

Fakultät für Medizin

Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Klinikum rechts der Isar der
Technischen Universität München

**Das LCP-Olekranon Plattensystem – Klinisch-funktionelle Ergebnisse und
Literaturvergleich**

Tobias Torsiglieri

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle, Eberhard Karls Universität Tübingen
2. Univ.-Prof. Dr. P. Biberthaler

Die Dissertation wurde am 18.05.2015 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.10.2015 angenommen.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
a.-p.	Anterior-posterior
BMI	Body-Mass-Index
bzw.	beziehungsweise
bspw.	beispielsweise
CT	Computertomographie
DASH	Disability of Arm, Shoulder and Hand
DCP	Dynamic compression plate
d. h.	Das heißt
etc.	Et cetera
Fa.	Firma
FFS	Fragment-Fixations-System
HIV	Humanes-Immundefizienz-Virus
HRG	Humeroradialgelenk
HUG	Humeroulnargelenk
MEPS	Mayo Elbow Performance Score
MRC	Medical Research Council
LCDCP	Limited Contact Dynamic Compression Plate
LCP	Locking Compression Plate
Li	Links
MCL	Mediales Kollateralband
Mm	Millimeter
N	Newton (Einheit)
PRUG	Proximales Radioulnargelenk
PUDA	Proximal Ulna Dorsal Angulation
Re	Rechts
ROM	Range of motion
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
TEP	Totalendoprothese
VAS	Visuelle Analogskala
vs.	versus
WHO	World Health Organisation
z. T.	Zum Teil

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1.	Zielsetzung der Arbeit	4
1.2.	Die knöchernen Anatomie des Ellenbogengelenkes	6
1.3.	Articulatio humeroulnaris - Humeroulnargelenk (HUG)	7
1.4.	Articulatio humeroradialis - Humeroradialgelenk (HRG)	8
1.5.	Articulatio radioulnaris proximalis - Proximales Radioulnargelenk (PRUG)	8
1.6.	Spezifische knöchernen Anatomie der proximalen Ulna	9
1.7.	Varusangulation und anteriore Deviation der Ulna	9
1.8.	Muskuläre Strukturen des Ellenbogens	10
1.9.	Isolierte Olekranonfraktur	11
1.9.1.	Ätiologie und Pathomechanismus	11
1.9.2.	Klassifikation nach Schatzker	12
1.9.3.	Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO)	13
1.9.4.	Klassifikation nach Morrey (Mayo-Klassifikation)	13
1.9.5.	Begleitverletzungen der Olekranonfraktur	14
1.9.5.1.	Haut- und Weichteilschaden	14
1.9.6.	Diagnostik	15
1.9.7.	Therapieplanung	16
1.9.8.	Lagerung und operativer Zugang	18
1.10.	Plattenosteosynthese des Olekranons - Operatives Vorgehen	18
1.11.	Formen der proximalen Ulnafraktur	19
1.11.1.	Proximale Ulnaschaftfraktur	19
1.11.2.	Monteggiafraktur und Monteggia-Äquivalentverletzung	20
1.11.2.1.	Ätiologie und Pathomechanismus	20
1.11.2.2.	Frakturklassifikation	20
1.11.2.3.	Diagnostik und präoperative Planung	22
1.11.2.4.	Therapiekonzepte und operatives Vorgehen	23
1.12.	Die Plattenosteosynthese: Verfahrensentwicklung und Implantatsysteme	24
1.12.1.	Dynamische Kompressionsplatte (DCP)	24
1.12.2.	Limited contact dynamic compression plate (LC-DCP)	25
1.13.	Biologische Plattenosteosynthese – Fixateur interne	26
1.13.1.	Locking compression plate (LCP)	27
1.14.	Das LCP Olekranon - System	30
2.	Material und Methoden	33
2.1.	Patientengut: Ein- und Ausschlusskriterien	33
2.2.	Allgemeine demographische Daten: Alter und Geschlechtsverteilung	35
2.3.	Allgemeine demographische Daten: Body-Mass-Index	36
2.4.	Allgemeine demographische Daten: Frakturseite und Händigkeit	37
2.5.	Allgemeine demographische Daten: Berufsgruppen und berufliche Belastbarkeit	38
2.6.	Unfallmechanismus	39
2.7.	Frakturklassifikation	40
2.8.	Klinische Nachuntersuchung	40
2.9.	Neutral-Null-Methode	41
2.10.	Instabilitätstest für Varus- und Valgusstress	42
2.11.	Manuelle Muskelfunktionsprüfung der Groben Kraft	42
2.12.	Subjektive Patientenzufriedenheit	43
2.13.	Klinische Scores	43
2.14.	Visuelle Analogskala – VAS	43
2.15.	Mayo Elbow Performance Score - MEPS	44
2.16.	Subjektiver Funktionsscore für Schulter, Arm und Hand - QuickDASH	44
2.17.	Kraftmessung (IsoForceControl)	45
2.18.	Radiologische Bewertung	47

2.19.	Statistische Auswertung.....	48
3.	Ergebnisteil	49
3.1.	Auswertung der Krankenakten.....	49
3.1.1.	Präoperative Parameter.....	49
3.1.1.1.	Zeitabstand: Trauma – Plattenosteosynthese	49
3.1.1.2.	Vorangegangene Notfallversorgung und Ersteingriffe	50
3.1.2.	Intraoperative Parameter	51
3.1.2.1.	Operationsdauer	51
3.1.2.2.	Verwendete Plattensysteme und additive Osteosyntheseverfahren.....	51
3.1.3.	Postoperative Parameter	52
3.1.3.1.	Komplikationen nach Plattenosteosynthese	52
3.2.	Klinisch-funktionelles Outcome: Studienkollektiv	53
3.3.	Klinisch-funktionelles Outcome: Vergleichskollektiv	58
3.4.	Isobex - Kraftmessung	61
3.5.	Gegenüberstellung des klinisch-funktionellen Outcomes beider Plattenosteosynthese - Kollektive	62
3.6.	Radiologische Auswertung	64
3.7.	Patientenzufriedenheit und Implantatverträglichkeit	67
3.8.	Subjektive Patientenzufriedenheit.....	67
3.9.	Implantatverträglichkeit	67
4.	Diskussion.....	70
4.1.	Studienlage – dorsale Plattenosteosynthese.....	70
4.2.	Patientenprofil	73
4.3.	Frakturkollektiv	76
4.4.	Operative Parameter.....	77
4.4.1.	Zeitspanne Trauma – operative Versorgung	77
4.4.2.	Operationszeit.....	78
4.5.	Klinisch-funktionelles Outcome.....	79
4.5.1.	Bewegungsausmaß (ROM) und Kraft.....	79
4.5.2.	Klinische Scores und Radiologische Auswertung.....	82
4.5.3.	Patientenzufriedenheit und Implantatverträglichkeit	84
4.6.	Komplikationen	87
4.7.	Stärken und Schwächen der Untersuchung	89
4.8.	Morphometrische Bewertung anatomisch präformierter Plattensysteme der proximalen Ulna und Weiterentwicklung dieser Implantate	90
5.	Zusammenfassung	93
6.	Abbildungsverzeichnis	96
7.	Tabellenverzeichnis	98
8.	Literatur.....	99
9.	Anhang.....	109
9.1.	Einverständniserklärung zur Untersuchung	109
9.2.	Untersuchungsbogen.....	110
9.3.	Patientenfragebogen QuickDASH	119
10.	Danksagung	126

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung der Arbeit

Bei mehrfragmentären und/oder dislozierten Frakturen des Olekranons bzw. der proximalen Ulna hat sich innerhalb des letzten Jahrzehntes die dorsale Plattenosteosynthese als das Therapieverfahren der Wahl etabliert. Als Standardimplantate wurden dabei in der Vergangenheit die Rekonstruktionsplatte oder die 3,5-mm-LCDCP („limited contact dynamic compression plate“) verwendet. Alternativ kommen, gerade bei komplexen Frakturformen mit ausgedehnter Trümmerzone der Gelenkfläche des Olekranons, auch winkelstabile Implantatsysteme (LCP – „locking compression plate“) zunehmend zum Einsatz. Winkelstabile Plattensysteme als biologisches Osteosyntheseverfahren spielen neben der Weiterentwicklung operativer Zugangswege heutzutage in vielen Bereich der Traumatologie eine entscheidende Rolle für das klinisch-funktionelle Behandlungsergebnis. Gerade in der Versorgung osteoporotischer Frakturen oder bei Frakturen mit ausgedehnter Trümmerzone bieten diese Implantate durch die höhere Steifigkeit der Schrauben-Platten-Verbindung und die Möglichkeit der monokortikalen Fixierung eindeutige Vorteile gegenüber konventionellen Plattensystemen. Durch die demographische Altersentwicklung unserer Bevölkerung und die damit einhergehende, steigende Zahl osteoporotisch bedingter Frakturen, sind die winkelstabilen Implantate im täglichen klinischen Alltag unverzichtbar geworden und stellen für viele Indikationsbereiche mittlerweile das Standardverfahren dar.

Ähnlich den anatomisch vorgeformten, winkelstabilen Implantaten für den proximalen bzw. distalen Humerus, den distalen Radius und die proximale Tibia als Weiterentwicklung der geraden LCP, stehen nun seit einigen Jahren auch für das Olekranon bzw. die proximalen Ulna der Anatomie angepasste Implantate zur Verfügung.

Das Ziel der vorliegenden, retrospektiven Untersuchung war es, die klinisch-funktionellen Ergebnisse der im Zeitraum von 02/2007 bis 06/2010 am Klinikum

rechts der Isar (unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. med. U. Stöckle) mittels anatomisch vorgeformter LCP-Olekranonplatte (Fa. Synthes, Umkirch, Germany) behandelten Olekranonfrakturen bzw. proximalen Ulnafrakturen zu evaluieren.

Die erzielten Resultate sollten mit den Behandlungsergebnissen von Patienten verglichen werden, die im gleichen Zeitraum aufgrund einer Olekranonfraktur bzw. proximalen Ulnafraktur mit konventionellen (nicht anatomisch präformierten) Plattensystemen operativ versorgt wurden. Es wurde hypothetisiert, dass das funktionelle Outcome der LCP-Olekranonplatte in der Gegenüberstellung mit dem eigenen Vergleichskollektiv, aber auch mit den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen anderer Plattensysteme, besser oder gleichwertig ist.

Außerdem wurde aufgrund des der Anatomie der proximalen Ulna angepassten Plattendesigns der LCP-Olekranonplatte eine bessere Implantatverträglichkeit für den Patienten vermutet. Diesbezüglich wurden Patienten mit Olekranonfrakturen bzw. proximalen Ulnafrakturen, die im gleichen Zeitraum mit konventionellen Plattensystemen und zusätzlich Patienten, die aufgrund einer Olekranonfraktur mittels Zuggurtungsosteosynthese operativ versorgt wurden, als Vergleichskollektive gegenübergestellt.

1.2. Die knöchernen Anatomie des Ellenbogengelenkes

Das Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti) stellt die Verbindung von Humerus, Radius und Ulna dar. Es ist eines der wenigen Gelenke, in dem drei Knochen, der distale Humerus, die proximale Ulna (Elle) und das Radiusköpfchen (Speiche), gelenkig miteinander verbunden sind (Abb. 1 und 2). Mechanisch betrachtet ist der Ellenbogen ein zusammengesetztes Gelenk (Articulatio composita), bestehend aus der

- Articulatio humeroulnaris bzw. Humeroulnargelenk (HUG),
- Articulatio humeroradialis bzw. Humeroradialgelenk (HRG),
- Articulatio radioulnaris proximalis bzw. proximales Radioulnargelenk (PRUG).

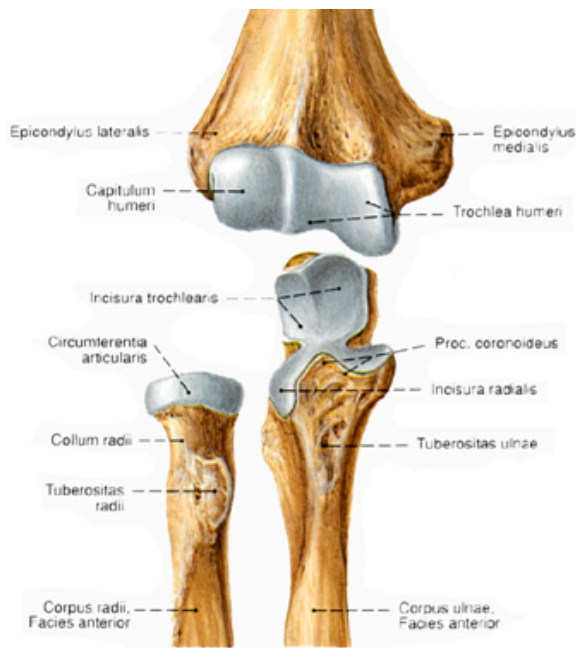


Abbildung 1: Ellenbogengelenk. Ansicht ventral. Sobotta 2000.

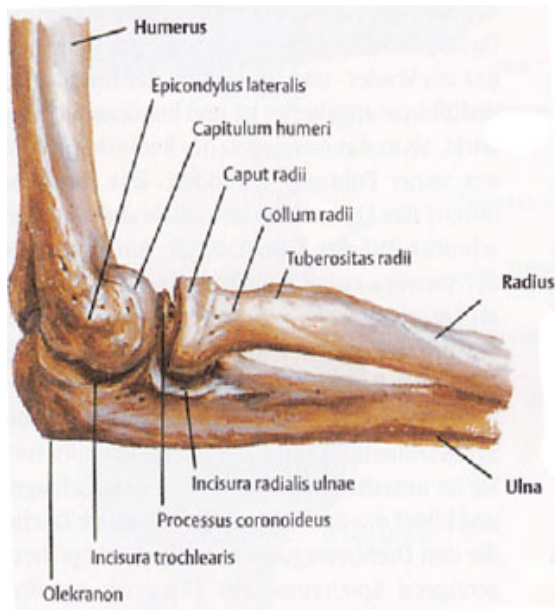


Abbildung 2: Laterale Ansicht des Articulatio cubiti. Netter 2001.

Alle drei Gelenke liegen in einer Gelenkkapsel und ermöglichen die Flexion, die Extension und in Verbindung mit dem distalen Radioulnargelenk die Pro- und Supination des Unterarms. (Rohen et al. 2001)

1.3. Articulatio humeroulnaris - Humeroulnargelenk (HUG)

Im Humeroulnargelenk wird die Trochlea humeri des distalen Humerus zangenartig von der proximalen Ulna umfasst. Die Trochlea humeri ist in mediolaterale Richtung konkav und in anterioposteriore Richtung konvex. Sie bildet den Gelenkkopf. Die damit artikulierende Incisura trochlearis ulnae zeigt eine entgegengesetzte Form und bildet als „Ellenzange“ die Gelenkpfanne. Der Processus coronoideus bildet den vorderen, das kräftig ausgebildete Olekranon den hinteren Zangenfortsatz, beide die Incisura trochlearis. Der Processus coronoideus gleitet bei Beugung des Ellenbogengelenks in die Fossa coronoidea des distalen Humerus. Das Olekranon legt sich bei Streckung im Ellenbogengelenk der Fossa olecrani an. (Hölzl et al. 2008) Das Humeroulnargelenk ist ein Winkel- oder Scharniergelenk. In ihm erfolgen die Flexions- und Extensionsbewegungen des Unterarms gegen den Oberarm.

1.4. Articulatio humeroradialis - Humeroradialgelenk (HRG)

Das Humeroradialgelenk setzt sich aus dem ventral lateral gelegenen konvexen Capitulum humeri und der konkaven Fovea articularis capitis radii zusammen. Die ulnar gelegene sichelförmige Gelenkfacette des Radiusköpfchens wird als Lunula obliqua bezeichnet. Seitlich der Fovea articularis capitis radii befindet sich die Circumferentia articularis radii, die die konvexe Drehfläche zur Incisura radialis ulnae darstellt. ^(Sobotta 2000) Das Humeroradialgelenk ist ein Kugelgelenk, wird aber durch das Lig. anulare radii, das an der Ulna fixiert ist, zu einem Drehscharniergelenk limitiert. Das Gelenk lässt zwei Freiheitsgrade der Bewegung zu, die Flexion/Extension und die Pronation/Supination des Radiusköpfchens auf dem Humerus.

Das Gelenk besitzt keine knöcherne Führung. Die Membrana interossea lenkt bei Krafteinwirkung von proximal das Gewicht von der Ulna zum Radius und bei distaler Krafteinwirkung vom Radius zur Ulna. ^(Sobotta 2000) Der Beitrag des Radiusköpfchens für die Valgusstabilität beträgt bei intaktem medialem Bandapparat ca. 30% und kann bei Ruptur desselben auf bis zu 75% zunehmen. Bis zu 60% der axialen Kräfte werden über das Radiusköpfchen übertragen. ^(Ball et al. 2002)

1.5. Articulatio radioulnaris proximalis - Proximales Radioulnargelenk (PRUG)

Das proximale Radioulnargelenk stellt ein sattelförmiges Gelenk dar. Die Circumferentia radii (Gelenkkopf) ist in anterioposteriorer Richtung konvex und in proximodistaler Richtung konkav. Die incisura radialis ulnae (Gelenkpfanne) zeigt eine entgegengesetzte Form. Durch das Lig. Annulare, einem Teil des lateralen Bandkomplexes, wird der Radius an der Ulna fixiert und stabilisiert. Die Innenseite des Ligamentums ist mit hyalinem Knorpel überzogen und artikuliert so auch mit der Zirkumferenz des Radius. ^(Korner et al. 2004) Das Gelenk ermöglicht zusammen mit dem distalen Radioulnargelenk die Umwendbewegung der Speiche um die Elle. Beide Gelenke sind funktionell als ein Gelenk anzusehen, das jedoch räumlich getrennt ist. ^(Moll et al. 1995)

Die Speiche dreht sich um eine schräg durch den Unterarm verlaufende Längsachse, während die Elle dabei still steht (Abb. 3).



Abbildung 3: Supinations- und Pronationsbewegungen im Unterarm. Tillmann et al. 1987.

1.6. Spezifische knöcherner Anatomie der proximalen Ulna

Das proximale Ende der Ulna formt das Olekranon. Die Gelenkfläche der Incisura trochlearis wird nach anterior durch den Processus coronoideus als vorderer Zangenfortsatz begrenzt.

Die Bedeutung des Processus coronoideus in Bezug auf die Rekonstruktion der knöchernen Anatomie von Olekranon und proximaler Ulna und damit der Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des Ellenbogengelenks wurde in einigen Studien betont. (Ring et al. 2007, Weigel et al. 2005) Der Processus coronoideus stabilisiert das Ellenbogengelenk gegen eine dorsale Luxation und ist gleichzeitig Ansatzpunkt des M. brachialis sowie des medialen Kollateralbandes (MCL). (Hull et al. 2005)

1.7. Varusangulation und anteriore Deviation der Ulna

Bei der Varusangulation handelt es sich um den Winkel zwischen proximalem und distalem Ulnaschaft. Bestimmt wird der Varuswinkel in der a.p.-Ebene, in dem eine Linie entlang der dorsalen Ulnakante des proximalen Schaftes und eine entlang der distalen Ulnaschaftachse gelegt wird. Der Schnittpunkt dieser Linien befindet sich ca. 7-8 cm distal der Olekranonspitze im Übergangsbereich von Metaphyse zu Diaphyse. Laut Studien beträgt die Varusangulation im Mittel 17° (Abb. 4). (Zimmermann et al. 2004, Grechenig et al. 2007)

Neben der Varusangulation und deren Lokalisation in Bezug auf die Olekranonspitze ist außerdem die Kenntnis der anterioren Deviation bei der Rekonstruktion proximaler Ulnafrakturen von Bedeutung. Die anteriore Deviation (PUDA: *proximal ulna dorsal angulation*) beschreibt die Achsabweichung des Ulnaschafts in der seitlichen Ansicht (Abb. 4). Anhand einer radiologischen Auswertung von 50 Ellenbogenpaaren ermittelten Rouleau et al. einen mittleren PUDA-Winkel von \varnothing $5,7^\circ$. (Rouleau et al. 2013) Der Scheitelpunkt der Achsabweichung findet sich im Mittel 4,7 cm distal der Olekranonspitze.



Abbildung 4: Varusangulation (links) und PUDA (rechts) - demonstriert am Kadaverpräparat. (eigene Fotodokumentation)

1.8. Muskuläre Strukturen des Ellenbogens

Eine ebenfalls wichtige stabilisierende Bedeutung kommt den Muskeln, die das Ellenbogengelenk überqueren, zu, indem sie das Ellenbogengelenk entsprechend ihrer Zugrichtung komprimieren. Es handelt sich hierbei um insgesamt vier Muskeln.

(Mittlmeier et al. 2009)

Der M. brachialis setzt an der Tuberositas Ulna an und hat seinen Ursprung am Humerus (distal der Tuberositas deltoidea). Er wird über den N. musculocutaneus innerviert und ist der wichtigste Beuger des Ellenbogengelenkes.

Der M. biceps brachii setzt mit seiner Hauptsehne an der Tuberositas radii und mit der Nebensehne an der Fascia antebrachii an. Er entspringt am Caput longum des Tuberculum supraglenoidale der Scapula sowie am Caput breve des Processus coracoideus der Scapula. Die Innervation erfolgt durch den N. musculocutaneus . Das Caput longum des M. Biceps brachii dient im Schultergelenk der Abduktion, das Caput breve der Adduktion. Zusammen bewirken diese die Innenrotation und Anteversion des Armes. Im Ellenbogengelenk dienen beide Muskeln zusammen der Beugung bzw. der Supination.

Der M. triceps brachii setzt am Olekranon an. Der Ursprung des Caput longum befindet sich am Tuberculum infraglenoidale der Scapula; das Caput laterale entspringt am Humerus laterale und oberhalb vom Sulcus N. radialis; das Caput mediale entspringt am Humerus mediale und unterhalb vom Sulcus N. radialis. Die Innervation erfolgt über den N. radialis. Der M. triceps brachii dient im Ellenbogen als starker Strecker. Im Schultergelenk dient das Caput longum zur Retroversion und wirkt bei der Adduktion mit.

Der M. anconeus setzt am Olekranon an. Sein Ursprung befindet sich am Epikondylus laterales an der Kapsel. Die Inervation erfolgt über den N. Radialis. Der M. anconeus ist ein schwacher Strecker im Ellenbogengelenk und dient vor allem zur Spannung der Gelenkkapsel des Ellenbogengelenkes. (Schünke et al. 2005)

1.9. Isolierte Olekranonfraktur

1.9.1. Ätiologie und Pathomechanismus

Bei 10% aller Frakturen der oberen Extremitäten und ca. 38% aller knöchernen Ellenbogenverletzungen handelt es sich um isolierte Olekranonfrakturen. Im Kindesalter sind Olekranonfrakturen aufgrund der Festigkeit, vermutlich aber auch aufgrund der höheren Flexibilität kindlicher Bewegungsabläufe mit 5–7% aller kindlichen Ellenbogenfrakturen relativ selten. Im höheren Alter treten infolge osteoporotischer Veränderungen vermehrt komplexe, dislozierte Mehrfachfrakturen auf. Häufigster Unfallmechanismus sind Stürze beim Gehen oder in häuslicher Umgebung, gefolgt von Verkehrsunfällen, wobei in den meisten Fällen der um 90° gebeugte Ellenbogen unmittelbar betroffen ist. (Hölzl et al. 2008, Lill et al. 2004, Palvanen et al. 2000,

Siebenlist et al. 2009) Wie Untersuchungen gezeigt haben, resultieren Olekranonfrakturen meist bei Stürzen in Flexionsstellung des Ellenbogengelenkes zwischen 60 und 135° (Amis et al. 1995) Den überwiegenden Anteil machen einfragmentäre Quer- oder Schrägfrakturen aus, wobei der Anteil der Querfrakturen mit bis zu 60% beschrieben wird. (Holdsworth et al. 1984)

Wesentlich seltener resultiert eine Olekranonfraktur aus einem indirekten Pathomechanismus. Durch die reflektorische Anspannung des M. triceps beim Abfangen eines Sturzes auf den gebeugten Arm, kommt es zu einer Abrissfraktur des Olekranons bzw. der Olekranonspitze im Sinne eines knöchernen Tricepssehnenaurisses. Die Trochlea humeri wirkt dabei als Hypomochlion. Durch den Zug des Tricepsmuskels kommt es zur Dislokation der Frakturenden.

1.9.2. Klassifikation nach Schatzker

Insbesondere im angelsächsischen und innereuropäischen Sprachraum ist die Einteilung der Olekranonfrakturen nach Schatzker weit verbreitet. Diese Klassifikation legt die Beziehung zwischen Frakturlinie und Kollateralbändern des Gelenks zugrunde und wird in Typ A bis E unterteilt (Abb. 5): (Schatzker 1987)

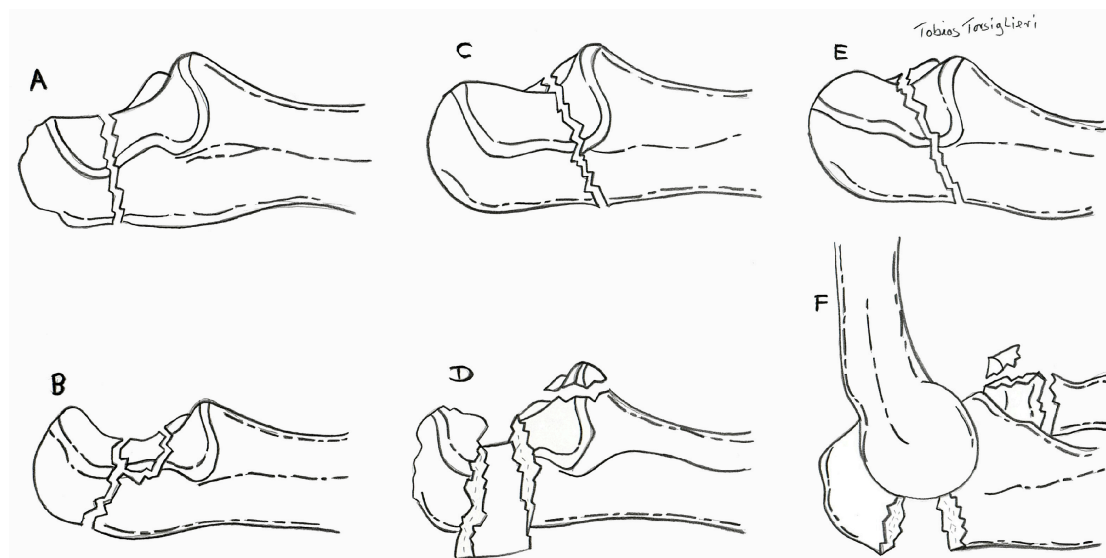


Abbildung 5: Fraktureinteilung nach Schatzker 1987.

A = „transverse“ einfache, quere Fraktur des Olekranons; B = „transverse impacted“ quere Fraktur mit Impaktion der Gelenkfläche; C = „oblique“ einfache, proximale Schrägfraktur beginnend am distalen Teil der Gelenkfläche; D = „comminuted“ Querfraktur mit Einbruch der Gelenkfläche, auch Trümmerfraktur und Abriss des Processus coronoideus; E = „oblique-distal“ einfache, distale Schrägfraktur, extraartikulär; F = „fracture-dislocation“ Luxationsfraktur mit Dislokation des distalen Humerus und begleitender Radiusköpfchenfraktur.

1.9.3. Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO)

In der AO-Klassifikation zählt die Olekranonfraktur (AO 21-B1 bzw. 21-B3) zur Gruppe der proximalen Unterarmfrakturen. Dabei werden Radius und Ulna als ein Gelenk betrachtet und zwischen extra- und intrartikulären Frakturformen beider Knochen unterschieden.

Aufgrund der wenig detaillierten Beschreibung der Frakturmorphologie und dem Fehlen eines daraus abgeleiteten therapeutischen Vorgehens, findet diese Klassifikation hierzulande im klinischen Alltag nur selten Anwendung.

1.9.4. Klassifikation nach Morrey (Mayo-Klassifikation)

In der klinischen Anwendung wird, insbesondere im amerikanischen Sprachraum, aber auch zunehmend hierzulande, die Mayo-Klassifikation (benannt nach der Mayo-Clinic, Rochester, USA) bevorzugt. Diese Einteilung von B. F. Morrey berücksichtigt die Frakturmorphologie, die Stabilität und den Grad der Dislokation, eingeteilt in Typ I bis III. (Kromer 2004)

Bei Typ I handelt es sich um eine stabile, nicht-dislozierte bzw. minimal dislozierte (< 2 mm) Fraktur. Typ II bedeutet eine dislozierte Fraktur mit einer Dislokation von > 2 mm. Typ III weist einen dislozierten Bruch mit einer Instabilität im humeroulnaren Gelenk auf (siehe Abb. 6). Zusätzlich wird unterschieden zwischen Typ a (einfach frakturiert) und Typ b (mehrfach frakturiert). (Morrey 1995)

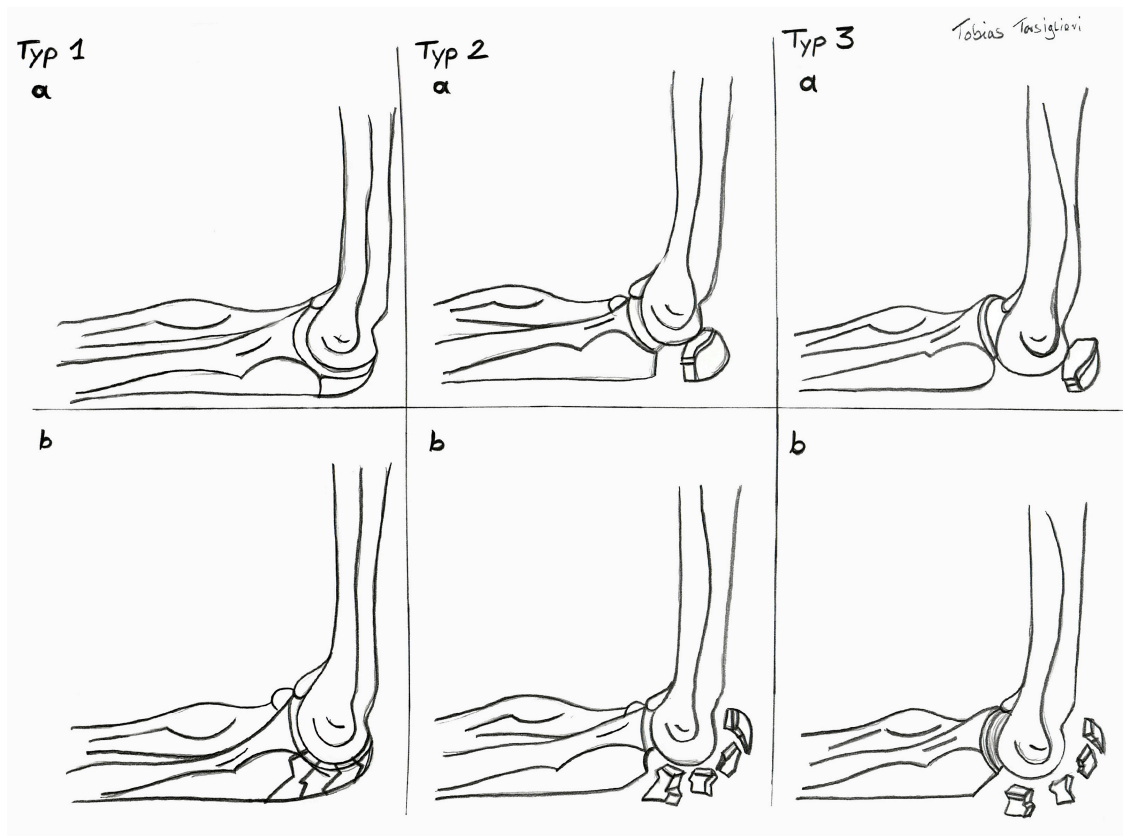


Abbildung 6: Fraktureinteilung nach der Mayo-Klassifikation (Morrey 1995).

1.9.5. Begleitverletzungen der Olekranonfraktur

1.9.5.1. Haut- und Weichteilschaden

Ein nur schmaler Weichteilmantel bedeckt das Olekranon bzw. die proximale Ulna. Ein direktes Trauma führt neben Frakturen nicht selten zu Quetschungen und/oder zu offenen Weichgewebsverletzungen. Die Behandlung einer offenen Fraktur ist ein chirurgischer Notfall. Sie wird nach dem Grad der Weichteil- und der Knochenverletzung eingeteilt. Es soll dabei nicht nur die Fraktur eingeteilt werden, sondern auch auf die drei Hauptbestandteile der Weichteile (Haut, Muskeln und Sehnen sowie Nerven) Bezug genommen werden. (Müller et al. 1992)

Nach Anderson und Gustilo werden vier Gradeinteilungen einer offenen Fraktur unterschieden: Typ I: Durchspießung des Weichteilmantels von innen nach außen, Wunde < 1cm; Typ II: Gewalteinwirkung von außen, Wunde > 1 cm; Typ III: Große Gewalteinwirkung von außen mit Hautverlust, Weichteilquetschung und Muskel-, Sehnen-, Gefäß-, Nervenverletzungen; IIIa: Weichteildeckung vorhanden; IIIb:

Ausgedehnter Weichteilverlust mit freiliegendem Knochen; IIIc: Operationsbedürftige Gefäßverletzung. ^(Gustilo et al. 1984 und 1976)

1.9.6. Diagnostik

Die klinische Untersuchung und die möglichst exakte Darstellung des Unfallhergangs bilden zunächst die Grundlagen der Diagnostik bei Verdacht auf eine Olekranonfraktur. ^(Holdsworth et al. 1984) Im Rahmen der Anamnese werden der Unfallhergang sowie die genauen Beschwerden des Patienten erfragt. Zur klinischen Untersuchung ist das Ellenbogengelenk in Beugung und Streckung zu untersuchen. Der Patient hält das verletzte Gelenk normalerweise in Schonhaltung leicht gebeugt. Inspektorisch ist die Symmetrie des Hueter-Dreiecks zu beachten (Abb. 7).

Bei Palpation des Gelenkes wird in den meisten Fällen eine Delle im Bereich des Olekranons tastbar, verursacht durch den Zug des M. triceps brachii an einem entsprechenden Frakturfragment. Wichtig ist die sorgfältige Untersuchung der peripheren Sensibilität, vor allem des N. ulnaris. Das Beklopfen des Nervens im Sulcus ulnaris kann beim Patienten ein Kribbeln im Versorgungsgebiet des N. ulnaris auslösen und ist ein Zeichen für dessen Kompression (Tinel-Zeichen). ^(Hölzl et al. 2008)

Im Regelfall sind konventionelle Röntgenaufnahmen des Ellenbogengelenkes in zwei Ebenen (im antero-posterioren und im streng seitlichen Strahlengang) zur Beurteilung der Fraktur ausreichend. ^(Hölzl et al. 2008)

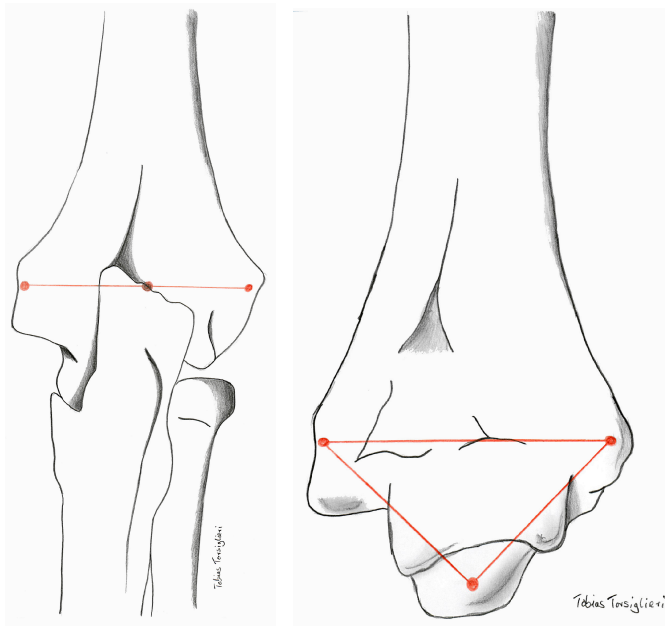


Abbildung 7: Querverlaufende Linie zwischen Olekranonspitze und medialem bzw. lateralem Epikondylus in der Extension und Abbildung des gleitseitigen Dreiecks (Hueter-Dreieck) in der Flexion.

