

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für
Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
– Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Michael J. Raschke –

**Klinische Nachuntersuchung von Radiuskopffrakturen
Mason II – IV mit Evaluation der unterschiedlichen
Behandlungsoptionen**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Schax, Christoph
aus Essen
2021

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Frank Ulrich Müller

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Andre Weimann

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Tom Schmidt-Braekling

Tag der mündlichen Prüfung: 02.11.2021

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für
Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
– Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Michael J. Raschke –
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Andre Weimann
Korreferent: Priv.-Doz. Dr. med. Tom Schmidt-Braekling

ZUSAMMENFASSUNG

Klinische Nachuntersuchung von Radiuskopffrakturen Mason II – IV mit Evaluation der unterschiedlichen Behandlungsoptionen

Schax, Christoph

Die Radiuskopffraktur ist in Bezug auf die Gesamtheit aller Frakturen selten, jedoch im Rahmen von Ellenbogenverletzungen mit rund 30 % eine häufige Fraktur. Die von Mason 1954 entwickelte Einteilung der Fraktur wurde von Johnston und Hotchkiss weiterentwickelt und stellt die Grundlage der Therapieplanung dar. So steht neben der konservativen Therapie bei Mason I Frakturen die operative Versorgung mittels osteosynthetischer Versorgung bei zweit- bis viertgradigen Frakturen zur Verfügung. Für Mason III und IV Frakturen steht als weitere Option der prothetische Gelenkersatz zur Verfügung. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation erfolgte die Evaluation von 47 operativ versorgten Patienten im Rahmen einer klinischen Nachuntersuchungsreihe. Es wurden neben objektiven Parametern wie Bewegungsausmaß, der groben Kraft und standardisierten Griffe auch das subjektive Empfinden mittels DASH-Score und Anamnesegespräch erhoben. Der Arthrosegrad wurde radiologisch mittels Kellgren-Lawrence-Score bestimmt. Die Ergebnisse dieser Dissertation wurden zur Evaluation mit den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen verglichen und diskutiert.

Dabei stellt die Osteosynthese die Therapie der Wahl bei Mason II Frakturen dar. Mason III oder Mason IV Frakturen sollten nach Auswertung der hier vorliegenden Daten ebenfalls osteosynthetisch versorgt werden, da hierbei sowohl das subjektive als auch das objektive Outcome der Prothesenversorgung u.a. in puncto Bewegungsausmaß und subjektiven DASH-Score überlegen ist.

Tag der mündlichen Prüfung: 02.11.2021

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Klinische Nachuntersuchung von Radiuskopffrakturen Mason II – IV mit Evaluation der unterschiedlichen Behandlungsoptionen

in der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des
Universitätsklinikums Münster

unter der Anleitung von: Priv.-Doz. Dr. A. Weimann

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Korschenbroich, 02.11.2021

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Geschichte und Epidemiologie	2
2.1 Geschichte der Radiuskopffraktur	2
2.2 Epidemiologie der Radiuskopffraktur	2
3. Anatomie des Ellenbogengelenkes	3
3.1 Strukturelle Anatomie des Ellenbogengelenkes	3
3.1.1 Anatomie des distalen Humerus	4
3.1.2 Anatomie des proximalen Radius	5
3.1.3 Anatomie der proximalen Ulna	7
3.1.4 Anatomie des Kapsel-Bandapparates	9
3.1.5 Anatomie der Beugemuskulatur	11
3.1.6 Anatomie der Streckmuskulatur	13
3.1.7 Anatomie der Pronations- und Supinationsmuskulatur	15
3.1.8 Anatomie der Gefäß- und Nervenversorgung	17
3.2 Funktionelle Anatomie	21
3.2.1 Funktionelle Anatomie des Humeroulnargelenkes	22
3.2.2 Funktionelle Anatomie des Humeroradialgelenkes	24
3.2.3 Funktionelle Anatomie des proximalen und distalen Radioulnargelenkes	25
4. Biomechanik des Ellenbogens	31
4.1 Einführung	31
4.2 Kräfteanalyse	32
4.3 Biologische Schlussfolgerungen	38
5. Klinische Bedeutung	39
5.1 Traumamechanismus der Radiuskopffraktur	39
5.2 Klassifikation der Radiuskopffraktur	41
5.2.1 Klassifikation nach Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese	41
5.2.2 Klassifikation nach Mason	43

5.2.3	Klassifikation nach Johnston	44
5.2.4	Klassifikation nach Broberg und Morrey	45
5.2.5	Klassifikation nach Hotchkiss	45
5.2.6	Behandlungsalgorithmus nach Pike	46
5.3	Weitere Diagnostik	46
6.	Operative Versorgung	47
6.1	Operativer Zugangsweg	47
6.2	Osteosynthese	49
6.3	Arthroplastie	51
7.	Scores	53
7.1	DASH-Score	53
7.2	Kellgren- und Lawrence-Score	55
8.	Material und Methode	56
8.1	Patientenkollektiv	56
8.2	Klinische Untersuchung und Vermessung	57
8.3	Scores	58
8.4	Radiologische Untersuchung	58
8.5	Statistische Auswertung	58
9.	Ergebnisse	60
9.1	Demographische Daten	60
9.2	Anamnesegespräch	61
9.3	Klinische Untersuchung	63
9.4	DASH-Score	64
9.5	Radiologische Auswertung	65
9.6	Ergebnisse nach Versorgungsart (Mason III & IV)	66
9.6.1	Bewegungsausmaß	66
9.6.2	Anamnesegespräch	69
9.6.3	DASH-Score	70
9.6.4	radiologische Auswertung	71

9.7 Gegenüberstellung der Versorgungsarten	72
10. Diskussion	75
10.1 Erkenntnisse aus eigener Arbeit	75
10.2 Erkenntnisse aus Literatur im Vergleich mit eigenen Ergebnissen	76
10.3 Klinisches Fazit	83
11. Limitationen	84
12. Schlussbetrachtung	85
13. Literaturverzeichnis	86
14. Abbildungsverzeichnis	93
15. Tabellenverzeichnis	95
16. Abkürzungen	96
17. Danksagung	97
18. Lebenslauf	98
19. Appendix	I
19.1 Rohdaten	I
19.2 DASH-Score Fragebogen	IX

1. Einleitung und Fragestellung

Die Radiuskopffraktur gehört mit 1,7 % aller Frakturen zu den selteneren Frakturen des menschlichen Skelettes, tritt aber bei rund 33 % [32] aller Ellenbogenfrakturen – entweder als Mono- oder als Begleitverletzung – auf. Mit steigender Frakturintensität steigt auch das Risiko für Begleitverletzungen.

Dabei erfolgt die Einteilung der Radiuskopffraktur nach Mason [42], modifiziert nach Johnston [30] und Hotchkiss [24]. Aufgrund der hohen funktionellen Bedeutung des Ellenbogengelenkes für die Beweglichkeit der oberen Extremität ist eine traumaadaptierte Versorgung der Radiuskopffraktur von entscheidender Bedeutung. Von Pike et al. wurde ein möglicher Behandlungsalgorithmus vorgeschlagen, der sich an der Schwere der Fraktur orientiert [51]. Für die Frakturen nach Mason II besteht in der Literatur Einigkeit darüber, dass eine offene Osteosynthese die Therapie der Wahl ist [46]. Höhergradige Radiuskopffrakturen stellen die moderne Unfallchirurgie vor die Frage, welche Therapie das beste Outcome liefert. Hier herrscht Uneinigkeit in der wissenschaftlichen Literatur.

Diese Arbeit stellt eine Nachuntersuchungsreihe mit 47 Patienten vor, die in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Münster (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. M. J. Raschke) behandelt worden sind. Dabei wurde anhand des gemessenen Bewegungsausmaßes, der subjektiven Selbsteinschätzung der Patienten sowie radiologischer Arthrosezeichen das Outcome der Patienten erhoben. Folgende Fragestellungen wurden für diese Untersuchung zu Grunde gelegt:

- Inwieweit unterscheidet sich das Outcome von Patienten mit Mason II Frakturen von denen mit höhergradigen Frakturen (Mason III und Mason IV)?
- Besteht ein messbarer Unterschied zwischen der osteosynthetischen Versorgung und dem prothetischen Radiuskopfersatz bei Mason III und Mason IV Frakturen bezüglich Bewegungsausmaß, subjektiver Selbsteinschätzung und radiologischer Arthrosezeichen? Diese Ergebnisse sollen dann in den Kontext zur aktuellen Literatur gesetzt und mit dieser diskutiert werden.

2. Geschichte und Epidemiologie

2.1 Geschichte der Radiuskopffraktur

Die erste geschichtliche Erwähnung der Radiuskopffraktur findet sich bei Paul von Aegina (625 – 690 n. Chr.) [2] in seinem Buch über Frakturen des Unterarmes.

Im Jahre 1887 empfahl Helse rich als erster Arzt die Radiuskopffexzision bei starker Deformierung nach Fraktur. Bereits 1910 wurde die Röntgendiagnostik als wichtiges diagnostisches Hilfsmittel von Hammond erkannt und 1930 identifizierte Watson-Jones das Problem der Radiusverkürzung bzw. der Ulnadislokation nach einer Radiuskopfresektion. Erst elf Jahre später wurde die Idee einer Metallprothese von Speed in Betracht gezogen. In der Folgezeit experimentierte man über viele Jahre hinweg mit verschiedenen Materialien, so z.B. Swanson mit Silikon. Unter anderem wurden auch Keramik, Acryl, Polyethylene und verschiedene Metalle als Prothesenmaterial erprobt, die sich aber nicht durchsetzen konnten [2]. Heute ist eine bipolare Metallprothese bei der nicht rekonstruierbaren Radiuskopffraktur Therapie der Wahl [2]. Dabei haben sich mittlerweile unterschiedliche Modelle auf dem Markt etabliert.

Eine genauere Einteilung der Schwere und Pathologie der Fraktur erlaubte die 1954 von Mason aufgestellte Frakturklassifikation [42]. Diese wurde durch Johnston 1962 [30] und später durch Hotchkiss 1997 [24] noch erweitert (s. Kapitel 5).

2.2 Epidemiologie der Radiuskopffraktur

In der internationalen Literatur wird die Häufigkeit der Radiuskopffraktur mit 30 % [47] bis 33 % [25] aller Ellenbogenfrakturen angegeben. Nach Iftimie et al. beträgt der Anteil der Radiuskopffraktur an allen Frakturen menschlicher Knochen 1,5 – 4 % [25]. Nach Pomianowski et al. kommt es im Rahmen einer traumatischen Ellbogenluxation in 5 % bis 10 % der Fälle zu einer zusätzlichen periartikulären Fraktur eines Gelenkpartners, am häufigsten zu einer Fraktur des Radiuskopfes [52].

Für seine Studie zur Frakturklassifikation untersuchte Mason 1954 48 Männer und 52 Frauen im Alter von 20 bis 40 Jahren. Von den 100 Patienten

zeigten 62 % eine Mason I Fraktur, 20 % eine Mason II Fraktur und 18 % eine Mason III Fraktur [42].

Laut statistischem Bundesamt erlitten 2010 8146 Menschen in der BRD eine Fraktur des Radiuskopfes (ICD-10 S52.10). Davon männlich: n = 3334 (40,9 %), davon weiblich: n = 4837 (59,4 %). Der Altersgipfel lag mit 14 Frakturen pro 100.000 Einwohner in der Altersspanne zwischen 45 und 65 Jahren. Frauen waren 2010 in der altersstandardisierten Fallzahlstatistik mit zwölf pro 100.000 Einwohnern häufiger betroffen als Männer (8 pro 100.000 Einwohner) [17]. Frauen sind im Schnitt sieben bis 16,8 Jahre älter als Männer, wenn sie eine Radiuskopffraktur erleiden. Als frakturursächlich gelten sowohl niedrigenergetische Traumen wie der Sturz aus Standhöhe auf den ausgestreckten Arm, aber auch hochenergetische Traumen wie z.B. Sportunfälle. Bei Frauen liegt der Gipfel um die fünfte Lebensdekade, während er bei Männern in der dritten Lebensdekade zu finden ist. Kaas et al. machen dafür die gesteigerte Osteoporose bei postmenopausalen Frauen verantwortlich [32]. Männer gaben in dieser Untersuchung überwiegend Sport- oder Arbeitsunfälle als frakturursächlich an.

3. Anatomie des Ellenbogengelenkes

3.1 Strukturelle Anatomie des Ellenbogengelenkes

Das Ellenbogengelenk stellt die bewegliche Verbindung zwischen Oberarm und Unterarm dar. Dabei ist es durch seine große Beweglichkeit in allen Ebenen des Raumes von besonderer Bedeutung für die Aktivitäten des täglichen Lebens, insbesondere der Nahrungsaufnahme und der Körperpflege.

Das Ellenbogengelenk (Articulatio [Art.] cubiti) besteht aus drei Gelenkpartnern (Art. compositum):

- distaler Humerus
- proximale Ulna
- proximaler Radius

Diese bilden wiederum drei Teilgelenke, die Art. humeroradialis, Art. humeroulnaris und die Art. radioulnaris proximalis [62]. Abbildung eins zeigt schematisch die ossären Strukturen des Ellenbogengelenks.

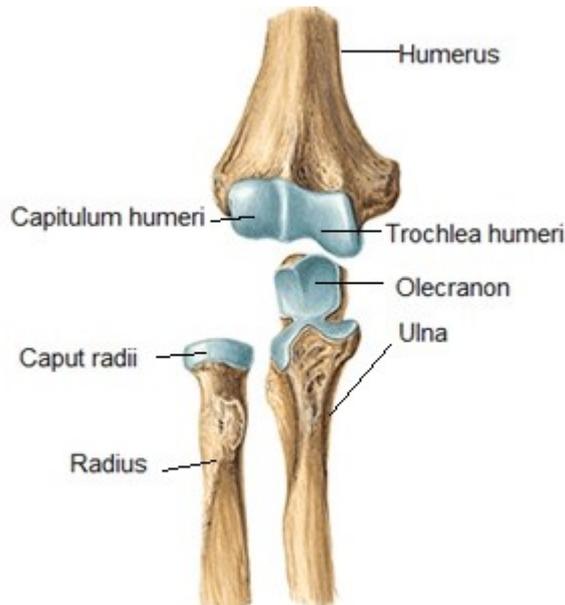


Abb. 1: Anatomie des Ellenbogengelenkes [50]

3.1.1 Anatomie des distalen Humerus

Der Humerus ist an seinem distalen, gelenkbildenden Ende abgeflacht und nach ventral geneigt. Er teilt sich gabelförmig in die beiden Epikondylen (Epicondylus ulnaris et radialis), die im tastbaren Anteil frei von Muskelansätzen sind. Diese Knochenvorsprünge rahmen die beiden Gelenkpartner (Ulna und Radius) des Humeroradial- und Humeroulnargelenkes ein. Zwischen dem ulnaren Epikondylus und der Fossa olecrani liegt der Sulcus nervi ulnaris, in dem der Nervus (N.) ulnaris von der Streckseite des Oberarmes auf die Beugeseite des Unterarmes nach distal zieht. [34,63]

Proximale Gelenkpartner des Humeroulnargelenkes sind die Trochlea humeri, die Fossa olecrani und die Fossa coronoidea. Die Fossa olecrani liegt auf der mediodorsalen Seite und nimmt in Streckstellung den proximalen Anteil des Olecranons auf. [34]

Die Fossa coronoidea nimmt als knöchernerne Aussparung auf der ventralen Seite des distalen Humerus den Processus coronoideus der Ulna bei Beugung auf. Beide genannten Fossae sind durch eine dünne Knochenlamelle voneinander getrennt, diese kann aber auch fehlen [34]. Das mediodistale Ende des Humerus ist die Trochlea humeri. Sie hat die Form einer Spule, die in ihrer Mitte eine sagittale Rille aufweist und von zwei konvexen Seitenflächen begrenzt wird. Es gibt drei anatomische Varianten: Bei der häufigsten

verläuft diese Rille ventral in sagittaler Richtung, dorsal jedoch meist nach unten außen (Abb. 2 I). Bei der weniger häufigen Form läuft die Trochlearrinne ventral schräg nach oben außen. Der dorsale Anteil ist wie beim häufigsten Typ nach schräg unten außen gerichtet. In diesem Fall läuft die Rinne in Form einer echten Spirale um die Trochlea (Abb. 2 II). Beim seltensten Typ verläuft die ventrale Rinne nach schräg oben innen, der rückwärtige Teil nach schräg oben außen. Infolgedessen beschreibt der Sulcus trochlearis einen nach medial geöffneten Kreis (Abb. 2 III) [34].

Auf der Lateralseite des Humerus liegt das Capitulum humeri. Es wird von der Trochlea humeri durch den Sulcus capitulotrochlearis begrenzt und bildet den proximalen Gelenkpartner des Humeroradialgelenkes. Das Capitulum hat nicht die komplette Form einer Halbkugel, sondern ist nach dorsal hin abgeflacht. Oberhalb des ventralen Capitulums befindet sich die Fossa radialis als knöcherne Aussparung zur Aufnahme des Caput radii in Beugestellung [23,34].

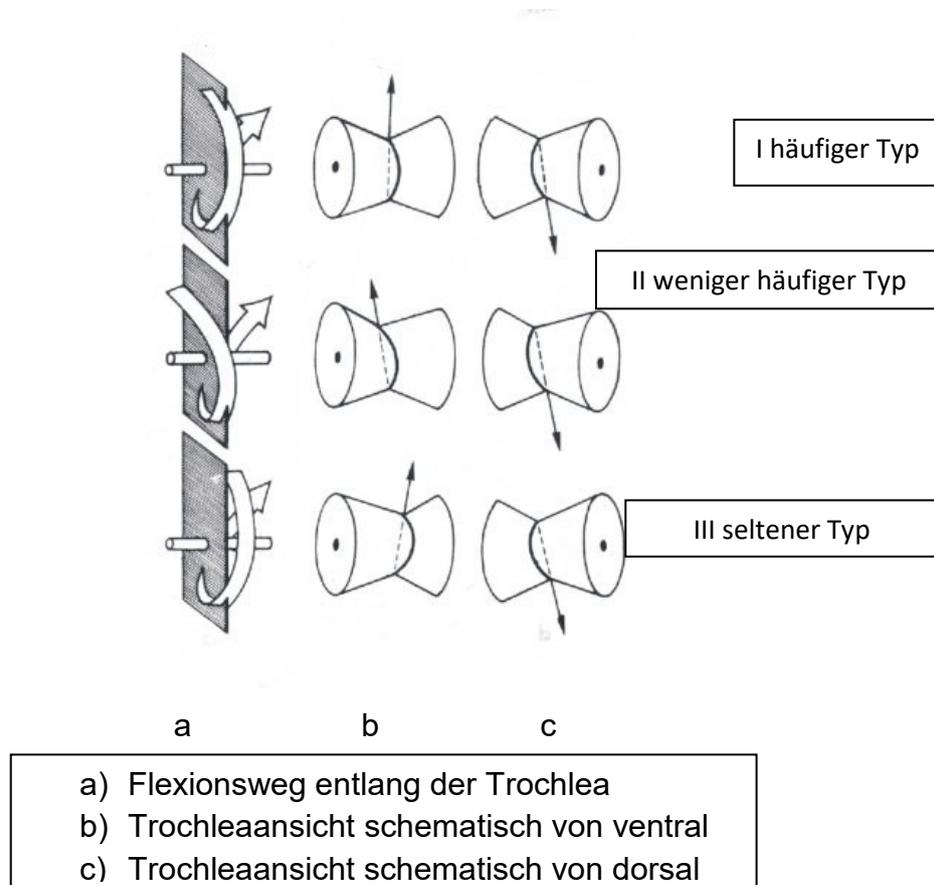


Abb. 2: Anatomische Varianten der Trochlearrolle [33]

3.1.2 Anatomie des proximalen Radius

Das proximale Ende des Radius wird durch das Caput radii gebildet. Dieses liegt ca. 3 mm distal des Capitulum humeri [23]. Die Form des Caput radii wird durch seine Funktion bestimmt [34]. Der längsovale Durchmesser beträgt im Durchschnitt minimal $21,9 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ bzw. maximal $22,9 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ [55]. Zentral befindet sich die Fovea articularis radii, die den konkaven distalen Gelenkpartner des Capitulum radii des Humerus aufnimmt. Bei maximaler Beugung gleitet der Radiuskopf in die Fossa radialis. Bei dieser Bewegungsrichtung hat nur der ventrale Anteil des Radiuskopfes Kontakt mit dem Capitulum humeri. Durch einen konvergenten Krümmungsradius der Fovea articularis mit der Kugelkalotte des Capitulum humeri kann sich der Radiuskopf während der Pro- und Supination auf dem Capitulum humeri drehen. Der Randwall um die Fovea articularis radii wird durch die Lunula obliqua gebildet. Diese artikuliert mit dem Sulcus capitulotrochlearis des Humerus [23].

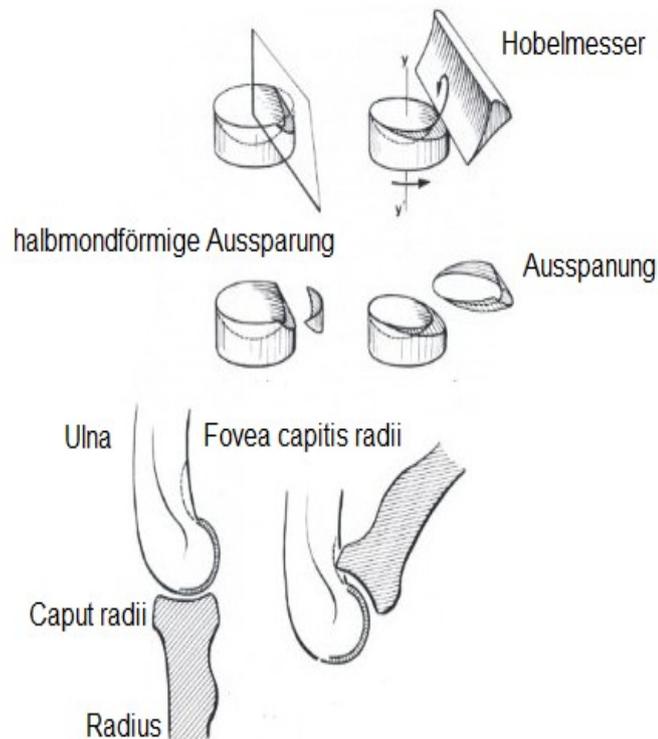


Abb. 3: Radiuskopfbeschaffenheit [33]

Die Circumferentia articularis radii bildet mit der Incisura radialis ulnae die Articulatio radioulnaris proximalis. Die Circumferentia articularis radii ist kon-

vex geformt und überknorpelt. Um die Flexion und Extension und das damit verbundene Gleiten im Sulcus capitulotrochlearis zu ermöglichen, hat der Radiuskopf an seiner Zirkumferenz eine halbmondförmige Aussparung (s. Abb. 3). Die Circumferentia articularis radii rotiert im ebenfalls überknorpelten Ligamentum (Lig.) anulare radii und der Incisura radialis ulnae im Rahmen der Pro- und Supination. Um diese Drehung reibungsarm zu ermöglichen, ist die Zirkumferenz im entsprechenden Bereich angeschrägt, gleichsam dem Ausspanen mit einem Hobelmesser (s. Abb. 3) [34].

3.1.3 Anatomie der proximalen Ulna

Die proximale Ulna umfasst mit ihrer Incisura trochlearis zangenartig den distalen Humerus. In ihrer Mitte trägt sie eine erhabene longitudinale Leiste, die sich genau in den Sulcus der Trochlea humeri einpasst. Nach proximal geht die Ulna dorsal in das Olecranon über, dem muskulären Ansatz für die Sehne des Musculus (M.) triceps brachii. Ventral bildet sie den Processus coronoideus als Ansatz für die Sehne des M. brachialis. [23,34]

Das Olecranon (2) bildet zusammen mit dem Epicondylus lateralis (3) und medialis (1) das sogenannte „Hueter-Dreieck“ (s. Abb. 4): In Extension stehen dabei diese drei Punkte in einer Linie, bei Flexion bilden sie ein gleichseitiges Dreieck. [34,63]

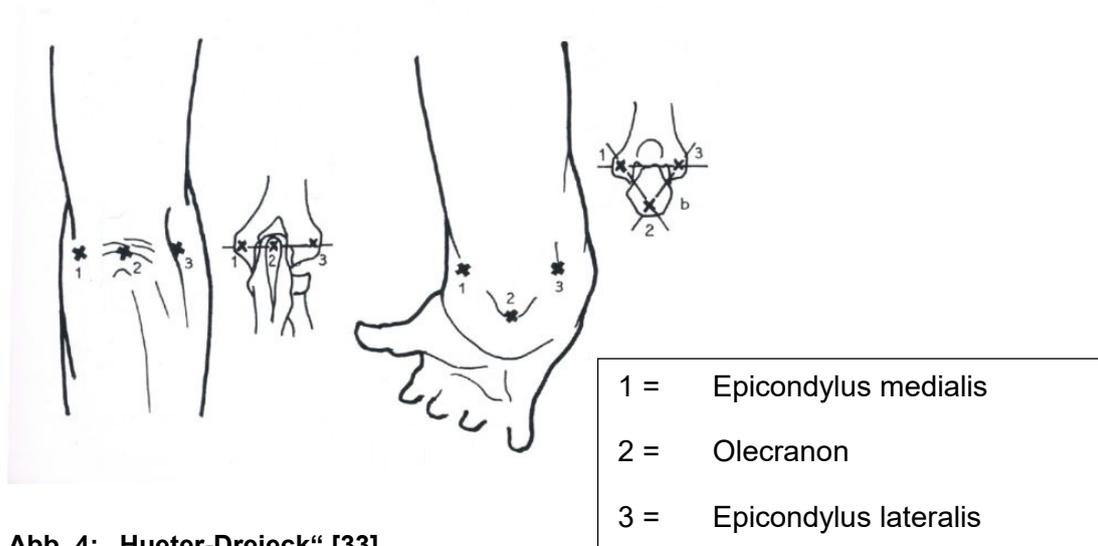


Abb. 4: „Hueter-Dreieck“ [33]

Auf der dem Radius zugewandten Seite liegt die Incisura radialis ulnae. Sie ist konkav geformt, sagittal ausgerichtet und überknorpelt. Kaudal davon liegt

der Ansatz des Lig. quadratum, welches Radius und Ulna aneinander bindet. Ventral und dorsal befindet sich jeweils der Ansatz des schlingenförmigen Ligamentum anulare, das den Radiuskopf an die Ulna fesselt [23,34].

Eine Gerade vom Olecranon zum Processus coronoideus bildet mit der Schaftachse des Humerus einen Winkel von 45° . In Kombination mit dem ebenfalls um 45° abgekippten Humerusende ergibt sich ein größtmöglicher Flexions- und Extensionsradius.

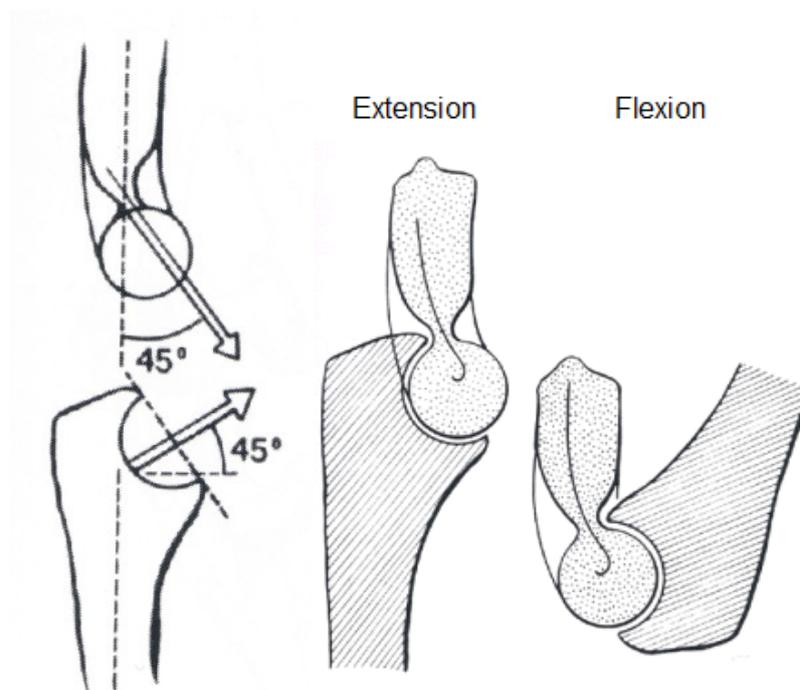


Abb. 5: Winkel zwischen Trochlea und Olecranon [33] & Abb. 5a: Art. humeroulnaris in Extension und Flexion [33]

3.1.4 Anatomie des Kapsel-Bandapparates

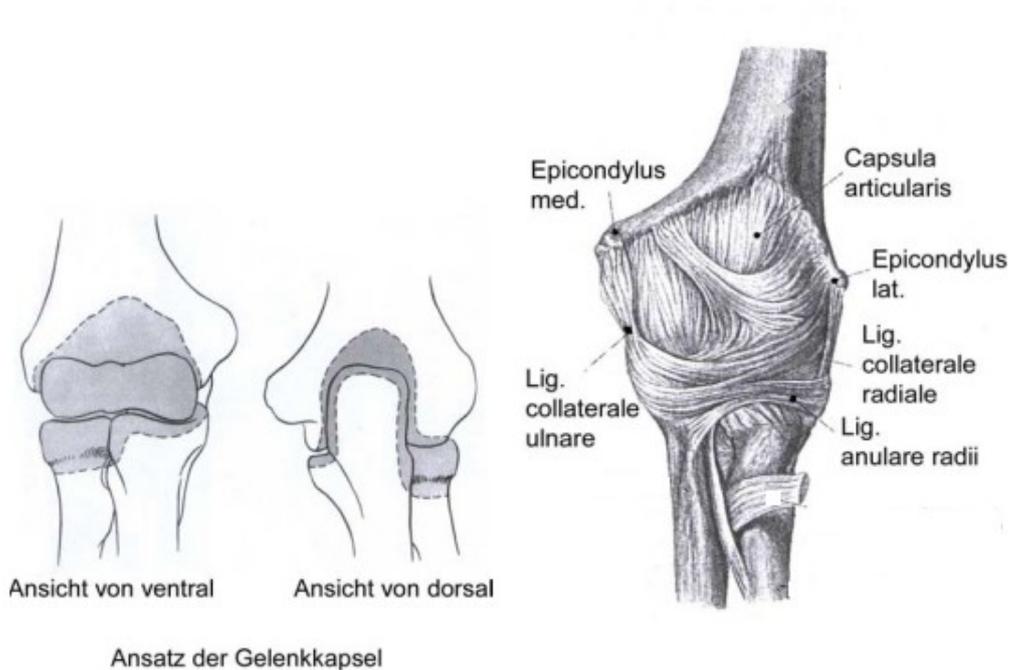


Abb. 6: Kapsel-Bandapparat des Ellenbogengelenkes [45,58]

Der Kapsel-Bandapparat ist der wichtigste Stabilisator im Ellenbogengelenk [55]. Die drei Teilgelenke des Ellenbogens werden von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umschlossen und liegen in einer Gelenkhöhle. Die innere Synovialauskleidung der Gelenkkapsel haftet außen an den knorpeltragenden Knochenabschnitten an. Das Olecranon, die Epikondylen sowie der Sulcus nervi ulnaris werden von dieser ausgespart. Die Fossa radialis, die Fossa coronoidea und die Fossa olecrani liegen innerhalb dieser Kapsel [23]. Die Kapsel besitzt insgesamt vier Recessus, die als funktionelle Bewegungsreserve für Flexion, Extension, Pro- und Supination dienen [48]. Ulnarseitig wird die Incisura radialis ulnae mit eingeschlossen. Am Radius liegt die Kapselinsertion etwas distal der Knochen-Knorpel-Grenze an der Circumferentia des Radiuskopfes [23].

