

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Universität Rostock
Direktor: Prof. Dr. Thomas Mittlmeier

**Hat der Zugang durch den Musculus pronator quadratus bei der
palmaren winkelstabilen Plattenfixation distaler Radiusfrakturen
Einfluss auf die Pronationskraft?**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Anna Maksimow
aus Düsseldorf

Rostock, 2018

Dekan: Prof. Dr. med. univ. Emil C. Reisinger

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Georg Gradl, Chefarzt der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Harlaching
2. Gutachter: Prof. Dr. med. habil. Thomas Tischer, Orthopädische Klinik, Universität Rostock
3. Gutachter: Prof. Dr. med. Klaus- Dieter Schaser, Ärztlicher Direktor des Universitätscentrums für Orthopädie Dresden

Jahr der Einreichung: 2018

Jahr der Verteidigung: 2019

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	1
1 EINLEITUNG	2
1.1 Anatomische Grundlagen.....	3
1.2 Die distale Radiusfraktur	14
1.2.1 Inzidenz und Ätiologie.....	14
1.2.2 Pathomechanismus der Frakturentstehung	14
1.2.3 Diagnostik.....	15
1.2.4 Fraktureinteilung – die AO- Klassifikation [102].....	16
1.2.5 Gängige Operationsverfahren.....	20
2 FRAGESTELLUNG.....	24
3 PATIENTEN/ MATERIAL UND METHODEN	25
3.1 Patientenkollektiv	25
3.1.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	25
3.2 Palmare Plattenfixation im Universitätsklinikum Rostock.....	25
3.3 Nachuntersuchungsablauf.....	27
3.4 Nachuntersuchungszeitraum.....	27
3.5 Bildgebung.....	27
3.6 Anamnese.....	29
3.7 Inspektion, Palpation und Funktionsüberprüfung.....	29
3.8 Erhebungsbögen.....	32
3.9 Statistische Methoden.....	34
4 ERGEBNISSE.....	36
4.1 Patientenkollektiv/ Nachuntersuchungsrate.....	36
4.2 Frakturklassifizierung	36
4.3 Operative Daten.....	37
4.4 Komplikationen	37
4.5 Radiologische Parameter	38
4.6 Handgelenksfunktion nach 8 Wochen und 12 Monaten.....	38
4.6.1 Pronations- und Supinationskraft.....	41
4.6.2 Vergleich der Pronationskraft Typ A- und Typ C- Frakturen.....	44
4.6.3 Vergleich Supinationskraft von Typ A- und Typ C- Frakturen.....	45
4.6.4 Vergleich der Pronationskraft von Patienten <70 und 70< Jahre	46

4.6.5	Vergleich der Supinationskraft von Patienten <70 und 70< Jahre	47
4.7	Klinische Scores	48
4.8	Schmerzen/ VAS.....	49
4.9	Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronation.....	50
4.10	Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronations- und Supinations- kraft nach 8 Wochen	51
4.11	Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronations- und Supinations- kraft nach 12 Monaten.....	52
5	DISKUSSION.....	55
6	ZUSAMMENFASSUNG	64
7	THESEN	66
8	LITERATURVERZEICHNIS	67
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	80
10	TABELLENVERZEICHNIS	81
11	ANHANG	82
11.1	DASH- Score	82
11.2	Score nach Castaing.....	85
11.3	Gartland & Werley Score	86
12	PATIENTENINFORMATION.....	88
13	DANKSAGUNG	91
14	ERKLÄRUNG	92
15	LEBENS LAUF	93

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A : Arteria

Abb.: Abbildung

AO: Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

bzw.: beziehungsweise

DASH- Score: Disabilities of the arm, shoulder and hand- score

DRUG: Articulatio radioulnaris distalis

Lig.: Ligamentum

mm: Millimeter

M.: Musculus

MPQ: Musculus pronator quadratus

N.: Nervus

VAS: Visuelle Analog Skala

1 EINLEITUNG

Die Folgen des demographischen Wandels sind in Deutschland überall spürbar. Die höhere Lebenserwartung und die abnehmende Geburtenrate führen dazu, dass der Anteil jüngerer Menschen und Kinder gegenüber dem Anteil älterer Menschen abnimmt. So ist auch mit einer Zunahme der Frakturhäufigkeit zu rechnen, die sich aus dem schlechteren Sehvermögen, den zunehmenden Herz- Kreislauf- Erkrankungen, einer schwächeren Muskulatur, den verminderten Reflexen und der Medikationen sowie der veränderten Knochenstruktur ergibt. 30 – 60 % der älteren, selbstständigen Bevölkerung ab 60 Jahren stürzt einmal im Jahr und die Hälfte davon sogar mehrmals [127]. 5 - 10% dieser Stürze führen zu schwerwiegenden Verletzungen oder Knochenbrüchen, von denen die distale Radiusfraktur die häufigste bei Erwachsenen darstellt [35]. Diese stellt zugleich einen Indikator für den osteoporotischen Knochenschwund dar, wie Oyen und Mitarbeiter in einer Studie herausgearbeitet haben: sowohl bei Frauen als auch bei Männern mit distaler Radiusfraktur ist eine höhere Prävalenz von Osteoporose und bei Frauen von Osteopenie im Vergleich zu einer nach Alter-, Geschlecht- und Herkunft gematchten Kontrollgruppe ohne Fraktur zu beobachten [110]. Damit ergibt sich auch eine Veränderung des Verletzungsmusters, das meistens aus einem Niedrigenergie- Trauma folgt. Neben den häufigsten extraartikulären Frakturen mit metaphysärer Trümmerzone kommen auch komplexe intraartikuläre Frakturen zunehmend vor [28, 133]. Diese Frakturmuster wiederum erhöhen die Anforderungen an eine adäquate Therapie, da für Patienten mit Osteoporose das Risiko einer Instabilität und damit einer sekundären Dislokation auf 43 % und das Risiko einer Heilung in Fehlstellung auf 66 % erhöht ist [32]. Es gibt eine Vielzahl von Therapieformen, die von konservativen und minimal-invasiven bis hin zu verschiedensten operativen Methoden reicht. Die moderne Medizin ist nun gefordert, aus diesen Verfahren eines zu finden, welches zu guten Behandlungsergebnissen führt sowie gesellschaftliche und wirtschaftliche Anforderungen erfüllt.

1.1 Anatomische Grundlagen

Die umgangssprachliche Bezeichnung einer distalen Radiusfraktur als „Handgelenksbruch“ gibt den Umfang der Auswirkungen dieser Fraktur eigentlich genau wieder. Oftmals ist nicht nur der distale Radius in Form einer isolierten extraartikulären Fraktur betroffen, sondern häufig auch andere, anatomisch mit dem Radius gekoppelte Strukturen, wie das distale Radioulnargelenk, das proximale oder distale Handgelenk, Bänder und Weichteilstrukturen. Die anatomische Unversehrtheit der komplexen Strukturen, die das Handgelenk bilden und die eng damit verbunden sind, ist die Grundlage für die hohe Beweglichkeit und Kraftübertragung im Handgelenk und somit der Funktion der ganzen Hand [51].

Das menschliche Handgelenk ist eine ausgesprochen bewegliche Struktur. Funktionell wird es als einheitliches Gelenk verstanden, jedoch besteht es morphologisch aus folgenden verschiedenen Komponenten: dem proximalen (Articulatio radiocarpalis) und dem distalen Handgelenk (Articulatio mediocarpalis), sowie den intrakarpalen Gelenken, die durch intrinsische Bänder stabilisiert werden. [129].

Da die genaue Kenntnis des Aufbaus dieser Bausteine sowie der Biomechanik des Handgelenkes für eine möglichst genaue Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse und somit der Handgelenksfunktion enorm wichtig ist, folgt eine Darstellung der am Handgelenk beteiligten Strukturen.

Das proximale Handgelenk (Articulatio radiocarpalis)

Das proximale Handgelenk stellt ein Ellipsoid- oder Eigelenk mit zwei Freiheitsgraden dar. Es artikulieren die Unterarmknochen mit den Handwurzelknochen. Die Gelenkpfanne wird durch die konkave, zweigeteilte Gelenkfläche des distalen Radius (Fossa scaphoidea und Fossa lunata) und den konkaven Discus ulnocarpalis, der der distalen Ulna aufliegt, gebildet.

