei der Versorgung mit Endoprothese bei keinem der hier eingeschlossenen Patienten eine Revision durchgeführt werden musste, so ist es doch möglich, dass die eingangs erwähnten häufigen Komplikationen und Therapieversagen einen Wiedereinbau oder Wechsel des Endoprothesentyps zur Folge haben, was sich negativ auf das klinische Outcome auswirken könnte (17). Jedoch wäre eine solche Studie aufgrund der unterschiedlichen Versorgungsphilosophien und aufgrund von ethischen Überlegungen schwierig umzusetzen.

6.2 Verbesserte Analyse der Frakturcharakteristika

Eine Hürde bei der Analyse der präoperativen radiologischen Aufnahmen war die Tatsache, dass nur bei 53,3% der Patienten CT-Aufnahmen zur Verfügung standen, welche dann zu 3D-Rekonstruktionen umgewandelt werden konnten. Bei einem höheren Anteil wäre eine präzisere Analyse der Frakturcharakteristika möglich gewesen. Generell ist es empfehlenswert, aufgrund der Gelenksbeteiligung und schlechten Visualisierbarkeit im Röntgen bei Vorliegen einer Head-Split Fraktur eine CT-Untersuchung durchzuführen. Dagegen spricht jedoch die höhere Strahlenbelastung bei dieser Aufnahmetechnik. Es gibt aber mittlerweile schon Zentren, an denen sehr großzügig bei allen proximalen Humerusfrakturen ein CT angefertigt wird (7).

6.3 Langzeitergebnisse

Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum lag bei 49 Monaten (Spannweite: 12-83 Monate). Es ist möglich, dass eine Langzeitstudie bezüglich der untersuchten Parameter andere Ergebnisse liefert. Besonders in den Subgruppen der Endoprothesen könnten andere Werte bezüglich der Revisionsrate auftreten. Aufgrund des hohen Alters der Patienten in den Endoprothesensubgruppen gestaltet sich eine Langzeitnachuntersuchung jedoch voraussichtlich als schwierig.

7 Literaturverzeichnis

1. Trumble T, Cornwall R, Budoff, Core G. Knowledge in Orthopedics—Hand, Elbow, and Shoulder. Philadelphia, Pa, USA: Mosby Elsevier; 2005.
2. Rockwood, C., Matsen, FA., III, Wirth, M., Lippitt, S. The Shoulder. 4th edition. Philadelphia, Pa, USA: Saunders Elsevier, 2008.
3. Hettrich CM, Boraiah S, Dyke JP, Neviasser A, Helfet DL, Lorich DG. Quantitative assessment of the vascularity of the proximal part of the humerus. *Journal of Bone and Joint Surgery A*. 2010;92(4):943–948.
4. Terry GC, Chopp TM. Functional anatomy of the shoulder. *Journal of Athletic Training*. 2000;35(3):248–255.
5. Lind, T., Kroner, K., Jensen, J. The epidemiology of fractures of the proximal humerus. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1989. 108(5): p. 285-7.
6. Resch, H., Tauber, M., Neviasser, RJ, Neviasser, AS., Majed, A., Halsey, T., Hirzinger, C., Al-Yassari, G., Zyto, K., Moroder, P. Classification of proximal humeral fractures based on a pathomorphologic analysis. *J Shoulder Elbow Surg*, 2016. 25(3): p. 455-62.
7. Khmelnitskaya, E., Lamont, L., Taylor, S., Lorich, D, Dines, D., Dines, J. Evaluation and management of proximal humerus fractures. *Adv Orthop*, 2012. 2012: p. 861598.
8. Robinson, CM., Seah, M., Akhtar, MA. The epidemiology, risk of recurrence, and functional outcome after an acute traumatic posterior dislocation of the shoulder. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 2011. 93(17): p. 1605-13.
9. Hofman, M., Grommes, J., Krombach, GA., Schmidt-Rohlfing, B. Vascular injury accompanying displaced proximal humeral fractures: two cases and a review of the literature. *Emerg Med Int*, 2011. p: 2011():742870.
10. Naranja, RJ Jr., Ianotti, JP. Displaced three- and four-part proximal humerus fractures: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg.*, 2000. 8(6):373-82.
11. Neer, CS. Displaced proximal humeral fractures: part I. Classification and evaluation. 1970. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2006;442:77–82.
12. Tepass, A., Rolaufts, B., Weise, K., Bahrs, S., Dietz, K., Bahrs, D. Complication rates and outcomes stratified by treatment modalities in proximal humeral fractures: a systematic literature review from 1970-2009. *Patient Saf Surg*, 2013. 7(1): p. 34.
13. Panagopoulos, A., Pantazis, K., Iliopoulos, I., Seferlis, I, Kokkalis, Z. Sword-Like Trauma to the Shoulder with Open Head-Splitting Fracture of the Head. *Case Rep Orthop*, 2016. 2016: p. 3539503.
14. Scheibel, M., Peters, P., Moro, F., Moroder, P., Head-split fractures of the proximal humerus. *Obere Extremität*, 2019. 10.1007/s11678-019-0520-6
15. Nowak, L.L., Dehghan, N., McKee, MD, Schemitsch, EH. Plate fixation for management of humerus fractures. *Injury*, 2018. 49 Suppl 1: p. S33-S38.
16. Spross, C., Platz, A., Erschbamer, M., Lattmann, T., Dietrich, M. Surgical treatment of Neer Group VI proximal humeral fractures: retrospective comparison of PHILOS(R) and hemiarthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 2012. 470(7): p. 2035-42.
17. Hertel, R., Stiehler, M., Hempfing, A., Leunig, M. Predictors of humeral head

- ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg*, 2004. 13(4): p. 427-33.
18. Maier, D., Jaeger, M., Izadpanah, K., Strohm, PC, Suedkamp, NP Proximal humeral fracture treatment in adults. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 2014. 96(3): p. 251–261
 19. Greiwe, R.M., Vargas-Ariza, R., Bigliani, LU., Levine, WN., Ahmad, CS. Hemiarthroplasty for head-split fractures of the proximal humerus. *Orthopedics*, 2013. 36(7): p. e905-11.
 20. Boyle, M.J., Youn, SM., Frampton, CM., Ball, CM. Functional outcomes of reverse shoulder arthroplasty compared with hemiarthroplasty for acute proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg*, 2013. 22(1): p. 32-7.
 21. Gierer, P., Simon, C., Gradl, G., Ewert, A., Vasarhelyi, A., Beck, M., Mittlmeier, T.. [Complex proximal humerus fractures--management with a humeral head prosthesis? Clinical and radiological results of a prospective study]. *Orthopade*, 2006. 35(8): p. 834-40.
 22. Oerlund, P., Ahrengart, L., Ponzer, S, Saving, J, Tidermark, J. Hemiarthroplasty versus nonoperative treatment of displaced 4-part proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial. *Shoulder*, 2011. p. 1025-1033.
 23. Boileau, P., Complications and revision of reverse total shoulder arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2016. 102(1 Suppl): p. S33-43.
 24. Gavaskar, A.S., Tummala, N.C., Locked plate osteosynthesis of humeral head-splitting fractures in young adults. *J Shoulder Elbow Surg*, 2015. 24(6): p. 908-14.
 25. Lippitt, S.B., Harryman, D.T., Matsen, F.A. , A practical tool for evaluation of function: the simple shoulder test. In: Matsen FA, Fu FH, Hawkins RJ (eds) *The shoulder: a balance of mobility and stability*. The American Academy of Orthopedic Surgeons, 1993: p. 501–559.
 26. Hsu, J.E., Russ, SM., Somerson, JS, Tang, A, Warme, WJ, Matsen, FA. Is the Simple Shoulder Test a valid outcome instrument for shoulder arthroplasty? *J Shoulder Elbow Surg*, 2017. 26(10): p. 1693-1700.
 27. Constant, C.R., Murley, A.H.. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res*, 1987(214): p. 160-4.
 28. Tavakkolizadeh, A., Ghassemi, A., Colegate-Stone, T., Latif, A., Sinha, J. Gender-specific Constant score correction for age. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009. 17(5):529-33.
 29. Booker, S., Alfahad, N., Scott, M., Gooding, B., Wallace, WA. Use of scoring systems for assessing and reporting the outcome results from shoulder surgery and arthroplasty. *World J Orthop*, 2015. 6(2): p. 244-51.
 30. Durham, R., Pracht, E., Orban, B., Lottenburg, L., Tepas, J., Flint, L. Evaluation of a mature trauma system. *Ann Surg.*, 2006. Jun;243(6):775-83; discussion 783-5.
 31. Brorson, S., Alfahad, N., Scott, M., Gooding, B., Wallace, WA. Benefits and harms of locking plate osteosynthesis in intraarticular (OTA Type C) fractures of the proximal humerus: a systematic review. *Injury*, 2012. 43(7): p. 999-1005.
 32. Jung, S.W., Shim, SB., Kim, HM., Lee, JH., Lim, HS. Factors that Influence Reduction Loss in Proximal Humerus Fracture Surgery. *J Orthop Trauma*, 2015. 29(6): p. 276-82.
 33. Solberg, B.D., Moon, CN., Franco, DP., Paiement, GD. Surgical treatment

- of three and four-part proximal humeral fractures. *J Bone Joint Surg Am*, 2009. 91(7): p. 1689-97.
34. Tauber, M., Hirzinger, C., Hoffelner, T., Moroder, P., Resch, H. Midterm outcome and complications after minimally invasive treatment of displaced proximal humeral fractures in patients younger than 70 years using the Humerusblock. *Injury*, 2015. 46(10): p. 1914-20.

