

Technische Universität München, Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie des Klinikums rechts der Isar, Fakultät für Medizin

Klinisch-funktionelle und radiologische Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese bei Radiusköpfchenfrakturen (Typ Mason III /IV)

Michael Wiktor Zyskowski

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

Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfende der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Chlodwig Kirchhoff
2. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist

Die Dissertation wurde am 12.06.2020 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin angenommen.

Für Sophia

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	5
1 EINLEITUNG	7
1.1 Epidemiologie	7
1.2 Anatomie und Biomechanik des Ellenbogengelenkes	8
1.2.1.1 Proximaler Radius.....	9
1.2.1.2 Articulatio humeroulnaris	10
1.2.1.3 Articulatio humeroradialis	10
1.2.1.4 Articulatio radioulnare proximale	11
1.2.2 Biomechanik.....	11
1.2.2.1 Kapsel und Bandapparat	11
1.2.2.2 BewegungsausmaÙe.....	15
1.2.3 Klassifikationen	16
1.2.3.1 Mason-Klassifikation.....	16
1.2.3.2 AO-Klassifikation.....	18
1.2.4 Traumamechanismus.....	18
1.3 Klinisch-Radiologische Untersuchung	19
1.3.1 Klinische Symptome.....	19
1.3.1.1 Klinische Untersuchung	19
1.3.1.2 Radiologische Untersuchung	22
1.4 Therapie	23
1.4.1 Konservative Therapie	23
1.4.2 Operative Therapie.....	25
1.4.2.1 Osteosynthese.....	25
1.4.2.2 Radiusköpfchen Prothese	27
1.4.2.3 Radiuskopf - Resektion.....	28
1.4.2.4 Chirurgischer Zugangsweg	29
1.4.2.5 Nachbehandlung	31
2 ZIELSETZUNG.....	32
3 MATERIAL UND METHODEN	33
3.1 Patientenkollektiv.....	33
3.2 Studienablauf.....	33
3.3 Operative Versorgung	34
3.4 Nachbehandlung	34
3.5 Plattensystem	35
3.6 Nachuntersuchung.....	37
3.6.1 Subjektive Zufriedenheit.....	37
3.6.2 Radiologische Nachuntersuchung	38
3.6.3 Beurteilung der Schmerzen.....	38
3.6.4 Beurteilung der Funktion	38
3.6.5 Beurteilung der Kraft	39
3.6.6 Beurteilung der Stabilität	39
3.6.7 Beurteilung des Bewegungsumfanges	40
3.6.8 Beurteilung des Behandlungsergebnisses.....	40
3.6.8.1 Elbow self-assessment score ESAS.....	40
3.6.8.2 Mayo elbow performance score MEPS	40
3.6.8.3 Shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire QuickDASH	41
3.6.9 Statistische Methoden	42
4 ERGEBNISSE	43
4.1 Patientenkollektiv.....	43
4.1.1 Alters- und Geschlechtsverteilung	43
4.1.2 Seitenverteilung und dominante Seite	43
4.2 Trauma und Traumafolgen.....	44
4.2.1 Traumamechanismus und Traumaursache	44
4.2.2 Verletzungsmuster	45
4.2.3 Begleitverletzungen.....	46
4.2.4 Daten zur operativen Versorgung	46
4.2.5 Osteosynthesematerial	46
4.2.6 Revisionen und Materialentfernung	47
4.2.7 Ruhigstellung.....	47

4.3	Klinische Ergebnisse	48
4.3.1	Subjektive Zufriedenheit.....	48
4.3.2	Beweglichkeit	48
4.3.3	Schmerz	49
4.3.4	Kraft.....	50
4.3.5	Stabilität.....	50
4.4	Funktioneller Outcome	50
4.5	Radiologische Beurteilung	51
5	DISKUSSION	53
5.1	Einschränkungen: Kritische Betrachtung des Studiendesigns und Methodik	56
5.2	Schlussfolgerung und Ausblick	56
6	ZUSAMMENFASSUNG	57
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	59
8	ANHÄNGE	61
9	TABELLENVERZEICHNIS	70
10	LITERATURVERZEICHNIS	70
11	DANKSAGUNG	80

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
Abb.	Abbildung
A-MCL	Anteriores Bündel des medialen Kollateralbandes
AL	Ligamentum anulare radii
ALCL	Akzessorisches laterales Kollateralband
a.p.	anterior posterior
BMI	Body-Mass-Index
Ca.	Circa
CT	Computertomographie
EMG	Elektromyographie
ESAS	Elbow self-assessment score
HO	Heterotope Ossifikationen
HRG	Humeroradialgelenk
HUG	Humeroulnargelenk
ICIDH	International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps
LCL	Ligamentum collaterale laterale
Lig.	Ligamentum
LUCL	Laterales ulnares Kollateralband
Max	Maximal
MCL	Ligamentum collaterale mediale
MEPS	Mayo elbow performance score
Min	Minimal
mm	Millimeter

MRT	Magnetresonanztomographie
NLG	Nervenleitgeschwindigkeit
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
ORIF	Offene Reposition und interne Fixierung
P-MCL	Posteriores Bündel des medialen Kollateralbandes
PRUG	Proximales Radioulnargelenk
QuickDASH	Shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire
RCL	Radiales Kollateralband
ROM	Range of motion
3D	Dreidimensional
VAS	Visuelle Analogskala
WHO	World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation

1 EINLEITUNG

1.1 Epidemiologie

Radiusköpfchenfrakturen gehören zu den häufigsten Frakturen des Ellenbogens, entsprechen somit etwa 30 % aller Ellenbogenfrakturen und circa 2 - 4% aller Frakturen bei Erwachsenen (Mason 1954, Duckworth et al. 2012). Die Geschlechterverteilung ist in der Literatur variabel beschrieben. Mason beschrieb 1954 ein ausgeglichenes Verhältnis der Verletzungshäufigkeit zwischen Männern und Frauen von 1:1, wobei Männer eher schwerere Frakturen erlitten (Mason 1954). Morrey et al. beschrieben, dass Frauen doppelt so häufig betroffen sind wie Männer (Morrey und An 1985). Davidson postulierte in seiner 1993 veröffentlichten Arbeit ein Verletzungsverhältnis von 3:2, männlich zu weiblich (Davidson et al. 1993). Einer neueren Arbeit von Kaas et al. zufolge liegt das Durchschnittsalter bei ca. 48 Jahren mit einem Häufigkeitsgipfel zwischen der 3. und 5. Lebensdekade und einem deutlich höheren Alter bei Frauen (52,8 Jahre) als bei Männern (40,5 Jahre) (Kaas et al. 2010).

Je nach Frakturmorphologie und Koexistenz von Begleitverletzungen des Kapselbandapparates stehen konservative und operative Therapiemaßnahmen zur Verfügung. Die Wahl des richtigen Therapieverfahrens richtet sich zum einen nach der Frakturmorphologie, zum anderen nach den individuellen funktionellen Ansprüchen des Patienten.

Die Radiusköpfchenfraktur kann isoliert auftreten, kann jedoch auch mit knöchernen wie auch ligamentären Begleitverletzungen vergesellschaftet sein (Kaas et al. 2011). Bei Mason 2- Frakturen treten bei 21% der Fälle Läsionen des lateralen Kollateralbandes (LCL) auf. Das LCL weist bei Mason 3 - Frakturen bereits in 85% der Fälle (Johansson 1962) eine Verletzung auf. In weiterer Folge kommt es zu einer posterolateralen Rotationsinstabilität (O'Driscoll et al. 1991), was zu Abscherfrakturen des Capitulum humeri (Walid et al. 2016) oder zu einer Osborne – Cotterill - Läsion führen kann (Schwarzkopf et al. 2018).

Vor allem im Fall von Luxationen des Ellenbogengelenkes kann es zu Abscherfrakturen des Processus coronoideus kommen was eine direkte Auswirkung auf die anteriore Stabilität des Ellenbogens hat (Kiene et al. 2013).

1.2 Anatomie und Biomechanik des Ellenbogengelenkes

1.2.1 Anatomie

Das Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti, Abb. 1) stellt das Verbindungsglied zwischen Ober- und Unterarm dar, ist funktionell eine wichtige Schaltstelle für die Rotation im Unterarm und ermöglicht so einen annähernd 360° umfassenden Aktionsradius der Hand. Es besteht aus drei Teilgelenken:

- Articulatio humeroulnaris
- Articulatio humeroradialis
- Articulatio radioulnaris proximalis

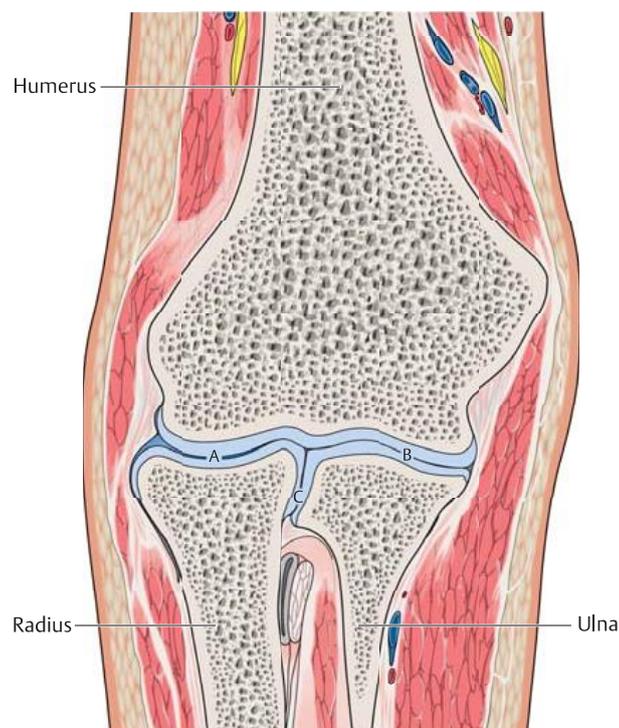


Abb.1: Die drei Teilgelenke des Ellenbogengelenkes (Wegmann et al. 2012)

Eine einwandfreie Funktion der oberen Extremität hängt wesentlich von einem funktionierenden Ellenbogengelenk ab und ermöglicht in Kombination mit dem Glenohumeralgelenk einen hohen Bewegungsumfang. Zusätzlich nimmt das Ellenbogengelenk eine wichtige lasttragende Funktion ein. Intakte Beweglichkeit und Stabilität des Ellenbogengelenkes ist daher Voraussetzung für alltägliche Bewegungsabläufe (Kapandji 1984).

Aufgrund der Komplexität des Ellenbogengelenkes und seiner Funktionen, stellen die Kenntnisse der Anatomie und Biomechanik die Grundvoraussetzung für das Verständnis möglicher pathologischer Veränderungen bzw. Verletzungen und der entsprechenden konservativen und operativen Behandlungskonzepte wie der anatomischen Gelenkrekonstruktion bzw. endoprothetischem Gelenkersatz dar.

1.2.1.1 Proximaler Radius

Der proximale Radius besteht aus einer walzenförmig anmutenden Verbreiterung, dem Caput radii. Dieses artikuliert mit seiner seichten in der Mitte der Gelenkfläche befindlichen Vertiefung mit dem Capitulum humeri (Seitz S. 2013). Umringt wird das Caput radii von der Circumferentia articularis die in der Incisura radialis der proximalen Ulna rotiert. Das anterolaterale Drittel der Circumferentia articularis ist nicht mit hyalinem Knorpel bedeckt (Abb. 2). Dies hat zur Folge, dass bei fehlender subchondraler Lamelle eine vermehrte Frakturgefahr besteht. (Thomas 1929).

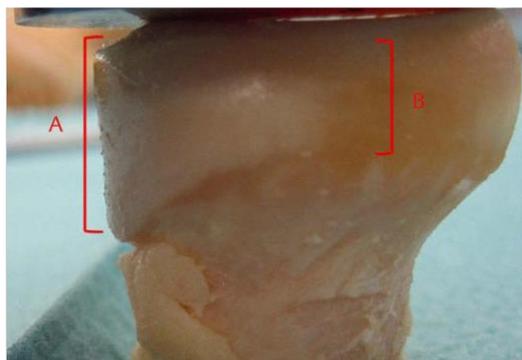


Abb. 2: Radiuskopf mit breiter knorpeliger Kontaktfläche, die im proximalen Radioulnargelenk artikuliert (A), und schmaler, oft knorpelfreier Zone (B), die nicht artikuliert (Wegmann et al. 2012)

Distal schließt sich der Radiushals, Collum radii, an den Radiuskopf an und bildet zur Längsachse des Radiuschaftes einen Winkel von circa 15° (Abb. 3) (Evans 1945). Die Tuberositas radii ist das distale Ende des Collum radii und dient als Ansatz der Sehne des M. biceps brachii.



Abb. 3: Der Radiushals bildet mit der Radiuslängsachse einen Winkel von ca. 15° (Seitz S. 2013)

1.2.1.2 Articulatio humeroulnaris

Das humeroulnare Gelenk (HUG) koppelt die Incisura trochlearis ulnae mit der Trochlea humeri (Abb. 1) (Wegmann et al. 2012, Seitz S. 2013). Es ermöglicht die Extension sowie Flexion und ist durch seine knöcherne Formgebung äußerst stabil. Das HUG stellt ein modifiziertes Scharniergelenk mit einem Freiheitsgrad dar (Thomsen et al. 2001).

1.2.1.3 Articulatio humeroradialis

Das Humeroradialgelenk (HRG) wird aus der Fovea articularis des Radiuskopfes und dem Capitulum humeri gebildet (Abb. 1, A) (Anson und MacVay 1971). Es ist biomechanisch ein Kugelgelenk mit drei Freiheitsgraden und trägt den Hauptanteil der von distal kommenden axialen Druckbelastungen (Thomsen et al. 2001).

1.2.1.4 Articulatio radioulnare proximale

Das proximale Radioulnargelenk (PRUG) ist die gelenkige Verbindung zwischen dem Radiuskopf und der proximalen Ulna (Abb. 1, C) (Anson und MacVay 1971, Wegmann et al. 2012). Die straffe Bandverbindung des Ligamentum anulare radii erlaubt dem Gelenk stabile Umwendbewegungen in Pronation und Supination durchzuführen (Martin 1958). Das PRUG kann als Zapfengelenk mit einer zylindrischen Gelenkfläche in einem Freiheitsgrad beschrieben werden.

1.2.2 Biomechanik

Anatomisch sind die Ellenbogengelenke mit all ihren genannten ossären Strukturen in nur einer Gelenkhöhle vereint. Funktionell kann man jedoch zwei Bewegungsmechanismen unterscheiden: Pronation und Supination im PRUG sowie Flexion und Extension im HUG und HRG. Drei primäre Funktionen dieser Gelenke können beschrieben werden (Anson und MacVay 1971, Seitz S. 2013, Morrey et al. 2018):

- Positionierung der Hand im Raum
- Bildung des Drehpunktes für den Unterarm
- Ermöglichen eines kraftvollen Griffs und feindosierter Bewegungen der Hand und des Handgelenks

In Zusammenschau der Funktionen des Ellenbogengelenkes ist zu erkennen, dass das Ellenbogengelenk in seiner Gesamtheit und Komplexität für das Heranführen und Wegführen der Hand vom und zum Körper hin eine zentrale Bedeutung hat (Morrey et al. 2018). Eine uneingeschränkte Mobilität bei zugleich ligamentärer Stabilität stellt eine unabdingbare Voraussetzung für Bewegungsabläufe des Alltags, Arbeit, und Sport dar.

1.2.2.1 Kapsel und Bandapparat

Alle drei Einzelgelenke des Ellenbogens sind von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben und befinden sich somit in einer gemeinsamen Gelenkhöhle (Abb.1, 4, 5). Die Gelenkkapsel ist innen von der Synovialhaut ausgekleidet und entspringt entlang

der humeralen Knorpel-Knochen-Grenze an der Trochlea humeri und dem Capitulum humeri, inseriert oberhalb der Fossa coronoidea und der Fossa radialis und verläuft weiter nach distal zum vorderen Rand des Processus coronoideus sowie am Lig. anulare radii aus (Johansson 1962, Morrey et al. 2018). Die im Vergleich zu anderen Gelenken relativ weite Gelenkkapsel ermöglicht einerseits ausgiebige Drehbewegungen des Radius, andererseits wird sie bei Beugung ventralseitig bzw. bei Streckung dorsalseitig deutlich gestaucht. Eine Einklemmung der Gelenkkapsel in den einzelnen Gelenken wird durch einzelne in die Gelenkkapsel einstrahlende, sich kontrahierende Muskelfaserzüge verhindert (Davies und Laird 1948). Aufgrund der Rigidität der Gelenkkapsel führt eine intraartikuläre Flüssigkeitsansammlung zu einer deutlichen Bewegungseinschränkung des Ellenbogens. Da das Ellenbogengelenk bei einer Flexionsstellung von etwa 80° das größte Volumen aufweist, beim Gesunden sind dies etwa 20 ml, kann diese Stellung nach einem stattgehabten Ellenbogentrauma, klinisch häufig als Schonhaltung zu erkennen, einen indirekten Hinweis auf eine Ellenbogenpathologie liefern (Ditsios et al. 2011). Die sensible Innervation erfolgt aus dem N. radialis, N. medianus, N. ulnaris und N. musculocutaneus antebrachii, da diese im Bereich des Ellenbogens anatomisch verlaufen (Anson und MacVay 1971).

Erwähnenswert hinsichtlich des Kapselbandapparates des Ellenbogens ist die Chorda obliqua. Diese stellt ein kräftiges Band dar mit Relevanz im Rahmen der longitudinalen Stabilität des Unterarms. Es zieht von der lateralen Basis des Processus coronoideus zum medialen proximalen Radiuschaft und setzt hier distal der Tuberositas radii an (Morrey und An 1985).

Das Ellenbogengelenk wird durch drei straffe Bänder gesichert:

- Lig. collaterale mediale (MCL)
 - anteriores Bündel (A-MCL)
 - posteriores Bündel (P-MCL)
 - Lig. transversum
- Lig. collaterale laterale (LCL)
 - laterales ulnares Kollateralband (LUCL)
 - radiales Kollateralband (RCL)
 - akzessorisches laterales Kollateralband (ALCL)
- Lig. anulare radii (AL)

Die Kollateralbänder stellen biomechanisch eine Art Gurtsystem dar und haben die Aufgabe den Gelenkflächenkontakt aufrecht zu erhalten. Der Kapselbandapparat gilt biomechanisch als der wichtigste Stabilisator des Ellenbogengelenks (Morrey und An 1985). Hier können mehrere Faserzüge beschrieben werden. Das MCL gliedert sich anatomisch in drei Bestandteile, ein anteriores und posteriores Bündel und das Lig. transversum (Thomsen et al. 2001, Seitz S. 2013).

Für die Stabilität bei Valgusstress ist das MCL verantwortlich, wobei das anteriore Bündel der Hauptstabilisator gegen auf das Gelenk wirkende Valguskraften ist. Das anteriore Bündel ist aufgrund seiner Funktion in drei Faseranteile, anterior – zentral – posterior, zu unterteilen. (Callaway et al. 1997).

Die anterioren Faserbündel des MCL entspringen breitflächig am medialen Epikondylus, leicht posterior des Drehzentrums, kranial der Gelenkkapsel und etwas inferior des Ursprungs der Flexorenmuskulatur (Anson und MacVay 1971). Im Ursprungsgebiet und im mittleren Verlauf hat das Band eine Breite von etwa 6 – 7 mm, im Ansatzbereich verbreitert es sich im Durchschnitt auf ca. 9 mm (Dugas et al. 2007). Das A-MCL ist als gut definierbare Struktur oberflächlich des antero-medialen Teils der Gelenkkapsel zu detektieren.

Das MCL entspringt am unteren Rand des Epicondylus medialis des Humerus und verbreitert sich fächerförmig nach distal auf, bevor es am Processus coronoideus in die Ulna einstrahlt. Der transversale Bandanteil, auch als Cooper-Ligament bezeichnet, hat seinen Ansatz und Ursprung am medialen Rand der Ulna und ist somit nicht als gelenkübergreifend zu werten (Morrey und An 1985). Das Ellenbogengelenk wird in Flexion oder bei Valgusstress durch den ventro - posterioren Bandanteil stabilisiert. In Extension zeichnet sich der ventrale Anteil als Hauptstabilisator gegen Valgusstress verantwortlich und trägt zu über 50% zur Valgusstabilität bei (Ball et al. 2002). Als sekundärer Stabilisator dient der Radiuskopf, dies muss im Falle einer Fraktur für die Stabilität des Ellenbogengelenkes bedacht werden (Morrey und An 1983).

Das LCL strahlt mit seinen zwei Schenkeln, LUCL und RCL, in das Ligamentum anulare radii ein und umfasst dabei das Radiusköpfchen von dorsal und ventral. Das LUCL entspringt am Epicondylus lateralis und steht in enger Beziehung zum M. supinator, M. anconeus und dem gemeinsamen Ansatz der Extensoren von wo aus

es dorsal des radialen Kollateralbandes zur Ulna zieht. An der Ulna verbindet sich das LUCL mit den akzessorischen Fasern ALCL des AL breitbasig an der Crista M. supinatoris ulnae (Morrey und An 1985).