Als indirektes Frakturzeichen dient im Röntgenbild das Fettpolsterzeichen („*fat pad sign*“). Im Bereich der Fossa coronoidea sowie der Fossa olecrani befinden sich Fettpolster, welche im Normalfall auf dem Röntgenbild nicht zu erkennen sind. Durch einen intraartikulären Erguss, in Folge einer Fraktur, werden sie vom Knochen abgehoben und im Röntgenbild als dunkle Dreiecke sichtbar. ^(Hölzl et al. 2008) Neben der Frakturbeurteilung muss auf knöchernen Begleitverletzungen sowie auf die Kongruenz des Ellenbogengelenkes (Subluxations-, oder Luxationsstellungen) geachtet werden.

Eine Computertomographie (CT) ist vor allem bei Luxationsfrakturen sowie bei Zertrümmerung der Gelenkflächen sinnvoll, um das gesamte Verletzungsausmass zu erfassen. ^(Stöckle 2009) Eine Kernspintomographie ist nur in Ausnahmefällen notwendig, um mögliche begleitende Band-, und/oder Kapselverletzungen darzustellen.

1.9.7. Therapieplanung

Die Therapieziele in der Behandlung von Olekranonfrakturen sind die stufenfreie Rekonstruktion der Gelenkfläche sowie die Wiederherstellung der Gelenkstabilität und der Integrität des Streckapparats. Die Therapie sollte eine frühe

physiotherapeutische Nachbehandlung ermöglichen, um posttraumatische Bewegungseinschränkungen bzw. eine Einsteifung des Ellenbogengelenkes zu verhindern.

Ein konservatives Vorgehen ist bei nicht dislozierten Frakturen bzw. Frakturen mit einer Dislokation von $< 2\text{mm}$ sowie bei knöchernen Ausrissen des Trizepssehnenansatzes beschrieben. ^(Veillette et al. 2008) Dafür ist eine ausreichende Stabilität des Ellenbogengelenkes und eine sichere Patientencompliance notwendig. Eine Ruhigstellungsphase von fünf bis sieben Tagen wird empfohlen, wobei das Ellenbogengelenk in einer dorsalen Oberarmgipsschiene in leichter Streckstellung gehalten wird. Regelmäßige klinische und radiologische Verlaufskontrollen sind einzuhalten. Anschließend kann mit Bewegungsübungen (zunächst mit passiv geführter Streckung) begonnen werden. ^(Siebenlist et al. 2011) Eine Beugung des Ellenbogengelenkes $> 90^\circ$ sollte aber für insgesamt sechs Wochen limitiert werden.

In den meisten Fällen einer Olekranonfraktur ist ein operatives Vorgehen indiziert, da es sich um eine intrartikuläre Fraktur handelt, bei der eine anatomische Wiederherstellung der Gelenkfläche zu fordern ist. Die Wahl des Osteosyntheseverfahrens richtet sich schließlich nach dem Frakturausmaß, der Gelenkstabilität, dem Allgemeinzustand des Patienten, den Begleitverletzungen und der Knochenqualität. ^(Rommens et al. 2004)

Frakturen mit einer Fragmentdislokation $> 2\text{ mm}$ oder einer Trümmerfraktur stellen eine klare Operationsindikation dar. Das oberste Ziel operativer Verfahren ist die Stabilisierung des Gelenkes, die Wiederherstellung der Gelenkfläche und die Wiederherstellung der Gelenkachse, um Gelenkinkongruenzen bzw. Gelenkinstabilitäten zu vermeiden. ^(Hözl et al. 2008) Eine persistierende Stufenbildung der Gelenkfläche resultiert in einem vorzeitigen Gelenkverschleiß und konsekutiv in einem unbefriedigenden funktionellen Ergebnis. ^(Akman et al. 2002, Nork et al. 2001) Die operative Stabilisierung hat den Vorteil, dass lange Ruhigstellungszeiten des Ellenbogengelenkes vermieden werden können und frühzeitig mit einer physiotherapeutischen Beübung des Gelenkes begonnen werden kann, sodass Einsteifungen vermieden werden. ^(Nork et al. 2001, Akman et al. 2002)

1.9.8. Lagerung und operativer Zugang

Die Bauchlagerung hat sich vielerorts als Standardlagerung etabliert. Insbesondere bei komplexen Frakturformen ist die Bauchlagerung der Rückenlagerung vorzuziehen. ^(Weigel et al. 2005, Zimmermann et al. 2004) Eine Blutsperrung sollte angelegt sein - ist für den Eingriff aber in der Regel nicht erforderlich. Der Oberarm wird abduziert über einem kurzen Armtisch gelagert, so dass der Unterarm bei 90°- Beugung im Ellenbogengelenk frei herabhängt. ^(Weigel et al. 2005) Der operative Zugang bei Olekranonfrakturen erfolgt median dorsal. Der Hautschnitt wird an der Rückseite des Humerus mittig, knapp oberhalb der Kondylenebene begonnen und umfährt das Olekranon radial. Auf diese Weise kann eine iatrogene Verletzung des N. ulnaris vermieden werden. ^(Eitel et al. 1983) Er wird an der radialen Ulnakante vier bis fünf cm distal der Fraktur weitergeführt. Haut und Subkutis werden vorsichtig nach medial und lateral präpariert. Der N. ulnaris sollte in jedem Fall sicher getastet werden. Im Zweifelsfall muss er dargestellt und angeschlungen werden. ^(Weigel et al. 2005)

1.10. Plattenosteosynthese des Olekranons - Operatives Vorgehen

Bei Mehrfragmentfrakturen, Frakturen mit imprimierter Gelenkfläche und weit distalen Olekranonfrakturen ist die Plattenosteosynthese das Mittel der ersten Wahl. Durch der Plattenosteosynthese besteht die Möglichkeit, einzelne Frakturfragmente separat zu fixieren. In der Literatur wird empfohlen, die Fraktur nach Reposition zunächst mit einer spitzen Repositionszange zu stabilisieren und einzelne Knochenfragmente gegebenenfalls mit Kirschner-Drähten temporär zu fixieren. Impressionen der Gelenkfläche müssen reponiert und gegebenenfalls mit Spongiosa unterfüllt werden. In besonderen Fällen kann eine Fixation der Gelenkfragmente mit Minischrauben notwendig sein. ^(Hölzl et al. 2008) In den vergangenen Jahren wurde eine 3,5-mm-LCDCP oder auch eine Kleinfragment-LCP („locking compression plate“) standardmäßig eingesetzt. Das schrittweise Vorgehen der dorsalen Plattenosteosynthese des Olekranons ist in Abbildung 8 dargestellt.

Sofern die Fraktur des Olekranons sehr weit proximal liegt oder das proximale Fragment sehr klein ist, empfiehlt sich eine zusätzliche Zuggurtung zur Kompensation der Zugkräfte. Sollte der Processus coronoideus ebenfalls frakturiert sein, muss er als wichtigster knöcherner Stabilisator des Ellenbogengelenks zwingend fixiert werden. ^(Morrey et al. 2005) Es ist darauf zu achten, dass die Gelenkfläche

der Incisura trochlearis in ihrer Form nicht verändert wird. (Hölzl et al. 2008)

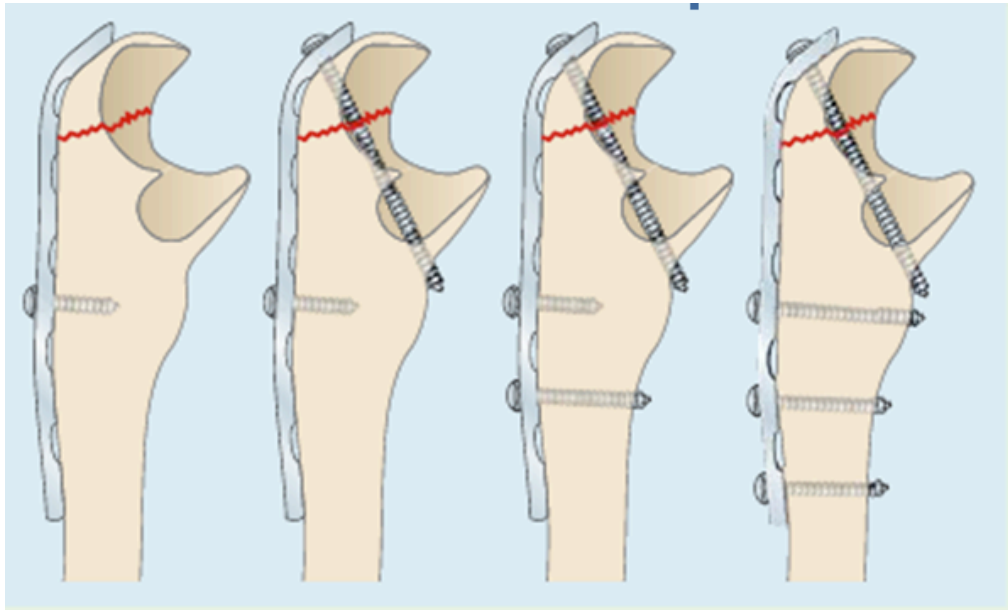


Abbildung 8: Dorsale Plattenosteosynthese mittels Kleinfragment-LC-DCP. 1. Die entsprechend der anterioren Deviation vorgebogene LCDCP wird am Schaft ausgerichtet und temporär mit einer monokortikalen Kleinfragmentschraube fixiert. 2. Die interfragmentäre Schraube wird direkt unterhalb der Gelenkfläche platziert. 3. Zusätzliche Frakturkompression kann durch eine weitere, exzentrisch eingebrachte Schraube, erreicht werden. 4. Die abschließende Fixation der Platte erfolgt schaftseitig durch bikortikal eingebrachte Schrauben. Das proximale Fragment kann mit einer weiteren Schraube zusätzlich gesichert werden (Siebenlist et al. 2011).

1.11. Formen der proximalen Ulnafraktur

1.11.1. Proximale Ulnaschaftfraktur

Eine isolierte Fraktur der proximalen Ulna ist regelhaft das Resultat einer direkten Krafteinwirkung (z. B. direkter Sturz auf den Unterarm oder sogenannte Parierverletzung). Laut Literatur ist bei lediglich 40% der Unterarmschaftfrakturen nur ein Knochen (Radius oder Ulna) beteiligt. Das proximale Drittel ist davon in 20% der Fälle betroffen.

Zum Ausschluss knöcherner Begleitverletzungen sollte in der radiologischen Diagnostik der komplette Unterarm in zwei Ebenen mit den angrenzenden Gelenken dargestellt werden. Bei höhergradigen Gelenkverletzungen ist eine Computertomografie indiziert. (Ruchholtz et al. 2010)

Im Erwachsenenalter ist die dorsale Plattenosteosynthese die Standardtherapie. Der operative Zugang erfolgt in Rückenlagerung des Patienten über eine gedachte Linie zwischen Olekranon und Processus styloideus ulnae (palpable Ulnakante). Die Plattenosteosynthese sollte mittels LC-DCP oder LCP, nach Möglichkeit mit interfragmentärer Kompression, erfolgen. Mindestens drei Kortikalisschrauben bzw. winkelstabile Schrauben sollten pro Hauptfragment eingebracht werden. (Ruchholtz et al. 2010)

1.11.2. Monteggiafraktur und Monteggia-Äquivalentverletzung

1.11.2.1. Ätiologie und Pathomechanismus

Die Monteggia-Verletzung wird definiert als eine Ulnaschaftfraktur im proximalen Drittel in Kombination mit einer Luxation im proximalen Radioulnargelenk (Erstbeschreiber Giovanni Batista Monteggia). (Monteggia 1814) Monteggia-Frakturen treten in bis zu 5% der Frakturen des proximalen Unterarms auf.

Der Begriff „Monteggia-like-lesion“ (Monteggia-Äquivalentverletzung) beschreibt die Kombinationsverletzung aus proximaler Ulnafraktur mit oder ohne Beteiligung des Proc. coronoideus und begleitender Radiushals, und/oder Radiusköpfchenfraktur. Bei ungenügender Therapie können Monteggia-Verletzungen mit einer erheblichen Funktionsstörung des Ellenbogens einhergehen. (Korner et al. 2004) Durch ein direktes Trauma des Ulnaschaftes führt die auf die proximale Ulna einwirkende Kraft zu einer Luxation des Radiusköpfchens und/oder zum Bruch des proximalen Radiuschaftes. Auch ein indirektes Trauma durch Sturz auf den gebeugten oder ausgestreckten Arm kann ursächlich für die Verletzung sein. Bei einem Sturz auf die Hand bei 90°-flektiertem Ellenbogen kommt es durch einen Hyperpronationsmechanismus zur Ventralluxation des Radiusköpfchens, gefolgt von einer Fraktur der Ulna. (Siebenlist et al. 2011)

1.11.2.2. Frakturklassifikation

1967 klassifizierte J. L. Bado die Monteggia-Verletzungen entsprechend der Luxationsrichtung des Radiusköpfchens und der vorliegenden Angulation der Ulnafraktur (Abb. 9). (Bado et al. 1967)

Posteriore Monteggia- Verletzungen vom Typ II nach Bado werden nach Jupiter et al. in 4 weitere Subtypen in Abhängigkeit von Lokalisation und Komplexität der Ulnafraktur klassifiziert (Abb. 10). ^(Jupiter et al. 1991)

Bei vorliegender Monteggia-like-Lesion erfolgt die Einteilung der begleitenden Radiusköpfchenfrakturen üblicherweise nach der Mason-Klassifikation: ^(Mason et al. 1954)

- Mason Typ 1: nicht oder nur minimal dislozierte Radiuskopffraktur mit einer Stufe unter 2 mm
- Mason Typ 2: Dislozierte Fraktur mit einer Stufenbildung von mehr als 2 mm oder Abkipfung < 30 Grad
- Mason Typ 3: Radiuskopffraktur mit mehr als 2 Fragmenten oder Abkipfung > 30 Grad
- Mason Typ 4: Radiuskopffraktur in Kombination mit einer Ellenbogenluxation

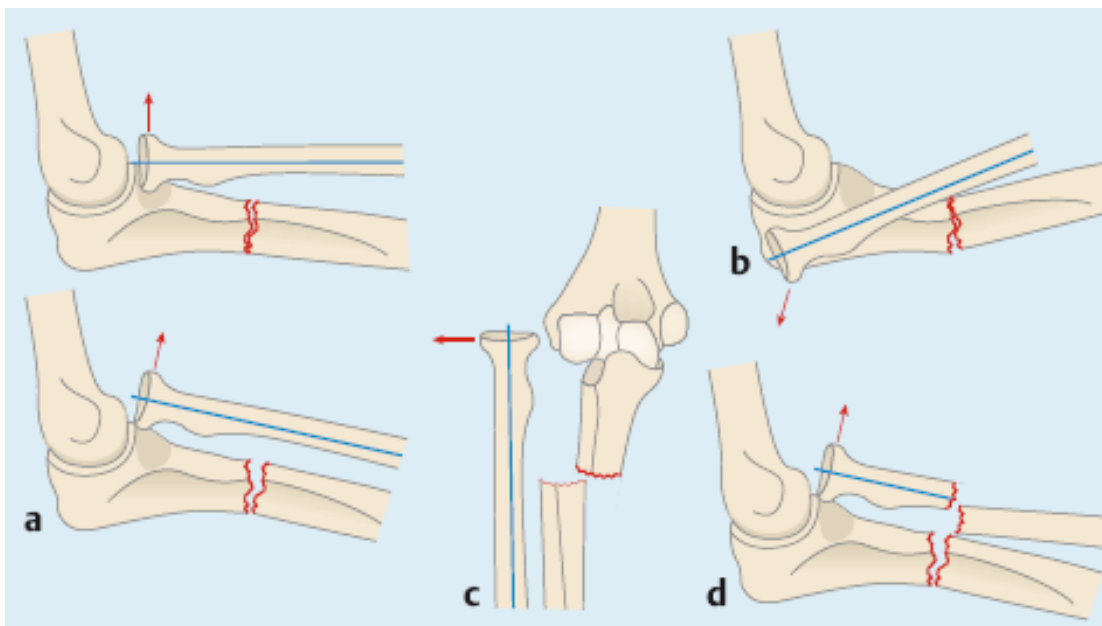


Abbildung 9: Klassifikation der Monteggia-Frakturen nach Bado. a Typ-I-Verletzung: anteriore Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach anterior. b Typ-II-Verletzung: posteriore Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach posterior. c Typ-III-Verletzung: anterolaterale Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach lateral. d Typ-IV-Verletzung: Radiuschaftfraktur mit anteriorer Luxation, Angulation der Ulnafraktur nach anterior (Siebenlist et al. 2011).

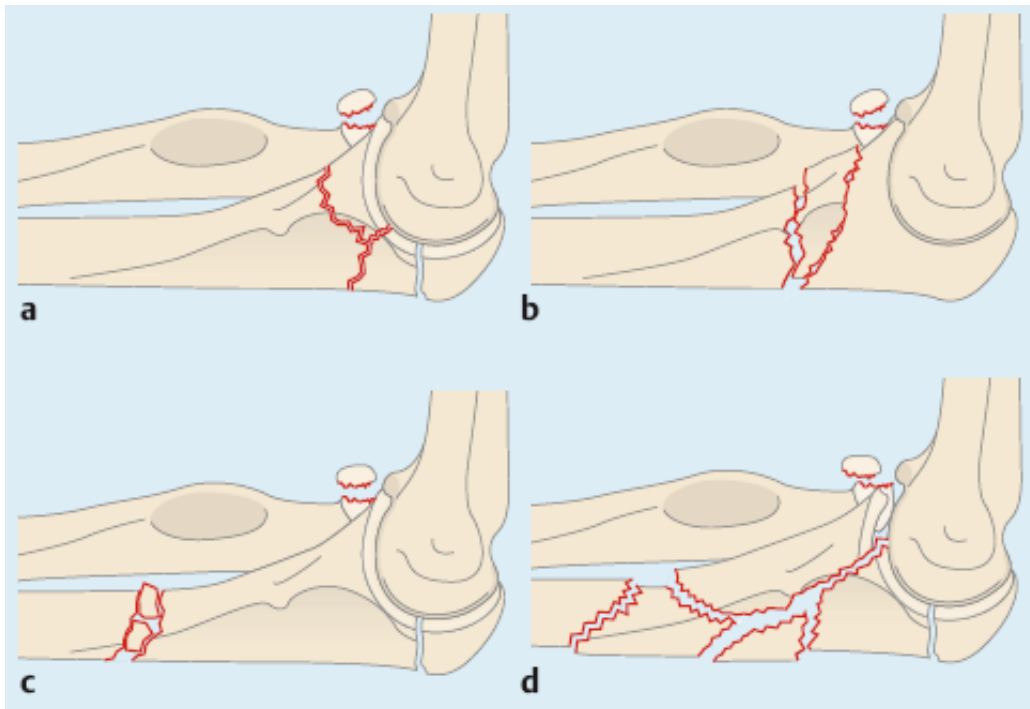


Abbildung 10: Subklassifikation der Typ-II-Verletzung nach Jupiter. a Typ IIA: Fraktur im Bereich des Proc.coronoideus. b Typ IIB: Fraktur distal des Proc. coronoideus. c Typ IIC: Fraktur im Schaftbereich der Ulna. d Typ IID: Trümmerfraktur im proximalen Drittel der Ulna (Siebenlist et al. 2011).

1.11.2.3. Diagnostik und präoperative Planung

Der Patient hält den verletzten Arm typischerweise in leicht gebeugter Stellung und fixiert den Ellenbogen am Körper. Nicht selten finden sich eine massive Weichteilschwellung und ein verkürzter Unterarm. Die Überprüfung der Sensomotorik und der Gefäßversorgung ist obligat, da es durch die Dislokation zu erheblichen Weichteilschäden bis hin zum Kompartmentsyndrom kommen kann.

Die konventionelle Röntgendiagnostik in zwei Ebenen gibt Überblick über das Verletzungsmaß und dient zur Beurteilung der korrekten Zuordnung der Gelenkkomponenten zueinander. Hilfreich ist die sogenannte Stoeren-Linie (Radiusschaft - Capitulum - Achse): eine durch den Radiusschaft und das Zentrum des Radiusköpfchens gelegte Linie muss sich in allen Ebenen auf das Capitulum humeri zentrieren lassen. Dazu sind eine exakte a.-p. und seitliche Projektion des Ellenbogengelenks notwendig. Bei begleitender Radiuskopffraktur (Monteggia-Äquivalentverletzung) kann eine Radiuskopfzielaufnahme notwendig sein, um dislozierte Frakturen besser einzuschätzen. Eine zusätzliche CT-Untersuchung kann hilfreich sein. (Nowak et al. 2012) Eine CT-Untersuchung ist v. a. bei mehrfragmentären

Frakturen des Radiusköpfchens und/oder einer fraglichen Beteiligung des Processus coronoideus indiziert, um das Ausmaß der knöchernen Verletzungen darzustellen.

1.11.2.4. Therapiekonzepte und operatives Vorgehen

Da es sich bei Monteggia-Verletzungen definitionsgemäß um Luxationsfrakturen handelt, sollte eine zeitnahe Versorgung angestrebt werden. Nicht selten handelt es sich um offene Verletzungen, die eine notfallmäßige Intervention notwendig machen. Die Wiederherstellung der proximalen Ulna in Länge, Achse und Rotation ist von entscheidender Bedeutung, um eine korrekte Reposition des Radiusköpfchens zu ermöglichen. (Rüdi et al. 2000, Schmit-Neuerburg et al. 2002)

Der Patient wird in Bauchlage gelagert. Der Zugang erfolgt von dorsal. Für die Osteosynthese einer einfachen Ulnaschaftfraktur (Übergang proximales zu mittlerem Drittel ohne Gelenkbeteiligung) ist die Plattenosteosynthese mit einer Kleinfragment-LC-DCP oder LCP in der Regel ausreichend. Die Rekonstruktion komplexer, mehrfragmentärer proximaler Ulnafrakturen mit oder ohne Beteiligung der Incisura trochlearis (Typ IIa und IIb nach Jupiter) entspricht dem Versorgungsprinzip mehrfragmentärer Olekranonfrakturen (siehe Kapitel Plattenosteosynthese des Olekranons - Operatives Vorgehen). (Ring et al. 2004)

Die Versorgung einer begleitenden Radiusköpfchenfraktur kann entweder von dorsal durch die Fraktur der proximalen Ulna bzw. über einen erweiterten dorsolateralen oder einen zweiten lateralen Zugang erfolgen. Das therapeutische Vorgehen entspricht dem einer isolierten Radiuskopf- oder Radiusköpfchenfraktur. Einfache oder nur minimal dislozierte, stabile Radiusköpfchenfrakturen (Typ I und II nach Mason) können konservativ behandelt werden. Mehrfragmentfrakturen und dislozierte Frakturen (Typ III nach Mason) sowie Radiushalsfrakturen sollten generell mittels Schrauben und/oder Plattenosteosynthese stabilisiert werden. Kann das Radiusköpfchen nicht rekonstruiert werden, ist - bei bestehender Gelenkinstabilität - die Implantation einer Radiusköpfchenprothese indiziert. Die alleinige Resektion des Radiusköpfchens kann zu einer persistierenden Instabilität führen und sollte nur bei geriatrischen Patienten mit einem sehr geringen funktionellen Anspruch in Betracht gezogen werden. (Tashjian et al. 2006) Stellt sich nach der Rekonstruktion der Ulnafraktur der Radiuskopf nicht zentriert im Humeroradialgelenk ein, ist entweder die Reposition der Ulnaschaftachse nicht anatomisch oder es behindern interponierte Weichteile die Reposition (z. B. Kapselanteile oder das Lig. annulare radii). Über den erweiterten

dorsalen Zugang muss dann das Repositionshindernis beseitigt werden. Ist der Processus coronoideus mitfrakturiert, muss dieser entsprechend seiner Fragmentgröße und der daraus resultierenden translatorischen Instabilität des gesamten Gelenkes, wenn möglich, durch die dorsale Plattenosteosynthese adressiert werden. Gegebenenfalls muss mit Hilfe von freien Schrauben das Koronoid anatomisch refixiert werden.

Ist eine zeitnahe operative Versorgung nicht möglich, sollte durch Zug an der supinierten Hand und gleichzeitigen Druck auf den proximalen Radius eine geschlossene Reposition durchgeführt werden. Ist die Reposition im Gips nicht stabil, muss eine Fixateur-externe-Anlage erfolgen. (Siebenlist et al. 2011)

1.12. Die Plattenosteosynthese: Verfahrensentwicklung und Implantatsysteme

1.12.1. Dynamische Kompressionsplatte (DCP)

Die ersten Platten, die sich einer axialen interfragmentären Kompression bedienen, entwickelte Danis im Jahr 1947. Im Jahr 1969 wurde die Dynamische Kompressionsplatte (Dynamic Compression Plate, DCP) eingeführt. Dieses System verbindet eine konische Schraubenkopfunterfläche mit einer sphärischen Aushöhlung am Rand des Plattenlochs, welche das Gleiten des Schraubenkopfs ermöglicht. (Wagner et al. 2000) Die Schraubenlöcher der DCP sind zylinderförmig, sodass es beim Einbringen einer am Lochrand angesetzten Schraube zu einer Verschiebung der Platte gegenüber dem Fragment kommt und eine axiale Kompression der Fragmente resultiert. Durch den Kompressionsmodus sollte die Fraktur reponiert, komprimiert und eine primäre Knochenheilung angestrebt werden. (Schütz et al. 2003) Die entsprechende Positionierung der Schraube erfolgt mittels spezieller Bohrbüchsen. (Delfs – Frakturlehre und Osteosynthese) Mit der Anwendung der Kompressionsplattenfixation wird ein hoher Druck unter der Platte verursacht. Konventionelle dynamische Kompressionsplatten (DCPs) weisen eine plane Unterfläche auf. In verschiedenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass durch den Anpressdruck dieser Platten periostale Zirkulationsstörungen entstehen können. (Farouk et al. 1999 und 1998, Gautier et al. 1994)

1.12.2. Limited contact dynamic compression plate (LC-DCP)

Um eine Schonung durch geringere Auflagefläche und eine weichteilschonendere Operationsmethode zu erreichen, wurde die Limited Contact Dynamic Compression Plate (LC-DCP) entwickelt (Abb. 11). ^(Delfs – Die Geschichte der Osteosynthese) Die im Jahr 1981 vorgestellte LC-DCP weist infolge halbmondförmiger Aussparungen an der Plattenunterseite eine um 50% reduzierte Kontaktfläche mit dem Knochen auf. Ihre Unterseite ist strukturiert, um eine verbesserte Blutversorgung des darunter liegenden Knochens auch unter Kallusbildung zu erlauben. Durch die verbesserte Blutversorgung wird der Entstehung einer Osteoporose vorgebeugt und die Stabilität des Frakturbereichs ist bereits Monate postoperativ höher als bei Verwendung herkömmlicher Platten. ^(Delfs – Die Geschichte der Osteosynthese) Eine weitere Neuerung betrifft die Form der Dynamischen Kompressionseinheit (Dynamic Compression Unit, DCU), die ein Gefälle nach beiden Seiten des Plattenlochs zum Zentrum hin aufweist. Dies erlaubt die axiale Kompression in beide Richtungen, sodass die Plattenmitte nicht über der Frakturzone liegen kommen, wie es bei der DCP der Fall ist. Es wird eine verbesserte Anpassungsfähigkeit bei der Frakturstabilisierung ermöglicht. ^(Delfs – Die Geschichte der Osteosynthese) Die Schraubenlöcher sind so geformt, dass eine Schraubenneigung möglich ist. Auch die LC-DCP ist auf das konventionelle Osteosyntheseprinzip, das die Fixation durch ein Anpressen der Platte an den Knochen erreicht und eine absolute Stabilität zum Ziel hat, ausgerichtet. Trotz verbesserter Schonung durch die verringerte Auflagefläche führt ihre Anwendung infolge der maximal nötigen Kompression immer noch zu Reibungskräften zwischen Platte und Periost. ^(Gautier et al. 1994)



Abbildung 11: Vergleich der DCP mit der LC-DCP. Synthes 2003.

1.13. Biologische Plattenosteosynthese – Fixateur interne

Neben dem primären und sekundären Repositionsverlust besteht als wesentliches Risiko der Anwendung konventioneller Plattenosteosynthesen die Schädigung der Blutversorgung des Knochens und somit das Risiko einer Knochenheilungsstörung. Diese Risiken und Nachteile der konventionellen Plattenosteosynthese führten dazu, dass das Streben nach absoluter Stabilität und perfekter anatomischer Reposition in den Hintergrund trat. ^(Schatzker 1995) Die sogenannte biologische Plattenosteosynthese beinhaltet die geschlossene, indirekte oder falls notwendig offene, weniger invasive Reposition der Fragmente. ^(Schütz et al. 2003, Gautier et al. 1994) Das konventionelle Prinzip des Anpressens der Platten an den Knochen wird durch die winkelstabile Verbindung zwischen dem Schraubenkopf und der Platte als Kraftträger ersetzt. Das Prinzip der winkelstabilen Osteosynthese beruht darauf, über eine exakte Fixierung des Schraubenkopfes in der Platte eine winkelstabile Anordnung zu erhalten. Somit wird ein Verschieben auf der knöchernen Auflage verhindert. Insbesondere die durch Reibungskräfte entstehenden Komplikationen werden minimiert. Das besondere Prinzip der Periostschonung wird durch Schraubenköpfe gewährleistet, die in der Platte durch ein Gewinde geführt werden und somit fest (d. h. winkelstabil) verbunden sind. Das Gewinde des Schraubenkopfes und Schraubenschaftes unterscheiden sich in ihrer Steigung. Sobald das Gewinde am Schraubenkopf im Gegengewinde der Platte greift, hebt sich die Platte von der knöchernen Unterlage ab. Ein definierter Abstand zum Knochen und die minimal nötige Auflagefläche zwischen Platte und Knochen wird erreicht. Das Prinzip ähnelt somit dem des Fixateur externe. Da die Implantate jedoch unter der Hautoberfläche zu liegen kommen, wird von einem „Fixateur interne“ gesprochen. ^(Schütz et al. 2003) Die „Überbrückungs-Plattenosteosynthese“ mit einem verriegelten Implantat zielt auf eine relative Stabilität ab. Aufgrund der verbleibenden Elastizität im Bereich der Frakturzone soll die sekundäre Kallusbildung gefördert werden. ^(Perren et al. 2003, Egol et al. 2004) Im Verlauf einer Heilungskaskade – mit den Zwischenschritten interfragmentäres Hämatom, Granulationsgewebe, faseriges Bindegewebe, Faserknorpel, Geflechtknochen und schließlich Remodellierung zu lamellärem Knochen – kommt es zur Bildung von immer rigiderem Gewebe, das die Bewegungsfähigkeit des Frakturspalts und somit die Spannung vermindert. ^(Perren et al. 2002)

Weitere Neuentwicklungen, wie das LISS-System (*Less Invasive Skeletal Stabilization System*), wurden ursprünglich für Frakturen des distalen Femurs und der proximalen Tibia entwickelt. ^(Cole et al. 2003) Bei den als eine Einheit fungierenden winkelstabilen Implantaten beruht die Stabilität auf der Summe aller Schrauben-Knochen-Kontaktflächen. Somit muss hier bei Implantatversagen ein simultaner Auszug aller Schrauben erfolgen. ^(Kim et al. 2007)

Die Gefahr des primären Repositionsverlustes wird durch das bei winkelstabilen Implantaten nicht mehr notwendige Anpressen und Vorkonturieren der Platte umgangen. ^(Wagner 2003) Auch das Risiko des sekundären Repositionsverlusts wird reduziert, da die Fixierung durch das Kopfgewinde dem Abgleiten oder postoperativen Abkippen der Schrauben entgegenwirkt. ^(Wagner 2003) Das Entfallen des Anpressdrucks sichert zudem die Blutzirkulation unter der Platte. ^(Wagner et al. 2000)

1.13.1. Locking compression plate (LCP)

Bei der LCP (*Locking Compression Plate*) handelt es sich weniger um eine neue Platte als vielmehr um ein neues Platten-Schrauben-System (Abb. 12). ^(Wagner et al. 2000)

Bei diesem Implantat werden die axiale dynamische Kompression und Winkelstabilität in einer Platte vereint. Das Plattenlochdesign ist sowohl kompatibel mit der konventionellen DCP-Technik und ihren Schrauben als auch mit Kopfverriegelungsschrauben. Das speziell dafür entwickelte Kombinationsloch weist eine schlüssellochartige Form auf und besteht aus einer dynamischen Kompressionseinheit, die zum Plattenende hin positioniert ist, und einem konischen Doppelgewinde, das auf der zur Plattenmitte hinweisenden Schraubenlochhälfte liegt. Der Gewindepert des Plattenlochs umfasst das Gewinde des Schraubenkopfs nur zu 200° bis 240°. ^(Schweiberer 1982) Biomechanische Untersuchungen und Finite-Element-Analysen zeigen, dass der Umfang dieses Gewindes eine im Vergleich zum 360°-Gewinde zwar geringere, aber dennoch zufriedenstellende Stabilität aufweist, da die Platte das „schwächste Glied“ darstellt. ^(Wagner et al. 2000) Dabei liegt der schwächste Punkt der Platte im Bereich des DCU-Parts des Kombinationslochs. Dies bringt den Vorteil, dass im Fall der Biegung der Platte das Gewinde geschützt bleibt. ^(Frigg 2003)



Abbildung 12: LCP-System, A: Gewindeträger Teil für Verriegelungsschrauben, B: DCU-Teil für Standardschrauben, C: Verriegelungsschraube im gewindeträger Teil des Kombilochs, D: Kortikalisschraube im DCU-Teil des Kombilochs, E: Kombirundloch am Ende des Plattenschafts für Kortikalisschrauben oder Verriegelungsschrauben. (Synthes Anwenderbroschüre)

Die LCP kann als Multifunktionsplatte, je nach Fraktursituation als Kompressionsplatte oder als verriegelter Fixateur interne eingesetzt werden (Abb. 13).^(Wagner et al. 2000, Frigg 2003) Die Kombination von axialer Kompressions- und Überbrückungstechnik ist ebenfalls möglich. Sie ist unter bestimmten Bedingungen, wie bspw. einer artikulären Fraktur mit gleichzeitiger Trümmerfraktur in der Meta- oder Diaphyse, oder bei Frakturen mit zwei unterschiedlichen Frakturmustern innerhalb eines Knochens indiziert. Dabei wird dann eine Frakturzone durch Kompression und eine andere mit Überbrückung versorgt. Für eine Frakturzone sollte jedoch nur ein biomechanisches Prinzip Anwendung finden.^(Wagner 2003)

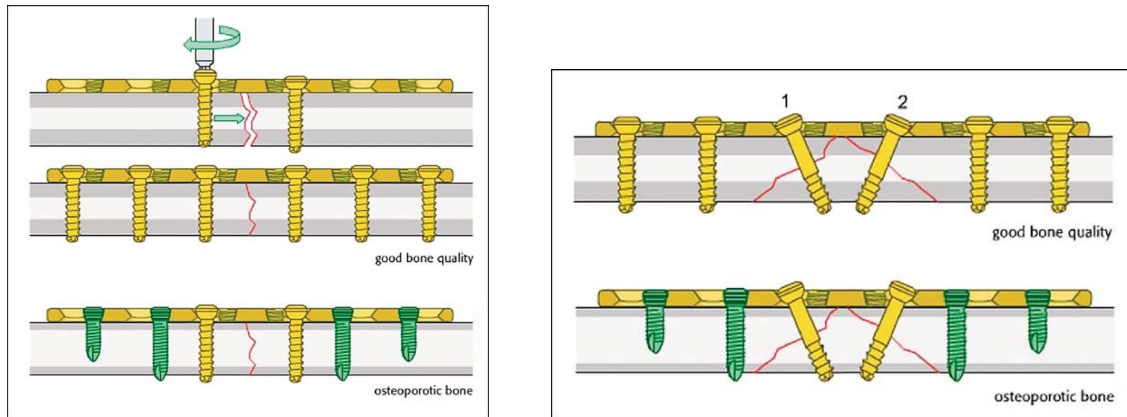


Abbildung 13: Links - LCP als konventionelle Kompressionsplatte (oben) und im Hybrid-Gebrauch an osteoporotischem Knochen (unten).; Rechts - LCP als konventionell besetzte Neutralisationsplatte in Knochen guter Qualität (oben) und im Hybrid-Gebrauch an osteoporotischem Knochen (unten). (Wagner 2003)

Wenn eine interfragmentäre Kompression durch eine in die Platte integrierte Zugschraube ausgeübt wird, können die restlichen Plattenlöcher je nach Gegebenheiten durch Kortikalis- oder auch Kopfverriegelungsschrauben besetzt werden. (Wagner et al. 2000) Die LCP überträgt in diesem Fall selbst keine axialen Kompressionskräfte auf die Frakturzone und dient somit als Neutralisationsplatte. Die Abstützplatte überträgt die einwirkenden Kräfte vom einen zum anderen Hauptfragment und sichert dazwischen liegende kleine Fragmente, die nicht durch Zugschrauben fixiert werden können, ab. Ein Hybrid-Gebrauch der Schrauben ist möglich. (Wagner 2003)

Die LCP ermöglicht nun die intraoperative Entscheidung, ob eine konventionelle oder eine biologische Osteosynthese durchgeführt wird und erlaubt sogar die Kombination der beiden Methoden. (Frigg 2003) Je nach Größe des Frakturspalts sind unterschiedliche biomechanische Gegebenheiten zu beachten. (Stoffel et al. 2003) Während bei der interfragmentären Kompression die größte Kraft auf die am Plattenende liegenden Schrauben wirkt, werden bei der Überbrückung die der Frakturzone nahe gelegenen Schrauben dem größten Stress ausgesetzt. Stoffel et al. empfehlen, für Trümmerfrakturen zwei Schrauben in jedem Fragment möglichst nahe am Frakturspalt zu setzen, eine möglichst lange Platte zu verwenden und die Distanz zwischen Platte und Knochen klein zu halten. (Stoffel et al. 2003) Bei einfachen Frakturen sollten hingegen die der Frakturzone am nächsten gelegenen Schraubenlöcher leer gelassen werden, damit ein Kontakt der Fragmente ermöglicht und der Stress auf die zentral gelegenen Schrauben reduziert wird. (Stoffel et al. 2003)

Verschiedene Schraubentypen, wie konventionelle Spongiosa- und

Kortikalisschrauben oder selbstschneidende und selbstbohrende/selbstschneidende Kopfverriegelungsschrauben, können mit einer LCP eingesetzt werden. Bei den Kopfverriegelungsschrauben ist der Winkel, mit dem die Schraube in den Knochen eintritt, durch das Plattengewinde vorgegeben. (Gautier et al. 2003) Die Konfiguration des DCU-Anteils des Schraubenlochs der LCP lässt eine Winkelung von nicht verriegelten Schrauben bis zu 50° zur Längsachse und bis zu 14° zur Transversalen zu. (Synthes 2003) Diese Winkelung ermöglicht den Einsatz einer Zugschraube oder die Rekonstruktion in Gelenknähe. Selbstbohrende/selbstschneidende Schrauben sollten aufgrund ihrer scharfen, schneidenden und weit herausragenden Spitze nur als monokortikale Schrauben genutzt werden, da andernfalls die Gefahr der neurovaskulären Schädigung in der Nachbarschaft der gegenüberliegenden Kortikalis besteht. (Gautier et al. 2003) Die gleichzeitige Verwendung von Kopfverriegelungsschrauben und konventionellen Schrauben zur Steigerung der Stabilität der Fixation nennt man Hybrid-Gebrauch. Dieser ist bei schlechter Knochenqualität und damit verbundener schwacher Verankerung der Schrauben empfehlenswert. Die Stabilität kann anschließend mit Hilfe von Kopfverriegelungsschrauben gesichert werden. Zu beachten ist, dass nach Einsatz von Kopfverriegelungsschrauben keine konventionellen Schrauben mehr platziert werden dürfen, da es sonst zu starker Stresseinwirkung auf die Kopfverriegelungsschrauben kommt. (Wagner et al. 2003)

1.14. Das LCP Olekranon - System

Als Alternative zu konventionellen Platten (LC-DCP) oder Standard-LCP stehen nun seit einigen Jahren auch der Anatomie des Olekranons bzw. der proximalen Ulna angepasste, winkelstabile Implantate zur Verfügung (LCP-Olekranon, Fa. Synthes, Umkirch, Germany).