Der Gelenkkopf wird durch die drei Handwurzelknochen Os scaphoideum, Os lunatum und das Os triquetrum gebildet. Diese werden von den Ligg. interosseum scapholunatum und lunotriquetrum zu einem konvexen „karpalen Kopf“ [129] vereinigt. Die Besonderheit hier ist jedoch, dass Gelenkfläche sowie der Krümmungsbogen des zusammengesetzten Gelenkkopfes weitaus größer sind als die Pfanne [130]. Hieraus ergibt sich, dass das Os scaphoideum nur mit dem Radius, und das Os lunatum teils mit dem Radius und teils mit Discus ulnocarpalis artikuliert. Das Os triquetrum steht zusätzlich zu diesem auch mit dem Lig. collaterale ulnare in Kontakt [146].

Das distale Handgelenk (Articulatio mediocarpalis)

Im distalen Handgelenk stehen die Handwurzelknochen der proximalen Reihe (Os scaphoideum, Os lunatum, Os triquetrum) mit den Handwurzelknochen der distalen Reihe (Os trapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum) gelenkig in Verbindung. Die körpernahe Handwurzelreihe ist eher bogenförmig angeordnet, während die körperferne S-förmig aufgebaut ist. Radial bildet das Os scaphoideum eine gelenkkopfähnliche Vorwölbung, die mit einer pfannenähnlichen Vertiefung der Ossa trapezium und trapezoideum artikuliert. Ulnar bildet dann die distale Handwurzelreihe mit dem Os capitatum und hamatum den Gelenkkopf, der einer pfannenähnlichen Gelenkfläche, die durch die Ossa scaphoideum, lunatum und triquetrum gebildet wird, gegenübersteht. Durch die enge Verzahnung und straffe ligamentäre Verknüpfungen sind die Bewegungen in den Handwurzelknochen stark eingeschränkt [129]. Die Geometrie der Articulatio mediocarpalis lässt sich zusammenfassend am ehesten als „substituierbares Kugelgelenk“ [86] beschreiben.

Bewegungsausmaße im proximalen und distalen Handgelenk

Die Bewegungen im proximalen und distalen Handgelenk ergänzen sich gegenseitig, so dass sich für Extension/Flexion ein Bewegungsumfang von 80° - 90° / 0° / 85° - 90° ergibt [129]. Die Handwurzelknochen werden hierbei um eine transversale Achse gekippt, die durch das Os lunatum für das Radiokarpalgelenk und durch das Os capitatum für das Karpokarpalgelenk verläuft. Die Palmarflexion wird vor allem im Radiokarpal- und die Dorsalflexion im Karpokarpalgelenk ausgeführt. Der schlaffere Bandapparat auf der dorsalen Seite und die physiologische palmare Neigung der Gelenkfläche des Radius und des Discus ulnocarpalis von $11 - 12^{\circ}$ führen dazu, dass die Hand weiter nach palmar flektiert, als nach dorsal extendiert werden kann [163].

Die bereits erwähnten straffen Verbindungen zwischen den Handwurzelknochen schränken Rotationsbewegungen stark ein. Dennoch sind passive Rotationsbewegungen von etwa 12° im proximalen Handgelenk möglich [48]. Dies hat zur Folge, dass die Hand bei Flexion eher proniert und bei Extension eher supiniert wird [141].

Für Radialabduktion und Ulnarabduktion wird ein Bewegungsumfang von 15° - 25° / 0° / 40° - 50° als normwertig erachtet [129]. Die dorsopalmare Achse verläuft dabei senkrecht zur Achse der Extensions- und Flexionsbewegung durch das Os capitatum und den dritten Strahl. Hier findet eine Translation der proximalen Handwurzelknochenreihe entweder nach ulnar (bei Radialabduktion) oder nach radial (bei Ulnarabduktion) statt. Simultan wird die proximale Handwurzelreihe nach palmar gekippt und einzelne Handwurzelknochen um eine longitudi-

nale Achse gedreht. Die radiale Gelenkfläche ist in der Sagittalebene um 15 - 25° zur Ulna hin geneigt, wodurch die Radialabduktion limitiert wird [163].

Das Lig. collaterale ulnare stabilisiert die ulnare Handwurzelseite während der Bewegungen im proximalen und distalen Handgelenk [148].

Hieraus ergibt sich für das Handgelenk ein verhältnismäßig großer Bewegungsumfang aus den zusammengesetzten Bewegungen um die frontale und sagittale Achse. Durch Mitwirken der radioulnaren Gelenke werden dreidimensionale Rotationsbewegungen um die longitudinale Achse des Unterarmes ermöglicht. Diese Rotationsbewegung wird auch Zirkumduktion genannt und ergibt sich also aus den zwei Freiheitsgraden der Hand, Dorsal- und Palmarflexion sowie der Radial- und Ulnarabduktion. Die Pronation und Supination vervollständigen diese dann zur kreisenden Bewegung [163].

Der Ausgangspunkt für die Messung der Bewegungsausmaße des Unterarmes ist die Neutral- Null- Stellung. Hierbei steht der Patient aufrecht, die Arme hängen entspannt nach unten und die Daumen sind nach vorn gerichtet.

Das distale Radioulnargelenk (DRUG)

Das DRUG ist zwar nicht Bestandteil des Handgelenkes, soll an dieser Stelle aber aufgrund seiner funktionellen Kopplung mit dem Handgelenk ebenfalls genannt werden. Das DRUG ist ein Bestandteil einer komplexen funktionellen Einheit, die die pronosupinatorische Umwendbewegung der Hand ermöglicht. Weitere bei der Pronation und Supination mitwirkende Strukturen sind das proximale radioulnare Gelenk, die Unterarmknochen, die Membrana interossea und Bänder.

Das DRUG wird durch die konkave Incisura ulnaris des distalen Radius und den semicylindrischen, konvexen Ulnakopf gebildet. Die Fossa lunata des Radius liegt mit einer physiologischen Varianz von 2 mm auf der Höhe des Ulnakopfes. Steht der Ulnakopf höher bzw. tiefer als 2 mm, spricht man von einer Ulna- Plus- bzw. Ulna- Minus- Variante. [128]. Die Anatomie der Gelenkkörper variiert je nach Längenverhältnis der Unterarmknochen. Bei der Ulna- Null- und -Minus- Variante sind die Gelenkflächen zylindrisch, bzw. bei letzterer schräg- zylindrisch, geformt (siehe Abb. 1 a und c). Ist die Ulna stark verkürzt ist das Caput Ulnae kegelförmig (Abb. 1 d) und bei der Ulna- Plus- Form kugelförmig (Abb. 1 b) [49].

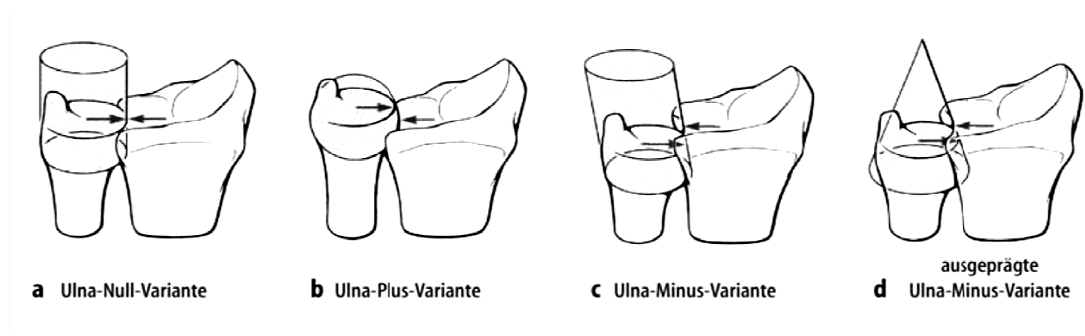


Abbildung 1: Formvarianten des Caput ulnae in Abhängigkeit von den distalen radioulnaren Lagepositionen (nach Förstner [49]).