Die Gelenkkapsel wird durch das ulnare und radiale Kollateralband verstärkt. Diese ziehen deltaförmig vom jeweiligen Epicondylus nach distal. Das ulnare Seitenband besteht aus drei Faserzügen – dem ventralen (anterior medial collateral ligament, AMCL), der zum Processus coronoideus zieht und dabei ins Lig. anulare einstrahlt, dem mittleren, kräftigsten Anteil und dem hintere-

ren Band (BADINETSches Band), das durch transversale Fasern aus der Pars medialis verstärkt wird (Lig. COOPERI) [34]. Das stärkste Band in diesem Komplex ist der anteriore Anteil des medialen Kollateralbandes (AMCL) [12]. Das radiale Seitenband ist direkt mit dem Lig. anulare verwachsen [49]. Eine makroskopische anatomische Trennung der beiden Strukturen ist nicht möglich, soll hier aber aus Gründen der Funktionsverständlichkeit erfolgen. Das Lig. collaterale radii besteht aus zwei Schenkeln (pars ventralis und pars medialis), die direkt mit dem Lig. anulare verwachsen sind und ohne weiteren Knochenkontakt inserieren [34].

Das Ligamentum epicondyloolecranium zieht vom Epicondylus ulnaris zum Olecranon und verbindet die beiden Ursprünge des M. flexor carpi ulnaris. Es fixiert zudem den Nervus (N.) ulnaris im Sulcus. Der bogenförmige Eingang in diesen Kanal wird auch Osborne'sche Arkade genannt [3].

Das Ligamentum anulare radii ist ungefähr einen Zentimeter breit und umschließt kreisförmig die Circumferentia articularis radii. Es geht jeweils ventral und dorsal von der Incisura radialis ulnae aus. Der innere Bandanteil ist überknorpelt. Zusammen mit der Ulna bildet es einen osteofibrösen Ring [49].

Das Lig. quadratum setzt kaudal der Incisura radialis ulnae an und zieht nach radial, wo es seine Befestigung an der medialen Basis der Circumferentia articularis radii findet [23].

Die Membrana interossea setzt ca. zwei Querfinger unterhalb der Tuberositas radii an und ihre Fasern, die den Radius und die Ulna in Längsrichtung fixieren, laufen bis kurz vor das distale Radioulnargelenk. Dabei besteht die Membrana interossea aus sich überkreuzenden, schräg verlaufenden Faserzügen, die besonders im mittleren Drittel stark ausgebildet sind. Ihre Bedeutung hat sie klinisch vor allem bei ihrer Verletzung/Ruptur im Sinne einer Essex-Lopresti-Verletzung. [15,23]

Die Membrana interossea wurde ursprünglich lediglich als Scharnier bei der Rotation des Radius um die Ulna und als Muskelansatzfläche gesehen. Studien haben jedoch gezeigt, dass sie eine wichtige Aufgabe bei der Kraftübertragung vom Radius auf die Ulna hat (s. Kap. 3.2). Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass es nach Radiuskopfresektion und Durchtrennung der

Membrana interossea und des triangulären fibrocartilaginären Komplexes bei axialem Zug zu einem Radiusvorschub von bis zu sechs Millimeter kommen kann, ohne dass der Radius nach Beendigung des Zuges wieder in seine Ausgangsstellung zurückkehrt [49].

3.1.5 Anatomie der Beugemuskulatur

- M. brachialis
- M. brachioradialis
- M. biceps brachii

Die Beugung des Ellenbogens ist sowohl beim Tragen und Heben von Lasten als auch beim Heranführen der Hand zum Mund von großer Bedeutung im alltäglichen Bewegungsablauf. Die wichtigsten Flexoren werden oben genannt. Der stärkste Beuger des Ellenbogens ist der M. biceps brachii. Er ist ein zweibäuchiger Muskel. Seine lange Sehne (Caput longum) entspringt vom Tuberculum supraglenoidale und zieht durch das Schultergelenk, durch den Sulcus intertubercularis, der vom Tuberculum minor und major des Humeruskopfes gebildet wird, nach distal. Durch sie wirkt der Muskel sowohl im Schulter- als auch im Ellenbogengelenk. Die kurze Bizepssehne (Caput breve) entspringt am Processus coracoideus und wirkt nur im Ellenbogengelenk. Beide Sehnen setzen in einer gemeinsamen runden Endsehne an der Tuberositas radii an [34]. Ein flächiger Sehnenanteil strahlt als sog. Lacertus fibrosus in die Unterarmfaszie ein [23]. Er hat auch supinierende Wirkung (s. 3.1.7).

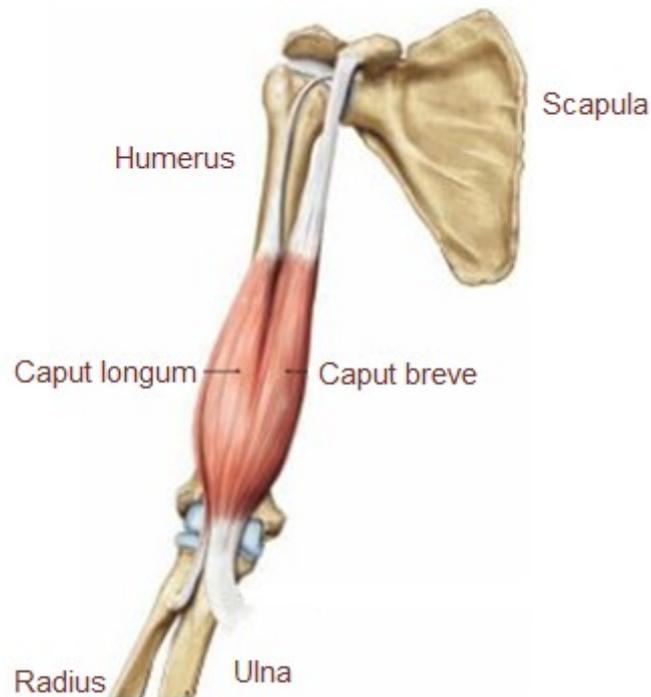


Abb.7: Musculus biceps brachii [50]

Ein Beuger, der seine Wirkung sowohl in Pronation- als auch in Supinationsstellung entfalten kann, ist der M. brachialis [23]. Er liegt direkt unter dem M. biceps brachii und zieht von der Vorderfläche des Humerus zur Tuberositas ulnae [34]. Er bildet zusammen mit dem M. brachioradialis, der am Epicondylus radialis entspringt, das Ende des Radialiskanals, der im Übergang vom mittleren zum distalen Drittel des Humerus liegt und durch den der N. radialis von der Mediodorsalseite des Humerus nach ventrolateral auf die Beugeseite spiralförmig übertritt [62].

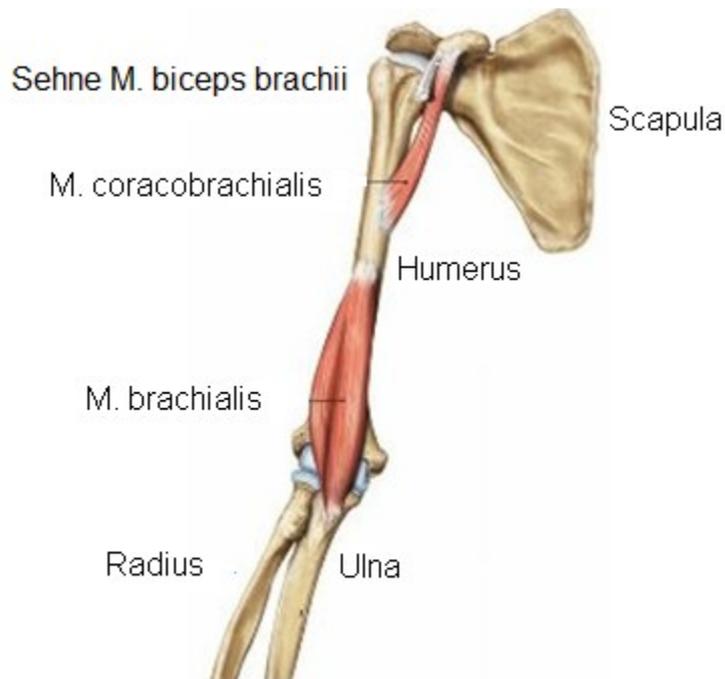


Abb. 8: Musculus brachialis [50]

Der M. brachioradialis liegt seitlich auf der radialen Seite des Humerus. Sein Ansatz liegt am Processus styloideus radii [34]. Seine Hauptfunktion ist die Flexion. Nur gering hat er supinierende Wirkung aus endgradiger Pronation, bzw. pronierende Wirkung aus endgradiger Supination. Die Innervation erfolgt dabei aus dem N. radialis [23,34,63]

3.1.6 Anatomie der Streckmuskulatur

- M. triceps brachii
- M. anconeus

Den drei Beugern des Ellenbogengelenkes steht funktionell nur ein Strecker gegenüber, der M. triceps brachii.

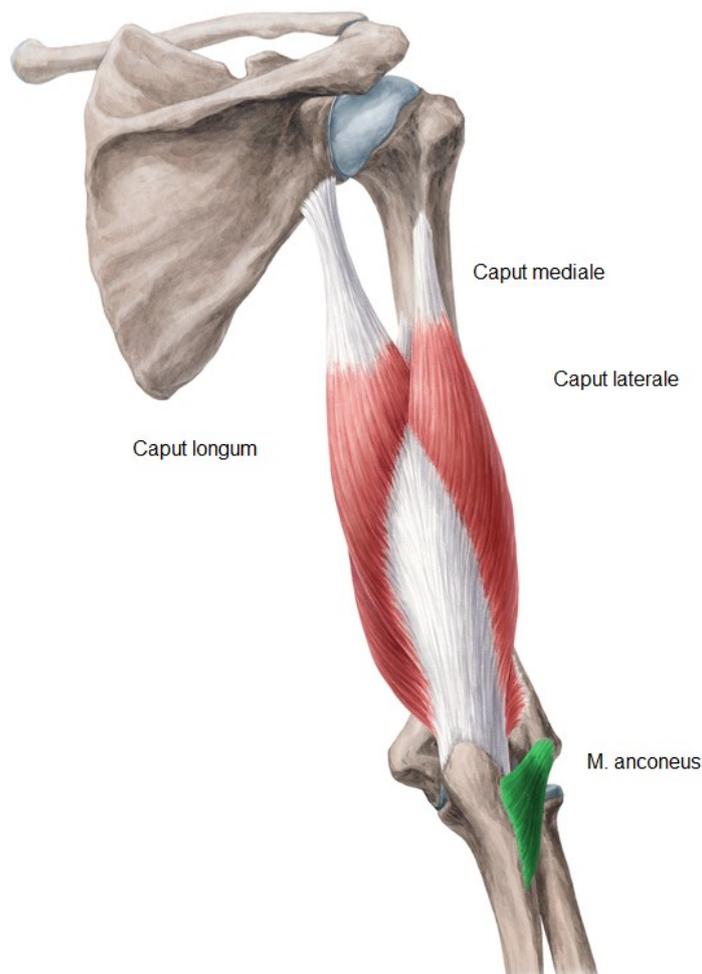


Abb. 9: Musculus triceps brachii [35]

Das Caput mediale des Triceps brachii entspringt auf der dorsomedialen Diaphyse des Humerus, unterhalb des Sulcus nervi radialis. Dieser wird kranial durch das Caput laterale begrenzt. Beide Köpfe haben auf Grund ihres Ursprungs lediglich eine eingelenkige Wirkung [34]. Das Caput longum hingegen ist ein zweigelenkiger Muskel. Es wirkt als Extensor im Ellenbogen und hat in der Schulter adduzierende und retrovertierende Wirkung. Sein Ursprung liegt am Tuberculum infraglenoidale der Scapula [34]. Die drei Bäu- che enden in einer gemeinsamen Endsehne, die am Olecranon ansetzt. Viele Sehnenfasern strahlen jedoch noch weiter in die Unterarmfaszie ein und gehen zum Teil in Sehnenzüge des Musculus extensor carpi radialis brevis über [23].

Zwischen Trizepssehne und Olecranon liegt zur Reduktion der Scherkräfte die Bursa subtendinea m. triceps brachii. Gelegentlich ist auch eine Bursa intratendinea innerhalb der Trizepssehne angelegt [55].

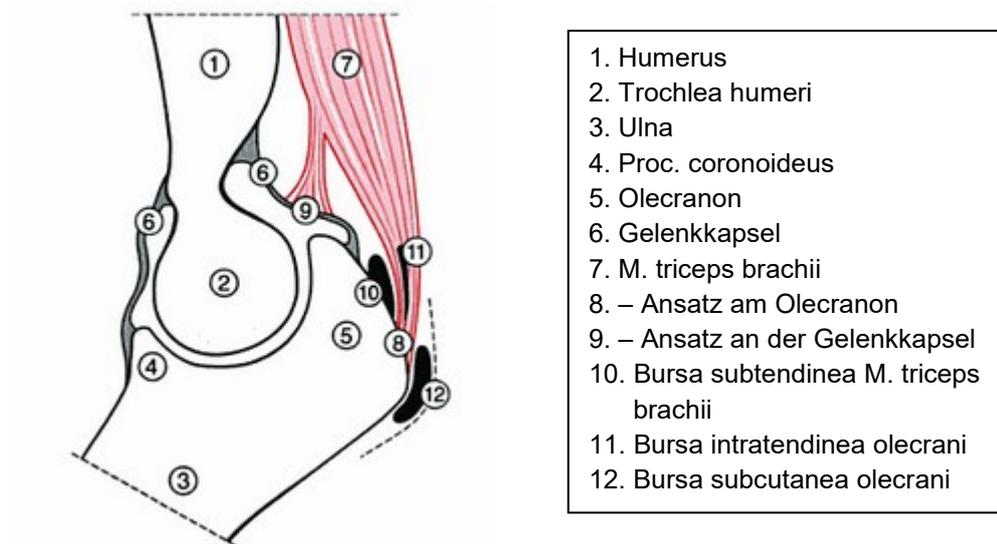


Abb. 10: Bursen des Ellenbogengelenkes [20]

Der Musculus anconeus zieht als Kapselspanner direkt distal des Caput mediale vom Epicondylus lateralis zur Hinterfläche der Ulna [23]. Er sorgt gleichzeitig mit der Membrana interossea für den Zusammenhalt von Radius und Ulna [49].

3.1.7 Anatomie der Pronations- und Supinationsmuskulatur

- Pronation: M. pronator quadratus
 M. pronator teres
- Supination: M. supinator
 M. biceps brachii

Die Umwendbewegung des Unterarms mit einem Gesamtbewegungsumfang von ca. 180° führt dazu, dass die Hand ein äußerst flexibles Werkzeug im dreidimensionalen Raum ist. Um dies zu ermöglichen, wirken am Unterarm oben genannte antagonistische Muskelgruppen zusammen [34].

Diese zwei Muskelpaare teilen sich auf in einen Zugmuskel und einen platten Rollmuskel. Der lange Zugmuskel der Pronation ist der M. pronator teres. Als wichtige anatomische Leitstruktur gelangt er vom Epicondylus medialis humeri und der proximalen Ulna zum außenseitlich gelegenen Pronationsknick [34] des Radius. Der ulnare und humerale Kopf bilden den Pronatorenkanal, durch den der N. medianus zieht [23].

Als platter Muskel fungiert der M. pronator quadratus, der palmar in der Tiefe direkt über der Membrana interossea am distalen Ende des Unterarms verläuft. Er entsendet Fasern zur Membrana interossea und zur Kapsel des distalen Radioulnargelenkes [23]. Die Innervation der pronierenden Muskeln erfolgt über Äste des N. medianus [34].

Begleitende Synergisten sind der M. brachioradialis und die Mm. extensor carpi radialis longus et brevis, die u.a. im Handgelenk extendieren und abduzieren, sowie der M. flexor carpi radialis, der ebenfalls die Hand abduziert, aber auch im Handgelenk flektiert [23].

Zu den Supinatoren gehören der M. biceps brachii und der M. supinator. Letzgenannter hat Kontakt zum Lig. anulare radii und windet sich vom lateralen Epicondylus um den Radius. Sein oberer sehniger Anteil bildet die Frohse'sche Arkade als Eintrittsloge für den R. profundus N. radialis [23].

Zusammen mit dem muskulären unteren Anteil des M. supinator entsteht der Supinatorkanal, durch den der R. profundus N. radialis hindurchzieht, bis er weiter distal den Muskel erneut durchbricht und verlässt [23]. Der kräftigere Supinator bei gebeugtem Ellenbogen ist der M. biceps brachii [64]. Sein Ansatz liegt an der Supinationskrümmung des Radius, der Tuberositas radii.

Die Rotationsbewegungen des Radiuskopfes werden durch die Mm. extensores pollicis, abductor pollicis longus und extensor indicis proprius unterstützt, die dorsalseitig schräg von ulna- nach radialseitig über die Pronations-/Supinationsachse ziehen [23].

3.1.8 Anatomie der Gefäß- und Nervenversorgung

Arterien (A.):

Die Blutversorgung des Armes erfolgt über die A. axillaris, die im Bereich des M. pectoralis major in die A. brachialis übergeht [64]. Die Blutversorgung des Ellenbogengelenkes erfolgt dabei über die A. profunda brachii aus der A. brachialis. Der arterielle Gefäßverlauf liegt im Bereich des Oberarmes auf der Beugeseite in Bindegewebslogen. Dem liegt, nach Rohen, das funktionelle Konzept zugrunde, dass durch eine Mitführung der Arterien eine Kompression bei Bewegung und damit eine Unterbrechung des Blutflusses verhindert wird [49].

Kurz vor der Aufteilung in ihre beiden Endäste gibt die A. brachialis die Aa. collateralis superior et inferior zum Rete articulare cubiti ab [1].

Die A. collateralis ulnaris superior erreicht zusammen mit dem N. ulnaris hinter dem Septum intermusculare brachii die mediale Rückseite des Ellenbogengelenkes [1].

Die A. collateralis ulnaris inferior entspringt tiefer und verläuft zunächst auf dem M. brachialis. Nach Perforation des Septum intermusculare brachii mediale geht sie als A. recurrens ulnaris in das Gefäßnetz ein [64].

Von der Aponeurose des M. biceps brachii bedeckt verläuft die A. brachialis nach distal und teilt sich auf Höhe der Ellenbeuge in ihre beiden Endäste, die A. radialis und A. ulnaris [1]. Diese geben recurrenente Äste zum Rete articulare cubiti ab; u. a. die A. interossea recurrens, die unterhalb des M. pronator teres aus der A. ulnaris abgeht [1].

Ein großer Anteil des arteriellen Gefäßnetzes wird aus der A. profunda brachii gespeist.

Es besteht aus den Aa. collateralis radialis und collateralis medialis. Die A. collateralis radialis verzweigt sich in einen vorderen Ast, der zusammen mit dem N. radialis auf die Beugeseite des Unterarmes zieht, und einen hinteren Ast, der den streckseitigen Anteil des Ellenbogengelenkes versorgt [64].

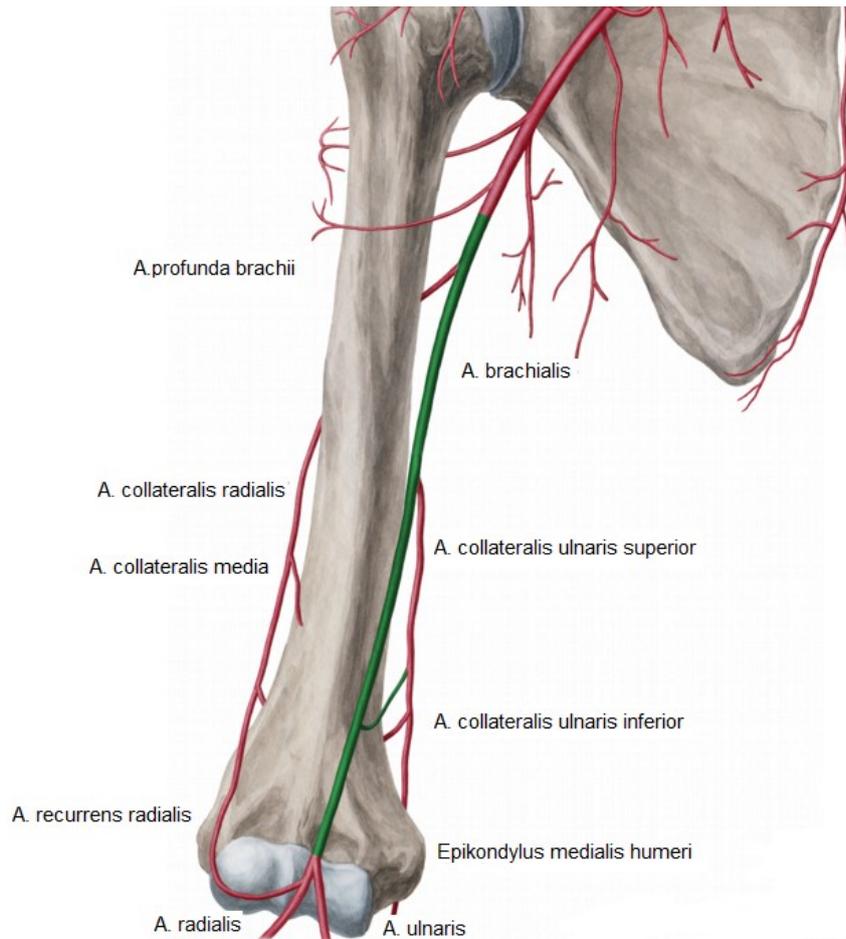


Abb. 11: Arterielle Gefäßversorgung des Ellenbogengelenkes [35]

Venen:

Es besteht ein System aus oberflächlichen Hautvenen und subfaszialen Venen. Alle Venen im Arm haben Venenklappen. Die oberflächlichen Venen sind mit den subfaszialen Venen über sogenannte Rr. perforantes verbunden [65]. Am Arm erfolgt der venöse Abtransport über analog zu den Arterien benannte Venen, wobei eine Arterie von zwei Venen begleitet wird. Die Gefäße liegen in einer gemeinsamen bindegewebigen Hülle [50]. Durch die arteriovenöse Kopplung und den gemeinsamen Verlauf in einer bindegewebigen Hülle wird die arterielle Pulswelle auf die sie begleitenden Venen übertragen. Der durch die Kompression der Venen generierte Blutfluss wird durch die Venenklappen unidirektional zum Herzen geführt [58].

Innervation:

Die Innervation der Armmuskulatur erfolgt aus dem Plexus brachialis. Die drei Hauptäste sind der N. medianus, der N. radialis und der N. ulnaris [1].

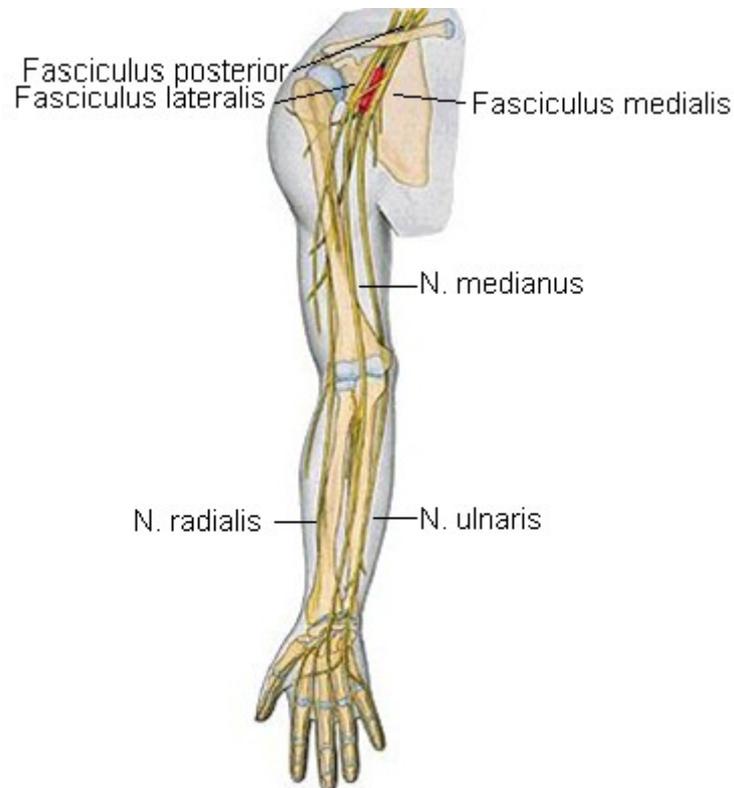


Abb. 12: Neuroanatomie des Armes [50]

Der N. medianus (C6 – Th1) ist ein gemischt sensibel-motorischer Nerv, der aus dem Plexus brachialis hervorgeht [63]. Er bildet sich aus der Radix lateralis des Fasciculus lateralis und der Radix medialis des Fasciculus medialis. Sie vereinigen sich vor der A. brachialis in der Medianusgabel [64]. Zunächst liegt der N. medianus lateral der Arterie, wechselt jedoch im weiteren Verlauf auf die mediale Seite der Arterie. Durch den Pronatorenschlitz im M. pronator teres (Medianustunnel) gelangt der Nerv zwischen den oberflächlichen und tiefen Flexoren des Unterarmes im handgelenksnahen Anteil durch den Karpaltunnel zur Hohlhand [63]. Er innerviert motorisch u.a. die Pronationsmuskulatur, Teile der Flexionsmuskulatur, Teile der kleinen Handmuskulatur sowie dreieinhalb Finger (D I – III und D IV radialseitig) sensibel [64].

Der N. radialis (C6 – Th1) gehört zu den kräftigsten Nerven, die aus dem Plexus brachialis hervorgehen. Als Endast des Fasciculus posterior windet er sich in Begleitung der A. profunda brachii schraubenförmig im Übergang des mittleren Drittels zum distalen Drittel um den Humerus [63]. Er gelangt zwischen M. brachialis und M. brachioradialis in die Ellenbeuge. Dort teilt er sich in seine Endäste, den sensiblen R. superficialis, der, bedeckt vom M. brachioradialis, in Richtung Hand zieht und die streckseitige Haut der radialseitigen Hand vom Handgelenk bis zu den proximalen und distalen Interphalangealgelenken der Finger I – III sowie die radialseitige Hälfte des Ringfingers sensibel innerviert, und den motorischen Endast, den R. profundus, der durch die Frohse'sche Arkade in der Supinatorloge verläuft, um die gesamte Streckmuskulatur der Finger und des Handgelenkes zu innervieren [64].

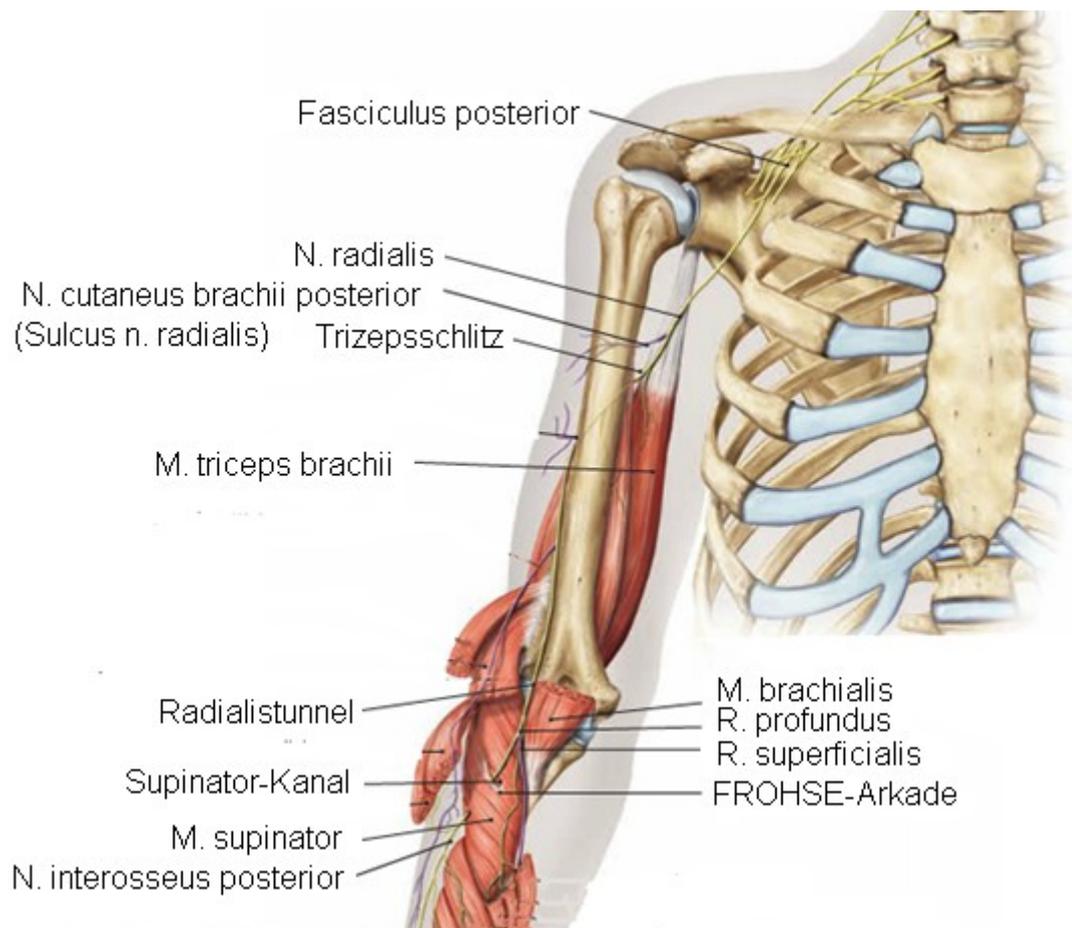


Abb. 13: Verlauf des N. radialis am Oberarm [50]

Der N. ulnaris (C5 – Th1) entsteht aus dem Fasciculus medialis. Er durchbricht von der Streckseite das Septum intermusculare mediale am Oberarm [64]. Am Epicondylus medialis verläuft er knapp unter der Haut, knochennah im Sulcus nervi ulnaris, um auf die Beugeseite des Unterarmes zu gelangen. Dort zieht er zwischen den Köpfen des M. flexor carpi ulnaris nach distal. Vor der Hohlhand teilt er sich in einen Ramus superficialis und einen Ramus profundus. Dieser tritt mit der ihn begleitenden A. ulnaris durch die Guyon-Loge in die Hohlhand ein [64].