Dieses unidirektional, winkelstabile Plattensystem ist dem Ellenhaken und dem Varusschwung der Ulna angepasst und zeichnet sich durch einen verbreiterten und abgeflachten Plattenanteil im Bereich des Olekranons aus (Abb. 14). Der proximale, löffelartige Teil der Platte ist dünner als der Schaftanteil („low-profile Design“). In der Herstellerinformationen wird durch die Passform des Implantates ein hoher Tragekomfort für den Patienten beschrieben. Aufgrund der anatomischen Präformierung der Platte ist ein Anbiegen des Implantates an den Knochen nicht

mehr nötig. Außerdem gewährleistet dieses Plattensystem laut Hersteller eine stabile Frakturfixation bei minimaler Beeinträchtigung der Gefäßversorgung. Durch die winkelstabile Verankerung können die Schrauben sowohl monokortikal als auch bikortikal eingebracht werden.

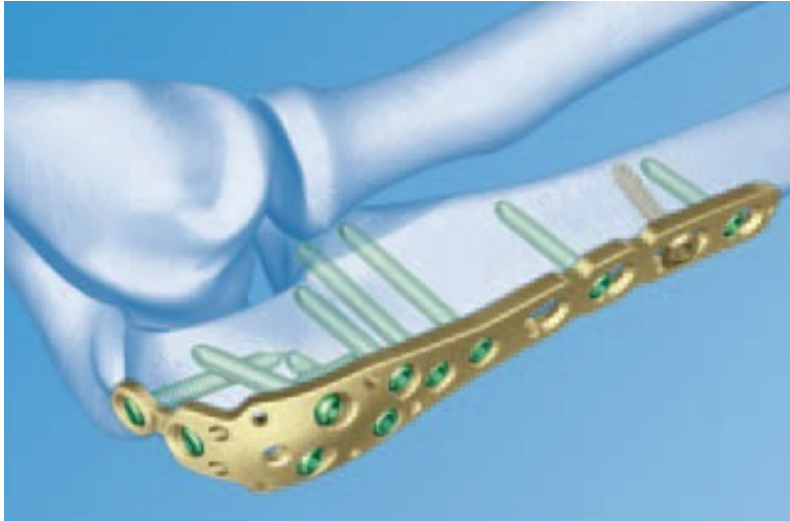


Abbildung 14: Anatomisch präformierte LCP-Olekranonplatte (Fa. Synthes, Umkirch, Germany).

Typische Kombinationslöcher erlauben zudem die primäre Fixation mit Kortikalisschrauben im DCU-Teil (Dynamic Compression Unit), um Kompressionseffekte zu erreichen.

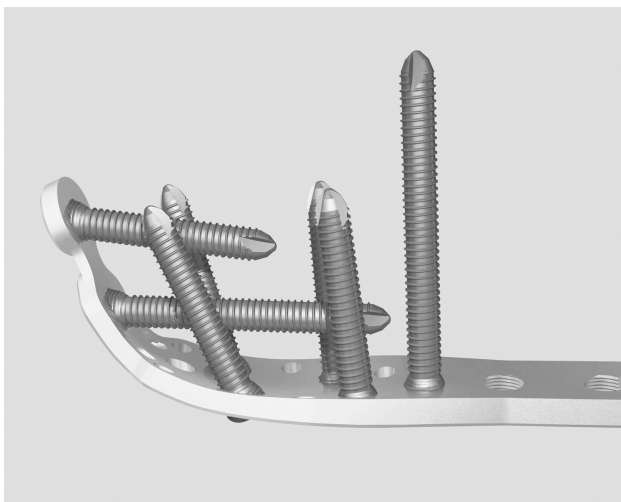


Abbildung 15: LCP-Olekranonplatte – variable, winkelstabile Schraubenpositionierung für den proximalen Olekranonbereich (Fa. Synthes, Umkirch, Germany).

Das LCP Olekranon - System ist sowohl für rechts als auch für links in Längen bis zu zwölf Kombinationslöchern erhältlich und bietet durch die flächige Verbreiterung im proximalen Anteil eine große Variabilität der Schraubenpositionierung (mehrrichtig)

zur Versorgung komplexer, mehrfragmentärer Frakturen (Abb. 15). Die Platten und Schrauben sind aus Titan hergestellt, dies hat sich hinsichtlich Biokompatibilität und enossaler Integration bewährt. ^(Lindgren et al. 2009)

2. Material und Methoden

2.1. Patientengut: Ein- und Ausschlusskriterien

In der Abteilung für Unfallchirurgie des Klinikums rechts der Isar wurden im Zeitraum von 02/2007 bis 06/2010 insgesamt 100 Patienten aufgrund einer diagnostizierten Olekranon- bzw. proximalen Ulnafraktur behandelt. Bei sieben Patienten wurde eine konservative Therapie durchgeführt. Insgesamt 29 Patienten wurden mittels Zuggurtungsosteosynthese operativ versorgt.

Die übrigen 64 Patienten wurden mittels dorsaler Plattenosteosynthese operativ behandelt und als potentiell Nachuntersuchungskollektiv herangezogen. Dieses Kollektiv wurde in ein Studienkollektiv (Patienten, die mittels LCP-Olekranonplatte versorgt wurden) und ein Vergleichskollektiv (Patienten, die mit anderen Plattensystemen operativ versorgt wurden) eingeteilt.

Für die Teilnahme an der Nachuntersuchung wurden für beide Kollektive folgende Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt:

Einschlusskriterien:

- Männliche und weibliche Patienten, die mittels dorsaler Plattenosteosynthese des Olekranons bzw. der proximalen Ulna operativ behandelt wurden
- geschlossene und offene Frakturen
- primäre und sekundäre dorsale Plattenosteosynthese
- mindestens 6 Monate postoperatives Follow-up
- Mindestalter 16 Jahre bzw. geschlossene Wachstumsfugen
-

Ausschlusskriterien:

- Bekannte Arthrose des Ellenbogengelenkes
- Pathologische Fraktur
- Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises in der Anamnese

- Vorbekannte oder begleitende Gefäß- oder Nervenverletzungen
- Entzündliche Grunderkrankungen wie: Sepsis, Meningitis, HIV, Hepatitiden etc.
- Neurologisch-psychiatrische Grunderkrankungen
- Alter > 85 Jahre

Anhand der vorliegenden Krankenunterlagen konnten nach oben genannten Kriterien 57 Patienten als potentielle Teilnehmer in die Untersuchung eingeschlossen werden. Insgesamt 29 Patienten wurden mittels LCP-Olekranon behandelt (Studienkollektiv), 28 mit konventionellen Plattensystemen (Vergleichskollektiv). Diese Patienten wurden telefonisch, sowie in Einzelfällen postalisch, zu einer Nachuntersuchung eingeladen.

Für das Studienkollektiv konnten schließlich 23 Patienten (80%) für die Nachuntersuchung gewonnen werden. Ein Patient befand sich in einem zu schlechten Allgemeinzustand, zwei Patienten konnten nicht erreicht werden, zwei Patienten waren verzogen und ein weiterer Patient lehnte eine Nachuntersuchung ab.

Im Vergleichskollektiv wiesen acht Patienten einen zu schlechten Allgemeinzustand auf bzw. konnten aufgrund eingeschränkter Mobilität nicht an einer Untersuchung teilnehmen, sechs Patienten waren verzogen bzw. lebten im Ausland und fünf Patienten lehnten eine Nachuntersuchung ab. Im Vergleichskollektiv standen somit neun Patienten (32%) für die Nachuntersuchung zur Verfügung.

Hinsichtlich der Evaluation der Implantatverträglichkeit wurden zusätzlich insgesamt neun Patienten (31%) nachuntersucht, die mittels Zuggurtungsosteosynthese (n=29) behandelt wurden. In diesem Kollektiv lehnte die Mehrzahl der Patienten eine Nachuntersuchung bei vielfach bereits erfolgter Materialentfernung und/oder berichteter vollständiger Beschwerdefreiheit ab.

In die vorliegende Untersuchung konnten somit insgesamt 41 Patienten (24 Frauen und 17 Männer) im Alter zwischen 16 und 80 Jahren eingeschlossen werden. Jeder Patient wurde vor Beginn der Nachuntersuchung über Sinn und Zweck sowie den

Ablauf der Untersuchung ausführlich aufgeklärt. Alle Patienten willigten in die Untersuchung ein. Zur Datenerfassung wurde ein Erhebungsbogen erstellt und alle relevanten Daten jedes Patienten dokumentiert. Dieser Erhebungsbogen umfasste sowohl die Daten der Krankenakten, die Auswertung der vorhandenen Röntgenbilder als auch die Daten, die im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung erhoben wurden. Alle erhobenen Daten wurden anonymisiert behandelt.

2.2. Allgemeine demographische Daten: Alter und Geschlechtsverteilung

Im Studienkollektiv wurden insgesamt 15 Frauen (65%) und acht Männer (35%) mit einer LCP-Olekranonplatte versorgt. Das durchschnittliche Alter dieser Patienten betrug zum Unfallzeitpunkt $54 \pm 19,2$ Jahre (39 ± 14 Jahre bei den Männern, $61 \pm 17,5$ Jahre bei den Frauen) (Abb. 16).

Das Vergleichskollektiv bestand zu 66% aus weiblichen Patienten ($n=6$) und zu 33% aus männlichen Patienten ($n=3$). Das durchschnittliche Alter betrug 48 ± 18 Jahre (29 ± 8 bei den Männern, $57 \pm 13,3$ bei den Frauen).

Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kollektiven bestand nicht (Alter: $p=0.47$; Geschlechtsverteilung: $p=0.76$).

In der Zuggurtungsosteosynthese-Gruppe waren 3 Frauen (33%) und 6 Männer (66%). Das durchschnittliche Alter betrug $40 \pm 14,7$ Jahre ($40 \pm 16,2$ bei den Männern, $39 \pm 14,4$ bei den Frauen).

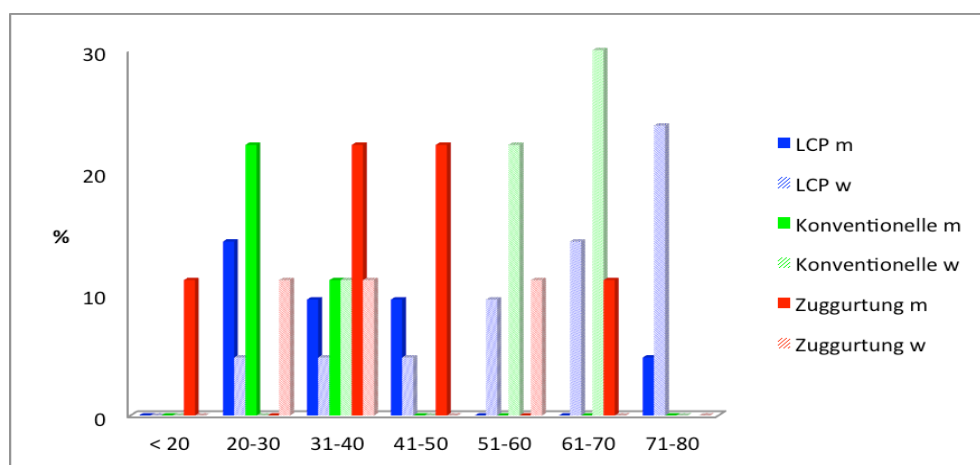


Abbildung 16: Altersverteilung nach Geschlecht und Osteosyntheseverfahren.

2.3. Allgemeine demographische Daten: Body-Mass-Index

International wird der Body-Mass-Index (BMI) als Maß für Über- oder Untergewicht, bzw. als Maßzahl zur Bewertung des Körpergewichts in Relation zur Körpergröße, herangezogen. Gemäß der Aufstellung der WHO von 2008 wird die nachstehende Einteilung verwendet.

Tabelle 1: Body-Mass-Index nach WHO BMI classification, 2008.

Einteilung	BMI in kg/m ²
Leichtes Untergewicht	< 18,5
Normalgewicht	18,5 - 25
Präadipositas	25 - 30
Adipositas Grad I	30 - 35
Adipositas Grad II	35 - 40
Adipositas Grad III	> 40

Im gesamten Patientenkollektiv waren 25 Probanden (61%) normalgewichtig. Zwei Patienten hatten einen BMI von unter 18,5 kg/m². 14 Patienten (34%) des Gesamtpatientenkollektivs hatten einen BMI von 25-30 kg/m² (Abb. 17).

15 Patienten des LCP-Kollektivs (65%) wiesen einen normwertigen BMI auf. Acht Patienten (35%) dieses Studienkollektivs waren präadipös.

Im Vergleichskollektiv waren drei Patienten (33%) normalgewichtig, zwei Patienten (22%) hatten einen BMI von unter 18,5 kg/m². Drei Patienten (44%) waren präadipös. Nur ein Patient (11%) des Vergleichskollektivs hatte eine I°-Adipositas mit einem BMI > 30 kg/m².

Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kollektiven bestand nicht (p=0.75).

Unter den Patienten, die mit Zuggurtungsosteosynthese versorgt wurden, wiesen sieben Patienten (78%) einen normwertigen BMI auf. Zwei Patienten (22%) dieser Patientengruppe waren präadipös.

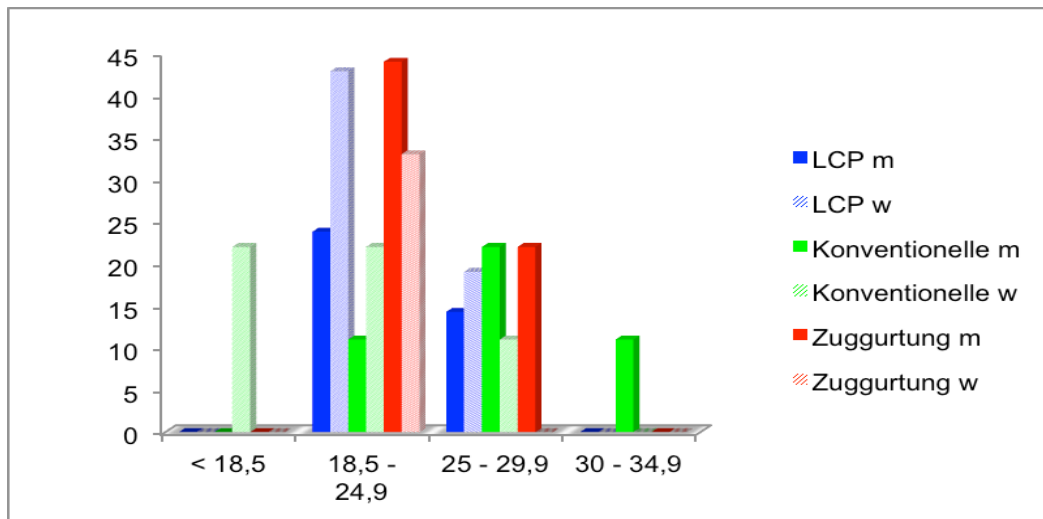


Abbildung 17: Verteilung des Body-Mass-Index (BMI) in Prozent im Gesamtkollektiv.

2.4. Allgemeine demographische Daten: Frakturseite und Händigkeit

Bei 13 von 23 Patienten (57%) des Studienkollektivs war der linke Ellenbogen verletzt, bei zehn Patienten (43%) war der rechte Arm betroffen. Elf Patienten (48%) des LCP-Kollektivs wiesen eine Fraktur der dominanten Armseite auf.

Bei vier Patienten (44%) des Vergleichskollektivs war der linke Ellenbogen verletzt. Bei den übrigen fünf Patienten (56%) war der rechte Arm betroffen. Bei vier Patienten (44%) aus dem Vergleichskollektiv lag eine Fraktur des dominanten Armes vor (Abb.18).

Hinsichtlich der Verletzung der dominanten Armseite zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den kollektiven ($p=0.54$).

Bei acht Patienten (89%) der Zuggurtungsgruppe war der linke Ellenbogen verletzt, bei einem Patienten (11%) war der rechte Arm betroffen. Lediglich ein Patient (11%) des Zuggurtungs-Kollektivs zog sich die Fraktur auf der dominanten Seite zu.

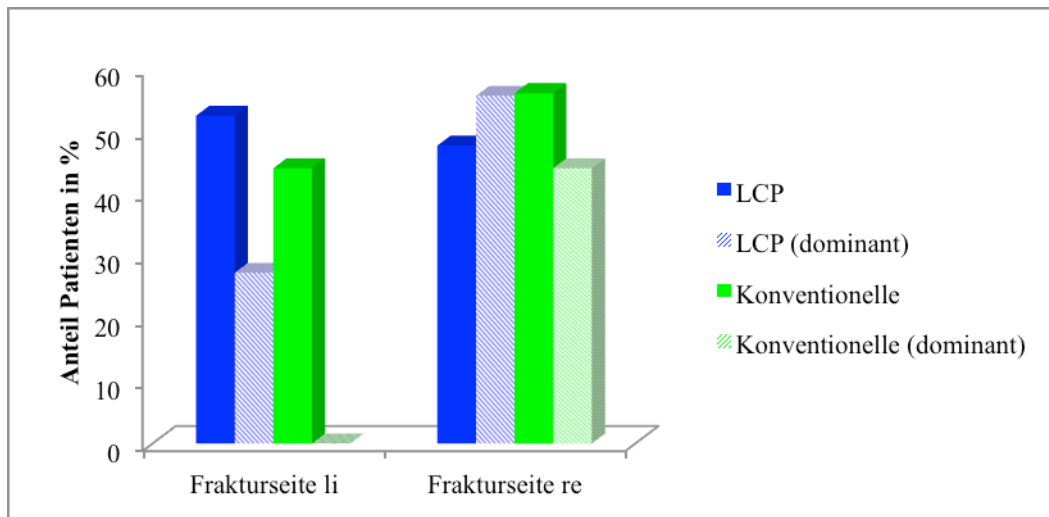


Abbildung 18: Frakturseite und Händigkeit.

2.5. Allgemeine demographische Daten: Berufsgruppen und berufliche Belastbarkeit

Es wurden sowohl Berufe mit überwiegend sitzender Tätigkeit (z. B. Staatsanwalt, Bürokaufmann) als auch Berufe mit starker körperlicher Belastung (z. B. Schreiner, Altenpfleger) von den Patienten ausgeübt. Zehn Patienten der Gesamtpatientengruppe (24%) waren im Ruhestand. Die genaue Berufsbezeichnung wurde nicht von allen Patienten angegeben.

Im Rahmen der Nachuntersuchung machten alle Patienten Angaben zur körperlichen Belastung ihres ausgeübten Berufes. Vom gesamten Patientenkollektiv gaben 30 Patienten (73%), davon 14 Männer (47%) und 16 Frauen (53%) an, einen körperlich nicht anstrengenden Beruf auszuüben.

Sieben Patienten des Studienkollektivs (30%) übten einen körperlich anstrengenden Beruf aus. Dagegen gaben 16 Patienten des LCP-Kollektivs (70%) an, einen körperlich nicht belastenden Beruf auszuüben (Abb. 19).

Im Vergleichskollektiv übten zwei Patienten (22%) einen körperlich anstrengenden Beruf aus. Sieben Patienten des Vergleichskollektivs (77%) gaben an, einen körperlich nicht anstrengenden Beruf auszuüben.

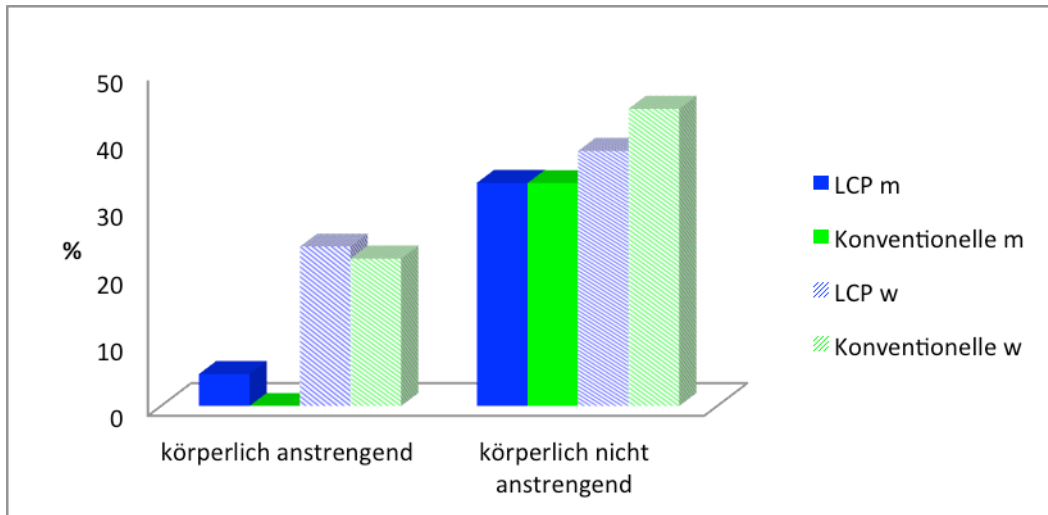


Abbildung 19: Berufliche Belastung beider Plattenosteosynthese-Kollektive.

2.6. Unfallmechanismus

Die Unfallursache war überwiegend ein direktes Trauma auf den gebeugten Unterarm bzw. Ellenbogen. Stürze aus dem Stand bzw. Stolperstürze (52% im Studienkollektiv bzw. 33% im Vergleichskollektiv) und Stürze mit dem Fahrrad (20% vs. 33%) hatten hier den größten Anteil. Saisonal gehäuft zeigten sich witterungsbedingte Stürze auf Glatteis (10% vs. 22%) sowie Skiunfälle (5% vs. 11%). Verkehrsunfälle (Autounfall, Motorradunfall) waren in beiden Kollektiven eher eine seltene Ursache (15% vs. 0%) (Abb. 20).

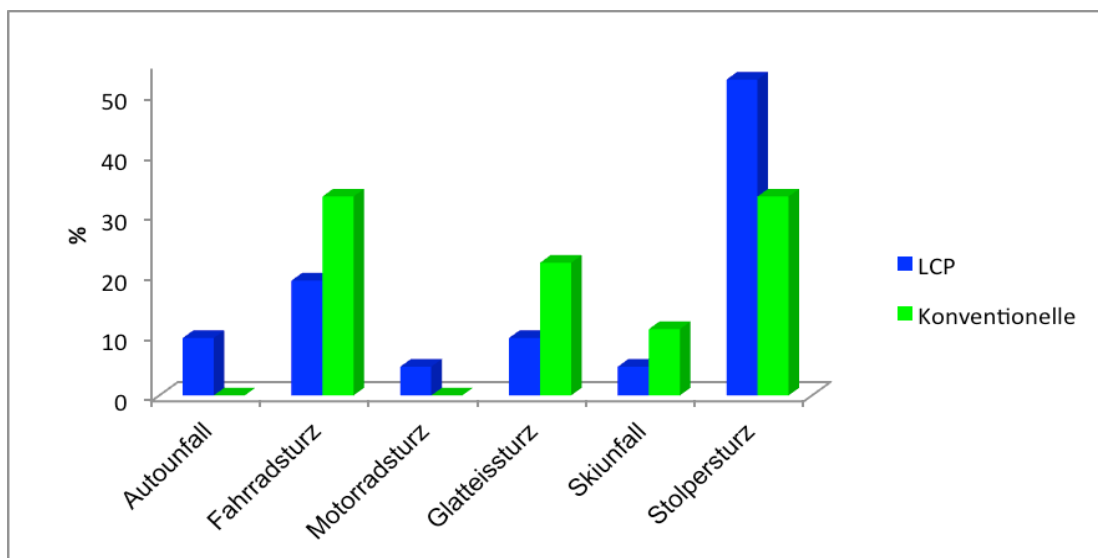


Abbildung 20: Unfallursache beider Plattenosteosynthese-Kollektive.

2.7. Frakturklassifikation

Anhand der radiologischen Unfallaufnahmen und der vorliegenden Patientenunterlagen wurden die Frakturen der proximalen Ulna entsprechend der Mayo-Klassifikation bzw. der Bado/Jupiter-Klassifikation eingeteilt.

Mit Ausnahme von einer extraartikulären, mehrfragmentären, proximalen Ulnaschaftfraktur, wiesen alle Patienten im Studienkollektiv entweder eine dislozierte, intraartikuläre Mehrfragment-Fraktur des Olekranons oder eine Monteggia-Äquivalentverletzung auf (Tab. 2).

Im Vergleichskollektiv wiesen sechs Patienten dislozierte, intraartikuläre Mehrfragment-Frakturen vom Typ Mayo IIb (n=3) bzw. Typ IIIb (n=3) auf. In einem Fall erlitt ein Patient eine undislozierte, aber mehrfragmentäre Fraktur vom Typ Ib. Außerdem erlitten in dieser Patientengruppe zwei Patienten eine Monteggia-like-lesion (jeweils Typ II nach Bado bzw. Typ IIb nach Jupiter).

Tabelle 2: Frakturformen beider Plattenosteosynthese-Kollektive.

	LCP-Olekranon	Vergleichskollektiv
Olekranonfrakturen		
Mayo Ib	-	n=1 (11%)
Mayo IIb	n=7 (30%)	n=3 (33%)
Mayo IIIb	n=11 (48%)	n=3 (33%)
Monteggia-like-lesions		
Bado II/ Jupiter IIb	n=2 (9%)	n=2 (22%)
Bado II/ Jupiter IIc	n=2 (9%)	-

2.8. Klinische Nachuntersuchung

Das klinische Follow-up für alle nachuntersuchten Patienten erfolgte im Mittel nach $15 \pm 8,3$ Monaten (range, 6 - 33 Monate). Für das Studienkollektiv lag das Follow-up bei 11 Monaten $\pm 6,2$ (range, 6 - 29 Monate), für das Vergleichskollektiv bei 18 Monaten $\pm 10,3$ (range, 6 - 33 Monate).

Im Rahmen der klinischen Untersuchung wurden folgende Parameter erfasst:

- Narbenstatus / Kelloidbildung
- Lokale Schwellung
- Palpable Krepitation
- Druckschmerz
- Sensibilitätsdefizit

Im Vergleich zur gesunden Gegenseite wurden die folgenden Parameter untersucht:

- Umfangsmessung (10 cm proximal und distal des Gelenkspaltes sowie auf Höhe des Gelenkspaltes)
- Bewegungsausmaß für Extension und Flexion sowie für Pronation und Supination nach der Neutral-Null-Methode
- Stabilität des Ellenbogengelenkes unter Varus- und Valgusstress
- Grobe Kraft

2.9. Neutral-Null-Methode

Das aktive und passive Bewegungsausmaß von Streckung, Beugung und Unterarm-Drehung wird standardisiert mithilfe der Neutral-Null-Methode bestimmt.

Für die Messung führt der Proband den Bewegungsumfang aus, der ihm selbstständig möglich ist. Der resultierende Winkel wird mithilfe eines handelsüblichen Goniometers gemessen.

Als Normalwerte des gesunden Ellenbogengelenkes werden für Extension/Flexion die Winkel $0^\circ - 0^\circ - 150^\circ$ zugrunde gelegt. Hinsichtlich Supination/Pronation gelten die Winkel $90^\circ - 0^\circ - 90^\circ$.

Wichtige Voraussetzungen für die Messung sind eine reproduzierbare Ausgangsposition und exakte Bezugspunkte. (Hepp et al. 2004)

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Bewegungsausmaße in aktiver Ausführung durch den Probanden gemessen.

2.10. Instabilitätstest für Varus- und Valgusstress

Bei diesem Test hält der Patient die Arme 90° antevertiert im Schultergelenk. Der Ellenbogen wird so weit wie möglich gestreckt bzw. in Null-Stellung gebracht. Der Unterarm befindet sich in maximaler Supination. Der Oberarm wird fixiert und dann wird durch laterale bzw. mediale Deviation des Handgelenkes ein Valgusstress bzw. Varusstress auf das Ellenbogengelenk ausgeübt. Bei lateraler oder medialer Kollateralbandinsuffizienz resultiert eine vermehrte Aufklappbarkeit im Vergleich zur Gegenseite.

2.11. Manuelle Muskelfunktionsprüfung der Groben Kraft

Die Muskelfunktionsprüfung im Seitenvergleich gemäß der Pareseskala des *Medical Research Council* (MRC) erfolgt in einer Einteilung von sechs Kraftgraden (von null bis fünf; siehe Tabelle 3).^(Janda 1994)

Die Funktionsprüfung wird mit 45° Anteversion des Armes im Schultergelenk, 90° Flexion sowie Nullstellung bezüglich Pronation und Supination im Ellenbogengelenk durchgeführt.

Der Patient führt die Flexion/Extension gegen die Hand des Untersuchers bei möglichst gleichbleibender Anteversion in der Schulter durch. Der Behandler legt hier die Bewertung der vollen Kraft, die der Patient erreichen kann, subjektiv im Seitenvergleich fest.

Tabelle 3: Skala zur Ermittlung der Groben Kraft.

5/5	Normale Kraft, volles Bewegungsausmaß gegen starken Widerstand
4/5	Gut, volles Bewegungsausmaß gegen leichten Widerstand
3/5	Schwächer als Gegenseite, volles Bewegungsausmaß gegen die Schwerkraft
2/5	Sehr schwach, volles Bewegungsausmaß ohne Einwirkung der Schwerkraft
1/5	Fast keine sicht- oder tastbare Aktivität, unvollständiges Bewegungsausmaß
0/5	Komplette Lähmung, keine Kontraktion

2.12. Subjektive Patientenzufriedenheit

Die Patienten wurden nach ihrer generellen, subjektiven Zufriedenheit hinsichtlich des postoperativen Ergebnisses befragt.

Zur Graduierung wurden vom Patienten Noten ähnlich einem Schulnotensystem vergeben:

1 = sehr gut

2 = gut

3 = befriedigend

4 = schlecht

5 = sehr schlecht

2.13. Klinische Scores

In der vorliegenden Untersuchung wurden die folgenden objektiven und subjektiven Scores erhoben:

- Visuelle Analogskala (VAS) zur Erfassung der Schmerzsituation
- Objektiver Ellenbogenfunktions-Score (Mayo Elbow Performance Score, MEPS)
- Subjektiver Funktionsscore für Schulter, Arm und Hand (*QuickDASH*)

2.14. Visuelle Analogskala – VAS

Die subjektive Einschätzung des Schmerzes kann mithilfe der Visuellen Analogskala als quantitatives, subjektives Verfahren dokumentiert werden.

Der Patient bewertet dabei sein Schmerzempfinden zum Untersuchungszeitpunkt auf einer Skala von 0 (kein Schmerz) bis 10 (stärkster Schmerz) (Abb. 21).

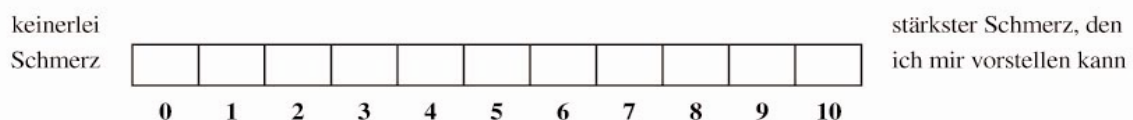


Abbildung 21: Visuelle Analogskala (VAS).

2.15. Mayo Elbow Performance Score - MEPS

Schmerz, Bewegung, Stabilität und Funktion als Einzelkriterien gehen mit unterschiedlicher Gewichtung in die Gesamtpunktzahl des Mayo Elbow Performance Index mit ein. (Morrey et al. 1993)

Die Score-Ergebnisse werden wie folgt bewertet:

- Exzellent 91 - 100 Punkte
- Gut 81 - 90 Punkte
- Befriedigend 71 - 80 Punkte
- Unbefriedigend ≤ 70 Punkte.

2.16. Subjektiver Funktionscore für Schulter, Arm und Hand - QuickDASH

Der QuickDASH ist eine verkürzte Version des "*Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand*" (DASH). Studiendaten zur Validierung dieses gekürzten Funktionscores haben gezeigt, dass die Ergebnisse mit dem normalen DASH vergleichbar sind. (Beaton et al. 2005)

Der Fragebogen erfasst die subjektive Bewertung des Patienten bezüglich der Funktionsfähigkeit seines Armes.