Das LCL verbindet den Epicondylus lateralis humeri und das Lig. anulare radii und gestattet die Drehung des Radiuskopfes. Funktionell ermöglicht das LCL die Stabilisierung des humeroulnaren und radiokapitalen Gelenkabschnitts bei Belastung des Unterarms in Supination. Klinisch zeigt ein Defekt des LCL eine posterolaterale Rotationsinstabilität mit Subluxation des Radiusköpfchens und des humeroulnaren Gelenks (Morrey und An 1985, Anakwenze et al. 2014).

Das RCL stabilisiert das Ellenbogengelenk gegen Varusstress sowie Rotation und sollte bei Radiusköpfchenresektion erhalten bleiben, um einer weiteren Varusinstabilität entgegenzuwirken (An et al. 1991).

Das AL zieht nach ventral ringförmig um das Radiusköpfchen und setzt dorsal der Incisura trochlearis an. Dadurch wird das Radiusköpfchen in der Incisura radialis der Ulna stabilisiert. Da das Radiusköpfchen nicht kreisrund ist, konnten 1970 Spinner und Kaplan nachweisen, dass die ventralen Anteile des AL in Supination und die dorsalen Anteile in Pronation gespannt sind (Spinner und Kaplan 1970).

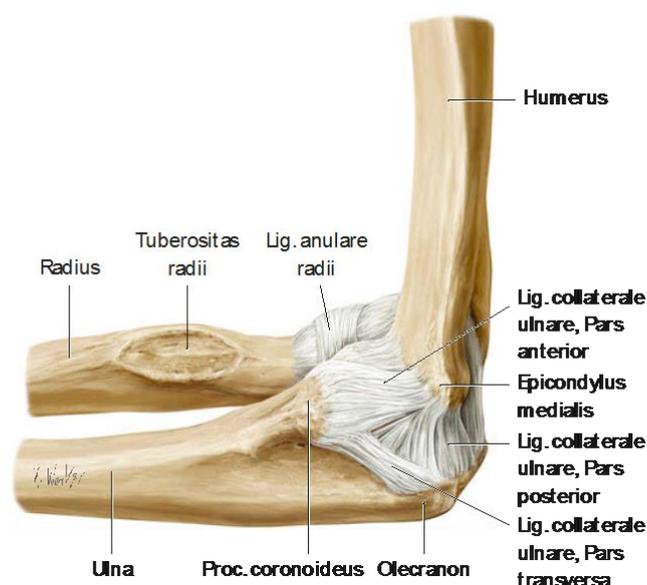


Abb. 4: Kapselbandapparat von medial (Wegmann et al. 2012)



Abb. 5: Kapselbandapparat von lateral (Wegmann et al. 2012)

1.2.2.2 Bewegungsausmaße

Obwohl das Ellenbogengelenk aus den drei Teilgelenken (Humeroulnargelenk, Humeroradialgelenk, proximales Radioulnargelenk) besteht, sind im Wesentlichen zwei Bewegungsebenen zu beschreiben. Die Extension/Flexion im Humeroulnargelenk und die Supination/Pronation vor allem im Humeroradial- und proximalen Radioulnargelenk (Thomsen et al. 2001).

Die Bewegungsausmaße des Ellenbogens sind nach der Neutral - 0- Methode zu bemessen mit einer Flexion von bis zu 146°. Meist fallen die am Patienten gemessenen Werte durch interponierende Weichteile (Muskulatur, Fett) am beugeseitigen Oberarm etwas geringer aus. Eine Überstreckung über 0° ist in seltenen Fällen möglich und wird überwiegend bei Frauen und Kindern beobachtet (Seitz S. 2013).

Aktivitäten des täglichen Lebens können mit einem deutlich geringeren Bewegungsumfang des Ellenbogens absolviert werden. Morrey hat in biomechanischen Studien belegt, dass für den alltäglichen Gebrauch ein Bewegungsausmaß zwischen 30° und 130° Flexion ausreichend ist (100°- Regel) (Morrey et al. 2018) Physiologisch wird das passive Bewegungsausmaß durch den

knöchernen Kontakt des Radiusköpfchens in der Fossa radialis, dem Proc. coronoideus in der Fossa coronoideus sowie durch die Gelenkkapsel und den M. triceps brachii limitiert (Martin 1958, Johansson 1962).

Bei Pronation und Supination kommt es zu einer Rotation des Unterarmes um seine Längsachse. Das Drehzentrum liegt zwischen Radiuskopf und dem Mittelpunkt der distalen ulnaren Gelenkfläche. Damit liegt die Drehachse schräg zur Längsachse von Radius und Ulna. An der Pronation und Supination sind das HRG und das PRUG beteiligt.

Aus der Neutral-Null-Stellung ist im Unterarm eine Pronation bzw. Supination von jeweils 80 – 90° möglich.

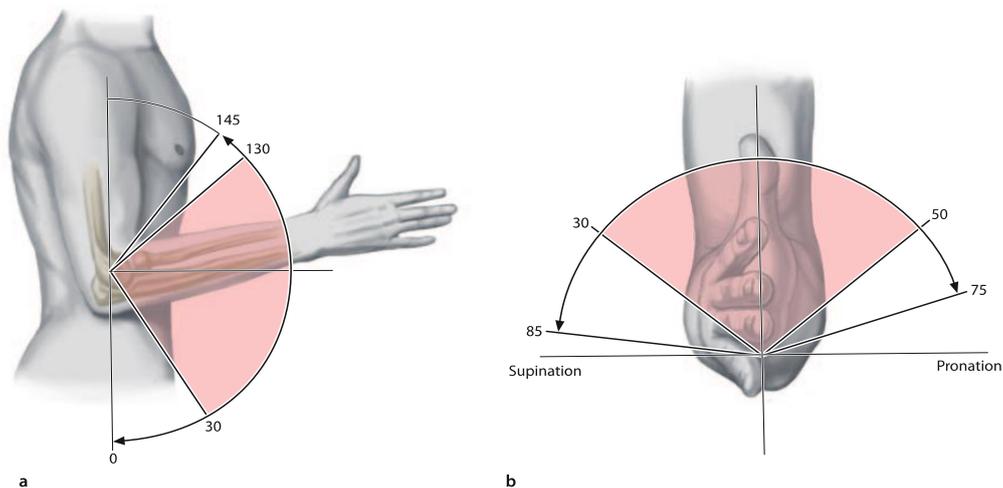


Abb. 6: Physiologisches Bewegungsausmaß des Ellenbogengelenks in Extension/Flexion (a) und Supination/Pronation (b) (Wegmann et al. 2012)

1.2.3 Klassifikationen

Zur Gewährleistung einer weltweit eindeutigen Bezeichnung von Frakturen des menschlichen Skelettes werden in der Traumatologie standardisierte Klassifikationen eingesetzt. Diese Klassifikationen dienen nicht nur der exakten Beschreibung der Frakturelemente, sondern stellen auch die Basis für eine Standardisierung der modernen Frakturbehandlung dar.

1.2.3.1 Mason-Klassifikation

Die bei Radiusköpfchenfrakturen am häufigsten verwendete Klassifikation ist die nach Mason (Mason 1954). Sie beschreibt die Frakturlokalisation unter Einbeziehung

der Anzahl der Fragmente und dem Ausmaß der Dislokation. Diese Einteilung hat den Vorteil eine praxisnahe Therapieentscheidung zu erleichtern. Mason teilte die Radiusköpfchenfrakturen in zunächst drei Typen bzw. Schweregrade ein. Diese Einteilung wurde durch Johnston (Johnston 1962) um einen vierten Typ, die Radiusköpfchenfrakturen mit zusätzlicher Luxation und Komplexverletzung erweitert. Eine weitere Modifikation der Mason-Klassifikation wurden 1987 von Broberg und Morrey vorgestellt, die einen Fokus auf den Versatz der Frakturfragmente sowie die Beteiligung der Gelenkoberfläche aufwies und Frakturen des Radiushalses miteinschloss (Broberg und Morrey 1987).

Diese Modifikation nach Broberg und Morrey stellt die heute am häufigsten verwendete Klassifikation für Radiusköpfchenfrakturen dar (Abb.7, 8).

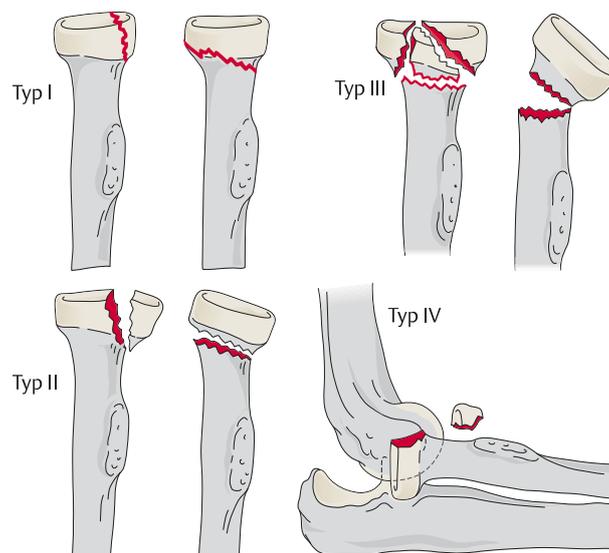


Abb. 7: Modifizierte Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfraktur mit Darstellung der Frakturmorphologie (Wegmann et al. 2012)

Klassifikation	Kennzeichen
Typ I	nicht oder gering (<2 mm) dislozierte 2-Fragment-Fraktur
Typ II	dislozierte (> 2 mm) 2-Fragment-Fraktur
Typ III	Mehrfragmentfraktur
Typ IV	alle Luxationsfrakturen

Abb. 8: Modifizierte Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfraktur tabellarisch Aufgeschlüsselt (Wegmann et al. 2012)

1.2.3.2 AO-Klassifikation

Die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO), hat es sich zum Ziel gesetzt einen weltweit gültigen Standard zu etablieren und so eine gemeinsame Sprache wie auch äquivalente Versorgungsstrategien in der Unfallchirurgie festzulegen. So wurde durch die AO auch eine Klassifikation der Radiusköpfchen- und Radiushalsfrakturen veröffentlicht, die sich an der Mason-Klassifikation orientiert (Meinberg et al. 2018).

Die Klassifikation nach AO hat sich für die Radiusköpfchenfraktur und den entsprechenden Kombinationsverletzungen nicht etabliert und wird daher in der klinischen Praxis selten angewandt.

1.2.4 Traumamechanismus

Radiusköpfchenfrakturen entstehen durch einen Sturz auf die ausgestreckte Handfläche bei gestrecktem beziehungsweise leicht flektiertem Ellenbogen und proniertem Unterarm (Abb. 9). Es kommt zu einer axialen Stauchung und Valgisierung des Ellenbogens, dies presst den Radiuskopf gegen das Capitulum humeri mit der möglichen Folge eines Bruchs des Radiusköpfchens (Burkhart et al. 2015). In mehreren Studien (Davidson et al. 1993, Itamura et al. 2005, Kaas et al. 2010) konnten sowohl ligamentäre Begleitverletzungen des medialen und lateralen Kollateralbandes als auch der Membrana interossea gezeigt werden. Dies legt den Verdacht nahe, dass auch bei einfachen Radiusköpfchenfrakturen eine Gelenkinstabilität entstehen kann. Dieses Wissen um Begleitverletzungen des Bandapparates lässt darauf schließen, dass die Radiuskopffraktur nicht als reine Fraktur verstanden werden darf, sondern vielmehr als gemischt osteo-ligamentäre Verletzung betrachtet werden muss.

Aus diesem Grund stellen die offene Reposition und interne Fixierung (ORIF) und die Radiuskopffprothese die Behandlungsoptionen der Wahl bei dislozierten Frakturen dar.

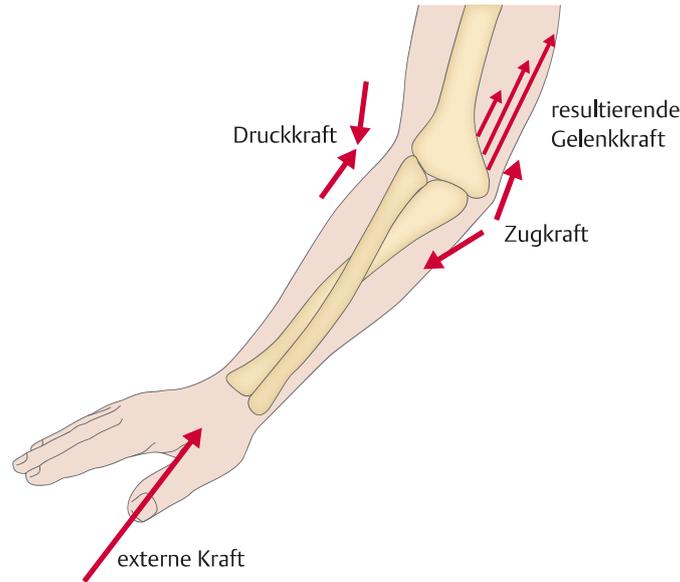


Abb. 9: Belastung des Ellenbogengelenks beim Sturz auf die Hand (Wegmann et al. 2012)

1.3 Klinisch-Radiologische Untersuchung

1.3.1 Klinische Symptome

Patienten, die nach einem Ellenbogentrauma zur Erstversorgung in einer Notaufnahme vorstellig werden, weisen meist eine typische Anamnese auf. Sie berichten von einem Sturz auf die Handfläche mit dabei ausgestrecktem, leicht gebeugtem Arm. Schmerzen und Schwellung finden sich an der radialen Seite des Ellenbogens. Abhängig von der Schwere der Verletzung ist die Beweglichkeit mehr oder weniger stark eingeschränkt. Meist kann schon während der Inspektion eine Schonhaltung mit Flexion des Ellenbogens in 90° erkannt werden (Ditsios et al. 2011). Das Hüter-Dreieck sollte mitbeurteilt werden um mögliche Luxationen während der klinischen Untersuchung nicht noch weiter zu verschlimmern (Seitz S. 2013).

1.3.1.1 Klinische Untersuchung

Die Palpation muss die knöchernen und ligamentären Strukturen des Ellenbogens umfassen. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Palpation und Stabilitätsprüfung mittels Valgus- oder Varusstress des medialen und lateralen Seitenbandes zu legen (Abb.9 a,b). Die Stabilitätsprüfung des Ellenbogens sollte aufgrund der genannten

möglichen Begleitverletzungen des Bandapparates durchgeführt werden, insofern sie vom Patienten in der akuten Situation toleriert wird. In den meisten Fällen ist ein lokal begrenzter Druckschmerz über dem Radiusköpfchen und eine schmerzhafte Einschränkung der Beweglichkeit festzustellen. Supination und Pronation des Unterarmes können nur bedingt erfolgen. Bei sachten Pronations- und Supinationsbewegungen können Krepitationen im Bereich der Radiusköpfchens vernommen werden. Kombinationsverletzungen und vor allem Luxationen des Ellenbogens können eine deutliche Fehlstellung sowie Sensibilitäts- und Durchblutungsstörungen aufweisen. Die Beweglichkeit ist oft vollständig aufgehoben.

Aufgrund des frakturbedingten Hämarthros und bei meist deutlichen Schmerzen ist eine klinische Prüfung der Bewegungsausmaße bei akuten Frakturen nur bedingt möglich. Nach verabreichter Analgesie kann die Beurteilung der Bewegungsausmaße nur bedingt besser durchgeführt werden. Aufgrund der anatomischen Nähe der Nerven zum Ellenbogengelenk ist eine Prüfung der Sensibilität und der Motorik der Hand und der Finger unabdingbar und muss bei jeder Untersuchung durchgeführt werden. Die Prüfung der peripheren Durchblutung gehört zur Standarduntersuchung (Konrads und Rudert 2018). Die Stabilitätsprüfung (Abb. 10) gestaltet sich in der Akutphase der Radiuskopffraktur wie auch schon die Prüfung der Bewegungsausmaße schwierig. Eine Möglichkeit der klinischen Funktionsprüfung zur Beurteilung der Ellenbogenstabilität stellt der Pivot-Shift-Test dar (siehe Abb. 10 c). Hierbei wird in Supinationsstellung ein Valgusstress und axiale Kompression auf den Ellenbogen ausgeübt. Kann durch diesen Test eine Subluxation ausgelöst werden, so kann von einer Instabilität ausgegangen werden.

Die nicht betroffene Gegenseite ist klinisch zur Einschätzung der Bandspannung mit zu beurteilen (Marquäß B 2010, Wegmann et al. 2012). Eine Untersuchung der angrenzenden Gelenke kann Aufschluss über Begleitverletzungen geben und ist in der Regel gut durchführbar (Konrads und Rudert 2018). Vor allem Druckschmerz im distalen Radioulnargelenk kann einen validen Hinweis auf eine Verletzung der Membrana interossea antebrachii und des Bandapparates des distalen Radioulnargelenks geben und somit einen Hinweis auf eine Essex - Lopresti-Verletzung liefern (Partenheimer et al. 2007, Morrey et al. 2018).

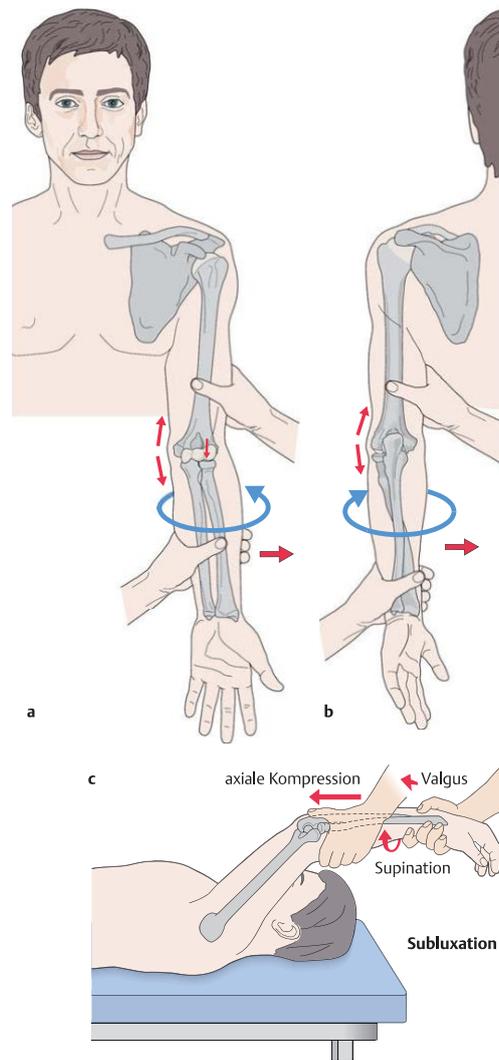


Abb. 10: Klinische Stabilitätstests am Ellenbogen. (Burkhart et al. 2015), a) Varusstress bei proniertem Unterarm, b) Valgusstress bei supiniertem Unterarm, c) Pivot-Shift-Test.

Bei Verdacht auf eine Gefäß- oder Nervenläsion ist zeitnah eine weiterführende Diagnostik erforderlich. Zur Beurteilung einer Verletzung der arteriellen Versorgung aus den Ästen der A. brachialis kann eine CT-Angiographie zum Beispiel unter Erweiterung der ursprünglich nativen CT zur Frakturbeurteilung angefertigt werden oder eine Dopplersonographie bzw. eine konventionelle Angiographie durchgeführt werden. Elektromyographie (EMG) und Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) sind zur Untersuchung eines möglichen Nervenschadens erst zwei Wochen nach Trauma aussagekräftig (Bischoff et al. 2005). Eine bildgebende Darstellung mittels Magnetresonanztomographie (MRT) oder Neurosonographie sind als Ergänzung durchführbar (Bischoff et al. 2005, Antoniadis et al. 2013). Primäre Nervenschäden zeigen sich gehäuft bei Komplexverletzungen des Ellenbogens, wobei der N. ulnaris

vor dem N. medianus und N. radialis am häufigsten betroffen ist (Terra et al. 2016). Singuläre Radiusköpfchenfrakturen zeigen selten Nervenläsionen wobei hier der Nervus interosseus antebrachii posterior, der aus dem Nervus radialis abgeht, am häufigsten betroffen ist (Hirachi et al. 1998, Terra et al. 2016).

Meist kommt es zu einer spontanen Remission der neurologischen Beschwerden (Röhm et al. 2002). Verletzungen der A. brachialis sind selten und treten mit nur circa 0,3 - 1,7% der Fälle, hauptsächlich bei Ellbogenluxationen, auf (Ayel et al. 2009).

1.3.1.2 Radiologische Untersuchung

Erhärtet sich nach der klinischen Untersuchung der Verdacht auf eine ossäre Läsion des Radiuskopfes, bildet die konventionelle Röntgenaufnahme des Ellenbogens in anterior-posteriorer und lateraler Projektion die Standarduntersuchung. Hier ist die Erweiterung um eine weitere Projektionsebene mittels Radiuskopfzielaufnahme zu nennen. Die Radiuskopfzielaufnahme wird als Schrägaufnahme in ca. 45° Strahlengang durchgeführt und erleichtert die Beurteilung einer Radiuskopffraktur und einer möglichen Begleitverletzung des Capitulum humeri. (Greenspan und Norman 1982).

In der lateralen Ansicht kann ein posteriores Fettkörperzeichen einen indirekten Hinweis auf eine Fraktur des Radiusköpfchens liefern (Goswami 2002, Pappas und Bernstein 2010). Das Fettkörperzeichen entsteht durch eine Verlagerung des periartikulären Fettgewebes durch einen Gelenkerguss wie dies z.B. bei einer Fraktur der Fall sein kann (Goswami 2002). Röntgenologisch wird das verlagerte periartikuläre Fettgewebe durch Verdichtung sichtbar.