3.2 Funktionelle Anatomie

Das Ellenbogengelenk ermöglicht Kombinationsbewegungen aus Flexion/Extension (Art. humeroulnaris) sowie Pro- und Supination (Art. radioulnaris prox. et distal.). Neben der hohen Beweglichkeit bietet es gleichzeitig in jeder Gelenkstellung eine so hohe Stabilität, dass es z.B. das gesamte Körpergewicht tragen kann [60].

Kapandji stellte fest, dass die Gelenkkette des gesamten Armes (Art. humeri, Art. cubiti, Art. manus) eine wesentlich höhere Flexibilität im Raum bietet als der in Abb. 14 skizzierte teleskopartige Verkürzungsmechanismus. So kann im Gegensatz dazu durch eine kombinierte, zirkelförmige Flexions-Umwendbewegung der Mund mit der Hand problemlos erreicht werden [34].

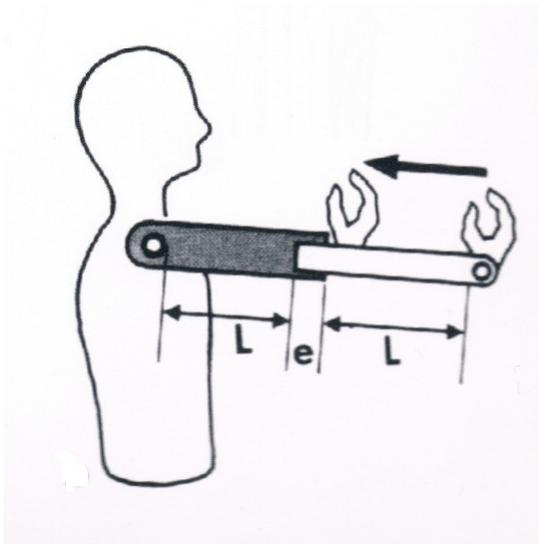


Abb. 14: Arm als Teleskopkonstruktion nach KAPANDJI [33]

3.2.1 Funktionelle Anatomie des Humeroulnargelenkes

Die primäre Funktion des Humeroulnargelenkes ist die Beugung des Unterarmes gegenüber dem Oberarm.

Dabei handelt es sich um ein funktionelles Scharniergelenk mit einem Freiheitsgrad. Die Gelenkachse läuft bei endgradiger Extension dabei transversal unterhalb der Epikondylen durch die Trochlea und das Capitulum humeri [57]. Durch die leichte Verkippung der Ulna gegenüber dem Humerus entsteht der physiologische „Cubitus valgus“ von ungefähr 10° . Dieser stellt sich besonders in maximaler Extension mit kombinierter maximaler Supination dar [23]. Im Rahmen der oben beschriebenen anatomischen Varianten der Trochlea humeri existiert für die Flexion keine einheitliche Achse. Je nach Beugungsgrad lässt sich lediglich die Momentaufnahme einer Achse erstellen. Bei endgradiger Flexion findet sich dann eine um einige Grade zur Extensionsachse gekippte Flexionsachse. Diese kann je nach Trochleaanatomie sowohl nach medial als auch nach lateral hin ansteigen [34].

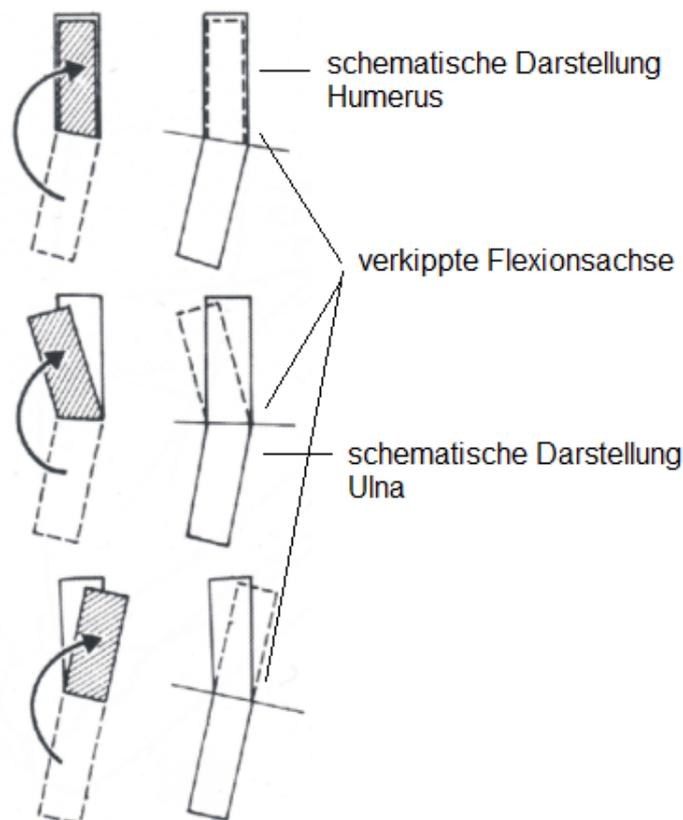


Abb. 15: Achsenmodifikation der Art. humeroulnaris [33]

Thomsen et al. beschreiben das Ellenbogengelenk als eine *Articulatio composita*, weil hier nicht zwei Gelenkpartner über einen Kontaktschwerpunkt miteinander verbunden sind, sondern drei Gelenkpartner über zwei Kontaktschwerpunkte miteinander artikulieren, zum einen die Trochlea und zum anderen die *Incisura trochlearis* [62].

Die Bewegungsausmaße des Gelenkes betragen je nach Literaturangabe und je nach individuellem Konstitutionstyp für die Flexion 130° – 160° [23, 34, 59]. Die Extension über Neutral-Null ist nach Kapandji nicht vorhanden, da die Ausgangsstellung der vollständigen Extension entspricht [34]. Bei Frauen und Kindern besteht jedoch zum Teil durch eine besondere Laxizität des Bandapparates die Fähigkeit, von bis zu 15° über die Neutral-Null-Position hinaus zu extendieren [57].

Wie bereits beschrieben ist dieser große Bewegungsumfang der Ulna zum einen durch Knochenaussparungen am ventralen und dorsalen Humerus (*Fossa coronoidea* und *Fossa olecrani*) sowie durch die Verkippung der beiden Gelenkpartner um jeweils 45° in sagittaler Ebene zueinander möglich [34].

Die aktive Bewegung wird durch den Kontakt des Weichteilmantels gehemmt (Weichteilhemmung). Je nach muskulärer Konstitution kann der Bewegungsumfang dadurch stark variieren. Für die passive Beweglichkeit können Winkelgrade bis 160° erreicht werden, da die entspannte Flexionsmuskulatur dann besser komprimiert werden kann. Die passive Bewegung wird durch die ossären Strukturen (Knochenhemmung) und durch den Kapsel-Bandapparat (ligamentäre Hemmung) limitiert [34].

Die Extension wird primär durch die Knochenhemmung des in der *Fossa olecrani* anschlagenden Olecranons gehemmt. Haan et al. beschreiben die Möglichkeit einer Innen- und Außenrotation im Humeroulnargelenk um maximal 5° [12].

Die Sicherung des Gelenkes erfolgt über den oben beschriebenen Bandapparat. Dabei wird die Ulna wie in einer Knochengabel, die sich von den beiden Epikondylen aufspreizt, durch die Kollateralbänder eingespannt [34]. Durch diese beidseitige Führung verhindern sie eine Ab- und Adduktionsbewegung und halten die gesamte Gelenkführung in Flexion und Extension

stabil. Nach einer posttraumatischen Radiuskopfresektion kommt dem Lig. collaterale radii (RCL) nach Thomsen et al. eine entscheidende Rolle bei der Stabilisierung des Gelenkes zu [62]. Gegen Zugkräfte ist die Ulna durch die bandhaften und muskulären Strukturen gut gesichert. Auch bei rechtwinkliger Beugung wird die Stabilität des Gelenkes mittels Zuggurtung der Ulna durch den M. triceps brachii und den M. brachialis gewährleistet. Druckkräfte werden lediglich durch die knöchernen Strukturen abgefangen [34].

3.2.2 Funktionelle Anatomie des Humeroradialgelenkes

Das Humeroradialgelenk erfüllt die anatomischen Kriterien eines Kugelgelenkes (Art. sphaeroidea). Das Capitulum humeri könnte sich auf dem Caput radii in allen drei Ebenen drehen; allerdings besitzt dieses Gelenk nur zwei Freiheitsgrade [54].

Durch die Fesselung des Radius durch das Ligamentum anulare und die Membrana interossea an die Ulna wird der Radius bei allen Bewegungen im Humeroulnargelenk mitgeführt. Die Bewegungen erfolgen um die gleiche Gelenkachse als Flexion und Extension [23].

Die zweite Bewegung ist die axiale Rotation des Caput radii auf dem Capitulum humeri im Rahmen der Pro- und Supination. Dies geschieht völlig unabhängig von der Stellung des Ellenbogens in der transversalen Ebene [57]. Diese Bewegung findet gleichzeitig auch in der Articulatio radioulnaris proximalis et distalis statt.

Damit wird das Humeroradialgelenk zu einem funktionellen Drehscharniergelenk (Trochoginglymus) [54].

Die Kapsel des Ellenbogens ist weitestgehend entspannt, so dass Rotationsbewegungen des Radiuskopfes möglich sind. Dies hat jedoch zur Folge, dass dadurch eine aktive Gelenksicherung nicht möglich ist. Dementsprechend weist das Gelenk in Extension nur eine geringe Stabilität gegenüber Zugkräften auf und muss zur Stabilisierung durch die Muskulatur unterstützt werden [34]. Der Radiuskopf kann unter dem Lig. anulare leicht hervorluxieren, insbesondere bei Kindern (Pronatio dolorosa, Chassaignac-Verletzung) [34]. Bei Flexion fixiert dieses Band den Radiuskopf jedoch gut an der Elle, obwohl der M. biceps brachii hier eine enorm luxierende Kraft

aufbauen kann. Druckkräfte werden wie im Humeroulnargelenk über die knöchernen und knorpeligen Strukturen abgeleitet. Dies kann bei zu hoher Belastung zu einem Bruch des Caput radii führen (axialer Stauchungsbruch/Impressionsfraktur) [34].

Die Membrana interossea hat nach Werner und Koebke keinen Einfluss auf die Übertragung von Stauchungskräften vom Radius über die Ulna auf den Humerus [66]. Dies war von Cotta 1958 noch als auslösendes Kraftmoment für die Fraktur des Radiuskopfes gesehen worden. Seiner Meinung nach verhindert sie durch ihren schrägen Faserverlauf jedoch eine Migration des Radius nach distal nach einer operativen Radiuskopfresektion [9].

3.2.3 Funktionelle Anatomie des proximalen und distalen Radioulnargelenkes

Die Umwendbewegung des Unterarmes ist einzigartig bei Primaten [55]. In Zusammenarbeit mit den weiteren Muskeln und Gelenken des Armes ist ein Bewegungsradius von 360° möglich. Somit kann fast jede Stelle des Körpers erreicht werden und die Hand wird zu einem vielfältig einsetzbaren Werkzeug [57].

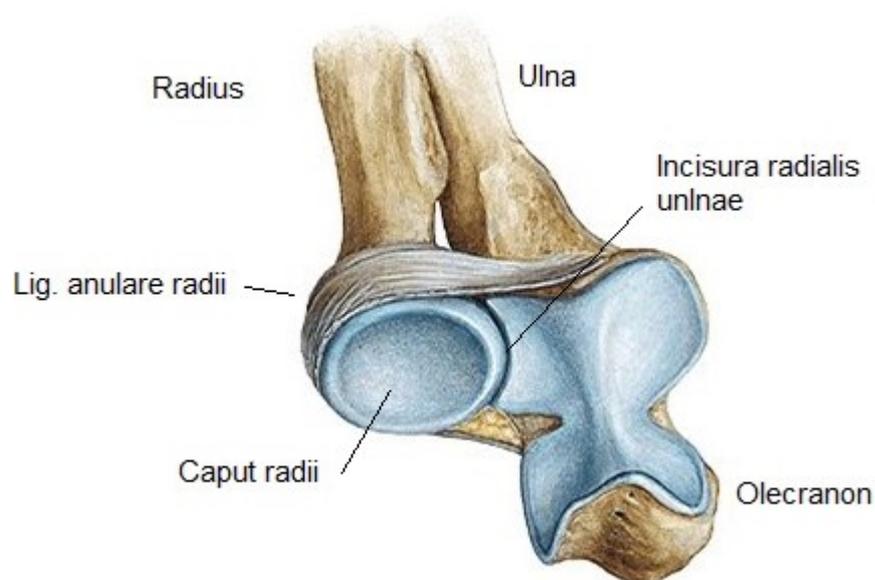


Abb. 16: Art. radioulnaris proximalis [50]

Die Pro- und Supination ist die komplexeste aller Bewegungen am Arm, denn sie umfasst die gleichzeitige Bewegung in mehreren Gelenken. Folgende Gelenke sind beteiligt:

- Art. radioulnaris proximalis:
In ihr dreht sich die Circumferentia radii gegen die Incisura radialis der Ulna und das Lig. Anulare [23, 34].
- Art. humeroradialis:
Die Fovea des Caput radii rotiert auf dem Capitulum humeri, während gleichzeitig die Lunula im Sulcus capitulotrochlearis rotiert [23].
- Art. radioulnaris distalis:
Die Incisura ulnaris radii gleitet gegenüber der Circumferentia articularis ulnae [23].
- Beteiligt ist außerdem der Discus articularis ulnocarpalis, der durch seine Fixation am Radius bei den Pro- und Supinationsbewegungen auf dem Ellenkopf verlagert wird und das körpernahe distale Radioulnargelenk vom körperfernen Radiocarpalgelenk trennt [23].



Abb. 17: Supinationsachse des Unterarmes [50]

Das proximale Radioulnargelenk ist ein Zapfengelenk mit einer Achse und einem Freiheitsgrad. [34] Es ist mit einem Kugellager sehr gut vergleichbar. Der Radiuskopf stellt das zentrale Element des Kugellagers dar. Das

Ringband und die Incisura radialis der Elle verkörpern den äußeren Teil. Dabei ist es von Vorteil, dass das Ringband in seiner Struktur nicht statisch sondern leicht elastisch verformbar ist [34].

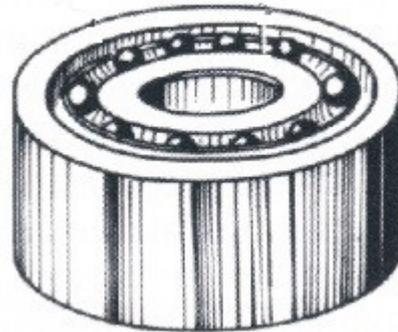


Abb. 18: Kugellager [33]

Der Radiuskopf ist keine zylinderförmige Struktur, sondern eiförmig in der vertikalen und elipsoid in der horizontalen Ebene. Die größte Dehnung erfährt das Ringband bei voller Supination bis hin zu 30° Supination. Die geringste Ausdehnung weist der Radiuskopf bei 60° Pronation auf [37].

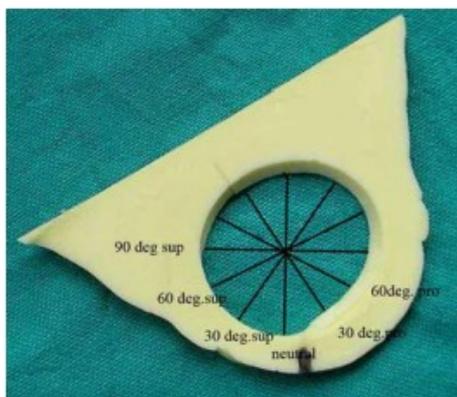
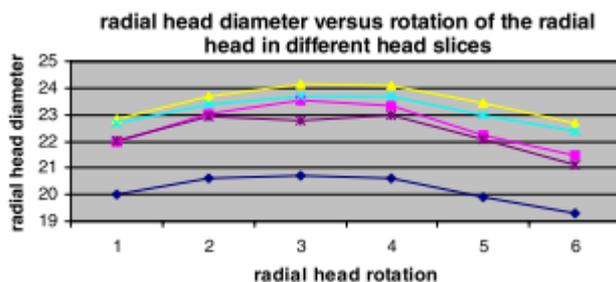


Abb. 19: Radiuskopfdurchmesser [37]

Das distale Radioulnargelenk ist ein Radgelenk mit einem Freiheitsgrad. Dabei rotiert die konkave Gelenkfläche des distalen Radius, welche von den beiden Margines interossei begrenzt wird, um den zylinderförmigen Ulnakopf. Durch den Discus articularis ulnocarpalis ist die Elle vom Radiocarpalgelenk getrennt [34].

Die beiden Knochen des Unterarmes sind über die Membrana interossea aneinander gebunden. Dadurch sind das körpernahe und das körperferne Gelenk dieser beiden Knochen ebenfalls funktionell aneinander gebunden [57]. Dies bedeutet, dass beide Gelenke auch eine gemeinsame Achse haben, um die sie sich bewegen. Diese verläuft bei rechtwinklig gebeugtem, supiniertem Ellenbogen vereinfacht vom Caput radii durch das Caput ulnae und durch den Mittelfinger der Hand. Dabei beschreibt der Radius einen kegelförmigen Bogen um die Ulna, dessen Basis am distalen Ende des Unterarmes zu liegen kommt [34]. Bei der Supination liegen beide Knochen parallel nebeneinander.

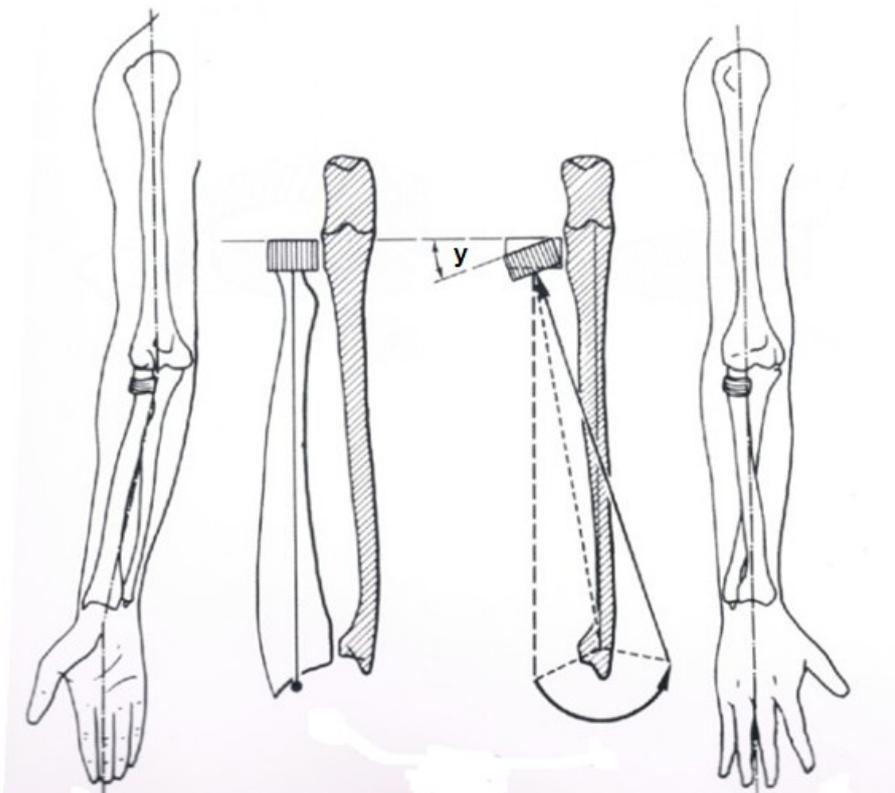


Abb. 20: Achse und Bewegungskegel der Umwendbewegung [33]

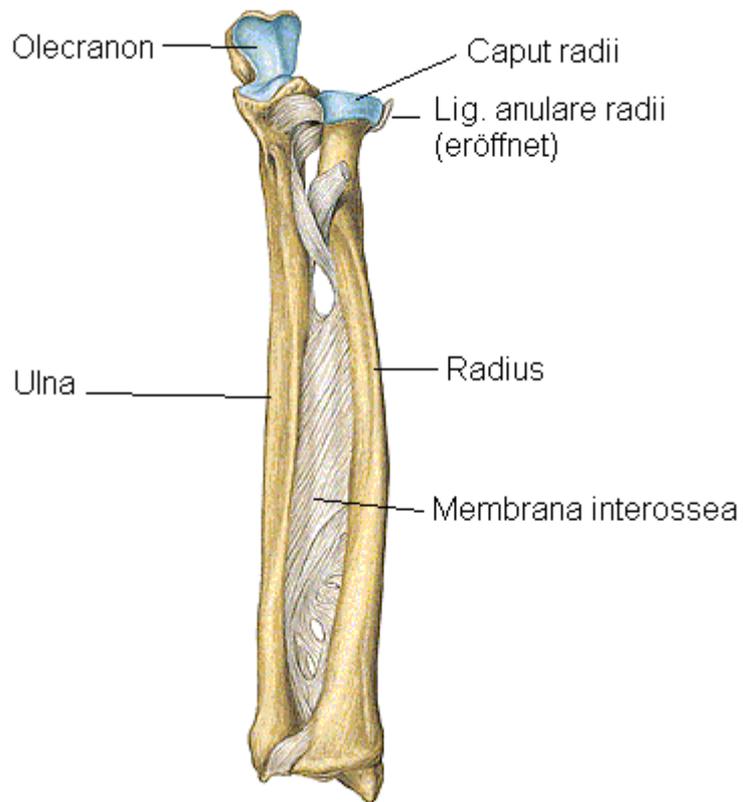


Abb. 21: Unterarm in Supinationsstellung [50]

Das Bewegungsausmaß wird hier vornehmlich durch die Membrana interossea und das Ligamentum quadratum gehemmt. In Supinationsstellung verschiebt sich die Ulna um wenige Grad nach medial. Der längsovale Durchmesser des Caput radii liegt dabei parallel zur Incisura radialis ulnae und die Tuberositas radii zeigt hierbei nach mediopalmar [23,37].

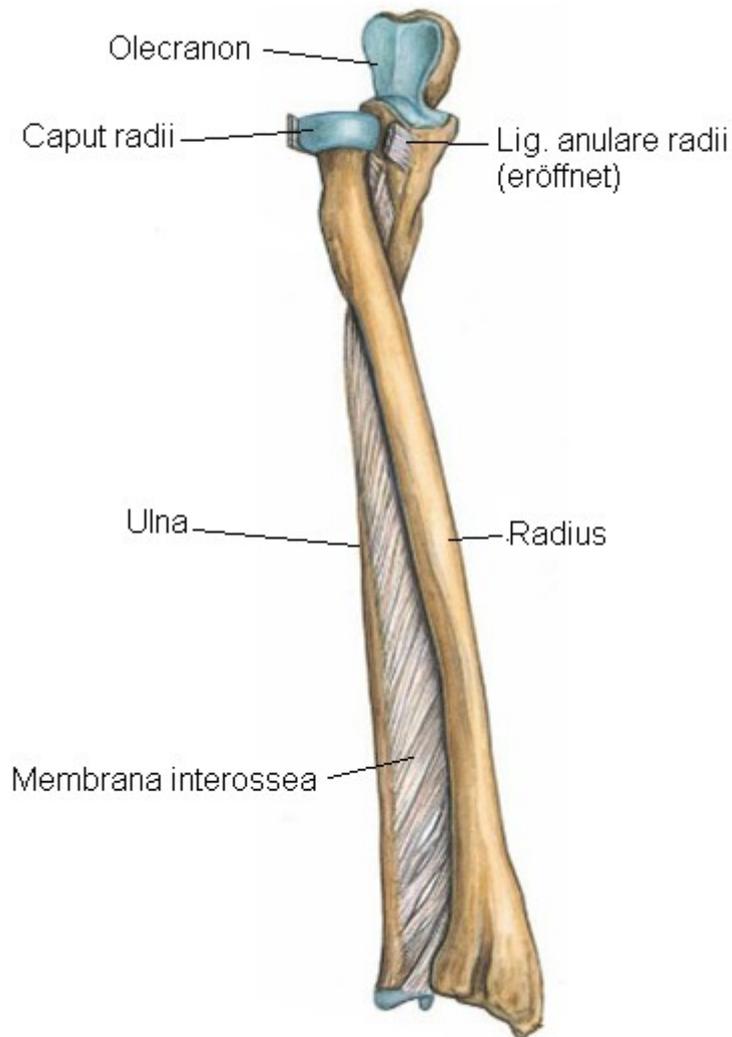


Abb. 22: Unterarm in Pronationsstellung [50]

Bei der Pronation rotiert der Radius um die Ulna. Die beiden Knochen überkreuzen sich und der Radius kommt mediodistal der Ulna zu liegen. Dabei kippt der Radiuskopf um den Winkel γ nach distal hin (Abb. 20) Gleichzeitig verkippt die Ulna um wenige Grad und verlagert sich nach lateral. Dadurch vergrößert sich der Abstand von Ulna und Humerus im Humeroulnargelenk, so dass der Gelenkspalt klappt [23]. Der in Supination deutlich sichtbare Cubitus valgus verschwindet durch diese gegensinnige Verkipfung der Knochen zueinander und der gestreckte Arm bildet eine nahezu gerade Achse durch Ober- und Unterarm [34].

Zusätzlich befindet sich der größere, längsovale Durchmesser des Radiuskopfes in Querstellung. Dadurch entsteht mehr Raum für die Tuberositas radii im Knochenzwischenspalt zwischen Radius und Ulna. Die Bewegung

wird durch die Anspannung der Membrana interossea und durch die Kompression des M. flexor pollicis longus sowie der Mm. flexores digitorum profundi zwischen den sich überkreuzenden Knochen terminiert [23]. Durch die Kopplung der beiden Gelenke ergibt sich ein Gesamtbewegungsausmaß von $120^\circ - 180^\circ$ für Pro- und Supination [23, 53, 56]. Nach der Neutral-Null-Methode zeigt der Daumen bei rechtwinklig gebeugtem Ellenbogen in der Null-Grad-Stellung senkrecht nach oben. Je nach Literaturquelle werden für die Umwendbewegungen unterschiedliche Gradzahlen angegeben. Die Supination ist im Allgemeinen weiter ausführbar als die Pronation. Rohen [54] gibt hierfür $70^\circ - 85^\circ$ an, Schünke [57] 90° . Die Pronation wird von den Autoren mit $65^\circ - 75^\circ$ [54] bzw. 90° [57] angegeben. Laut Schünke gibt es zwischen dem Humeroulnar- und dem Radioulnargelenk noch ein Zwischen-gelenk, in dem der Sulcus capitulotrochlearis mit der Lunula obliqua des Radiuskopfes artikuliert [57].

4. Biomechanik des Ellenbogens

4.1 Einführung

Dieser Abschnitt soll zum besseren Verständnis der Pathomechanismen der Radiuskopffraktur einen kurzen Überblick über die im Ellenbogengelenk wirkenden Kräfte geben.

Das Ellenbogengelenk hat einen außerordentlich großen und komplexen Bewegungsumfang. Gleichzeitig muss es immense Kräfte abfangen können. Bei axialer Stauchung werden 40 % der einwirkenden Kräfte über das Humeroulnargelenk und 60 % über das Humeroradialgelenk abgefangen [16].

Am Handgelenk werden bei axialer Stauchung initial 80 % der Belastung über den distalen Radius und 20 % der Belastung über die distale Ulna abgeleitet. Über die Membrana interossea wird ein Teil der Kräfte umgeleitet, so dass es zu dem oben beschriebenen Kräfteverhältnis kommt und der Radiuskopf somit eine axiale Kraftentlastung erfährt [15].

Die Muskeln, die auf das Ellenbogengelenk wirken, sind in der Lage, gegen den Widerstand schwerer Lasten zu agieren. Fornalski et al. beschreiben, dass die Muskeln, die das Ellenbogengelenk überqueren, die größte Arbeitskapazität und Verkürzungsfähigkeit des gesamten Körpers besitzen [16]. Allerdings ist die Wirkung der Muskeln nicht in jeder Gelenkstellung gleich effektiv.

4.2 Kräfteanalyse

Die genaue Analyse der einzelnen Kräfte und ihrer jeweiligen Wirkungsweise im Ellenbogengelenk ist äußerst kompliziert, da sie von verschiedenen Faktoren abhängig sind – u.a. der Größe der zu bewältigenden Last und der Stellung der Knochen, Muskeln und Bänder zueinander [45].

Bei jeder Bewegung wirkt auf das Gelenk sowohl eine tangentielle Kraft T sowie eine Zentripetalkraft C , die senkrecht auf dem Vektor der tangentialen Kraft T steht (s. Abb. 25) und auf die Drehachse der Bewegung gerichtet ist. Durch die Massenträgheit wirkt der Zentripetalkraft C die Zentrifugalkraft mit gleichem Betrag direkt entgegen [22].

Eine zu betrachtende Bewegungskomponente ist die Streckung des Unterarmes. Bei vollständig gestrecktem Unterarm hat der zentrifugale Vektor, der vom Drehpunkt des Ellenbogengelenkes ausgeht, das Bestreben, den Unterarm nach dorsal hin aus seiner Funktionsstellung zu luxieren. Dies wird jedoch durch die tangentielle Kraft, also die Wirkung der Muskulatur, die nach kranial zieht und den Unterarm in seine Gelenkführung einpresst, verhindert (s. Abb. 25.4) [34].

Wenn nun der Unterarm um $20^\circ - 30^\circ$ gebeugt ist, ist der zentrifugale Vektor gleich null. Das bedeutet, dass der tangentielle Vektor T als Muskelkraft zur vollen Verfügung steht [34]. Im Bereich von $0^\circ - 30^\circ$ wird die kräftemäßig größte Belastung über den Radiuskopf abgeleitet [16]. Mit zunehmender Beugung wird T jedoch immer kleiner, und zwar um den Betrag der Zunahme des zentripetalen Vektors C .

Dies bedeutet, dass die Höhe der Muskelkraft, die notwendig ist um eine Last zu tragen, die Veränderungen im muskulären Hebelarm und in der Gelenkconfiguration reflektiert. Unter der Voraussetzung, dass die zu hebende Last

konstant ist, nimmt mit zunehmender Beugung die Muskelkraft und die von Morrey als resultierende Kraft beschriebene (Gelenk zusammenhaltende) Kraft, ab, während der Hebelarm zunimmt [45].

Beim Anheben schwerer Lasten können auf das Humeroulnargelenk je nach Flexionsgrad das Zwei- bis Dreifache des eigenen Körpergewichtes wirken (s. Abb23) [16].