Der QuickDASH gliedert sich inhaltlich in drei Teile:

1. Funktionsfähigkeit bezogen auf angeführte Tätigkeiten: (11 Fragen)
2. Modul Arbeit/Beruf (optional): (4 Fragen)
3. Modul Sport/Musik (optional): (4 Fragen)

Im ersten Teil wird der Patient gebeten, Fragen bezüglich seines Zustandes der vergangenen Woche zu beantworten und die entsprechende Zahl anzukreuzen. Falls in der vergangenen Woche keine der aufgeführten Tätigkeiten ausgeführt wurde, soll eine Antwort gewählt werden, welche am ehesten zutrifft. Es können die Zahlenwerte 1 (keine Einschränkung) bis 5 (Tätigkeit nicht möglich) vergeben werden. Die Antwortpunkte der Fragen 1-11 werden summiert und bilden den Rohwert.

Die Antwortpunkte der Fragen eins bis vier der Optionsmodule ergeben jeweils im Rohwert ein Maximum von 20 Punkten und ein Minimum von vier Punkten. Wird mehr als eine Frage des ersten Teils nicht beantwortet, so wird dieser Teil nicht gewertet. In den Teilen zwei und drei müssen alle Fragen beantwortet werden.

Der Rohwert wird in den *Quick*-DASH-Funktionsfähigkeits-Wert umgerechnet:

$$\left[\frac{\text{Rohwert}}{\text{Anzahl beantworteter Fragen}} \right] - 1 \times 25 = \text{DASH-Wert}$$

$$\frac{\text{Rohwert} - 4}{0,16} = \text{DASH (Arbeit\&Beruf) bzw. (Sport\&Musik)}$$

Die Skala der *Quick*DASH-Funktionsfähigkeits-Werte reicht von 0 bis 100 Punkte. Dabei bedeutet ein Wert von 0 keine funktionelle Einschränkung (sehr gute Funktion) und dementsprechend ein Punktwert von 100 eine maximale funktionelle Einschränkung.

2.17. Kraftmessung (*IsoForceControl*)

Mit einem isometrischen Kraftmessgerät (*IsoForceControl* MDS Medical Device Solutions AG, Oberburg, Schweiz) wurde die Extensions-, und Flexionskraft im Ellenbogengelenk gemessen (Abb. 22). Gemessen wurde die Maximalkraft in Newton (N). Die Messung wird über drei Sekunden, zehn Mal pro Sekunde, durchgeführt und der Durchschnittswert ermittelt.

Zur Kraftmessung wurde bei allen Patienten der gleiche Untersuchungsaufbau verwendet. Zunächst wurden die Werte für Extension und Flexion ermittelt. Der Oberarm der Probanden wurde auf einem höhenverstellbaren Tisch parallel zum Boden und somit in 90° Anteversion der Schulter des sitzenden Patienten eingestellt. Über die Schlaufenlänge wurde dann der Winkel im Ellenbogengelenk eingestellt und mittels Goniometer überprüft. Die Kraftmessungen für die Flexion wurden jeweils in zwei Gelenkstellungen (45° und 90° Flexion) in Supination und für die Extension in zwei Gelenkstellungen (45° und 90° Extension) jeweils in Pronation untersucht (Abb. 23).



Abbildung 22: IsoForceControl Kraftmessgerät. Medical Device Solutions.



Abbildung 23: Kraftmessung der Flexions- und Extensionskräfte jeweils in 90° und 45° Flexion - demonstriert von jeweils einer Seite.

Pronations- und Supinationskraft wurden mit Hilfe einer vom Autor selbst gebauten Halteapparatur, ebenfalls unter Verwendung des IsoForceControl - Gerätes, ermittelt (Abb. 24). Damit war eine Pro- und Supinationsbewegung in orthograder Richtung zum Messinstrument in einem geschlossenen System möglich. Das Messgerät wurde dazu auf einer Glasscheibe mit dem Saugnapf fixiert und durch ein Seil mit

dem Ende des drehbaren Handgriffes des Patienten verbunden. Der Saugnapf war so angebracht, dass bei Pro- bzw. Supination die Kräfte orthogonal ausgerichtet sind. Der Griff und die Glasscheibe lagen parallel und waren starr verbunden. Die Vorrichtung ist höhenverstellbar. Der Patient wurde so positioniert, dass sich die Schulter in Neutral-Stellung, der Ellenbogen in 90° Flexion (am Körper anliegend) und der Unterarm bezüglich Pro- und Supination in Nullstellung befinden. Zur Validierung wurden sämtliche Messungen jeweils dreimal durchgeführt.

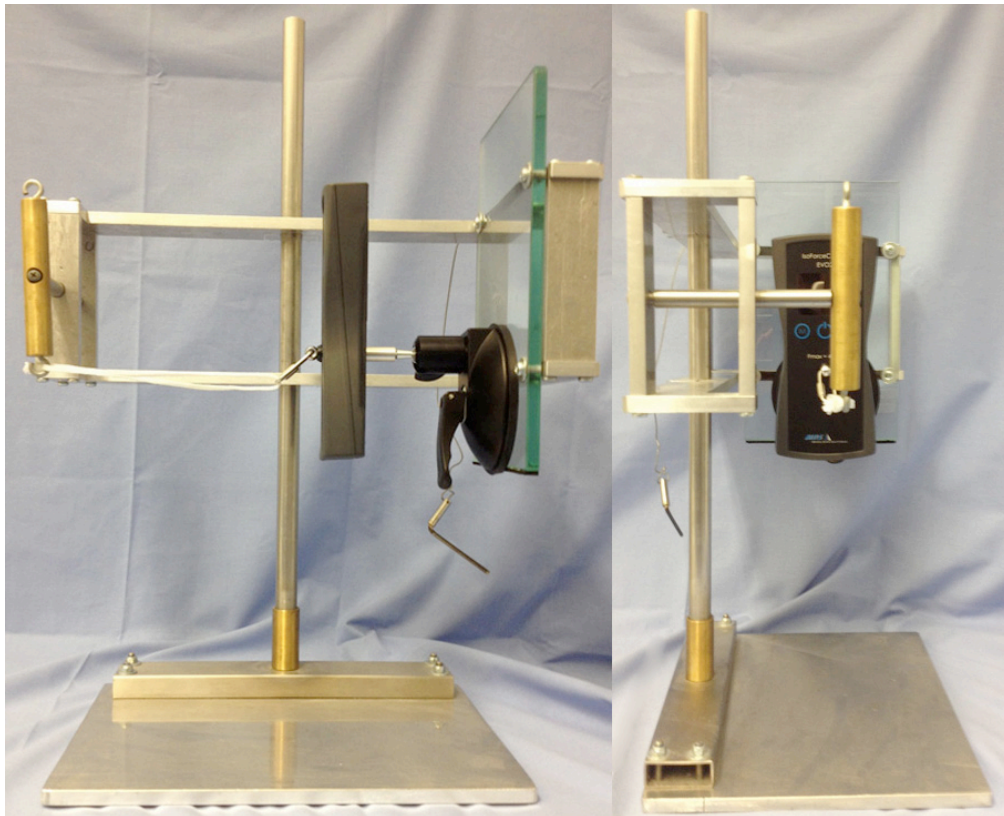


Abbildung 24: Vorrichtung zur Kraftmessung der Pro- und Supination.

2.18. Radiologische Bewertung

Die vorliegenden postoperativen Röntgenaufnahmen des Ellenbogengelenkes in zwei Ebenen (a.-p. und seitliche Projektion) wurden primär hinsichtlich des knöchernen Heilungsergebnisses und der Gelenkkongruenz bewertet. Außerdem wurden die Aufnahmen bezüglich einer sekundären Implantatdislokation und/oder Implantatlockerungen bzw. Implantatversagen beurteilt.

2.19. Statistische Auswertung

Die Analyse sowie die graphische Darstellung der Daten erfolgte unter der Verwendung der Statistiksoftware SPSS 20.0 für Windows und Apple sowie unter Nutzung von Microsoft Excel für Mac 2011. Die Auswertung der Daten wurde anonymisiert und unter Gewährleistung des Datenschutzes (Zuordnung von Identifikationsnummer) durchgeführt. Die erhobenen Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) angegeben. Für den gruppenspezifischen Vergleich wurde der T-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0.05$ definiert.

Sofern erforderlich, wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung und dem Mann-Whitney U-Test die Signifikanz der Mittelwertunterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen geprüft.

3. Ergebnisteil

3.1. Auswertung der Krankenakten

3.1.1. Präoperative Parameter

3.1.1.1. Zeitabstand: Trauma – Plattenosteosynthese

Studienkollektiv

Die Zeitspanne zwischen Unfalltag und Operation variierte zwischen 0 und 10 Tagen. Im Schnitt lagen 4,6 Tage \pm 9,3 zwischen Trauma und operativer Versorgung. Insgesamt 91% der Patienten (n=21) wurden nach Weichteilkonsolidierung innerhalb von fünf Tagen post trauma operativ versorgt. Ein Patient (4%) konnte aufgrund einer Kettenverletzung erst am zehnten Tag operiert werden. In einem Fall wurde 44 Tage nach Trauma bei Osteosyntheseversagen einer Zuggurtungsosteosynthese eine Revision mittels LCP-Olekranonplatte durchgeführt (Abb. 25).

Vergleichskollektiv

Die Zeitspanne zwischen Unfalltag und Operation variierte zwischen 0 und 14 Tagen. Teilweise stellten sich die Patienten verspätet in der Klinik vor (n=3). In einem Fall ereignete sich der Unfall während einer Urlaubsreise, sodass die operative Versorgung erst nach Rückreise am 10. Tag durchgeführt wurde. Durchschnittlich lagen 2,7 Tage \pm 4,4 zwischen Trauma und operativer Versorgung. Innerhalb der ersten drei Tage wurden insgesamt 89% der Patienten (n=8) operativ versorgt. Ein Patient (11%) wurde nach Versagen einer Zuggurtungsosteosynthese sekundär mittels Plattenosteosynthese (Hakenplatte) am 14. Tag nach Trauma und Primärversorgung revidiert (Abb. 25).

Ein statistischer Unterschied zwischen den beiden Kollektiven bestand nicht (p=0.56).

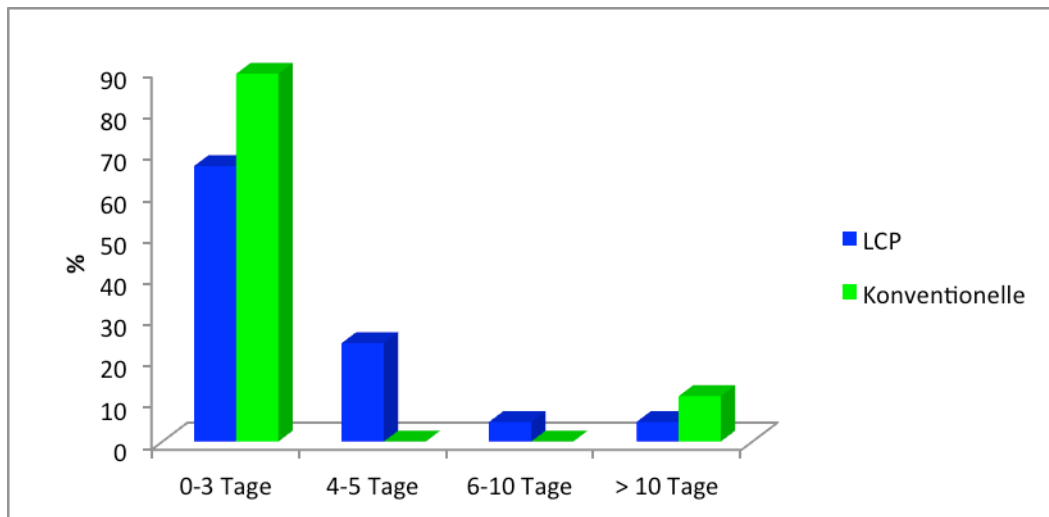


Abbildung 25: Zeitspanne Trauma – Operative Versorgung.

3.1.1.2. Vorangegangene Notfallversorgung und Ersteingriffe

Studienkollektiv

Bei einem Patienten wurde bei I°-offener Fraktur und gleichzeitig vorliegender ipsilateralen distalen Radiusfraktur zunächst im Rahmen der Notfallversorgung ein chirurgisches Debridement mit anschließender Fixateur externe - Anlage durchgeführt. Vier Tage postoperativ erfolgte die plattenosteosynthetische Versorgung am Olekranon. In einem weiteren Fall erfolgte extern bei II°- offener transolekranischer Luxationsfraktur sowie ipsilateraler distaler Humerusfraktur, das chirurgische Debridement sowie eine Fixateur externe - Anlage und K-Draht-Spickung. Die definitive Versorgung mittels LCP-Olekranon sowie die Revision der distalen Humerusfraktur wurde im Verlauf nach Weichteilkonsolidierung (acht Tage nach Ersteingriff) durchgeführt. Bei zwei Patienten wurde die LCP-Olekranon im Rahmen eines Revisionseingriffes (5 bzw. 44 Tage nach Ersteingriff) bei sekundärer Fragmentdislokation im Bereich des proximalen Olekranons nach initialer Versorgung mittels konventioneller winkelstabiler Plattenosteosynthese bzw. Zuggurtungsosteosynthese verwendet. Begleitende Gefäß-, Nervenverletzungen und/oder ein Kompartmentsyndrom des proximalen Unterarmes traten in keinem Fall auf.

Vergleichskollektiv

Bei einem Patienten, der zunächst extern mittels Zuggurtungsosteosynthese versorgt wurde, zeigte sich im postoperativen Verlauf eine sekundäre Fragmentdislokation. Daraufhin erfolgte die Revision mittels Haken-Platte und additiver K-Draht-Osteosynthese (14 Tage nach Ersteingriff). Keiner der Patienten dieses Kollektivs erlitt eine offene Fraktur oder eine begleitende Gefäß-, Nervenverletzung.

3.1.2. Intraoperative Parameter

3.1.2.1. Operationsdauer

Studienkollektiv

Die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit betrug für die Patienten mit LCP-Olekranonplatte 137 Minuten \pm 50,3 (range, 105 - 267 Minuten).

In der Untergruppe dieser Patienten mit Monteggia-Äquivalent-Verletzungen (n=4) lag die OP-Zeit bei 118,7 \pm 54,2 Minuten (range, 57 - 159 Minuten).

Vergleichskollektiv

In der Gruppe der mittels konventionellen Plattensystemen versorgten Patienten betrug die durchschnittliche Dauer des operativen Eingriffes von Schnitt bis Naht 110 \pm 24,3 Minuten (range, 76 - 141 Minuten). In der Untergruppe der Patienten mit Monteggia-Äquivalent-Verletzungen (n=2) lag die OP-Zeit bei 120 \pm 27,7 Minuten (range, 109 - 130 Minuten).

Die durchschnittliche Operationszeit in beiden Gruppen unterschied sich sowohl im Gesamtkollektiv als auch für die Untergruppe der Monteggia-Äquivalent-Verletzungen nicht signifikant (Studienkollektiv vs. Vergleichskollektiv: $p=0.13$; Monteggia-Äquivalent-Verletzungen: $p=0.73$).

3.1.2.2. Verwendete Plattensysteme und additive Osteosyntheseverfahren

In beiden Patienten-Kollektiven wurden aufgrund mehrfragmentärer Frakturformen bzw. Kombinationsverletzungen (Monteggia-Äquivalent-Verletzungen) additive Osteosynthesenverfahren eingesetzt, wie in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Verwendete Implantate und additive Osteosyntheseverfahren.

LCP-Olekranon	Vergleichskollektiv
Isolierte proximale Ulnafraktur:	Isolierte proximale Ulnafraktur:
Additiv K-Drähte (n=5)	LCDCP (n=4)
Additiv K-Drähte & PDS-Cerclage (n=2)	Konventionelle LCP (n=2)
Additiv PDS-Cerclage (n=2)	Haken-Platte (n=2)
Additiv freie Kortikalisschrauben (n=4)	Additiv K-Drähte (n=2)
Monteggia-Äquivalent-Verletzung:	Monteggia-Äquivalent-Verletzung:
Radiuskopf: Kortikalisschrauben (n=3)	Radiuskopf: Kortikalisschrauben (n=2)
Radiuskopfteilresektion (n=1)	
Ulna: Additiv freie Kortikalisschrauben (n=2)	

Bezüglich der Implantatverträglichkeit wurden zusätzlich neun Patienten, die mittels Zuggurtungsosteosynthese versorgt wurden, nachuntersucht. In allen Fällen wurden zwei 2.0mm Kirschner-Drähte in Kombination mit einem 1.2-mm Cerclagendraht verwendet.

3.1.3. Postoperative Parameter

3.1.3.1. Komplikationen nach Plattenosteosynthese

Studienkollektiv

In vier Fällen (17%) traten Komplikationen auf. In einem Fall (4%) persistierte ein Extensionsdefizit von 35° (Patient mit ipsilateraler distaler Humerusfraktur), sodass im Rahmen der Materialentfernung 14 Monate postoperativ eine offene Arthrolyse des Ellenbogengelenkes durchgeführt wurde. Ein Patient zeigte postoperativ nach 21 Tagen eine sekundäre Dislokation und wurde revidiert. Bei einem hochbetagten Patient mit isolierter Olekranonfraktur fiel im Rahmen der Nachuntersuchung eine Pseudarthrose des Olekranons auf. Im weiteren Verlauf erfolgte die Revision mittels Großfragment-Schraubenosteosynthese. Ein weiterer Patient wurde aufgrund einer proximalen Fragmentdislokation nach konventioneller Plattenosteosynthese bei isolierter Olekranonfraktur zweimal mittels LCP-Olekranonplatte reoperiert. Im zweiten Eingriff erfolgte die Resektion des proximalen Fragmentes.

Vergleichskollektiv

Im Vergleichskollektiv zeigten zwei Patienten (22%) postoperative Komplikationen. In einem Fall trat postoperativ eine Wundheilungsstörung auf, die konservativ ausbehandelt werden konnte. Bei einem anderen Patienten, der eine Monteggia-like-lesion erlitten hatte, wurde im postoperativen Verlauf (nach 5 Monaten) aufgrund eines persistierenden Beugedefizites von 70° eine Narkosemobilisation durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte der Patient keine Einschränkung der Flexion im Seitenvergleich.

3.2. Klinisch-funktionelles Outcome: Studienkollektiv

3.2.1. Bewegungsausmaß (ROM):

Das Gesamtkollektiv der mittels LCP-Olekranonplatte versorgten Patienten (n=23) zeigte einen durchschnittlichen Bewegungsbogen von 128° ± 15,2 für die Extension-Flexions-Ebene. Der Bewegungsbogen für Pro- und Supination lag im Mittel bei 175° ± 19,7. Die detaillierten Bewegungsausmaße im Vergleich zur gesunden Gegenseite sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Bewegungsausmaß Betroffene Seite und Gegenseite.

Betroffene Seite	Extension	Flexion	Pronation	Supination
Mittelwert [°] ± Standardabweichung	12,5 ± 10,7	141 ± 8	88 ± 9,8	87 ± 10,3
Range of Motion [°] (Min-Max)	0-35	120-150	45-90	45-90
p-Wert	0.05	0.12	0.37	1.00
Gegenseite	Extension	Flexion	Pronation	Supination
Mittelwert [°] ± Standardabweichung	0,2 ± 4	145 ± 8,4	87 ± 10	87 ± 10
Range of Motion [°] (Min-Max)	-5-10	120-155	45-90	45-90

Abbildung 26 verdeutlicht graphisch die ROM des Studienkollektivs im Seitenvergleich.

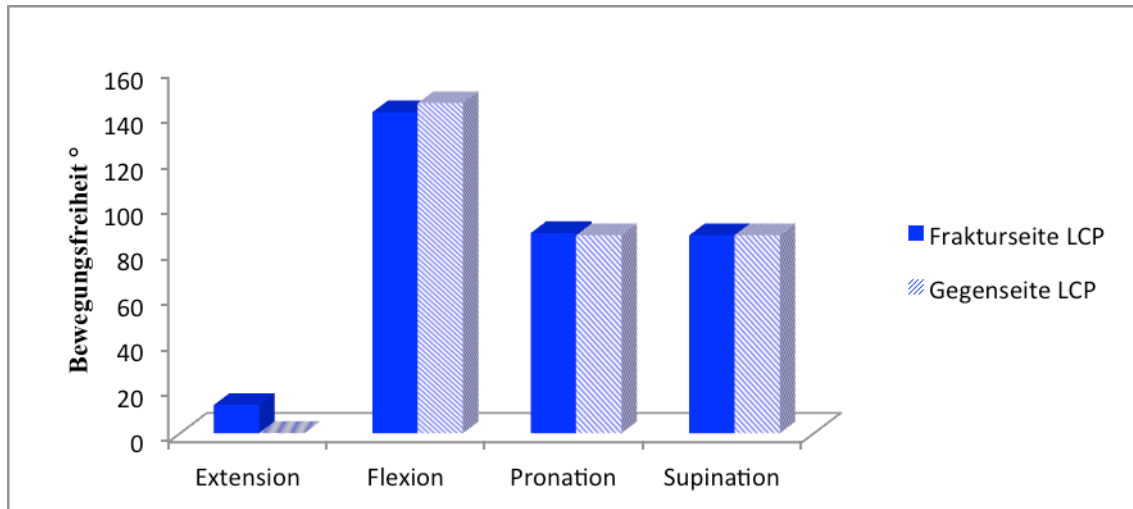


Abbildung 26: Bewegungsausmaß im Seitenvergleich.

Insgesamt fünf Patienten (22%) zeigten ein Extensionsdefizit $\geq 20^\circ$ zur kontralateralen Seite. 15 Patienten (65%) zeigten ein leichtgradiges Flexionsdefizit $\leq 10^\circ$ der Frakturseite im Vergleich zur Gegenseite.

96% der Patienten (n=22) zeigten keine Einschränkung der Pro- und Supination im Seitenvergleich. Ein Patient (7%) zeigte eine leichtgradige Einschränkung mit 75° in der Supination bei 90° an der Gegenseite und seitengleicher Pronation. Ein Patient (7%) nach isolierter Olekranonfraktur zeigte in der Untersuchung eine Pro- und Supination von lediglich 45° . Er beklagte jedoch keinerlei subjektive Bewegungseinschränkung im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Operation bei identischem Bewegungsausmaß der gesunden Gegenseite (Pronation und Supination jeweils 45°).

Im Vergleich zur gesunden Gegenseite zeigte die statistische Auswertung für das gesamte Studienkollektiv keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Extension, Flexion, Pronation und Supination ($p > 0.05$; s. Tabelle 5).

Bei den Patienten, die eine Monteggia-Äquivalent-Verletzung (n=4) erlitten hatten, lag der durchschnittliche Bewegungsbogen bei $133^\circ \pm 11,5$ für Extension-Flexions

und bei $177,5^\circ \pm 5$ Pro- und Supination. Ein signifikanter Unterschied im Vergleich zum Restkollektiv zeigte sich für keine der Bewegungsrichtungen.

Auch in der Subgruppenanalyse der verschiedenen Frakturtypen Mayo IIb (n=7) vs. IIIb (n=11) ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des Bewegungsausmaßes ($p > 0.05$).

3.2.2. Stabilität und Grobe Kraft

Der Test der Varus- und Valgusstabilität zeigte lediglich in einem Fall eine geringe, angedeutete mediale Aufklappbarkeit im Kollektiv der mittels LCP-Olekranonplatte versorgten Patienten.

Bei der manuellen Muskelfunktionsprüfung der Groben Kraft erreichten alle Patienten sowohl auf der operierten Seite als auch auf der Gegenseite den maximalen Kraftgrad 5/5 für alle Bewegungsrichtungen.

3.2.3. Scores

Eine Ergebnisübersicht der erhobenen Scores ist in Abbildung 27 dargestellt.

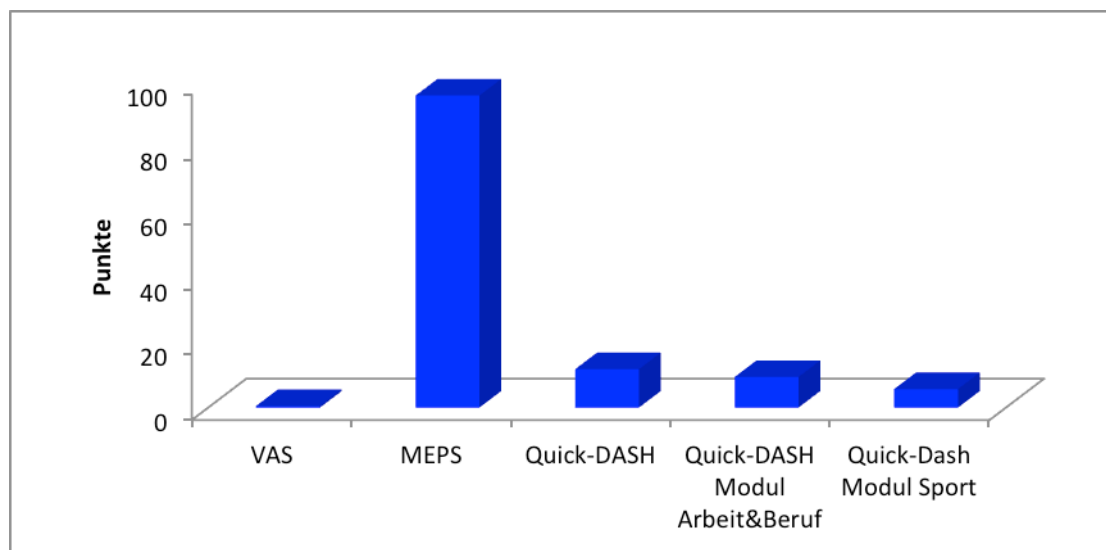


Abbildung 27: Übersicht der Scoreergebnisse des Studienkollektivs.

3.2.4. VAS

Auf der Visuellen Analogskala gaben 70% der Patienten des Studienkollektivs (n=16) den Wert „0“ als Bewertung für „kein Schmerz“ an. Sechs Patienten (26%) berichteten über leichte (Wert 1 oder 2), ein Patient (5%) über mittelstarke Schmerzen (Wert 5) bei Belastung. Der Mittelwert lag bei $0,6 \pm 1,2$ Punkten.

3.2.5. MEPS

Der durchschnittliche MEPS-Score lag bei $96 \pm 6,6$ Punkten (range, 85-100). Insgesamt 17 Patienten (74%) erreichten ein „exzellentes“ Ergebnis entsprechend der Bewertungseinteilung. Die übrigen Patienten (n=6) erzielten bei noch leichten Schmerzen ein „gutes“ Ergebnis (Abb. 28).

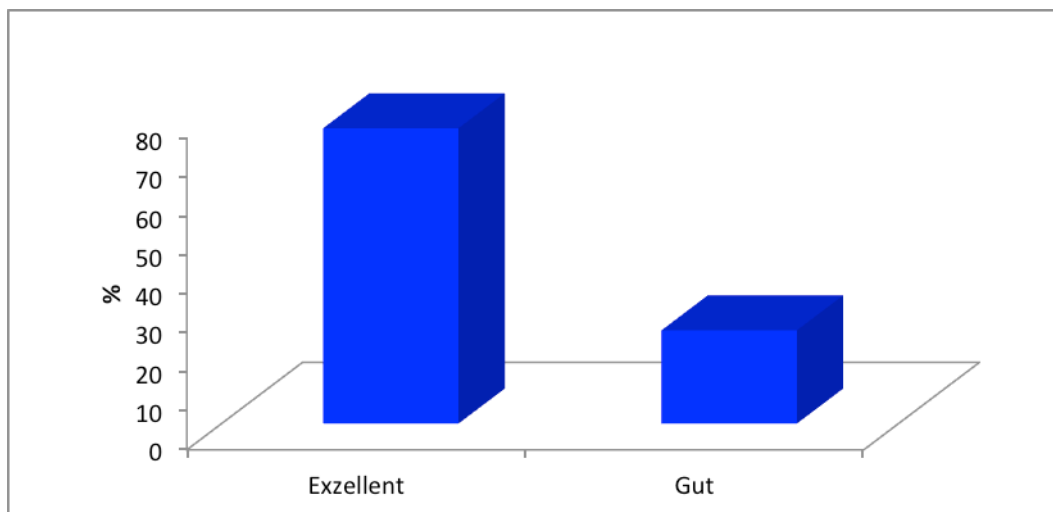


Abbildung 28: MEPS-Ergebnisse des Studienkollektivs.

3.2.6. QuickDASH

Der durchschnittliche *QuickDASH* lag bei $11 \pm 16,3$ Punkten (range, 0-64). Teil Eins des *QuickDASH* Fragebogens (Alltagstätigkeiten) wurde lediglich von einer Patientin auf Grund sprachlicher Verständigungsschwierigkeiten nicht beantwortet. Das Modul *Arbeit&Beruf* wurde von 16 Patienten (70%) beantwortet. Das Modul *Sport* wurde von elf Patienten (48%), die aktiv eine Sportart zum Zeitpunkt der Untersuchung ausübten, beantwortet.

20 Patienten (91%) schätzten ihre Einschränkungen bei Alltagstätigkeiten als

lediglich leichtgradig (*QuickDASH* < 25) ein. Zwei Patienten zeigten Werte von 50 bzw. 64 Punkten als Zeichen einer Funktionseinschränkung bei normalen Alltagsaktivitäten. Bei dem Patienten, welcher 50 Punkte erreichte, handelte es sich um den oben bereits erwähnten Patienten mit begleitender distaler Humerusfraktur und Arthrolyse. Bei dem Patienten mit 64 Punkten handelte es sich um den oben genannten Patienten mit der beschriebenen Pseudarthrose und konsekutiver Revision. Dieser Patient zeigte in der Kraftmessung im Seitenvergleich eine nur leichte Kraftminderung.

Im zweiten Teil (Modul *Arbeit&Beruf*) erreichten die Patienten im Schnitt $9,4 \pm 17$ Punkte. Die sportlich aktiven Patienten der LCP-Gruppe erreichten im Schnitt $5,6 \pm 8,1$ Punkte im dritten Teil (Modul *Sport*).

3.2.7. Isobex - Kraftmessung

Die Messung der Extensions- und Flexionskraft wurde bei allen Patienten des Studienkollektivs (n=23) durchgeführt. Die Pronations- und Supinationskraftmessung wurde bei 14 Patienten durchgeführt. Die eigens für die Untersuchung gebaute Messvorrichtung stand nicht von Studienbeginn an zur Verfügung.

Zur Übersicht der Ergebnisse wurden die Mittelwerte tabellarisch und graphisch dargestellt (Tabelle 6, Abbildung 29). Obgleich alle erhobenen Mittelwerte der verletzten Seite insgesamt niedriger waren als die der gesunden Gegenseite, zeigte sich für keine der gemessenen Bewegungsrichtungen ein signifikanter Unterschied ($p > 0.05$; s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite.

Betroffene Seite	Flexion 45°	Flexion 90°	Extension 45°	Extension 90°	Pronation	Supination
Mittelwert [N] ± SD	89 ± 47,1	84 ± 42,5	54 ± 17,8	50 ± 16,5	51 ± 14	57 ± 21
Range [N] (Min-Max)	21-226	21-205	21-94	19-78	42-76	27-97
p-Wert	0.77	0.77	0.16	0.21	0.69	0.70
Gegenseite	Flexion 45°	Flexion 90°	Extension 45°	Extension 90°	Pronation	Supination
Mittelwert [N] ± SD	96 ± 49,8	91 ± 43,9	64 ± 30,1	59 ± 23,1	54 ± 19,6	62 ± 32,3
Range [N] (Min-Max)	27-212	29-215	31-171	20-124	26-92	24-137

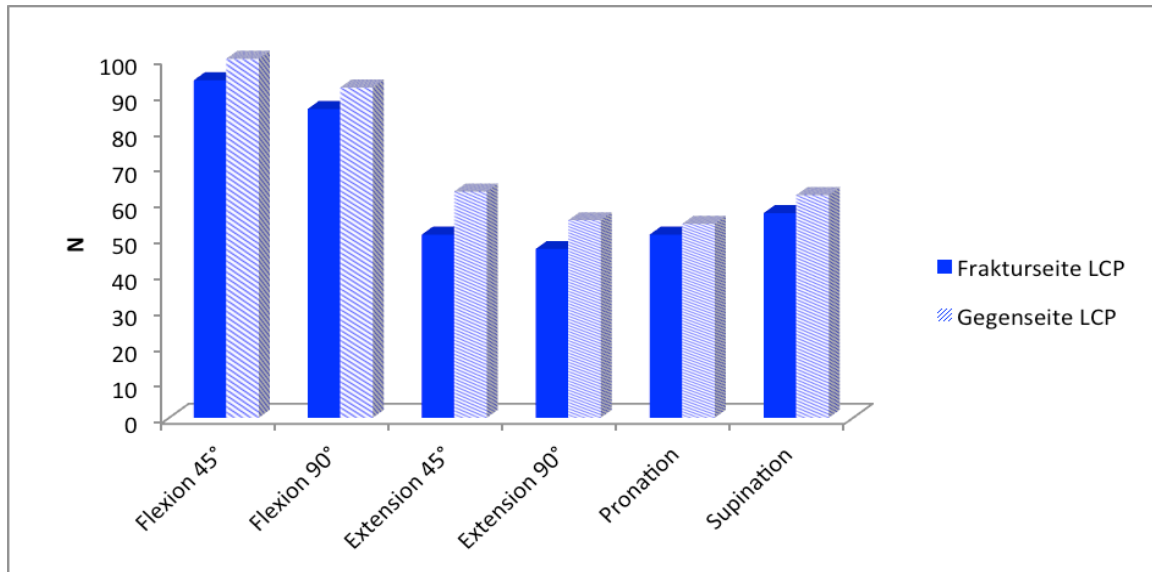


Abbildung 29: Isobex – Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite.

3.3. Klinisch-funktionelles Outcome: Vergleichskollektiv

3.3.1. Bewegungsausmaß (ROM):

Das Gesamtkollektiv der mittels konventioneller Platten versorgten Patienten zeigte einen durchschnittlichen Bewegungsbogen von $135^\circ \pm 11,5$ in der Extension-Flexions-Ebene. Der Bewegungsbogen für Pro- und Sunination lag im Mittel bei $175^\circ \pm 61,7$. Die detaillierten Bewegungsausmaße sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Bewegungsausmaß betroffene Seite und Gegenseite.

Betroffene Seite	Extension	Flexion	Pronation	Supination
Mittelwert [°] ± Standardabweichung	$8,2 \pm 7,5$	$147 \pm 5,2$	$89 \pm 3,3$	$86 \pm 8,60$
Range of Motion [°] (Min-Max)	0-20	130-155	80-90	65-90
p-Wert	0.07	0.06	0.33	0.19
Gegenseite	Extension	Flexion	Pronation	Supination
Mittelwert [°] ± Standardabweichung	0 ± 7	$150 \pm 3,2$	90 ± 0	90 ± 0
Range of Motion [°] (Min-Max)	-10-15	140-155	90	90

Abbildung 30 zeigt das Bewegungsausmaß im Seitenvergleich graphisch.

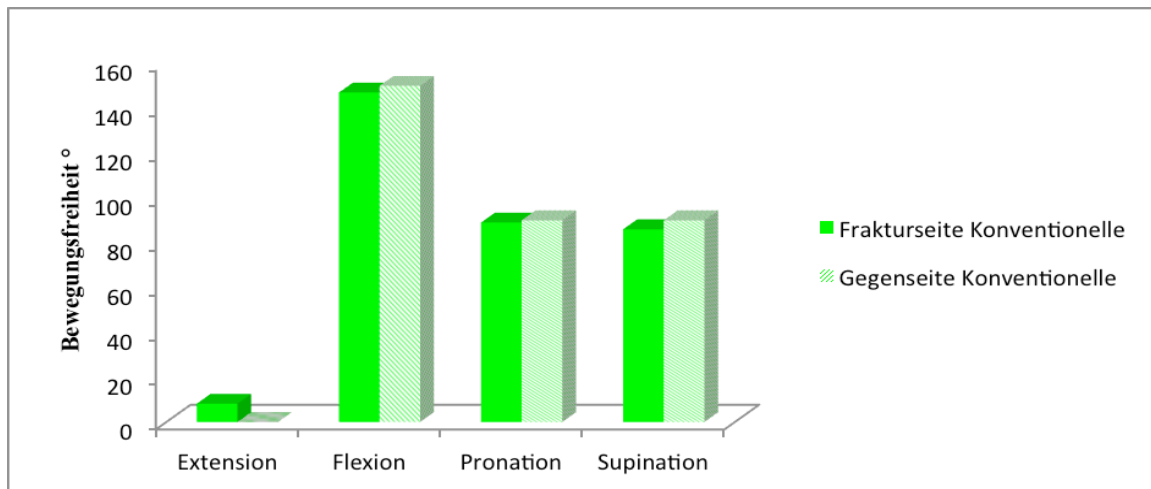


Abbildung 30: Bewegungsausmaß im Seitenvergleich.