Desweiteren variiert auch die Kontaktfläche der artikulierenden Gelenkkörper je nach Funktionsstellung. Da in beiden Gelenkflächen der Krümmungsradius in den Randbereichen größer ist als im Mittelteil und die Incisura ulnaris des Radius auch stärker gekrümmt ist als das Ulnaköpfchen, besteht Kongruenz nur in einer Mittelposition. Diese entspricht der Neutral-Null-Stellung [129]. In maximaler Pro- und Supination haben die beiden Gelenkflächen nur noch punktförmigen Kontakt [107].

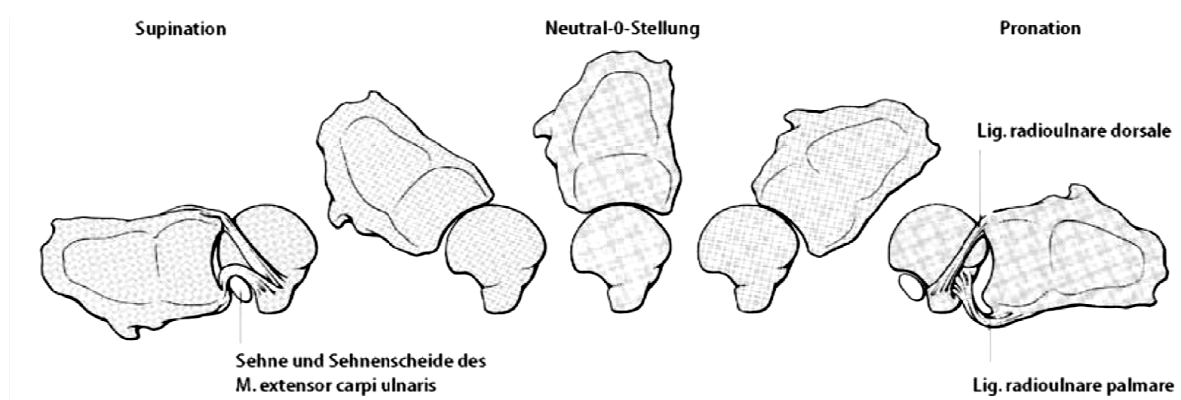


Abbildung 2: Drehung des Radius um die Ulna bei den Umwendebewegungen des Unterarmes [128]

Bei der Pronosupination beschreibt der Radius einen Kegelmantel, d.h. die Umwendebewegung findet um eine Achse statt, die von der Mitte des Caput radii schräg durch den Zwischenknochenraum zur radialen Seite des Processus styloideus ulnae führt. Hierbei rotiert das Radiusköpfchen im proximalen Radioulnargelenk innerhalb des Lig. anulare radii um sich selbst, während der Radius gleichzeitig im DRUG um die Ulna, bzw. das Caput Ulnae, gleitet. In der Supinationsstellung liegen Radius und Ulna also noch ne-

beneinander und der Proc. styloideus radii ist nach radial gerichtet. Während der Pronationsbewegung überkreuzt der Radius die Ulna und der Proc. styloideus radii blickt somit ellenwärts [78].

Die Pronosupination des Unterarmes ist also zusammengesetzt aus der Drehung des distalen Radius um die Ulna, sowie der dorsopalmaren Verschiebung der Ulna im DRUG. Computertomographische Aufnahmen des DRUG von gesunden Probanden zeigen eine dorsale und volare Translation von insgesamt 8,2 mm [114]. Durch diese Translationsbewegung der Ulna wird der Bewegungsumfang von 150° auf 180° erweitert [129]. Wird die Schulter in die Bewegung miteinbezogen kann sich der Radius auf 360° erhöhen. Die Messung des Bewegungsumfangs findet also bei 90° abgewinkeltem Ellenbogen statt, um ein Mitdrehen der Schulter zu vermeiden. Als normwertig gelten bis zu 85° für Pronation und bis zu 90° für die Supination [78].

Das Lig. radioulnare dorsale spannt sich bei der Pronation an und begrenzt so die weitere Verschiebung der Ulna. Ebenso spannt sich das Lig. radioulnare palmare bei der Supination an. Sie wirken als Stabilisatoren der Pro- und Supination, ohne die aktive Bewegung zu begrenzen [129]

Die einzige muskuläre Stabilisierung des DRUGs übernimmt der Musculus pronator quadratus. Der Membrana interossea kommt nur eine untergeordnete Rolle in der Führung der Unterarmknochen während der pronosupinatorischen Umwendbewegungen zu [139]. Sie verhindert somit eine Längsverschiebung der Knochen [163].

Der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex – TFCC [112]

Das DRUG ist funktionell und anatomisch durch den triangulären fibrocartilaginären Komplex (TFCC) [112] bzw. den ulnokarpalen Komplex mit dem proximalen Handgelenk verbunden [145].

Der TFCC wird gebildet aus dem Discus ulnocarpalis und dem Meniscus ulnocarpalis („ulnocarpal meniscus homologue“ [112]), dem Lig. collaterale carpi ulnare, der Sehnen-scheide des M. extensor carpi ulnaris, den Ligg. radioulnare dorsale und palmare sowie den Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum [129].

Der Discus ulnocarpalis ist eine aus Faserknorpel bestehende Zwischengelenksscheibe, die in der Transversalebene zwischen der ulnaren Seite des distalen Radius und dem ulnaren Griffelfortsatz ausgespannt vorliegt. Sie verbindet über ihre verschiedenen Strukturen ers-

tens die distalen Enden von Ulna und Radius fest miteinander sowie zweitens diese mit den Handwurzelknochen. Die äußeren Ränder des Diskus sind die dorsalen und volaren radioulnaren Bänder, die jedoch präparatorisch nicht von dem Diskus getrennt werden können.

Die dorsale Seite des TFCC stellt sich nach Schmidt und Lanz [129] als ein Stern dar. Dieser wird in der longitudinalen Ebene durch die Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris und das ulnare Kollateralband gebildet. Das dorsale intercarpale Band bildet den transversalen Schenkel und die proximalen und distalen radiotriquetralen Bänder verlaufen diagonal. Ulnar wird der Komplex durch ein zusätzliches Band vervollständigt, das aus dem Zentrum dieses sternförmigen Komplexes entspringt. Es zieht von dort um die ulnare Seite des Os triquetrum und beteiligt sich dann an der Kapsel des pisotriquetralen Gelenkes. Der TFCC reicht somit von der distalen Begrenzung der Incisura ulnaris radii bis zur Basis des V. Metakarpalknochens, wie in Abbildung 3 zu sehen ist [129].

Der Discus ulnocarpalis dämpft und verteilt durch Achskompressionen entstandenen Druck [22, 131] und ist bei einer Ulna-Plus- dünner und bei einer Ulna- Minus- Variante dicker ausgebildet [111].

Die Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris, die ulnokarpalen Bänder (Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum), die aus dem Discus entspringen sowie das lunotriquetrale interossäre Ligament sind sekundäre Stabilisatoren des DRUG [145].

Der Meniscus ulnocarpalis entspringt von den dorsalen und ulnaren Rändern des Discus articularis und strahlt bis an die palmare Seite des Os triquetrum. Er füllt den Raum zwischen Ulna und Karpus aus [129].

An der radialen Seite des Diskus können in einigen Fällen Perforationen vorgefunden werden. Diese nehmen mit steigendem Alter zu, sodass im dritten Lebensjahrzehnt in 8 % und jenseits des sechsten Lebensjahrzehnts in 53 % im dünneren Mittelteil des Diskus Perforationen vorzufinden sind [101]. Dadurch kommt es zu einer Verbindung zwischen dem proximalen Handgelenk und DRUG. Der direkte Kontakt zwischen Os lunatum und Ulnaköpfchen führt zu Erosionen des Gelenkknorpels [81].