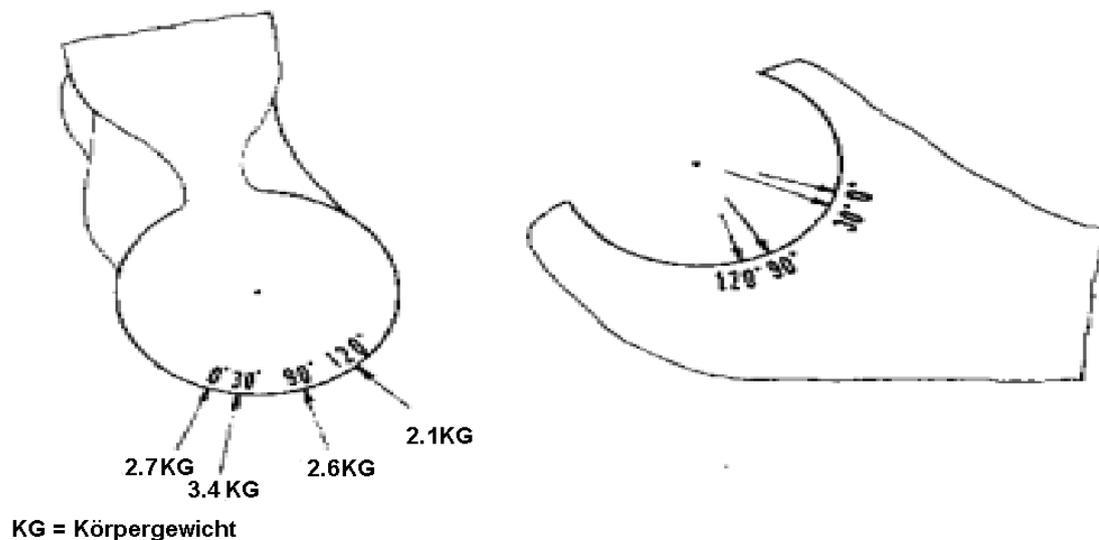


Abb. 23: Belastungsstärke des Humeroulnargelenkes nach Winkelstellung [16]

Durch die in Kapitel 3.1ff erwähnten inkongruenten Gelenkflächen und die variable Gelenkachse verändert sich der Kraftvektor mit Zunahme des Flexionsgrades [16]. Mit zunehmender Extension ist eine höhere Muskelkraft notwendig ($M_3 < M_2 < M_1$) um die gleiche resultierende Kraft R ($R_1 = R_2 = R_3$) zu erzeugen. Gleichzeitig wandert die resultierende Kraft R vom Rand des Gelenkknorpels zum Zentrum der Trochlea (s. Abb. 24) [16,45].

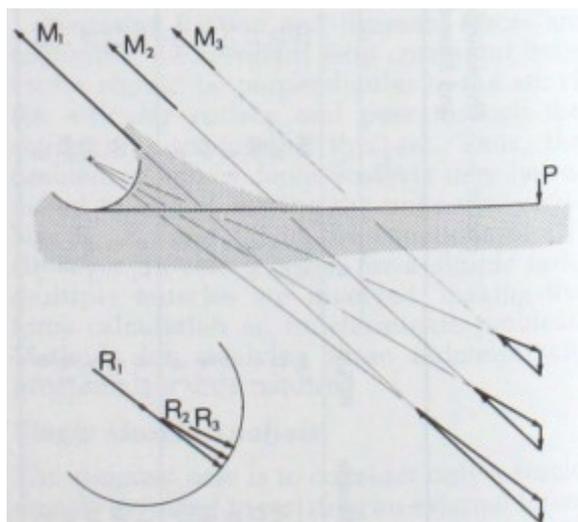
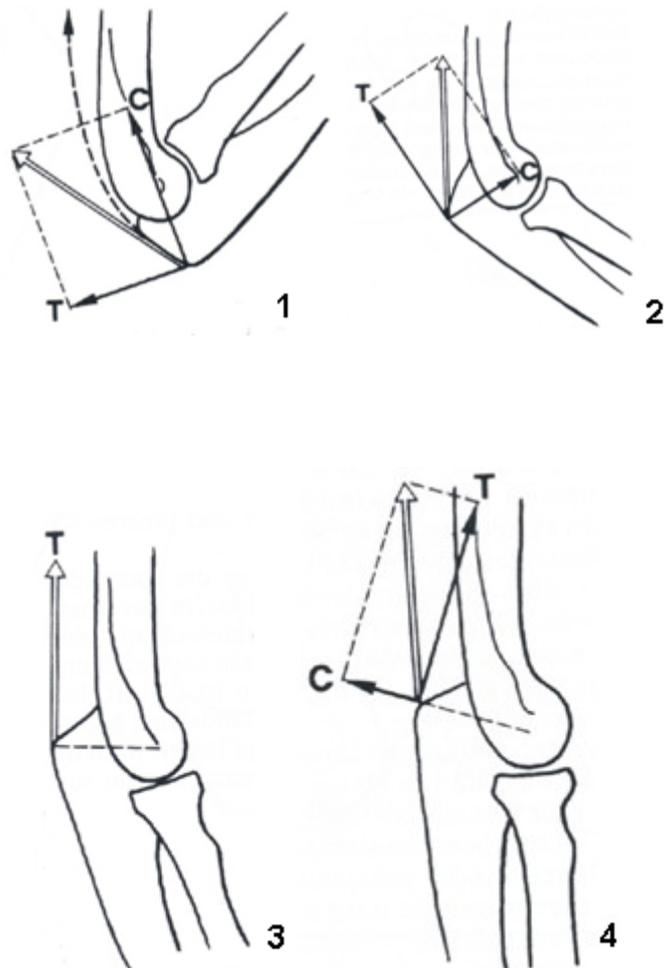


Abb. 24: Kraftvektor der Art. humeroulnaris [45]

Wenn die aus der Last resultierende Gewichtskraft, die über die Gelenkkette des Armes abgeleitet wird, in der Mitte der Trochlea lokalisiert ist, wird die Anpresskraft gleichmäßig über den Knorpel verteilt. Sobald sie jedoch in die Randbereiche wandert, nimmt die Dicke des lasttragenden Knorpels ab. Dadurch tritt die Kraft sehr viel punktueller auf [45].

Bei zunehmender Extension nimmt unter konstanter Last die Höhe der Muskelkraft und die Gelenkkraft zu, während der Hebelarm abnimmt. Der Hebelarm und die Höhe der Muskelkraft in Extension sind proportional zueinander. Beim Wechsel der Kraft von der Vertikalen in die Horizontale ändert sich der Hebelarm der applizierten Kraft, nicht aber die resultierende Gelenkkraft. Diese wandert jedoch vom Zentrum der Trochlea zum Randbereich hin [45]. Mit Zunahme der Flexion verringert sich die Kraft T um den gleichen Betrag, wie die Zentripetalkraft C zunimmt. Dadurch kommt es zu einem prinzipiellen Effektivitätsverlust der Extensionsmuskulatur. Dieser wird dadurch kompensiert, dass die Trizepssehne wie bei einem Hypomochlion um das Olecranon herumgeführt wird und die Muskelfasern des M. triceps brachii maximal vorgedehnt sind [34].



<p>T = Tangentialkraft</p> <p>C = Zentripetalkraft</p> <p>Weißer Doppelpfeil = Kraftwirkungsrichtung</p>
--

Abb. 25: Kräfteparallelogramm der Art. humeroulnaris [33]

Die Kraftentwicklung hängt jedoch nicht nur von der Stellung der Gelenkpartner des Ellenbogengelenkes ab, sondern kann zusätzlich auch noch durch die Stellung des Schultergelenkes variiert werden [34]. So kann der Trizeps als zweigelenkiger Muskel durch seinen Ansatz am Schultergelenk an Effektivität gewinnen. Bei antevertiertem Oberarm verlagert sich der Ansatz des Trizepskopfes nach distal und es erfolgt eine weitere Vordehnung. So wird

die maximale Kraft bei rechtwinklig antevertiertem Oberarm und gebeugtem Ellenbogen entwickelt (Beilhieb) [34].

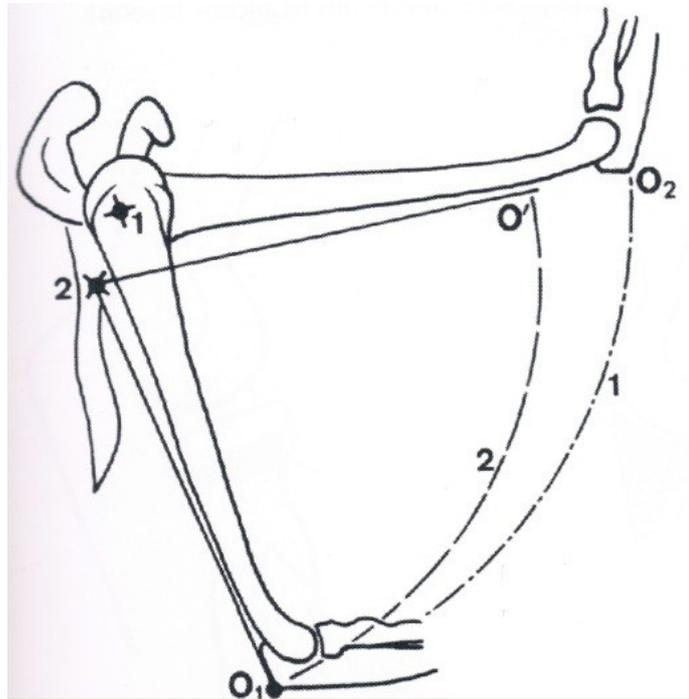


Abb. 26: Dehnung des Trizeps bei Armelevation [33]

In der rechtwinklig gebeugten Stellung entfalten auch die Beuger der Art. cubiti ihre größte Kraft. Der M. biceps brachii hat in dieser Stellung eine primär luxierende Wirkung auf den Radius. Dieser wird aber durch das Lig. anulare in seiner Funktionsposition gehalten [34].

Bei gestrecktem Arm ist die tangentielle Kraft T, die als beugende Komponente fungiert, klein – die Zentripetalkraft C, die durch das Drehzentrum des Gelenkes läuft, groß, aber wenig wirksam [34].

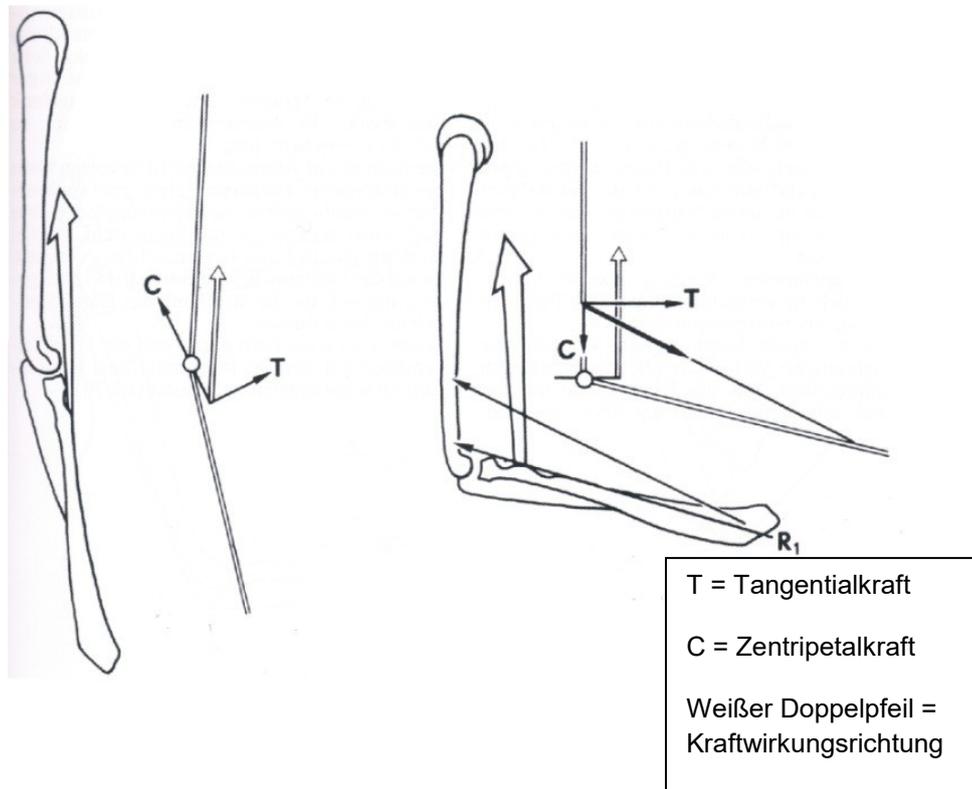


Abb. 27: Kräfteparallelogramm der Art. humeroulnaris bei Flexion [33]

Wenn der Arm nun jedoch im rechten Winkel gebeugt ist, ist die Kraft C gleich null und die Kraft T ausschließlich für die Flexion nutzbar [34]. Durch die Lokalisation von Drehzentrum, Hebel und Last zueinander kann der Bizeps hier als Hebel III. Ordnung definiert werden. Das bedeutet, seine Kraft setzt zwischen dem Drehpunkt und der Last an. Der Kraftarm beträgt vom Drehpunkt des Gelenkes bis zur Insertion der Kraft (Bizeps) ca. 5 cm. Der Lastarm selber, also die Entfernung vom Drehpunkt bis zum Einwirkungsort der Last, beträgt ca. 35 cm. Die Last (Unterarm und Gewicht) übt eine Kraft von 20 N aus. Daraus folgt, dass zur Stabilisierung des Lastarmes eine Kraft von 140 N notwendig ist, die vom Bizeps aufgebracht werden muss [23].

Die Beugemuskelatur ist für eine große Kraft und Schnelligkeit bei Bewegungen um die Flexionsachse ausgelegt. Der beste Winkel zur schnellstmöglichen Kraftentfaltung beträgt für den M. biceps brachii ca. 80° – 90° Flexion und für den M. brachioradialis ca. 100° – 110° Flexion [34].

Für die Supinationsachse haben elektromyographische Untersuchungen gezeigt, dass der M. brachioradialis seine Aufgaben am besten in Neutral-Null-

Stellung der Supinationsachse oder in Pronation erfüllt, wobei er durch die Stellung des Unterarms weniger in seiner Funktion tangiert wird als der *Musculus biceps brachii*, der einen geringen bis deutlichen Funktionsverlust in Pronation erfährt [45].

4.3 Biologische Schlussfolgerungen

Daraus lassen sich folgende Wirkungsgrade ableiten: Die Beugemuskulatur ist stärker als die Streckmuskulatur [34]. Dies erkennt man daran, dass bei entspannt herabhängendem Arm der Unterarm leicht gebeugt ist. Eine Beugung in Pronation entfaltet laut Kapandji mehr Kraft als in Supination, da der Bizeps durch die Rotation seiner Sehne um den Radius vorgedehnt ist. Hier widerspricht seine Darstellung den Ergebnissen, die Morrey et al. präsentieren [45]. Das Kräfteverhältnis von Beugern zu Streckern beträgt ca. 5 : 3.

Die Muskulatur des Menschen eignet sich hervorragend zum Klettern. Die Flexionskraft beträgt bei senkrecht nach oben gerichtetem Arm zum Zug des Körpergewichtes ungefähr 81 kg [34]. Gleichzeitig entwickelt der Trizeps bei leicht gestrecktem Arm die größte Extensionskraft, nämlich 51 kg. Diese lässt sich hervorragend zum Hochziehen und Abstützen/Hochdrücken beim Klettern nutzen [34].



Abb. 28: Muskelwirkung beim Klettern [33]

5. Klinische Bedeutung

5.1 Traumamechanismus der Radiuskopffraktur

Der Verlauf der Spongiosabälkchen entlang der Radiusachse verdeutlicht, dass dieser Knochen primär für die Aufnahme von axialen Druckkräften konzipiert ist [67]. Als primärer Traumamechanismus der Radiuskopffraktur wird heute der Sturz auf die pronierte, dorsal extendierte Hand bei ausgestrecktem Arm gesehen [56].

Cutler beschrieb 1926 in seiner Arbeit die direkte Gewalteinwirkung gegen den Ellenbogen/Radiuskopf als frakturursächlichen Haupttraumamechanismus – z.B. im Rahmen eines Schlages oder Anpralls [11]. Dieser Pathomechanismus kann heute nicht mehr als hauptursächlich akzeptiert werden.

Auch der von Watson-Jones beschriebene Traumamechanismus durch Valgusstellung und Abduktion kann heute nicht mehr als hauptursächlich erachtet werden [65].

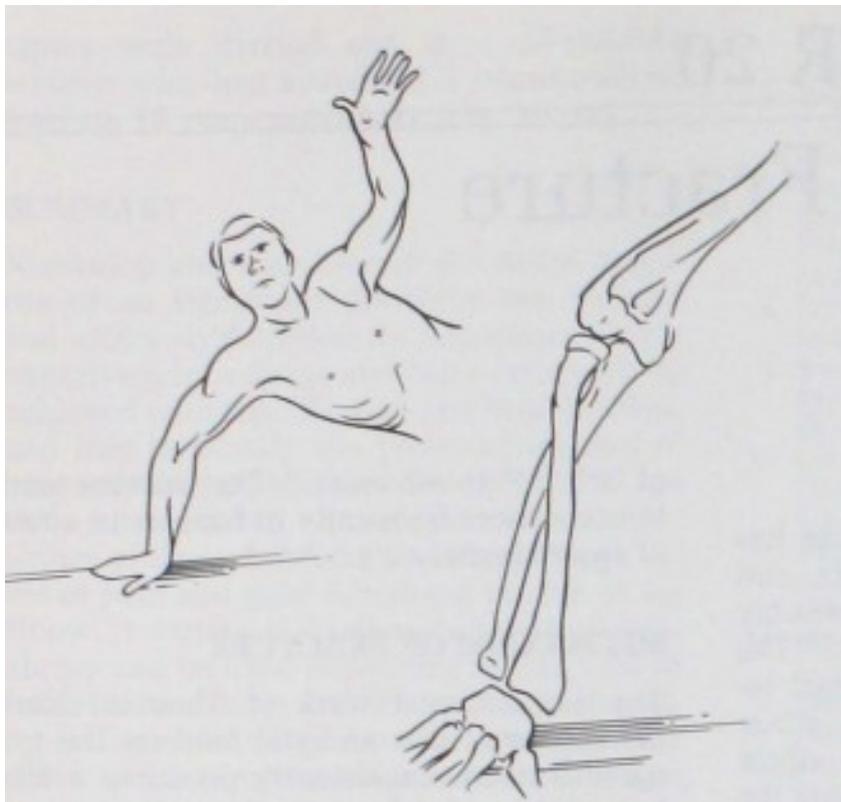


Abb. 29: Pathomechanismus der Radiuskopffraktur [45]

Schon Mason et al. postulierten den in Abb. 29 dargestellten indirekten Mechanismus (axiales Stauchungstrauma) als eher wahrscheinlich [42].

Dabei kommt es laut Morrey et al. durch die exzentrische Position des Radiuskopfes auf dem Hals zu einem engen Kontakt des posterolateralen Anteils des Radiuskopfes mit dem Capitulum humeri [45].

Zusätzlich mangelt es diesem Knochenanteil an subchondraler Knochensubstanz [45].

Wolter et al. [66] postulieren einen direkten ossären Traumamechanismus. Als begünstigende Traumafaktoren führen sie die Asymmetrie der beiden Gelenkpartner, ihre Stellung zueinander zum Zeitpunkt des Traumas, die Verjüngung des Radiuskopfes zum Hals hin sowie die Kerbwirkung der Bizepssehne, die eine zusätzliche Scherwirkung aufbringt, an. Das Lig. anulare verhindert gleichzeitig, wie ein Queue-fixierender Zeigefinger, ein Ausweichen des Radius bei starkem Druck. Daher bezeichnen sie diesen Pathomechanismus bei der Frakturentstehung auch als sog. „Billardphänomen“ (s. Abb. 30) [67].

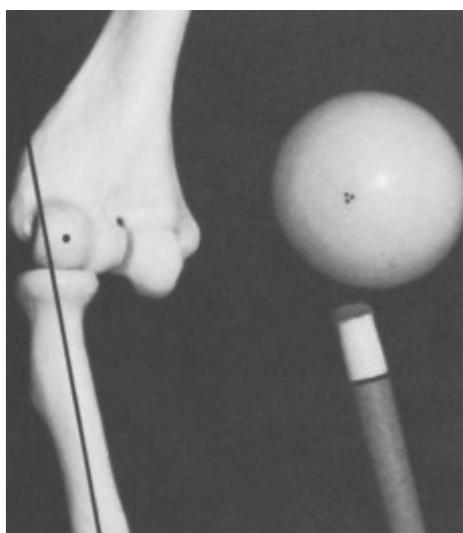


Abb. 30: Pathomechanismus des Queue-Stoßes [67]

Als weiteren prädisponierenden Faktor insbesondere bei Frauen in der Postmenopause sehen Gebauer et al. den ossären Masseverlust (Osteoporose) [18].

Durch die oben genannten Mechanismen kommt es je nach Größe der einwirkenden Kraft meistens zu einer Impressionsfraktur. Bei größeren Kräften

kann der Befund jedoch von einer Meißelfraktur bis hin zu einer vollständigen Trümmerfraktur des Radiuskopfes mit oder ohne Dislokation des Radius reichen. Eine direkte Gewalteinwirkung gegen den Ellenbogen stellt einen möglichen, aber äußerst seltenen Traumamechanismus dar [31].

Die Schwere der Fraktur hat die Entwicklung der Klassifikation der Radiuskopffrakturen unter der Vorstellung der Therapiemöglichkeiten maßgeblich beeinflusst [45].

5.2 Klassifikation der Radiuskopffraktur

Maurice E. Müller, der Mitbegründer der AO-Klassifikation, hat einmal gesagt: „Eine Klassifikation ist nur nützlich, wenn sie sich auf den Schweregrad der Fraktur bezieht und als Grundlage sowohl für die Behandlung als auch für die Beurteilung der damit erreichten Ergebnisse dient.“ [48]

Dabei gibt es für einen Frakturtyp häufig mehrere Klassifikationssysteme. Des Weiteren ist eine Klassifikation auch nicht statisch, sondern kann sich anhand neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse oder therapeutischer Gegebenheiten weiterentwickeln.

So wird hier auch ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Mason-Klassifikation gegeben.

In der Unfallchirurgie weit verbreitet ist die Einteilung einer Fraktur nach den Richtlinien der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO) [48].

5.2.1 Klassifikation nach Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese

Die Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese hat es sich seit 1958 zur Aufgabe gemacht, ein Klassifikationssystem zu entwickeln, nach dem jeder Knochenbruch des Menschen genau beschrieben werden kann. Gleichzeitig soll das System eine Hilfestellung sein, ob und wie die Fraktur operativ versorgt werden kann. Bis 1958 wurden die meisten Frakturen konservativ behandelt und bis zur Ausheilung ruhiggestellt.

Die AO-Klassifikation nummeriert jeden Knochen des Menschen. Der Unterarm trägt die Nummer zwei. Jedoch wird nicht zwischen Ulna und Radius unterschieden. Die nachfolgende zweite Ziffer ordnet die Fraktur einem Kno-

chenabschnitt zu. Für den Radiuskopf als proximaler Abschnitt ist es die Nummer eins.

Extraartikuläre Frakturen tragen den Buchstaben A. Partiiell intraartikuläre Frakturen eines Knochens tragen den Buchstaben B. Da es in der Articulatio cubiti zwei intraartikuläre Knochen gibt, trägt der Radiuskopf die Bezeichnung B2. Die nun folgende Zahl gibt wiederum die Schwere der Fraktur an. Somit ergibt sich die in der Abbildung 32 zu sehende Verschlüsselung der Radiuskopffraktur [48].



Abb. 31: Frakturklassifikation & -morphologie nach AO [44]

Allerdings ist die AO-Klassifikation im klinischen Alltag zur Beschreibung der Radiuskopffraktur nicht sehr gebräuchlich und hat sich in der klinischen Anwendung auch nicht durchsetzen können[58].

Interobserver-Studien haben ergeben, dass die AO-Klassifikation, die primär zur Taxonomie der Frakturen langer Röhrenknochen entwickelt wurde, im klinischen Alltag zu umständlich und zu stark reduktionistisch ist [58].

So lässt sie keine Feindifferenzierung der Fraktur zu; z.B. beschreibt 21-B2.2 sowohl eine nicht verschobene als auch eine leicht verschobene Fraktur. Diese bedürfen jedoch unterschiedlicher Therapiekonzepte [56]. Abbildung 32 zeigt unterschiedliche Radiuskopffrakturen, die durch die AO-Klassifikation nicht eindeutig erfasst werden und unterschiedlichster Therapiekonzepte bedürfen.

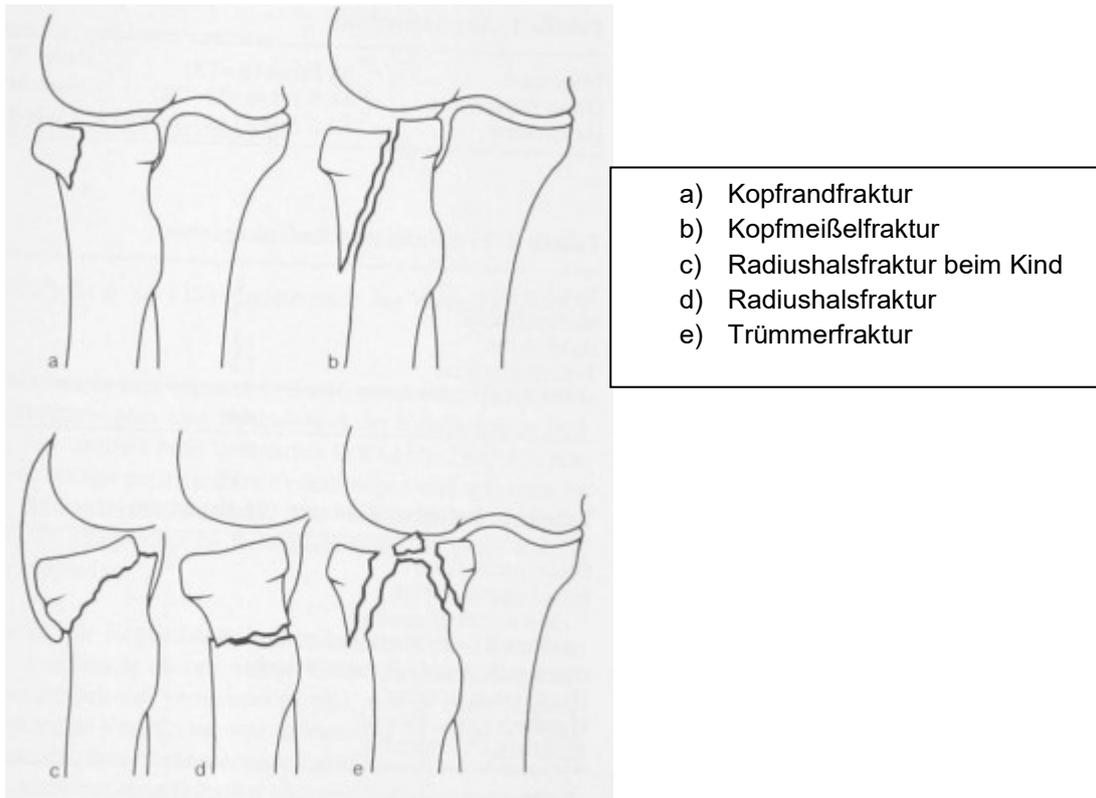


Abb. 32: Radiuskopffrakturen [67]

Sehr viel gebräuchlicher und an der Therapie orientiert ist die modifizierte Klassifikation nach Mason [45].

5.2.2 Klassifikation nach Mason

Im Jahre 1954 entwickelte der englische Chirurg Mark L. Mason im Rahmen einer Studie eine eigene Klassifikation der Radiuskopffraktur. Dabei bezog er sich auf hundert von ihm untersuchte Patienten mit Radiuskopffraktur. Als Grundlage für seine Klassifikation diente allein das radiologische Erscheinungsbild der Fraktur. Offene Frakturen wurden ausgeschlossen [45]. Seine Klassifikation enthält drei Schweregrade:

Mason Typ I	Fissur oder Fraktur des Randbereiches ohne Dislokation
Mason Typ II	Fraktur des Randbereiches mit Dislokation
Mason Typ III	Trümmerfraktur des gesamten Radiuskopfes

Tab. 1 Klassifikation der Radiuskopffraktur nach Mason [45]

Für Typ I Frakturen empfahl er ein konservatives Therapieregime, für Typ III Frakturen primär die Radiuskopfresektion. Für Typ II Frakturen konnte er, in Ermangelung geeigneten Osteosynthesematerials, kein einheitliches Therapiekonzept vorstellen. Er empfahl: „If in doubt – take it out.“, die damals häufig praktizierte Radiuskopfresektion [43].

5.2.3 Klassifikation nach Johnston

Der irische Chirurg G. W. Johnston führte 1962 ebenfalls eine Studie an hundert Patienten durch [30].)

Er erweiterte die Klassifikation nach Mason um eine vierte Stufe (Tab. 2/Abb. 33).

Typ I	Fissur oder Fraktur des Randbereiches ohne Dislokation
Typ II	Fraktur des Randbereiches mit Dislokation
Typ III	Trümmerfraktur des gesamten Radiuskopfes
Typ IV	Fraktur des Radiuskopfes mit Ellenbogenluxation

Tab. 2 Erweiterung der Mason-Klassifikation nach Johnston [30]

In seiner Studie wurden Typ I und II Frakturen konservativ behandelt. Er führt aber an, dass gerade für Typ II Frakturen kein therapeutischer Konsens herrscht. Wie Mason empfiehlt auch er für Typ III Frakturen die Radiuskopfresektion [30].

Typ IV Frakturen sollten primär reponiert werden und dann wie Typ III Frakturen behandelt werden. Die besten funktionellen Ergebnisse werden seiner Meinung nach bei einer Radiuskopfresektion innerhalb der ersten 24 Stunden nach dem Trauma erzielt [30].

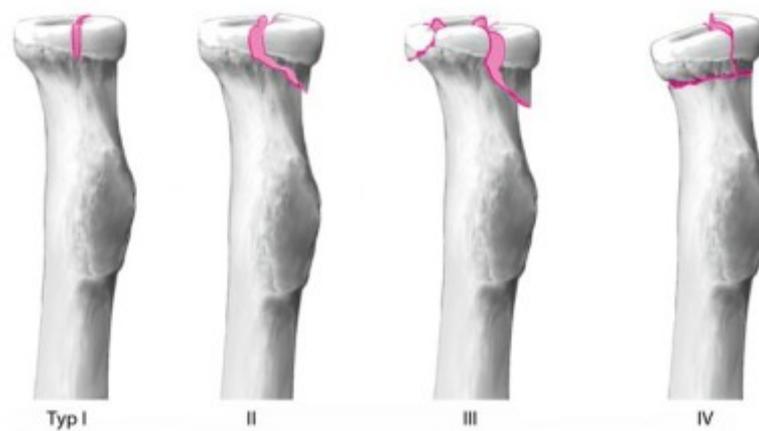


Abb. 33: Frakturklassifikation nach Johnston [47]

Typ IV mit zusätzlicher Luxation des Ellenbogengelenkes

5.2.4 Klassifikation nach Broberg und Morrey

Ein weiteres Mal wurde diese Klassifikation 1987 von Broberg und Morrey modifiziert. Sie bezogen die Größe der beteiligten Fragmente im Vergleich zur Radiuskopfgröße, das Ausmaß der Dislokation sowie den Radius Hals mit in die Einteilung ein. Dadurch ergab sich die folgende modifizierte Mason-Klassifikation (Tab. 3) [4].