Insgesamt zwei Patienten (22%) zeigten ein Extensionsdefizit $\geq 20^\circ$. Sechs Patienten (26%) zeigten ein leichtgradiges Flexionsdefizit $\leq 10^\circ$ der Frakturseite im Vergleich zur Gegenseite.

Sieben Patienten (78%) zeigten keine Einschränkung der Pro- und Supination. Zwei Patienten (22%) zeigten eine leichtgradige Einschränkungen mit einem Bewegungsbogen von 145° bzw. 170° . Es handelte sich hierbei um beide Patienten mit einer Monteggia-Äquivalent-Verletzung. Deren durchschnittliche Bewegungsbogen für Extension-Flexion lag bei $127^\circ \pm 2,1$.

Der Vergleich mit der gesunden Gegenseite zeigte in der statistischen Auswertung weder für das Gesamtkollektiv noch für die Subgruppe der Monteggia-Verletzungen in Relation zum Restkollektiv signifikante Unterschiede hinsichtlich Extension, Flexion, Pronation oder Supination ($p > 0.05$; s. Tabelle 7).

Auch in der Subgruppenanalyse der verschiedenen Frakturtypen nach Mayo Ib (n=1) vs. IIb (n=3) vs. IIIb (n=3) ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des Bewegungsausmasses.

3.3.2. Stabilität und Grobe Kraft

Der Test auf Varus- und Valgusstabilität zeigte bei allen Patienten stabile Bandverhältnisse.

Bei der manuellen Muskelfunktionsprüfung der Groben Kraft erreichten alle Patienten sowohl auf der operierten Seite als auch auf der Gegenseite den maximalen Kraftgrad 5/5.

3.3.3. Scores

Eine Ergebnisübersicht der erhobenen Scores ist in Abbildung 31 dargestellt.

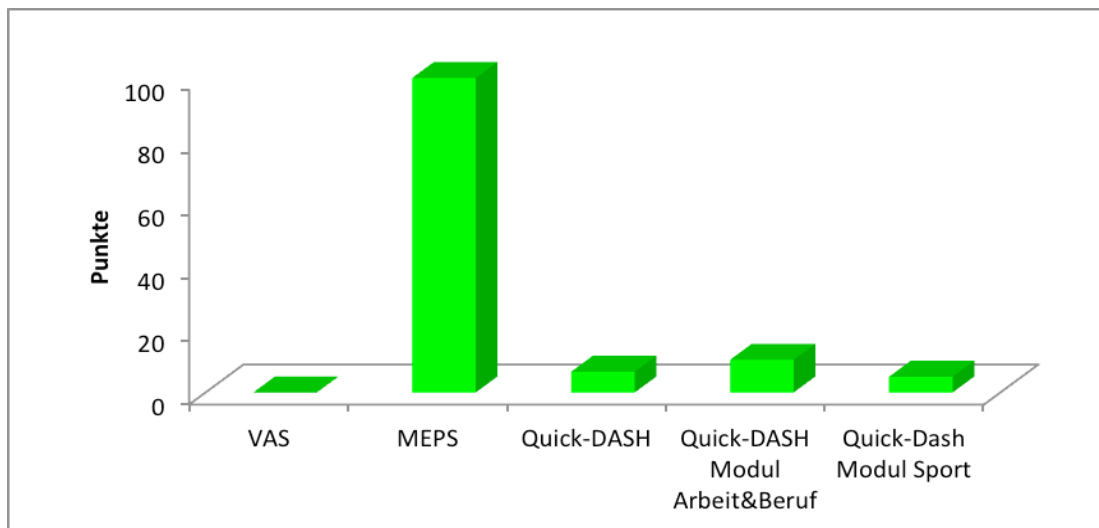


Abbildung 31: Übersicht der Scoreergebnisse des Vergleichskollektivs mit konventionellen Platten.

3.3.4. VAS

Alle Patienten des Vergleichskollektivs gaben den Wert „0“ als Bewertung für „kein Schmerz“ an.

3.3.5. Mayo Elbow Performance Score

In der Vergleichsgruppe erreichten alle Patienten die Maximalpunktzahl 100.

3.3.6. QuickDASH

Der durchschnittliche QuickDASH lag bei $6,7 \pm 7,7$ Punkten. Teil Eins des QuickDASH Fragebogens (Alltagstätigkeiten) wurde von allen Patienten beantwortet. Das Modul *Arbeit&Beruf* wurde von sechs Patienten (66%) beantwortet. Das Modul *Sport* wurde von fünf Patienten (56%) beantwortet.

Alle Patienten schätzten ihre Einschränkungen bei Alltagstätigkeiten als lediglich leichtgradig (QuickDASH < 25) ein.

Im zweiten Teil (Arbeitsfähigkeit) erreichten die Patienten im Schnitt $10,4 \pm 20$ Punkte.

Die sportlich aktiven Patienten erreichten im Schnitt $5 \pm 6,8$ Punkte im dritten Teil (Sportfähigkeit).

3.4. Isobex - Kraftmessung

Für die Extensions- und Flexions - Messungen standen acht Patienten des Vergleichskollektivs, für die Pronations- und Supinationsmessungen fünf Patienten zur Verfügung.

Zur Übersicht der Ergebnisse wurden Mittelwertvergleiche erstellt. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Frakturseite und Gegenseite ($p > 0.05$; s. Tabelle 8). Die detaillierten Kraftwerte sind in Tabelle 8 aufgeführt. Abbildung 34 zeigt eine grafische Darstellung der Messwerte.

Tabelle 8: Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite.

Betroffene Seite	Flexion 45°	Flexion 90°	Extension 45°	Extension 90°	Pronation	Supination
Mittelwert [N] ± SD	106 ± 40,5	107 ± 41,3	66 ± 24,3	64 ± 22,9	51 ± 6,5	48 ± 9,6
Range [N] (Min-Max)	60-175	63-181	40-113	34-104	40-56	33-59
p-Wert	0.95	0.80	0.98	0.78	0.55	0.48
Gegenseite	Flexion 45°	Flexion 90°	Extension 45°	Extension 90°	Pronation	Supination
Mittelwert [N] ± SD	107 ± 38,6	113 ± 46,3	66 ± 36,6	60 ± 30,1	54 ± 10,2	52 ± 8,8
Range [N] (Min-Max)	73-176	63-204	31-171	44-148	46-71	40-65

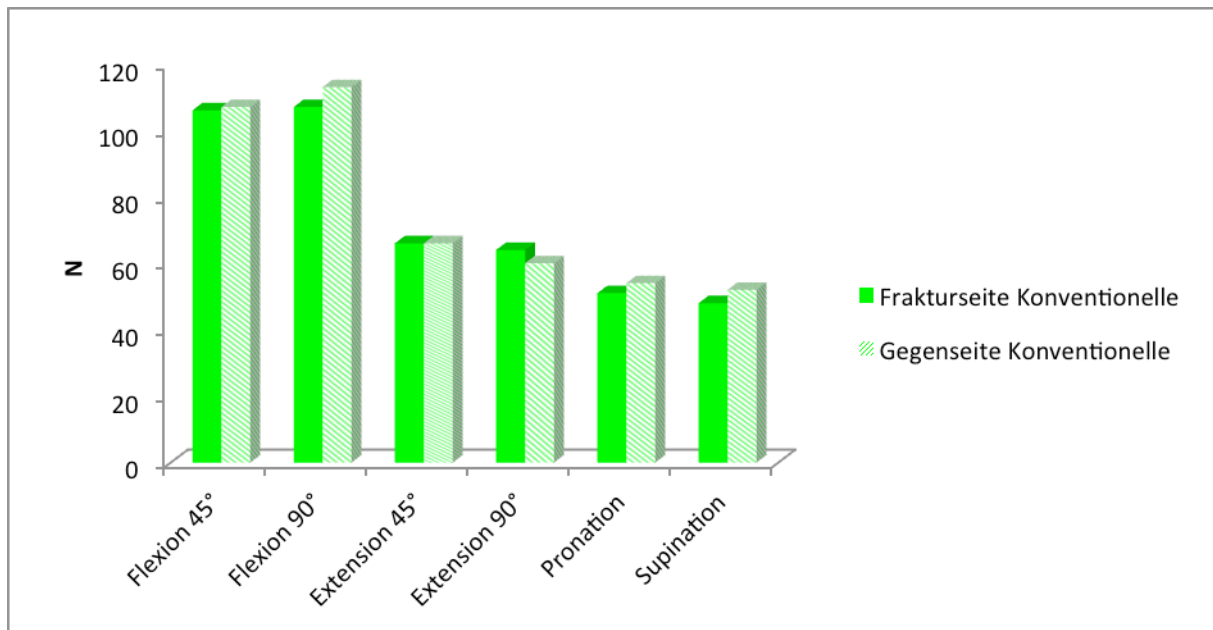


Abbildung 32: Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite.

3.5. Gegenüberstellung des klinisch-funktionellen Outcomes beider Plattenosteosynthese - Kollektive

In Bezug auf Bewegungsausmaß, Stabilität und grobe Kraft, klinische Scores (VAS, MEPS, *QuickDash*) und Kraftmessung der verletzten Armseite zeigten sich im direkten Gesamtvergleich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Studienkollektiv und Vergleichskollektiv ($p > 0.05$; ROM: Flexion: $p=0.41$; Extension: $p=0.28$; Pronation: $p=0.76$; Supination: $p=0.88$; VAS: $p=0.21$; MEPS: $p=0.07$; *QuickDASH*: $p=0.38$; Kraftmessung: Flexion 45°: $p=0.60$; Flexion 90°: $p=0.32$; Extension 45°: $p=0.12$; Extension 90°: $p=0.09$; Pronation: $p=0.98$; Supination: $p=0.40$, Patientenzufriedenheit: $p=0.32$). Die Abbildungen 33 - 35 stellen die Ergebnisse hinsichtlich ROM, Scores und Kraft vergleichend gegenüber.

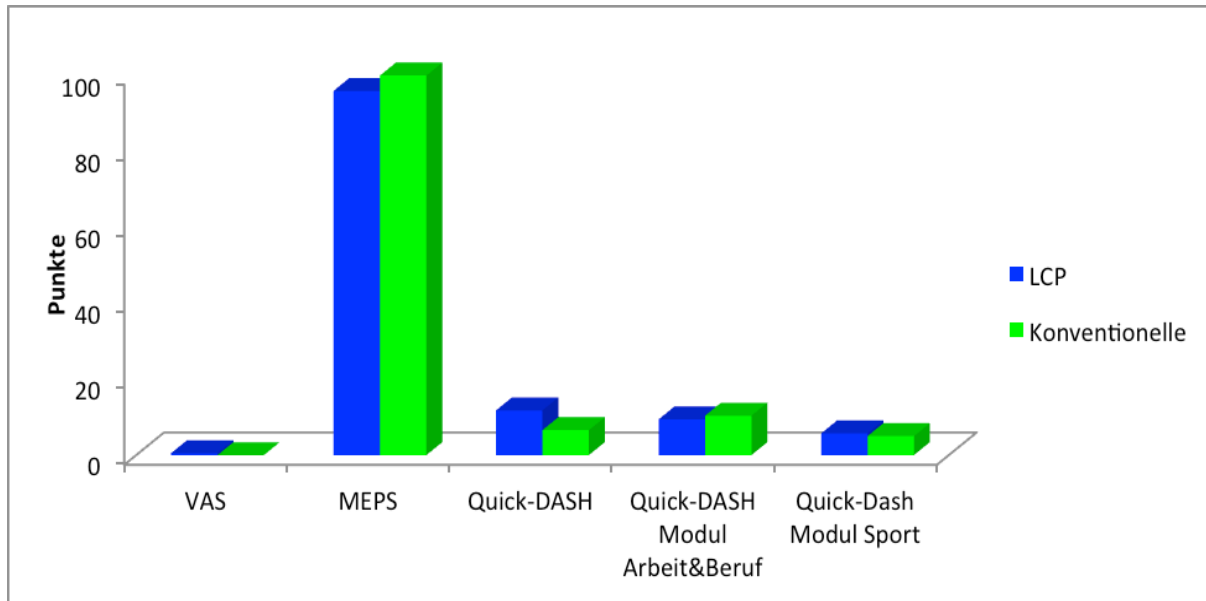


Abbildung 33: Gegenüberstellung der Scores der Plattenosteosynthese-Kollektive.

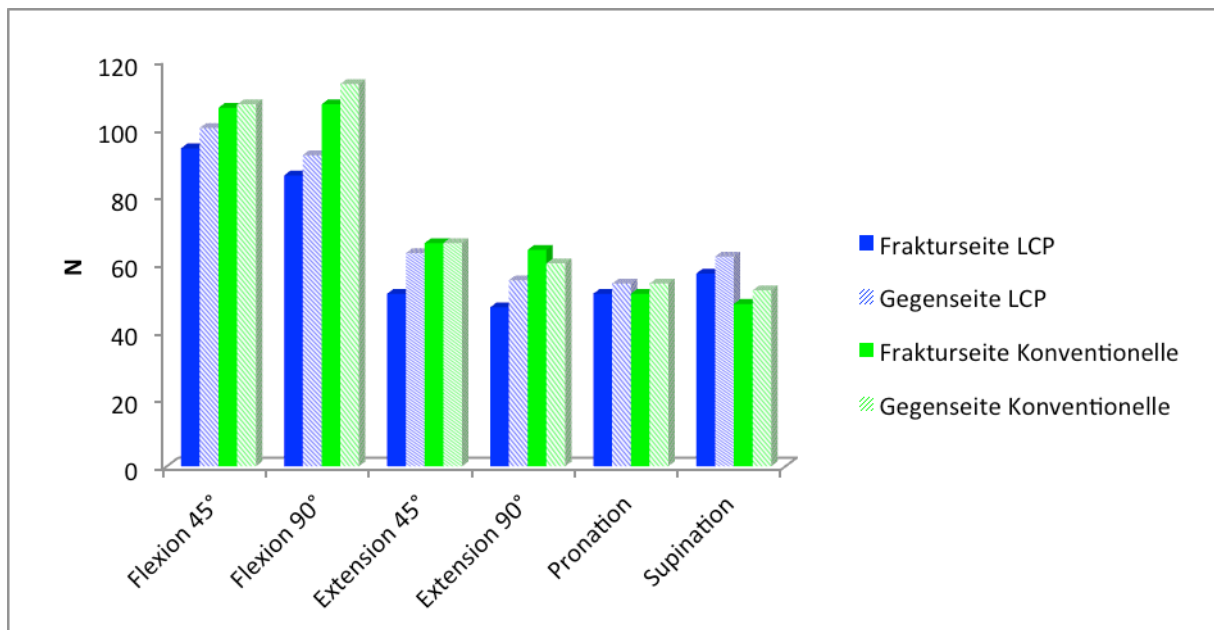


Abbildung 34: Gegenüberstellung der Isobex - Kraftwerte der Kollektive.

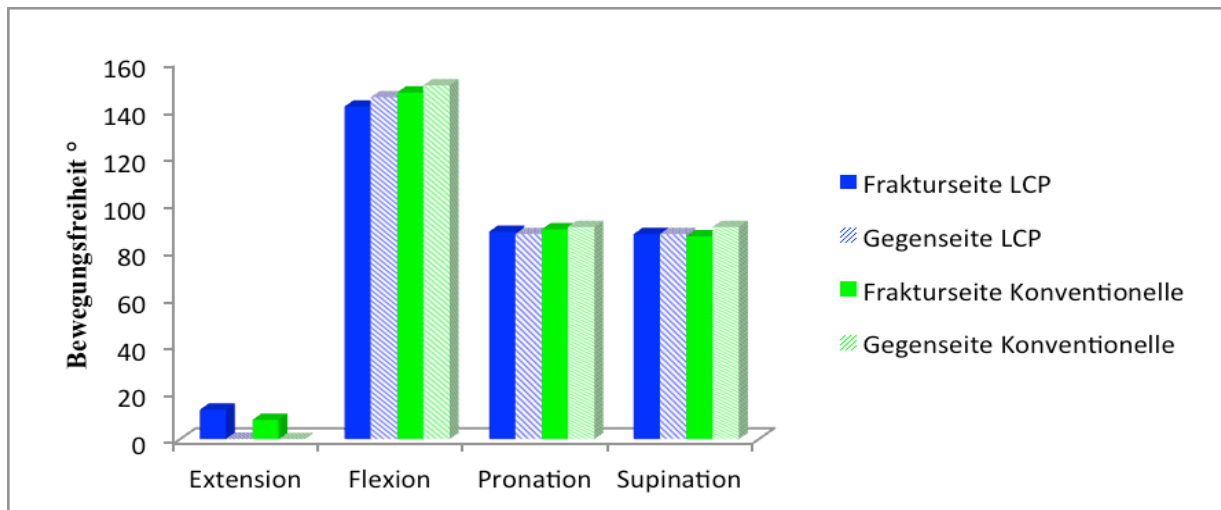


Abbildung 35: Gegenüberstellung der Bewegungsrichtungen des Ellenbogengelenks beider Kollektive.

3.6. Radiologische Auswertung

91% der Patienten (n=21) des LCP-Kollektivs zeigten eine vollständige primäre knöcherne Heilung bei regelhafter Gelenkkongruenz.

Wie bereits erwähnt, zeigte sich in einem Fall des Studienkollektivs eine Pseudarthrose im Bereich des Olekranons. Nach Entfernung der Platte und Revision mit einer Großfragment-Kompressionsschraube zeigte sich im weiteren Verlauf die knöcherne Ausheilung. Im Fall des Patienten mit zweifacher Revision mittels LCP-Olekranonplatte und nachfolgender proximaler Fragmentresektion zeigte sich im weiteren radiologischen Verlauf die knöcherne Konsolidierung. Bei keinem der Patienten des LCP-Kollektivs zeigte sich im Verlauf eine Implantatlockerung bzw. ein Implantatbruch. Nachfolgend sind drei Fallbeispiele der Versorgung mittels LCP-Olekranon demonstriert (Abb. 36 - 37).

Im Vergleichskollektiv zeigte kein Patient Auffälligkeiten hinsichtlich der knöchernen Heilung. Implantatdislokationen oder Lockerungen traten nicht auf.

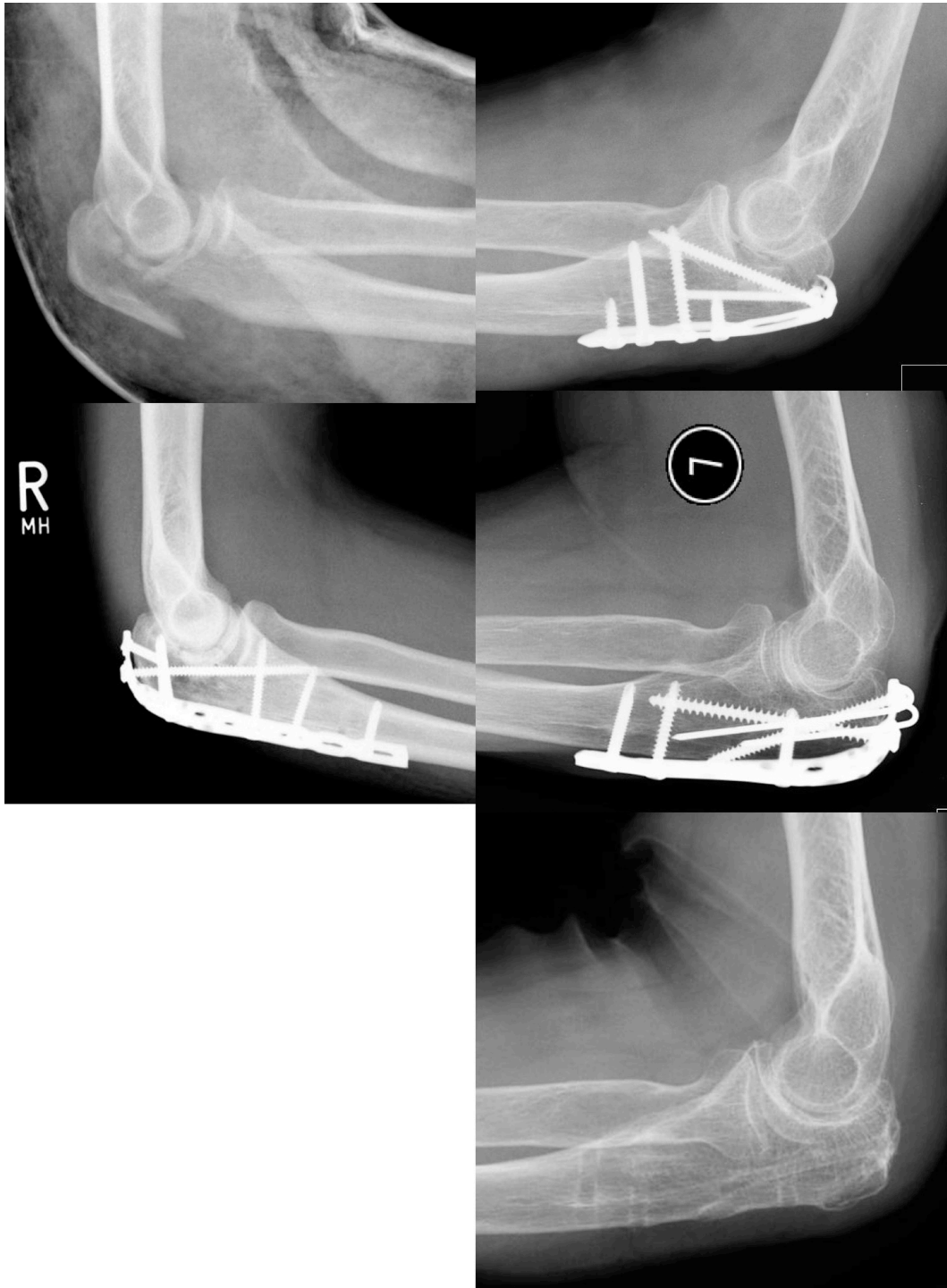


Abbildung 36: Fallbeispiel 1:

Links oben: Olekranonfraktur Mayo IIIb mit mehrfragmentärer Fraktur der Gelenkfläche;

Links unten: Anatomische Wiederherstellung des Gelenkalignements nach Versorgung mittels LCP-Olekranon.

Fallbeispiel 2:

Rechts oben: Osteosyntheseversagen bei mehrfragmentärer Olekranonfraktur Mayo IIIb nach Versorgung mittels Hakenplatte;

Rechts Mitte: Revision mittels LCP-Olekranon und additiven K-Drähten;

Rechts unten: Ausheilungsergebnis mit kongruenter Gelenkfläche der Incisura trochlearis.

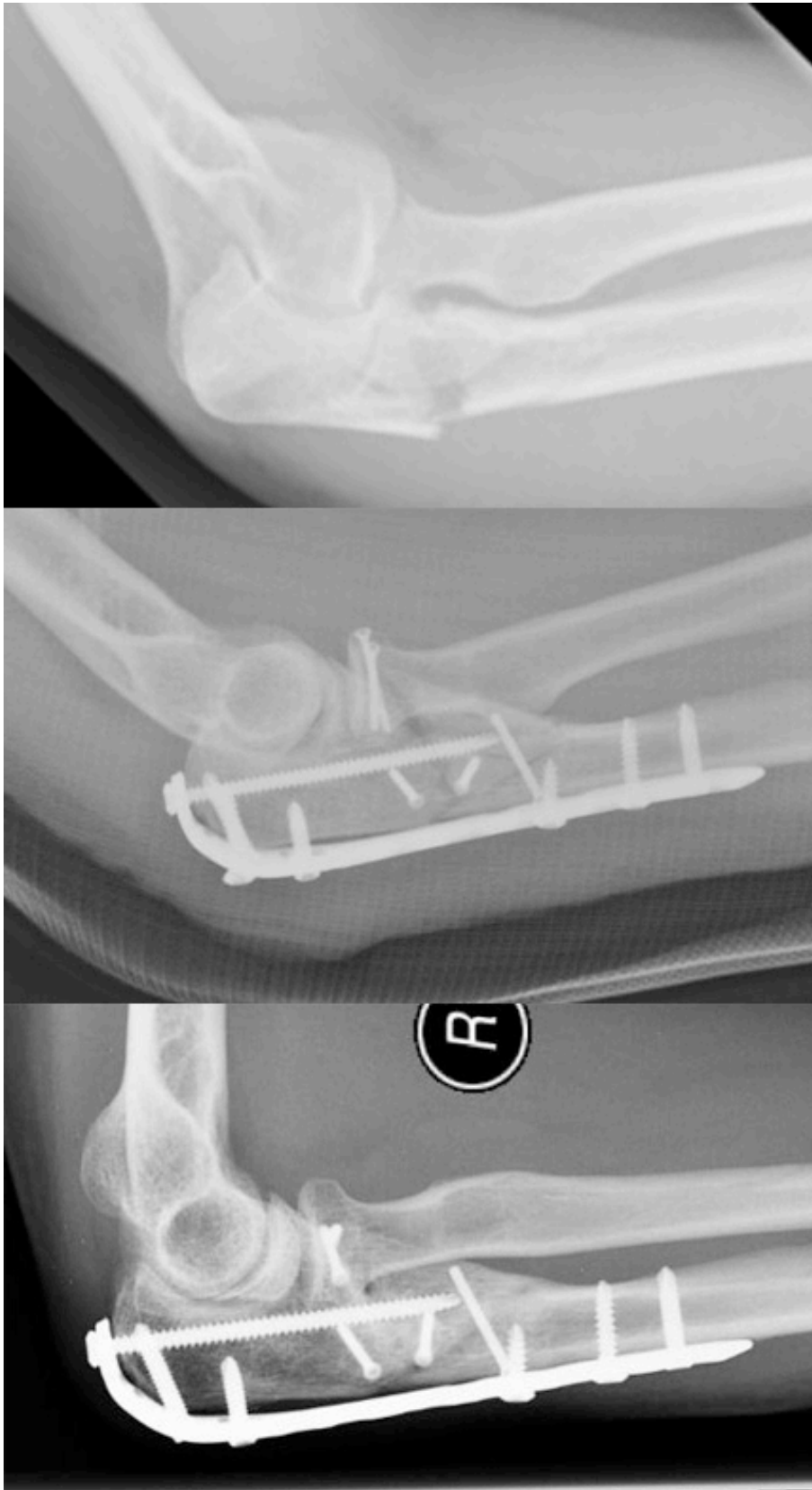


Abbildung 37: Fallbeispiel 3

Oben: Monteggiaverletzung vom Typ Bado II/Jupiter II;

Mitte: Wiederherstellung der Gelenkkongruenz nach Versorgung mittels LCP-Olekranon und freien Schrauben sowie Schraubenosteosynthese des Radiuskopfes;

Unten: Knöcherne Konsolidierung mit kongruenter Gelenkfläche der Incisura trochlearis.

3.7. Patientenzufriedenheit und Implantatverträglichkeit

Hinsichtlich der subjektiven Patientenzufriedenheit und der Implantatverträglichkeit wurden sowohl die beiden Plattenosteosynthese-Kollektive (LCP-Olekranonplatten und konventionelle Platten) als auch das Zuggurtungskollektiv miteinander verglichen.

3.8. Subjektive Patientenzufriedenheit

Der Notendurchschnitt bezüglich des postoperativen Ergebnisses nach subjektiver Patienteneinschätzung lag für das Studienkollektiv im Mittel bei $1,3 \pm 0,49$, für das Vergleichskollektiv bei $1,0 \pm 0$ und für die Patienten mit Zuggurtung bei $1,0 \pm 0$. In keinem der drei Kollektive wurde die Note „schlecht“ oder „sehr schlecht“ vergeben.

Im Studienkollektiv bewerteten 65% Patienten (n=15) das Ergebnis mit „sehr gut“ und 26% der Patienten (n=6) mit „gut“. Zwei Patienten des LCP Kollektives gaben die Note „befriedigend“ an. Die Patienten begründeten dies mit Restbeschwerden und Schmerzen bei Belastung.

Im Vergleichskollektiv der Patienten, die mit einer konventionellen Platte operativ versorgt wurden, wurde das postoperative Ergebnis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in allen Fällen mit „sehr gut“ bewertet. Auch im Zuggurtungs-Kollektiv vergaben alle Patienten die Note „sehr gut“.

Die durchschnittliche Bewertungsnote unterschied sich nicht signifikant innerhalb der drei Patientenkollektive ($p > 0.05$).

3.9. Implantatverträglichkeit

Um mögliche Unterschiede bezüglich der Implantatverträglichkeit zwischen den drei Patientenkollektiven zu evaluieren, wurden sechs klinische Parameter miteinander verglichen, wie in Tabelle 9 und 10 aufgeführt.

Die durchgeführte Umfangsmessung wurde im jeweiligen Kollektiv in Relation zur gesunden Gegenseite bewertet. Unterschiede > 1 cm wurden als auffällig definiert. Für keinen der erhobenen Parameter zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungskollektiven ($p > 0.05$).

Im Studienkollektiv war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei fünf Patienten

(22%) das Osteosynthesematerial bereits entfernt worden. Laut Eigenaussage der Patienten bzw. der vorliegenden Krankenunterlagen bestanden die nachfolgenden Gründe für die erfolgte Materialentfernung: In einem Fall wurde die Metallentfernung mit einer offenen Arthrolyse kombiniert, ein Patient beklagte Druckschmerzen über der Platte und drei Patienten wünschten eine elektive Metallentfernung, ohne funktionelle Einschränkungen oder eine Beschwerdesymptomatik.

Im Vergleichskollektiv war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei sechs Patienten (66%) das Osteosynthesematerial bereits entfernt worden. Zwei Patienten (22%) beklagten Druckschmerzen über dem prominenten Osteosynthesematerial. Vier Patienten (44%) stellten sich bei Beschwerdefreiheit zur elektive Metallentfernung vor.

Im Kollektiv der mittels Zuggurtung versorgten Patienten war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei sechs Patienten (66%) das Osteosynthesematerial bereits entfernt worden. Drei Patienten (33%) gaben Druckschmerz bzw. ein störendes Gefühl durch das einliegende Osteosynthesematerial an. Bei einem dieser Patienten zeigte sich in der radiologischen Untersuchung ein gelockerter Kirschner-Draht. Bei drei Patienten (33%) erfolgte die elektive Metallentfernung bei Beschwerdefreiheit auf expliziten Patientenwunsch.

Tabelle 9: Klinische Parameter zur Bewertung der Implantatverträglichkeit der Gesamtkollektive.

	LCP-Kollektiv (n=23)	Vergleichskollektiv (n=9)	Zuggurtung (n=9)
Narbenkelloid n (%)	1 (4)	-	-
Palpable Schwellung n (%)	-	-	-
Krepitation n (%)	1 (4)	-	-
Druckschmerz n (%)	2 (9)	-	-
Sensibilitätsstörung n (%)	0 (0)	-	-
Unterschiede Umfangmessung zur Gegenseite > 1 cm			
10 cm proximal des Gelenks n (%)	4 (16)	1 (11)	3 (33)
In Höhe des Gelenks n (%)	-	2 (22)	-
10 cm distal des Gelenks n (%)	1 (4)	2(22)	2 (22)

Zur genaueren Differenzierung wurden in einer weiteren Subgruppenanalyse nur die Patienten aller drei Kollektive anhand der genannten Parameter gegenübergestellt, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung das Osteosynthesematerial noch einliegend hatten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Parameter zur Implantatverträglichkeit von Patienten mit noch einliegendem Osteosynthesematerial.

	LCP-Kollektiv (n=18)	Vergleichskollektiv (n=3)	Zuggurtung (n=3)
Narbenkelloid n (%)	1 (6)	-	-
Palpable Schwellung n (%)	-	-	-
Krepitation n (%)	1 (6)	-	-
Druckschmerz n (%)	-	-	-
Sensibilitätsstörung n (%)	-	-	-
Unterschiede Umfangmessung zur Gegenseite > 1 cm			
10 cm proximal des Gelenks n (%)	4 (24)	1 (33,3)	-
In Höhe des Gelenks n (%)	-	-	-
10 cm distal des Gelenks n (%)	1 (6)	1 (33,3)	-

Der Vergleich der drei Kollektive miteinander zeigte keinen Unterschied bezüglich der genannten Parameter.

Auch in der Gegenüberstellung der Patienten vor und nach Metallentfernung des Osteosynthesematerials eines jeweiligen Kollektivs konnte für keinen der einzelnen Parameter ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p > 0.05$).

4. Diskussion

In der operativen Behandlung von Olekranonfrakturen bzw. Frakturen der proximalen Ulna sind die anatomische Wiederherstellung der Gelenkfläche und die stabile Fixation der Fraktur das oberste Therapieziel, um eine möglichst frühe Mobilisation des Gelenkes zu erlauben. Insbesondere bei mehrfragmentären Frakturen werden daher heutzutage standardmäßig dorsale Plattensysteme eingesetzt, um eine sichere Frakturretention zu gewährleisten.

In der vorliegenden Arbeit wurde retrospektiv das subjektive und objektive Outcome von Patienten, die in den Jahren 2007 bis 2010 im Klinikum rechts der Isar in der Abteilung für Unfallchirurgie mit einer anatomisch vorgeformten winkelstabilen Olekranonplatte (LCP-Olekranon, Fa. Synthes, Umkirch, Germany) operativ versorgt wurden, erfasst. Die klinisch-funktionellen Ergebnisse wurden denen konventioneller, nicht anatomisch präformierter Plattensysteme gegenübergestellt und zusätzlich die Implantatverträglichkeit evaluiert.

Insgesamt konnten im Studienkollektiv 23 mittels LCP-Olekranon versorgte Patienten nachuntersucht werden. Diese Gruppengröße ist mit den in der Literatur beschriebenen Untersuchungen von dorsalen Plattensystemen des Olekranons vergleichbar. So wurden in einer Untersuchung von Erturer et al. Behandlungsergebnisse von 18 Patienten und in einer aktuellen Untersuchung von Niglis et al. die Ergebnisse von 22 Patienten vorgestellt. (Erturer et al. 2011, Niglis et al. 2015) Buijze und Kloen präsentierten 2009 die Ergebnisse von 16 Patienten, die bei mehrfragmentärer Olekranonfraktur mittels dorsaler Plattenosteosynthese behandelt wurden. (Buijze, Kloen 2009) In älteren Untersuchungen stellten Simpson et al. die Ergebnisse von 37 Patienten, Bailey et al. die von 25 Patienten und Anderson et al. die von 24 Patienten nach plattenosteosynthetischer Versorgung von Olekranonfrakturen vor. (Simpson et al. 1996, Bailey et al. 2001, Anderson et al. 2007) Munoz-Mahamud et al. stellten eine Serie von zehn Fällen von Olekranonfrakturen vor, die mit zwei verschiedenen Plattensystemen operativ versorgt wurden. (Munoz-Mahamud et al. 2010)

4.1. Studienlage – dorsale Plattenosteosynthese

In der Literatur finden sich mehrere Studien, die retrospektiv das postoperative Outcome dorsaler Plattenosteosynthesen am Olekranon untersuchen. Insgesamt differieren die Indikationen für die dorsale Plattenosteosynthese, das operative

Vorgehen sowie die Bewertungskriterien und die Kriterien der Nachuntersuchung teilweise erheblich und sind nur eingeschränkt vergleichbar.