Im Fall von vorgeschädigten oder stark degenerativ veränderten Ellenbogengelenken lässt sich das Fettkörperzeichen als indirekter Hinweis auf eine Fraktur jedoch nicht eindeutig verwerten (Schild H 1993).

Zur genaueren Diagnostik und etwaigen Planung einer operativen Versorgung kann ergänzend eine CT Bildgebung erfolgen. Dieses liefert wichtige Informationen über die Lage und Größe der Frakturfragmente sowie den Grad der Dislokation. Zusätzlich kann beim klinischen Verdacht auf eine Fraktur, positivem

Fettkörperzeichen und nicht eindeutig beurteilbaren Röntgenbildern die Sicherung der Diagnose erfolgen.

Die MRT-Untersuchung spielt in der Beurteilung der Frakturmorphologie eine untergeordnete Rolle, dient jedoch, neben der gründlichen klinischen Beurteilung, der Detektion möglicher ligamentärer und chondraler Begleitverletzungen und kann die operative Strategie beeinflussen (Kaas et al. 2010, Kaas et al. 2011).

1.4 Therapie

Ziel der Therapie muss neben der freien Beweglichkeit der beteiligten Gelenke die Rekonstruktion der Gelenkfläche und somit die Wiederherstellung der Gelenkkongruenz und des radialen Pfeilers als sekundären Stabilisator des Ellenbogengelenkes sein.

Die Therapieentscheidung ist abhängig von Frakturmorphologie und Begleitverletzungen des Kapselbandapparates. Nicht oder gering dislozierte Frakturen (< 2 mm) können konservativ behandelt werden (Yoon et al. 2014, Shulman et al. 2015). Komplexere Frakturen oder Frakturen mit Anzeichen einer Instabilität sind operativ zu versorgen, wobei die Wahl der Operationsmethode der Frakturmorphologie entsprechend gewählt werden muss (Kaas et al. 2012).

1.4.1 Konservative Therapie

Die konservative Therapie hat zum Ziel mittels Analgesie und frühfunktioneller Beübung eine stabile und schmerzfreie Konsolidierung der Fraktur zu ermöglichen. Somit stellt diese bei Mason I Frakturen die Therapie der Wahl dar. Neueren Arbeit zufolge kann eine konservative Therapie auch bei nicht dislozierten Mason II Frakturen zu guten Resultaten führen (Akesson et al. 2006, Yoon et al. 2014, Shulman et al. 2015, Guzzini et al. 2017). Diese Erkenntnis wird sich in weiteren Untersuchungen erst bestätigen müssen.

Die initiale Bewegungseinschränkung im Ellenbogen ist häufig durch einen Hämarthros verursacht. Die Punktion des Hämarthros und Infiltration eines Lokalanästhetikums (Dooley und Angus 1991, Ring et al. 2002) kann eine rasche Beschwerdelinderung bewirken. In einer von Ditsios et al. publizierten Studie konnten die Autoren zeigen, dass schon die alleinige Punktion des Gelenkes ohne Applikation von Lokalanästhetikum eine Linderung der Beschwerden und Schmerzreduktion

herbeiführt (Ditsios et al. 2011). Nichtsdestotrotz muss auf die Gefahr einer Infektion des Gelenkes durch eine Punktion hingewiesen werden, sodass dieses Procedere für den klinischen Alltag als kritisch gesehen werden muss. Eine initiale Ruhigstellung in einer Dynacast- oder Gipsschiene in 90° Flexion des Ellenbogens und Neutralstellung des Unterarmes wird für maximal zwei Tage durchgeführt und kann nach der ersten klinisch-radiologischen Kontrolluntersuchung aufgehoben werden. Hier zeigen sich die besten klinischen Ergebnisse bei Patienten, die nur kurz ruhiggestellt wurden (Paschos et al. 2013). In weiterer Folge werden die Patienten engmaschig klinisch-radiologisch nachuntersucht. Nach Abnahme der Schmerzen kann additiv eine Stabilitätsprüfung des Ellenbogens unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt werden. Weiter werden abschwellende Maßnahmen wie Hochlagern, Kühlen und gegebenenfalls die Einnahme von nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR) empfohlen. Sistieren nach Beendigung der Ruhigstellung die Symptome wie Schmerzen und Bewegungseinschränkung nicht, kann ergänzend eine MRT Untersuchung zur Beurteilung des Kapselbandapparates erfolgen (Kaas et al. 2010).

Trotz der relativ einfach anmutenden Frakturmorphologie sind Mason-I-Frakturen auf keinen Fall zu unterschätzen. In 20% der Fälle kann es zu langfristigen Bewegungseinschränkungen kommen (Smits et al. 2014). Grundsätzlich gilt es die Patienten in der initialen Phase des Traumas in kurzen Intervallen engmaschig klinisch zu kontrollieren, um Komplikationen frühzeitig zu erkennen. Engmaschige radiologische Kontrollen über einen längeren Zeitraum sind jedoch zu Gunsten des Strahlenschutzes nicht indiziert (Burkhart et al. 2015, Shulman et al. 2015).

Im konservativen Therapiekonzept kann eine freie Beweglichkeit des Ellenbogens ohne Belastung und sportlicher Beanspruchung meist innerhalb von vier Wochen erreicht werden (Akesson et al. 2006). Patienten mit persistierenden Schmerzen und prolongierter Bewegungseinschränkung sind dagegen auf Begleitverletzungen wie z.B. Instabilitäten oder chondrale Läsionen zu untersuchen, die den Verlauf der einfachen Fraktur komplizieren.

Sollten sich die Beschwerden nicht deutlich bessern und sich in der MRT ein pathologischer Befund wie z.B. freie Gelenkkörper zeigen, muss mit dem Patienten die Indikation zur operativen Versorgung mittels Refixation osteochondraler Flakes

oder rupturierter Ligamente besprochen werden. Eine zeitnahe Versorgung ist hier zu gewährleisten (Kaas et al. 2011, Burkhart et al. 2015).

1.4.2 Operative Therapie

Die operativen Behandlungsoptionen sind vielfältig und richten sich nach der Morphologie und den Begleitverletzungen der Fraktur. Die Behandlung von Radiusköpfchenfrakturen Typ Mason II wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Neben der Osteosynthese, die in diversen Studien sehr gute postoperative Langzeitergebnisse gezeigt hat (Esser et al. 1995, King 2004, Lindenhovius et al. 2009, Liu et al. 2018), weisen aktuelle Arbeiten darauf hin, dass eine konservative Behandlungsstrategie gute und sogar der Operation äquivalente Ergebnisse erzielen kann (Akesson et al. 2006, Yoon et al. 2014, Guzzini et al. 2017).

Bei schwerwiegenderen Radiusköpfchenfrakturen Typ Mason III und IV besteht in der Traumatologie in Bezug auf eine operative Therapie Einigkeit (Moro et al. 2001, Ring et al. 2002, Chen et al. 2011). Neben der offenen Reposition und internen Fixierung (ORIF) mittels Kleinfragmentschrauben und/oder winkelstabilen Plattensystemen kann die Radiusköpfchen-Resektion oder die Implantation einer Radiusköpfchenprothese die geeignete Therapieform sein. Die Wahl der optimalen Operationsmethode und des Implantats wird in der Literatur (Ikeda et al. 2006, Koslowsky T. C. et al. 2007, Ring 2008) kontrovers diskutiert, so dass eindeutige Empfehlungen schwer zu formulieren sind. Chen et al. haben in ihrer prospektiv randomisierten Studie eine klare Empfehlung zur Radiusköpfchenprothese gegeben und dies mit einem besseren Outcome der Patienten mit weniger Komplikationen wie heterotopen Ossifikationen, Wundinfekten und einer geringeren Pseudarthrosenrate argumentiert (Chen et al. 2011). Ring, D. et al. wiederum empfehlen bei mehrfragmentären Frakturen mit bis zu drei Fragmenten die Osteosynthese des Radiusköpfchens und sehen die Radiuskopfprothese als den Versorgungsweg für dislozierte mehrfragmentäre Frakturen (Ring et al. 2002).

1.4.2.1 Osteosynthese

Das Ziel der Osteosynthese ist eine anatomische Wiederherstellung der Gelenkfläche. Die zeitnahe Mobilisierung des Ellenbogengelenkes ohne Repositionsverlust der Osteosynthese ist ein ausschlaggebender Faktor für eine gute klinische Funktion (Smits et al. 2014). Bei der Versorgung mittels

Osteosyntheseplatten (Abb. 20) muss die sogenannte Safe-Zone (Abb.11) (Smith und Hotchkiss 1996) beachtet werden. Die Safe-Zone beschreibt den Bereich des Radiusköpfchens, der bei der Umwendbewegung nicht mit der proximalen Ulna artikuliert. Wird die Fraktur durch eine reine Schraubenosteosynthese versorgt kann die Safe-Zone außer Acht gelassen werden, da die Schrauben unter dem Knorpelniveau versenkt werden. Weiter muss die Schraubenlänge so gewählt werden, dass die Schrauben keinen Überstand zur Gegenseite haben und so zu einer Irritation im Bereich des proximalen radioulnaren Gelenkes führen.

Wie schon erwähnt, sind isolierte Radiusköpfchenfrakturen eine seltene Verletzung und so bedarf es zur Gewährleistung eines für die Patienten guten klinischen Ergebnisses das Erkennen und die Mitversorgung ligamentärer Verletzungen (Gupta et al. 2008).

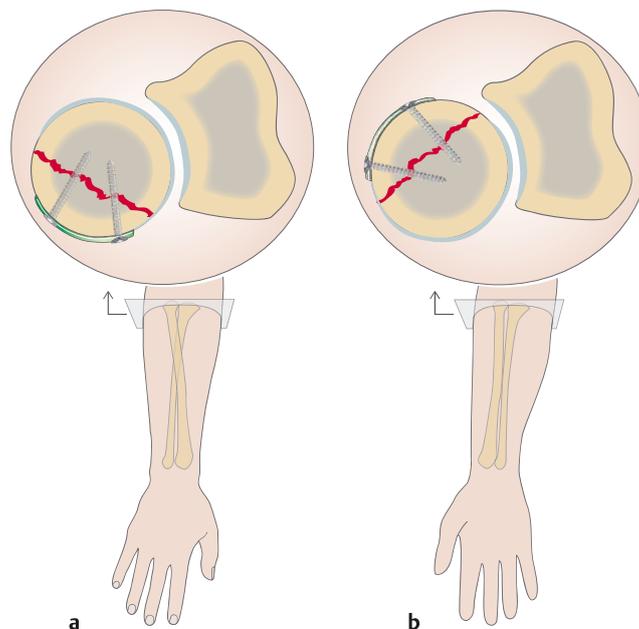


Abb.11: Safe-Zone a) in Pronation b) in Supination (Wegmann et al. 2012)

Am Ellenbogengelenk zeigte sich, dass eine zeitnahe definitive Versorgung von Radiusköpfchenfrakturen die Rate an postoperativen Infektionen und heterotopen Ossifikationen reduzieren kann (Kundel et al. 1992).

Mason II Frakturen lassen sich gut mittels Kleinfragmentschrauben (1,5 – 2,5 mm) versorgen (Kaas et al. 2012), wobei in der Literatur ein offener Diskurs bezüglich der Notwendigkeit einer operativen Versorgung von Mason II Frakturen besteht (Khalfayan et al. 1992, Kaas et al. 2012, Yoon et al. 2014, Guzzini et al. 2017).

Ähnlich kontrovers wird in der aktuellen Literatur die Versorgung von Mason Typ III und IV Frakturen diskutiert. Während die Arbeitsgruppe um Brinkman (Brinkman et al. 2005) oder auch Chen (Chen et al. 2011) für den primären operativen Teilgelenkersatz mittels Radiusköpfchenprothese plädieren, wurde von Gruszka et al. (Gruszka et al. 2019) bei vergleichbarer Frakturentität hervorragende Ergebnisse mittels kopferhaltenden Verfahren, wie zum Beispiel der Plattenosteosynthese, erzielt. Die von Gruszka et al. erzielten guten Ergebnisse wurden erst durch die Entwicklung von winkelstabilen Plattensystemen möglich.

Durch die winkelstabile Schraubenverankerung in den jeweiligen Plattensystemen wird eine interne Fixation ermöglicht und so eine stabilere Frakturversorgung gewährleistet. Das Prinzip der Winkelstabilität, bei der die Kraftübertragung über die verankernden Schraubenköpfe mit der Platte erfolgt, wird in Abb. 12 dargestellt. Dies hat durch die verbesserte Stabilität der Frakturversorgung einen positiven Einfluss auf die frühfunktionelle Therapie. Durch den geringen Kontakt der Platte mit dem Periost wird die ossäre Durchblutung nicht beeinflusst. Dies begünstigt die Frakturheilung (Frigg 2003, Wagner 2003).

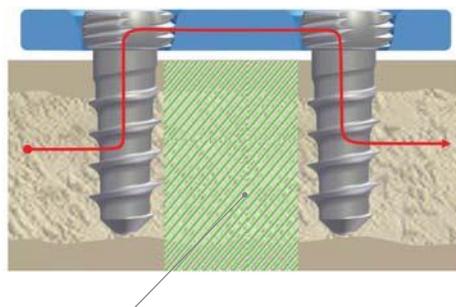


Abb. 12: Prinzip der winkelstabilen Internen Fixation (Medartis, Basel, Schweiz)

In sehr seltenen Fällen kann nach erfolgter Osteosynthese und weiterhin instabilem Ellenbogengelenk eine Versorgung mittels externem Fixateur im Sinne einer temporären Stabilisierung des Gelenkes in Betracht gezogen werden (Zeiders und Patel 2008).

1.4.2.2 Radiusköpfchen Prothese

Die Indikation zur Radiusköpfchenprothese besteht bei nicht rekonstruierbarer Radiusköpfchenfrakturen oder bei Instabilität einer eingebrachten Osteosynthese

(Ring 2011, Sershon et al. 2018). Die Implantation kann in einer primären Operation oder nach gescheitertem Rekonstruktionsversuch erfolgen und zeigt gute klinische Ergebnisse (Moro et al. 2001, Chen et al. 2011). Zur Verfügung stehen monopolare, bipolare oder modulare Prothesensysteme (Hartzler et al. 2014, Longstaffe et al. 2017). Sowohl ein Under- als auch ein Over-Stuffing der Prothese kann Schmerz und Instabilität verursachen (Van Glabbeek et al. 2004). Die Entwicklung heterotoper Ossifikationen kann den Bewegungsumfang langfristig postoperativ einschränken (Bowman et al. 2016), diese sind als Hauptursache für Bewegungseinschränkungen zu nennen, oft in einem Prothesenwechsel resultierend (Kachooei et al. 2018).

Trotz guter klinischer Ergebnisse der Prothesenversorgung können Lockerung und Infekte die Folge einer Revisionsoperation bergen. Als Kontraindikation der Prothesenimplantation sind systemische Infekte bzw. Infektionskrankheiten zu nennen (Marquaß B 2010).

1.4.2.3 Radiusköpfchen - Resektion

Die Indikation für die Resektion des Radiusköpfchens sollte sehr sorgsam gestellt werden und dient im Falle von Therapieversagen der Rekonstruktion des Radiusköpfchens mittels Osteosynthese oder der Prothesenversorgung als letzte operative Therapieoption. (Hotchkiss 1997, Shetty et al. 2017).

Dieses Verfahren kann zu einer Insuffizienz der Seitenbandführung führen und somit eine longitudinale und radioulnare Translation des Radius bewirken, was eine Instabilität des Ellenbogengelenkes mit Funktionsverlusten zur Folge hat. (Zarifian et al. 2018).

Zusätzlich kann die Resektion des Radiusköpfchens mit Problemen wie z.B. Instabilität, Radiusvorschub im distalen Radioulnargelenk (DRUG) und Minderung der Kraft als auch Beweglichkeit einhergehen. Ein zusätzliches Problem kann eine Valgusinstabilität im Ellenbogengelenk darstellen, da das Radiusköpfchen eine stabilisierende Funktion in der lateralen Säule des Ellenbogengelenkes hat (Partenheimer et al. 2007, Zarifian et al. 2018).

1.4.2.4 Chirurgischer Zugangsweg

Sofern keine Kontraindikation vorliegt, stellt der laterale Zugang nach Theodor Kocher neben dem Zugang nach Kaplan einen der Standardzugänge bei isolierten Radiusköpfchenfrakturen dar (Berdusco et al. 2015, Barnes et al. 2018). Der Patient liegt auf dem Rücken. Der betroffene Arm wird frei beweglich auf einen Armtisch ausgelagert (Abb. 13) (Bartonicek et al. 2015).

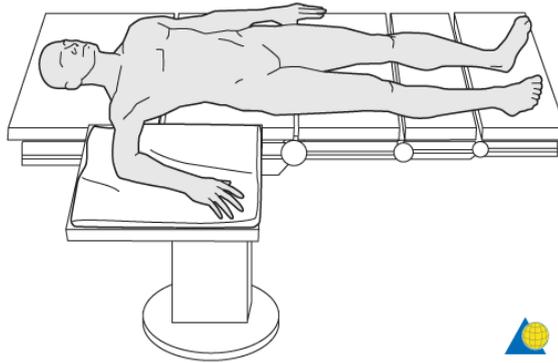


Abb. 13: Lagerung (aus AO Surgery Reference)

Der Hautschnitt beginnt ca. 2 cm oberhalb des gut zu tastenden Epicondylus humeri radialis (Abb. 14) und verläuft geschwungen über dem Radiusköpfchen bis ca. 5 cm distal des Ellenbogengelenks in Richtung der dorsalen Ulnakante.

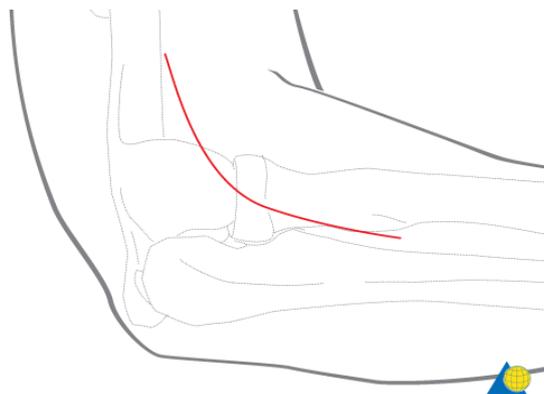


Abb. 14: Hautschnitt (aus AO Surgery Reference)

Nach dem Hautschnitt erfolgt die Präparation durch die Subkutis und im Anschluss die Präparation auf die Faszie, welche scharf der Länge nach gespalten wird. Der M. extensor carpi ulnaris und M. anconeus sind nun sichtbar (Abb. 15). Der Operateur trifft auf einen feinen Streifen aus Fettgewebe, das sogenannte Kocherintervall. Es

erfolgt der Fettraffe folgend die weitere Präparation zwischen diesen beiden Muskeln in die Tiefe bis die Gelenkkapsel ersichtlich wird.

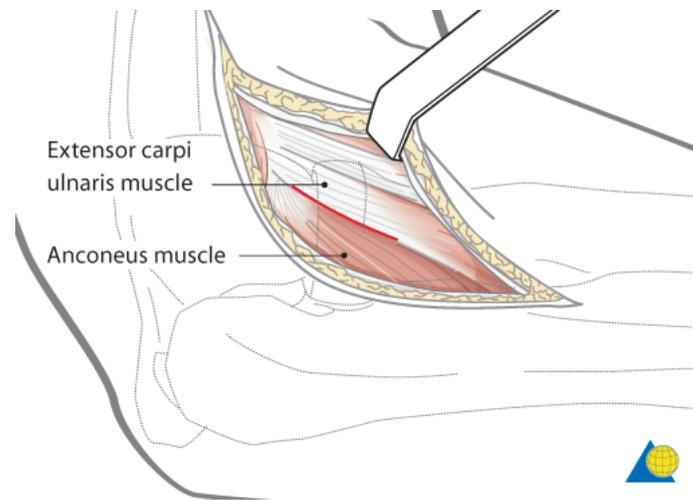


Abb. 15: Faszie, Rot Kocher Intervall (aus AO Surgery Reference)

Die Gelenkkapsel wird ventral des Äquators des Capitulum humeri längs inzidiert (Abb. 16). Dadurch wird das laterale Kollateralband geschont. Das Lig. anulare wird zur Exploration des Radiusköpfchens ebenfalls inzidiert. Verletzungen des lateralen Seitenbandapparats können über den lateralen Zugang nach abgeschlossener chirurgischer Versorgung der Radiusköpfchenfraktur zusätzlich adressiert werden.