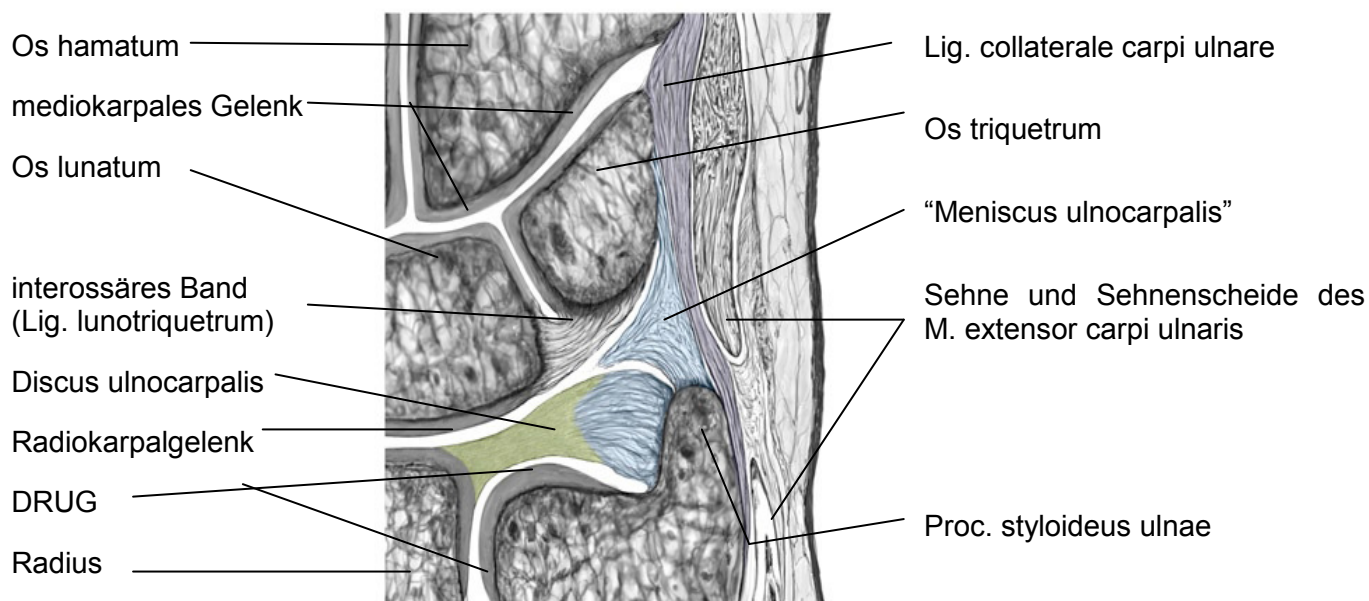


Abbildung 3: Schema eines histologischen Präparates des ulnocarpalen Komplexes [129]

Die Muskulatur des Unterarmes

Die Muskulatur des Unterarmes kann in Anbetracht ihrer Funktion in zwei Abschnitte geteilt werden: die Regio antebrachii posterior mit den Extensoren und die Regio antebrachii anterior mit den Flexoren. Für die Abduktion im Handgelenk nach radial und nach ulnar sind hauptsächlich entsprechende radial und ulnar gelegene Muskeln zuständig.

In der Regio antebrachii posterior entspringen die Extensoren am Epicondylus lateralis des Humerus und vereinigen sich mit dem Musculus brachioradialis und Musculus supinator zu einer radialen Streckergruppe. In der Regio antebrachii anterior werden die oberflächlichen Flexoren im proximalen Drittel durch den zweiköpfigen Musculus pronator teres nach radial begrenzt. Dieser entspringt wie die anderen ventralen oberflächlichen Muskeln hauptsächlich am Epicondylus medialis des Humerus.

Auf Handgelenkshöhe verlaufen die Sehnen der Extensoren dorsal in sechs Strecksehnenfächern in Richtung ihrer Ansatzstellen an Hand und Fingern. Darüber spannt sich das Retinaculum extensorum, das sich aus verstärkten Faserzügen der Unterarmfaszie zusammensetzt. Die Beugesehnen verlaufen volar ebenfalls unter dem kräftigen Retinaculum flexorum hindurch und werden von dem Nervus medianus im sogenannten Karpaltunnel begleitet. Bis auf den quer verlaufende Musculus pronator quadratus, der dem distalen Radius und der distalen Ulna handgelenksnah flächig aufliegt, verlaufen alle anderen Muskeln seh-

nig im Bereich des Handgelenkes. Der MPQ ist der einzige Muskel, der zum Anlegen einer palmaren Plattenosteosynthese am volaren Radius durchtrennt werden muss [17].

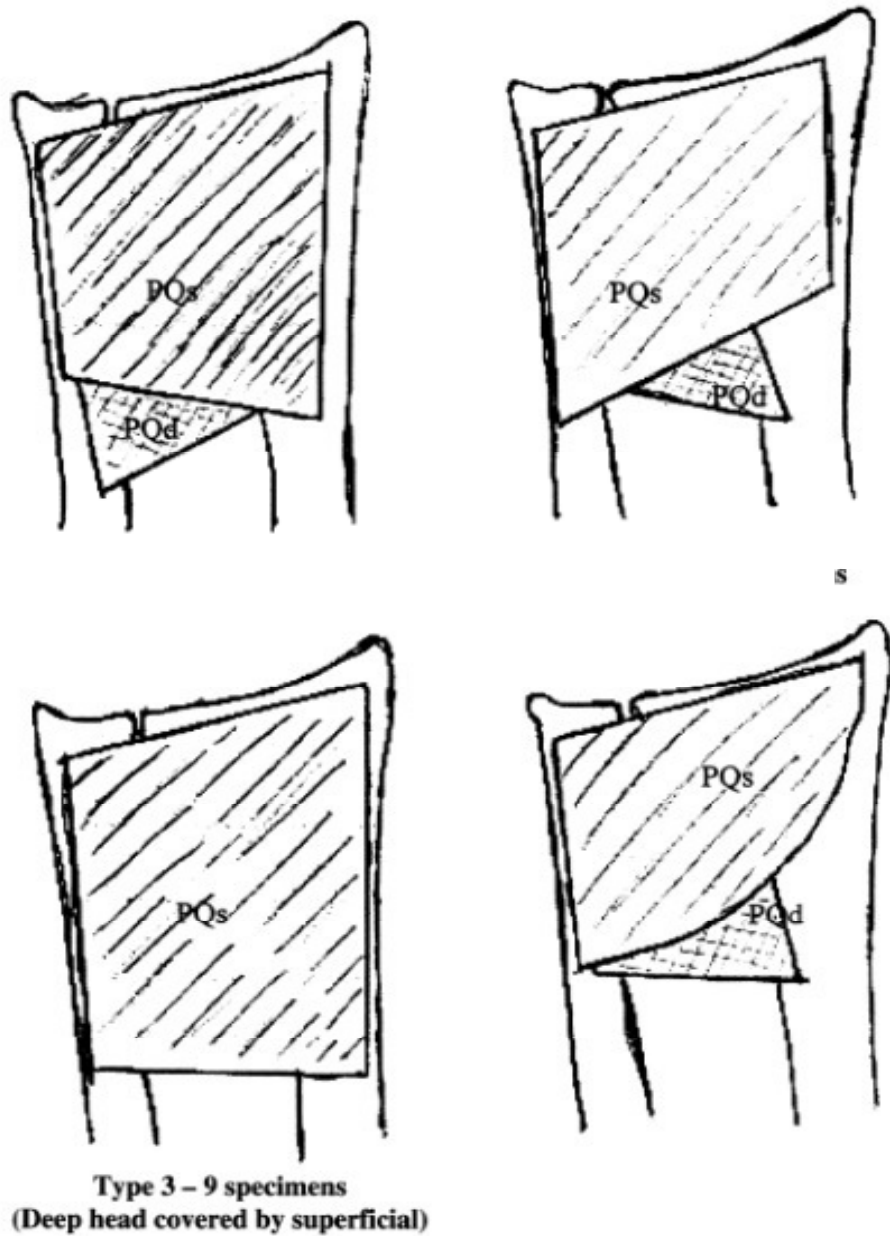
Die Pronatoren und Supinatoren

Die für die Pronation zuständigen Muskeln sind die Musculi pronator quadratus (MPQ), pronator teres, flexor carpi ulnaris und extensor carpi ulnaris. Die wichtigsten Pronatoren sind jedoch der MPQ und der M. pronator teres [63].