Im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte wurden die Ergebnisse konventioneller Platten (LCDCP), winkelstabiler Implantate (LCP), sowie anatomisch vorgeformter und nicht vorgeformter Plattensysteme vorgestellt. Ähnlich den Untersuchungen von anatomisch präformierten Plattensystemen am distalen Humerus, wurden in den letzten Jahren vermehrt Ergebnisse von mit neu entwickelten Implantaten versorgten Frakturen des Olekranons berichtet. (Greiner et al. 2008, Thalhammer et al. 2009, Chan et al. 2009, Georgiades et al. 2010, Theivendran et al. 2010, Schmidt-Horlohé et al. 2010, Kamrani et al. 2012)

Anderson et al. untersuchten Patienten, die mit der Mayo Congruent Elbow Plate (anatomisch vorgeformete nicht winkelstabile Olekranonplatte) versorgt wurden. (Anderson et al. 2007)

Kloen und Buijze hingegen untersuchten Patienten, die mit einer nicht vorgeformten LCP bei Trümmerfrakturen versorgt wurden. (Kloen, Buijze 2009)

Buijze und Kloen beschrieben zudem weitere Ergebnisse bei Verwendung einer nicht vorgeformten LCP bei Patienten mit Trümmerfrakturen des Olekranons in einer zweiten Studie.

(Buijze, Kloen 2009) Munoz-Mahamud et al. verglichen die Ergebnisse von drei Patienten, die mittels anatomisch präformierter LCP versorgt wurden mit Ergebnissen von sieben Patienten, die mittels konventioneller LCDCP versorgt wurden. (Munoz-Mahamud et al. 2010)

Erturer et al. ermittelten 2011 das postoperative Ergebnis von Patienten mit Trümmerfrakturen des Olekranons nach Implantation einer präformierten 3.5-mm low contact locking olecranon plate. (Erturer et al. 2011)

In einer Studie von Yang et al. wurden Patienten mit Trümmerfrakturen des Olekranons (Typ Mayo Typ IIb und IIIb) ebenfalls – wie in der hier vorgestellten Untersuchung – mit einer anatomisch vorgeformten LCP-Olekranon versorgt. (Yang et al. 2011)

Ebenso beschrieben Niglis et al. Nachuntersuchungsergebnisse von Patienten mit Mayo Typ II und Typ III Frakturen, die mittels LCP-Olekranon versorgt wurden. (Niglis et al. 2015)

Tabelle 11 gibt einen Überblick der Studienergebnisse nach Versorgung von Olekranonfrakturen mittels winkelstabilen bzw. nicht winkelstabilen und/ oder anatomisch präformierten bzw. nicht präformierten Plattensystemen.

Tabelle 11: Studienübersicht

	Anderson et al. 2007	Buijze, Kloen 2009	Kloen, Buijze 2009	Munoz-Mahamud et al. 2010	Erturer et al. 2011	Yang et al. 2011	Niglis et al. 2015	Eigene Studie
Anzahl [n]	24	16	24	10	18	11	22	23
Plattendesign	Anatomisch präformiert Nicht winkelstabil	Anatomisch nicht präformiert winkelstabil	Anatomisch nicht präformiert winkelstabil	LDCDP vs. anatomisch präformiert winkelstabil	Anatomisch präformiert winkelstabil	Anatomisch präformiert winkelstabil	Anatomisch präformiert winkelstabil	Anatomisch präformiert winkelstabil
retrospektiv	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Follow-Up [Monate]	26,5	22	18	11	22,6	8,4	20	11
Alter [Jahre]	54,2	56	53	53	41	52	55,7	54
ROM [°] Flex/Ext Pro/Sup	120/13,5 Pro-Sup: 157,7	136/13 74/71	132/18 75/70	121/27 64/74	-	-	131/9,5 79/80,5	141/12,5 88/87
Kraftmessung MRC	-	4,75/5	-	-	-	-		5/5
MEPS	89	93	-	84	-	-	96,6	96,6
DASH/ QuickDASH	25	13	-	-	17	-	-	11
Broberg/ Morrey	-	9 excellent 6 good 1 fair	-	-	4 excellent 8 good 5 fair 1 poor	4 excellent 6 good 1 fair	mean 96,7 (excellent)	-
VAS	-	1,0	-	-	-	-	-	0,6

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit maßgeblich mit den Studienergebnissen aus vorangegangener Tabelle, aber auch mit weiteren Untersuchungen von Olekranonfrakturen hinsichtlich des Outcomes detailliert verglichen und diskutiert.

4.2. Patientenprofil

Das mittlere Patientenalter des Studienkollektivs ist mit 54 Jahren mit anderen Untersuchungen, die das Outcome winkelstabiler Platten am Olekranon beurteilten vergleichbar. (Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010, Yang et al. 2011, Niglis et al. 2015)

Das Durchschnittsalter des eigenen Vergleichskollektivs lag mit 48 Jahren geringfügig darunter. Während im Studienkollektiv 52% der Patienten älter als 60 Jahre waren, zählten im Vergleichskollektiv nur 33% zu dieser Altersgruppe. Im Studienkollektiv befanden sich die drei ältesten Patienten (alle weiblich) des Gesamtkollektivs im Alter zwischen 76 und 80 Jahren. Dies kann darin begründet sein, dass aufgrund des fortgeschrittenen Patientenalters zum Zeitpunkt der Verletzung eine verminderte Knochenqualität vermutet wurde und daher durch den Operateur primär ein Implantat mit winkelstabilen Verankerungsmöglichkeiten gewählt wurde. In beiden Untersuchungskollektiven waren mit ähnlicher Häufigkeit mehr Frauen als Männer betroffen (65% im Studienkollektiv; 66% im Vergleichskollektiv; $p=0.76$). Diese Verteilung deckt sich mit anderen Untersuchungen aus der Literatur. (Buijze, Kloen 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010, Anderson et al. 1996, Kloen, Buijze 2009, Niglis et al. 2015)

Im Studienkollektiv zeigte sich ein deutlicher Unterschied der Altersverteilung bezüglich der Geschlechter. Während die Männer im Durchschnitt 29 Jahre alt waren, lag das Durchschnittsalter der Frauen bei 57 Jahren. In der Gruppe der Männer war der älteste Patient 41 Jahre alt. Diese Altersverteilung im Studienkollektiv ist möglicherweise in Zusammenhang mit den dokumentierten Unfallmechanismen zu sehen. In der Untergruppe der männlichen Patienten stellten High-Energy-Traumata (z.B. Verkehrsunfall, Fahrradunfall) einen Großteil der dokumentierten Unfallmechanismen dar. Aufgrund der daraus resultierenden Verletzungsschwere, wurde möglicherweise primär ein winkelstabiles Implantat zur operativen Versorgung verwendet. Im Vergleichskollektiv war die Gruppe der Männer und Frauen in einem ähnlichen Alter (durchschnittlich 40 bzw. 39 Jahre). Eine eindeutige Präferenz bestimmter Altersgruppen bzw. ein Zusammenhang zwischen Geschlecht, Unfallursache und Fraktur konnte nicht erkannt werden. Stürze zu Fuß bzw. aus dem Stand wurden in der vorliegenden

Studie anamnestisch als häufigste Ursache ermittelt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien. (Buijze, Kloen 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010)

Im Studienkollektiv konnten 80% der Patienten nachuntersucht werden, was eine vergleichbare Rücklaufquote mit den Untersuchungen der letzten Jahre darstellt (Anderson et al. 2007, Niglis et al. 2015) Es ist jedoch zu vermerken, dass sich in der Mehrzahl der Arbeiten aus der Literatur keine Angaben hinsichtlich der Rücklaufquote finden. (Simpson et al. 1996, Bailey et al. 2001, Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010) Im eigenen Patientengut lagen die Rücklaufquoten mit 32% für das Vergleichskollektiv und im Zuggurtungskollektiv mit 31% deutlich unterhalb derer der Untersuchungskollektive aus der Literatur. Die Gründe hierfür waren vielschichtig. Ein Drittel der Patienten des Vergleichskollektivs waren in zu schlechtem Allgemeinzustand aufgrund hohen Alters oder erheblicher Nebenerkrankungen, ein Fünftel der Patienten konnten aufgrund eines Wohnsitzwechsels nicht nachuntersucht werden. Außerdem lehnten im Vergleichskollektiv, ebenso wie im Zuggurtungskollektiv, die Mehrzahl der Patienten die Nachuntersuchung bei vielfach bereits erfolgter Materialentfernung und/ oder berichteter Beschwerdefreiheit ab. An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass die deutlichen Unterschiede der Rücklaufquoten bzw. der Stichprobenzahlen des Studienkollektivs und der Vergleichskollektive eine deutlich erniedrigte statistische Aussagekraft bedingten und somit nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse zulassen.

Weder im Studienkollektiv noch im Vergleichskollektiv zeigten sich bezüglich des Body-Mass-Index offensichtliche Abweichungen zur Verteilung in der Gesamtbevölkerung in Deutschland. (Gesundheitsberichterstattung des Bundes; 2015, April 2) Im Studienkollektiv waren 65% der Patienten normalgewichtig und 35% präadipös. Im Vergleichskollektiv waren 33% der Patienten normalgewichtig, 22% leicht untergewichtig, und 44% waren präadipös oder leicht übergewichtig. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte nicht gezeigt werden ($p=0.75$). In vergleichbaren Untersuchungen zur plattenostesynthetischen Versorgung proximaler Ulnafrakturen wurde der BMI in der Evaluation bislang nicht ermittelt bzw. berücksichtigt.

Die Verletzung des dominanten Armes zeigte in der vorliegenden Untersuchung keinen Unterschied zwischen den beiden Kollektiven (48% im Studienkollektiv; 44% im Vergleichskollektiv; $p=0.54$). Die in der Literatur beschriebenen Verteilungsmuster sind uneinheitlich. Erturer et al. berichteten in ihrem Kollektiv über eine vermehrte

Verletzung der dominanten Armseite bei 72% der untersuchten Patienten. (Erturer et al. 2011) Niglis et al. dagegen beschrieben 2015 die Verletzung des dominanten Armes in 50% des nachuntersuchten Kollektivs, was der Verteilung im hier vorgestellten Studienkollektiv nahekommt. (Niglis et al. 2015) Munoz-Mahamud et al. berichteten bei 60% der Patienten Verletzungen des dominanten Armes. (Munoz-Mahamud et al. 2010) Buijze et al. beobachteten bei 37% der untersuchten Patienten Verletzungen des dominanten Armes. (Buijze et al. 2009) Eine mögliche Beziehung der Verletzung der dominanten Armseite in Bezug auf die Verletzungsursache und/ oder die körperliche Tätigkeit konnte retrospektiv in der eigenen Studie durch die Dokumentation in den Krankenunterlagen bzw. die Befragung der Patienten nicht herausgearbeitet werden. 70% der Patienten des Studienkollektivs und 78% des Vergleichskollektivs übten einen nicht körperlich anstrengenden Beruf aus.

Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum für das Studienkollektiv lag bei $11 \pm 6,2$ Monaten, im Vergleichskollektiv bei $18 \pm 10,3$ Monaten. Das Follow-up aller untersuchten Patienten, die mittels dorsaler Plattenosteosynthese versorgt wurden, lag bei $15 \pm 8,3$ Monaten. Im Vergleich mit einigen Studien aus der Literatur ist dieser Follow-up-Zeitraum teilweise kürzer, was im wesentlichen durch die Tatsache zu erklären ist, dass die LCP-Olekranonplatte in der Abteilung für Unfallchirurgie des Klinikums rechts der Isar in München erst unter der Leitung von Prof. Dr. U. Stöckle seit Anfang 2007 zunehmend eingesetzt wurde. (Anderson et al. 2007; Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Niglis et al. 2015)

Allerdings wurden auch Studien mit vergleichbaren oder kürzeren Nachuntersuchungszeiträumen beschrieben. So berichten Yang et al. nach einem mittleren Follow-up von 8,4 Monaten über elf Fälle nach Versorgung mittels LCP-Olekranon, Munoz-Mahamud et al. beschreiben ihre Ergebnisse mit einem durchschnittlichen Follow-up von 11 Monaten. (Yang et al. 2011, Munoz-Mahamud et al. 2010) Langzeituntersuchungen wurden bisher von wenigen Autoren präsentiert. (Karlsson et al. 2002, Lindenhovius et al. 2008; Guitton et al. 2009) Karlsson et al. und Lindenhovius et al., beurteilten die Ergebnisse nach einer operativen Versorgung am Olekranon nach 11 bzw. 28 Jahren als überwiegend sehr gut.

4.3. Frakturkollektiv

Im Studienkollektiv wiesen 48% der Patienten eine dislozierte, mehrfragmentäre Fraktur vom Typ Mayo IIIb auf. Zudem erlitten vier Patienten (18%) eine Monteggia-like-lesion mit dislozierter bzw. mehrfragmentärer Ulnafraktur. Demgegenüber hatten im Vergleichskollektiv nur 33% der Patienten eine Mehrfragmentfraktur vom Typ Mayo IIIb.

Im Rahmen der präoperativen Planung entscheidet sich der Operateur für das zu verwendende Implantat maßgeblich anhand der Fraktursituation und der Knochenqualität. Daher ist zu vermuten, dass bei der Mehrzahl an komplexen Frakturformen im Studienkollektiv primär die Verwendung eines modernen winkelstabilen Implantates durch die verantwortlichen Operateure geplant wurde. Auch in anderen Studien zum Outcome nach Plattenosteosynthese wurden ähnlich heterogene Frakturkollektive untersucht. (Anderson et al. 2007, Buijze, Kloen 2009) Wie in der vorliegenden Studie, wurden in zahlreichen Untersuchungen in der Literatur isolierte Olekranonfrakturen und Kombinationsverletzungen der proximalen Ulna (Monteggia-Frakturen und Monteggia-like-lesions) als Untersuchungskollektiv zusammengefasst. (Simpson et al. 1996, Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Niglis et al. 2015)

Simpson et al. beschrieben 1996 beschrieben 37 Fälle im Zeitraum von 1990 bis 1994, die mittels dorsaler Plattenosteosynthese versorgt wurden. (Simpson et al. 1996) Monteggia Verletzungen lagen in 65% der genannten Fälle vor. Korner et al. beschrieben 2004 49 Patienten mit Monteggia-Frakturen, die zwischen 1988 und 2001 in zwei unfallchirurgischen Universitätskliniken operativ versorgt und nachuntersucht wurden. (Korner et al. 2004) Die Frakturen wurden in 18 Typ 1 und 22 Typ 2 sowie fünf Typ 3 und vier Typ 4 Verletzungen nach Bado klassifiziert. Niglis et al. beschrieben 2015 22 Patienten. (Niglis et al 2015) 68% der Patienten erlitten Mayo Typ II, 32% Mayo Typ III Verletzungen. Neun Patienten erlitten zusätzlich eine Radiusköpfchenfraktur im Sinne einer Monteggia-like-lesion. In der vorliegenden Studie wiesen 22% der Patienten des Studienkollektivs mit Frakturtyp IIIb Begleitverletzungen auf. Diese Häufigkeit ist mit den Angaben aus der Literatur vergleichbar. (Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Niglis et al. 2015)

Die Häufung komplexer Frakturformen im Studienkollektiv der vorliegenden Untersuchung spiegelt sich in der Verwendung additiver Implantate bzw. Osteosynthesematerialien wieder (siehe Tabelle 4). Insgesamt wurden in

Studienkollektiv bei 13 Patienten (57%) zusätzlich zur LCP-Olekranonplatte Schrauben bzw. K-Drähte und/ oder Cerclagen eingebracht. Demgegenüber wurden im Vergleichskollektiv lediglich bei zwei Patienten (22%) zusätzlich K-Drähte eingebracht. Dies lässt sich durch die komplexeren Fraktur entitäten im Studienkollektiv begründen.

Auch in anderen Untersuchungen wird die Verwendung zusätzlicher Osteosynthesematerialien oder knöcherner Transplantate beschrieben. So geben Simpson et al. die Verwendung autologer Knochentransplantate in vier Fällen (31%) an. ^(Simpson et al. 1996) Buijze und Kloen geben die Versorgung einer Radiusköpfchenfraktur mittels Resektion und Protheseneinlage in einem Fall an. In zwei weiteren Fällen (12,5%) wurden autologe Knochentransplantate verwendet, in einem Fall wurde zusätzlich zur Plattenosteosynthese eine Drahtcerclage eingebracht. ^(Buijze, Kloen 2009) Kloen und Buijze gaben die additive Verwendung eines autologen Knochentransplantates in sieben Fällen (29%), eine additive Drahtcerclage in drei Fällen (8,3%) und die Verwendung einer Radiusköpfchenprothese in drei von vier Fällen (75%) an. ^(Kloen, Buijze 2009)

4.4. Operative Parameter

4.4.1. Zeitspanne Trauma – operative Versorgung

Im Vergleichskollektiv wurden die Patienten tendenziell früher operativ behandelt. Die Patienten des Studienkollektivs wurden im Schnitt 4,6 Tage nach dem Trauma versorgt, die des Vergleichskollektivs nach 2,7 Tagen. Etwa 90% der Patienten waren im Studienkollektiv (n=21) nach fünf Tagen operativ versorgt, im Vergleichskollektiv (n=8) bereits nach drei Tagen. Dies ergab sich zum Teil aus einer verspäteten Vorstellung. Eine zeitlich verzögerte operative Versorgung lag in den untersuchten Kollektiven nur in den Fällen mit vorangegangenen Ersteingriffen oder bei verspäteter Vorstellung vor. In einem Fall im Studienkollektiv erfolgte eine Revision bei Z.n. Zuggurtungsosteosynthese extern mittels LCP-Olekranonplatte erst am 44. Tag. Bei einem weiteren Patienten des Studienkollektivs wurde die LCP-Olekranonplatte bei sekundärer Fragmentdislokation fünf Tage nach der Erstversorgung eingebracht. Im Vergleichskollektiv war lediglich ein Patient, der nach Fragmentdislokation bei vorangegangener Zuggurtungsosteosynthese mittels einer Haken-Platte und additiven K-Drähten im Rahmen eines Revisionseingriffes versorgt

wurde (14 Tage nach Ersteingriff). Im Studienkollektiv erfolgte außerdem aufgrund einer I°-offenen Fraktur zunächst ein Wunddebridement und die Anlage eines Fixateur externe und sekundär nach vier Tagen die Versorgung mittels LCP-Olekranonplatte. Ein weiterer Patient des Studienkollektivs zog sich eine II°-offene transolekranische Luxationsfraktur sowie eine ipsilaterale distale Humerusfraktur zu und wurde nach chirurgischem Debridement zunächst mittels Fixateur externe sowie additiven K-Drähten versorgt. Die definitive Versorgung erfolgte acht Tage nach dem Ersteingriff. Im Vergleichskollektiv erlitt kein Patient eine offene Fraktur. Keiner der Patienten beider Kollektive erlitt eine begleitende Gefäß-, Nervenverletzungen und/oder ein Kompartmentsyndrom des proximalen Unterarmes, sodaß eine osteosynthetische Versorgung sofort durchgeführt werden konnte. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kollektiven hinsichtlich der Zeitspanne zwischen Trauma und operativer Versorgung ergab sich nicht ($p=0.56$).

Nur wenige Arbeiten beschreiben den Versorgungszeitpunkt nach proximaler Ulnafraktur. Beschrieben sind Zeiträume zwischen Trauma und operativer Versorgung im Mittel von zwei und drei Tagen bis hin zu null bis acht Tagen. ^(Bujize Kloen 2009, Simpson et al. 1996, Munoz-Mahamud et al. 2010) Diese unterschiedlichen Angaben aus der Literatur sind vermutlich durch ähnliche Ursachen (offene Verletzungen, verzögerte Patientenvorstellung, etc.) wie im vorliegenden Studienkollektiv zu begründen. Ein Einfluss des Versorgungszeitpunktes auf das ermittelte funktionelle Outcome wird in keiner Studie berichtet.

4.4.2. Operationszeit

Im Studienkollektiv lag die durchschnittliche Schnitt-Naht Zeit mit 137 Minuten (range, 105 - 267 Minuten) über der des Vergleichskollektivs mit 110 Minuten (range, 76 - 141 Minuten). Die Operationsdauer in den Untergruppen der Patienten mit Monteggia-Äquivalent-Verletzungen war mit 118,7 Minuten im Studienkollektiv (range, 57-159 Minuten) und 120 Minuten im Vergleichskollektiv (range, 109 - 130 Minuten) vergleichbar. Die Unterschiede in der Operationszeit sind vermutlich mit der komplexeren Frakturmorphologie des Studienkollektivs und durch die sich daraus ableitende vermehrte Anwendung zusätzlicher Osteosynthesematerialien zu erklären. Zudem kann angenommen werden, dass nach Einführung eines neuen Implantatsystems die Operateure zunächst eine Eingewöhnungsphase bezüglich des

Handlings der Systeme benötigten. Ein statistischer Unterschied bezüglich der Operationszeit beider Kollektive zeigte sich nicht ($p=0.13$).

Die Operationszeiten beider Kollektive der vorliegenden Studie liegen im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte. Es finden sich mittlere Operationszeiten zwischen 75 und 143 Minuten mit einer Spanne von 40 bis 312 Minuten. (Anderson et al. 2007, Munoz-Mahamud et al. 2010) Anders als in dieser Untersuchung begründeten die Autoren die längsten Operationszeiten durch teilweise versorgungspflichtige Begleitverletzungen im Rahmen von Polytraumata, sodass die eigentliche OP-Zeit für die isolierte Olekranonversorgung nicht direkt verglichen werden kann. (Anderson et al. 2010)

4.5. Klinisch-funktionelles Outcome

4.5.1. Bewegungsausmaß (ROM) und Kraft

4.5.1.1. ROM

Die mittlere aktive Flexion lag im Studienkollektiv bei 141° (Gegenseite: 145°) mit einer Spanne von 120 bis 150° und im Vergleichskollektiv bei 147° (Gegenseite: 150°) mit einer Spanne von 130 bis 155° . Der Vergleich der operierten Seite zur gesunden Gegenseite zeigte keinen signifikanten Unterschied (Studienkollektiv: $p=0.12$; Vergleichskollektiv $p=0.06$) Ein signifikanter Unterschied im Vergleich der Kollektive hinsichtlich der Flexion der operativ versorgten Seite zeigte sich ebenfalls nicht ($p=0.41$). Die Flexionswerte der beiden Kollektive sind mit den Ergebnissen aus der Literatur ein vergleichbar (Simpson et al. 1996, Anderson et al. 2007, Morrey BF 1995, Buijze, Kloen 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010, Niglis et al. 2015) Die vorgenannten Autoren geben die Flexion im Mittel mit 120 bis 136° mit einer Spanne von 75 bis 150° an.

Das mittlere Extensionsdefizit des betroffenen Arms wird in der Literatur mit Werten von $9,5$ bis 27° mit einer Spanne von 0 bis 70° angegeben. (Simpson et al. 1996, Anderson et al. 2007, Buijze Kleon 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010, Niglis et al. 2015) Keine der genannten Studien gibt Vergleichswerte für die nicht verletzte Gegenseite an. Buijze und Kloen geben ein Extensionsdefizit von 34° an, das nach durchgeführter Metallentfernung auf 10° im Mittel verbessert werden konnte. (Buijze, Kloen 2009) Das mittlere Extensionsdefizit des Studienkollektivs der vorliegenden Arbeit lag bei $12,5^\circ$ mit einer Spanne von 0 bis 35° (Gegenseite: $0,2^\circ$) und im Vergleichskollektiv bei $8,2^\circ$ mit einer Spanne von 0 bis

20° (Gegenseite: 0°) ($p=0.28$). Der Vergleich der operierten Seite zur gesunden Gegenseite zeigte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Extensionswerte (Studienkollektiv: $p=0.05$; Vergleichskollektiv $p=0.07$) Der Unterschied zwischen den Kollektiven kann sicherlich zum Teil mit der höheren Rate der Metallentfernungen (67%) im Vergleichskollektiv bereits vor Befunderhebung im Rahmen der Studienuntersuchung erklärt werden. Zusätzlich zeigten sich die stärksten Einschränkungen jeweils in beiden Kollektiven bei den komplexen Trümmerfrakturen (Mayo Typ IIIb) oder in Fällen mit postoperativen Komplikationen. Da im Vergleichskollektiv zahlenmäßig Mayo Typ I und II-Frakturen überwogen, erscheint das Ergebnis über die Mittelwertbildung augenscheinlich günstiger.

Bezüglich der Freiheitsgrade für Supination und Pronation nach plattenosteosynthetischer Versorgung von Olekranonfrakturen finden sich in der Literatur Werte von 64 bis 80° mit einer Spanne von 5 bis 90° für die Pronation und 74 bis 85° mit einer Spanne von 10 bis 90° für die Supination. (Munoz-Mahamud et al 2010, Buijze, Kloen 2009, Simpson et al. 1996, Niglis et al. 2015)

Das Studienkollektiv der vorliegenden Arbeit zeigte mit 88° mit einer Spanne von 45 bis 90° für die Pronation und 87° mit einer Spanne von 45 bis 90° für die Supination bessere Werte im Vergleich mit den Literaturdaten. (Munoz-Mahamud et al. 2010, Buijze, Kloen 2009, Simpson et al. 1996, Niglis et al. 2015) Das

Vergleichskollektiv zeigte mit 89° mit einer Spanne von 80 bis 90° für die Pronation und 86° mit einer Spanne von 65 bis 90° für die Supination ebenfalls günstigere Werte als die beschriebenen Werte in der Literatur. (Munoz-Mahamud et al 2010, Buijze, Kloen 2009, Simpson et al. 1996, Niglis et al. 2015)

Die geringe Streuung der sonstigen Befunde schlägt sich in der niedrigen Standardabweichung trotz heterogener Kollektive nieder. Zwischen den beiden Kollektiven zeigte sich kein statistischer Unterschied in den genannten Werten (verletzte Seite: Supination: $p=0.88$; Pronation: $p=0.76$; Gegenseite: Supination: $p=0.43$; Pronation: $p=0.44$). Insgesamt konnten in der vorliegenden Arbeit nur bei mehrfragmentären, dislozierten Frakturen vom Typ Mayo IIIb einschränkende Bewegungsdefizite im Seitenvergleich beobachtet werden. Einzelfälle, zeigten Streckdefizite bis zu 30°, die mit Voroperationen und Begleitverletzungen (Radiusköpfchensprengung, vorangegangene Radius- und Ulnaschaftfraktur) sowie höherem Alter (älter als 70 Jahre) assoziiert waren.

4.5.1.2. Kraftmessung

Zur objektiven Messung von Muskelkräften mithilfe eines Kraftmessgerätes im Anschluss nach Ellenbogenverletzungen sind bislang nur wenige Studien veröffentlicht worden. (Cikes et al. 2006, Olsen, Søjbjerg 2003, Hintermann et al. 2000) Hintermann et al. ermittelten postoperative Muskelkräfte bei 42 Patienten im Alter zwischen 52 und 92 Jahren mit proximalen Humerusfrakturen mithilfe eines Isobex-Messgerätes der Cursor AG, Bern. (Hintermann et al. 2000) Olsen und Søjbjerg nutzten das Isobex zur Ermittlung der Muskelkräfte bei 19 Patienten mit initialer Ellenbogeninstabilität zur Beurteilung des Operationserfolges. (Olsen, Søjbjerg 2003) Cikes et al. wandten das Isobex zur Überprüfung des Erfolges einer offenen Arthrolyse bei posttraumatischer Ellenbogensteifheit an. (Cikes et al. 2006)

Studien, die apparativ die isometrische Kraft nach operativ versorgter proximaler Ulnafraktur untersuchten, wurden bisher nicht veröffentlicht.

In der vorliegenden Arbeit wurden die geringsten Muskelkräfte mit Ausnahme der Patienten mit besonders schweren Unfallfolgen, Komplikationen, Begleitverletzungen oder Voroperationen von den Studienteilnehmern erreicht, die über 70 Jahre alt waren. Die höchsten Kraftwerte erzielten dagegen die jüngsten Teilnehmer mit 16 und 28 Jahren (Vergleichskollektiv) bzw. 29 Jahren (Studienkollektiv), sowie zwei Patienten im Studienkollektiv welche angaben, Tischtennis zu spielen bzw. zu klettern. Hier ist der Zusammenhang mit einem körperlichen Training insbesondere des Arms naheliegend. Messwerte der Kräfte für Pro- und Supination lagen lediglich bei 39% der Patienten des Studienkollektivs und bei 56% des Vergleichskollektivs vor. Hierbei zeigten sich keine augenscheinlichen Unterschiede. Ein statistischer Vergleich diesbezüglich konnte allerdings aufgrund der geringen Fallzahlen nicht durchgeführt werden. Die Prüfung der groben Kraft ergab bei allen Studienteilnehmern in beiden Kollektiven den maximalen Kraftgrad 5/5. Buijze und Kloen dagegen beschrieben bei 19% der untersuchten Patienten Werte von 3/5 bis 4/5, gaben hierfür allerdings keine einzelnen Begründungen an. (Buijze, Kloen 2009)

In der objektiven Kraftmessung mittels des Kraftmessgerätes zeigte der Vergleich der Frakturseite mit der gesunden Gegenseite keine signifikanten Unterschiede ($p > 0.05$), obgleich die Kraftwerte im Mittel insbesondere bei Extension in 45° und 90° Flexion erniedrigt waren (54 N vs. 64 N; $p=0.16$) bzw. 50 N vs. 59 N; $p=0.21$). Im Vergleichskollektiv zeigte sich im Seitenvergleich ebenfalls kein signifikanten

Unterschied zu Gegenseite bei den erhobenen Kraftmessungen ($p > 0.05$). Auch der Vergleich der beiden Plattenosteosynthese-Kollektive miteinander zeigte keine Unterschiede hinsichtlich aller erhobenen Kraftwerte ($p > 0.05$).

Insgesamt ist die Abschwächung der Kraftwerte möglicherweise durch den operativen Zugang und die Plattenlage am proximalen Ellenbogen begründet. Erst durch die Spaltung der Trizepssehne am Olekranonansatz kann die dorsal positionierte Platte optimal am Knochen angelegt werden. Durch Umwandlung des Sehngewebes in Narbengewebe kann es vermutlich auch zu einer verminderten Kraftentwicklung für die Extension kommen. Keiner der nachuntersuchten Patienten klagte trotz des gemessenen Kraftdefizites über ein merkliches bzw. einschränkendes Extensions- und/ oder allgemeines Kraftdefizit bei alltäglichen Belastungen. Eine klinische Relevanz ist somit für das gesehene Kraftdefizit nicht abzuleiten.

Gründe für die nicht erkennbare Signifikanz in den einzelnen erhobenen Kraftmessungen liegen vermutlich einerseits in der großen Streubreite der Einzelwerte und andererseits möglicherweise in der Betroffenheit der dominanten Armseite. Eine diesbezügliche differenzierte Subgruppenanalyse war aufgrund der kleinen Stichprobenzahlen nicht sinnvoll möglich. Körperliche Konstitution, Alter, Training und körperliche Belastung im Beruf sind hier außerdem als weitere mögliche Einflussfaktoren anzuführen.

4.5.2. Klinische Scores und Radiologische Auswertung

In der Literatur werden MEPS-Scores von 84 bis 96,6 Punkten mit einer Spanne von 35 bis 100 Punkten angegeben. (Munoz-Mahamud et al 2010, Anderson et al. 2007, Buijze, Kloen 2009, Niglis et al. 2015) Die Autoren begründen ihre jeweils ungünstigsten Ergebnisse mit einer postoperativen Neuropathie des Nervus ulnaris bzw. mit dem Vorliegen einer Pseudarthrose. In der vorliegenden Studie erreichten die Probanden des Studienkollektivs im Mittel 96,6 Punkte mit einer Spanne von 85 bis 100 Punkten (74% mit einem „exzellenten“ Ergebnis). Auch alle Patienten des Vergleichskollektivs erreichten ein sehr gutes Ergebnis (Punktwert 100). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p=0.07$) Im Vergleich zu den Werten in der oben genannten Literatur stellt dies ein vergleichbares Ergebnis dar.

In der subjektiven Bewertung der Alltagsbewältigung zeigte sich in der Auswertung des *QuickDASH* Scores im Studienkollektiv eine mittlere Punktzahl von 11, das Vergleichskollektiv erreichte 6,7 Punkte. Dies spiegelt eine nur als gering empfundene Einschränkung wider. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich nicht ($p=0.38$). Eine mittlere Beeinträchtigung (*QuickDash* Score 63 und 50 Punkte), gab zum einen die oben genannte 71-jährige Patientin, die einen körperlich belastenden Beruf ausübte und ein Streckdefizit von 25° im Seitenvergleich zeigte, an. Zum anderen der bereits genannte Patient, der zunächst extern bei II°- offener transolekranischer Luxationsfraktur sowie ipsilateraler distaler Humerusfraktur, ein chirurgisches Debridement sowie eine Fixateur externe - Anlage und K-Draht-Spickung erhielt. Bei der subjektiven Beurteilung der Benutzbarkeit des Armes spielt möglicherweise auch die Erwartungshaltung und die persönliche Motivation der Patienten zur aktiven Unterstützung der Genesung eine Rolle. So erreichte beispielsweise der älteste Patient des Gesamtkollektivs einen *QuickDash* Score von 14 Punkten, bei Implantatversagen nach Drahtcerclage und Fragmentdislokation revidiert werden musste. In der Literatur finden sich DASH bzw. *QuickDASH* Werte von 13 bis 25 mit einer Spanne von 0 bis 72,5. (Anderson et al. 2007, Buijze, Kloen 2009) Auch diese Werten sind mit den Ergebnisse der beiden vorgestellten Kollektive sicherlich vergleichbar. Die beiden schlechtesten Werte des Gesamtkollektivs, beide im Studienkollektiv, zeigten auch auffällige klinische Scores. Die Ergebnisse sind möglicherweise durch komplizierte Verletzungsmuster und Begleitverletzungen zu erklären.

Im Studienkollektiv zeigte sich bei 91% der Patienten ($n=21$) eine vollständige primäre knöcherne Heilung bei regelhafter Gelenkkongruenz. Beide Revisionsfälle (Pseudarthrose und sekundäre Fragmentdislokation) konnten im weiteren Verlauf zur knöchernen zur Ausheilung gebracht werden. Bei keinem der Patienten des Studienkollektivs zeigte sich im Verlauf eine Implantatlockerung bzw. ein Implantatbruch. Im Vergleichskollektiv zeigte kein Patient Auffälligkeiten hinsichtlich der knöchernen Heilung. Implantatdislokationen, -lockerungen oder -bruch traten ebenfalls nicht auf. Auf eine Auswertung möglicher posttraumatischer arthrotischer Veränderungen wurde verzichtet, da Aufnahmen der gesunden Gegenseite für einen validen Vergleich nicht vorlagen. Zudem war eine Beurteilung etwaiger prätraumatischer degenerativer Gelenkveränderungen, insbesondere der ältere Patienten des Nachuntersuchungskollektivs, aufgrund der überwiegenden

komplexen Frakturformen nicht ausreichend möglich. In der Literatur werden die Raten für knöcherner Heilung mit 77 bis 100% angegeben. (Simpson et al. 1996, Bailey et al. 2001, Anderson et al. 2007, Munoz-Mahamud et al. 2010, Kloen, Buijze 2009, Buijze, Kloen 2009, Erturer et al. 2011, Niglis et al. 2015) Simpson et al. gaben die knöcherner Ausheilung in der radiologischen Nachuntersuchung bei zehn von 13 Patienten (77%) mit komplexen Olekranonfrakturen an, jedoch ohne genauere Gründe und Folgen anzugeben. (Simpson et al. 1996) Anderson et al. gaben die knöcherner Konsolidierung mit 94% an. (Anderson et al. 2007) Eine Nonunion wurde durch Komplikationen aufgrund einer demenzbedingten Non-Compliance begründet. Im Verlauf wurde das proximale Fragment reseziert. Die zweite Nonunion trat als Folge einer Wundinfektion bei einer Patientin mit rheumatoider Arthritis auf. Nach Materialentfernung, Deckung mittels Radialistransplantat, erneuter Revision mittels zweier Schrauben und Versorgung mittels Draht-Cerclage konnte die Fraktur zur Konsolidierung gebracht werden. Die anderen genannten Studien geben die knöcherner Heilung mit 100% an. Einige Studien bewerteten das radiologische Ergebnis hinsichtlich einer posttraumatischen Arthrose. Buijze und Kloen gaben an bei 44% der untersuchten Patienten eine Arthrose des Humero-Ulnargelenkes diagnostiziert zu haben. Eine detaillierte Klassifikation oder Beschreibung der Arthrose wurde nicht genannt. (Buijze, Kloen 2009) Niglis et al. beschreiben in Ihrer Studie bei sechs Patienten (27%) in der radiologischen Nachuntersuchung Anzeichen von frühen Arthrostadien. Ein Seitenvergleich zur gesunden Seite und genauere Angaben wurden nicht erörtert. Drei Patienten (14%) zeigten heterotrope Ossifikationen, ein Patient (4,5%) eine Synostose. (Niglis et al. 2015) Die jeweiligen Lokalisationen und Zusammenhänge wurden nicht angegeben.