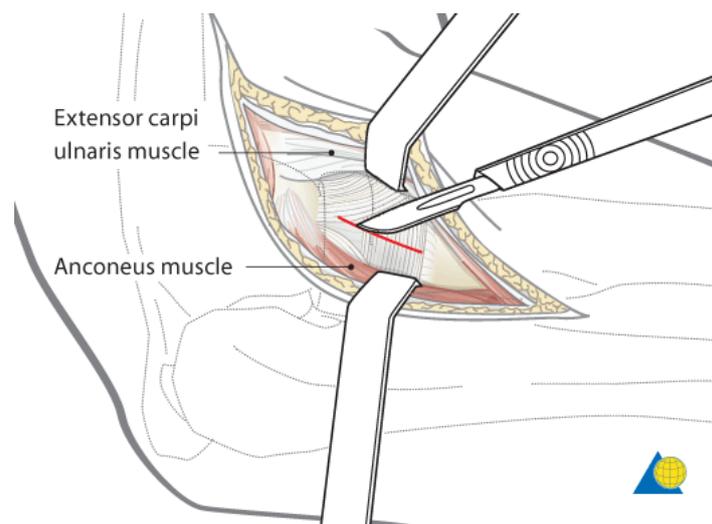


Abb.16: Eröffnung der Gelenkkapsel (aus AO Surgery Reference)

Bei diesem lateralen Zugang am Ellenbogengelenk ist auf den Verlauf des Ramus posterior interosseus des Nervus radialis zu achten.

1.4.2.5 Nachbehandlung

Um eine sichere Wundheilung zu gewährleisten, kann postoperativ, wie schon in der Akutphase des Traumas, eine Oberarmgipsschiene angelegt werden. Diese Ruhigstellung kann bei stabiler Versorgung der Radiusköpfchenfraktur bereits zeitnah sistiert werden, so dass je nach Schmerzen und Schwellung mit einer aktiv-assistierten Beübung aus der Schiene heraus begonnen werden kann. Im Falle der Rekonstruktion der Kollateralbänder sollte, um Valgus- oder Varusstress zu vermeiden, über sechs Wochen postoperativ eine Orthese getragen werden, (Ring et al. 2002).

2 ZIELSETZUNG

Während eine konservative Behandlung von nicht dislozierten bzw. nur gering dislozierten Radiusköpfchenfrakturen Mason Typ I gute Ergebnisse zeigen (Struijs et al. 2007, Duckworth et al. 2011, Yoon et al. 2014, Burkhart et al. 2015, de Muinck Keizer et al. 2015), wird die Behandlung von dislozierten, mehrfragmentären Radiusköpfchenfrakturen bis zum heutigen Tag kontrovers diskutiert (Yoon et al. 2014, Swensen et al. 2019). Bei Radiusköpfchenfrakturen nach Mason Typ II konnten sowohl nach konservativer Behandlung als auch nach operativer Versorgung mittels ORIF gute bis ausgezeichnete Ergebnisse erzielt werden (Abdelgawad et al. 2010, Kaas et al. 2012, Yoon et al. 2014, Guzzini et al. 2017), wobei im Falle von dislozierten Frakturen (mehr als 2 mm) eine operative Versorgung von der Mehrheit der Chirurgen empfohlen wird (Duckworth et al. 2011, Burkhart et al. 2015).

Aufgrund der teils kontrovers diskutierten Versorgungsstrategien von Mason Typ III und Typ IV Frakturen, sowie der fehlenden Evidenz plattenosteosynthetischer Versorgung bei Radiuskopffrakturen vom Mason Typ III und IV wird momentan davon ausgegangen, dass die chirurgische Behandlung die Versorgungsstrategie der Wahl sein sollte (Burkhart et al. 2015, Burkhart et al. 2015). Für diese komplexen Frakturtypen wurden in den letzten zehn Jahren verschiedene operative Konzepte diskutiert. Aufgrund der Bedeutung des Radiusköpfchens für die Stabilität des Ellenbogengelenks wird die Primärresektion des Radiusköpfchens (Pike et al. 2009, Burkhart et al. 2015) nicht mehr empfohlen. Stattdessen sollte eine operative Rekonstruktion des Radiusköpfchens angestrebt werden. Zusätzlich ist eine begleitende Versorgung von assoziierten Band- oder Knochenverletzungen bei mehrfragmentären Frakturtypen unabdingbar (Itamura et al. 2005, Kaas et al. 2010). Eine Versorgung mittels Radiusköpfchenprothese stellt einen alternativen chirurgischen Ansatz für nicht rekonstruierbare Frakturen vom Typ III und IV mit guten kurz- bis mittelfristigen Ergebnissen dar (Frosch et al. 2003, King 2004, Al-Burdeni et al. 2015). Für die operative Versorgung mittels Prothese wird jedoch angenommen, dass Lockerung, Schmerzen und Steifigkeit des Ellenbogens die größten Komplikationen darstellen (Arbter et al. 2012, Delclaux et al. 2015). In den Fällen, in denen jedoch aufgrund einer starken Zertrümmerung keine stabile Rekonstruktion des Radiusköpfchens erreicht werden kann, stellt die Prothese ein geeignetes Verfahren dar, um die Ellbogenstabilität zu gewährleisten (Burkhart et al.

2015). Aufgrund der großen Bedeutung des Radiusköpfchens für die Funktion und Stabilität des Ellenbogens wurden in den letzten Jahren spezifische Radiusköpfchenimplantate und Osteosyntheseverfahren entwickelt (Burkhart et al. 2007, Koslowsky T. C. et al. 2007). Mit diesen neuartigen anatomisch vorgeformten Verriegelungsplatten könnte die Versorgung bei komplexen Frakturtypen des Radiusköpfchens sinnvoll erweitert werden.

Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie war es das klinisch-funktionelle Outcome der Patienten nach operativer Versorgung dislozierter Radiuskopffrakturen Typ III und IV nach Mason mittels anatomisch präkonturierter winkelstabiler Plattenosteosynthese zu analysieren.

Beurteilungskriterien der Studie waren zum einen der Verlauf der Frakturheilung sowie zum zweiten die Erhebung des Verlaufs der Funktion des Ellenbogengelenkes vor allem auch im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Patientenkollektiv

Patienten, die zwischen Januar 2011 und Dezember 2014 in der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie der Technischen Universität München, Klinikum rechts der Isar, bei Vorliegen einer dislozierten Fraktur des Radiusköpfchen Typ Mason III und IV operativ versorgt wurden, wurden in die vorliegende Studie eingeschlossen.

3.2 Studienablauf

Das Studienprotokoll wurde durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Technischen-Universität-München genehmigt (Votum 171/14).

Die vorliegende Studie besteht orientierend aus zwei Teilbereichen: der retrospektiven Datenerhebung sowie prospektiven Ermittlung des funktionellen Outcomes.

Um das Studienkollektiv wie unter Punkt 3.1 beschrieben zu definieren, erfolgte zuerst die retrospektive Analyse klinischer Daten der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie der Technischen Universität München am Klinikum rechts der Isar.

Dabei wurden die im System des Klinikum rechts der Isar gespeicherten Diagnosen im digitalen Operationsbuch für den Zeitraum 01.01.2011 bis 31.12.2014 nachfolgenden Diagnosen durchsucht: Radiusköpfchen Typ Mason III und Radiusköpfchen Typ Mason IV. Es wurden nur Fälle berücksichtigt, bei denen eine operative Versorgung mittels Plattenosteosynthese durchgeführt wurde.

Anschließend erfolgte die retrospektive Erhebung epidemiologischer und klinischer Daten des Studienkollektivs.

Der zweite prospektive Teil der Studie umfasste die Kontaktierung der Patienten und die Vereinbarung und Durchführung einer Nachuntersuchung (siehe Punkt 3.6) mit dem Ziel das funktionelle Outcome, das radiologische Ergebnis sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu erfassen.

3.3 Operative Versorgung

Das mittlere Intervall zwischen Verletzung und Operation betrug drei Tage (min/max 1 – 12 Tage). In allen Fällen wurde die Operation in Vollnarkose durchgeführt. Zur Infektprophylaxe wurde präoperativ, min. 30 Minuten vor dem Hautschnitt, eine Einzeldosis von 1,5 mg Cefuroxim verabreicht. Alle Patienten wurden in Rückenlage gelagert und der verletzte Arm auf einem strahlendurchlässigen kleinen gepolsterten Tisch positioniert. (siehe Abb. 13). Eine Blutsperre wurde in allen Fällen angelegt. Alle Frakturen wurden über den postero-lateralen Zugang nach Kocher versorgt. Je nach Frakturmorphologie wurden die Radiuskopffrakturen singulär mittels Plattenosteosynthese oder in Kombination mit freien Kortikalisschrauben versorgt. In allen Fällen wurde das Lig. anulare radii zur Plattenpositionierung durchtrennt und anschließend wieder vernäht. Zusätzliche Ellenbogengelenkläsionen, wie Seitenbandläsionen des LCL-Bandes, wurden nach der Osteosynthese in derselben Operation mitbehandelt.

3.4 Nachbehandlung

Alle Patienten wurden in einer Ellenbogenorthese nachbehandelt, die die Scherkräfte auf das Gelenk reduzieren sollte (Epico-ROM-Schiene der Firma „medi GmbH & Co. KG).



Abb. 17 Epico-ROM Schiene, medi GmbH & Co. KG, Bayreuth, Deutschland

Die frühfunktionelle Nachbehandlung wurde ab dem zweiten postoperativen Tag begonnen. Hier wurden aktiv, schwerkraftunterstützte Bewegungen ohne Einschränkungen der ROM zu Beginn aus einer postoperativ angelegten Dynacast-Schiene und im Verlauf aus der o.g. Orthese (Abb. 17) unter physiotherapeutischer Anleitung durchgeführt. Nach 4 - 6 Wochen wurde die Orthese entfernt und die freie Bewegung und Unterarmdrehung eingeleitet. Bei Patienten mit zusätzlich versorgtem LCL - Band wurden Extensionsübungen in Pronation durchgeführt. Alltagsaktivitäten durften sechs Wochen postoperativ aufgenommen werden. Übungen gegen Widerstand und passives Dehnen waren acht Wochen postoperativ erlaubt. Sportliche Aktivitäten durften die Patienten, sobald die Frakturheilung durch radiologische Kontrollen bestätigt wurde, nach ca. zwölf Wochen durchführen.

3.5 Plattensystem

Das in dieser Studie verwendete APTUS® 2,0-mm-Ellbogensystem (Medartis, Basel, Schweiz) (Abb. 20) besteht aus zwei verschiedenen Verriegelungsplatten für den Radiuskopf. Sie sind anatomisch vorgeformt und passen sich der Anatomie des proximalen Radius an. Beide Platten sind sogenannte Low-Profile-Platten mit einer Plattendicke von lediglich 1,3 mm. Weiter bieten die Platten mehrere Optionen für eine multidirektionale ($\pm 15^\circ$) Positionierung (Abb. 18) der 2,0 mm Verriegelungsschrauben (Abb. 19).



Abb. 18. Polyaxiale Verriegelung (Medartis, Basel, Schweiz)

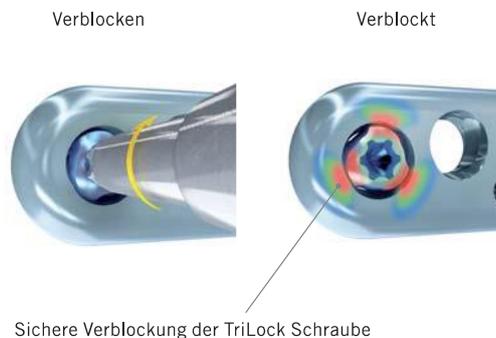


Abb. 19. Winkelstabiles Verblocken (Medartis, Basel, Schweiz)

Die Randplatte wird in Höhe der Gelenkfläche positioniert, wobei hier eine besondere Achtsamkeit auf die Safe-Zone gelegt werden muss um Bewegungseinschränkungen bei Pronation bzw. Supination zu verhindern und mögliche Irritationen und Arrosionen der Gelenkfläche der Incisura radialis der proximalen Ulna zu vermeiden, was in weiterer Folge zur Destruktion des proximalen Radioulnargelenkes führen kann. Die Platte verfügt über vier Schraubenlöcher im Schaftbereich. Der T-Schenkel bietet eine proximale und eine distale Reihe, die mit jeweils drei Schrauben besetzt werden kann. Alle Plattenlöcher können optional mit winkelstabilen 2,0 mm Schrauben und nicht winkelstabilen 2,0 mm oder 2,3 mm Schrauben besetzt werden.

Im Vergleich dazu wird die Abstützplatte unterhalb des Radioulnargelenkes platziert und hat die Aufgabe die Kopf – Hals – Verbindung des proximalen Radius zu unterstützen. Auch hier verfügt die Platte über vier Löcher im Schaftbereich und

sieben Löcher im T-Schenkel, die jeweils mit 2,0 mm Schrauben winkelstabil und 2,0 oder 2,3 mm Schrauben nicht winkelstabil, besetzt werden können.

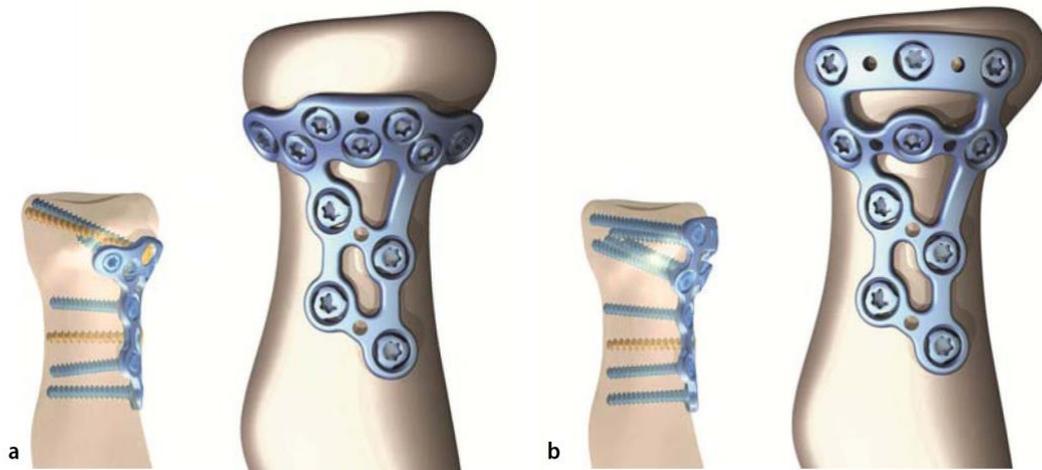


Abb 20.: In dieser Studie verwendete APTUS® 2,0-mm-Ellbogensystem (Medartis, Basel, Schweiz)

3.6 Nachuntersuchung

Die Nachuntersuchungen fanden in den Räumlichkeiten der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Klinikum rechts der Isar statt. Initial erfolgte eine Befragung der Patienten zur subjektiven Zufriedenheit und es erfolgte eine radiologische Stellungskontrolle. Im Anschluss wurden die Studienteilnehmer klinisch inspiziert und eingehend untersucht. Das Behandlungsergebnis wurde mittels Elbow self-assessment score (ESAS (Beirer et al. 2017), Mayo elbow performance score (MEPS (Morrey und An 1985) und Shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH,(Beaton et al. 2005) evaluiert.

3.6.1 Subjektive Zufriedenheit

Die untersuchten Patienten durften zu diesem Zeitpunkt der Nachuntersuchung ihre subjektive Zufriedenheit mit der Nutzung des operierten Ellenbogens beurteilen. Diese wurde in einer Skala von 1 – 6 (1 - sehr zufrieden; 2 - zufrieden; 3 - mäßig; 4 - ausreichend; 5 - unzufrieden; 6 - sehr unzufrieden) erfasst.

3.6.2 Radiologische Nachuntersuchung

Die operierte Extremität wurde konventionell radiologisch untersucht. Bei jedem Patienten wurden Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen, anterior - posterior und lateral - angefertigt. Hier wurde jeweils eine deskriptive Analyse unter dem Gesichtspunkt der Frakturkonsolidierung, Repositionsverlust, Stellung des Gelenkes, Lockerungszeichen der einliegenden Implantate und heterotope Ossifikationen (HO) durchgeführt.

Die HO wurden nach (Hastings und Graham 1994) klassifiziert:

I. sichtbare Ossifikation ohne funktionelle Relevanz.

II. Ossifikation mit Bewegungseinschränkung

A: Flexion/Extension,

B: Pronation/Supination,

C: beides.

III. Ossifikation mit Ankylose:

A: Flexion/Extension,

B: Pronation/Supination,

C: beides.

3.6.3 Beurteilung der Schmerzen

Mittels Visueller Analogskala (VAS) wurden die Schmerzen der Patienten quantifiziert. Die Patienten wurden angehalten ihre subjektive Schmerzempfindung auf einer Skala von 0 bis 10 anzugeben, wobei 0 als kein Schmerz und 10 als vernichtender, noch nie erlebter Schmerz zu werten ist. Um die Schmerzen besser einordnen zu können, wurde nicht nur die Intensität des Schmerzes mittels VAS, sondern auch eine etwaige Einschränkung der täglichen Aktivität erfragt.

3.6.4 Beurteilung der Funktion

Neben den o.g. Scores wurden inspektorisch und palpatorisch Schwellung, Überwärmung, Rötung, Krepitation und Blockaden untersucht. Weiter wurden

Druckschmerzen im Bereich des Ellenbogens erfasst. Der Ellenbogen, der Unterarm, die Hand und die einzelnen Finger der operierten Seite wurden auf ihre Sensibilität geprüft und Störungen deskriptiv erfasst.

3.6.5 Beurteilung der Kraft

Die Bewertung des Kraftausmaßes wurde für Flexion, Extension, Pronation, Supination und im Vergleich zur nicht operierten Gegenseite durchgeführt. Zur Quantifizierung der Kraft wurde die Einteilung nach Janda (Janda 2000) angewandt. Vladimir Janda beschreibt die Muskelkraft in sechs Grundstufen. Jeder Grundstufe wird ein bestimmter Prozentsatz der maximalen Muskelkraft zugeordnet:

Einteilung der Kraftgrade nach Janda	
Stufe 5	N (normal) entspricht einem normal kräftigen Muskel bzw. einem Muskel, der bei vollkommener Bewegungsfreiheit in der Lage ist, einen maximalen Widerstand zu überwinden. Die Stufe 5 der Kraftgrade entspricht einer 100% Funktionsfähigkeit.
Stufe 4	G (good/gut) entspricht in etwa 75% der normalen Muskelkraft, was bedeutet, dass der getestete Muskel einen mittleren äußeren Widerstand bei vollem Bewegungsumfang überwinden kann.
Stufe 3	F (fair/schwach) entspricht in etwa 50% der normalen Muskelkraft, d.h. Bewegungen gegen die Schwerkraft können bei vollem Bewegungsumfang ausgeführt werden.
Stufe 2	P (poor/schlecht) Etwa 25 % der normalen Muskelkraft. Bewegungen können mit vollem Bewegungsumfang jedoch nicht gegen die Schwerkraft durchgeführt werden.
Stufe 1	T (trace/spur) hierbei zeigt sich die Spur einer Anspannung der Muskulatur. Dies entspricht in etwa 10 % der normalen Muskelkraft.
Stufe 0	Z (zero/null) in dieser Stufe ist keine Muskelkontraktion beim Bewegungsversuch zu detektieren.

Tab.1: Einteilung der Kraftgrade nach Janda (Janda 2000)

Die endgültige Visualisierung der Kraft der wurde mittels Bruchzahlen angegeben. Somit ist die Stufe 5 also normale Muskelkraft als Kraftgrad 5/5 dargestellt. Es erfolgte ein Vergleich mit der gesunden Gegenseite.

3.6.6 Beurteilung der Stabilität

Die Stabilität des Ellenbogengelenks wurde mittels funktionellen Stresstests in Valgus- und Varusbelastung bestimmt. Die Untersuchung wurde bei 0° und 30° Flexion im Ellenbogen durchgeführt. Die nicht frakturierte Gegenseite wurde als

Kontrolle mituntersucht. Die Quantifizierung wurde als „Instabilität vorhanden“ bzw. „keine Instabilität vorhanden“ dokumentiert.

3.6.7 Beurteilung des Bewegungsumfanges

Das Ausmaß der Bewegung wurde mittels Handgoniometer für die operierte und die nicht operierte Seite bestimmt. Die Messung der Ellenbogenbeweglichkeit erfolgte mittels Neutral-Null-Methode für Flexion, Extension, Pronation und Supination. Die erhobenen Bewegungsumfänge wurden in Vergleich zur gesunden Seite gesetzt und Unterschiede deskriptiv dokumentiert.

3.6.8 Beurteilung des Behandlungsergebnisses

3.6.8.1 Elbow self-assessment score ESAS

Der ESAS ist ein 22 Elemente umfassender Score. Er wurde als Instrument zur qualitativen Selbsteinschätzung etabliert und besteht aus subjektiven und objektiven Parametern (Beirer et al. 2017).

Die quantitative Messung der Ellenbogenfunktion beschränkt sich nicht auf bestimmte Ellenbogenerkrankungen oder Patientengruppen, sondern ist allgemein für den Ellenbogen mit allen seinen Pathologien anzuwenden. Er ermöglicht einfach und präzise Untersuchungen von Ellenbogenpatienten und kann den Vergleich von Behandlungsergebnissen bei Ellenbogenerkrankungen erleichtern.

3.6.8.2 Mayo elbow performance score MEPS

Der MEPS ist einer der am häufigsten von Ärzten verwendete Ellenbogenbewertungssysteme (Broberg und Morrey 1986). Die Punkteverteilung des MEPS reicht von 5 bis 100 Punkten. Je höher der erreichte Werte ist, desto besser ist die klinische Funktion. Eine Gesamtpunktzahl zwischen 90 und 100 Punkten wird als sehr gut bewertet; zwischen 75 und 89 Punkten mit gut; zwischen 60 und 74 Punkte als fair/angemessen, weniger als 60 Punkte deuten auf eine schlechte Funktion des Ellenbogengelenkes hin.