Typ I	Fraktur des Radiuskopfes oder -halses mit einer Dislokation < 2 mm.
Typ II	Fraktur des Radiuskopfes oder -halses mit > 2 mm Dislokation und Einbeziehung von > 30 % der Gelenkfläche
Typ III	Trümmerfraktur des gesamten Radiuskopfes oder -halses
Typ IV	Fraktur des Radiuskopfes mit Ellenbogenluxation

Tab. 3 Erweiterung der Mason-Klassifikation nach Broberg & Morrey [4]

5.2.5 Klassifikation nach Hotchkiss

Eine letzte Modifikation erfuhr die Mason-Klassifikation 1997 durch Hotchkiss. [24]

Während sich die oben aufgeführten Klassifikationen primär am Röntgenbild orientieren, bezog er die Begleitverletzungen und das klinische Erscheinungsbild mit ein, um daraus seine Therapieempfehlungen abzuleiten. Für

Typ I empfahl er konservatives Vorgehen, für Typ II mit oder ohne Gelenkblock – wenn primär möglich – eine offene Osteosynthese und für Typ III eine Arthroplastie bzw. Radiuskopfresektion [24].

5.2.6 Behandlungsalgorithmus nach Pike

Die modifizierte Mason-Klassifikation nach Hotchkiss wurde von Pike et al. 2009 aufgegriffen und in einen Behandlungsalgorithmus für Radiuskopffrakturen umgesetzt. Anstelle der Radiuskopfresektion fand nun endgültig die Arthroplastie ihren Platz im Therapieregime (Abb. 34) [51].

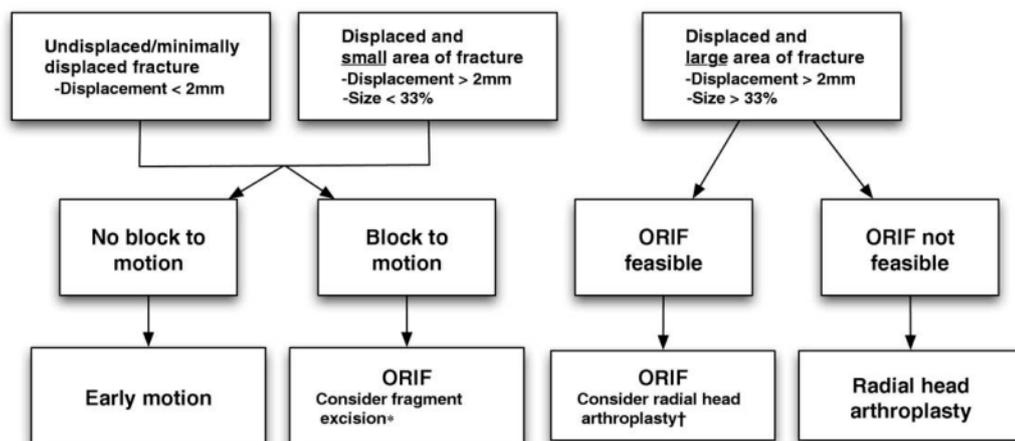


Abb. 34: Behandlungsalgorithmus nach Pike [51]

5.3 Weitere Diagnostik

Neben der radiographischen Untersuchung des Ellenbogengelenkes zur Detektion knöcherner Frakturen ist die gründliche Suche nach nicht-knöchernen Begleitverletzungen von eminenter Bedeutung, um eine verspätete Diagnostik der traumatischen Läsion zu verhindern und eine adäquate Therapie von Anfang an durchführen zu können [10].

Hierbei spielt die Magnetresonanztomographie (MRT) eine zunehmende Rolle. Durch sie lassen sich neben komplexen knöchernen Läsionen auch ligamentäre und kartilaginäre Verletzungen detektieren [10].

So fanden Itamura et al. in einer Studie (Abb. 35) an 24 Patienten mit Mason III Fraktur ohne klinische Anzeichen einer Instabilität des Ellenbogengelenkes bei rund 60% der Patienten eine Ruptur des medialen Kollateralbandes (MCL) und bei 80% eine Ruptur des ulnaren Kollateralbandes (LUCL). Sie

empfehlen daher immer eine gründliche Suche nach ligamentären Verletzungen, auch ohne klinischen Anhalt für eine Instabilität [28].

Radial head fracture	N = 24
MCL not intact	13/24 (54.16%)
LUCL not intact	18/24 (80.1%)
Both ligaments not intact	12/24 (50%)
Capitellar osteochondral defects	7/24 (29.1%)
Bone bruises	23/24 (95.83%)
Loose bodies	22/24 (91.67%)

Abb. 35: Studienergebnisse nach Itamura et al. [28]

6. Operative Versorgung

Das Ziel einer operativen Versorgung einer Radiuskopffraktur ist die Wiederherstellung eines funktionell stabilen Gelenkpartners und eines tragenden Kraftpfeilers im Unterarm. Dabei gilt es langfristige Beeinträchtigungen wie Gelenksteifigkeit, chronische Schmerzen sowie eine Reduktion der Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und Minderung der Erwerbstätigkeit möglichst zu vermeiden [18,31].

6.1 Operativer Zugangsweg

Die Versorgung kann in Allgemeinanästhesie oder in regionaler Plexusanästhesie erfolgen. Der Arm wird in Pronation auf einem Armtisch in leichter Flexion im Ellenbogengelenk ausgelagert. Dadurch wird der R. profundus des N. radialis medialisiert und die Gefahr einer iatrogenen Nervenverletzung minimiert [60]. Die Operation erfolgt in Blutleere.

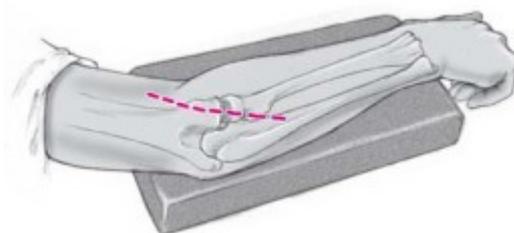


Abb. 36: Schnittführung [43]

Abb. 36 zeigt eine mögliche Schnittführung, ausgehend vom Epicondylus lateralis ca. sieben Zentimeter bis zur Kante der Ulna [61].

Es gibt zwei mögliche Zugangswege, um nun zum Radiuskopf zu gelangen. Zum einen den mediolateralen Zugang zwischen dem M. extensor carpi radialis brevis und dem M. extensor digitorum communis [61].

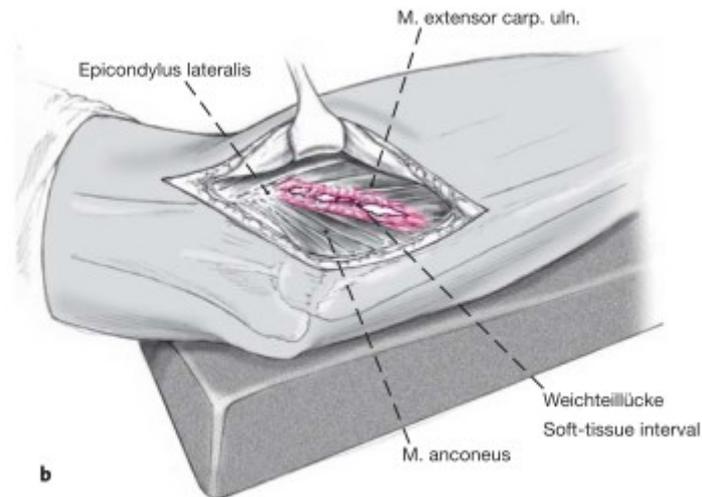


Abb. 37: Posterolateraler Zugang und Anconeuslücke [43]

Der empfohlene Zugang wird als posterolateraler Zugang bezeichnet (Abb. 37). Er befindet sich zwischen dem M. anconeus und dem M. extensor carpi ulnaris [60]. Nachdem die Muskulatur retrahiert wurde, kann die Kapsel inzidiert werden (s. Abb. 38). Es empfiehlt sich, das Lig. anulare schräg zu inzidieren, damit es hinterher ohne Verkürzung wieder adaptiert werden kann [31]. Es erfolgt nun die Versorgung nach Befund.

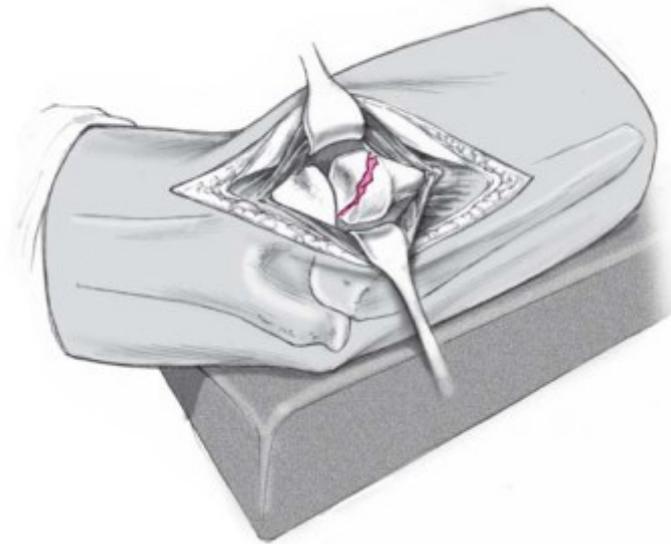


Abb. 38: Befunddarstellung in situ [43]

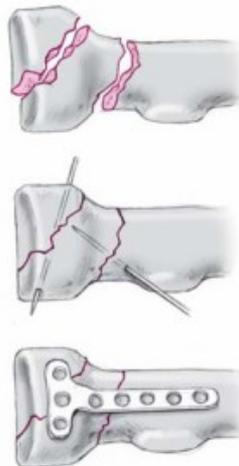


Abb. 39: Rekonstruktion der Radiuskopffraktur [43]

6.2 Osteosynthese

Zunächst werden die Fragmente mittels Faszszange oder Kirschner-Drähten vorläufig stabilisiert (s. Abb. 39). Kleinere Frakturfragmente bis zu einer Größe von 25 % des Radiuskopfes, die nicht refixierbar sind, können entfernt werden [43]. Bei Mason II Frakturen ist eine Schraubenosteosynthese ausreichend (Abb. 40. Komplexere Frakturen, z.B. mit Beteiligung des Radius-

halses, bedürfen zusätzlich der Osteosynthese mittels stabilisierender Abstützplatte (Abb. 41).

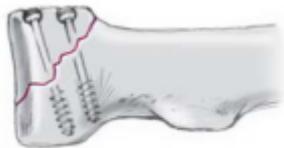


Abb. 40: Schraubosteosynthese [43]



Abb. 41: Plattenosteosynthese [39]

Bei allen Implantaten ist darauf zu achten, dass sie innerhalb der von Hotchkiss definierten Safe-Zone positioniert werden [24]. Diese Zone liegt gegenüber der Tuberositas radii und umfasst einen Bogen von ca. 105°. Hier angebrachte Implantate behindern die Umwendbewegung von Radius und Ulna nicht (Abb. 42).

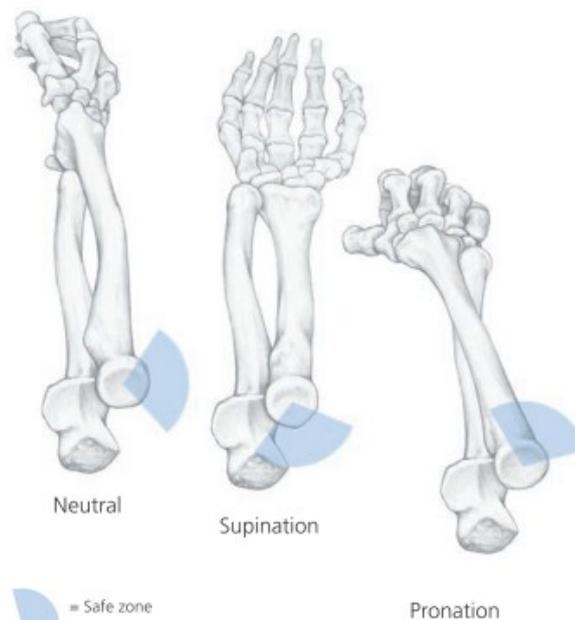


Abb. 42: Safe-Zone nach Hotchkiss [6]

Wenn keine Rekonstruktion in vivo möglich ist, empfiehlt Businger eine „on-table“-Rekonstruktion und Refixierung des versorgten Radiuskopfes an den Radiushals mittels Platte (Abb. 43) [6].



Abb. 43: On-Table-Reconstruction nach Businger [6]

6.3 Arthroplastie

Ein nicht rekonstruierbar frakturierter Radiuskopf kann durch ein Prothesenimplantat ersetzt werden. Bei den Patienten dieser Studie wurde ausschließlich eine bipolare Prothese Typ Tornier der Firma Judet implantiert. Der Prothesenkopf ist um 35° kippbar, so dass bei allen Bewegungen ein guter Kontakt zwischen Prothese und dem Capitulum radii gewährleistet wird (Abb. 44) [61].

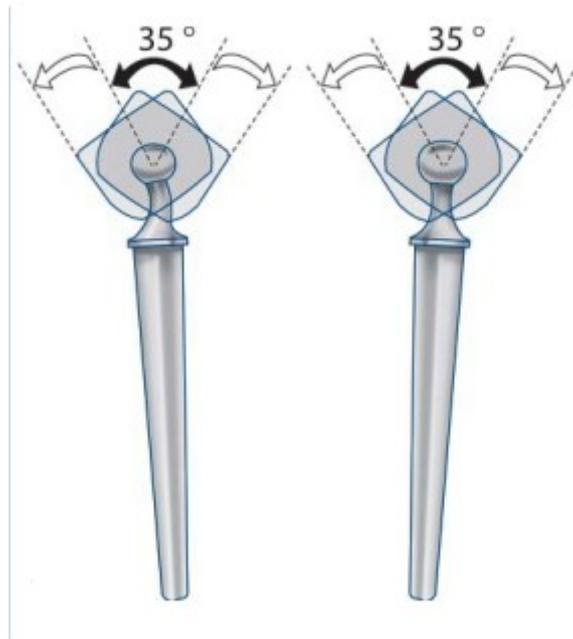


Abb. 44: Prothese nach Judet [61]

Dazu wird der Radiuskopf entfernt, dann der Prothesenschaft in den Markraum eingebracht und mit dem passenden Prothesenkopf verbunden [61]. Es ist darauf zu achten, dass keine Längenmigration des Radius entsteht, da sonst die Gefahr einer Handgelenksarthrose aufgrund einer Migration des Radius nach distal, besteht [18].

Nach der operativen Versorgung muss eine Prüfung auf freie Beweglichkeit und die radiologische Dokumentation der Implantatlage durchgeführt werden. Der Rückzug erfolgt unter Rekonstruktion des Lig. anulare und der Gelenkkapsel. [61]

Die Ruhigstellung erfolgt für maximal sieben Tage in einem sogenannten „Spuck-Gips“. Dabei wird das Ellenbogengelenk 90° flektiert und in maximaler Supination fixiert [43]. Eine frühfunktionelle Behandlung zur Prophylaxe einer Gelenkversteifung kann ab dem ersten postoperativen Tag aus dem Gips heraus durchgeführt werden. Einige Autoren empfehlen die Gabe von Indometacin zur Prophylaxe einer heterotopen Ossifikation, z.B. unter adäquatem Magenschutz für zwei bis vier Wochen zweimal täglich 75 mg per os [46].

7. Scores

Um Untersuchungsergebnisse sowohl longitudinal als auch innerhalb von Kohorten miteinander vergleichbar zu machen, hat sich in der Medizin der Gebrauch von Scores etabliert. Für diese Arbeit wurden folgende Scores herangezogen.

1. DASH-Score
2. Kellgren-Lawrence-Score

7.1 DASH-Score

Der DASH-Score (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) (Fragebogen s. Anhang) wurde von 1994 bis 1997 von der Upper Extremity Collaborative Group, der die folgenden Gesellschaften angehören, entwickelt: (verwendeter DASH im Anhang)

- American Academy of Orthopaedic Surgeons
- Institute for Work and Health (Toronto)
- American Association for Hand Surgery
- American Society for Surgery of the Hand
- American Orthopaedic Society for Sports Medicine
- American Shoulder and Elbow Surgeons
- Arthroscopy Association of North America
- American Society of Plastic and Reconstructive Surgeons

Er soll ein Messinstrument sein, welches in der Lage ist, das patientenspezifische Erleben nach einer Therapie zu erfassen [19].

Inzwischen ist der DASH-Score ein in der nationalen und internationalen klinischen Forschung etabliertes Instrument der patienteneigenen Selbstevaluation für Erkrankungen und Verletzungen der oberen Extremität [29]. Er wurde mittels aufwendiger Verfahren in viele Sprachen übersetzt, u. a. niederländisch, japanisch, schwedisch u.v.a.m. [41]. Die Einführung in den deutschen Sprachraum erfolgte durch Germann et al. [29].

Der DASH-Score besteht aus drei separaten Teilen. Zunächst einem 33 Fragen beinhaltenden allgemeinen Teil, der den Gesundheitszustand erfassen soll. Diesem schließt sich das Kernstück des DASH-Scores an, das aus 30

Fragen besteht [19]. 21 Fragen dienen der Erhebung der körperlichen Aktivität. Fünf Fragen beschäftigen sich mit dem Thema Schmerz sowie aktivitätsabhängigem Schmerz, Steifheit, muskulärer Schwäche sowie Parästhesien. Die vier letzten Fragen zielen auf Aktivitäten im sozialen Umfeld, Arbeit, Schlaf und das persönliche Selbstverständnis [21].

Zusätzlich gibt es zwei weitere optionale Module mit jeweils vier Fragen. Eines erfasst die Fähigkeit, ein Musikinstrument zu spielen bzw. eine Sportart auszuüben, das andere beleuchtet die tägliche berufliche Arbeit näher [19].

Für jede Frage gibt es fünf Antwortmöglichkeiten, wobei eins die bestmögliche und fünf die schlechteste Möglichkeit darstellt [41].

Zur Auswertung addiert man die einzelnen Antwortmöglichkeiten und erhält so einen Rohwert. Von diesem Rohwert subtrahiert man den niedrigst möglichen Rohwert. Dies Ergebnis wird durch die mögliche Spanne des Rohwertes geteilt, welche zuvor durch 100 dividiert wird.

$$[(\text{Rohwert} - \text{niedrigst möglicher Rohwert}) / (\text{Mögliche Spanne des Rohwerts} / 100)] = \text{DASH} [19]$$

Je niedriger der DASH-Score desto geringer die persönliche Beeinträchtigung.

Jester et al. fanden heraus, dass die Durchschnittsbevölkerung einen Score von $9,75 \pm 12,5$ für den DASH-Score aufweist. Im Sportmodul lag der Wert bei $10,7 \pm 19,2$. Mit zunehmendem Alter stieg der Score an [29]. Einem Anstieg oder Abfall um 10 Punkte wird eine klinisch relevante Änderung beigemessen [41].

Der Score eignet sich sowohl für Longitudinal- als auch Querschnittsstudien. So lassen sich beispielsweise durch ihn verschiedene Therapieverfahren bei der gleichen Grunderkrankung gegenüberstellen. Ein weiterer Vorteil liegt in seiner universellen Einsatzmöglichkeit bei vielen Erkrankungen der oberen Extremität [21]. Diese Universalität limitiert die Trennschärfe des DASH-Scores, da individuell unterschiedliche Begleiterkrankungen als auch andere Erkrankungen an der oberen Extremität den Score verfälschen können [41].

7.2 Kellgren- und Lawrence-Score

Kellgren und Lawrence entwickelten in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts einen Score, um die Interobserverdifferenzen bei der Beurteilung des Arthrosegrades auf Röntgenbildern zu minimieren [36]

Als Arthrosezeichen wurden von ihnen definiert:

1. Osteophytäre Randanbauten
2. Periartikuläre Ossikel
3. Gelenkspaltverschmälerung mit Sklerose des subchondralen Knochens
4. Pseudozysten im subchondralen Knochen
5. Veränderungen in der Gestalt der Knochenenden

Je nach Schweregrad erfolgt die Einteilung in fünf Gradstufen. Grad eins weist keine Zeichen einer Arthrose auf, ab Grad drei sind radiologisch Arthrosezeichen erkennbar, die mit Anstieg der Gradstufe an Schwere zunehmen. Der Score orientiert sich ausschließlich an röntgenmorphologischen Aspekten (Abb. 45). Subjektive oder klinische Eindrücke fließen nicht in die Wertung ein. Der Schwachpunkt dieses Scores liegt im Inter-Observer-Error, also der persönlichen Bildinterpretation durch den betrachtenden Radiologen[36].

- | | |
|-------------|-----|
| 1. keine | (0) |
| 2. fraglich | (1) |
| 3. minimal | (2) |
| 4. moderat | (3) |
| 5. schwer | (4) |



Abb. 45: Arthrosegrade nach Kellgren- und Lawrence-Score im Metacarpophalangealgelenk [36]

8. Material und Methode

Es wurde eine klinische Nachuntersuchung mit standardisierter Befragung, klinischer Untersuchung des Ellenbogens, Erhebung des DASH-Scores und Auswertung prä- und postoperativer Röntgenbilder unter dem Schwerpunkt der Arthroseentwicklung durchgeführt. Der Arthrosegrad wurde nach dem Kellgren-Lawrence-Score bewertet.

8.1 Patientenkollektiv

Für diese Arbeit wurden alle Patienten der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Münster (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. M. J. Raschke) mit der Diagnose einer Radiuskopffraktur Mason II oder höher, die sich in den Jahren 2005 bis 2009 einer operativen Versorgung unterzogen hatten, eingeschlossen. Dabei wurden sowohl Patienten mit Monotrauma als auch polytraumatisierte Patienten mit eingeschlossen. Von insgesamt 88 Patienten konnten für diese Studie 47 Patienten (53 %) klinisch und anamnestisch nachuntersucht werden. 31 Patienten waren unbekannt verzogen oder nicht mehr zu erreichen. Zehn Patienten lehnten eine Untersuchung aus persönlichen Gründen ab. Das durch-

schnittliche Follow-up von der OP bis zur Datenerhebung betrug 2,9 Jahre (\pm 1,2 Jahre).

8.2 Klinische Untersuchung und Vermessung

Alle Teilnehmer der Studie wurden zur Untersuchung ins Universitätsklinikum Münster eingeladen und dort standardisiert befragt und sowohl das betroffene als auch das kontralaterale Ellenbogengelenk wurden klinisch untersucht. Im Rahmen der klinischen Untersuchung wurden Fragen bezüglich der Schmerzen im Alltag, der täglichen Schmerzmedikation, zur subjektiven Bewegungseinschränkung und Kraftminderung, der Wetterfühligkeit, zur Implantatentfernung und zu Parästhesien bzw. Sensibilitätsstörungen von den Patienten beantwortet. Die Daten wurden zur statistischen Auswertung in Punkte umgewandelt (s.u.).

Als Vorlage für die klinische Untersuchung diente das Messblatt für die obere Extremität [14] der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und das Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese [13]. Es wurden jeweils die Flexion und Extension bzw. die Pronation und Supination beider Ellenbogengelenke mittels Handgoniometer nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Darauf folgte die Kraftmessung nach Janda [59] für die oben beschriebenen Bewegungen, sowohl auf der operativ versorgten, wie auch auf der kontralateralen Seite.

Zusätzlich wurden bei den Patienten drei standardisierte Handgriffe geprüft. Zunächst der „Nasengriff“, bei dem mit der operierten Hand die Nasenspitze berührt werden muss. So kann überprüft werden, ob eine eigenständige Nahrungsaufnahme möglich ist. Dann der „Nackengriff“, bei dem die Hand in den Nacken gelegt werden soll und der symbolisch die Fähigkeit zur eigenen Körper- bzw. Haarpflege darstellt und zuletzt der „Schürzengriff“, bei dem ähnlich dem Verknoten einer Haushaltsschürze die Hand an die Lendenwirbelsäule gelegt werden soll. Hiermit lässt sich die Fähigkeit zur eigenen Körperhygiene sinnvoll testen. Die Ausführung hatte mit dem operierten Arm zu erfolgen. Nur bei komplikationsloser Durchführung wurde der Versuch als positiv gewertet. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet. Alle Untersu-

chungen wurden von einer Person durchgeführt um systematische Fehler gering zu halten

8.3 Scores

Allen Patienten wurde im Vorfeld der Untersuchung der DASH-Score-Fragebogen inklusive der Zusatzmodule „Arbeit“ sowie „Sport/Musik“ zur Beantwortung zugesandt [19] um unbeeinflusst durch eine Untersuchungssituation eine persönliche Einschätzung der eigenen Einschränkung angeben zu können. Durch die Zusatzmodule Arbeit sowie Sport/Musik wurde neben den allgemeinen Fragen hier auch ein Schwerpunkt auf die Erwerbstätigkeit bzw. das Freizeiterleben gerichtet, da die Mehrzahl der Patienten im erwerbsfähigen Alter ist [32] und die Versorgung der Fraktur somit langfristige Auswirkungen auf die soziale Situation der Patienten haben kann. Im Rahmen der Untersuchung wurde er auf vollständige Ausfüllung hin kontrolliert und ggf. zusammen mit dem Patienten vervollständigt. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

8.4 Radiologische Untersuchung

Zusätzlich zur Anamnese und klinischen Untersuchungen wurden die prä- und postoperativen Röntgenbilder der Patienten aus dem radiologischen Informationssystem des Universitätsklinikums nach dem Arthroscore von Kellgren und Lawrence ausgewertet. Dabei wurde bei auch kontrolliert, wie hoch der präoperative Arthrosegrad ausgeprägt war. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet und sowohl im Gesamtkollektiv, als auch aufgeschlüsselt nach Versorgungsart analysiert, um eine durch das Trauma oder die Versorgungsmethode ausgelöste Arthrose beurteilen zu können. Von nicht allen Patienten waren postoperative Röntgenbilder im Radiologieinformations-System verfügbar. .

8.5 Statistische Auswertung

Die deskriptive Statistik wurde mit Microsoft Excel© erstellt; die analytische Statistik nach Beratung durch Dr. rer. medic. Susanne Amler, Dipl.-Biomath. aus dem Institut für Biometrie und Klinische Forschung der WWU Münster,

mit SPSS Vers. 24. Die Diagramme wurden sowohl mit Microsoft Excel© als auch SPSS© erstellt.

Zunächst erfolgte mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests eine Untersuchung auf Normalverteilung. War diese nicht gegeben, wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede hin untersucht. Das Signifikanzniveau wurde mit $p \leq 0,05$ definiert.

War eine Normalverteilung gegeben, erfolgte die Untersuchung mit dem T-Test bei gleichem Signifikanzniveau.

Nominale Daten wurden mit dem Chi-Quadrat-Test untersucht.

Es wurden zwei Analysegruppen gebildet. Zum einen wurden die Patienten mit einer Mason II Fraktur den Patienten mit Mason III und IV Frakturen gegenübergestellt. In einer zweiten Gruppe wurde innerhalb der Mason III und IV Gruppe eine Aufschlüsselung hinsichtlich der Versorgung vorgenommen. Es wurden osteosynthetisch versorgte Patienten mit denjenigen verglichen, die eine Prothese erhalten haben.

9. Ergebnisse

9.1 Demographische Daten

Bei den untersuchten 47 Patienten, die zwischen 2005 und 2009 am Universitätsklinikum Münster behandelt worden waren, teilten sich die einzelnen Frakturklassifikationen wie folgt auf:

14 Patienten erlitten eine Mason II Fraktur. Alle eingeschlossenen Mason II Frakturen wurden operativ behandelt. Die 17 Mason III Frakturen gliederten sich in zwölf osteosynthetisch versorgte und fünf prothetisch versorgte Frakturen auf. Bei den 16 Mason IV Frakturen wurden zehn prothetisch und sechs osteosynthetisch versorgt.

Das Verhältnis von Männern zu Frauen betrug bei den Mason II Frakturen vier Männer zu zehn Frauen, bei den Mason III Frakturen acht Männer zu neun Frauen, wobei vier Frauen eine Radiuskopprothese erhielten, und bei Mason IV Frakturen fünf Männer, alle prothetisch versorgt, zu 12 Frauen mit sechs prothetisch therapierten Patientinnen.

Die folgenden Tabellen zeigen das Durchschnittsalter der Patienten, aufgeschlüsselt nach der Schwere der Fraktur (Tab.4) sowie eine Altersaufgliederung nach Geschlecht und Frakturschwere (Tab.5).

Mason II	Mason III	Mason IV
51 Jahre \pm 17,7	45,14 Jahre \pm 15,9	45,58 Jahre \pm 17,55

Tab.4 Durchschnittsalter der Patientengruppen +1SD

	Männer	Frauen
Mason II	39 \pm 17,93	56 \pm 13,05
Mason III	40 \pm 14,14	49 \pm 16,92
Mason IV	33 \pm 14,9	56 \pm 16,71

Tab.5 Durchschnittsalter Männer und Frauen +1SD

Das durchschnittliche Follow-up betrug 2,9 Jahre (1,1 – 5,2).

9.2 Klinische Untersuchung

Bei allen Patienten wurde die Range of Motion (ROM) sowohl am operierten Arm als auch im direkten Seitenvergleich am nicht operierten Arm gemessen. Die ROM lag für den gesunden Arm nah am anatomischen Standard [46]. Mit zunehmender Frakturschwere reduzierte sich der Grad der Flexion um 13°. Der Grad der Extension nahm mit steigender Frakturklassifikation ebenfalls ab. Während am gesunden Arm im Durchschnitt eine Hyperextension von 2° bestand, konnte bei den Mason III Frakturen bereits ein Streckdefizit von knapp 6°, und den Mason IV Frakturen im Durchschnitt ein Streckdefizit von knapp 20° gemessen werden. Die grauschräffierten Flächen im Diagramm (Abb. 46) zeigen das Ausmaß des Streckdefizites. Sowohl die Abnahme der Extension als auch die der Flexion im Vergleich von Mason II zu Mason III und IV Frakturen ist signifikant ($p = 0,032$ bzw. $p = 0,013$).

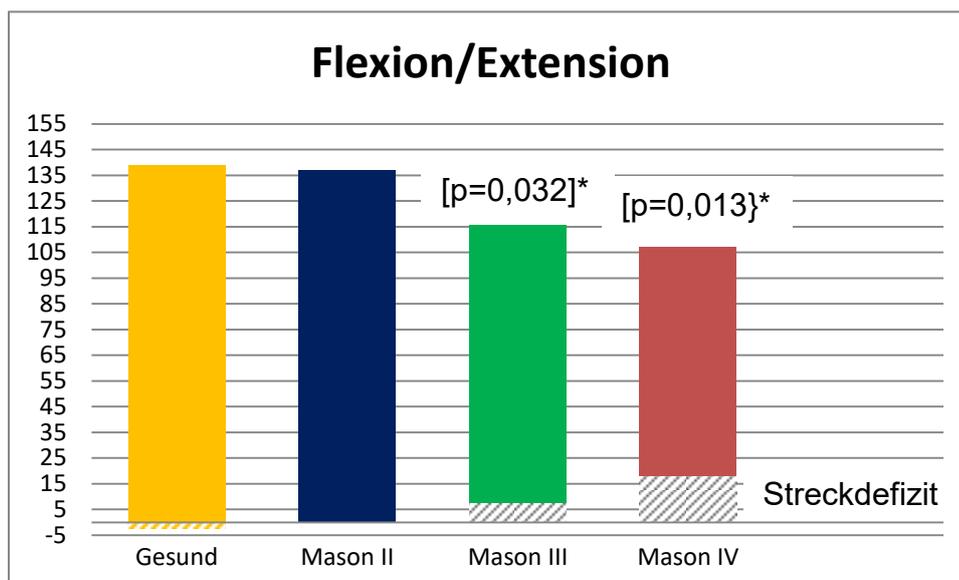


Abb. 46: Flexion/Extension mit Streckdefizit

Bei Pronation und Supination beobachtet man ein ähnliches Bild. Patienten mit Mason II Frakturen haben einen normalen Bewegungsumfang. Mit steigender Frakturschwere nimmt das Bewegungsausmaß schrittweise ab. Auffällig ist, dass besonders die Supination stärker eingeschränkt ist. Das Bewegungsdefizit für die Pronation beträgt sowohl bei Mason III als auch Mason IV 10°. Das Ergebnis ist nicht signifikant. Für die Supination beobachtet man einen Rückgang der Bewegungsfähigkeit bei Mason IV Frakturen von 20°.