4.5.3. Patientenzufriedenheit und Implantatverträglichkeit

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben 70% der Patienten des Studienkollektivs (n=16) an, vollständig schmerzfrier zu sein (VAS-Wert 0); 26% der Patienten (n=6) berichteten über leichte (VAS-Wert 1 oder 2), ein Patient (4%) über mittelstarke Schmerzen (VAS-Wert 5) bei Belastung. Der VAS-Mittelwert lag bei 0,6 Punkten. Im Vergleichskollektiv gaben alle Patienten an schmerzfrier zu sein. Alle Patienten, die bei Belastung nicht schmerzfrier waren hatten eine Mehrfachverletzung bzw. eine Monteggia-like-lesion erlitten oder zählten zu den ältesten

Studienteilnehmern (über 70 Jahre alt). Über dauerhafte Schmerzen klagte kein Patient des Gesamtkollektivs. Signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven konnte nicht ermittelt werden ($p=0.21$).

Buijze und Kloen geben einen durchschnittlichen Wert auf der VAS mit 1,0 mit einer Spanne von 0 bis 4 an. ^(Buijze, Kloen 2009) Verglichen mit diesen Angaben stellen die Werte der beiden Kollektive der vorliegenden Studie sehr gute Ergebnisse dar. Die Werte stellen auch im Vergleich mit anderen Literaturdaten ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis dar. ^(Chalidis et al. 2008) Die Werte wurden in der genannten Studie lediglich in einer Spanne angegeben und verbesserten sich auf 0 bis 2 nach Metallentfernung im Vergleich zu 1 bis 4 vor Metallentfernung. ^(Chalidis et al. 2008) Eine Differenzierung der Schmerzangaben vor und nach Materialentfernung konnte entsprechend des Studienansatzes in der vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen werden.

Die Alltagszufriedenheit der Patienten und damit deren persönliche Beurteilung des Operationsergebnisses ist ein entscheidendes Kriterium bei der Bewertung des Erfolges einer chirurgischen Therapie. Im Gesamtkollektiv konnten hervorragende Ergebnisse in Bezug auf die subjektive Patientenzufriedenheit erreicht werden. Im Studienkollektiv gaben die Patienten im Schnitt eine Zufriedenheit von 1,3 im Schulnotensystem an. Im Vergleichskollektiv konnte die Durchschnittsnote 1,0 erreicht werden. Die Patienten, die mittels Zuggurtung versorgt wurden vergaben ebenfalls alle die Note „sehr gut“. In keinem der Kollektive wurde die Note „schlecht“ vergeben. Lediglich zwei Patienten des Studienkollektivs vergaben aufgrund von Restbeschwerden die Note „befriedigend“. Die durchschnittliche Bewertungsnote unterschied sich nicht signifikant innerhalb der drei Patientenkollektive ($p=0.32$ für Studienkollektiv vs. Vergleichskollektiv; $p=0.08$ für Studienkollektiv vs. Zuggurtung; $p=0.33$ für Vergleichskollektiv vs. Zuggurtung). Dieses Ergebnis stellt ein vergleichbares Ergebnis mit Literaturdaten dar. So untersuchten Buijze und Kloen ihr operatives Ergebnis zur Bewertung der Patientenzufriedenheit in der Nachkontrolle mittels einer visuellen Zufriedenheitsskala analog zum VAS. Die Patienten gaben eine durchschnittliche Zufriedenheit von 8,8 von 10 mit einer Spanne von 4 bis 10 an. Der Maximalwert 10 entspricht absoluter Zufriedenheit. ^(Buijze, Kloen 2009)

Das dünnere und vorgeformte Implantatdesign der LCP-Olekranonplatte soll mit einem höheren Patientenkomfort bei einliegender Platte einhergehen. Zum Zeitpunkt

der Nachuntersuchung war bei den Patienten des Studienkollektivs deutlich häufiger das Osteosynthesematerial noch in situ (Studienkollektiv: 78%, Vergleichskollektiv: 33%, Zuggurtungskollektiv: 33%). Im Studienkollektiv zeigte sich bei einem Patienten (4%) eine Krepitation im Ellenbogengelenk, die subjektiv jedoch nicht auf die einliegende Platte zurückzuführen war. Kein Patient dieses Kollektivs mit einliegendem Osteosynthesematerial beklagte Druckschmerzen über der Platte. Dies war im Vergleichskollektiv und im Zuggurtungskollektiv ebenfalls der Fall, allerdings handelte es sich in beiden Gruppen jeweils um lediglich drei Patienten, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch keine Metallentfernung erhalten hatten. Hinsichtlich aller erhobenen Untersuchungsparameter (Kelloid, Schwellung, Krepitation, Druckschmerz, Umfangsmessung) zeigten sich keinerlei Auffälligkeiten im Vergleich der Kollektive untereinander.

Bei näherer Betrachtung der Ursachen der erfolgten Metallentfernung zeigte sich, dass im Studienkollektiv zwei der fünf Patienten Druckschmerzen bzw. ein störendes Gefühl durch einliegendes Osteosynthesematerial als Grund für die Vorstellung zur Metallentfernung angaben. Dies entspricht 9% der Patienten des Studienkollektivs. Im Vergleichskollektiv gaben 22% der Patienten, im Zuggurtungskollektiv 33% der Patienten Druckschmerzen bzw. ein störendes Gefühl durch einliegendes Osteosynthesematerial als Grund für die Vorstellung zur Metallentfernung an. Einschränkend muss allerdings angemerkt werden, dass die unterschiedlichen Follow-up-Zeiträume der Kollektive auch eine Rolle für die unterschiedlich hohen Raten der symptomatischen Materialentfernungen spielen können. Gerade bei älteren Menschen kann es im Laufe des postoperativen Zeitraumes zu einer Abnahme des Weichteilmantels im Bereich der proximalen Ulna kommen und aufgrund des zunehmenden Auftrags des Implantates eine Materialentfernung notwendig machen. Dennoch kann somit möglicherweise auf eine bessere Implantatverträglichkeit der LCP-Olekranon bei noch einliegendem Osteosynthesematerial rückgeschlossen werden. So scheint insbesondere für ältere Patienten mit einem geringen Weichteilmantel im Bereich des Olekranon die LCP-Olekranon-Platte eine gute Möglichkeit der Osteosynthese darzustellen, um Weichteilirritationen durch einliegendes Osteosynthesematerial zu verhindern. Möglicherweise wird die Osteosyntheseplatte aufgrund des flacheren Profils besser toleriert und kann so gegebenenfalls gerade beim älteren Patienten eine erneute Operation zur Metallentfernung obsolet machen. Verglichen mit den Literaturdaten ist

die Rate der symptomatischen Materialentfernungen (9%) des Studienkollektivs teilweise deutlich erniedrigt und legt eine bessere Verträglichkeit bei einliegendem Osteosynthesematerial nahe. Buijze und Kloen gaben an, dass bei 56% ihrer Patienten eine Metallentfernung aufgrund von Schmerzen im Bereich des einliegenden Osteosynthesematerial durchgeführt werden musste. (Buijze, Kloen 2009) Auch Munoz-Mahamud et al. gaben an, dass bei 40% der Patienten das Osteosynthesematerial aufgrund Druckschmerzen im Bereich des Osteosynthesematerials entfernt werden musste. (Munoz-Mahamud et al. 2010) Anderson et al. gaben hingegen an, bei drei Patienten (10%) die Metallentfernung aufgrund prominentem und störendem Osteosynthesematerial durchgeführt zu haben, was der hier präsentierten Rate an symptomatischen Materialentfernungen nahekommt. (Anderson et al. 2007)

4.6. Komplikationen

Im Studienkollektiv traten in vier Fällen (17%) Komplikationen auf. In einem Fall (4%) persistierte ein Extensionsdefizit von 35° (Patient mit ipsilateraler distaler Humerusfraktur, Olekranonfraktur vom Typ Mayo IIIb, 60 Jahre alt), sodass im Rahmen der Materialentfernung 14 Monate postoperativ eine offene Arthrolyse des Ellenbogengelenkes durchgeführt wurde. Ein Patient (80 Jahre alt) zeigte postoperativ nach 21 Tagen eine sekundäre Dislokation des proximalen Frakturfragmentes und wurde revidiert. Bei einem hochbetagten Patienten mit isolierter Olekranonfraktur fiel im Rahmen der Nachuntersuchung eine Pseudarthrose des Olekranons auf. Diese wurde mittels Großfragment-Schraubenosteosynthese versorgt. Im weiteren Verlauf zeigte sich eine knöcherne Konsolidierung. Ein weiterer Patient (71 Jahre alt) wurde aufgrund einer proximalen Fragmentdislokation nach konventioneller Plattenosteosynthese bei isolierter Olekranonfraktur zweimal mittels LCP-Olekranonplatte reoperiert. Im zweiten Eingriff erfolgte die Resektion des proximalen Fragmentes.

Im Vergleichskollektiv zeigten zwei Patienten (22%) postoperative Komplikationen. In einem Fall (70 Jahre alt) trat postoperativ eine Wundheilungsstörung auf, die konservativ ausbehandelt werden konnte. Bei einem weiteren Patienten (62 Jahre alt), der eine Monteggia-like-lesion erlitten hatte, wurde im postoperativen Verlauf nach 5 Monaten aufgrund eines persistierenden Beugedefizites von 70° eine

Narkosemobilisation durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte der Patient keine Einschränkung der Flexion im Seitenvergleich.

In beiden Kollektiven traten die Komplikationen bei älteren Patienten auf. Dies steht im Einklang mit anderen Untersuchungen und muss bei der Therapieplanung grundsätzlich berücksichtigt werden. (Palvanen et al. 2000, Rommens et al. 2004, Thalhammer et al. 2009, Chan et al. 2009)

In der Literatur werden Komplikationsraten von 8,3 bis 50% angegeben. Anderson et al. gaben eine Komplikationsrate von 8,3% (n=2) an. (Anderson et al. 2007) In einem bereits oben beschriebenen Fall musste eine Wunddehiszenz als Ursache für eine Nonunion schliesslich mittels eines Radialistransplantates gedeckt und die Fraktur mittels Drahtcerclage versorgt werden. In einem anderen Fall wurde in einem Folgeeingriff das proximale Frakturfragment aufgrund von Dislokation reseziert. Buijze und Kloen gaben eine Komplikationsrate von 12,5% (n=2) an. (Buijze, Kloen 2009) In einem Fall musste eine Infektion mittels Wunddebridement und Antibiotikagabe behandelt werden. Bei einem Fall bestand bereits präoperativ eine Ulnaris- und Medianusneuropathie, welche postoperativ persistierte. Kloen und Buijze gaben in einer weiteren Studie eine Komplikationsrate von ebenfalls 12,5% (n=3) an. (Kloen, Buijze 2009) Bei einem Patienten musste eine Infektion mittels Debridement und Antibiotikagabe behandelt werden. Ein Patient zeigte postoperativ eine Ulnarisneuropathie, welche vollständig ausheilte. Ein weiterer Patient zeigte eine Ulnaris- und Medianusneuropathie, welche postoperativ persistierte. Simpson et al. gaben eine Komplikationsrate von 15,4% (n=2) an. (Simpson et al. 1996) In beiden Fällen traten schwere Wundinfektionen auf, die sich mit einer Antibiotikatherapie nicht behandeln ließen. Beide Patienten zeigten im Verlauf ein schlechtes funktionelles Outcome. Munoz-Mahamud et al. gaben mit 50% (n=5) die höchste berichtete Komplikationsrate an. (Munoz-Mahamud et al. 2010) Zwei Patienten zeigten eine Dislokation des proximalen Frakturfragmentes. Ob dadurch eine operative Revision indiziert war und sich ein unerwünschtes Outcome zeigte, geben die Autoren nicht an. In drei weiteren Fällen kam es zu Infektionen. Die Autoren geben nicht an, wie diese therapiert wurden. In einer aktuellen Studie geben Niglis et al. Komplikationen bei insgesamt 50% ihrer Patienten an (n=11). (Niglis et al. 2015) Sechs Patienten (27%) zeigten radiologische Arthrosezeichen, vier Patienten (18%) zeigten heterotrope Ossifikationen bzw eine Synostose und ein weiterer Patient (5%) eine Infektion, die mittels Lavage und Antibiotikagabe ausbehandelt werden konnte. Die jeweiligen

Lokalisationen und Zusammenhänge sind nicht angegeben. Vor dem Hintergrund der Literaturdaten und der ermittelten funktionellen Ergebnisse nach Revision sowie unter Berücksichtigung der jeweiligen teils ungünstigen Ausgangssituationen ist die Komplikationsrate in der vorliegenden Studie als günstiger zu bewerten.

4.7. Stärken und Schwächen der Untersuchung

In der vorliegenden Arbeit konnte retrospektiv ein mit der Literatur vergleichbares, repräsentatives Studienkollektiv hinsichtlich Anzahl der Studienteilnehmer und Rücklaufquote nachuntersucht werden. Allerdings zeigte sich auch - ähnlich den Daten aus der Literatur - eine starke Heterogenität hinsichtlich der Alters-, und Frakturverteilung, aber auch z.B. der additiv verwendeten Osteosynthesematerialien, was die statistische Aufarbeitung aufgrund resultierender, teilweise kleinerer Untergruppen deutlich erschwerte bzw. nicht sinnvoll durchführen ließ. Ein homogenes Untersuchungskollektiv (z.B. isolierte Mayo IIIa – Fraktur), prospektiv untersucht, ermöglicht ggf. validere Rückschlüsse auf den Einfluss des verwendeten Implantatsystems auf das funktionelle Outcome.

Die vorliegende Untersuchung weist mehrere Stärken auf. Einerseits wurden eine Vielzahl funktioneller Outcome-Parameter (u.a. Bewegungsausmaß, grobe Kraft, Umfangsmessung) erhoben, Komplikationen erfasst sowie eine objektive Kraftmessung in mehreren Funktionsstellungen des Armes für die verletzte Seite und die gesunde Gegenseite durchgeführt. Eine objektive Kraftmessung nach osteosynthetisch versorgter Olekranonfraktur wurde bisher in der Literatur nicht berichtet. Zusätzlich wurden gut zu vergleichende Funktionsscores (MEPS, *QuickDASH*) für alle Patienten erhoben und ausgewertet. Der Vergleich mit der unverletzten Gegenseite wird von vielen Autoren anderer Studien nicht beschrieben.

(Simpson et al. 1996, Bailey et al. 2001, Anderson et al. 2007, Buijze, Kloen 2009, Kloen, Buijze 2009, Munoz-Mahamud et al. 2010, Yang et al. 2011, Niglis et al. 2015)

Die Limitationen der Arbeit ergeben sich vor allem aus dem Charakter des retrospektiven Studiendesigns. An dieser Stelle muss allerdings angemerkt werden, dass alle bisherigen Studien mit ähnlichem Untersuchungsansatz retrospektiv durchgeführt wurden (siehe Tab. 11) und eine prospektive Untersuchung diesbezüglich bislang nicht berichtet wurde. Die objektiven und subjektiven Untersuchungsparameter ließen sich nur nach dem Trauma erheben und nicht mit

präoperativen Werten vergleichen. Auch fanden keine Vergleichskraftmessungen vor der OP der verletzten Seite statt, so dass als Anhaltspunkt lediglich die Kraft und Freiheitsgrade der kontralateralen Seite betrachten werden konnten. Eine Unterscheidung hinsichtlich verschiedener Follow-up Zeiträume (die Betrachtungszeiträume lagen zwischen einem halben Jahr und drei Jahren) auf das funktionelle Ergebnis konnte aufgrund der relativ kleinen Gruppengröße der einzelnen Kollektive nicht sinnhaft durchgeführt werden. Längere Nachuntersuchungszeiträume und ein größeres Untersuchungskollektiv müssen in späteren Untersuchungen angestrebt werden, um eine sicherere statistische Aussagekraft der einzelnen Parameter zu erreichen und gegebenenfalls statistisch Unterschiede einzelner Untergruppen herausarbeiten zu können. Ob und inwieweit sich individuelle Lebensumstände auf die Langzeitverträglichkeit der Implantate auswirken kann in der vorliegenden Studie nicht beurteilt werden.

Aufgrund der sehr großen Heterogenität des Untersuchungskollektivs konnten einige Daten in der Auswertung nicht berücksichtigt werden. So wurden die Geschlechtsverteilung, die Fraktorentität, die Anzahl der Operateure, die körperliche Belastung des Patienten und der Einfluss der Verletzung dominanten bzw. nicht dominanten Armseite nicht im Einzelnen differenziert bzw. ausgewertet. Diese mangelnde Differenzierungsmöglichkeit zeigte sich auch in den anderen Studien in der Literatur und ist vornehmlich den kleinen Gruppengrößen geschuldet. (Buijze, Kloen 2009, Munoz-Mahamud et al 2010, Yang et al. 2011) Eine detaillierte Auswertung des radiologischen Outcomes hinsichtlich arthrotischer Veränderungen wurde nicht durchgeführt. Hierbei würden zu viele störende Effekte durch die unterschiedliche Frakturschwere, Alter und Knochenqualität die Bewertung verfälschen und nur eine sehr limitierte Interpretation des Ergebnisses zu lassen.

4.8. Morphometrische Bewertung anatomisch präformierter Plattensysteme der proximalen Ulna und Weiterentwicklung dieser Implantate

Ogleich die hier vorgestellten, guten klinisch-funktionellen Resultate nach der Versorgung mittels einer LCP-Olekranonplatte vielversprechend sind und sich mit den Ergebnissen ähnlicher Studien vergleichen lassen, weisen aktuelle anatomische Untersuchungen daraufhin, dass auch beim Einsatz dieser anatomisch

vorkonturierten Platten geschlechtsspezifische und morphologische Varianzen Beachtung finden sollten. (Totlis et al. 2014, Puchwein et al. 2012)

Aktuelle Studien beschreiben, dass nicht alle anatomisch präformierten Platten der Anatomie des Olekranons und der proximalen Ulna entsprechen, und daher die Gefahr für den Operateur besteht, gerade bei Trümmerfrakturen durch die Verwendung dieser Platten möglicherweise die Varusangulation und der PUDA-Winkel der Ulna nicht korrekt rekonstruiert wird. Insbesondere bei Monteggiafrakturen ist dies essentiell, um das proximale Radioulnargelenk korrekt wieder herzustellen. (Puchwein et al. 2012) Eine im Jahr 2012 von Puchwein et al. veröffentlichte Vergleichsstudie legt darüber hinaus offen, wie groß die Unterschiede der auf dem Markt erhältlichen Plattensysteme sind. (Puchwein et al. 2012) In der genannten Studie wurden 3D-Datensätze der Ulna von jeweils 20 Frauen und Männern ausgewertet und vier anatomisch präformierte Plattensysteme hinsichtlich der Passgenauigkeit zu den ermittelten Durchschnittswerten untersucht. Die Autoren fanden teilweise starke Abweichungen von der nativen Morphologie der Ulna, was ein manuelles Biegen der Platte zur Anpassung an die Ulnamorphologie des Patienten während der Operation erfordert. Die Autoren postulierten, dass die Heterogenität der Anatomie der proximalen Ulna die Herstellung einer anatomisch präformierten Platte mit idealer Passform für alle Patienten unmöglich macht. (Puchwein et al. 2012) Totlis et al. untersuchten die Morphologie der Ulna von jeweils 50 Frauen und Männern hinsichtlich seiten- und geschlechtsspezifischen Unterschieden. (Totlis et al. 2014) Es zeigten sich keine Unterschiede im Seitenvergleich. Geringe, signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede konnten gezeigt werden, die allerdings keine unterschiedlichen Platten für Männer und Frauen erfordern. Die Autoren erstellten ein Durchschnittsmodell hinsichtlich Varusangulation und PUDA sowie des Winkels an der Olekranonspitze und der Länge des Olekranons. Anschließend untersuchten sie die Passgenauigkeit dreier winkelstabiler Plattensysteme in der koronaren und sagittalen Ebene an diesem Modell. Zwei dieser Systeme waren anatomisch präformiert (3,5mm LCP Olekranon, Synthes, Solothurn, Schweiz; 3,5mm PERI-LOC LCP Olekranon, Smith & Nephew, Memphis, USA). Es zeigte sich, dass nur eine Platte, die der Varusangulation und gleichzeitig dem PUDA-Winkel angepasst ist, guten Knochenkontakt in beiden Ebenen ermöglichte (3,5mm PERI-LOC LCP Olekranon, Smith & Nephew, Memphis, USA). (Totlis et al. 2014) Beide Untersuchungen legen nahe, dass auch eine anatomisch präformierte Platte im Einzelfall zusätzlich

durch den Operateur angebogen werden muss, um die Ulnamorphologie nachzuformen.

Als Weiterentwicklung der anatomisch präformierten, unidirektional winkelstabilen Plattensysteme stehen seit einigen Jahren auch polyaxial winkelstabile, vorkonturierte Implantate zur Versorgung proximaler Ulnafrakturen zur Verfügung. Die Polyaxialität bietet dabei insbesondere in der mehrfragmentären Fraktursituation die Möglichkeit Schrauben gezielt zu platzieren und somit einzelne Fragmente direkt zu fassen und zu fixieren. ^(Hanschen et al. 2013) Klinische Ergebnisse für die Versorgung proximaler Ulnafrakturen mit diesen neuartigen, polyaxialen Plattensystemen wurden bislang in der Literatur nicht beschrieben. Allerdings wurden beispielsweise für die Versorgung distaler Femurfrakturen in jüngster Zeit vielversprechende und teilweise überlegene Resultate gegenüber nicht polyaxial winkelstabilen Systemen berichtet. ^(Hanschen et al. 2013) Inwiefern oder ob anatomisch präformierte, polyaxial winkelstabile Implantate für die Versorgung proximaler Ulnafrakturen gegenüber unidirektional winkelstabilen Plattensystemen Vorteile bieten bleibt abzuwarten und muss idealerweise in einer prospektiv-randomisierten Studie mit größeren Kollektiven untersucht werden.

5. Zusammenfassung

Olekranonfrakturen und Frakturen der proximalen Ulna sind häufige knöcherne Verletzungen der oberen Extremität und stellen gerade in der komplexen Fraktursituation eine Herausforderung für den Operateur und das Osteosyntheseverfahren dar. Voraussetzung für eine knöcherne Heilung und eine gute Rehabilitation der Armfunktion ist die anatomische Reposition der Fragmente und die Primärstabilität der Osteosynthese. Aufgrund der Heterogenität der Frakturmorphologie haben unterschiedliche Osteosynthesysteme auch heute noch ihre jeweilige Indikation. Bei mehrfragmentären Frakturformen ist die dorsale Plattenosteosynthese das Therapieverfahren der ersten Wahl. Neben dem etablierten konventionellen Standardimplantat (LCDCP) werden zunehmend winkelstabile Implantate (LCP) eingesetzt. Als Weiterentwicklung dieser Plattensysteme sind nun seit einigen Jahren winkelstabile, anatomisch präformierte Implantate verfügbar.

Das Ziel der vorliegenden retrospektiven Untersuchung war es, die klinisch-funktionellen Outcome der im Zeitraum zwischen 02/2007 und 06/2010 am Klinikum rechts der Isar in München, mittels anatomisch vorgeformter LCP-Olekranon (Fa. Synthes, Umkirch, Deutschland) behandelten Olekranonfrakturen zu erheben. Es wurde hypothetisiert, dass das funktionelle Outcome der LCP-Olekranon im Vergleich zu konventionellen Osteosyntheseverfahren und zu den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen anderer Plattensysteme gleichwertig oder besser ist. Einerseits wurden die postoperativen subjektiven und objektiven Ergebnisse bei Versorgung mittels LCP-Olekranon (Studienkollektiv) mit konventionellen Osteosynthesen und andererseits mit vergleichbaren Studien in der Literatur verglichen.

Insgesamt konnten 23 Patienten, die mittels einer LCP-Olekranon osteosynthetisch versorgt wurden nach einem mittleren Follow-up von 11 Monaten nachuntersucht werden. Als Vergleichskollektiv wurden insgesamt 18 Patienten, die mit konventionellen Osteosyntheseverfahren (Platte und Zuggurtung) gegenübergestellt. Als objektive Bewertungskriterien wurden das aktive Bewegungsausmaß, die grobe Kraft und die quantitativ bestimmte isometrische Kraftmessung in zwei unterschiedlichen Beugestellungen (45° und 90°) mittels eines Kraftmessgerätes im Seitenvergleich herangezogen und der Mayo-Elbow-Performance-Score (MEPS) und

der *QuickDASH* als Funktionsscores für die Ellenbogenfunktion bzw. die Armfunktion erhoben. Zur Bestimmung der Patientenzufriedenheit wurden das postoperative Schmerzausmaß anhand einer visuellen Analogskala (VAS) erfasst und die Patienten hinsichtlich ihrer Zufriedenheit mit dem postoperativen Ergebnis befragt. Zudem wurden Komplikationen und der radiologische Verlauf retrospektiv betrachtet.

Hinsichtlich des Patientenprofils und der Frakturformen des Studienkollektivs zeigten sich keine wesentlichen Differenzen zu anderen bisher publizierten Untersuchungen. Die Mehrzahl der versorgten Patienten hatte komplexe Frakturen, was mit einer häufigen Verwendung additiver Osteosynthesematerialien einherging. Das Studienkollektiv erreichte mit einem mittleren, aktiven Bewegungsbogen von 12,5° - 0° - 141° für Extension und Flexion sowie 88° - 0° - 87° für Pronation und Supination eine gute postoperative Beweglichkeit. Signifikante Unterschiede des Bewegungsausmaßes im Vergleich mit der gesunden Armseite und im Vergleich der Kollektive untereinander zeigten sich nicht. Obgleich die Patienten bei der Prüfung der groben Kraft keine Einschränkung aufwiesen, fiel für das Studienkollektiv in der apparativen Kraftmessung in allen gemessenen Funktionsstellungen eine geringe, aber nicht signifikante Abschwächung der operierten Armseite auf. Bei der klinischen Untersuchung klagte keiner der Patienten über eine subjektive Kräfteinschränkung, sodass dieser Kraftverlustes im Alltag vernachlässigbar erscheint. Der MEPS lag durchschnittlich bei 96 Punkten, der *QuickDASH* bei 11 Punkten, was nahezu den Werten des Vergleichskollektivs entsprach und mit den bisherigen Literaturdaten vergleichbar ist. Auf der visuellen Analogskala gaben die Patienten des Studienkollektivs im Mittel einen Wert von 0,6 an, was ebenfalls als gleichwertig oder vorteilhaft gegenüber Literaturdaten zu sehen ist. Die Rate an Gesamtkomplikationen des Studienkollektivs wie auch des Vergleichskollektivs deckt sich mit den meisten Daten aus der Literatur (17% für das Studienkollektiv bzw. 22% für das Vergleichskollektiv). Dennoch wurden für andere Plattensysteme teilweise stark differierende Komplikationsraten mit einer Spanne von 8,3 bis 50 % beschrieben. Ebenso ist das radiologische Outcome des Studienkollektivs hinsichtlich der knöchernen Heilungsraten mit insgesamt zwei Revisionsfällen im postoperativen Verlauf mit den Werten der Literatur vergleichbar bzw. teilweise günstiger. Wesentliche operationstechnische Komplikationen, Materialkomplikationen oder neurovaskuläre Komplikationen traten in keinem der untersuchten Kollektive auf. Die Patienten des Studienkollektivs gaben eine subjektive Zufriedenheit mit einer

durchschnittlichen Note von 1,3 an (1,0 im Vergleichskollektiv). Im Literaturvergleich stellen diese Werte ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis dar. Unter den Patienten, die eine Metallentfernung wünschten gaben im Studienkollektiv lediglich 9% störendes Osteosynthesematerial als Ursache an, wohingegen dies im Vergleichskollektiv 22% und im Zuggurtungskollektiv 33% der Patienten angaben. Im Literaturvergleich sind teilweise deutlich höhere Raten an symptomatischen Materialentfernungen an der proximalen Ulna berichtet, sodass die hier vorgestellten Ergebnisse möglicherweise indirekt auf eine bessere Verträglichkeit des einliegenden Osteosynthesematerials der LCP-Olekranon zurückschliessen lassen.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse eines im Literaturvergleich repräsentativen Patientenkollektivs lässt sich abschliessend zusammenfassen, dass das LCP-Olekranon-System die Voraussetzung für eine zuverlässige Frakturstabilisierung mit zuverlässiger knöcherner Ausheilung proximaler Ulnafrakturen bietet und im kurzen Nachuntersuchungszeitraum gute, mit den Ergebnissen der Literatur vergleichbare Resultate erreicht. Eine eindeutige Verbesserung der funktionellen Ergebnisse gegenüber anderen beschriebenen Implantatsystemen lässt sich auf Grundlage der hier erhobenen Daten nicht feststellen. Hinsichtlich der Implantatverträglichkeit des LCP-Olekranon-Systems lässt sich ein Vorteil für Patienten mit geringer Weichteildeckung im Bereich des Olekranon nicht belegen, aber dennoch aufgrund des anatomisch-präformierten Designs und des dünneren proximalen Plattenanteils vermuten.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Seite 5	Ellenbogengelenk. Ansicht ventral. Sobotta 2000.
Abbildung 2	Seite 6	Laterale Ansicht des Articulatio cubiti. Netter 2001.
Abbildung 3	Seite 8	Supinations- und Pronationsbewegungen im Unterarm. Tillmann et al 1987.
Abbildung 4	Seite 9	Varusangulation (li) und PUDA (re) demonstriert am Kadaverpräparat.
Abbildung 5	Seite 11	Schatzker Klassifikation von Olecranonfrakturen, eigene Zeichnung.
Abbildung 6	Seite 13	Fraktуреinteilung nach der Mayo-Klassifikation (Morrey 1995), eigene Zeichnung.
Abbildung 7	Seite 15	Querverlaufende Linie zwischen Olekranonspitze und medialem bzw. lateralem Epikondylus in der Extension und Abbildung des gleiseitigen Dreiecks (Hueter-Dreieck) in der Flexion, eigene Zeichnung.
Abbildung 8	Seite 18	Dorsale Plattenosteosynthese mit einer Kleinfragment-LC-DCP. 1. Die entsprechend der anterioren Deviation vorgebogene LCDCP wird am Schaft ausgerichtet und temporär mit einer monokortikalen Kleinfragmentschraube fixiert. 2. Die interfragmentäre Schraube wird direkt unterhalb der Gelenkfläche platziert. 3. Zusätzliche Frakturkompression kann durch eine weitere, exzentrisch eingebrachte Schraube erreicht werden. 4. Die abschließende Fixation der Platte erfolgt schaftseitig durch bikortikal eingebrachte Schrauben. Das proximale Fragment kann mit einer weiteren Schraube zusätzlich gesichert werden. Siebenlist et al 2011.
Abbildung 9	Seite 20	Klassifikation der Monteggia-Frakturen nach Bado. a Typ-I-Verletzung: anteriore Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach anterior. b Typ-II-Verletzung: posteriore Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach posterior. c Typ-III-Verletzung: anterolaterale Luxation des Radiusköpfchens, Angulation der Ulnafraktur nach lateral. d Typ-IV-Verletzung: Radiuschaftfraktur mit anteriorer Luxation, Angulation der Ulnafraktur nach anterior. Siebenlist et al 2011.
Abbildung 10	Seite 21	Subklassifikation der Typ-II-Verletzung nach Jupiter. a Typ IIA: Fraktur im Bereich des Proc.coronoideus. b Typ IIB: Fraktur distal des Proc. coronoideus. c Typ IIC: Fraktur im Schaftbereich der Ulna. d Typ IID: Trümmerfraktur im proximalen Drittel der Ulna. Siebenlist et al 2011.
Abbildung 11	Seite 24	Vergleich der DCP mit der LC-DCP. Synthes 2003.
Abbildung 12	Seite 26	LCP-System, A: Gewindetragender Teil für Verriegelungsschrauben, B: DCU-Teil für Standardschrauben, C: Verriegelungsschraube im gewindetragenden Teil des Kombilochs, D: Kortikalisschraube im DCU-Teil des Kombilochs, E: Kombirundloch am Ende des Plattenschafts für Kortikalisschrauben oder Verriegelungsschrauben. Synthes Anwenderbroschüre.
Abbildung 13	Seite 27	Links - LCP als konventionelle Kompressionsplatte (oben) und im Hybrid-Gebrauch an osteoporotischem Knochen (unten).; Rechts - LCP als konventionell besetzte Neutralisationsplatte in Knochen guter Qualität (oben) und im Hybrid-Gebrauch an osteoporotischem Knochen (unten). Wagner 2003.
Abbildung 14	Seite 29	Anatomisch präformierte LCP-Olekranonplatte der Fa. Synthes, Umkirch, Germany.

Abbildung 15	Seite 30	LCP-Olekranonplatte – variable, winkelstabile Schraubenpositionierung für den proximalen Olekranonbereich.
Abbildung 16	Seite 33	Altersverteilung nach Geschlecht und Osteosyntheseverfahren.
Abbildung 17	Seite 34	Verteilung des Body-Mass-Index (BMI) in Prozent im Gesamtkollektiv.
Abbildung 18	Seite 35	Frakturseite und Händigkeit.
Abbildung 19	Seite 36	Berufliche Belastung beider Plattenosteosynthese-Kollektive.
Abbildung 20	Seite 37	Unfallursache beider Plattenosteosynthese-Kollektive.
Abbildung 21	Seite 41	Visuelle Analogskala (VAS)
Abbildung 22	Seite 43	IsoForceControl Kraftmessgerät. Medical Device Solutions, eigene Aufnahme.
Abbildung 23	Seite 43	Kraftmessung der Flexions- und Extensionskräfte jeweils in 90° und 45° Flexion - demonstriert von jeweils einer Seite, eigene Aufnahme.
Abbildung 24	Seite 44	Eigenbau: Vorrichtung zur Kraftmessung der Pro- und Supination, eigene Aufnahme.
Abbildung 25	Seite 47	Zeitspanne Trauma – Operative Versorgung.
Abbildung 26	Seite 51	Bewegungsausmaß im Seitenvergleich, LCP-Kollektiv.
Abbildung 27	Seite 52	Übersicht der Scoreergebnisse, LCP-Kollektiv.
Abbildung 28	Seite 53	MEPS Ergebnisse des LCP-Kollektivs.
Abbildung 29	Seite 55	Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite, LCP-Kollektiv.
Abbildung 30	Seite 56	Bewegungsausmaß im Seitenvergleich, Vergleichskollektiv.
Abbildung 31	Seite 57	Übersicht der Scoreergebnisse des Vergleichskollektivs mit konventionellen Platten.
Abbildung 32	Seite 59	Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite, Vergleichskollektiv.
Abbildung 33	Seite 59	Gegenüberstellung der Scores der Plattenosteosynthese-Kollektive.
Abbildung 34	Seite 60	Gegenüberstellung der Isobex - Kraftwerte der Kollektive.
Abbildung 35	Seite 60	Gegenüberstellung der Bewegungsrichtungen des Ellebogengelenks beider Kollektive.
Abbildung 36	Seite 62	Fallbeispiel des LCP-Kollektivs. Fallbeispiel 1 - Links: Olekranonfraktur Mayo IIIb mit mehrfragmentärer Fraktur der Gelenkfläche; Rechts: Anatomische Wiederherstellung des Gelenkalignements nach Versorgung mittels LCP-Olekranon . Fallbeispiel 2 - Oben: Osteosyntheseversagen bei mehrfragmentärer Olekranonfraktur Mayo IIIb nach Versorgung mittels Hakenplatte; Mitte: Revision mittels Olekranon-LCP und additiven K-Drähten; Unten – Ausheilungsergebnis mit kongruenter Gelenkfläche der Incisura trochlearis nach Materialentfernung.
Abbildung 37	Seite 63	Fallbeispiel 3 - Oben: Monteggiaverletzung vom Typ Bado II/Jupiter IId; Mitte - Wiederherstellung der Gelenkkongruenz nach Versorgung mittels LCP-Olekranonplatte und freien Schrauben sowie Schraubenosteosynthese des Radiuskopfes; Unten - Knöchelne Konsolidierung mit kongruenter Gelenkfläche der Incisura trochlearis.