3.6.8.3 Shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire QuickDASH

Der ursprüngliche DASH-Fragebogen ist von der amerikanischen „Upper Extremity Collaborative Group“ entwickelt worden. Basierend auf der WHO-Klassifikation der „International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps“ kurz ICIDH-2, enthält DASH sowohl Items aus dem Bereich der Körperfunktion, der Körperstrukturen als auch aus den Bereichen der Aktivitäten des täglichen Lebens und der sozialen Partizipation. Der Dash Score ist ein „Self-report“- Fragebogen, und erfasst somit die subjektive Wahrnehmung des Betroffenen in Bezug auf seinen derzeitigen physischen Zustand.

Der DASH-Fragebogen ist das Ergebnis einer Kooperation verschiedener wissenschaftlicher Gesellschaften Nordamerikas. Der in dieser Studie angewendete QuickDASH (Gummesson et al. 2006) ist eine verkürzte Version des DASH Outcome Scores. Anstelle von 30 Elementen verwendet der QuickDASH elf Elemente, um die körperliche Funktion und die Symptome bei Patienten mit einer oder mehreren muskuloskelettalen Störungen der oberen Extremität zu messen.

Wie der DASH Outcome Score verfügt auch der QuickDASH über zwei optionale Module zur Messung von Symptomen und Funktionen bei Athleten, Künstlern und anderen Arbeitern, deren Arbeit ein hohes Maß an körperlicher Leistungsfähigkeit erfordert. Diese optionalen Modelle werden separat bewertet.

Sowohl der QuickDASH als auch das vollständige DASH-Ergebnis sind gültig, zuverlässig und sensitiv und können für klinische und/oder Forschungszwecke verwendet werden (Beaton et al. 2005).

Die Auswertung ist obsolet, wenn mehr als eine Frage vom Patienten nicht beantwortet wurde. Sind alle Fragen beantwortet, dann werden die Antworten der Fragen 1-11 als Rohwert addiert. Dieser Rohwert wird wie folgt verarbeitet:

(Rohwert : Anzahl der Fragen -1) x 25 = Quick-DASH-Wert

Ein exzellentes Ergebnis liegt bei 0 Punkten vor. Maximale Funktionseinschränkungen zeigen sich bei 100 Punkten. Ein Ergebnis unter 20 Punkten kann in der Nachbehandlung als gutes bis sehr gutes Ergebnis gewertet

werden.

Für die beiden optionalen Anteile des Fragebogens Sport und Musik werden die Antworten summiert und bilden den Rohwert. Auch dieser wird auf eine 100 Punkte Skala konvertiert: $(\text{Rohwert} - 4) : 0,16 = \text{Wert des optionalen Moduls}$.

3.6.9 Statistische Methoden

Neben der deskriptiven Erfassung der Funktion und möglichen pathologischen Veränderungen wurde, wie schon o.g., der operativ versorgten Ellenbogen mit der gesunden Seite verglichen. Zur Beurteilung der Unterschiede zwischen den Gruppen wurde der Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test angewendet (Wilcoxon 1945). Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ist ein statistischer Test für die Häufigkeitsverteilung gepaarter Stichproben. Er gibt nicht nur die Richtung der Differenzen an, sondern berücksichtigt auch die Stärke der Differenzen zwischen zwei gepaarten Stichproben. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ angenommen (Berkson 2003). [Sigma Stat 3.1 (Systat Inc, Chicago, IL, USA)].

4 ERGEBNISSE

Teile der hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Journal „Archives of Orthopaedic Trauma Surgery“ unter dem Titel "Using an anatomically preshaped low-profile locking plate system leads to reliable results in comminuted radial head fractures." publiziert (Crönlein et al. 2017).

4.1 Patientenkollektiv

Insgesamt konnten in dem Studienzeitraum von Januar 2011 bis Dezember 2014 24 Patientinnen und Patienten, die mittels anatomisch präkonturierter winkelstabiler Plattenosteosynthese (Aptus 2.0 mm, Medartis, Basel, Switzerland) operativ versorgt wurden, gesichtet werden.

Es wurden 20 (83,3%) der 24 mittels APTUS® 2,0- mm-Ellobogensystem (Medartis, Basel, Schweiz) versorgten Patienten nachuntersucht. Vier Patienten waren weggezogen, eine Anreise zur Nachuntersuchung war nicht möglich. Die Nachuntersuchungen erfolgten nach durchschnittlich 30 Monaten (min/max 18 - 53 Monate).

4.1.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Das untersuchte Patientenkollektiv umfasste elf Männer und neun Frauen. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Verletzung 41 Jahre (25 - 66 Jahre). Der durchschnittliche Body – Mass - Index (BMI) betrug 26 (BMI 20 - 37) (siehe Tab. 2).

Patientenkollektiv	
Männer	11
Frauen	9
Alter bei Trauma	41 Jahre (25-66 Jahre)
Body-Mass-Index (BMI)	26 (BMI 20-37)

Tab. 2: Patientenkollektiv

4.1.2 Seitenverteilung und dominante Seite

Der dominante Arm war in zwölf Fällen, die nicht dominante Seite in acht Fällen betroffen. In unserem Patientenkollektiv waren 18 Rechtshänder und zwei

Linkshänder (siehe Abb. 21). 13-mal wurde der rechte und siebenmal der linke Ellenbogen operiert (siehe Abb. 22).

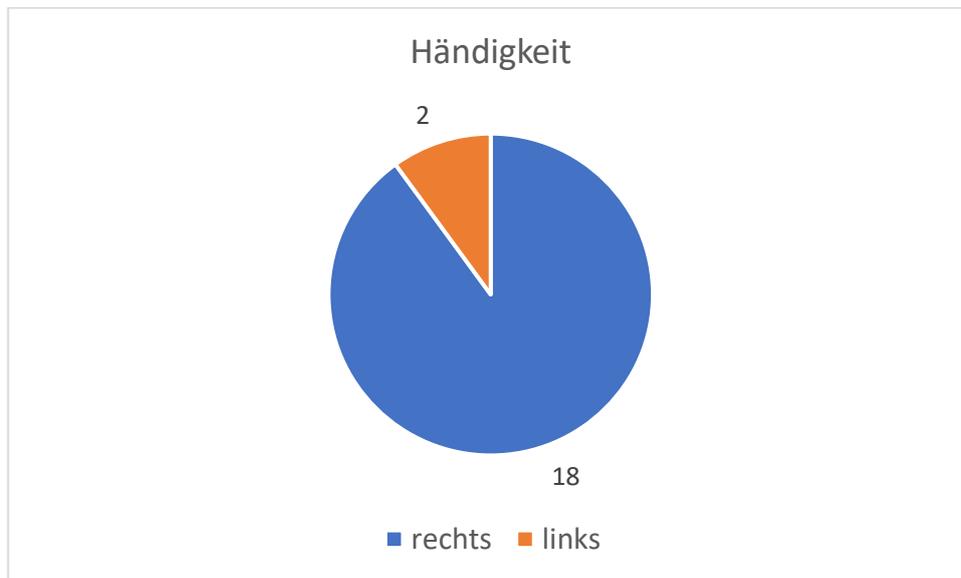


Abb. 21: Händigkeit des Patientenkollektives

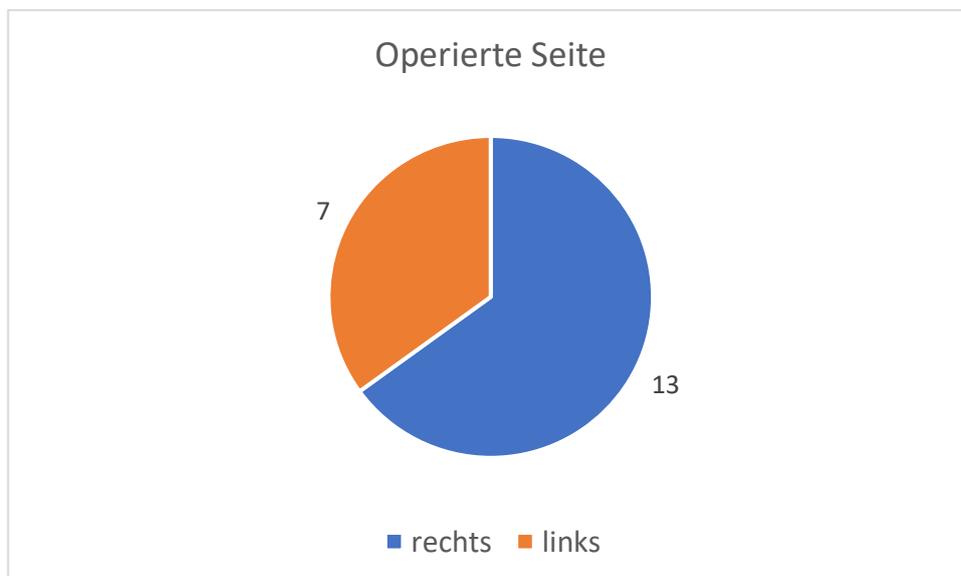


Abb. 22: Seitenverteilung der operierten Extremitäten

4.2 Trauma und Traumafolgen

4.2.1 Traumamechanismus und Traumaursache

In der vorgestellten Patientenpopulation zeigten sich verschiedenste Umstände, die zur Fraktur des Radiusköpfchens führten. Alle Betroffenen hatten eines gemeinsam: sie stürzten auf den ausgestreckten Arm. Sieben Patienten erlitten die Fraktur beim

Sport, zwei auf dem Weg zur oder in der Arbeit. Die restlichen elf Patienten waren aufgrund einer Synkope oder eines Stolpersturzes verunfallt (siehe Abb. 23).

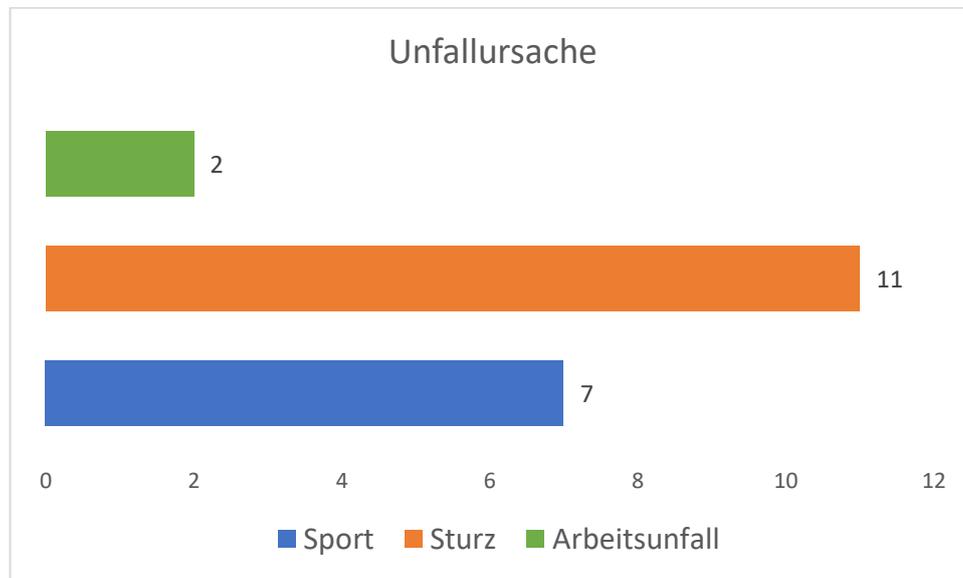


Abb. 23: Unfallursache

4.2.2 Verletzungsmuster

14 dieser 20 Patienten hatten eine Mason Typ III Fraktur (70%) mit mehr als einem Frakturfragment, das um mehr als 2 mm verschoben war. Sechs Patienten (30%) hatten eine Mason Typ IV Fraktur erlitten (siehe Abb. 24).

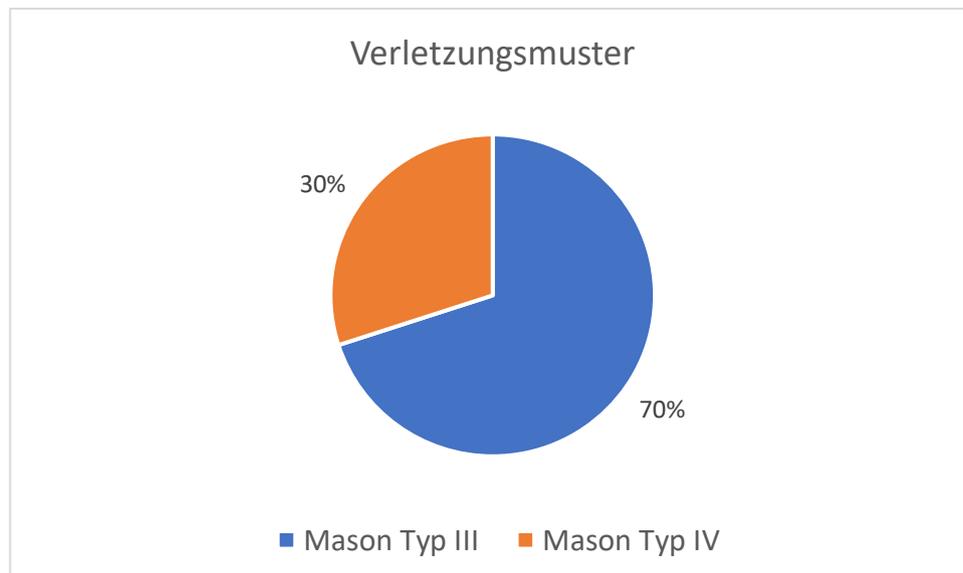


Abb. 24: Verletzungsmuster

4.2.3 Begleitverletzungen

In drei der o.g. sechs Mason Typ IV Frakturen wurden zusätzlich Rupturen des LCL-Komplexes festgestellt, diese wurden mittels Nahtanker versorgt. In einem weiteren Fall zeigte sich eine Terrible Triade Verletzung. Die Koronoid Fraktur Typ 1 nach O'Driscoll musste nicht operativ versorgt werden, jedoch wurde eine Rekonstruktion des MCL Komplexes mittels Ankerrefixation durchgeführt (siehe Tab. 3).

Begleitverletzungen der Mason Typ IV Frakturen	Häufigkeit	Therapie
Ruptur des LCL-Komplexes	3	Ankerrefixation
Terrible Triade Verletzung mit Koronoid Fraktur Typ 1 nach O'Driscoll und Ruptur des MCL Komplexes	1	Ankerrefixation des MCL Komplexes

Tab. 3: Begleitverletzungen der Mason IV Frakturen

4.2.4 Daten zur operativen Versorgung

Der durchschnittliche zeitliche Abstand zwischen Unfall mit Radiusköpfchenfraktur und Operation betrug 3 Tage (0 – 12 Tage). Die durchschnittliche Operationsdauer wurde mit 120 Minuten beziffert (80 – 189 Minuten) (siehe Tab. 4).

Daten zur Operation	
Intervall Trauma-Operation	Ø 3 Tage (0-12 Tage)
Operationsdauer	Ø 120 Minuten (80-189 Minuten)

Tab. 4. Daten zum OP-Intervall und Dauer der Operation

4.2.5 Osteosynthesematerial

In 16 von 20 Fällen wurde die Radiuskopffraktur zunächst mit freien Kortikalisschrauben stabilisiert und anschließend mit einer winkelstabilen Platte zusätzlich abgestützt. In vier Fällen wurde auf die präliminiere Stabilisierung mittels Kortikalisschrauben verzichtet und die Plattenosteosynthese als ausreichend stabilisierend angesehen. In allen vier Fällen wurde eine Kopfrandplatte als Osteosynthese eingesetzt.

4.2.6 Revisionen und Materialentfernung

In der in dieser Studie nachuntersuchten Population wurden keine Revisionsoperationen durchgeführt. Es zeigten sich keine sekundären Dislokationen, Materialversagen oder Pseudarthrosen. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung war in acht Fällen (40%) das Implantat aufgrund des Patientenwunsches entfernt worden. Diese elektiven Materialentfernungen wurden durchschnittlich nach 17,6 Monaten (min/max 8 - 32 Monate) durchgeführt (siehe Abb. 25).

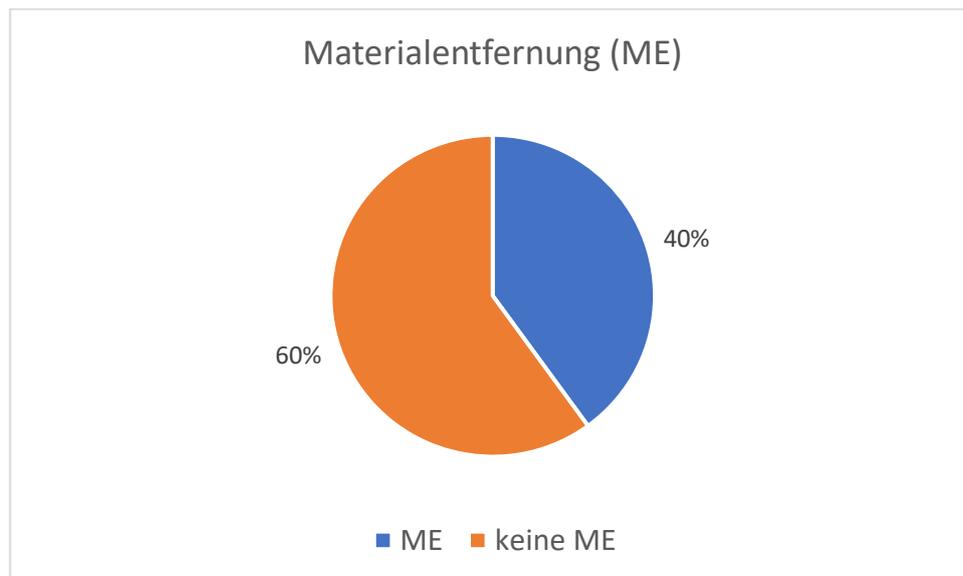


Abb. 25: Materialentfernungen des Kollektivs

Zum Zeitpunkt der Nachsorge konnten weder für die im Rahmen dieser Arbeit objektiven noch subjektiven Bewertungsparameter Unterschiede des Outcomes im Vergleich zwischen den Patienten mit dem Implantat in situ und nach Materialentfernung festgestellt werden. Bei keinem Patienten traten sensomotorische oder Weichteilkomplikationen auf.

4.2.7 Ruhigstellung

Die postoperative Ruhigstellung erfolgte bei allen 20 Patienten bis zur sicheren Wundheilung mittels Dynacast-Schiene bzw. Gipsschiene in 90° Flexion im Ellenbogen, wobei eine passiv - aktive Mobilisierung in Extension und Flexion aus der Schiene heraus gegen die Schwerkraft ab dem ersten postoperativen Tag unter physiotherapeutischer Assistenz gestattet war.

In acht Fällen wurde nach einer Woche auf eine Epico-ROM Schiene konvertiert und die weitere Beübung für fünf Wochen forciert. Bei fünf Patienten wurde eine Führung in Epico-ROM Schiene für drei Wochen als ausreichend angesehen. Sieben Patienten wurden für eine weitere Woche mittels Dynacast Schiene immobilisiert.

4.3 Klinische Ergebnisse

4.3.1 Subjektive Zufriedenheit

Bei der anschließenden Befragung waren 17 Patienten mit der Ellenbogenfunktion sehr zufrieden, in drei Fällen gab es eine zufriedenstellende Bewertung. Keiner der Patienten kommentierte ein moderates oder sogar schlechteres Ergebnis.

4.3.2 Beweglichkeit

Der mittlere Extensions-Flexionsbogen (siehe Abb. 6 und Abb. 26) betrug $\bar{\varnothing} 129^\circ \pm 14^\circ$ für den behandelten Ellbogen und $\bar{\varnothing} 137 \pm 5^\circ$ für die unverletzte Seite ($p = 0,04$). Der mittlere Pronations - Supinationsbogen betrug $\bar{\varnothing} 170^\circ \pm 21^\circ$ für die behandelten und $\bar{\varnothing} 178 \pm 4^\circ$ für die unbehandelten Bögen ($p = 0,063$). Eine uneingeschränkte Range of Motion (ROM) für Extension-Flexionsbogen und Pronation-Supinationsbogen wurde in zehn von 20 Fällen detektiert. In sechs Fällen zeigten sich kleinere ROM-Defizite mit einer um 5° eingeschränkten Streckung im Vergleich zur kontralateralen nicht voroperierten Seite. Nur bei vier Patienten zeigte sich ein Extensions- und/oder Supinationsdefizit von 10° ; bei einem Patienten trat ein zusätzliches Pronationsdefizit von 10° auf.