8 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Paulina-Maria Peters, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component“/“Einflussfaktoren auf klinisches und radiologisches Outcome der operativen Versorgung proximaler Humerusfrakturen mit Head Split Komponente“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

9 Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Paulina-Maria Peters hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Paulina-Maria Peters, Fabian Plachel, Victor Danzinger, Michele Novi, Sven Märdian, Markus Scheibel, Philipp Moroder. Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component. J Bone Joint Surg Am. 2019;00:1-8

- Literaturrecherche
- Erstellung des Ethikantrags
- Rekrutierung der Studienteilnehmer
- Durchführung der Patientenbefragung sowie Teile der klinischen Untersuchungen zur weiteren Datenerhebung
- Anlegen des Datensatzes
- Mithilfe der Auswertung und Interpretation der gewonnenen Daten, aus der statistischen Auswertung gingen die Ergebnisse und Tabellen 1,2,3,4,7 hervor
- Erstellung des Manuskripts
- Erstellung der Tabellen 1-7
- Mitbearbeitung der Revision

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

10 Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI

Selected Categories: **"ORTHOPEDECS"** Selected Category Scheme: WoS

Gesamtanzahl: 77 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE	32,251	6.057	0.041740
2	OSTEOARTHRITIS AND CARTILAGE	15,911	5.454	0.026630
3	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-AMERICAN VOLUME	46,966	4.583	0.044930
4	Journal of Physiotherapy	839	4.542	0.002390
5	ARTHROSCOPY-THE JOURNAL OF ARTHROSCOPIC AND RELATED SURGERY	15,568	4.330	0.020760
6	CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH	40,313	4.091	0.037880
7	Bone & Joint Journal	4,676	3.581	0.019010
8	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH	14,800	3.414	0.016570
9	JOURNAL OF ARTHROPLASTY	16,901	3.338	0.029760
10	KNEE SURGERY SPORTS TRAUMATOLOGY ARTHROSCOPY	14,017	3.210	0.026090
11	Spine Journal	8,564	3.119	0.019380
12	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY	6,612	3.090	0.006800
13	Acta Orthopaedica	8,583	3.076	0.008670
14	JOURNAL OF SHOULDER AND ELBOW SURGERY	12,263	2.849	0.017730
15	SPINE	46,984	2.792	0.035050
16	ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA	3,140	2.672	0.003050
17	FOOT & ANKLE INTERNATIONAL	8,682	2.653	0.008190
18	Journal of Hand Surgery-European Volume	4,234	2.648	0.004220
	JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY			

19	OF ORTHOPAEDIC SURGEONS	5,082	2.638	0.007810
20	EUROPEAN SPINE JOURNAL	15,242	2.634	0.023050

11 Druckexemplar

<https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00320>

DOI-Nummer: 10.2106/JBJS.19.00320

12 Lebenslauf

13 Publikationsliste

1. Paulina-Maria Peters, Fabian Plachel, Victor Danzinger, Michele Novi, Sven Märdian, Markus Scheibel, Philipp Moroder. Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component. J Bone Joint Surg Am. 2019;00:1-8

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **“ORTHOPEDICS”** Selected Category Scheme: WoS

Gesamtanzahl: 77 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
3	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-AMERICAN VOLUME	46,966	4.583	0.044930

2. Markus Scheibel, Paulina-Maria Peters, Fabrizio Moro, Philipp Moroder. Head-split fractures of the proximal humerus. Obere Extremität, 2019.

14 Danksagung

Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater PD Dr. med. univ. Philipp Moroder bedanken, dafür, dass er mich mit diesem Thema betraut und dann kontinuierlich gefordert und gefördert hat, zuverlässig auf alle Fragen und Probleme eingegangen ist und mir wertvolles Feedback gegeben hat, sodass schließlich die vorliegende Arbeit entstanden ist. Weiterer Dank gilt Univ.- Prof. Dr. med. Markus Scheibel für die Unterstützung und weitere Betreuung meiner Promotion, außerdem Dr.med.univ. Fabian Plachel für seinen wertvollen Beitrag bei der statistischen Ausarbeitung sowie allen anderen Koautoren. Bei allen eingeschlossenen Studienteilnehmern und -teilnehmerinnen bedanke ich mich für ihre wertvolle Mitarbeit.