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Seite 34	Body-Mass-Index nach WHO BMI classification, 2008.
Tabelle 2	Seite 38	Frakturformen beider Plattenosteosynthese-Kollektive.
Tabelle 3	Seite 40	Skala zur Ermittlung der groben Kraft.
Tabelle 4	Seite 49	Verwendete Implantate und additive Osteosyntheseverfahren.
Tabelle 5	Seite 50	Bewegungsausmaß Betroffene Seite und Gegenseite, LCP-Kollektiv.
Tabelle 6	Seite 54	Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite, LCP-Kollektiv.
Tabelle 7	Seite 55	Bewegungsausmaß Betroffene Seite und Gegenseite, Vergleichskollektiv.
Tabelle 8	Seite 58	Isobex - Kraftwerte Betroffene Seite und Gegenseite, Vergleichskollektiv.
Tabelle 9	Seite 65	Klinische Parameter zur Bewertung der Implantatverträglichkeit der Gesamtkollektive.
Tabelle 10	Seite 66	Parameter zur Implantatverträglichkeit von Patienten mit noch einliegendem Osteosynthesematerial.
Tabelle 11	Seite 73	Studienübersicht präformierter winkelstabiler oder nicht winkelstabiler Implantate.

Angezeigte Vorveröffentlichung von Teilergebnissen:

Siebenlist S., **Torsiglieri T.**, Kraus T., Burghardt R.D., Stoeckle U., Lucke M. (2010). Comminuted fractures of the proximal ulna - Preliminary results with an anatomically preshaped locking compression plate (LCP) system. Injury, 41, 1306-1311.

8. Literatur

1. Akman, S., Ertürer, R.E., Tezer, M., Tekeşin, M., Kuzgun, U. (2002). Long-term results of olecranon fractures treated with tension-band wiring technique. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica*, 36(5), 401-407.
2. Amis, A.A., Miller, J.H. (1995). The mechanisms of elbow fractures: an investigation using impact tests in vitro. *Injury*, 26(3), 163-168.
3. Anderson, M.L., Larson, A.N. Merten, S.M, Steinmann, S.P. (2007). Congruent elbow plate fixation of olecranon fractures. 21(6) *Journal of Orthopaedic Trauma*, 21(6), 386-393.
4. Ates, Y., Atlihan, D., Yildirim, H. (1996). Currents concepts in the treatment of fractures of the radial head, the olecranon, and the coronoid. , 78(6), 316-327.
5. Bado, J.L. (1967). The Monteggia lesion. *Clinical orthopaedics and related research*, Jan-Feb; 50, 71-86.
6. Bailey, C.S., MacDermid, J. Patterson, S.D, King, G.J. (2001). Outcome of plate fixation of olecranon fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 15(8), 542-548.
7. Ball, C.M., Galatz, L.M., Yamaguchi, K. (2002). Elbow instability: treatment strategies and emerging concepts. *Instructional course lectures*, 51, 53-61.
8. Beaton, D.E., Wright, J.G., Katz, J.N., Upper Extremity Collaborative Group. (2005). Development of the *QuickDASH*: comparison of three item-reduction approaches. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 87(5), 1038-1046.
9. Buijze, G., Kloen, P. (2009). Clinical evaluation of locking compression plate fixation for comminuted olecranon fractures. *Journal of Bone & Joint Surgery*, 91(10) , 2416-2420.
10. Chalidis, B.E., Sachinis, N.C., Samoladas, EP., Dimitriou, C.G., Pournaras, J.D. (2008). Is tension band wiring technique the "gold standard" for the treatment of olecranon fractures? A long term functional outcome study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 22, 1-6.
11. Chan, C.F., Yuen, G., Leung, F.K.L. (2009). Fixation of distal humeral fracture in elderly patient by locking compression plate. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 23(11) 1285-1289.
12. Cikes, A., Jolles, B.M., Farron, A. (2006). Open elbow arthrolysis for posttraumatic elbow stiffness. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 20(6), 405-409.

13. Cole, P.A., Zlowodzki, M., Kregor, P.J. (2003). Less Invasive Stabilization System (LISS) for fractures of the proximal tibia: indications, surgical technique and preliminary results of the UMC Clinical Trial. *Injury*, 34 Suppl 1A, 16-29.
14. Delfs, H.B. (2015, Januar 20). Der kleine Delfs – Frakturlehre und Osteosynthese. [Internetseite] Retrieved from <http://www.herold-innere-medizin.de/pdf/frakturlehre.pdf>
15. Delfs, H.B. (2015, Januar 20). Der kleine Delfs – Die Geschichte der Osteosynthese. [Internetseite] Retrieved from <http://www.herold-innere-medizin.de/pdf/frakturlehre.pdf>
16. Dunning, C.E., Zarzour, Z., Patterson, S.D., Johnson, J.A., King, G.J. (2001). Ligamentous stabilizers against posterolateral rotatory instability of the elbow. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 83-A(12), 1823-1828.
17. Egol, K.A., Kubiak, E.N., Fulkerson, E., Kummer, F.J., Koval, K.J. (2004). Biomechanics of locked plates and screws. *Journal of orthopaedic trauma*, 18(8), 488-493.
18. Eitel, F., Schweiberer, L. (1983). Olekranonfractures. A retrospective, multicenter therapy study of 175 cases. *Unfallheilkunde*, 86(3), 143-151.
19. Erturer, R.E., Sever, C., Sonmez, M.M., Ozcelik, I.B., Akman, S., Ozturk, I. (2011). Results of open reduction and plate osteosynthesis in comminuted fracture of the olecranon. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 20(3), 449-454.
20. Farouk, O., Krettek, C., Miclau, T., Schandelmaier, P., Guy, P., Tscherne, H. (1999). Minimally invasive plate osteosynthesis: does percutaneous plating disrupt femoral blood supply less than the traditional technique? *Journal of orthopaedic trauma*, 13(6), 401-406.
21. Farouk, O., Krettek, C., Miclau, T., Schandelmaier, P., Tscherne, H. (1998). Effects of percutaneous and conventional plating techniques on the blood supply to the femur. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 117(8), 438-441.
22. Forthmann, C., Henket, M., Ring, D.C. (2007). Elbow dislocation with intraarticular fracture: the results of operative treatment without repair of the medial collateral ligament. *The Journal of hand surgery*, 32(8), 1200-1209.
23. Frigg, R. (2003). Development of the Locking Compression Plate. *Injury*. 34 Suppl 2, 6-10.
24. Gautier, E., Sommer, C. (2003). Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury*. 34 Suppl 2, 63-76.

25. Gautier, E., Ganz, R. (1994). Die biologische Plattenosteosynthese. *Zentralblatt für Chirurgie*, 119(8), 564-572.
26. Georgiades, Ch., Matějka, J., Pavelka, T., Houček, P. (2010). Treatment of distal humeral fractures by open reduction and internal LCP-DHP fixation. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologicae Cechoslovaca*, 77(6), 479-483.
27. Gesundheitsberichterstattung des Bundes (2015, April 2). Übergewicht und Adipositas – Gesundheit in Deutschland aktuell. [Internetseite] Retrieved from https://www.gbe-bund.de/pdf/Kap.5.17_uebergewicht_adipositas.pdf
28. Grechenig, W., Clement, H., Pichler, W., Tesch, N.P., Windisch, G. (2007). The influence of lateral and anterior angulation of the proximal ulna on the treatment of a Monteggia fracture: an anatomical cadaver study. *The journal of bone and joint surgery. British volume*, 89(6), 836-838.
29. Greiner, S., Haas, N.P., Bail, H.J. (2008). Outcome after open reduction and angular stable internal fixation for supra-intercondylar fractures of the distal humerus: preliminary results with the LCP distal humerus system. *Archives of orthopedic and traumatic surgery*, 128(7), 723-729.
30. Guitton, T.G., Ring, D., Kloen, P. (2009). Long-term evaluation of surgically treated anterior monteggia fractures in skeletally mature patients. *Journal of the American Society for surgery of the hand*, 34(9), 1618-24.
31. Gustilo, R.B., Anderson, J.T. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 58(4), 453-458.
32. Gustilo, R.B., Mendoza, R.M., Williams, D.N. (1984). Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification on type III open fractures. *The journal of trauma*, 24(8), 742-746.
33. Hanschen, M., Aschenbrenner, I.M., Fehske, K., Kirchhoff, S., Keil, L., Holzapfel, B.M., Winkler, S., Fuechtmeier, B., Neugebauer, R., Luehrs, S., Liener, U., Biberthaler, P. (2013). Mono- versus polyaxial locking plates in distal femur fractures: a prospective randomized multicentre clinical trial. *International orthopaedics*, 38(4), 857-863.
34. Hepp, W.R., Debrunner, H.U. (2004). Gelenkmessung nach der Neutral-0-Methode In: *Orthopädisches Diagnostikum* (pp. 69-70). Stuttgart: Thieme.
35. Hintermann, B., Troullier, H.H., Schäfer, D. (2000). Rigid internal fixation of fractures of the proximal humerus in older patients. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 82(8), 1107-1112.
36. Holdsworth, B.J., Mossad, M.M. (1984). Elbow function following tension band fixation of displaced fractures of the olecranon. *Injury* 16(3), 182-187.

37. Hölzl, A., Verheyden, A.P. (2008). Isolated fractures of the olecranon. *Der Unfallchirurg*, 111(9), 727-734.
38. Hölzl, A., Verheyden, A.P. (2008). Operative treatment of isolated fractures of the olecranon. *Der Unfallchirurg*, 111(9), 735-739.
39. Hull, J.R., Owen, J.R., Fern, S.E., Wayne, J.S., Boardman, N.D. 3rd. (2005). Role of the coronoid process in varus osteoarticular stability of the elbow. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 14(4), 441-446.
40. Janda, V. (2009). In: *Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik*. München: Urban & Fischer.
41. Jupiter, J.B., Leibovic, S.J., Ribbans, W., Wilk, R.M. (1991). The posterior Monteggia lesion. *Journal of orthopaedic trauma*, 5(4), 395-402.
42. Kamrani, R.S., Mehrpour, S.R., Aghamirsalim, M.R., Sorbi, R., Zargar, Bashi, R., Kaya, A. (2012). Pin and plate fixation in complex distal humerus fractures: surgical technique and results. *International Orthopaedics* 36(4), 839-844.
43. Karlsson, M.K., Hasserijs, R., Karlsson, C. Besjakov, J., Josefsson, P.O. (2002). Fractures of the olecranon: a 15- to 25 year followup of 73 patients. *Clinical orthopaedics and related research*, Oct(403), 205-212.
44. Kim, T., Ayturk, U.M., Haskell, A., Miclau, T., Puttlitz, C.M. (2007). Fixation of osteoporotic distal fibula fractures: A biomechanical comparison of locking versus conventional plates. *The journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 46(1), 2-6.
45. King, G.J., Dunning, C.E., Zarzour, Z.D., Patterson, S.D., Johnson, J.A. (2002). Single-strand reconstruction of the lateral ulnar collateral ligament restores varus and posterolateral rotatory stability of the elbow. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 11(1), 60-64.
46. Kloen, P, Buijze, G.A. (2009). Treatment of proximal ulna and olecranon fractures by dorsal plating. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 21(6), 571-585.
47. Korner, J., Hoffmann, A., Rudig, L., Müller, L. P., Hessmann, M., Lili, H., Josten, C., Rommens, P. M. (2004). Monteggia-Verletzungen im Erwachsenenalter – Eine kritische Analyse von Verletzungsmuster, Management und Ergebnissen. *Der Unfallchirurg*, 107(11), 1026-1040.
48. Kromer, T.O. (2004). In: *Das Ellenbogengelenk*. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag GmbH.
49. Lill, H., Voigt, C. (2004). Ellenbogenverletzungen. *Der Chirurg; Zeitschrift für*

- alle Gebiete der operativen Medizin, 75(10), 1037-1050.
50. Lindenhovius, A.L., Brower, K.M., Doornberg, J.N., Ring, D.C., Kloen, P. (2008). Long-term outcome of operatively treated fracture-dislocations of the olecranon. *Journal of orthopaedic trauma*, 22(5), 325-331.
 51. Lindgren, M., Astrand, M., Wiklund, U., Engqvist, H. (2009). Investigation of boundary conditions for biomimetic HA deposition on titanium oxide surfaces. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 20(7), 1401-1408.
 52. Mason, M.L. (1954). Some observations on Fractures of the Head of the Radius with a review of one Hundred cases. *The British journal of surgery*, 42(172), 123-132.
 53. Mercer, S.R., Bogduk, N. (2007). Intra-articular inclusions of elbow joint complex. *Clinical anatomy*, 20(6), 668-676.
 54. Mittlmeier, T., Beck, M. (2009). Luxation des Ellenbogengelenkes des Erwachsenen. *Der Unfallchirurg*, 112(5), 487-505.
 55. Moll, K.J., Moll, M. (1995). In: *Anatomie, Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog*. Neckarsulm, Lübeck, Ulm: Jungjohann Verlagsgesellschaft.
 56. Monteggia, G. *Instituzioni Chirurgiche*. Milan, Italy, Maspero (1814)
 57. Morrey, B.F. (1995). Current concepts in the treatment of fractures of the radial head, the olecranon, and the coronoid. *Instructional course lectures*, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 77, 316-327.
 58. Morrey, B.F., Sanchez-Sotelo, J. (2008). Functional evaluation of the elbow. In: Morrey B.F., ed. *The Elbow and Its Disorders* (pp. 1993-1995) Philadelphia: Saunders elsevier.
 59. Morrey, B.F., An, K.N. (2005). Stability of the elbow. Osseous constraints. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 14(Suppl S), 174-178.
 60. Müller, M.E., Allgöwer, M., Schneider, R., Willenegger, H. (1991). In: *Manual of internal fixation: techniques recommended by the AO-ASIF group*. Berlin Heidelberg New York: Springer.
 61. Müller, M.C., Kälicke, T., Burger, C., Weber, O. (2010). Endoprothetischer Ersatz des radialen Pfeilers nach Trauma. *Der Unfallchirurg*, 113(12), 984-989.
 62. Munoz-Mahamud, E., Fernandez-Valencia, J.A., Riba, J. (2010). Plate osteosynthesis for severe olecranon fractures. *Journal of orthopaedic Surgery (Hong Kong)*, 18(1), 80-84.

63. Netter, F. H. (2001) In: *Atlas der Anatomie*. München: Urban und Fischer.
64. Niglis, L., Bonnomet, F., Schenk, B., Brinkert, D., Di Marco, A., Adam, P., Ehlinger, M. (2015). Critical analysis of olecranon fracture management by precontoured locking plates. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research*, 101(2), 201-207.
65. Nork, S.E., Jones, C.B., Henley, M.B. (2001). Surgical treatment of olecranon fractures. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, 30(7), 577-586.
66. Nowak, T.E., Dietz, S.O., Burkhart, K.J., Müller, L.P., Rommens, P.M. (2012). Frakturen des Ellenbogengelenkes. CME-Weiterbildung. *Der Chirurg*, 83(2), 181-198.
67. Olsen, B.S., Søjbjerg, J.O. (2003). The treatment of recurrent posterolateral instability of the elbow. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 85(3), 342-346.
68. Palvanen, M., Kannus, P., Parkkari, J., Pitkälä, T., Pasanen, M., Vuori, I., Järvinen, M. (2000). The injury mechanisms of osteoporotic upper extremity fractures among older adults: a controlled study of 287 consecutive patients and their 108 controls. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 11(10), 822-831.
69. Perren, S. M., Cordey, J., Rahn, B. A., Gautier, E., Schneider, E. (1988). Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. A reaction to necrosis, not to stress protection? *Clinical orthopaedics and related research*, 232, 139-151.
70. Perren, S. M. (2002). Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *Journal of bone and joint surgery, British Volume*, 84(8), 1093-1110.
71. Poigenfürst, J. (1982). Begleitverletzungen von Muskeln, Sehnen und Nerven bei Verletzungen des Ellenbogens. *Hefte zur Unfallheilkunde*, 155, 63-72.
72. Puchwein, P., Schildhauer, T.A., Schöffmann, S., Heidari, N., Windisch, G., Pichler, W. (2012). Three-dimensional morphometry of the proximal ulna: a comparison to currently used anatomically preshaped ulna plates. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 21(8), 1018-1023.
73. Regan, W., Morrey, B. (1989). Fractures of the coronoid process of the ulna. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 71(9), 1348-1354.
74. Ring, D. (2004). Open reduction and internal fixation of fractures of the radial head. *Hand clinics*, 20(4), 415-427.

75. Ring, D., Quintero, J., Jupiter, J.B. (2002). Open reduction and internal fixation of fractures of the radial head. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 84-A(10), 1811-1815.
76. Ring, D. (2006). Fractures of the coronoid process of the ulna. *The Journal of hand surgery*, 31(10), 1679-1689.
77. Ring, D., Jupiter, J.B., Sanders, R.W., Mast, J., Simpson, N.S. (1997). Transolecranon fracture-dislocation of the elbow. *Journal of orthopaedic trauma*, 11(8), 545-550.
78. Ring, D., Doornberg, J.N. (2007). Fracture of the anteromedial facet of the coronoid process. Surgical technique. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 89 Suppl 2 Pt.2, 267-283.
79. Ring, D., Tavakolian, J., Kloen, P., Helfet, D., Jupiter, J.B. (2004). Loss of alignment after surgical treatment of posterior Monteggia fractures: salvage with dorsal contoured plating. *The Journal of hand surgery* 29(4), 694-702.
80. Ring, D., Jupiter, J.B., Simpson, N.S. (1998). Monteggia fractures in adults. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 80(12), 1733-1744.
81. Ring, D., Jupiter, J.B. (2004). Operative release of ankylosis of the elbow due to heterotopic ossification – surgical technique. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 86-A Suppl 1, 2-10.
82. Rohen, J.W., Lütjen-Drecoll, E. (2006). In: *Funktionelle Anatomie des Menschen*. Stuttgart: Schattauer.
83. Rommens, P.M., Schneider, R.U., Reuter, M. (2004). Functional results after operative treatment of olecranon fractures. *Avta chirurgica Belgica*, 104(2), 191-197.
84. Rouleau, D.M., Faber, K.J., Athwal, G.S. (2010). The proximal ulna dorsal angulation: a radiographic study. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 19(1), 26-30.
85. Rouleau, D.M., Sandman, E., van Riet, R., Galatz, L.M. (2013). Management of fractures of the proximal ulna. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 21(3), 149-160.
86. Ruchholtz, S., Vitz, D.C. (2010). In: *Orthopädie und Unfallchirurgie essentials: Intensivkurs zur Weiterbildung*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
87. Rüdi, T.P., Buckley, R.E., Moran C.G. (2007). In: *AO Principles of Fracture Management*. Stuttgart: Thieme
88. Sauder, D.J., Athawal, G.S. (2007). Management of isolated ulnar shaft fractures. *Hand clinics*, 23(2), 179-184.

89. Schatzker, J., Tile, M. (2005) Olecranon Fractures. In: „*The rationale of operative fracture care* (pp.80-87). Berlin Heidelberg New York: Springer.
90. Schatzker, J., Brudnicki, J. (2006). The evolution of AO/ASIF views on fracture treatment. *Chirurgia narządów ruchu I ortopedia polska*, 71(4), 275-279.
91. Schmidt-Horlohé, K., Bonk, A., Wilde, P., Becker, L., Hoffmann, R. (2010). Functional results after osteosynthesis of the distal humerus fracture with an anatomically precontoured, angular-stable double plate system. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 148(3), 300-308.
92. Schmidt-Horlohe, K., Siebenlist, S., Stöckle, U., Hoffmann, R. Frakturen des distalen Humerus. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 149(1), 95-108.
93. Schmit-Neuerburg, K.P., Letsch, R. (2001) Frakturen der proximalen Ulna In: *Tscherne. Unfallchirurgie* (pp. 37-52). Berlin: Springer-Verlag.
94. Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (2014) Prometheus - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Thieme Verlag.
95. Schütz, M., Südkamp, N. P. (2003). Revolution in plate osteosynthesis: new internal fixator systems. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 8(2), 252-258.
96. Schweiberer, L. (1982) Begleitverletzungen – Diskussionsbemerkungen. *Hefte Unfallheilkunde* 155, 80-81.
97. Siebenlist, S., Schmidt-Horlohé, K., Hoffmann, R., Stöckle, U., Lucke, M. (2011) Proximale Ulnafrakturen. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 149(3), 1-19.
98. Siebenlist, S., Stöckle, U., Lucke, M. (2009). Problematik osteoporotischer Frakturen am Ellenbogen. *Obere Extremität*, 4, 160-167.
99. Siewert, J.R. (2001) Chirurgie. Berlin Heidelberg New York: Springer
100. Simpson, N. S., Goodman, L.A., Jupiter, J. B. (1996). Contoured LCDC plating of the proximal ulna. *Injury*, 27(6), 411-417.
101. Sobotta, J. (2000) Atlas der Anatomie des Menschen. In: Band 1 Kopf, Hals, obere Extremität. München: Urban&Fischer .
102. Sotereanos, D.G., Darlis, N.A., Wright, T.W., Goitz, R.J., King, G.J. (2007). Unstable fracture – dislocations of the elbow. *Instructional course lectures*, 56, 369-376.
103. Stoffel, K., Dieter, U., Stachowiak, G., Gachter, A., Kuster, M. S. (2003). Biomechanical testing of the LCP--how can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury*, 34 Suppl 2B, 11-19.

104. Stöckle, U. (2009) Ellenbogenchirurgie: Atlas zu Standardverfahren, Tipps und Tricks. München: Urban&Fischer.
105. Synthes (2015, Januar 23). LCP (Locking Compression Plate) (Winkelstabile Kompressionsplatte). [Internetseite]. Retrieved from <http://sites.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/016.000.996.pdf>
106. Synthes (2015, Januar 23). Kleinfragment-System. Instrumente und Implantate für die Plattenosteosynthese mit 2.7 und 3.5 Platten. [Internetseite]. Retrieved from <http://sites.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/016.000.995.pdf>
107. Synthes (2015, Januar 23). LCP Olekranonplatte. Das anatomische Fixationssystem mit Winkelstabilität für Frakturen von Olekranon und proximaler Ulna. [Internetseite]. Retrieved from http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_Synthes_PDF/016.000.457.pdf
108. Tashjian, R.Z., Katarincic, J.A. (2006). Complex elbow instability. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 14(5), 278-286.
109. Thalhammer, G., Platzer, P., Oberleitner, G., Fialka, C., Greitbauer, M., Vécsei, V. (2009). Angular stable fixation of proximal humeral fractures. *The Journal of trauma*, 66(1), 204-210.
110. Theivendran, K., Duggan, P.J., Deshmukh, S.C. (2010). Surgical treatment of complex distal humeral fractures: functional outcome after internal fixation using precontoured anatomic plates. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons*, 19(4), 524-532.
111. Tillmann, B., Töndury, G. Bewegungsapparat In: Leonhardt, H., Tillmann, B., Töndury, G., Zilles, K. In: *Rauber/Kobsch Anatomie des Menschen* (Band 1) Stuttgart New York: Thieme.
112. Totlis, T, Anastasopoulos, N, Apostolidis, S, Paraskevas, G, Terzidis, I, Natsis, K. (2014). Proximal ulna morphometry: which are the "true" anatomical preshaped olecranon plates? *Surgical and radiologic anatomy : SRA*, 36(10), 1015-1022.
113. Tscherme, H., Oestern, H. (1982). A new Classification oft soft-tissue damage in open and closed fractures. *Unfallheilkunde*, 85(3), 111-115.
114. Uhlmann, M., Barg, A., Valderrabano, V., Weber, O., Wirtz, D.C., Pagenstert, G. (2014). Behandlung von isolierten Olekranonfrakturen. *Der Unfallchirurg*, 117(7), 614-623.
115. Veillette, C.J.H., Steinmann, S.P. (2008). Olecranon fractures. *The Orthopedic clinics of North America*, 39(2), 229-236.

116. Wagner, M., Frigg, R. (2000). Locking compression plate (LCP): ein neuer AO-Standard. *OP-Journal*, 16(3), 238-243.
117. Wagner, M. (2003). General principles for the clinical use of the LCP. *Injury* 34 Suppl 2B, 31-42.
118. Weber, M.F., Barbosa, D.M., Belentani, C., Ramos, P.M., Trudell, D., Resnick, D. (2009). Coronoid process of the ulna: paleopathologic and anatomic study with imaging correlation. Emphasis on the anteromedial "facet". *Skeletal radiology* 38(1), 61-67.
119. Weigel, B., Aebert, H., Leunig, M., Ganz, R., Rammelt, S., Schuster, C., Zwipp, H. (2011) Standardzugänge in der Traumatologie. In: *Praxisbuch Unfallchirurgie* (pp. 1083-1142) Berlin Heidelberg New York: Springer.
120. Yang, M., Zhang, D.Y., Fu, Z.G., Chen, J.H., Wang, T.B., Xiong, J., Jiang, B.G. (2011). Report of 11 cases of the comminuted olecranon fracture treatment with anatomically preshaped locking compression plate (LCP). *Journal of Peking University. Health sciences*, 43(5), 671-674.
121. Zimmermann, G., Wagner, C., Wentzensen, A. (2004) Olecranonfrakturen. *Trauma und Berufskrankheiten*, 6(3), 225-231.

9. Anhang

9.1. Einverständniserklärung zur Untersuchung



Abteilung für Unfallchirurgie des
Klinikums rechts der Isar
der Technischen Universität München
Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle



Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

zunächst möchten wir Ihnen an dieser Stelle ganz herzlich danken, dass Sie sich zur Nachuntersuchung im Rahmen unserer Studie bereit erklärt haben. Wir wissen, dass diese Nachuntersuchung für Sie mit zeitlichem Aufwand verbunden ist, aber ohne Ihre Hilfe wäre es uns nicht möglich, unsere Arbeit täglich selbst zu überprüfen und unseren Patienten die bestmögliche Therapie zukommen zu lassen. Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Ergebnisse sind neben der abteilungsinternen Qualitätskontrolle auch für wissenschaftliche Veröffentlichungen gedacht. Die Daten werden dabei selbstverständlich anonym behandelt.

Neben der klinischen Untersuchung und der Beantwortung von Fragebögen bitten wir Sie an dieser Stelle auch ggf. um die Durchführung aktueller Röntgenbilder - sofern die letzten Aufnahmen schon längere Zeit zurückliegen. Hintergrund ist dabei, Lageveränderungen des einliegenden Osteosynthesematerials zu erkennen, die möglicherweise eventuell bestehende Restbeschwerden erklären. Dank unseres neuen, digitalen Röntgengerätes können wir dabei die Dosis minimieren, so dass Sie keine Angst haben müssen, einer übermäßigen Röntgenbestrahlung ausgesetzt zu sein.

Wenn Sie mit der Untersuchung und ggf. der Durchführung von Röntgenaufnahmen einverstanden sind, bitten wir Sie mit Ort, Datum und Unterschrift Ihr Einverständnis schriftlich niederzulegen.

Vielen Dank für Ihre Hilfe!

Ort Datum Name Unterschrift



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Voroperationen/ Nebenerkrankungen

.....
.....
.....

Sonstiges (offene Verletzung, Begleitverletzungen, Medikamente, ...)

.....
.....
.....

A.3 RISIKOFAKTOREN

Sport (Wurfsportarten/ Leistungssport)

.....
.....

Beruf handwerklich nicht handwerklich

.....

A.4 BILDGEBUNG

Röntgen

.....

CT ja nein

A.5 OPERATION

Operationsdatum ____ / ____ / ____

Operation (Zugang, Transfixation, ...)

.....



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

B - Klinische Untersuchung

Vom Untersucher auszufüllen:

Patientennummer

.....

OP-Datum ___ / ___ / ___

Untersuchungsdatum ___ / ___ / ___

Seite **rechts** **links**

Händigkeit **Rechtshänder** **Linkshänder**

Komplikationen

.....
.....
.....

B.1 INSPEKTION UND PALPATION

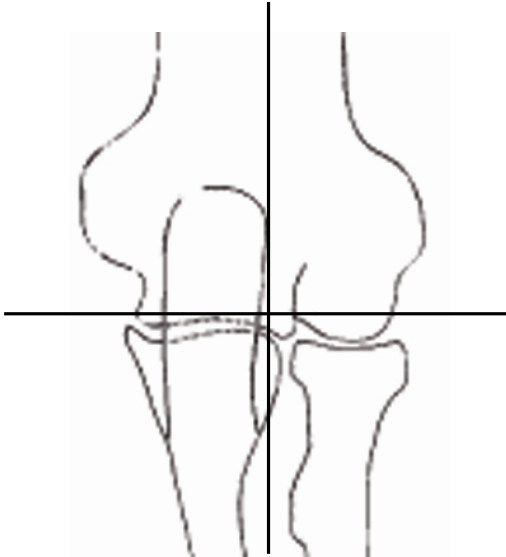
1.1. Narben/ Hautstatus

.....

Schwellung	Ø	+	++	+++
Überwärmung	Ø	+	++	+++
Rötung	Ø	+	++	+++
Krepitation	Ø	+	++	+++
Blockierung	Ø	+	++	+++

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

1.2. Druckschmerzpunkte (entsprechende Markierungen in das Schema einzeichnen)



B.2 SCHMERZCHARAKTER

- gelegentlich Schmerzen
- Dauerschmerz
- Belastungsschmerz
- Gebrauchsstörung
- Blockierungen

wenn, ja ___ / ___ / ___

Dauerhafte Schmerzmedikation

.....
.....
.....

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

B.3 FUNKTION

3.1. *Beweglichkeit (ROM)* EX / FLEX aktiv ___ / ___ / ___

PRO/ SUP aktiv ___ / ___ / ___

Gegenseite (gesund) EX / FLEX aktiv ___ / ___ / ___

PRO/ SUP aktiv ___ / ___ / ___

3.2. *Bandstabilität* Varusstress (LCL) stabil instabil ++

++

Valgusstress (MCL) stabil instabil ++

++

Gegenseite (gesund) Varusstress (LCL) stabil instabil ++

++

Valgusstress (MCL) stabil instabil ++

++

Pivot-Shift-Test positiv negativ

3.4. *Grobe Kraft* (Kraftgrad 5/5)

Extension ___ / 5 Flexion ___ / 5

Pronation ___ / 5 Supination ___ / 5 (bei 90° gebeugtem Ellenbogen)

Gegenseite

Extension ___ / 5 Flexion ___ / 5



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Pronation ____ / 5 Supination ____ / 5 (bei 90° gebeugtem
Ellenbogen)

3.3. Sensibilität intakt nicht intakt

B.4 ISOBEX - Messung (Werte: Newton mit einer Kommastelle)

Flexionsmessung: 0° 45° 90°

Extensionsmessung: 45° 90° 130°

Pronation: *Supination:*

Gegenseite:

Flexionsmessung: 0° 45° 90°

Extensionsmessung: 45° 90° 130°

Pronation: *Supination:*

B.5. UMFANGSMESSUNG

10 cm proximal der Ellenbeuge ____ cm ____ cm Gegenseite

auf Höhe der Ellenbeuge ____ cm ____ cm Gegenseite

10 cm distal der Ellenbeuge ____ cm ____ cm Gegenseite

Atrophiezeichen - inspektorisch ja nein

Sonstiges



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

.....

B.6 BELASTUNGSMASS („was können sie mit dem Ellenbogen, was nicht?“)

Einschränkung:.....

B.7 PATIENTENZUFRIEDENHEIT

GLOBALURTEIL ARZT UND PATIENT

Arzt:

Patient:

sehr gut

sehr gut

gut

gut

mäßig

mäßig

schlecht

schlecht

sehr schlecht

sehr schlecht



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

B.8 SCORES

Mayo Elbow Performance Score

Parameter	Befund	Punkte
Schmerzintensität	keiner	45
	gering	30
	moderat	15
	stark	0
Beweglichkeit (sagittal)	ROM > 100°	20
	ROM > 50-100°	15
	ROM < 50°	5
Stabilität	stabil	10
	etwas instabil	5
	völlig instabil	0
Funktion	Haarekämmen möglich	5
	selbstständiges Essen möglich	5
	selbstständige Körperpflege möglich	5
	Ankleiden möglich	5
	Schuhe anziehen möglich	5

Summe

Maximale Punktzahl (100)

VAS - visuell analog scale

(vom Untersucher auszufüllen)

Wie beurteilen sie den Schmerz in Ihrem Ellenbogengelenk heute?
(Kästchen ankreuzen)

(bitte nur 1

keinerlei
Schmerz

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

stärkster Schmerz, den
ich mir vorstellen kann

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

9.3. Patientenfragebogen *QuickDASH*

C - Patientenfragebogen

Quick-DASH (vom Patienten auszufüllen)

Dieser Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Beschwerden als auch mit Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeiten ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	<i>keine Schwierigkeiten</i>	<i>geringe Schwierigkeiten</i>	<i>mäßige Schwierigkeiten</i>	<i>erheblich Schwierigkeiten</i>	<i>nicht möglich</i>
1. ein neues oder fest verschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. schwere Hausarbeit (z.B. Boden oder Fenster putzen)	1	2	3	4	5
3. eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
4. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
5. mit einem Messer Lebensmittel schneiden	1	2	3	4	5
6. Freizeitaktivitäten, bei					

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Tennis, Hämmern, Golf, usw.)	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---

7. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunde oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt?

(Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

überhaupt nicht	ein wenig	mäßig	ziemlich	sehr
1	2	3	4	5

8. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt?

(Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

überhaupt nicht eingeschränkt	ein wenig eingeschränkt	mäßig eingeschränkt	sehr eingeschränkt	nicht möglich
1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein.

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	keine	leichte	mäßige	starke	sehr starke
9. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

10. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---

11. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile eine Zahl an)

keine Schwierigkeiten	geringe Schwierigkeiten	mäßige Schwierigkeiten	erhebliche Schwierigkeiten	nicht möglich
1	2	3	4	5

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Arbeits- und Berufs-Modul

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Verletzung auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, wenn dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).

Bitte geben Sie Ihre/n Arbeit/Beruf hier an:

Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen)

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt.

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	keine Schwierigkeiten	geringe Schwierigkeiten	mäßige Schwierigkeiten	erhebliche Schwierigkeiten	nicht möglich
1. in der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

3. so gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Sport- und Musik-Modul

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Verletzung auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes, auf das Ausüben Ihres Sports oder beides.

Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als einen Sport ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Frage in Bezug auf das Instrument oder die Sportart, die Ihnen am wichtigsten ist.

Bitte geben Sie dieses Instrument, bzw. diese Sportart hier an:

ich treibe keinen Sport, bzw. spiele kein Instrument (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	<i>keine Schwierigkeiten</i>	<i>geringe Schwierigkeiten</i>	<i>mäßige Schwierigkeiten</i>	<i>erhebliche Schwierigkeiten</i>	<i>nicht möglich</i>
1. in der üblichen Art und Weise Ihr Instrument zu spielen oder Ihren Sport zu treiben?	1	2	3	4	5

Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

3. so gut Ihr Instrument zu spielen oder Sport zu treiben, wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Instruments, bzw. mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5

10. Danksagung

Ich danke Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Ulrich Stöckle für die freundliche Überlassung des Themas und Einreichung der Arbeit.

Herrn Pd Dr. med. Sebastian Siebenlist danke ich für die Betreuung der Dissertation, insbesondere für die unermüdliche Unterstützung bei der Korrektur und dem Austausch während der Erstellung der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt allen Patienten, die sich bereit erklärt haben an der Befragung und Untersuchung im Rahmen dieser Studie teilzunehmen. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Speziell meinem Vater gilt mein großer Dank für seine praktische Unterstützung bei der Konstruktion und beim Bau des Kraftaufnahmegerätes zur Messung der Pro- und Supinationskräfte.