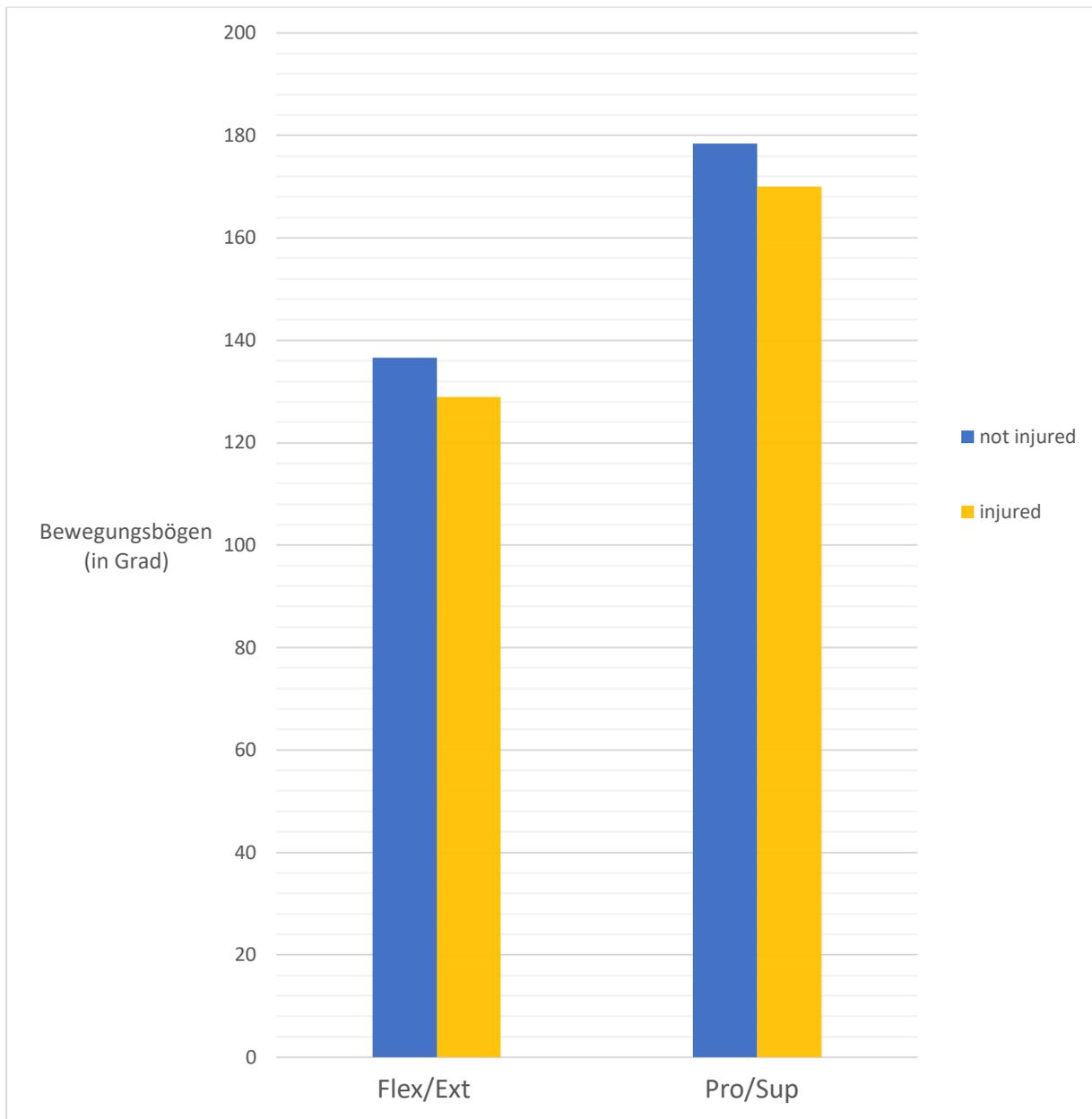


Abb. 26: Mittlerer Extension-Flexionsbogen und Pronation-Supinationsbogen im Seitenvergleich mit der unverletzten Seite (Crönlein et al. 2017)

4.3.3 Schmerz

16 Patienten gaben zum Zeitpunkt der Untersuchung mittels VAS-Schmerzskala Abfrage keine Schmerzen an. In drei Fällen wurden milde Schmerzen VAS 1 und in einem weiteren Fall VAS 2 detektiert. In der tiefergehenden mündlichen Befragung der Patienten zeigte sich ein leicht differenzierteres Schmerzbild. Zehn Patienten gaben gelegentliche milde Schmerzen an. In zwei Fällen wurde von Schmerzen VAS1 bei Wetterumschwung berichtet und in einem Fall von Schmerzen VAS 2 bei Training mit schweren Hanteln. Sieben Patienten waren vollkommen schmerzfrei.

4.3.4 Kraft

In der Kraftmessung nach Janda zeigte sich für die Extension allseits eine Kraft von 5/5. Es konnte kein Unterschied zwischen der operierten und gesunden Extremität gezeigt werden. Dasselbe Ergebnis konnte auch für die Flexionskraft reproduziert werden. Die Untersuchung der Pronation und Supination zeigten keine Abweichungen zur Extensions- und Flexionskraft. Auch waren bei Kraftgrad 5/5 keine Unterschiede zwischen der vormals frakturierten und gesunden Seite zu detektieren.

4.3.5 Stabilität

Keiner der Patienten berichtete zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung über eine Beeinträchtigung oder subjektive Gelenkinstabilität im täglichen Leben oder bei sportlichen Aktivitäten. Dieses subjektive Urteil der Patienten konnte in der klinischen Untersuchung bestätigt werden. Weder in 0° noch in 30° Flexion im Ellenbogen zeigte sich eine Valgusinstabilität des operativ versorgten Ellenbogens im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

4.4 Funktioneller Outcome

In der Analyse der für diese Studie gewählten Outcome-Scores zeigten sich durchwegs positive Ergebnisse. Im Elbow self assesment score (ESAS) konnte ein Mittelwert von \bar{x} 96,54 \pm 2,95 (Bereich 94 - 100) erreicht werden, was auf eine nicht eingeschränkte Ellbogenfunktion hinweist. Ähnlich gute Ergebnisse konnten mittels mayo elbow performance score (MEPS) gezeigt werden. Der mittlere MEPS aller untersuchten Patienten betrug 98 \pm 4 (Bereich 85 - 100). In der weiteren Untersuchung der Studienteilnehmer mittels quick DASH konnte ein Mittelwert von 3 \pm 6 (Bereich 0-21) erhoben werden was in Zusammenschau aller drei von uns genutzten Scores eine sehr gute Funktionalität des operierten Ellenbogens zeigte.

Outcome Score	Mittelwerte
Elbow self assesment score (ESAS)	\bar{x} 96,54 \pm 2,95 (Bereich 94-100)
mayo elbow performance score (MEPS)	\bar{x} 98 \pm 4 (Bereich 85-100)
quick DASH	\bar{x} 3 \pm 6 (Bereich 0-21)

Tab. 5: Funktioneller Outcome

4.5 Radiologische Beurteilung

In den radiologischen Nachuntersuchungen zeigten sich keine Verzögerungen in der Frakturheilung. Auch konnten keine Pseudarthrosen detektiert werden. Des Weiteren zeigte sich radiologisch kein Implantatversagen im Sinne einer sekundären Dislokation des Implantates oder einer Schraubenlockerung. Nachuntersuchungen zeigten in allen Fällen ein kongruentes Humeroradialgelenk ohne Sekundärverlust der Reposition oder Sekundärverschiebung des Radiuskopfes (siehe Abb. 27 und 28).



Abb. 27: Röntgenaufnahmen eines 40-jährigen Patienten mit einer dislozierten Radiusköpfchenfraktur Typ Mason Typ III. Präoperative Röntgenaufnahmen (a, b), postoperative Ergebnisse, 6 Monate nach Versorgung mit zwei APTUS® 2.0 mm Kleinfragment-Schrauben und einer APTUS® 2,0- mm-Abstützplatte (Medartis, Basel, Schweiz) (c, d) (Crönlein et al. 2017)



Abb. 28: Röntgenaufnahmen eines 35-jährigen Patienten mit einer Radiusköpfchenfraktur Typ Mason Typ III. Präoperative Röntgenaufnahmen (a, b), postoperative Ergebnisse, 6 Wochen nach Versorgung mit einer APTUS® 2.0 mm Kleinfragment-Schraube und einer APTUS® 2,0- mm-Randplatte (Medartis, Basel, Schweiz) (c, d) (Crönlein et al. 2017)

5 DISKUSSION

Die Bedeutung der anatomischen Integrität des Radiusköpfchens für die Stabilität des Ellenbogengelenks ist klinisch bekannt und wird durch viele Studien der aktuellen Literatur belegt (Beingessner et al. 2004, Kovacevic et al. 2015). Entsprechend wäre es bei Frakturen, vor allem bei komplexeren, dislozierten Brüchen des Radiusköpfchens wünschenswert eine sichere und stabile kopferhaltende Osteosynthese Methode standardisiert anwenden zu können (Pike et al. 2009, Zwingmann et al. 2013, Mou et al. 2015). Die kürzlich eingeführten anatomisch präkonturierten winkelstabilen Osteosyntheseplatten für Radiusköpfchen- und Radiushalsfrakturen zeigten bereits vielversprechende Ergebnisse in biomechanischen Studien, in denen ein Vorteil gegenüber einer Einzelschraubenfixierung bei komplexen Frakturtypen beschrieben wurde (Gutowski et al. 2015). Ziel der vorliegenden Studie war es daher, das klinische Ergebnis von Patienten nach operativer Versorgung mit dem Osteosynthese-Systemen APTUS 2.0, der Firma Medartis, bei mehrfragmentären Radiusköpfchenfrakturen zu evaluieren.

Im Untersuchungszeitraum von Januar 2011 bis Dezember 2014 konnten 24 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Aufgrund einer geänderten Wohnsituation waren 4 Patienten für die Nachfolgeuntersuchung nicht verfügbar, sodass 20 Patienten (9 Frauen, 11 Männer, Ø 41 Jahre (Altersspanne von 25-66 Jahre)) in das definitive Patientenkollektiv eingeschlossen wurden.

Die Patienten wurden auf ihre subjektive Zufriedenheit, das funktionelle Outcome, die Beweglichkeit (Range of Motion), Kraft, Schmerzen, Gelenkstabilität und Frakturkonsolidierung inklusive der Ausprägung von heterotrophen Ossifikationen untersucht. Das funktionelle Outcome wurde mittels drei unterschiedlichen Outcome Scores (ESAS, MEPS und quick DASH) evaluiert.

Das wichtigste Ergebnis war eine nahezu uneingeschränkte Range of Motion des Ellenbogens. Trotz eines leicht signifikanten Unterschieds für den Extension-Flexionsbogen zwischen operierter und gesunder Seite zeigte sich bei allen Studienteilnehmern im Langzeit – Follow – up eine sehr gute Beweglichkeit. Insbesondere gab es keine nennenswerte Beeinträchtigung der Pronation und Supination, die aufgrund der Plattenpositionierung und der anatomischen Gegebenheiten hätte auftreten können.

Auch wenn bei den vier Patienten, die für die Nachuntersuchung nicht zur Verfügung standen, ein möglicherweise schlechteres Ergebnis zu berücksichtigen ist, sind die vorliegenden Ergebnisse mit denen der Fallserie von Burkhart et al. (Burkhart et al. 2015) vergleichbar. Burkhart et al. konnten retrospektiv, bezüglich des postoperativen Outcomes nach Radiusköpfchenfrakturen und einer operativen Versorgung mittels anatomisch vorgeformten winkelstabilen Plattenosteosynthese-Systemen, ähnlich gute klinisch-radiologische Ergebnisse bezüglich der Frakturkonsolidierung und des funktionellen Outcomes zeigen.

Die in dieser Studie erhobenen Daten und Ergebnisse untermauern die Bedeutung von vorgeformten Verriegelungsplatten bei der Frakturbehandlung von Radiusköpfchenfrakturen.

Die Mobilität des Ellenbogengelenkes und die gute Ausübung von Aktivitäten des täglichen Lebens spiegelt sich in den hervorragenden Ergebnissen der untersuchten Scores wie dem Elbow self assesment score (ESAS), dem mayo elbow performance score (MEPS) und dem quick DASH wieder. Im ESAS wurde ein Mittelwert von $\bar{x} = 96,54 \pm 2,95$ (Bereich 94 - 100) erreicht, analog dazu zeigte sich im MEPS ein Mittelwert von 98 ± 4 (Bereich 85 - 100). Die guten Ergebnisse des ESAS als auch MEPS haben sich auch im dritten angewandten Outcome Score, dem quick DASH der einen Mittelwert von 3 ± 6 (Bereich 0-21) zeigte, bestätigt. In unserer dokumentierten subjektiven Befragung äußerte die Mehrheit, 17 von 20 der Patienten, subjektiv eine sehr hohe Zufriedenheit mit dem klinischen Outcome. Dies unterstreicht die guten Ergebnisse der o.g. Outcome Scores.

Die vorliegenden Ergebnisse sind ähnlich oder besser als vergleichbare wissenschaftliche Analysen zur Radiusköpfchenprothese, welche meist als Kurzzeit-Follow – up-Studien durchgeführt wurden (Smets et al. 2000, Frosch et al. 2003, Brinkman et al. 2005, Wegmann et al. 2015, Lopiz et al. 2016). Beide Operationsmethoden stehen versierten Operateuren zur Versorgung von mehrfragmentären Radiuskopffrakturen zur Wahl. Aufgrund der heterogenen Daten im Hinblick auf Frakturtyp und angewandten Prothesenmodell ist eine Vergleichbarkeit der Langzeitergebnisse der Radiuskopffprothese mit der Plattenosteosynthese sehr begrenzt durchführbar. (Frosch et al. 2003, King 2004, Brinkman et al. 2005, Mou et al. 2015, Wegmann et al. 2015). Daher ist die Aussage zu unterstützen, dass der ORIF-Ansatz die erste und bevorzugte chirurgische Option im Gegensatz zur Arthroplastik sein sollte (Zwingmann et al. 2013). Dennoch muss

festgehalten werden, dass die Differenzierung zwischen rekonstruierbaren und nicht mehr rekonstruierbaren Frakturen des Radiusköpfchens oft eine präoperative Herausforderung an die behandelnden Unfallchirurgen darstellt. Bei komplexen Frakturtypen ist eine Computertomographie (CT) als erweiterte Bildgebung für die präoperative Beurteilung zweifellos hilfreich (Guitton et al. 2014). In der vorliegenden Studie wurden, wie auch schon in ähnlichen Arbeiten bei denen Miniplatten zur Osteosynthese genutzt wurden (Ikeda et al. 2003, Ikeda et al. 2006), keine Komplikationen im Zusammenhang mit den verwendeten Implantaten festgestellt. Dennoch sind Komplikationen wie Gefäßnekrose, proximale Synostosis, heterotopische Ossifikationen, Infektion und Verlust der ROM zu beachten (Ring 2008, Pike et al. 2014, Sandmann et al. 2016).

Bezüglich der Kraftgrade konnte in unserer Nachuntersuchung kein Unterschied zwischen der operierten Seiten im Vergleich zur gesunden Gegenseite festgestellt werden. Dieses Ergebnis lässt sich mit den von Burkhart und Kollegen veröffentlichten Daten vergleichen (Burkhart et al. 2015) die analog zu dieser Studie auch keinen Kraftunterschied detektieren konnten.

Von den 20 in diesem Langzeit – Follow – up untersuchten Studienpatienten berichteten initial 16 Patienten auf die Frage nach Schmerzen auf der VAS-Skala von keinen Schmerzen. Auf gründliches und auf den Alltag bezogenes Nachfragen berichteten nur noch sieben Patienten gar keine Schmerzen zu haben. In zehn Fällen wurden von nur gelegentlichen, temporär auftretenden milden Schmerzen berichtet. In zwei Fällen wurde von wetterabhängigen Schmerzen VAS 1 berichtet und in einem Fall von Schmerzen VAS 2 nach schwerem Hanteltraining. Diese Beobachtung zeigte wie subjektiv und abhängig von der Fragestellung des Untersuchers Schmerzen berichtet werden (Voutilainen et al. 2016). Bezüglich der geringen Schmerzausprägung in dieser Studienkohorte zeigt sich ein mit der Literatur vergleichbares, wenn nicht sogar besseres Ergebnis nach ORIF von Radiusköpfchenfrakturen Mason III und IV (Liu et al. 2015, Akman et al. 2017).

Ein Unterschied zwischen den verschiedenen behandelten Frakturtypen oder den verschiedenen Arten von verwendeten Verriegelungsplatten wurde in Bezug auf das funktionelle Ergebnis nicht durchgeführt. Außerdem wurde bei der Nachuntersuchung die Gelenkstabilität unter besonderer Berücksichtigung der medialen Bandstrukturen nicht berücksichtigt. Insbesondere bei mehrfragmentären Radiuskopf- und/oder Radiushalsfrakturen werden Läsionen des MCL-Komplexes

beschrieben (Kaas et al. 2010, Rhyou et al. 2013, Anakwenze et al. 2014). In der vorliegenden Serie war jedoch nur eine Instabilität des MCL-Komplexes erkennbar und keiner der Patienten beschwerte sich über eine Gelenkinstabilität.

5.1 Einschränkungen: Kritische Betrachtung des Studiendesigns und Methodik

Diese Studie hat mehrere Einschränkungen, darunter ihr retrospektives Design und die geringe Anzahl von nur 20 Patienten, die nachuntersucht werden konnten. Darüber hinaus sind die sehr vielversprechenden Ergebnisse dieser Serie mit Vorsicht zu interpretieren. So wurde, wie schon in der Diskussion erwähnt, keine Differenzierung zwischen den verschiedenen Frakturtypen oder den verschiedenen Typen der verwendeten winkelstabilen Platten in Bezug auf das funktionelle Ergebnis vorgenommen. Dennoch hat diese Studie mehrere Stärken. Die Follow-up-Rate von 83% bei einem durchschnittlichen Follow-up – Zeitraum von 30 Monaten ist ein sehr guter Rahmen, in dem man eine valide Aussage treffen kann. Weiter wurde in dieser Studie eine breite Bewertung der subjektiven und objektiven funktionellen Parameter mittels unabhängigen Ellenbogen-Scoring-Tools durchgeführt, die die Analyse stützen. Die in dieser Arbeit präsentierten Daten sind nach bestem Wissen und Gewissen zusammen mit der Studie von Burkhart et al. die Einzigen, die den klinischen Einsatz von anatomisch vorgeformten, low-profil Verriegelungsplatten bei Radiusköpfchenfrakturen evaluieren.

5.2 Schlussfolgerung und Ausblick

Basierend auf den vorliegenden Daten erscheint die operative Versorgung von Radiusköpfchenfrakturen mittels anatomisch, vorgeformten winkelstabile Platten einen zuverlässigen und sicheren chirurgischen Ansatz darzustellen. Durch die Einführung dieser modernen Implantate kann die Indikation zur ORIF bei komplexen Radiusköpfchenfrakturen großzügiger gestellt werden. Ein weiterer Vorteil der Versorgungsmethode ist die frühzeitige aktive Rehabilitation, die durch die erhöhte Stabilität der Implantate ermöglicht wird.

Weitere prospektiv randomisierte Studien sind erforderlich, um das Potenzial dieser Implantate bei der Frakturversorgung des Radiuskopfes zweifelsfrei zu bestätigen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Bei dislozierten, mehrfragmentären Frakturen des Radiusköpfchens wird heute die offene Reposition und interne Fixation (ORIF) als Therapie der Wahl empfohlen. In den letzten Jahren hat eine Entwicklung am Implantatsektor stattgefunden, daraus resultierten winkelstabile Osteosyntheseplatten mit der Möglichkeit einer Erweiterung der operativen Versorgung bei komplexen Radiusköpfchenfrakturen. Ziel dieser retrospektiven Studie war es daher, neben der Frakturheilung, die subjektiven und objektiven klinischen Ergebnisse bei Patienten, die mit anatomisch vorgeformten, winkelstabilen Platten bei dislozierten Radiusköpfchenfrakturen behandelt wurden, zu analysieren.

Subjektive und objektive Kriterien waren die Zufriedenheit des Patienten, die Schmerzbewertung auf einer visuellen Analogskala (VAS) und der aktive Bewegungsumfang (ROM) im Vergleich zum gesunden kontralateralen Arm. Die funktionale Bewertung umfasste den Mayo Elbow Performance Score (MEPS), den QuickDASH und den Elbow Selfe Assesment Score (ESAS). Darüber hinaus wurden die Patienten klinisch-radiologisch nachuntersucht.

Zwischen 01/2011 und 12/2014 wurden insgesamt 24 Patienten mittels anatomisch vorgeformten, winkelstabilen low-profil Osteosyntheseplatten operativ behandelt. Alle Patienten hatten mehrfragmentäre, dislozierte Radiusköpfchenfrakturen (Typ III-IV nach Mason-Klassifikation) erlitten. 20 von 24 Patienten wurden nach durchschnittlich 30 Monaten zur Nachuntersuchung vorstellig (Range 18 – 53 Monate). Die subjektive Zufriedenheit der Patienten wurde in 17 Fällen mit „Sehr zufrieden“ und in drei Fällen mit „Zufrieden“ bewertet. Eine ROM für den Extension-Flexionsbogen und Pronation-Supinationsbogen wurde in zehn Fällen detektiert. Geringfügige ROM-Mängel mit einem 5° Extensionsdefizit im Vergleich zur gesunden kontralateralen Seite wurde in sechs Fällen deutlich. Nur vier Patienten wurden mit einem Extensions- und Supinationsmangel von 10° bewertet, einer davon mit einem zusätzlichen Pronationsmangel von 10°. Die berechneten MEPS waren $\bar{\emptyset} 98 \pm 4$ (Bereich 85 – 100), der QuickDASH war $\bar{\emptyset} 3 \pm 6$ (Bereich 0 – 21). Die ESAS wurde von 18 Patienten mit einem Mittelwert von $\bar{\emptyset} 96,54 \pm 2,95$ (Bereich 94 – 100) abgeschlossen, was auf eine nicht eingeschränkte Ellenbogenfunktion hinweist.