Diese Differenz in der Supination zwischen Mason II und III/IV ist signifikant ($p = 0,016$).

Im Vergleich der Kraftgradmessung, die nach Janda erfolgte, finden sich nur geringe Unterschiede im Zusammenhang mit der Frakturschwere, jedoch ist der Unterschied im Bereich der Flexion ($p = 0,029$), Extension ($p = 0,002$) und Pronation ($p = 0,046$) zwischen Mason II im Vergleich zu Mason III und IV-Frakturen signifikant bzw. für die Extension hoch signifikant.

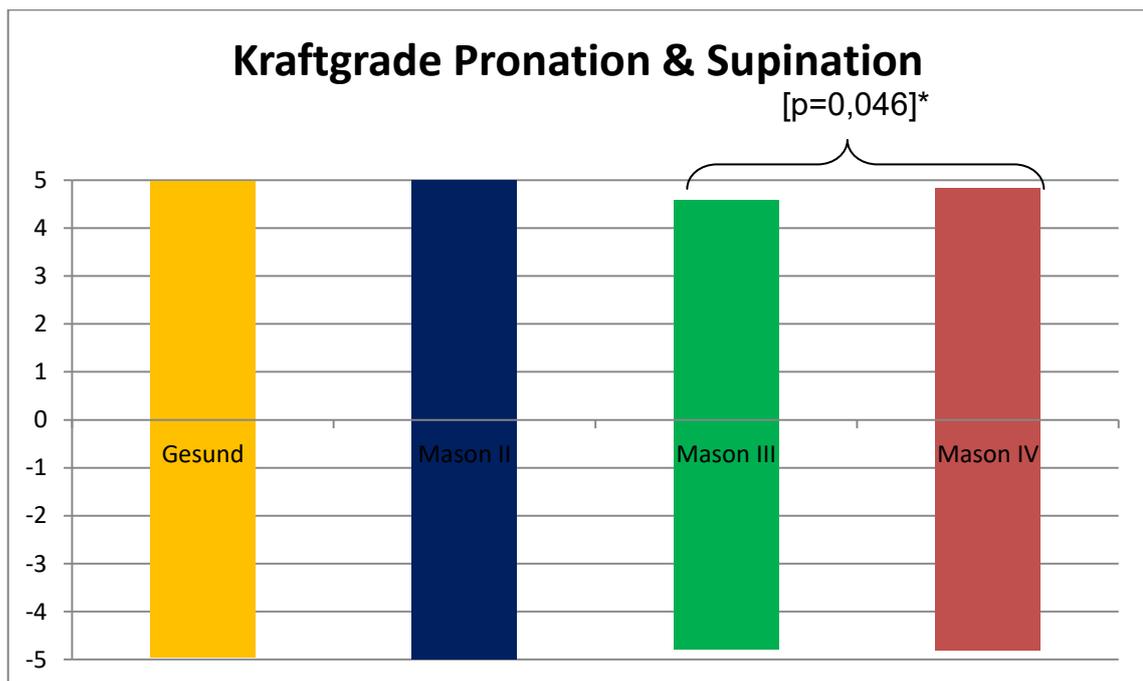


Abb. 47 Kraftgrade Pronation & Supination

Um die unterschiedlich großen Frakturgruppen besser miteinander vergleichen zu können, werden die Messergebnisse hier als relative Zahlen (prozentualer Anteil der Patienten, die den Griff beherrschen / Gesamtfrakturgruppe) präsentiert.

In der Untersuchung der standardisierten Griffe beobachtet man mit Zunahme der Frakturintensität zwar ein schlechteres Ergebnis, doch für die einzelnen Griffe zeichnet sich ein inhomogenes Bild ab. So können Schürzen- und Nackengriff noch recht gut ausgeführt werden. Der Nasengriff mit einer maximalen Flexion in Kombination mit einer Supination im Ellenbogengelenk bereitet mit Zunahme der Frakturschwere die meisten Probleme (Abb. 47).

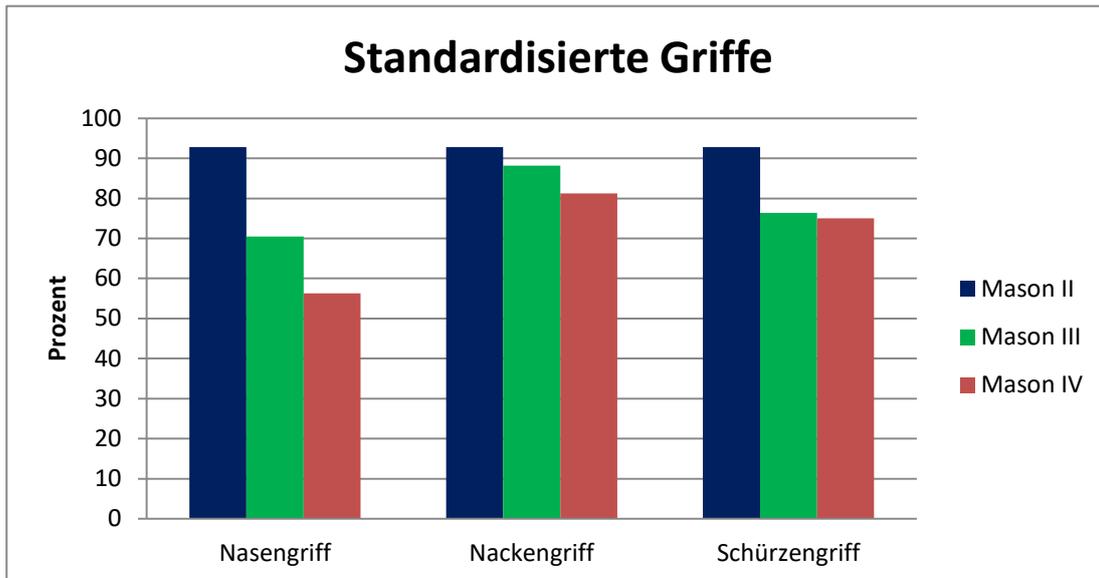


Abb. 47: Standardisierte Griffe

9.3 Anamnesegespräch

Es wurden neben der Untersuchung auch Anamnesegespräche mit den Patienten durchgeführt. Um auch hier eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Subgruppen zu ermöglichen, wurden die Ergebnisse der Befragung in Prozentwerte umgerechnet (Anteil der Patienten, die eine Frage bejaht haben / Versorgungskollektiv).

Schmerz im Alltag wird von vielen Patienten nach einer operativen Versorgung als Gütekriterium angesehen und kann auch lange über das initiale Trauma hinaus im Rahmen einer Chronifizierung ein limitierender Faktor für die vollständige Teilhabe am gesellschaftlichen Leben sein.

Patienten, die eine Mason III oder IV Fraktur erlitten haben, berichten in 67,7 % der Fälle, postoperativ bei bestimmten Bewegungen noch Schmerzen im Ellenbogengelenk zu haben. Der Unterschied zwischen Mason II sowie Mason III und IV ist mit $p = 0,01$ hoch signifikant. Jedoch benötigen nur rund 6 % der Patienten mit Mason III Fraktur deswegen eine regelmäßige postoperative Schmerzmedikation im Gegensatz zu 37,5 % der Patienten mit einer Mason IV Fraktur. Patienten mit Mason II Frakturen benötigen keine Schmerzmittel.

Allen drei Gruppen ist gemeinsam, dass sie einen hohen Prozentsatz (35 % Mason II vs. 45,5 % Mason III & IV) an Nervenirritationen im Bereich des OP-Gebietes und der versorgenden sensiblen Hautnerven angeben. Diese wer-

den überwiegend als Kribbelparästhesien angegeben. Patienten der Gruppe Mason III & IV berichten in 21,2 % der Fälle von postoperativen Sensibilitätsausfällen im OP-Gebiet.

Es geben 21,4 % der Mason II Patienten an, die Kraft sei subjektiv vermindert. Gleiches geben 63,6 % der Patienten aus der Gruppe Mason III & IV an. Diese Differenz ist mit $p = 0,011$ signifikant. Bei der Frage nach einer subjektiven empfundenen Bewegungseinschränkung zeigt sich, dass Mason II Patienten dies verneinen, während 66,7 % der schwerer traumatisierten Patienten dies angeben. Diese Differenz zwischen den Gruppen ist mit $p < 0,01$ hoch signifikant. Allen Patienten war gemein, dass eine gewisse Wetterfühligkeit im OP-Gebiet beschrieben wurde, welche aber nicht objektivierbar war. Zur Veranschaulichung sind die Interviewantworten in Abb. 48 noch einmal graphisch dargestellt. Signifikante Unterschiede sind hervorgehoben.

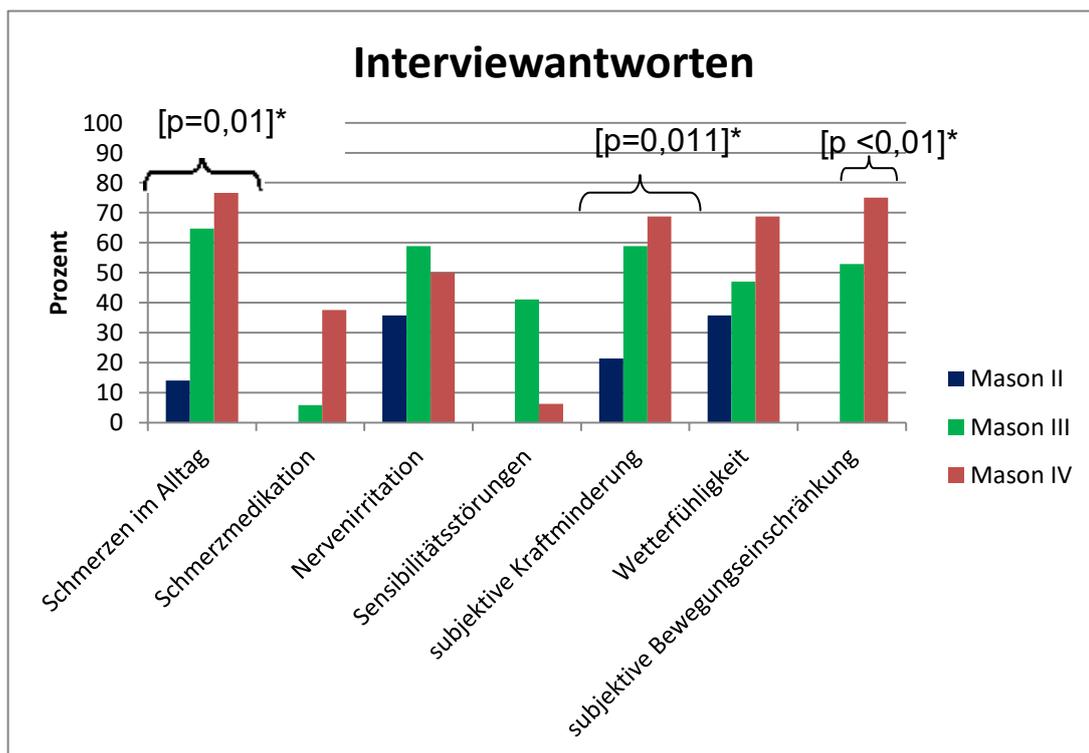


Abb. 48: Interviewantworten

9.4 DASH-Score

Der DASH-Score misst anhand von Fragen, die alltägliche Situationen betreffen, inwieweit der Patient in der Ausübung dieser Tätigkeit eingeschränkt ist. Die Gesamtpunktzahl des DASH-Scores steigt mit der Frakturschwere.

In allen Modulen entspricht die Punktzahl der Mason II Gruppe denen der Normalbevölkerung. Während im allgemeinen Modul zwischen Mason III und IV nur ein Unterschied von drei Punkten besteht, ist dieser Wert im Vergleich zu den Mason II Frakturen um den Faktor drei erhöht (9 Pkt. vs. 29 Pkt / 31 Pkt). Die Differenz zwischen Mason II sowie Mason III & IV ist mit $p < 0,01$ hoch signifikant. Diese große Differenz zwischen den einzelnen Frakturklassen findet sich in allen Modulen. Die Scoredifferenz zwischen Mason II und Mason III & IV im Gesamtmodul ($p < 0,01$), im Arbeits- ($p = 0,018$) sowie Musikmodul ($p = 0,029$) ist ebenfalls signifikant bzw. hoch signifikant (s. Abb. 49).

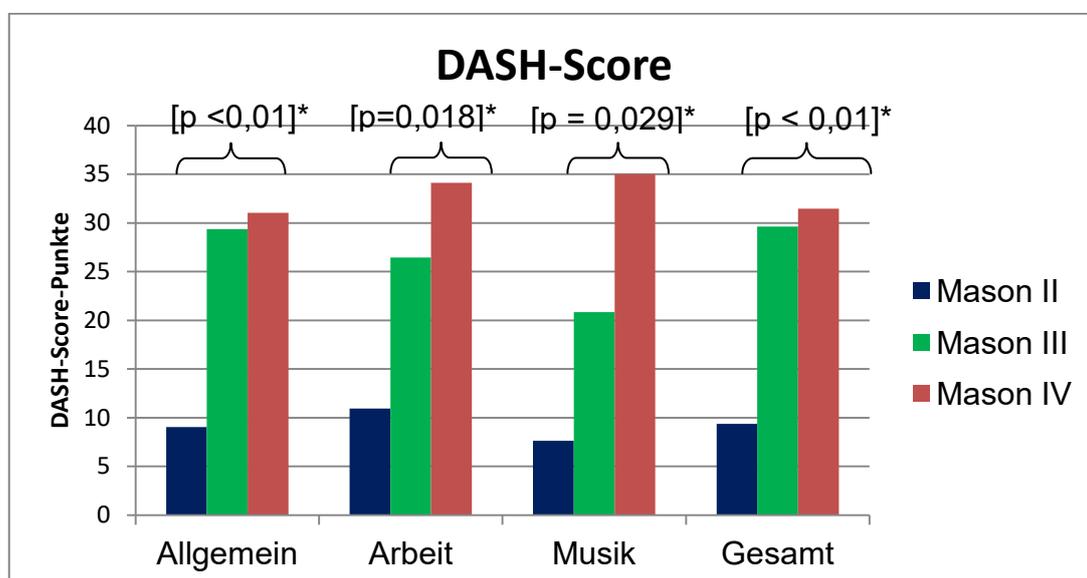


Abb. 49: DASH-Score

9.5 Radiologische Auswertung

Mason II Patienten haben im Vergleich zu Mason III und IV Patienten signifikant weniger Anzeichen einer Arthrose ($p = 0,011$) in den postoperativen radiologischen Verlaufskontrollen. Sie weisen in 80% der Fälle einen Arthrosegrad von 0 oder eins auf, während ein viertel aller Mason III Patienten einen Arthrosegrad drei und 15% aller Mason IV Patienten einen Arthrosegrad IV aufweisen.



Abb. 50 Mason III-Pat (H.K.) mit Kellgren-Lawrence-Score 3

9.6 Ergebnisse nach Versorgungsart (Mason III & IV)

9.6.1 Ergebnisse Bewegungsausmaß

In der Aufschlüsselung der Mason III und IV Frakturen nach Versorgungsart zeigt sich eine unterschiedliche ROM. Für die Flexion/Extension konnte im Durchschnitt bei den osteosynthetisch versorgten Patienten eine ROM von 0° - 8° - 125° gemessen werden. Patienten nach Prothesenversorgung hatten eine ROM von 0° - 18° - 121° . Die schraffierten Flächen zeigen auch hier das Streckdefizit an. Das Ergebnis ist nicht signifikant.

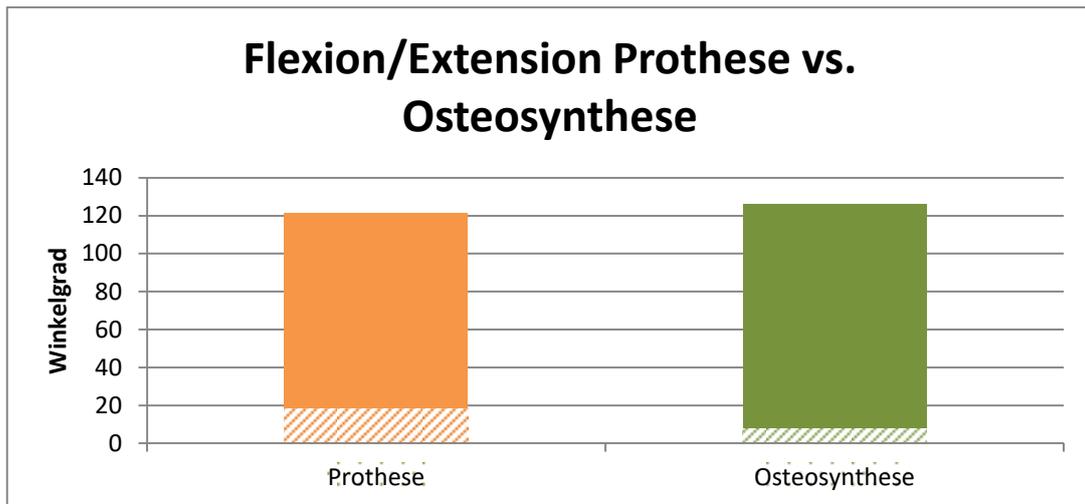


Abb. 51 Flexion/Extension Prothese gegen Osteosynthese

Pronation/Supination bieten ähnliche Ergebnisse. Während bei beiden Gruppen die Pronation noch nah an den anatomischen Normalwerten [64] liegt, wird auch hier eine große Einschränkung in der Supination offensichtlich. Die Supination ist bei Prothesenträgern um knapp 30° reduziert. Prothese (P/S): 79°–0°–65° vs. Osteosynthese (P/S): 81°–0°–77°. Auch diese Unterscheidung ist nicht signifikant.

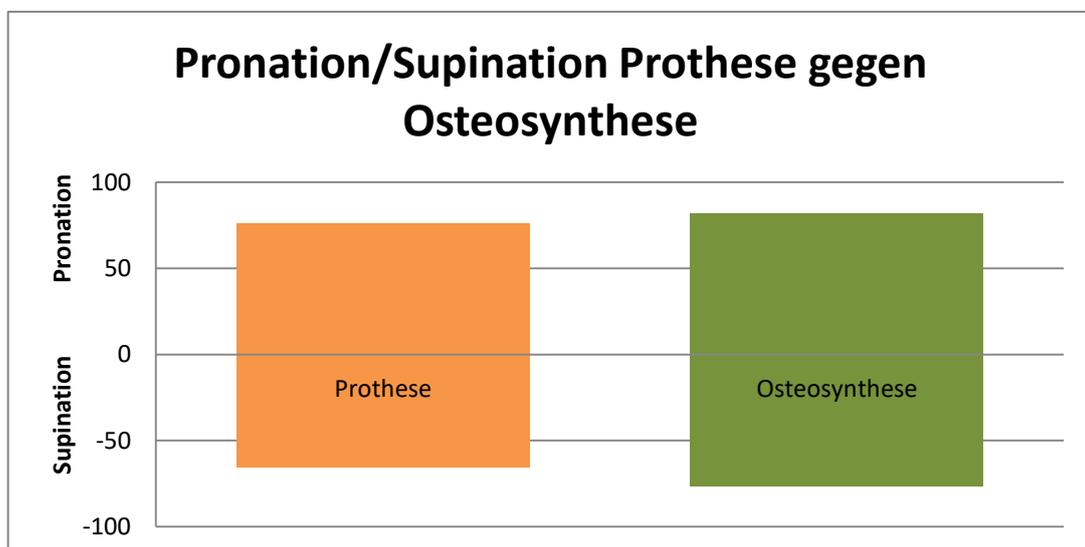


Abb. 52: Pronation/Supination Prothese gegen Osteosynthese

Beim Untersuchungsmerkmal Kraft unterscheiden sich beide Versorgungsgruppen nur geringfügig (Tab. 6). Die Unterschiede liegen aber nahe an der

Vollkraft. In der Diskussion wird dieses Ergebnis gegenüber dem subjektiven Gefühl der Kraftminderung diskutiert.

	Flexion	Extension	Pronation	Supination
Prothese	4,6 ± 0,51	4,46 ± 0,52	4,6 ± 0,51	4,53 ± 0,64
Osteosynthese	4,61 ± 0,5	4,61 ± 0,5	4,67 ± 1,19	4,94 ± 0,24

Tab. 6 Kraftgrade Ellenbogengelenk (MW + 1 SD)

In der Untersuchung der standardisierten Griffe ergibt sich ein inhomogenes Bild. Den Nackengriff können 84 % aller osteosynthetisch versorgten Patienten problemlos ausführen. Prothetisch versorgte Patienten schaffen dies aber nur in 35 % aller Fälle. Die Differenz zwischen beiden Gruppen ist mit $p = 0,009$ hoch signifikant. Der Nasengriff kann von 90 % der Patienten mit einer Osteosynthese ausgeführt werden, aber nur von 57 % aller Prothesenträger. Am geringsten ist die Unterscheidung zwischen den beiden Gruppen beim Schürzengriff zu Gunsten der Osteosynthese (95 % vs. 71 %; Abb. 52).

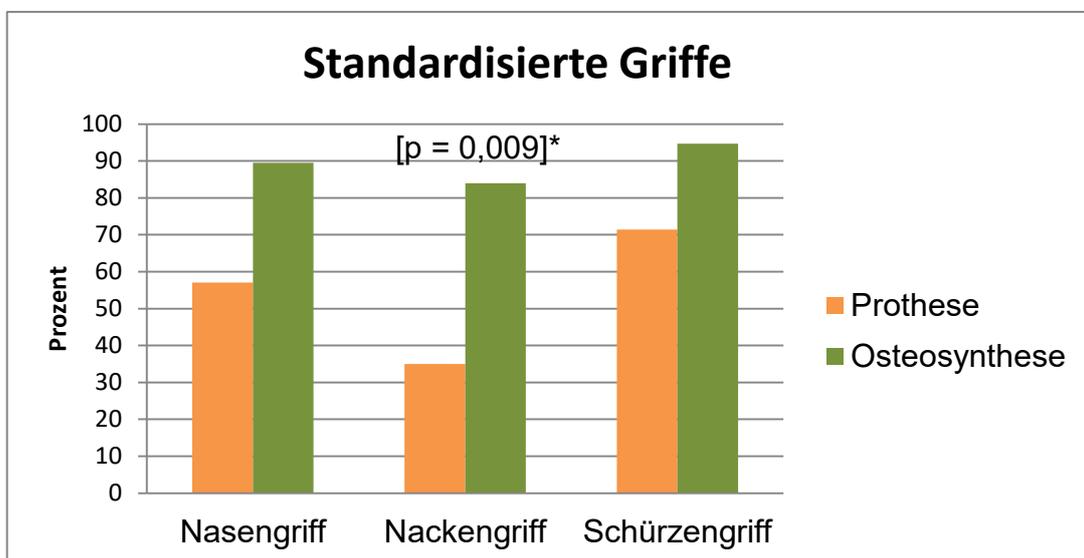


Abb. 53: Standardisierte Griffe Prothese gegen Osteosynthese

9.6.2 Anamnesegespräch

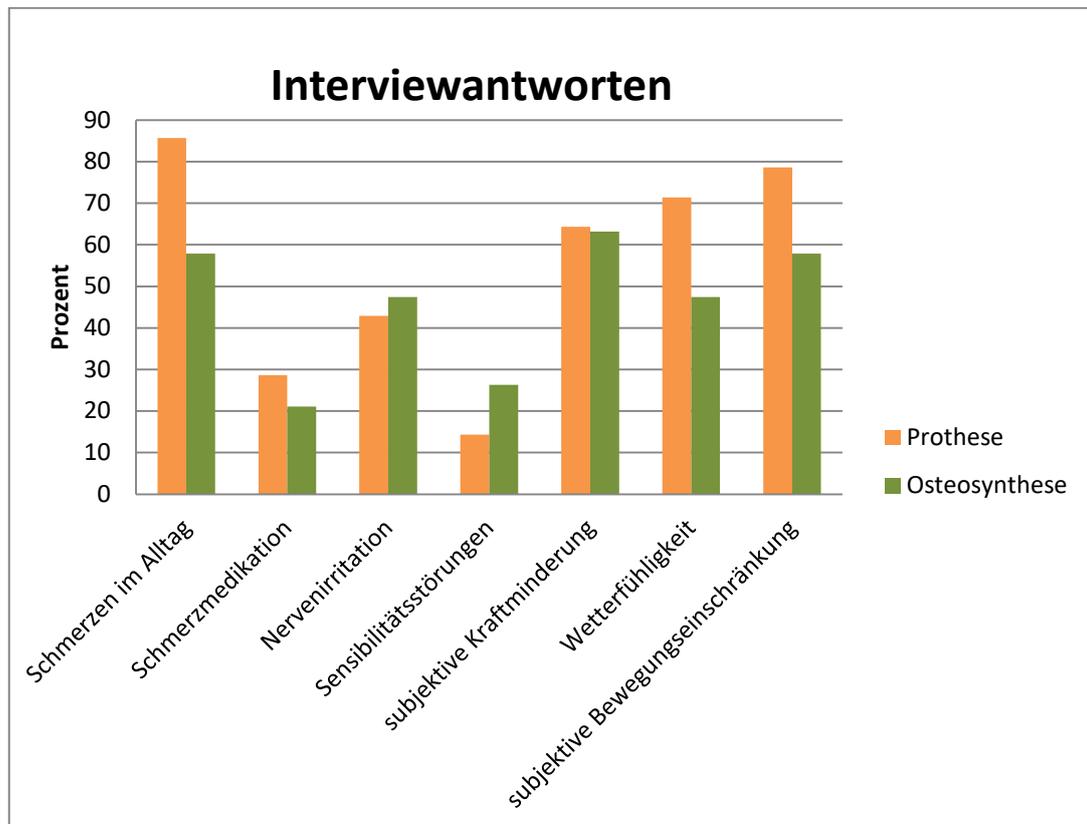


Abb. 54: Interviewantworten Prothese gegen Osteosynthese Signifikanzen?

Abb. 54 zeigt die Interviewantworten, aufgeschlüsselt nach Versorgungsart. Auch diese Werte sind zum besseren Vergleich in relativen Zahlen angegeben.

Auffällig ist hier, dass 86 % aller mit Prothese versorgten Patienten im Alltag Schmerzen im operierten Ellenbogengelenk verspüren, während es nur knapp 60 % der osteosynthetisch versorgten Patienten tun. Der Anteil der Patienten, die im Alltag deswegen Schmerzmittel einnehmen, ist jedoch in der Osteosynthesegruppe höher (28,6 % vs. 21,1 %).

Im Bereich der Nervenirritation weisen beide Versorgungsarten nur geringe Unterschiede auf (O: 47 % vs. P: 42 %). Sensibilitätsstörungen und Nervenirritationen werden in der Gruppe der Osteosynthesepatienten häufiger beschrieben. In allen anderen Punkten (subjektive Kraftminderung, Wetterfähigkeit, subjektive Bewegungseinschränkung) weisen die prothetisch versorgten Patienten das schlechtere Ergebnis auf (Abb. 53).

9.6.3 DASH-Score

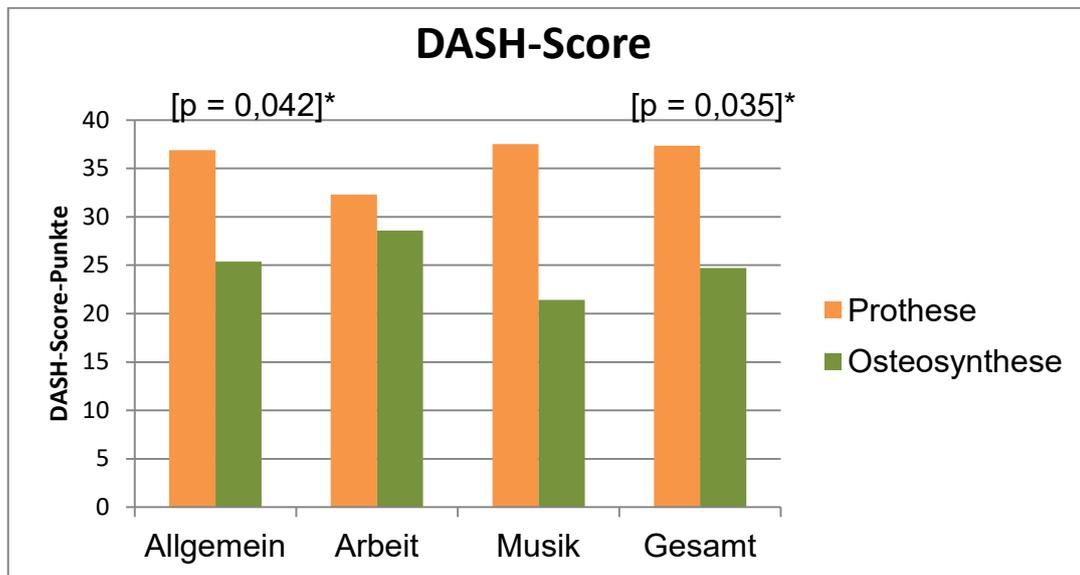


Abb. 55: DASH-Score Prothese gegen Osteosynthese

Große Differenzen im DASH-Score finden sich zwischen den Patienten, die eine Prothese erhalten haben, und denen, die osteosynthetisch versorgt wurden (Abb. 54). So liegt der Score im allgemeinen Modul, im Musikmodul, welches Freizeitaktivitäten repräsentiert, und der Gesamtscore bei Prothesenträgern deutlich höher als in der Osteosynthesegruppe. Gerade in der Freizeitgestaltung scheinen Prothesenträger deutlich stärker eingeschränkt zu sein als Patienten, die osteosynthetisch versorgt wurden (38 vs. 22 Pkt.). Die Punktedifferenzen im allgemeinen Modul und im Gesamtmodul sind mit $p = 0,042$ und $p = 0,035$ signifikant.

Im Arbeitsleben scheint die Beeinträchtigung annähernd gleich hoch (P: 32 Pkt vs. O: 29 Pkt).