Der MPQ besteht aus zwei Köpfen. Der tiefe Teil stellt einen wesentlichen Stabilisator des distalen radioulnaren Gelenkes dar, indem er während der pronosupinatorischen Umwendbewegung die distale radioulnare Gelenkkapsel anspannt [80, 139]. Der oberflächliche Teil treibt die Pronation im Wesentlichen an [74, 139]. Der M. pronator teres wird dagegen nur in maximaler Pronationsstellung und gegen Widerstand aktiv [139].

Der oberflächliche Kopf hat seinen Ursprung mit einer kurzen Sehne auf der dorsoulnaren Kante der Ulna und setzt mit seinen schrägen Fasciculi breitgefächert an der volaren Oberfläche des Radius an. Der tiefe Kopf hat seinen Ursprung in ähnlicher Weise, aber mit einer etwas weniger ausgeprägten Sehne. Der Ansatz des tiefen Kopfes ist an der gesamten ulnaren Grenze des distalen Radiuschaftes, wobei er dorsal noch in die Membrana interossea hineinreicht [139].

Die Ursprünge und Ansätze können jedoch, wie in Abb. 4 ersichtlich, variieren.



**Abbildung 4: Anatomische Variationen des M. pronator quadratus [6]
PQs (oberflächlicher Teil), PQd (tiefer Teil)**

An der Pronation, ebenso wie an der Supination, sind also hauptsächlich zwei Muskeln beteiligt. Bei der Pronation arbeiten der langgestreckte M. pronator teres, der durch Zug und der flächig aufliegende MPQ, der um die Ulna gewunden durch Abrollen seine Wirkung entfaltet, zusammen. Analog wird der Unterarm erstens durch Zug des langgestreckten M. brachioradialis und zweitens durch Abrollen des M. supinator, der sich flächig um das Collum radii windet, supiniert [78].

Die Supinatoren sind bei gebeugtem Ellenbogen physiologisch kräftiger als die Pronatoren, woraus sich ergibt, dass mit einem Schraubendreher bei abgewinkelttem Ellenbogen supinierend geschraubt wird [78].

Stabilisierend wirkende Strukturen bei der Pro- und Supination sind das Lig. anulare radii, die Membrana interossea, die Chorda obliqua, der ulnokarpale Komplex und die Sehne und Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris [129].

Das Lig. anulare radii umklammert das Radiusköpfchen, während die Membrana interossea die Elle und Speiche im Schaftbereich zwischen dem proximalen und distalen Radioulnargelenk verbindet. Die Chorda obliqua ist eine bandartige Struktur am proximalen Ende der Membrana interossea, die durch ihren gegensinnigen Verlauf die Supination begrenzt. Desweiteren begrenzen der M. extensor carpi ulnaris und das Lig. radioulnare palmare die Supination sowie das Lig. radioulnare dorsale die Pronation [21, 115, 129].

Arthrokinematik im Handgelenk – Das „Drei- Säulen- Modell“ [123]

Die Arthrokinematik im Handgelenk ist in mehreren Studien erforscht worden. Navarro [103] hat 1937 eine erste Theorie über drei Säulen aufgestellt. Heute wird das daraus hervorgegangene „Drei- Säulen- Modell“ nach Rikli und Regazzoni [123] zur Erklärung von biomechanischen und pathophysiologischen Befunden bei der Rekonstruktion von distalen Radius- und Ulnafrakturen eingesetzt [121, 123, 135]. Das Modell teilt das Handgelenk in eine scaphoidale bzw. radiale (Fossa scaphoidea und Processus styloideus radii), eine intermediäre (Fossa lunata und Incisura ulnaris) und eine ulnare Säule (distale Ulna und damit der ulnare Anteil des DRUG mit dem TFCC).

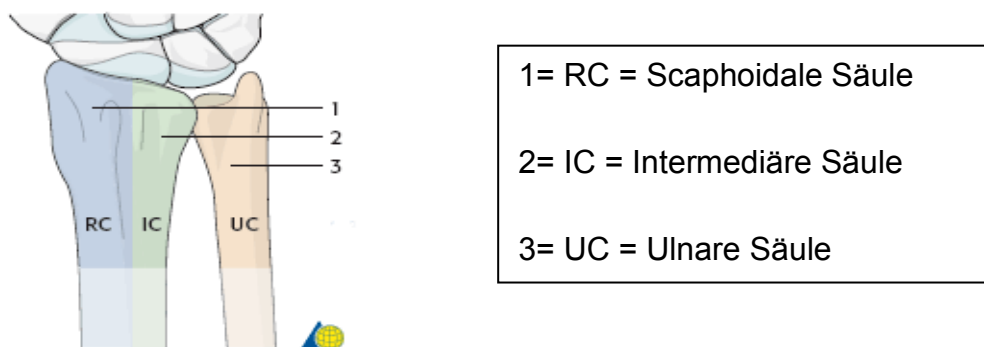


Abbildung 5: „Drei- Säulen- Modell“ der Lastübertragung [120]

Dieses Konzept ist in Abbildung 5 dargestellt. Biomechanische Untersuchungen haben ergeben, dass der Kraftfluss im Handgelenk über zwei Zentren auf drei Säulen verteilt wird. Eines dieser Zentren liegt radial, gegenüber dem proximalen Pol des Os scaphoideum und das andere liegt weiter ulnar, gegenüber dem Os lunatum. Das radiale Zentrum verteilt die Kräfte dann fast komplett auf die intermediäre und nur zu einem minimalen Anteil auf die radiale Säule. Das ulnare Zentrum verteilt dann ebenfalls einen größeren Anteil der Kräfte auf die intermediäre und außerdem auf die ulnare Säule. Das heißt, dass in Neutral- Null- Stellung ca. 80% der Kraft über die intermediäre Säule abgeleitet werden. Im Gegensatz zu früheren Studienergebnissen erstreckt sich das ulnare Zentrum nicht nur über den lunären Anteil des Radius, sondern bis zum TFCC. Das heißt, dass wesentlich mehr Kraft über die ulnare Säule abgeleitet wird, als bisher angenommen. Bis zu drei Viertel der Kraft können über die ulnare Säule abgeleitet werden. Bei Fehlstellungen im Handgelenksbereich kommt es zur Umleitung der Kraftflüsse und damit zu einer Überbeanspruchung der ulnaren Säule. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass das TFCC bei 38 % der über 20- jährigen und bei 100% der über 40-jährigen degenerative Veränderungen zeigt [101]. Die Kraftzentren bewegen sich bei Radial- und Ulnarabduktion in der sagittalen Ebene. Damit ergibt sich, dass beim Heben von schweren Lasten mehr Kraft über das TFCC und die ulnare Säule abgeleitet wird, da sich die Hand physiologisch in Ulnardeviation befindet [101, 121]. Bei Extension und Flexion wandert der Kraftfluss entsprechend in der frontalen Ebene [121].

Zusammenfassend können den drei Säulen folgende Aufgaben zugeteilt werden:

Die ulnare Säule hat zwei Aufgaben. Erstens fungiert sie als stabiler Partner, um den sich der Radius während Pronosupination dreht. Die starken palmaren, ulnokarpalen Bänder sind vertikal zur Längsachse der Ulna orientiert und setzen an den Handwurzelknochen an und formen so die ligamentöse Verlängerung der knöchernen Ulna. Das TFCC ermöglicht die unabhängige Flexion und Extension sowie Pronation und Supination und ist ein wichtiger Stabilisator des ulnokarpalen und distalen radioulnaren Gelenks. Die Aufgabe der intermediären Säule besteht hauptsächlich in der Lastübertragung. Die radiale Säule mit dem Processus styloideus radii ist ein wichtiger Stabilisator des Handgelenks, da hier die starken extrinsischen, radiokarpalen Bänder entspringen. Die Bänder verlaufen schräg zum ulnaren Drehpunkt und führen so den Radius und Karpus während Pronosupination um die Ulna. Der Processus styloideus radii begrenzt außerdem die Radialabduktion und die dort ansetzenden Bänder begrenzen die Ulnarabduktion. In der Lastübertragung spielt die radiale Säule jedoch eine untergeordnete Rolle, da unter normalen, physiologischen Bedingungen nur ein Bruchteil der Kraft hier übertragen wird [121].