Die Behandlung von mehrfragmentären Radiusköpfchenfrakturen mit anatomisch vorgeformten, winkelstabilen Osteosyntheseplatten stellt einen zuverlässigen und

sicheren chirurgischen Ansatz dar, der zu guten bis sehr guten funktionellen Ergebnissen führt. Im Bewusstsein der Bedeutung des Radiusköpfchens für die Ellbogenstabilität sollte die offene Reposition und die interne Fixation vor der Resektion des Radiusköpfchens oder dem prothetischen Ersatz bei komplexen Radiusköpfchenfrakturen bevorzugt werden. Weitere Studien mit einer höheren Patientenzahl sind erforderlich, um die Vorteile der Radiusköpfchenplatten zu bestätigen.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1: Die drei Teilgelenke des Ellenbogengelenkes (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 2: Radiuskopf mit breiter knorpeliger Kontaktfläche, die im proximalen Radioulnargelenk artikuliert (A), und schmaler, oft knorpelfreier Zone (B), die nicht artikuliert (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 3: Der Radiushals bildet mit der Radiuslängsachse einen Winkel von ca. 15°(Seitz S. 2013)
- Abb. 4: Kapselbandapparat von medial (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 5: Kapselbandapparat von lateral (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 6: Physiologisches Bewegungsausmaß des Ellenbogengelenks in Extension/Flexion (a) und Supination/Pronation (b) (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 7: Modifizierte Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfraktur mit Darstellung der Frakturmorphologie. (Wegmann et al. 2012)
- Abb.8. Modifizierte Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfraktur tabellarisch Aufgeschlüsselt. (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 9: Belastung des Ellenbogengelenks beim Sturz auf die Hand (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 10: Klinische Stabilitätstests am Ellenbogen. (Burkhart et al. 2015), a) Varusstress bei proniertem Unterarm, b) Valgusstress bei supiniertem Unterarm, c) Pivot-Shift-Test.
- Abb. 12: Safe-Zone a) in Pronation b) in Supination (Wegmann et al. 2012)
- Abb. 12: Prinzip der winkelstabilen Internen Fixation (Medartis, Basel, Schweiz)
- Abb. 13: Lagerung (aus AO Surgery Reference)
- Abb. 14: Hautschnitt (aus AO Surgery Reference)
- Abb. 15: Faszie, Rot Kocher Intervall (aus AO Surgery Reference)

- Abb. 16: Eröffnung der Gelenkkapsel (aus AO Surgery Reference)
- Abb. 17: Epico-ROM Schiene, medi GmbH & Co. KG, Bayreuth, Deutschland
- Abb. 18: Polyaxialeverriegelung (Medartis, Basel, Schweiz)
- Abb. 19: Winkelstabiles Verblocken (Medartis, Basel, Schweiz)
- Abb. 20: in dieser Studie verwendete APTUS® 2,0-mm-Ellobogensystem (Medartis, Basel, Schweiz)
- Abb. 21: Händigkeit des Patientenkollektives
- Abb. 22: Seitenverteilung der operierten Extremitäten
- Abb. 23: Unfallursache
- Abb. 24: Verletzungsmuster
- Abb. 25: Materialentfernungen des Kollektivs
- Abb. 26: Mittlerer Extension-Flexionsbogen und Pronation-Supinationsbogen im Seitenvergleich mit der unverletzten Seite (Crönlein et al. 2017)
- Abb. 27: Röntgenaufnahmen eines 40-jährigen Patienten mit einer dislozierten Radiusköpfchenfraktur Typ Mason Typ III. Präoperative Röntgenaufnahmen (a, b), postoperative Ergebnisse, 6 Monate nach Versorgung mit zwei APTUS® 2.0 mm Kleinfragment-Schrauben und einer APTUS® 2,0- mm-Abstützplatte (Medartis, Basel, Schweiz) (c, d) (Crönlein et al. 2017)
- Abb. 28: Röntgenaufnahmen eines 35-jährigen Patienten mit einer Radiusköpfchenfraktur Typ Mason Typ III. Präoperative Röntgenaufnahmen (a, b), postoperative Ergebnisse, 6 Wochen nach Versorgung mit einer APTUS® 2.0 mm Kleinfragment-Schraube und einer APTUS® 2,0- mm-Randplatte (Medartis, Basel, Schweiz) (c, d) (Crönlein et al. 2017)

8 ANHÄNGE



Münchner Ellenbogen Score

Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie
 Klinikum rechts der Isar München
 H.J.B. Friese, M. Beirer, S. Siebenlist, P. Biberthaler

Patienten ID

Datum:			
Geschlecht:	männlich	weiblich	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Welcher Ellenbogen ist betroffen?	rechts	links	beide
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Falls beide Ellenbogen betroffen sind: Für welchen Ellenbogen füllen Sie den Fragebogen aus?		rechts	links
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Berufstätig:	Ja	Nein	Rentner(_____% MdE)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			Hausfrau
			<input type="checkbox"/>
wenn "ja": In welchem Beruf?			
wenn "nein": Aufgrund Ihres Ellenbogens?			
		Ja	Nein
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nehmen Sie Medikamente zur Linderung der Schmerzen in Ihrem Ellenbogen ?			
		Ja	Nein
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ja, welche?			

1. Wie stark waren die maximalen Schmerzen in Ihrem Ellenbogen in den letzten 4 Wochen?

Keine

Unerträglich

2. Wie stark waren die durchschnittlichen Schmerzen in Ihrem Ellenbogen in den letzten 4 Wochen?

Keine

Unerträglich

3. Wie oft hatten Sie in den letzten 4 Wochen Schmerzen in Ihrem Ellenbogen?

Nie

Immer

4. Wie oft hatten Sie in den letzten 4 Wochen nächtliche Schmerzen in Ihrem Ellenbogen?

Nie

Immer

5. Wie oft hatten Sie in den letzten 4 Wochen Schmerzen in Ruhe in Ihrem Ellenbogen?

Nie

Immer

6. Nahmen in den letzten 4 Wochen die Schmerzen in Ihrem Ellenbogen zu, wenn Sie diesen bewegten?

Gar nicht

Unerträglich

7. Mein Ellenbogen kribbelte und/oder war taub in den letzten 4 Wochen
(Bitte auch ausfüllen, wenn Sie Kribbeln oder Taubheit an dem
zugehörigen Unterarm oder der Hand empfunden haben!)?

Nie Unerträglich

8. Bitte markieren Sie jede Ihnen mögliche Bewegung mit einem Kreuz
(mehrere Kreuze möglich)!



9. Bitte markieren Sie jede Ihnen mögliche Bewegung mit einem Kreuz
(mehrere Kreuze möglich)!



10. Wie viel Kilogramm können Sie in einer Einkaufstasche mit ihrem
betroffenen Ellenbogen in der abgebildeten Position für ca. 5 Sekunden
halten?



_____ (Hier bitte Kilogramm eintragen)

11. Wie stark war das Gefühl der Instabilität in Ihrem Ellenbogen in den
letzten 4 Wochen?

Keine Instabilität Unerträglich

12. Haben Sie das Gefühl, dass Ihr Ellenbogen die Kraft Ihres Armes einschränkt?

Gar nicht

Komplett

13. Mein Ellenbogen behindert mich beim Tragen von Gegenständen.

Nie

Unmöglich

14. Mein Ellenbogen behindert mich beim Anziehen/Wechseln meiner Bekleidung.

Nie

Unmöglich

15. Mein Ellenbogen behindert mich bei der täglichen Körperhygiene /-pflege.

Nie

Unmöglich

16. Mein Ellenbogen behindert mich bei der Zubereitung meiner Nahrung.

Nie

Unmöglich

17. Mein Ellenbogen behindert mich bei meiner Fortbewegung.

Nie

Unmöglich

18. Ich habe das Gefühl, dass ich wegen meines Ellenbogens weniger Lebensqualität habe.

Überhaupt nicht Ja,sehr

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

19. Ich grüble oft über meinen Ellenbogen bzw. die damit verbundenen Schmerzen.

Überhaupt nicht Immer

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

20. Mein Ellenbogen behindert mich bei Sport und Freizeitaktivitäten.

Nie Unmöglich

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

21. Behindert Sie Ihr Ellenbogen bei der Arbeit?

Nie Unmöglich

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

22. Haben Sie Beschwerden beim Abstützen auf dem betroffenen Arm

Ohne Probleme Unmöglich

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

The Mayo Clinic Performance Index for the Elbow*

Function	Point Score
Pain (45 points)	
None	45
Mild	30
Moderate	15
Severe	0
Motion (20 points)	
Arc 100 degrees	20
Arc 50 to 100 degrees	15
Arc 2 degrees	5
Stability† (10 points)	
Stable	10
Moderate instability	
Gross instability	0
Daily function (25 points)	
Combing hair	5
Feeding oneself	5
Hygiene	5
Putting on shirt	5
Putting on shoes	5
Maximum possible total	100

*90 points or more = excellent, 75–89 points = good, 60–74 points = fair, and less than 60 points = poor.

†Stable = no apparent varus-valgus laxity clinically, moderate instability = less than 10 degrees of varus-valgus laxity, and gross instability = 10 degrees or more of varus-valgus laxity.

Reprinted with permission from The Journal of Bone and Joint Surgery, Inc. Broberg MA, Morrey BF. Results of delayed excision of the radial head after fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 1986;68:669–674.

THE *quick*
DASH

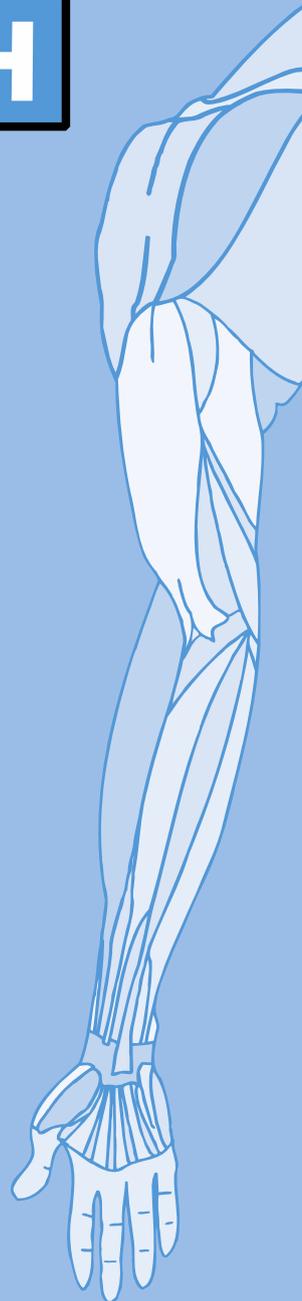
ANLEITUNG

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

Bitte beantworten Sie *alle Fragen* gemäß Ihrem Zustand in der vergangenen Woche, indem Sie einfach die entsprechende Zahl ankreuzen.

Wenn Sie in der vergangenen Woche keine Gelegenheit gehabt haben, eine der unten aufgeführten Tätigkeiten durchzuführen, so wählen Sie die Antwort aus, die Ihrer Meinung nach *am ehesten* zutreffen würde.

Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand Sie diese Tätigkeiten ausüben. Antworten Sie Ihrer Fähigkeit entsprechend, ungeachtet, wie Sie die Aufgaben durchführen konnten.



DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

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

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden 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. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
6. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.) ¹	1	2	3	4	5

7. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn 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
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 die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, falls 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
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

SPORT- UND MUSIK-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes oder auf das Ausüben Ihres Sports oder auf beides.

Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als eine Sportart ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Fragen in bezug auf das Instrument oder die Sportart, die für Sie am wichtigsten ist.

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

Ich treibe keinen Sport oder 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:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
3. So gut Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Musikinstrumentes oder mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5



DASH Deutsche Version 2002:
Günter Germann, Angela Harth,
Gerhard Wind, Ehan Demir
Klinik für Hand-, Plastische und
Rekonstruktive Chirurgie
— Schwabbrandverlethlenzentrum —
BG-Unfallklinik Ludwigshafen
Klinik für Plastische und Handchirurgie
der Universität Heidelberg

© IWH & AOS & COMSS 1997

9 TABELLENVERZEICHNIS

- Tab.1: Einteilung der Kraftgrade nach Janda (Janda1994)
- Tab. 2: Patientenkollektiv
- Tab. 3: Begleitverletzungen der Mason IV Frakturen
- Tab. 4: Funktioneller Outcome
- Tab. 5: Daten zum OP-Intervall und Dauer der Operation

10 LITERATURVERZEICHNIS

Abdelgawad, A. A., A. Hussain and N. A. Ebraheim (2010). "Screw fixation of the radial head: radiological assessment of the proximal radio-ulnar joint and average radial head diameter—an anatomic study." Archives of Orthopaedic Trauma Surgery **130**(4): 465-467.

Akesson, T., P. Herbertsson, P. O. Josefsson, R. Hasselius, J. Besjakov and M. K. Karlsson (2006). "Primary nonoperative treatment of moderately displaced two-part fractures of the radial head." The Journal of Bone and Joint surgery. American Volume **88**(9): 1909-1914.

Akman, Y. E., E. Sukur, E. Circi, O. N. Ozyalvac, F. Ozyer and Y. Ozturkmen (2017). "A comparison of the open reduction-internal fixation and resection arthroplasty techniques in treatment of Mason Type 3 radial head fractures." Acta orthopaedica et traumatologica turcica **51**(2): 118-122.

Al-Burdeni, S., Y. Abuodeh, T. Ibrahim and G. Ahmed (2015). "Open reduction and internal fixation versus radial head arthroplasty in the treatment of adult closed comminuted radial head fractures (modified Mason type III and IV)." International Orthopaedics **39**(8): 1659-1664.

An, K. N., A. O. Browne, S. Korinek, S. Tanaka and B. F. Morrey (1991). "Three-dimensional kinematics of glenohumeral elevation." Journal of Orthopaedic Research **9**(1): 143-149.

Anakwenze, O. A., V. K. Kancherla, J. Iyengar, C. S. Ahmad and W. N. Levine (2014). "Posterolateral rotatory instability of the elbow." American Journal of Sports Medicine **42**(2): 485-491.

Anson, B. J. and C. B. MacVay (1971). Surgical anatomy. 1 1. Philadelphia Saunders.

Antoniadis, G., M. T. Pedro and R. König, . (2013). "Traumatische Nerven-und Plexusschäden: Prä-und klinische Versorgungsalgorithmen und Behandlungsoptionen." Neurochirurgie Scan **1**(02): 127-142.

Arbter, D., S. Piatek, A. Probst, F. Holmenschlager and S. Winckler (2012). "[Results after Judet radial head prosthesis for non-reconstructable radial head fractures]." Der Unfallchirurg **115**(11): 1000-1008.

Ayel, J. E., N. Bonneville, J. M. Lafosse, L. Pidhorz, M. Al Homsy, P. Mansat, X. Chaufour, M. Rongieres and P. Bonneville (2009). "Acute elbow dislocation with arterial rupture. Analysis of nine cases." Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research **95**(5): 343-351.

Ball, C. M., L. M. Galatz and K. Yamaguchi (2002). "Elbow instability: treatment strategies and emerging concepts." Instructional course lectures **51**: 53-61.

Barnes, L. F., J. Lombardi, T. R. Gardner, R. J. Strauch and M. P. Rosenwasser (2018). "Comparison of Exposure in the Kaplan Versus the Kocher Approach in the Treatment of Radial Head Fractures." Hand (N Y): 1558944717745662.

Bartonicek, J., O. Nanka and M. Tucek (2015). "[Kocher approach to the elbow and its options]." Rozhledy v chirurgii : mesicnik Ceskoslovenske chirurgicke spolecnosti **94**(10): 405-414.

Beaton, D. E., J. G. Wright and J. N. Katz (2005). "Development of the QuickDASH: comparison of three item-reduction approaches." The Journal of Bone and Joint surgery. American Volume **87**(5): 1038-1046.

Beingessner, D. M., C. E. Dunning, K. D. Gordon, J. A. Johnson and G. J. King (2004). "The effect of radial head excision and arthroplasty on elbow kinematics and stability." The Journal of Bone and Joint surgery. American Volume **86-a**(8): 1730-1739.

Beirer, M., H. Friese, A. Lenich, M. Crönlein, G. H. Sandmann, P. Biberthaler, C. Kirchhoff and S. Siebenlist (2017). "The Elbow Self-Assessment Score (ESAS): development and validation of a new patient-reported outcome measurement tool for elbow disorders." Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA **25**(7): 2230-2236.

Berdusco, R., H. Louati, W. Desloges, S. R. Papp and J. W. Pollock (2015). "Lateral Elbow Exposures: The Extensor Digitorum Communis Split Compared with the Kocher Approach." The Journal of Bone and Joint Surgery Essential Surgical Techniques **5**(4): e30.

Berkson, J. (2003). "Tests of significance considered as evidence*." International Journal of Epidemiology **32**(5): 687-691.

Bischoff, C., W. J. Schulte-Mattler and B. Conrad (2005). Das EMG-Buch: EMG und periphere Neurologie in Frage und Antwort, Georg Thieme Verlag.

- Bowman, S. H., W. R. Barfield, H. S. Slone, G. J. Shealy and Z. J. Walton (2016). "The clinical implications of heterotopic ossification in patients treated with radial head replacement for trauma: A case series and review of the literature." Journal of Orthopaedic **13**(4): 272-277.
- Brinkman, J. M., F. T. Rahusen, M. J. de Vos and D. Eygendaal (2005). "Treatment of sequelae of radial head fractures with a bipolar radial head prosthesis: good outcome after 1-4 years follow-up in 11 patients." Acta Orthopaedica **76**(6): 867-872.
- Broberg, M. A. and B. F. Morrey (1986). "Results of delayed excision of the radial head after fracture." The Journal of bone and joint surgery. American volume **68**(5): 669-674.
- Broberg, M. A. and B. F. Morrey (1987). "Results of treatment of fracture-dislocations of the elbow." Clinical orthopaedics and related research(216): 109-119.
- Burkhart, K., S. Franke, K. Wegmann, C. Ries, F. Dehlinger, L. Müller and B. Hollinger (2015). "Mason I fracture-a simple injury?" Der Unfallchirurg **118**(1): 9-17.
- Burkhart, K. J., D. Gruszka, S. Frohn, K. Wegmann, P. M. Rommens, C. M. Eicker and L. P. Müller (2015). "Winkelstabile Plattenosteosynthese des Radiuskopfes." Der Unfallchirurg **118**(11): 949-956.
- Burkhart, K. J., L. P. Mueller, D. Krezdorn, P. Appelmann, K. J. Prommersberger, W. Sternstein and P. M. Rommens (2007). "Stability of radial head and neck fractures: a biomechanical study of six fixation constructs with consideration of three locking plates." Journal of Hand Surgery – American Volume **32**(10): 1569-1575.
- Burkhart, K. J., K. Wegmann, L. P. Müller and F. E. Gohlke (2015). "Fractures of the Radial Head." Hand Clinics **31**(4): 533-546.
- Callaway, G. H., L. D. Field, X. H. Deng, P. A. Torzilli, S. J. O'Brien, D. W. Altchek and R. F. Warren (1997). "Biomechanical evaluation of the medial collateral ligament of the elbow." The Journal of bone and joint surgery. American volume **79**(8): 1223-1231.
- Chen, X., S. C. Wang, L. H. Cao, G. Q. Yang, M. Li and J. C. Su (2011). "Comparison between radial head replacement and open reduction and internal fixation in clinical treatment of unstable, multi-fragmented radial head fractures." International orthopaedics **35**(7): 1071-1076.
- Crönlein, M., M. Zyskowski, M. Beirer, F. B. Imhoff, D. Pflörringer, G. H. Sandmann, C. Kirchoff, P. Biberthaler and S. Siebenlist (2017). "Using an anatomically preshaped low-profile locking plate system leads to reliable results in comminuted radial head fractures." Archives of Orthopaedic Trauma Surgery **137**(6): 789-795.
- Davidson, P. A., J. B. Moseley, Jr. and H. S. Tullos (1993). "Radial head fracture. A potentially complex injury." Clinical orthopaedics and related research(297): 224-230.
- Davies, F. and M. Laird (1948). "The supinator muscle and the deep radial (posterior interosseous) nerve." Anatomical Record **101**(2): 243-250.