9.6.4 Radiologische Auswertung

Arthrosezeichen betreffend unterscheiden sich die Versorgungsformen nicht. Beide Gruppen erreichen rund 1,9 Punkte, was auf eine leichte Ellenbogen-gelenksarthrose schließen lässt. Der Unterschied ist nicht signifikant.



Abb. 56 Mason IV-Pat (M-R.) Kellgren-Lawrence-Score 2



Abb. 57 Mason III-Pat (F.H.) Kellgren-Lawrence-Score 2

9.7 Gegenüberstellung der Versorgungsarten

In der statistischen Gegenüberstellung der Fragen, ob bei subjektiver Bewegungseinschränkung auch eine objektive Bewegungseinschränkung vorliegt, zeigten sich bei Betrachtung des gesamten Patientenkollektivs durchweg signifikante Ergebnisse (Flexion $p = 0,001$, Extension $p = 0,008$, Pronation $p = 0,019$, Supination $p = 0,04$).

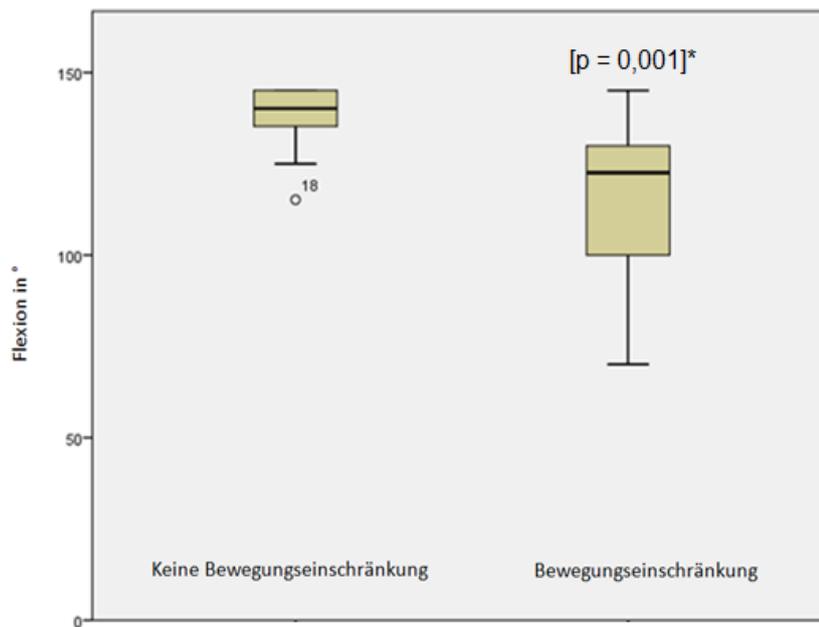


Abb. 58: Bewegungseinschränkung subjektiv und objektiv bei Flexion

Die Abbildung 58 zeigt exemplarisch, dass diejenigen, die eine subjektive Bewegungseinschränkung haben, auch im Durchschnitt eine messbare Reduktion ihrer ROM verzeichnen müssen. Die Ergebnisse sind miteinander assoziiert, allerdings besteht keine statistische Korrelation.

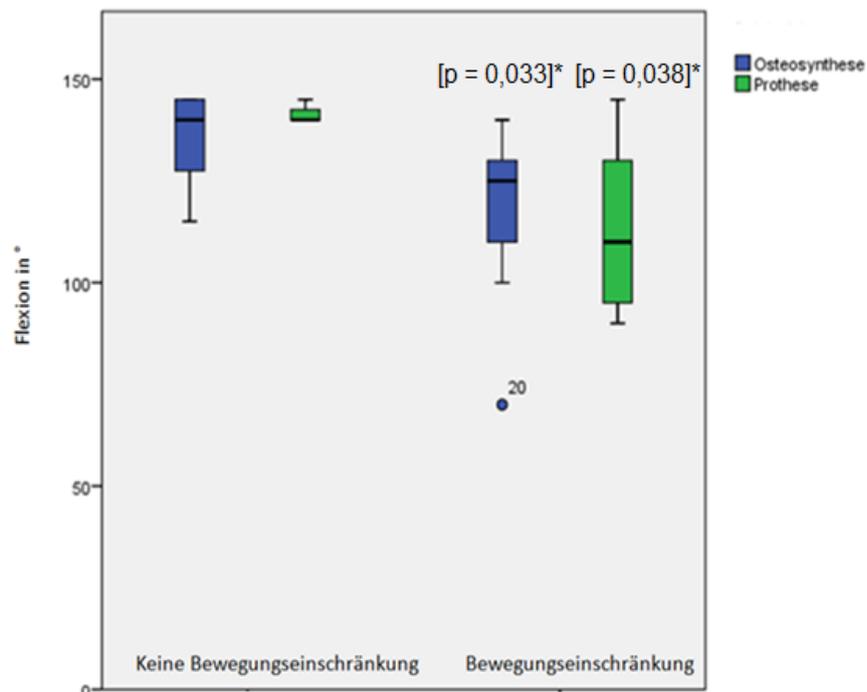


Abb. 59: Bewegungseinschränkung subjektiv und objektiv bei Flexion Prothese gegen Osteosynthese

Auch in der Aufteilung nach Versorgungsart kann eine teils signifikante statistische Assoziation zwischen den subjektiven Einschätzungen und den objektiven Messergebnissen gesehen werden. Die obige Grafik (Abb. 59) zeigt dies auch wieder exemplarisch für die Flexion, zusätzlich aufgeteilt nach Versorgungsart. Das Ergebnis ist sowohl für die Osteosynthese ($p = 0,033$), als auch für die Prothese ($p = 0,038$) signifikant.

In Bezug auf die subjektive Kraftminderung zeigt sich lediglich für die Extension eine statistisch hoch signifikante Assoziation ($p = 0,0033$) zwischen objektivem und subjektivem Ergebnis. Dies bedeutet, dass lediglich für die Extension ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang zwischen der subjektiven Einschätzung einer posttraumatischen Minderung der Extensionskraft und einem objektiv messbaren Ergebnis besteht. Alle anderen Assoziationen zwischen den subjektiven und objektiven Ergebnissen überschritten das Signifikanzniveau, was bedeutet, dass die subjektiv empfundene Kraftminderung sich nicht objektiv nachweisen lässt. In der Gegenüberstellung der Versorgungsarten kann keine statistisch signifikante Assoziation verzeichnet werden. Dies bedeutet für die klinische Versorgung dieser Fraktur, dass, obwohl es sich nur im Verhältnis zum Gesamtkörper nur um einen sehr kleinen Knochenabschnitt handelt, es auch bei gutem operativen Ergebnis, einschränkende subjektive Auswirkungen auf die Bewegungsfähigkeit des Ellenbogengelenkes haben kann, welche auch objektiv messbar sind.

10. Diskussion

10.1 Erkenntnisse aus den eigenen Ergebnissen

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Fragestellung, ob und inwieweit sich das Outcome von Patienten mit Mason II Frakturen von denen mit höhergradigen Frakturen (Mason III und Mason IV) unterscheiden, sowie die Frage, ob ein messbarer Unterschied zwischen der osteosynthetischen Versorgung und dem prothetischen Radiuskopfersatz bei Mason III und Mason IV Frakturen bezüglich Bewegungsausmaß, subjektiver Selbsteinschätzung und radiologischer Arthrosezeichen besteht.

Patienten mit Mason II Fraktur sollten nach den Ergebnissen dieser Arbeit weiterhin osteosynthetisch versorgt werden. Hier können in Zukunft noch die Wirkung biodegradabler Pins oder neue Osteosynthesematerialien untersucht werden.

Es kann auch anhand der hier erhobenen Daten eher die Empfehlung zu einer osteosynthetischen als zu einer prothetischen Versorgung ausgesprochen werden. Denn sowohl für die Range of Motion in Flexion/Extension als auch Pronation/Supination liefert die Osteosynthese das bessere Ergebnis. Gleiches gilt für die hier untersuchten standardisierten Griffe bei denen osteosynthetisch versorgte Patienten teils signifikant bessere Ergebnisse erzielen. Im Interview werden von prothesenversorgten Patienten mehr Beeinträchtigungen angegeben. Nur Nervenirritationen und Sensibilitätsstörungen werden in der Osteosynthesegruppe häufiger beklagt.

Auch in der subjektiven Einschätzung des DASH-Scores schneiden diejenigen Patienten zum Teil signifikant besser ab, die eine Wiederherstellung des Gelenkes erfahren haben. Die Werte für Osteosynthese und Prothese sind zwar höher als in der Vergleichsliteratur, doch weisen die Patienten der Osteosynthesegruppe in allen Gruppen niedrigere Werte auf. Insbesondere in der Freizeit scheint die Beeinträchtigung durch die Prothese zum Tragen zu kommen.

Bezüglich der Arthrose zeigen die beiden hier gegenübergestellten Gruppen keine großen Unterschiede. Im Literaturvergleich finden sich jedoch ausgeprägtere Arthrosebilder bei prothetisch versorgten Patienten. Dies kann

durch ein längeres Follow-up [5], ein anderes Patientenkollektiv wie z.B. Businger [6] oder einem interobserver-Bias geschuldet sein. Mason III oder Mason IV Frakturen sollten nach Interpretation der hier vorliegenden Daten osteosynthetisch versorgt werden, da sowohl das subjektive als auch das objektive Outcome der Prothesenversorgung geringfügig überlegen scheint.

10.2 Erkenntnisse aus der Literatur und Vergleich mit den eigenen Ergebnissen

Die Einteilung der Radiuskopffrakturen nach Mason ist der Schlüsselpunkt für die Versorgung der Fraktur.

Aktuell werden Mason I Frakturen rein konservativ und frühfunktionell behandelt und Mason II Frakturen durch eine operative Rekonstruktion und interne Fixierung therapiert. Bezüglich der Therapie von Mason III und Mason IV Frakturen kann aus der wissenschaftlichen Literatur keine klare Empfehlung hergeleitet werden. Nach Pike [51] (s. Abb. 34) sollte auch bei einer Gelenkbeteiligung von mehr als 33 %, wann immer möglich eine Osteosynthese erfolgen. Wenn diese nicht mehr favorisiert werden kann, empfiehlt er die Implantation einer Radiuskopfprothese. Es soll nun versucht werden, auf dem Boden der erhobenen Ergebnisse und im Kontext mit der wissenschaftlichen Literatur eine mögliche Therapieempfehlung zu geben.

In dieser Untersuchungsreihe wurden 47 Patienten mit Mason II – IV Frakturen untersucht. Kaas et al. kommen in ihrer Untersuchung zu dem demographischen Ergebnis, dass Frauen in der fünften Dekade ihres Lebens die höchste Wahrscheinlichkeit haben, eine Radiuskopffraktur zu erleiden, Männer dagegen in der dritten Dekade [32]. Dies deckt sich vollständig mit den Daten, die erhoben wurden.

Für Patienten mit einer Mason III oder Mason IV Fraktur ist die alleinige Radiuskopfresektion keine Therapieoption mehr. Dies zeigt die aktuelle Literatur. In dieser finden sich leider nur Nachuntersuchungen mit relativ geringer Fallzahl und mit meist monotherapeutischem Ansatz. So dient häufig die klinische Erfahrung mit der Radiuskopfresektion bei komplexeren Radiuskopffrakturen als Vergleichstherapie bei einarmigen Untersuchungsreihen. Prothesenversorgung als auch Rekonstruktion liefern ein besseres Outcome.

Die Ergebnisse dieser Arbeit müssen nun in den Kontext der wissenschaftlichen Literatur eingebettet werden, die teilweise zu divergierenden Ergebnissen kommt.

Lindhovius et al. [40] veröffentlichten 2007 im Journal of Hand Surgery Vol. 35 ihre Untersuchung an insgesamt 28 Patienten, die zwischen 1975 und 1994 eine Fraktur des Radiuskopfes erlitten hatten. Dabei lag das durchschnittliche Langzeit-Follow-up bei 17 Jahren post Trauma; das kurzzeitige Follow-up bei 1,5 Jahren. Sie verglichen das Outcome nach ORIF bzw. Radiuskopfexzision. Dabei erhielten 13 Patienten eine osteosynthetische Versorgung (8 Mason III, 5 Mason II). Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Traumas lag bei 41 Jahren. Sie stellten ein Streckdefizit von 12° im Kurzzeit-Follow-up fest, welches sich nach rund 17 Jahren auf 3° reduziert hatte, in dieser Studie lag das Streckdefizit bei 5°. Die Flexion lag durchweg bei 132°. Für Pronation und Supination maßen sie Werte, die um rund 10° von den anatomischen Normwerten abwichen. Diese Werte unterschieden sich nicht signifikant von denen der Patienten, die eine Radiuskopfexzision erhalten hatten. Der DASH-Score lag bei fünf Punkten (0 – 17 Punkte), was einer minimalen Beeinträchtigung entspricht. Arthrosezeichen wurden bei zwei der acht osteosynthetisch versorgten Patienten beobachtet, einmal mild und einmal moderat ausgeprägt. In dieser Studie wurden bei allen untersuchten Patienten nur geringe Arthrosegrade gesehen Lindhovius et al. [40] empfehlen trotz geringer statistisch signifikanter Differenzen zwischen den Gruppen eine Osteosynthese. Unter anderem, da die Rekonvaleszenz kürzer ist und die Patienten schneller an ihre angestammte Arbeitsstelle zurückkehren konnten. Es konnten ein geringerer Arthrosegrad und eine höhere Stabilität im Ellenbogengelenk dokumentiert werden, aber auch die Beeinträchtigung im Alltag wurde als geringer erfasst (DASH 5 vs. 15 Punkte). Mason II Patienten dieser Studie hatten einen DASH-Score von 9 Punkten, was einer äquivalenten Beeinträchtigung entspricht, wohingegen Mason III Patienten einen Score von 29 Punkten aufwiesen, was einer deutlich stärkeren Beeinträchtigung darstellt. Sie relativieren ihre Empfehlung jedoch, wenn mehr als drei Frakturfragmente vorliegen oder die einzelnen

Fragmente zu klein für eine Osteosynthese sind. In solch einem Fall sollte über eine Prothesenimplantation nachgedacht werden. [40] Ihre Ergebnisse decken sich mit denen dieser Arbeit. So liegen gerade die Mason II Frakturen mit ihrer ROM an den Normalwerten. Mason III Patienten weisen höhere Einschränkungen auf, doch muss berücksichtigt werden, dass aus dieser Arbeit auch prothetisch versorgte Patienten mit geringerer ROM einfließen. Für die Mason III Patienten wird aufgrund einer Mischung aus osteosynthetisch und prothetisch versorgten Patienten die statistische Aussage deutlich verzerrt.

Celli et al. [8] untersuchten 2010 16 Patienten aus einem Kollektiv von 73 Patienten mit einem durchschnittlichen Follow-up von 3,4 Jahren. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Traumas betrug 46 Jahre. Untersucht wurden 11 Männer und fünf Frauen mit neun Mason III und sieben Mason IV Frakturen. Alle Patienten waren prothetisch versorgt worden. Die Flexion war mit 130° nicht eingeschränkt; die Extension jedoch wies ein Streckdefizit von 13° auf. Dies deckt sich mit dieser Untersuchung, bei der bei prothetisch versorgten Patienten ein durchschnittliches Streckdefizit von 18° gemessen wurde. Die Pronation sowie Supination war mit jeweils 64° deutlich reduziert. Eine Supination von 65° wiesen die Patienten dieser Studie ebenfalls auf, die Pronation war mit 76° allerdings deutlich besser. In der radiologischen Verlaufskontrolle wurden trotz Ossifikationsprophylaxe mit Indometacin in 12,5% der Fälle eine Ankylose des Ellenbogengelenkes und in 12,5 % der Fälle eine Synostose der beiden Unterarmknochen diagnostiziert, In dieser Studie nur geringe Arthrosewerte. Die Patienten dieser Untersuchung gaben im Schnitt einen Schmerz von 1,38 auf der visuellen Analogskala an. Aus der Untersuchung von Celli et al. geht nicht hervor, wie viele der Patienten regelmäßig Schmerzen hatten. 86 % der Patienten aus der hier vorgestellten Untersuchung geben Schmerzen im Alltag an. Celli et al. favorisieren die prothetische Versorgung bei Patienten mit Splitterfrakturen des Radiuskopfes statt einer Resektion. Limitierend in der Studie von Celli et al. ist jedoch, dass kein direkter Vergleich mit einer anderen Versorgungsart herangezogen wurde, im Gegensatz zu dieser Arbeit, in der zwei mögliche Behandlungsverfahren miteinander verglichen wurden.

Burkhart et al. [10] empfehlen ebenfalls bei Patienten mit komplexen Ellenbogenfrakturen die Implantation einer Radiuskopfprothese. Diese Empfehlung basiert auf einer Untersuchung aus 2010, in der sie retrospektiv 17 von 19 Patienten mit einem mittleren Follow-up von acht Jahren und einem Durchschnittsalter von 44 Jahren untersuchten. Im Patientenkollektiv befanden sich auch sechs Mason Frakturen (2 IV, 4 III), aber auch andere komplexe Ellenbogenverletzungen, wie Essex-Lopresti oder Monteggia-like-lesions. Auch in dieser Untersuchung war die Flexion mit 124° nah am anatomischen Normalwert, die Extension mit einem Streckdefizit von 21° aber deutlich eingeschränkt, ähnlich dem Patientenkollektiv dieser Untersuchung. Pro- und Supination mit 64° waren ebenfalls deutlich limitiert. Bemerkenswert ist der niedrige DASH-Score, den die Patienten angaben. So liegt er durchschnittlich bei 9,8 Punkten mit einer Spanne von 0 – 34 Punkten. Daher schätzen sich die Patienten durch ihre stattgehabte Ellenbogenverletzung im Alltag nur gering bis gar nicht eingeschränkt ein. Anders dagegen Patienten der hier vorgestellten Untersuchung, deren mittlerer DASH-Score bei 37 Punkten liegt, was für eine höhere Einschränkung im Alltag spricht.

In der radiologischen Verlaufsdagnostik sahen Burkhart et al. ausgeprägte heterotope Ossifikationen und Arthrosezeichen in der Art. humeroradialis, aber auch zwölf Fälle von Arthrose im Humeroulnargelenk. Allerdings wurden in diese Studie nicht nur Mason III und IV Frakturen eingeschlossen, sondern auch weitere komplexe Ellenbogenfrakturen mit Auswirkungen auf die anderen Gelenkpartner. Burkhart et al. favorisierten bei Splitterfrakturen die Implantation einer Radiuskopfprothese.

Müller et al. [46] untersuchten zwölf Patienten mit 14 Prothesen, denen bei Mason III oder Mason IV Frakturen eine Radiuskopfprothese implantiert worden war. Das durchschnittliche Follow-up lag bei 33 Monaten und damit vergleichbar zu dieser Untersuchung. Allerdings wurde für Müllers Untersuchung nur der DASH-Score erhoben, der mit $10,2 \pm 10,1$ im Schnitt nur ein Drittel so hoch war wie bei den Patienten aus Münster. Eine objektive Messung des Bewegungsumfanges erfolgte nicht. Dennoch empfehlen Müller et

al. die Prothese. Jedoch wurde hier nur die Radiuskopfresektion als alternative Therapieoption betrachtet.

Carità et al. [7] veröffentlichten 2017 im *Musculoskelet Surgeon* ihre Nachuntersuchungsreihe mit insgesamt 28 Patienten, deren Durchschnittsalter bei 49 Jahren lag. Über eine Geschlechteraufteilung sowie über den Traumamechanismus liegen keine Informationen vor. Eingeschlossen in ihre Untersuchung wurden Patienten mit Mason III und IV Frakturen sowie Patienten mit posttraumatischer Arthritis nach Radiuskopffraktur. Alle Patienten wurden prothetisch versorgt. Carità et al. verwendeten jedoch keine bipolare Radiuskopfprothese, sondern eine zementfrei implantierte monopolare Prothese der Firmen Acumed oder Tornier. Die Patienten erreichten einen Flexions-/Extensionsradius von rund 107° , wobei keine Differenzierung zwischen Extension und Flexion möglich ist. Im Vergleich dazu liegt der Bewegungsradius für Flexion/Extension in dieser Studie bei 103° . Auch im Bereich Pronation/Supination liegt der Bewegungsradius bei Patienten, die von Carità et al. untersucht wurden, etwas höher (159° vs. 144°). Eine genaue Aufschlüsselung der einzelnen Bewegungsabschnitte erfolgte jedoch in diesem Zusammenhang ebenfalls nicht. Der DASH-Score ist mit 14,2 Punkten auf einem niedrigeren Niveau als bei Patienten dieser Untersuchung (37 Punkte). Demzufolge kommen Carità et al. zu dem Schluss, dass eine Prothesenversorgung mit einer monopolaren Prothese bei nicht rekonstruierbarer Radiuskopffraktur eine sinnvolle Therapieoption darstellt.

Bereits 2005 veröffentlichten Ikeda et al. [27] ihre Untersuchung. Sie verglichen 13 Patienten mit drei Mason III und zehn Mason IV Frakturen, die eine Osteosynthese erhielten, mit einer Kontrollgruppe aus 15 Patienten, die eine Radiuskopfresektion erhielten. Das Follow-up betrug zwischen drei und zehn Jahren. Ihre Ergebnisse zeigen für Extension, Pronation und Supination signifikant bessere Werte für die Osteosynthesegruppe. So bestand am Ende nur noch ein Streckdefizit von 7° und auch die Pro- und Supination lag mit $73^\circ-0^\circ-85^\circ$ in einem akzeptablen Rahmen. Auch die subjektive Zufriedenheit, die mit dem Broberg and Morrey functional rating score erhoben wurde, zeigte signifikant bessere Ergebnisse für die Wiederherstellung des Radius-

kopfes. Daher kommen die Autoren zu dem Schluss, dass eine Rekonstruktion der Resektion vorzuziehen sei.

Businger et al. [6] zeigten mit ihrer Untersuchung an sechs Patienten, dass eine on-table-Rekonstruktion des Radiuskopfes sehr gute Ergebnisse liefert. Dabei wurde bei zwei Mason III und vier Mason IV Frakturen der Radiuskopf ex situ vollständig rekonstruiert und anschließend mittels Plattenosteosynthese wieder mit dem Collum radii verbunden. Die Flexion liegt dabei im Normalbereich und es ist ein Streckdefizit von sechs Grad zu verzeichnen. Auch Pro- und Supination kommen nah an die anatomischen Normwerte heran. Der DASH-Score ist mit 1,94 Punkten im Durchschnitt extrem niedrig und zeigt ein sehr gutes subjektives Outcome der Patienten an. Radiologisch lassen sich nur leichte Arthrosezeichen feststellen. Einschränkend zu dieser Studie muss die niedrige Fallzahl von $n = 6$ angeführt werden, doch zeigt diese Veröffentlichung, dass der natürliche Kraftträger bei richtiger Wiederherstellung der Prothese überlegen ist. So verwundert es nicht, dass Businger et al. auch bei schweren Splitterfrakturen eine on-table-Rekonstruktion empfehlen.

Koslowsky et al. [37] verfolgten in ihrer Untersuchungsreihe über einen Zeitraum von zwei Jahren 23 Patienten mit 25 Radiuskopffrakturen, davon 14 Mason III und 11 Mason IV Frakturen. Für beide Gruppen konnten sie zeigen, dass eine gute Flexion bei osteosynthetischer Versorgung besteht und nur ein geringes Streckdefizit von fünf Grad zurückbleibt. Auch Pro- und Supination erreichen fast Normwerte ($85^{\circ} - 0^{\circ} - 85^{\circ}$).

Für Frakturen Mason II kann eine offene Rekonstruktion mit guten anatomischen und subjektiven Ergebnissen als Therapie der Wahl angesehen werden. Hier sind die Ergebnisse der oben vorgestellten Untersuchung sowohl bei objektiven als auch subjektiven Werten deckungsgleich mit denen der vorliegenden Literatur.

Es fallen jedoch einige Unterschiede im Vergleich der Subgruppen Mason III und Mason IV mit der entsprechenden Literatur auf. So weisen prothesenversorgte Patienten ein deutlich schlechteres Ergebnis ($0^{\circ} - 18^{\circ} - 121^{\circ}$) für die Flexion und Extension auf als die Patienten der zitierten Literatur, z.B. Celli et

al. [8] Ursächlich hierfür kann zum einen das inhomogenere Patientenkollektiv in Münster sein, zum anderen wurde auch nicht untersucht, ob die Prothese initial oder als Revision bei nicht osteosynthetisch beherrschbarer Radiuskopffraktur implantiert wurde. Auch bei Pro- und Supination weisen die Patienten dieser Arbeit eine deutlich ausgeprägtere Bewegungseinschränkung auf als Patienten mit osteosynthetischer Versorgung, allerdings finden sich in der Literatur ähnlich schlechte Werte.

Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in der subjektiven Selbsteinschätzung der Patienten wieder. So liegt der Durchschnitts-DASH-Score bei 37 Punkten. Ob diese hohe Punktzahl nun aufgrund der Bewegungseinschränkung, Schmerzen oder anderer im Alltag störender Faktoren zu Stande kommt, lässt sich nicht eindeutig feststellen. Andere Autoren publizieren deutlich bessere Werte, die für eine viel geringere Einschränkung der Patienten sprechen

Im Vergleich der radiologischen Arthrosezeichen skizziert sich ein inhomogenes Bild. Zwar weisen nicht nur Patienten dieser Untersuchungsreihe Zeichen eines Gelenkverschleißes auf (s.9.5 bzw. 9.6.4), doch kann weder in dieser Studie noch in den zitierten Literaturstellen eine direkte Korrelation zwischen radiologischem Bild und klinischer Bedeutung gezeigt werden. Der Arthrosegrad ist in dieser Studie deutlich geringer ausgeprägt als in der Vergleichsliteratur. Jedoch impliziert diese Assoziation, dass prothetisch versorgte Patienten ein höheres Risiko für Gelenkverschleiß und damit konsekutive Schädigungen des Ellenbogengelenkes haben. Auch eine Ossifikationsprophylaxe scheint das Ergebnis nicht positiv zu beeinflussen [8].

Ein positiveres Ergebnis zeigen die Patienten, deren Frakturen osteosynthetisch versorgt wurden. So ist das Bewegungsausmaß größer (0° – 8° – 125°) und das Extensionsdefizit geringer. Diese Werte erscheinen ebenfalls in der Literatur. Bessere Ergebnisse finden sich auch bei Pro- und Supination mit 81° – 0° – 76° . Insbesondere die Supination ist bei osteosynthetischer Versorgung deutlich weniger eingeschränkt. Der DASH-Score ist mit 25 Punkten im Vergleich zur Literatur zwar immer noch sehr hoch und zeigt eine subjektive Beeinträchtigung der Patienten im Alltag an, doch ist er signifikant niedriger als bei prothetisch versorgten Patienten. Deutlich weniger beeinträchtigt sind

die Patienten der Studie von Lindenhovius [40] mit einem DASH-Score von rund fünf Punkten. Am geringsten beeinträchtigt waren die Patienten, die von Businger et al. [6] untersucht wurden. Hier lag der DASH-Score nur bei 1,94 Punkten. Limitierend bei Businger et al. ist die niedrige Fallzahl mit n = 6 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 40 Jahren, was auf eine sorgfältige Selektion der Patienten bei der Versorgung schließen lässt. Doch zeigt diese Arbeit, dass mit einer suffizienten Osteosynthese bzw. auch on-table-Rekonstruktion ein hervorragendes Ergebnis erzielt werden kann. Die Patienten dieser Untersuchung weisen im Durchschnitt einen Kellgren-Lawrence-Score von rund zwei Punkten auf. Dies entspricht einem minimalen Arthrosebild. Auch die Patienten der Vergleichsliteratur zeigen nur einen geringen Arthrosegrad [6, 47, 40]. Dieser kann natürlich durch das Trauma mit bedingt sein, doch wurde hier auch kein Vergleich mit anderen Gelenken gezogen, um eine mögliche altersabhängige Gelenkabnutzung zu untersuchen. In der statistischen Analyse der Daten zeigt sich auch, dass die Patienten, die in der Befragung eine subjektive Bewegungseinschränkung angegeben haben, auch häufiger objektiv messbar in der Bewegung ihres Ellenbogens eingeschränkt sind. Gleiches gilt für die subjektive Kraftminderung. Statistisch konnte hier ebenfalls eine Assoziation hergestellt werden. Inwieweit jedoch die subjektive Einschätzung des Einzelnen mit der objektiven Bewegungs- oder Krafteinschränkung korreliert, kann nicht sicher festgestellt werden und sollte in weiteren klinischen Untersuchungsreihen näher erforscht werden. Es konnte auch gezeigt werden, dass diese Assoziation unabhängig von der Versorgungsart ist.

10.3 Klinisches Fazit

In der Zusammenschau der Literatur mit den erhobenen Ergebnissen lässt sich zusammenfassend folgendes Fazit ziehen:

Mason II Frakturen sollten weiterhin osteosynthetisch versorgt werden, da hier die Balance zwischen Invasivität und funktionellem Ergebnis am besten gewahrt bleibt. Bei Mason III und Mason IV Frakturen scheint nach aktueller Datenlage die Osteosynthese der prothetischen Versorgung überlegen zu sein, um ein zufriedenstellendes funktionelles Ergebnis zu erreichen.

Weitere Untersuchungen sollten angestrebt werden, um dieses Ergebnis zu bestätigen.

11. Limitationen

Nach kritischer Betrachtung der Ergebnisse und der technischen Durchführung weist diese Arbeit Limitationen auf, die in weiteren Studien eingegrenzt werden sollten.

So wurde die Kraftmessung rein subjektiv durchgeführt. Hier kann auch eine objektive sportmedizinische Kraftmessung erfolgen, um den subjektiven Untersuchereindruck als Störfaktor zu reduzieren und reproduzierbare Messwerte zu liefern. Die Analyse der Range-of-Motion erfolgte mittels Handgoniometer nach der Neutral-Null-Methode. Eine Messung mittels technischer Hilfsmittel könnte das Ergebnis weiter objektivieren, da die Messgenauigkeit dadurch erhöht und das Ergebnis reproduzierbar wird. Eine genaue Aufschlüsselung der weiteren begleitenden Verletzungen am Ellenbogen, sei es im Zusammenhang mit dem untersuchten Trauma, vorbestehend oder nach dem Indextrauma zugezogen, wurde nicht durchgeführt.

Gleichzeitig wurde nicht untersucht, ob die Operation primär erfolgte oder nach erfolgloser konservativer Therapie. Warum nicht?

Des Weiteren wurde nicht untersucht, ob eine Vergleichbarkeit der Operateure möglich ist. So wurde die Erfahrung der Operateure mit der Versorgung dieser Fraktur bzw. mit dem Einbau der Prothese nicht näher untersucht.

Auch wurde nicht erhoben, ob eine Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgte. Nicht von allen Patienten waren Röntgenbilder zur Analyse im Radiologie-Informationssystem des Universitätsklinikums Münster vorhanden.