1.2 Die distale Radiusfraktur

1.2.1 Inzidenz und Ätiologie

Die distale Radiusfraktur nimmt mit einer Inzidenz von 36 pro 10000 weiblichen Einwohnern und 14 pro 10000 männlichen Einwohnern pro Jahr den Stellenwert der häufigsten Fraktur des erwachsenen Knochenskeletts (Alter > 18 Jahre) ein. Die Altersverteilung zeigt ein bimodales Verhalten mit zwei Häufigkeitsgipfeln. Nach dem ersten Gipfel im Kindesalter steigt die Inzidenz langsam an und nimmt nach der Menopause bei Frauen beträchtlich zu, so dass sich eine Inzidenz von 60 pro 10000 weiblichen Einwohnern pro Jahr (Alter 50 – 79 Jahre) ergibt. Ihr zweites Maximum wird dann erst mit 70 bis 84 Jahren und einer Inzidenz von 110 pro 10000 weiblichen Einwohnern pro Jahr erreicht, wonach sie wieder leicht ab einem Alter von mehr als 85 Jahren abnimmt. Bei Männern zeigt sich ebenfalls ein Gipfel im Kindesalter. Danach steigt die Inzidenz langsam mit dem Alter an und erreicht den zweiten Gipfel von 31 pro 10000 männlichen Einwohnern bei den über 80-jährigen [39, 157].

Zur Ätiologie der distalen Radiusfraktur wurde durch eine Multizenterstudie in Österreich eruiert, dass 65,1% der Frakturen durch ein allgemeines Sturzgeschehen, 17,4% als Sportverletzung, 8,9% durch Verkehrsunfälle, 7,5% durch Stürze aus großer Höhe und 1,1% durch andere Ursachen entstehen [113].

Diamantopoulos und Mitarbeiter arbeiteten 2012 heraus, dass Hochrasanztraumen in Form von Sportunfällen, Verkehrsunfällen und Stürzen aus großer Höhe mit dem männlichen Geschlecht, einem jüngeren Alter, den Sommermonaten und einem Leben in ländlichen Gebieten vergesellschaftet sind. Dagegen waren für Frauen die Inzidenzraten höher für Niedrigenergietraumen in Form von allgemeinen Sturzgeschehen und häuslichen Stürzen. Diese traten vermehrt in den Wintermonaten und in der Stadt auf [39, 160].

1.2.2 Pathomechanismus der Frakturentstehung

Mit ca. 90 % stellt der Sturz auf die ausgestreckte Hand in Extensionstellung die häufigste Ursache einer Radiusfraktur dar. Nach seinem Erstbeschreiber wird diese auch „Colles Fraktur“ (1814) genannt. Wesentlich seltener mit ca. 10 % ist die „Smith Fraktur“, ebenfalls 1847 nach dem Erstbeschreiber benannt. Diese entsteht beim Sturz oder Aufprall auf die gebeugte und supinierte Hand [160].

Auf Grund der dorsal schwächer ausgebildeten Kompaktastruktur des distalen Radius kommt es bei den Extensionsfrakturen meist zur dorsalen Abkippung der Knochenfragmente, während es bei den Flexionsfrakturen zu einer palmaren Abkippung kommt.

Die typische Extensionsfraktur entsteht jedoch nur bei Extensionswinkeln von 40 bis 90 Grad und gleichzeitiger Radial- oder Ulnarabduktion zwischen 0 und 35 Grad. Bei Hyperextension der Hand (über 90°) kommt es vorwiegend zu Luxationen und Frakturen im Handwurzelbereich [117]. Bei Extensionswinkeln kleiner 40° entstehen Unterarmschaft- und Ellenbogengelenksfrakturen [116].

Radiusfrakturen sind im höheren Alter typischerweise mit Osteoporose und Osteopenie assoziiert [32, 110]. Bei hochgradiger Osteoporose kann einem Bagatelltrauma häufig schon eine Fraktur folgen. Nicht selten zeigen sich komplexe Trümmerfrakturen mit multiplen kleinen und kleinsten Fragmenten mit gleichzeitiger Zerstörung der Gelenkfläche. Die Stabilität des Knochens spielt also bei der Entstehung der Fraktur, bei der Wahl der Therapie und der Prognose eine erhebliche Rolle [37, 43, 110].

1.2.3 Diagnostik

Die präoperative Diagnostik sollte aus anterior- posterioren und seitlichen Röntgenaufnahmen mit genauer Bestimmung des Frakturverlaufes und der Gelenkwinkel standardmäßig erfolgen, um das Behandlungsziel eines Handgelenkes mit guter Funktionalität zu erreichen. Heute weiß man, dass dieses nur mit einer möglichst exakten Wiederherstellung der Anatomie zu erreichen ist. Langzeitergebnisse haben einen Zusammenhang zwischen radiologischen, funktionellen und subjektiven Ergebnissen gezeigt [8, 33, 45, 67, 97, 98]. Das Vorhandensein einer radialen Verkürzung hat die größten Auswirkungen auf das funktionelle Ergebnis [1]. Knirk und Jupiter konnten zeigen, dass eine Verschiebung der distalen radialen Gelenkfläche von 2 mm oder mehr in einer posttraumatischen Arthrose endet [79]. Verschiebungen von 1 mm können schon zu Schmerzen und Bewegungseinschränkungen führen [46, 149].

Anhand des initialen Röntgenbildes wird die Fraktur nach AO- Klassifikation eingeteilt, auf der aufbauend dann differenzierte Behandlungsschemata zur Anwendung kommen. Etablierte Instabilitätskriterien liefern die Indikation für eine operative oder konservative Behandlung der Radiusfraktur [10, 85]:

- dorsale Kippung > 20°
- Verkürzung des Radius > 3 mm
- intraartikuläre Stufen > 2mm
- dislozierte Basisfraktur des Proc. styloideus ulnae
- metaphysäre Trümmerzone
- dislozierte intraartikuläre Fraktur

Weitere etablierte Indikationen für ein operatives Vorgehen sind [7]:

- Frakturen mit geschlossenem 2°- und 3°- Weichteilschaden
- 2°- und 3°- offene Frakturen
- traumatische N. Medianuskompression
- begleitende Gefäß- und/oder Nervenverletzungen
- akute Durchblutungsstörungen nach Reposition
- dislozierte Flexionsfraktur
- erfolglose konservative Repositions- und Retentionsversuche
- komplexe Begleitverletzungen des Handgelenkes und der Handwurzel

1.2.4 Fraktуреinteilung – die AO- Klassifikation [102]

Es gibt diverse Einteilungen der Radiusfrakturen, wie z.B die Klassifikation nach Frykman von 1967, die insgesamt acht Frakturtypen des Radius, als intra- und extraartikuläre mit und ohne Ulnabeteiligung beschreibt [52]. Im englischsprachigen Ausland findet die Klassifikation von Melone von 1984 weitestgehend Verwendung [100]. Sie teilt die Frakturen mit Gelenkbeteiligung in fünf Schweregrade ein. In Deutschland ist dagegen die sehr detaillierte AO-Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen für den distalen Unterarm AO-23 die Gängigste [102]. Es handelt sich dabei um eine numerische Einteilung aller Frakturen der langen Röhrenknochen. Die distale Radiusfraktur erhält die Zuordnung AO-23, da dem Radius die Ziffer 2, und der distalen Lokalisation die Ziffer 3, gegenübersteht. Die Einteilung in drei Typen A, B und C bezieht sich auf die Frage nach Gelenkbeteiligung. Typ A beschreibt dabei extraartikuläre Frakturen, Typ B partiell intraartikuläre und Typ C intraartikuläre Frakturen. Diese drei Typen können wiederum jeweils in 3 x 3 Untergruppen unterteilt werden, also insgesamt 27 Untergruppen.

Weitere Frakturcharakteristika, wie z. B. Frakturverlauf, Vorhandensein einer Trümmerzone oder Dislokation, führen zur Einteilung der Untergruppen.