- de Muinck Keizer, R. J., M. M. Walenkamp, J. C. Goslings and N. W. Schep (2015). "Mason Type I Fractures of the Radial Head." Orthopedics **38**(12): e1147-1154.
- Delclaux, S., J. Lebon, A. Faraud, J. Toulemonde, N. Bonneville, B. Coulet and P. Mansat (2015). "Complications of radial head prostheses." International orthopaedics **39**(5): 907-913.
- Ditsios, K. T., S. I. Stavridis and A. G. Christodoulou (2011). "The effect of haematoma aspiration on intra-articular pressure and pain relief following Mason I radial head fractures." Injury **42**(4): 362-365.
- Dooley, J. F. and P. D. Angus (1991). "The importance of elbow aspiration when treating radial head fractures." Archives of emergency medicine **8**(2): 117-121.
- Duckworth, A. D., N. D. Clement, P. J. Jenkins, S. A. Aitken, C. M. Court-Brown and M. M. McQueen (2012). "The epidemiology of radial head and neck fractures." The Journal of hand surgery **37**(1): 112-119.
- Duckworth, A. D., B. S. Watson, E. M. Will, B. A. Petrisor, P. J. Walmsley, C. M. Court-Brown and M. M. McQueen (2011). "Radial head and neck fractures: functional results and predictors of outcome." The Journal of trauma **71**(3): 643-648.
- Dugas, J. R., R. V. Ostrander, E. L. Cain, D. Kingsley and J. R. Andrews (2007). "Anatomy of the anterior bundle of the ulnar collateral ligament." Journal of shoulder and elbow surgery **16**(5): 657-660.
- Esser, R. D., S. Davis and T. Taavao (1995). "Fractures of the radial head treated by internal fixation: late results in 26 cases." Journal of orthopaedic trauma **9**(4): 318-323.
- Evans, E. M. (1945). "Rotational Deformity In The Treatment Of Fractures Of Both Bones Of The Forearm." Journal of Bone & Joint Surgery (JBJS) **27**(3): 373-379.
- Frigg, R. (2003). "Development of the Locking Compression Plate." Injury **34 Suppl 2**: B6-10.
- Frosch, K. H., W. Knopp, K. Dresing, C. Langer and K. M. Sturmer (2003). "[A bipolar radial head prosthesis after comminuted radial head fractures: indications, treatment and outcome after 5 years]." Unfallchirurg **106**(5): 367-373.
- Goswami, G. K. (2002). "The Fat Pad Sign." Radiology **222**(2): 419-420.
- Greenspan, A. and A. Norman (1982). "The radial head, capitellum view: useful technique in elbow trauma." AJR American journal of roentgenology **138**(6): 1186-1188.
- Gruszka, D., T. E. Nowak, T. Tkacz, D. Wagner and P. M. Rommens (2019). "Complex radial head and neck fractures treated with modern locking plate fixation." Journal of shoulder and elbow surgery.
- Guitton, T. G., K. Brouwer, A. L. Lindenhovius, G. Dyer, D. Zurakowski, C. S. Mudgal and D. C. Ring (2014). "Diagnostic accuracy of two-dimensional and three-

dimensional imaging and modeling of radial head fractures." Journal of hand and microsurgery **6**(1): 13-17.

Gummesson, C., M. M. Ward and I. Atroshi (2006). "The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH." BMC musculoskeletal disorders **7**: 44-44.

Gupta, A., S. Kamineni, D. K. Patten and R. Skourat (2008). "Displaced Operable Radial Head Fractures : Functional Outcome Correlations." European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society **34**(4): 378-384.

Gutowski, C. J., K. Darvish, A. M. Ilyas and C. M. Jones (2015). "Comparison of crossed screw versus plate fixation for radial neck fractures." Clinical biomechanics (Bristol, Avon) **30**(9): 966-970.

Guzzini, M., A. Vadalà, A. Agrò, V. Di Sanzo, D. Pironi, A. Redler, P. Serlorenzi, L. Proietti, C. Civitenga, D. Mazza, R. M. Lanzetti and A. Ferretti (2017). "Nonsurgical treatment of Mason type II radial head fractures in athletes. A retrospective study." Il Giornale di chirurgia **37**(5): 200-205.

Hartzler, R. U., B. F. Morrey, S. P. Steinmann, M. Llusa-Perez and J. Sanchez-Sotelo (2014). "Radial head reconstruction in elbow fracture-dislocation: monopolar or bipolar prosthesis?" Clinical orthopaedics and related research **472**(7): 2144-2150.

Hastings, H. and T. J. Graham (1994). "The classification and treatment of heterotopic ossification about the elbow and forearm." Hand clinics **10**(3): 417-437.

Hirachi, K., H. Kato, A. Minami, T. Kasashima and K. Kaneda (1998). "Clinical features and management of traumatic posterior interosseous nerve palsy." Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland) **23**(3): 413-417.

Hotchkiss, R. N. (1997). "Displaced Fractures of the Radial Head: Internal Fixation or Excision?" The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons **5**(1): 1-10.

Ikeda, M., K. Sugiyama, C. Kang, T. Takagaki and Y. Oka (2006). "Comminuted fractures of the radial head: comparison of resection and internal fixation. Surgical technique." The Journal of bone and joint surgery. American volume **88 Suppl 1 Pt 1**: 11-23.

Ikeda, M., Y. Yamashina, M. Kamimoto and Y. Oka (2003). "Open reduction and internal fixation of comminuted fractures of the radial head using low-profile mini-plates." The Journal of bone and joint surgery. British volume **85**(7): 1040-1044.

Itamura, J., N. Roidis, R. Mirzayan, S. Vaishnav, T. Leach and C. Shean (2005). "Radial head fractures: MRI evaluation of associated injuries." Journal of shoulder and elbow surgery **14**(4): 421-424.

Janda, V. (2000). Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. 4. Auflage ed, Urban & Fischer Verlag.

Johansson, O. (1962). "Capsular and ligament injuries of the elbow joint. A clinical and arthrographic study." Acta chirurgica Scandinavica. Supplementum **Suppl 287**: 1-159.

Johnston, G. W. (1962). "A follow-up of one hundred cases of fracture of the head of the radius with a review of the literature." The Ulster medical journal **31**(1): 51-56.

Kaas, L., P. A. Struijs, D. Ring, C. N. van Dijk and D. Eygendaal (2012). "Treatment of Mason type II radial head fractures without associated fractures or elbow dislocation: a systematic review." The Journal of hand surgery **37**(7): 1416-1421.

Kaas, L., J. L. Turkenburg, R. P. van Riet, J. P. Vroemen and D. Eygendaal (2010). "Magnetic resonance imaging findings in 46 elbows with a radial head fracture." Acta orthopaedica **81**(3): 373-376.

Kaas, L., R. P. van Riet, J. L. Turkenburg, J. P. Vroemen, C. N. van Dijk and D. Eygendaal (2011). "Magnetic resonance imaging in radial head fractures: most associated injuries are not clinically relevant." J Shoulder Elbow Surg **20**(8): 1282-1288.

Kaas, L., R. P. van Riet, J. L. Turkenburg, J. P. Vroemen, C. N. van Dijk and D. Eygendaal (2011). "Magnetic resonance imaging in radial head fractures: most associated injuries are not clinically relevant." Journal of shoulder and elbow surgery **20**(8): 1282-1288.

Kachooei, A. R., A. Baradaran, M. H. Ebrahimzadeh, C. N. van Dijk and N. Chen (2018). "The Rate of Radial Head Prosthesis Removal or Revision: A Systematic Review and Meta-Analysis." The Journal of hand surgery **43**(1): 39-53.e31.

Kapandji (1984). Funktionelle Anatomie der Gelenke. Stuttgart

Khalfayan, E. E., R. W. Culp and A. H. Alexander (1992). "Mason type II radial head fractures: operative versus nonoperative treatment." J Orthop Trauma **6**(3): 283-289.

Kiene, J., J. Waldchen, A. Paech, C. Jurgens and A. P. Schulz (2013). "Midterm Results of 58 Fractures of the Coronoid Process of the Ulna and their Concomitant Injuries." The open orthopaedics journal **7**: 86-93.

King, G. J. (2004). "Management of comminuted radial head fractures with replacement arthroplasty." Hand clinics **20**(4): 429-441, vi.

Konrads, C. and M. Rudert (2018). Klinische Tests und Untersuchung in Orthopädie und Unfallchirurgie, Springer.

Koslowsky T. C., Mader K., Dargel J., Koebke J., Hellmich M. and P. D. (2007). "Reconstruction of a Mason type-III fracture of the radial head using four different fixation techniques." The Journal of Bone Joint Surgery. British volume **89-B**(11): 1545-1550.

Kovacevic, D., L. A. Vogel and W. N. Levine (2015). "Complex Elbow Instability: Radial Head and Coronoid." Hand clinics **31**(4): 547-556.

- Kundel, K., W. Braun and A. Rüter (1992). "Distale intraartikuläre Humerusfrakturen bei Erwachsenen. Ergebnisse der operativen Behandlung." Der Unfallchirurg **95**(5): 219-223.
- Lindhovius, A. L., Q. Felsch, D. Ring and P. Kloen (2009). "The long-term outcome of open reduction and internal fixation of stable displaced isolated partial articular fractures of the radial head." The Journal of trauma **67**(1): 143-146.
- Liu, G., E. Chen, D. Xu, W. Ma, L. Zhou, J. Chen and Z. Pan (2018). "Open reduction and internal fixation with bone grafts for comminuted mason type II radial head fractures." BMC musculoskeletal disorders **19**(1): 288-288.
- Liu, R., P. Liu, H. Shu, J. Gong, Q. Sun, J. Wu, X. Nie, Y. Yang and M. Cai (2015). "Comparison of primary radial head replacement and ORIF (open reduction and internal fixation) in Mason type III fractures: a retrospective evaluation in 72 elderly patients." Medical science monitor : international medical journal of experimental and clinical research **21**: 90-93.
- Longstaffe, R., G. J. W. King and J. P. Marsh (2017). "Treatment of Radial Head Fractures with a Modular Metallic Radial Head Replacement." Journal of Bone and Joint Surgery (JBJS) essential surgical techniques **7**(1): e8-e8.
- Lopez, Y., A. Gonzalez, C. Garcia-Fernandez, J. Garcia-Coiradas and F. Marco (2016). "Comminuted fractures of the radial head: resection or prosthesis?" Injury **47** **Suppl 3**: S29-s34.
- Marquäß B, J. C. (2010). "Akute und chronische Instabilitäten des Ellenbogengelenks. ." Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie **148**(6): 725-740.
- Martin, B. F. (1958). "The annular ligament of the superior radio-ulnar joint." Journal of anatomy **92**(3): 473-482.
- 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.
- Meinberg, E., J. Agel, C. Roberts, M. Karam and J. Kellam (2018). "Fracture and Dislocation Classification Compendium—2018." Journal of Orthopaedic Trauma **32**: S1-S10.
- Moro, J. K., J. Werier, J. C. MacDermid, S. D. Patterson and G. J. King (2001). "Arthroplasty with a metal radial head for unreconstructible fractures of the radial head." The Journal of bone and joint surgery. American volume **83-a**(8): 1201-1211.
- Morrey, B. F. and K. N. An (1983). "Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint." The American journal of sports medicine **11**(5): 315-319.
- Morrey, B. F. and K. N. An (1985). "Functional anatomy of the ligaments of the elbow." Clinical orthopaedics and related research(201): 84-90.
- Morrey, B. F., J. Sanchez-Sotelo and M. E. Morrey (2018). Morrey's the elbow and its disorders. Philadelphia, PA, Elsevier.

Mou, Z., M. Chen, Y. Xiong, Z. Fan, A. Wang and Z. Wang (2015). "Comminuted radial head fractures treated by the Acumed anatomic radial head system." International journal of clinical and experimental medicine **8**(4): 6327-6333.

O'Driscoll, S. W., D. F. Bell and B. F. Morrey (1991). "Posterolateral rotatory instability of the elbow." The Journal of bone and joint surgery. American volume **73**(3): 440-446.

Pappas, N. and J. Bernstein (2010). "Fractures in brief: radial head fractures." Clinical orthopaedics and related research **468**(3): 914-916.

Partenheimer, A., A. Geisler, C. Voigt and H. Lill (2007). "Luxation, Instabilität und Luxationsfrakturen des Ellenbogengelenks." Trauma und Berufskrankheit **9**(2): S197-S201.

Paschos, N. K., G. I. Mitsionis, H. S. Vasiliadis and A. D. Georgoulis (2013). "Comparison of early mobilization protocols in radial head fractures." Journal of orthopaedic trauma **27**(3): 134-139.

Pike, J. M., G. S. Athwal, K. J. Faber and G. J. King (2009). "Radial head fractures--an update." The Journal of hand surgery **34**(3): 557-565.

Pike, J. M., R. Grewal, G. S. Athwal, K. J. Faber and G. J. King (2014). "Open reduction and internal fixation of radial head fractures: do outcomes differ between simple and complex injuries?" Clinical orthopaedics and related research **472**(7): 2120-2127.

Rhyou, I. H., K. C. Kim, K. W. Kim, J. H. Lee and S. Y. Kim (2013). "Collateral ligament injury in the displaced radial head and neck fracture: correlation with fracture morphology and management strategy to the torn ulnar collateral ligament." Journal of shoulder and elbow surgery **22**(2): 261-267.

Ring, D. (2008). "Displaced, unstable fractures of the radial head: fixation vs. replacement--what is the evidence?" Injury **39**(12): 1329-1337.

Ring, D. (2011). "Radial head fracture: open reduction-internal fixation or prosthetic replacement." Journal of shoulder and elbow surgery **20**(2 Suppl): S107-112.

Ring, D., J. Quintero and J. B. Jupiter (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.

Röhm, C., H. Lill, J. Korner and C. Josten (2002). "Radiusköpfchenfrakturen." Trauma und Berufskrankheit **4**(1): S91-S95.

Sandmann, G. H., M. Crönlein, M. Neumaier, M. Beirer, A. Buchholz, U. Stockle, P. Biberthaler and S. Siebenlist (2016). "Reduction and stabilization of radial neck fractures by intramedullary pinning: a technique not only for children." European journal of medical research **21**: 15.

Schild H, R. J. (1993). Ellenbogengelenk. Radiologische Diagnostik der Verletzungen von Knochen und Gelenken. R. G. Thelen M, Bücheler E Stuttgart - New York, Thieme: 331-344.

Schwarzkopf, E., N. Sudkamp and D. Maier (2018). "Engaging Osborne-Cotterill lesion with Mason 4 radial head elbow dislocation fracture: a case report of biomechanical importance and operative treatment." Journal of shoulder and elbow surgery **27**(3): e75-e78.

Seitz S., R. t. W. (2013). Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Ellenbogens. AE-Manual der Endoprothetik. S. B. In: Rütger W. Berlin, Heidelberg, Springer.

Sershon, R. A., T. J. Luchetti, M. S. Cohen and R. W. Wysocki (2018). "Radial head replacement with a bipolar system: an average 10-year follow-up." Journal of shoulder and elbow surgery **27**(2): e38-e44.

Shetty, S. K., A. Shetty, B. Balan, A. Ballal, H. R. Rai and A. Hegde (2017). "Excision Versus Fixation of the Radial Head: A Comparative Study of the Functional Outcomes of the Two Techniques." Journal of clinical and diagnostic research : JCDR **11**(2): RC01-RC03.

Shulman, B. S., J. H. Lee, F. A. Liporace and K. A. Egol (2015). "Minimally displaced radial head/neck fractures (Mason type-I, OTA types 21A2.2 and 21B2.1): are we "over treating" our patients?" Journal of orthopaedic trauma **29**(2): e31-35.

Smets, S., K. Govaers, N. Jansen, R. Van Riet, M. Schaap and F. Van Glabbeek (2000). "The floating radial head prosthesis for comminuted radial head fractures: a multicentric study." Acta orthopaedica Belgica **66**(4): 353-358.

Smith, G. R. and R. N. Hotchkiss (1996). "Radial head and neck fractures: anatomic guidelines for proper placement of internal fixation." Journal of shoulder and elbow surgery **5**(2 Pt 1): 113-117.

Smits, A. J., G. F. Giannakopoulos and W. P. Zuidema (2014). "Long-term results and treatment modalities of conservatively treated Broberg-Morrey type 1 radial head fractures." Injury **45**(10): 1564-1568.

Spinner, M. and E. B. Kaplan (1970). "The quadrate ligament of the elbow--its relationship to the stability of the proximal radio-ulnar joint." Acta orthopaedica Scandinavica **41**(6): 632-647.

Struijs, P. A., G. Smit and E. P. Steller (2007). "Radial head fractures: effectiveness of conservative treatment versus surgical intervention. A systematic review." Archives of orthopaedic and trauma surgery **127**(2): 125-130.

Swensen, S. J., V. Tyagi, C. Uquillas, R. J. Shakked, R. S. Yoon and F. A. Liporace (2019). "Maximizing outcomes in the treatment of radial head fractures." Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology **20**(1): 15-15.

Terra, B. B., T. J. Sassine, G. d. F. Lima, L. M. Rodrigues, D. V. H. Padua and A. d. Nadai (2016). "Radial head fracture associated with posterior interosseous nerve injury." Revista brasileira de ortopedia **51**(6): 725-729.

Thomas, T. T. (1929). "A Contribution To The Mechanism Of Fractures And Dislocations In The Elbow Region." Annals of surgery **89**(1): 108-121.

Thomsen, M., M. Loew and H. Nagerl (2001). "[Kinematics and biomechanics of the elbow joint]." Der Orthopäde **30**(9): 582-586.

Van Glabbeek, F., R. P. Van Riet, J. A. Baumfeld, P. G. Neale, S. W. O'Driscoll, B. F. Morrey and K. N. An (2004). "Detrimental effects of overstuffing or understuffing with a radial head replacement in the medial collateral-ligament deficient elbow." The Journal of bone and joint surgery. American volume **86-a**(12): 2629-2635.

Voutilainen, A., T. Pitkäaho, T. Kvist and K. Vehviläinen-Julkunen (2016). "How to ask about patient satisfaction? The visual analogue scale is less vulnerable to confounding factors and ceiling effect than a symmetric Likert scale." Journal of advanced nursing **72**(4): 946-957.

Wagner, M. (2003). "General principles for the clinical use of the LCP." Injury **34 Suppl 2**: B31-42.

Walid, O., B. Meriem, A. Zeineb, N. Nader and B. A. Mohamed (2016). "An Uncommon Combination of Fractures around the Elbow: Capitellum Fracture Associated with Radial Head Fracture." Journal of orthopaedic case reports **6**(4): 108-110.

Wegmann, K., K. J. Burkhart and L. P. Müller (2012). "Knöcherner Verletzungen des Ellenbogens." Orthopädie und Unfallchirurgie up2date **7**(05): 339-364.

Wegmann, K., J. Lamsfuss, C. Ries, W. F. Neiss, J. Franklin, L. P. Müller and K. J. Burkhart (2015). "Identification of overlengthening after replacement of the radial head with a bipolar prosthesis." Archives of orthopaedic and trauma surgery **135**(12): 1669-1674.

Wilcoxon, F. (1945). "Individual Comparisons by Ranking Methods." Biometrics Bulletin **1**(6): 80-83.

Yoon, A., G. J. King and R. Grewal (2014). "Is ORIF superior to nonoperative treatment in isolated displaced partial articular fractures of the radial head?" Journal of Clinical Orthopaedics and Related Research® **472**(7): 2105-2112.

Zarifian, A., H. Rahimi Shoorin, M. Hallaj Moghaddam, M. Fathi Vavsari, M. Gharedaghi and A. Moradi (2018). "The Best Option in Treatment of Modified Mason Type III Radial Head Fractures: Open Reduction and Internal Fixation Versus Radial Head Excision." The archives of bone and joint surgery **6**(5): 365-370.

Zeiders, G. J. and M. K. Patel (2008). "Management of unstable elbows following complex fracture-dislocations--the "terrible triad" injury." The Journal of bone and joint surgery. American volume **90 Suppl 4**: 75-84.

Zwingmann, J., M. Welzel, D. Dovi-Akue, H. Schmal, N. P. Sudkamp and P. C. Strohm (2013). "Clinical results after different operative treatment methods of radial head and neck fractures: a systematic review and meta-analysis of clinical outcome." Injury **44**(11): 1540-1550.

11 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich in chronologischer Reihenfolge der Entstehung der Arbeit, von der Idee bis zum Abschluss, bei folgenden Personen bedanken:

Bei Herrn Privatdozenten Dr. med. Martin Lucke und Prof. Dr. med. Sebastian Siebenlist, welche mir dieses Thema überließen. Ein ganz besonderer Dank geht an meinen Doktorvater Prof. Dr.med. Chlodwig Kirchhoff, der die Aufgabe mich zu betreuen, zu leiten und zu inspirieren, ohne zu zögern und mit viel Geduld übernommen hat und mir somit diese Arbeit erst ermöglichte.

Weiter möchte ich mich auch bei Privatdozenten Dr. med. Moritz Crönlein für seine Expertise und sein Mentoring im Verlauf der Arbeit bedanken.

Mein ausdrücklicher Dank gilt weiter Herrn Prof. Dr. Peter Biberthaler, dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie der TU-München, für seine allzeit wohlwollende klinische und wissenschaftliche Unterstützung.

Weiter hervorheben möchte ich die stetige Unterstützung durch das Team der Unfallchirurgie und ganz besonders durch Fritz Seidl M.A., die immer mit Rat und Tat zur Seite standen und einen wesentlichen Beitrag zur Entstehung dieser Arbeit leisteten.

Abschließend möchte ich mich noch bei meiner Ehefrau Dr. med. Caroline Ebrahimi-Zyskowski für Ihre Unterstützung und Geduld bedanken. Dank gebührt an dieser Stelle auch meinen Eltern. Besonderer Dank gilt hier meiner Mutter, Magister Elzbieta Zyskowski, die schon in meiner Kindheit eine grundlegende Neugierde für Medizin und Naturwissenschaften in mir angefacht hat und somit den Grundstein für meinen Weg geebnet hat. Meinem verstorbenen Vater, Justin Zyskowski, möchte ich für seine Unterstützung zu Lebzeiten danken.