12. Schlussbetrachtung

Die Radiuskopffraktur stellt nach wie vor hohe Ansprüche an den Operateur, um ein gutes Outcome für den Patienten zu generieren. Dabei ist die optimale Versorgung für höhergradige Frakturen (Mason IV) weiterhin ungeklärt. Die Ergebnisse dieser Arbeit tendieren zu einer Favorisierung der gelenkerhaltenden Osteosynthese, doch bedarf es weiterer Studien, um ein eindeutiges Ergebnis zu liefern. Des Weiteren sind in folgenden Arbeiten dann auch äußere Faktoren wie Compliance, Knochenqualität und Begleitverletzungen zu berücksichtigen, ebenso wie die Erfahrung des Operateurs mit den beiden Behandlungsmethoden, um eine präzisere Aussage treffen zu können, welches Operationsverfahren für welchen Patienten besser geeignet ist. Unter Berücksichtigung der für diese Arbeit erhobenen Ergebnisse scheint die Osteosynthese bei höhergradigen Frakturen des Radiuskopfes die Therapie der Wahl zu sein.

13. Literaturverzeichnis

1. Aumüller G. Anatomie : 208 Tabellen ; [mit CD-ROM zum Präp-Kurs]. Stuttgart: Thieme; 2007. XXVIII, 1344 S. : zahlr. Ill., graph. Darst. p.
2. Bano KY, Kahlon RS. Radial head fractures-advanced techniques in surgical management and rehabilitation. J Hand Ther. 2006;19(2):114-35.
3. Bouassida S. Das Kompressionssyndrom des Nervus ulnaris in der Ellenbogenregion, Befundabhängiges Therapiekonzept und Erstbeschreibung einer subperiostalen Neosulcusplastik. Münster 2010.
4. Broberg MA, Morrey BF. Results of treatment of fracture-dislocations of the elbow. Clin Orthop Relat Res. 1987(216):109-19.
5. Burkhart KJ, Mattyasovszky SG, Runkel M, Schwarz C, Kächle R, Hessmann MH, et al. Mid- to long-term results after bipolar radial head arthroplasty. J Shoulder Elbow Surg. 2010;19(7):965-72.
6. Businger A, Ruedi TP, Sommer C. On-table reconstruction of comminuted fractures of the radial head. Injury. 2010;41(6):583-8.
7. Carità E, Donadelli A, Cugola L, Perazzini P. Radial head prosthesis: results overview. Musculoskelet Surg. 2017;101(Suppl 2):197-204.
8. Celli A, Modena F, Celli L. The acute bipolar radial head replacement for isolated unreconstructable fractures of the radial head. Musculoskelet Surg. 2010;94 (Suppl 2):3-9.
9. Cotta H. [Surgical treatment of radius head fracture]. Arch Orthop Unfallchir. 1958;50(3):260-8.
10. Cunningham PM. MR imaging of trauma: elbow and wrist. Semin Musculoskelet Radiol. 2006;10(4):284-92.
11. Cutler CW. Fractures of the head and neck of the radius. Ann Surg. 1926;83(2):267-78.

12. de Haan J, Schep NW, Eygendaal D, Kleinrensink GJ, Tuinebreijer WE, den Hartog D. Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies. *Open Orthop J.* 2011;5:168-76.
13. Debrunner HU. Gelenkmessung (Neutral-0-Methode), Längenmessung, Umfangmessung. *Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen.* Bern 1971.
14. DGUnfallversicherung. Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 -Methode). Berlin 2017.
15. Doser A. Die Essex-Lopresti-Verletzung: Klinische Studie und Literaturauswertung. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs-Universität; 2006.
16. Fornalski S, Gupta R, Lee TQ. Anatomy and biomechanics of the elbow joint. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2003;7(4):168-78.
17. Diagnosedaten der Krankenhäuser ab 2000 (Eckdaten der vollstationären Patienten und Patientinnen). Gliederungsmerkmale: Jahre, Behandlungs-/Wohnort, ICD10, (Primärquelle: Statistisches Bundesamt); in gbe-bund.de (Thematische Recherche: Diagnose S52.10,Wohnort Deutschland, Standardbevölkerung 2011), cited 03.11.2021, 15:56 Uhr
18. Gebauer M, Rücker AH, Barvencik F, Rueger JM. [Therapy for radial head fractures]. *Unfallchirurg.* 2005;108(8):657-67; quiz 68.
19. Germann G, Harth A, Wind G, Demir E. [Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder,Hand (DASH) questionnaire]. *Unfallchirurg.* 2003;106(1):13-9.
20. Graumann W. *CompactLehrbuch Anatomie, Bewegungsapparat: mit 46 Tabellen; [abgestimmt auf die neue ÄAppO].* Stuttgart: Schattauer; 2004. XVIII, 509 S.: Ill., graph. Darst. p.
21. Gummesson C, Atroshi I, Ekdahl C. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery. *BMC Musculoskelet Disord.* 2003;4:11.

22. Harms V. Physik für Mediziner und Pharmazeuten : ein kurz gefasstes Lehrbuch ; nach den Gegenstandskatalogen für die 1. Ärztliche Prüfung und für den 1. Abschnitt der Pharmazeutischen Prüfung. 18., neu bearbeitete u. erw. Aufl. ed. Lindhöft: Harms Verl.; 2010. 352 S. : Ill., graph. Darst. p.
23. Hochschild J. Grundlagen zur Wirbelsäule. HWS und Schädel. BWS und Brustkorb. Obere Extremität. 3. unveränderte Auflage ed. Stuttgart: Thieme; 2005.
24. Hotchkiss RNM. Displaced fractures of the radial head: Internal fixation or excision? Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 1997;Volume 5(1):p1-10.
25. Iftimie PP, Calmet Garcia J, de Loyola Garcia Forcada I, Gonzalez Pedrouzo JE, Giné Gomà J. Resection arthroplasty for radial head fractures: Long-term follow-up. J Shoulder Elbow Surg. 2011;20(1):45-50.
27. Ikeda M, Sugiyama K, Kang C, Takagaki T, Oka Y. Comminuted fractures of the radial head. Comparison of resection and internal fixation. J Bone Joint Surg Am. 2005;87(1):76-84.
28. Itamura J, Roidis N, Mirzayan R, Vaishnav S, Leach T, Shean C. Radial head fractures: MRI evaluation of associated injuries. J Shoulder Elbow Surg. 2005;14(4):421-4.
29. Jester A, Harth A, Rauch J, Germann G. [DASH data of non-clinical versus clinical groups of persons--a comparative study of T-norms for clinical use]. Handchir Mikrochir Plast Chir. 2010;42(1):55-64.
30. Johnston GW. A follow-up of one hundred cases of fracture of the head of the radius with a review of the literature. Ulster Med J. 1962;31:51-6.
31. Judet T. Frakturen von Radiuskopf und Radiushals beim Erwachsenen in Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie. [Sonderausg. der] 1. Aufl. ed. München 2005. XII, 1031 S. : zahlr. Ill. p.
32. Kaas L, van Riet RP, Vroemen JP, Eygendaal D. The epidemiology of radial head fractures. J Shoulder Elbow Surg. 2010;19(4):520-3.

33. Kapandji IA. Anatomie fonctionelle du membre supérieur. Paris: VIGOT MALOINE Éditeur; 2005.
34. Kapandji IA. Physiologie, Funktionelle Anatomie der Gelenke : schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik ; [obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule]. 5. Aufl., einbd. Ausg. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2009. Getr. Zählung : zahlr. Ill. und graph. Darst. p.
35. <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/musculus-anconeus>
Illustrator: Yousun Koh 03.08.2021
36. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthrosis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502.
37. Koslowsky TC, Germund I, Beyer F, Mader K, Krieglstein CF, Koebke J. Morphometric parameters of the radial head: an anatomical study. *Surg Radiol Anat.* 2007;29(3):225-30.
38. Koslowsky TC, Mader K, Gausepohl T, Pennig D. Reconstruction of Mason type-III and type-IV radial head fractures with a new fixation device: 23 patients followed 1-4 years. *Acta Orthop.* 2007;78(1):151-6.
39. LCP Proximal Radius Plates 2.4, Plates for radial head rim and for radial head neck address individual fracture patterns of the proximal radius. In: Synthes D, editor. Oberdorf, Schweiz 2015.
40. Lindenhovius AL, Felsch Q, Doornberg JN, Ring D, Kloen P. Open reduction and internal fixation compared with excision for unstable displaced fractures of the radial head. *J Hand Surg Am.* 2007;32(5):630-6.
41. Longo UG, Franceschi F, Loppini M, Maffulli N, Denaro V. Rating systems for evaluation of the elbow. *Br Med Bull.* 2008;87:131-61.
42. Mason ML. Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases. *Br J Surg.* 1954;42(172):123-32.

43. McKee M. Surgical management of elbow dislocations associated with radial head and coronoid fractures: How to tame the “Terrible Triad” of the elbow. *Orthop Traumatol* .2004; 3:238 – 52,
44. <http://www.mevis-research.de/~hhj/AO%20Klassifikation.htm#AO%2021-A2> cited am 03.08.2021
45. Morrey BF. The elbow and it's disorders. 2. Aufl. ed. Philadelphia, London, Toronto: W.B. Saunders; 1993.
46. Müller MC, Burger C, Striepens N, Wirtz CD, Weber O. [Clinical results after replacement of comminuted radial head fractures (Mason III and IV) by the bipolar radial head prosthesis of Judet]. *Z Orthop Unfall*. 2008;146(2):218-26.
47. Müller MC, Burger C, Wirtz DC, Weber O. Replacement of the comminuted radial head fracture by a bipolar radial head prosthesis. *Operative Orthopädie und Traumatologie*. 2011;23(1):37-45.
48. Müller ME, Allgöwer M. *Manual der Osteosynthese : AO-Technik*. 3., erw. u. völlig überarb. Aufl. ed. Berlin [u.a.]: Springer; 1992. XXX, 751 S. : zahlr. Ill., graph. Darst. p.
49. Oster P. *Langfristige Nachuntersuchung operativ behandelter Olekranonfrakturen*. Tübingen: Eberhard Karls Universität; 2003.
50. Paulsen, Waschke. *Sobotta Atlas der Anatomie*. 24th ed. München: Elsevier; 2017
51. Pike JM, Athwal GS, Faber KJ, King GJ. Radial head fractures--an update. *J Hand Surg Am*. 2009;34(3):557-65.
52. Pomianowski S, Morrey BF, Neale PG, Park MJ, O'Driscoll SW, An KN. Contribution of monoblock and bipolar radial head prostheses to valgus stability of the elbow. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83-A(12):1829-34.

53. Popovic N, Djekic J, Lemaire R, Gillet P. A comparative study between proximal radial morphology and the floating radial head prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(4):433-40.
54. Rohen JW, Lütjen-Drecoll E. Funktionelle Anatomie des Menschen : Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten ; mit 41 Tabellen. 10., völlig neugestaltete u. erw. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Schattauer; 2001. XII, 395 S. : zahlr. Ill., graph. Darst. p.
55. Schaal T. Funktionelle Ergebnisse nach der Behandlung von traumatischen Ellenbogenluxationen. Tübingen: Eberhard Karls Universität; 2005.
56. Scharf H-P, Anagnostakos K. Orthopädie und Unfallchirurgie : Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung. 1. Aufl. ed. München [u.a.]: Elsevier, Urban & Fischer; 2009. XIV, 962 S. : Ill., graph. Darst. p.
57. Schünke M. Topographie und Funktion des Bewegungssystems : funktionelle Anatomie. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2000. X, 478 S. : zahlr. Ill. p.
58. Sheps DM, Kiefer KR, Boorman RS, Donaghy J, Lalani A, Walker R, et al. The interobserver reliability of classification systems for radial head fractures: the Hotchkiss modification of the Mason classification and the AO classification systems. *Can J Surg.* 2009;52(4):277-82.
59. Smolenski U.-C. ,Buchmann, J ,Beyer, L , Harke, G, Pahnke, J , Seidel W. Janda Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik: Theorie und Praxis - 5., komplett überarbeitete Auflage: München, Elsevier,Urban&FischerVerlag; 2016. 312 p
60. Stroyan M, Wilk KE. The functional anatomy of the elbow complex. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;17(6):279-88.
61. Surgical technique Radial head prosthesis CRF II. In: *Implants Ts*, editor. Saint-Ismier Cedex, Frankreich.
62. Thomsen M, Loew M, Nägerl H. [Kinematics and biomechanics of the elbow joint]. *Orthopade.* 2001;30(9):582-6.

63. Trepel, M. Neuroanatomie : Struktur und Funktion ; [mit dem Plus im Web, Zugangscode im Buch]. 5. Aufl. ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. XII, 420 S. : zahlr. Ill. p.
64. Waldeyer A, Fanghänel J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 18. Aufl. ed. Berlin: de Gruyter; 2009. XXVI, 1334 S. : Ill., graph. Darst. p.
65. Watson-Jones R. The classic: "Fractures and Joint Injuries" by Sir Reginald Watson-Jones, taken from "Fractures and Joint Injuries," by R. Watson-Jones, Vol. II, 4th ed., Baltimore, Williams and Wilkins Company, 1955. Clin Orthop Relat Res. 1974(105):4-10.
66. Werner JA, Koebke J. The function of the antebrachial interosseous membrane. Anat Embryol (Berl). 1987;176(1):127-31.
67. Wolter, D. CE, Seeger J.. Ursachen und Formen der Radiusköpfchenfraktur;. Reizensburger W, editor. Berlin [u.a.]: Springer; 1982. p 117 - 125 p.

14. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Anatomie des Ellenbogengelenkes
- Abb. 2: Anatomische Varianten der Trochlearolle
- Abb. 3: Radiuskopfbeschaffenheit
- Abb. 4: „Hueter-Dreieck“
- Abb. 5: Winkel zwischen Trochlea und Olecranon
- Abb. 5 a: Art. humeroulnaris in Extension und Flexion
- Abb. 6: Kapsel-Bandapparat des Ellenbogengelenkes
- Abb. 7: Musculus biceps brachii
- Abb. 8: Musculus brachialis
- Abb. 9: Musculus triceps brachii
- Abb. 10: Bursen des Ellenbogengelenkes
- Abb. 11: Arterielle Gefäßversorgung des Ellenbogengelenkes
- Abb. 12: Neuroanatomie des Armes
- Abb. 13: Verlauf des N. radialis am Oberarm
- Abb. 14: Arm als Teleskopkonstruktion nach KAPANDJI
- Abb. 15: Achsenmodifikation der Art. humeroulnaris
- Abb. 16: Art. Radioulnaris proximalis
- Abb. 17: Supinationsachse des Unterarmes
- Abb. 18: Kugellager
- Abb. 19: Radiuskopfdurchmesser
- Abb. 20: Achse und Bewegungskegel der Umwendbewegung
- Abb. 21: Unterarm in Supinationsstellung
- Abb. 22: Unterarm in Pronationsstellung
- Abb. 23: Belastungsstärke des Humeroulnargelenkes nach Winkelstellung
- Abb. 24: Kraftvektor der Art. humeroulnaris
- Abb. 25: Kräfteparallelogramm der Art. humeroulnaris
- Abb. 26: Dehnung des Trizeps bei Armelevation
- Abb. 27: Kräfteparallelogramm der Art. humeroulnaris bei Flexion
- Abb. 28: Muskelwirkung beim Klettern
- Abb. 29: Pathomechanismus der Radiuskopffraktur
- Abb. 30: Pathomechanismus des Queue-Stoßes

- Abb. 31: Frakturklassifikation & -morphologie nach AO
- Abb. 32: Radiuskopffrakturen
- Abb. 33: Frakturklassifikation nach Johnston
- Abb. 34: Behandlungsalgorithmus nach Pike
- Abb. 35: Studienergebnisse nach Itamura et al.
- Abb. 36: Schnittführung
- Abb. 37: Posterolateraler Zugang und Anconeuslücke
- Abb. 38: Befunddarstellung in situ
- Abb. 39: Rekonstruktion der Radiuskopffraktur
- Abb. 40: Schraubenosteosynthese
- Abb. 41: Plattenosteosynthese
- Abb. 42: Safe-Zone nach Hotchkiss
- Abb. 43: On-Table-Reconstruction nach Businger
- Abb. 44: Prothese nach Judet
- Abb. 45: Arthrosegrade nach Kellgren- und Lawrence-Score im Metacarpophalangealgelenk
- Abb. 46: Flexion/Extension mit Streckdefizit
- Abb. 47: Standardisierte Griffe
- Abb. 48: Interviewantworten
- Abb. 49: DASH-Score
- Abb. 50: Mason III-Pat (H.K.) mit Kellgren-Lawrence-Score 3
- Abb. 51: Flexion/Extension Prothese gegen Osteosynthese
- Abb. 52: Pronation/Supination Prothese gegen Osteosynthese
- Abb. 53: Standardisierte Griffe Prothese gegen Osteosynthese
- Abb. 54: Interviewantworten Prothese gegen Osteosynthese
- Abb. 55: DASH-Score Prothese gegen Osteosynthese
- Abb. 56: Mason IV-Pat (M-R.) Kellgren-Lawrence-Score 2
- Abb. 57: Mason III-Pat (F.H.) Kellgren-Lawrence-Score 2
- Abb. 58: Bewegungseinschränkung subjektiv und objektiv bei Flexion
- Abb. 59: Bewegungseinschränkung subjektiv und objektiv bei Flexion Prothese gegen Osteosynthese

15. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Klassifikation der Radiuskopffraktur nach Mason
Tab. 2	Erweiterung der Mason-Klassifikation nach Johnston
Tab. 3	Erweiterung der Mason-Klassifikation nach Broberg & Morrey
Tab. 4	Durchschnittsalter der Patientengruppen + 1SD
Tab. 5	Durchschnittsalter Männer und Frauen + 1SD
Tab. 6	Kraftgrade Ellenbogengelenk + 1SD

16. Abkürzungen

Arterie	A
Abbildung	Abb
Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese	AO
Articulatio	Art
Zentripetalkraft	C
Disability of Shoulder and Arm	DASH
deutsche gesetzl. Unfallversicherung	DGUV
Ligament	Lig
laterals ulnares Kollateralband	LUCL
Musculus	M
Nervus	N
open reduction, internal fixation	ORIF
Ramus	R
Right collateral ligament	RCL
Range-of-Motion	ROM
Tangentialkraft	T
Vene	V

17. Danksagung

Ich danke:

- Herrn PD. Dr. A. Weimann für die freundliche Überlassung des Themas
- Herrn Dr. I. Budweg für die Begleitung bei der Erstellung dieser Arbeit
- Frau Dr. S. Amler für die geduldige Einführung in die Statistik
- Meiner Frau und meinen Eltern für die immerwährende Unterstützung bei der oft schwierigen Erstellung dieser Arbeit
- Meiner Frau und meinen Kindern, die mir immer wieder zeigen, dass das Leben so unendlich reiche Momente schenkt.

18. Lebenslauf

Aus Datenschutzgründen ausgelassen

19. Appendix

19.1 Rohdaten

Patient	Mason	Versorgungsart	Flexion	Extension	Pronation	Supination	Kraft Flexion	Kraft Extension	Kraft Extension	Kraft Supination
H. U.	II	S	148	-10	90	90	5	5	5	5
K. R.	II	S	140	10	80	80	5	5	5	5
S. N.	II	S	130	-10	90	90	5	5	5	5
G. A.	II	S	130	0	90	90	4	5	5	5
B. E.	II	S	140	0	90	90	5	5	5	5
F. E.	II	S	145	0	70	90	5	5	5	5
S. R.	II	S	135	0	90	90	5	5	5	5
B. M.	II	S	120	10	90	90	5	5	5	5
N. I.	II	S	140	0	90	90	5	5	5	5
K. I.	II	S	140	0	90	90	5	5	5	5
W. B.	II	S	130	0	90	90	5	5	5	5
L. D.	II	S	140	0	90	90	5	5	5	5
H. P.	II	S	140	0	90	75	5	5	5	5

Patient	Mason	Versorgungsart	Flexion	Extension	Pronation	Supination	Kraft Flexion	Kraft Extension	Kraft Extension	Kraft Supination
P. B.	II	S	140	5	90	90	5	5	5	5
S. D.	III	S	130	-5	90	90	5	5	5	5
S. M.	III	S	140	-10	90	90	5	5	5	5
F. M.	III	S	145	-5	90	90	5	5	5	5
K. H.	III	S	115	5	90	90	4	4	5	5
S. A.	III	S	145	-10	90	90	5	5	5	5
T. H.	III	S	70	10	10	90	4	4	0	4
G. M.	III	P	140	0	90	80	5	5	5	5
K. U.	III	P	140	0	90	70	4	4	4	3
S. A.	III	S	140	0	90	90	5	5	5	5
H. F.	III	S	130	10	40	70	5	5	5	5
R. L.	III	S	100	10	90	50	5	5	5	5
R. S.	III	S	140	10	90	50	5	5	5	5
L. T.	III	S	110	0	80	60	4	4	4	5
P. M.	III	P	100	30	80	90	5	5	5	5

Patient	Mason	Versorgungsart	Flexion	Extension	Pronation	Supination	Kraft Flexion	Kraft Extension	Kraft Extension	Kraft Supination
G. B.	III	S	110	35	80	50	5	5	5	5
C. U.	III	P	130	30	40	30	4	4	5	5
E. H.	III	P	90	15	70	90	4	5	4	4
WS. I.	IV	S	125	30	90	30	5	5	5	5
R. M.	IV	S	125	25	90	90	5	5	5	5
N. E.	IV	P	105	70	70	0	5	4	4	4
G. S.	IV	P	120	0	20	30	4	4	4	4
M. M.	IV	S	125	10	90	80	4	4	5	5
D. U.	IV	P	110	0	90	70	4	4	4	5
B. G.	IV	S	130	20	90	90	4	4	5	5
S. F.	IV	P	90	15	90	30	4	4	5	4
F. C.	IV	P	140	20	90	80	5	5	5	5
E. M.	IV	P	90	40	80	90	5	5	5	5
P. T.	IV	P	145	0	60	50	5	4	4	4
M. F.	IV	S	145	0	90	90	5	4	5	5

Patient	Mason	Versorgungsart	Flexion	Extension	Pronation	Supination	Kraft Flexion	Kraft Ex-tension	Kraft Ex-tension	Kraft Supination
K. G.	IV	P	145	0	90	90	5	5	5	5
D. R.	IV	P	130	20	90	90	4	4	5	5
S. H.	IV	P	140	35	90	90	5	4	5	5
S. N.	IV	S	130	5	90	90	4	5	5	5

Patient	Nackengriff	Nasengriff	Schürzengriff	DASH-Allg	DASH-Arbeit	DASH-Musik	DASH-Gesamt	Anamnese score	Alter	Follow-up	Kellgren-Lawrence-Score
H. U.	1	1	1	14,1666667	0	25	13,8157895	0	40,8	2,31	0
K. R.	1	1	1	21,6666667	50		25	1	74,31	3,72	1
S. N.	1	1	1	30,8333333	62,5		34,5588235	1	42,56	2,32	0
G. A.	0	0	0	24,1666667	12,5	43,75	25	4	74,24	2,42	2
B. E.	1	1	1	1,6666667		0	1,47058824	0	66,09	3,98	2
F. E.	1	1	1	4,1666667	0	0	3,28947368	1	30,35	2,32	1
S. R.	1	1	1	0	0	0	0	0	49,37	2,14	0
B. M.	1	1	1	0	0	0	0	0	53,95	2,19	
N. I.	1	1	1	4,1666667	0	0	3,28947368	3	43,9	1,99	1
K. I.	1	1	1	9,1666667	0		8,08823529	0	58,09	1,83	1
W. B.	1	1	1	0	0	0	0	1	43,5	1,78	0
L. D.	1	1	1	2,5			2,5	3	61,39	1,5	0
H. P.	1	1	1	4,1666667	0	0	3,28947368	1	10,08	3,38	
P. B.	1	1	1	0	0		0	1	65,43	1,65	1
S. D.	1	1	1	30	25	25	28,9473684	2	54,57	2,39	1

Patient	Nackengriff	Nasengriff	Schürzengriff	DASH-Allg	DASH-Arbeit	DASH-Musik	DASH-Gesamt	Anamnese score	Alter	Follow-up	Kellgren-Lawrence-Score
S. M.	1	1	1	0	0	0	0	1	40	1,77	3
F. M.	1	1	1	5	6,25	25	7,23684211	4	42,24	2,48	0
K. H.	1	1	1	9,16666667	18,75	25	11,8421053	3	45,48	2,39	3
S. A.	1	1	1	0		0	0	0	8,59	3,95	0
T. H.	0	0	0	49,1666667	37,5	50	48,0263158	6	49,96	3,74	
G. M.	1	1	1	22,5	6,25	50	23,6842105	4	42,65	4,18	
K. U.	0	0	0	85			85	5	51,35	4,02	3
S. A.	1	1	1	3,33333333	0	12,5	3,94736842	0	48,11	4,6	0
H. F.	1	1	1	21,6666667	0	6,25	17,7631579	3	16,72	4,38	2
R. L.	0	1	0	51,6666667	87,5		55,8823529	5	53,59	4,74	
R. S.	1	1	1	33,3333333	18,75	0	28,2894737	1	35,73	4,12	
L. T.	1	1	1	50	37,5	37,5	34,2105263	6	35,94	2,55	1
P. M.	0	1	1	55,8333333			55,8333333	6	70,7	2	2
G. B.	1	1	1	28,3333333			28,3333333	6	44,73	2,4	2
C. U.	1	1	1	44,1666667	50		44,8529412	1	71,48	1,5	1

Patient	Nackengriff	Nasengriff	Schürzengriff	DASH-Allg	DASH-Arbeit	DASH-Musik	DASH-Gesamt	Anamnese score	Alter	Follow-up	Kellgren-Lawrence-Score
E. H.	0	1	0	61	8	7	76	4	55,53	2,71	1
WS. I.	1	1	1	42,5	56,25	37,5	43,4210526	1	60,08	3,19	3
R. M.	1	1	1	21,6666667	31,25	0	20,3947368	1	58,42	3,07	3
N. E.	0	0	0	37,5		100	37,5	1	59,09	2,27	
G. S.	1	1	1	31,6666667	43,75	50	34,8684211	1	11,88	2,3	0
M. M.	0	1	1	39,1666667	50	81,25	45,3947368	1	21,44	4	2
D. U.	0	1	1	43,3333333	50	50	44,7368421	1	52,6	4,02	2
B. G.	1	1	1	6,6666667		0	5,88235294	0	66,31	4,93	3
S. F.	0	1	0	40,8333333	25		32,3529412	1	39,06	4,46	3
F. C.	1	1	1	12,5	0	6,25	10,5263158	1	41,7	4,67	
E. M.	1	1	1	28,3333333	50	25	30,2631579	1	54,01	5,22	3
P. T.	0	0	0	56,6666667	56,25		56,6176471	1	46,53	4,29	4
M. F.	1	1	1	15	0		13,2352941	1	16,43	2,6	2
K. G.	1	1	1	0	0	0	0	0	57,38	1,78	0
D. R.	0	0	1	31,6666667	50		33,8235294	1	33,36	1,82	1

Patient	Nackengriff	Nasengriff	Schürzengriff	DASH-Allg	DASH-Arbeit	DASH-Musik	DASH-Gesamt	Anamnese score	Alter	Follow-up	Kellgren-Lawrence-Score
S. H.	0	1	0	33,3333333	31,25		33,0882353	1	69,68	1,1	4
S. N.	1	1	1	49,1666667			49,1666667	0	41,3	1,89	

19.2 DASH Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand; Behinderung des Armes, der Schulter und der Hand)

Geschlecht m w

Alter _____

Ich bin Rechtshänder Linkshänder

Verunfallter Ellenbogen rechts links

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

Sollten Sie eine Tätigkeit nicht ausgeführt haben, überlegen Sie bitte, wie gut dies möglich gewesen wäre.

Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur e i n Kästchen an.

Hatten Sie Schwierigkeiten,	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
einen Brief zu schreiben (handschriftlich)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
einen Schlüssel umzudrehen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
eine Mahlzeit zuzubereiten	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
eine schwere Tür aufstoßen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal zu stellen	1	2	3	4	5
schwere Hausarbeit (Bo- den putzen) zu erledigen	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit zu erledigen	1	2	3	4	5
Betten zu machen	1	2	3	4	5
eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer zu tra- gen	1	2	3	4	5
einen schweren Gegen- stand zu heben (über 5kg)	1	2	3	4	5
eine Glühbirne über Ihrem Kopf auszuwechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare zu waschen oder zu fönen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken zu waschen	1	2	3	4	5
einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
ein Messer zu benutzen, um Brot zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstren- gung verlangen (z. B. Kar- ten spielen, Stricken, usw.), auszuüben	1	2	3	4	5

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

Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee) auszuüben.	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---

Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---

Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5
--------------------	---	---	---	---	---

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
-----------------	-----------	-------	----------	------

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?	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---

	Keine	Ein wenig	Mäßig	Sehr	Nicht
	Einschränkungen	eingeschränkt	eingeschränkt	eingeschränkt	möglich

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

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

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

Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
-------	---------	--------	--------	-------------

Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand in Ruhe

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Steifheit in Schulter, Arm oder Hand

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich?	1	2	3	4	5

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt; ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann.	1	2	3	4	5

Arbeitsmodul

Die folgenden Fragen erheben den Einfluss Ihrer Schulter- Arm- oder Handverletzung auf ihren Beruf (inkl. Hausarbeit, wenn dies Ihre Hauptarbeit ist).

Bitte geben Sie ihren Beruf an: _____

◇Ich arbeite nicht (Sie können die nächsten Fragen überspringen).

Bitte umkreisen Sie die Zahl, die ihrer physischen Leistungsfähigkeit in der vergangenen Woche am nächsten kommt.

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten bei

Der Benutzung Ihrer üblichen Arbeitstechnik?	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5
Ihrer normalen Tätigkeit nachzugehen?	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5
Ihren Beruf so auszuüben, wie Sie es sich vorstellen?	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5

Ihr übliches Arbeitspensum zu erledigen?	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5

Sport/Musikmodul (optional)

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit Ihren Fähigkeiten, ihr Musikinstrument zu spielen und/oder Sport zu treiben.

Sollten Sie mehr als einen Sport ausüben oder mehr als ein Instrument spielen oder beides, beziehen Sie sich bitte auf den Teil, der Ihnen am wichtigsten erscheint.

Bitte geben Sie ihren Sport oder ihr Instrument an: _____

◊Ich spiele weder ein Instrument, noch treibe ich Sport (Sie können die nächsten Fragen überspringen).

Bitte umkreisen Sie die Zahl, die Ihrer physischen Leistungsfähigkeit in der vergangenen Woche am nächsten kommt

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten,

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erheblich Schwierigkeiten	Nicht möglich
Ihre übliche Spieltechnik zu verwenden?	1	2	3	4	5

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Wegen Schmerzen in der Schulter, im Arm oder in der Hand ihr Instrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
--	-----------------------	-------------------------	------------------------	----------------------------	---------------

Ihr Instrument zu spielen oder Sport zu treiben, so gut, wie Sie es wollten?

1 2 3 4 5

Keine Geringe Mäßige Erhebliche Nicht
Schwierig- Schwierig- Schwierig- Schwierig- möglich
keiten keiten keiten keiten

Ihre übliches Zeitpensum für das Üben oder spielen Ihres Instrumentes oder Sportes aufzubringen?

1 2 3 4 5