Die AO- Klassifikation beschreibt die Verletzungsschwere und liefert damit die Grundlage für die möglichen Behandlungsoptionen. Wird die AO- Klassifikation von 27 auf 3 Frakturhaupttypen (extraartikulär, intraartikulär mit einem Teil der Metaphyse intakt und intraartikuläre Frakturen mit kompletter Zerstörung der Metaphyse) gekürzt, wird eine signifikante Intraobserverübereinstimmung erreicht [5, 148].

➤ **23-A extraartikuläre Fraktur des Radius oder der Ulna**

Typ A1: Isolierte distale Ulnafrakturen
Untergruppe A 1.1: Proc.-styloideus-ulnae-Abriß
Untergruppe A 1.2: einfache metaphysäre Ulnafraktur
Untergruppe A 1.3: metaphysäre Mehrfragmentfraktur

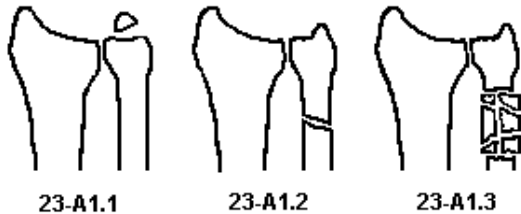


Abbildung 6: AO 23 A1- Fraktur

Typ A2: Einfache und impaktierte Radiusfrakturen
Untergruppe A 2.1: eingestaucht ohne Fehlstellung
Untergruppe A 2.2: disloziert mit dorsaler Fehlstellung
Untergruppe A 2.3: disloziert mit volarer Fehlstellung



Abbildung 7: AO 23 A2- Fraktur

Typ A3: Radiusfrakturen mit metaphysärer Trümmerzone
Untergruppe A 3.1: mit Verkürzung durch Impaktierung
Untergruppe A 3.2: mit Achsenknick nach dorsal oder palmar und entsprechender dorsaler oder palmarer Trümmerzone
Untergruppe A 3.3: unabhängig von der Achse mit ausgedehnter palmarer und dorsaler Trümmerzone



Abbildung 8: AO 23 A3- Fraktur

➤ 23-B partielle Gelenkfraktur des Radius

Typ B1: Sagittaler Frakturverlauf
Untergruppe B 1.1: einfacher lateraler Frakturverlauf
Untergruppe B 1.2: lateraler Mehrfragmentbruch
Untergruppe B 1.3: ulnares Kantenfragment

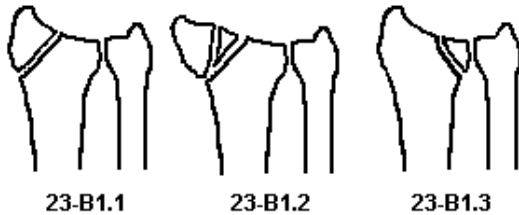


Abbildung 9: AO 23 B1- Fraktur

Typ B2: Frontaler Frakturverlauf mit dorsalem Fragment (Barton- Fraktur)
Untergruppe B 2.1: einfacher dorsaler Kantenabriß
Untergruppe B 2.2: Kantenfragment in sich frakturiert
Untergruppe B 2.3: dorsale Randfraktur mit Luxation des Carpus

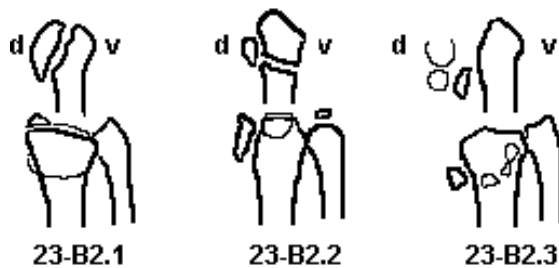


Abbildung 10: AO 23 B2- Fraktur

Typ B3: Frontaler Frakturverlauf mit palmarem Fragment
Untergruppe B 3.1: einfach frakturiert mit kleinem Fragment
Untergruppe B 3.2: einfach frakturiert mit großem Fragment
Untergruppe B 3.3: mehrfach frakturiert



Abbildung 11: AO 23 B3- Fraktur

➤ **23-C intraartikuläre Fraktur und > 1 Fragment; oft T- oder Y-Form**

Typ C1: Artikulär und metaphysär einfach
Untergruppe C 1.1: dorsomediales Kantenfragment
Untergruppe C 1.2: sagittaler intraartikulärer Frakturverlauf
Untergruppe C 1.3: frontaler intraartikulärer Frakturverlauf

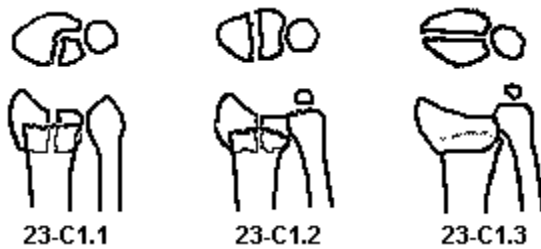


Abbildung 12: AO 23 C1- Fraktur

Typ C2: Artikuläre Einfach- und metaphysäre Mehrfragmentfraktur
Untergruppe C 2.1: sagittaler intraartikulärer Verlauf
Untergruppe C 2.2: frontaler intraartikulärer Verlauf
Untergruppe C 2.3: metaphysäre Trümmerzone reicht bis in Diaphyse



Abbildung 13: AO 23 C2- Fraktur

Typ C3: Mehrfragmentfraktur der Gelenkfläche
Untergruppe C 3.1: mit einfacher metaphysärer Fraktur
Untergruppe C 3.2: metaphysäre Mehrfragmentfraktur
Untergruppe C 3.3: metaphysäre Trümmerzone reicht bis in Diaphyse

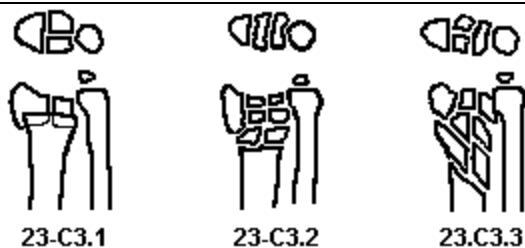


Abbildung 14: AO 23 C3- Fraktur

1.2.5 Gängige Operationsverfahren

Früher stellte die Gipsimmobilisation die am häufigsten gewählte Therapieform bei älteren Patienten mit einer distalen Radiusfraktur dar. Damit wurde den erhöhten Operationsrisiken und dem geringeren Anspruch an die Handgelenksfunktion Rechnung getragen [30, 157].

Diese Therapieform gehört neben dem Fixateur externe zu den immobilisierenden Verfahren, die heute seltener eingesetzt werden. Die Nachteile, die aus der langen Ruhigstellung folgen, sind allgemein anerkannt [47, 125]. Die Gipsimmobilisation, gegebenenfalls kombiniert mit der minimalinvasiven Kirschner- Draht- Osteosynthese, wird bei stabilen extraartikulären und stabilen intraartikulären Frakturen des Radius ohne Trümmerzone mit zufriedenstellenden Ergebnissen eingesetzt [10, 154].

Weitere minimal- invasive Verfahren, die bei bestimmten Frakturmustern mit großem Fragment und ohne metaphysäre Trümmerzone gute Ergebnisse liefern, sind die Schraubensynthese, Kapandji und Kunststoffpins [135].

Der Fixateur externe funktioniert nach mit dem Prinzip der „Ligamentotaxis“ [122] und zieht die Stauchungszone der Fraktur gewissermaßen auseinander. Dadurch werden dislozierte größere Fragmente anatomisch reponiert, retiniert und die radiale Länge wiederhergestellt. Die direkte Reposition oder Retention der Dorsalkippung und von intraartikulären Fragmenten findet nicht statt. Er wird erstrangig bei stark zertrümmerten und komplexen (AO 23- C2 und -C3) sowie offenen Radiusfrakturen mit schwerem Weichteilschaden dauerhaft oder auch temporär, bis eine definitive Therapie möglich ist, eingesetzt [10, 122, 135].

Die Entwicklung des nicht- gelenküberbrückenden Fixateur externe, der in der Diaphyse des Radius und direkt subchondral unter der radialen Gelenkfläche fixiert wird, führte zu einer Retention der wiederhergestellten palmaren Inklination und machte die frühfunktionelle Beübung möglich. Sie liefert für nicht dislozierte extra- und intraartikuläre Frakturen gute funktionelle Ergebnisse [50, 57].

Im Zuge des demographischen Wandels sind die älteren Patienten mobiler und selbstständiger geworden. Sie profitieren also einerseits von einer frühen Mobilität, um ihre momentanen Lebensumstände beizubehalten, warten aber andererseits mit Komorbiditäten auf, welche das Operations- Risiko erhöhen. Die gehäuften mangelhaften Langzeitergebnisse von Patienten, die mit Ruhigstellung im Castverband behandelt wurden und die Forderungen nach schnellerer Rekonvaleszenz, haben ein Umsteigen zu operativen Verfahren ergeben [4, 46, 84, 93, 113, 157]. Die Weiterentwicklung von Anästhesie und Intensivmedizin, die operative Maßnahmen selbst im hohen Alter möglich macht, hat zu dieser Entwicklung beigetragen [157].

Zunächst wurden dorsale und palmare Abstützplatten Mitte der 90er Jahre eingesetzt. Erste ermöglichten eine bessere Frakturretention bei nach dorsal dislozierten Extensionsfrakturen mit guten funktionellen Ergebnissen. Es entwickelten sich jedoch zahlreiche Komplikationen wie Strecksehnenirritationen oder –abriss, Implantatlockerungen oder eine verlangsamte Frakturheilung, die aus der Spongiosaplastik des dorsalen Defektes folgte. Diese hatten häufig eine Reoperation mit Implantatentfernung zur Folge [59, 126]. Im weiteren Verlauf wurden winkelstabile Plattenosteosynthesen, zuerst unidirektionale und später multidirektionale, entwickelt. Diese konnten nun auch von volar bei Extensionsfrakturen eingesetzt werden. Der radiopalmare Zugang wies eine wesentlich geringere Zugangsmorbidität als der dorsale auf und war einfacher in der Durchführung. Durch die Wirkweise eines Fixateur interne werden die auf den distalen Radius wirkenden axialen Kräfte unter Entlastung der Frakturzone über die winkelstabilen Schrauben auf die Diaphyse umgeleitet. Durch diese rigide Fixierung ist ein sekundärer Repositionsverlust sehr selten, so dass ab dem ersten postoperativen Tag eine frühfunktionelle Mobilisation mit früherer Rückkehr zu den Aktivitäten des täglichen Lebens erfolgen kann [30, 84, 108, 152].

Die Spongiosaplastik oder zusätzliche dorsale Verplattung an der dorsalen Trümmerzone entfällt, was zu einer schnelleren Frakturheilung führt. Aufgrund der besseren Weichteildeckung tritt seltener ein Fremdkörpergefühl auf [10, 84, 135].

Bei multidirektionalen Plattensystemen können die Schrauben in einem Radius von 20 – 30° ausgerichtet werden und damit selbst kleinere Fragmente erfassen. Dadurch sind sie zusätzlich zu AO 23- A3, -B3 und dislozierten –C2 Frakturen auch bei intraartikulären Frakturen mit multipler Gelenkbeteiligung indiziert (AO 23- C3) [56]. Dennoch treten trotz des weitverbreiteten Gebrauchs einige Komplikationen im postoperativen Verlauf auf. Die Komplikationsraten werden mit 8 – 40 % angegeben. Die häufigsten sind: Hyp- bzw. Dysästhesien, Sehnenirritationen, das Karpaltunnel- und Sudeck- Syndrom, sekundäre Dislokationen, verzögerte Frakturheilung, Schraubenlockerungen, intraartikuläre Schraubenlagen sowie Wundheilungsstörungen [12, 75, 82, 87, 133, 138, 152].

Die Anzahl der Komplikationen und damit verbundenen Reoperationen mit Plattenentfernung können jedoch reduziert werden, wenn bei der Platzierung der Schrauben mit strenger Sorgfalt vorgegangen und auf einen exakt subchondralen Sitz geachtet wird [158]. Bei jüngeren Patienten zeigt die palmare, winkelstabile Plattenosteosynthese somit „sehr gute“ und „gute“ Ergebnisse und hat sich damit als Standardverfahren bewährt [41, 51, 60, 62, 71, 84, 144, 150].

Figl und Mitarbeiter haben herausgearbeitet, dass die volare winkelstabile Plattenosteosynthese auch bei Osteoporose oder Osteopenie zu vergleichbar guten subjektiven, funktionel-

len und radiologischen Ergebnissen führt wie bei Patienten mit normwertiger Knochendichte [47]. Diese Ergebnisse werden durch andere Arbeiten mit älteren Patienten ab 60 Jahren bestätigt, so dass sie auch bei dieser Gruppe von Patienten bevorzugt eingesetzt wird [10, 19, 42, 76, 108, 133, 153]. Diese Gruppe, bei der die distale Radiusfraktur auf dem Boden einer manifesten oder latenten Osteoporose entsteht, bildet die größte Gruppe der Frakturen [110, 113]. Für diese Altersgruppe gelten die gleichen allgemeinen Prinzipien der Frakturbehandlung eines Gelenkes oder juxtaartikulären Bereiches wie für Jüngere. Das Ziel soll ein schmerzfreies, bewegliches und kraftvolles Handgelenk mit wiederhergestellter Anatomie und Funktion sein, das dem Patienten eine rasche Wiedereingliederung ins soziale Umfeld ermöglicht. Gleichzeitig sollen Komplikationen vermieden werden [4, 18, 108, 124].

Eine neuere und vielversprechende Entwicklung auf dem Gebiet der Osteosynthesen ist der intramedulläre Verriegelungsnagel, auch wenn er wegen seiner Indikationen (extraartikuläre Extensionsfrakturen des distalen Radius (AO 23 A3) und intraartikuläre Frakturen ohne Dislokation der Gelenkfläche und mit sagittalem Frakturverlauf) nur eingeschränkt einsetzbar ist [40, 58, 89, 105]. Dieser funktioniert nach dem etablierten Prinzip der Verriegelungsmarknagelung, das bereits für andere Röhrenknochen besteht. Er verfügt aufgrund der minimalinvasiven Implantation über einige Vorteile. Er gewährleistet ein hohes Maß an Stabilität, reduziert die Zugangsmorbidität und ist aufgrund der intraossären Lage mit weniger sekundären Implantatentfernungen verbunden [40, 58, 88, 105].

Von all diesen Therapieverfahren ist die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese zum Standardverfahren in der Versorgung von instabilen distalen Radiusfrakturen avanciert. Im Jahre 1999 wurden nur 42 % der Frakturen mit einer palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt, wohingegen es 2007 schon 81 % waren [68]. Maravic et al. berichteten sogar von einer allgemeinen Operationsrate von 83% im Jahre 2001 [93]. Es besteht allerdings immer noch Uneinigkeit darüber, ob die palmare Plattensynthese auch den „Goldstandard“ in der Therapie darstellt [71, 155]. Um diese Fragestellung zu beantworten, gilt es auch den Zugang genauer zu untersuchen: Der operative Zugangsweg für die palmare winkelstabilen Plattenfixation verläuft radial oder ulnar der Sehne des Musculus flexor carpi radialis (FCR- Zugang).

Aufgrund einer höheren Zugangsmorbidität ulnar der Sehne wird fast immer radial des Nervus medianus, zwischen der Sehne des Musculus flexor carpi radialis und der Arteria radialis freipräpariert (Henry- Zugang) [84].

Bei der Exposition des distalen Radius wird der wichtigste Pronator des Unterarmes, der flächig aufliegende Musculus pronator quadratus (MPQ), inzidiert und abgelöst [6, 63, 96,

139]. Eine Refixation ist nicht üblich und auch schwierig, da die palmare Plattenlage deutlich aufträgt.

Vorteil der palmaren gegenüber der dorsalen Plattenlage ist zwar die bessere Weichteildeckung, bislang ist jedoch weitestgehend unklar, ob und in welchem Umfang die Beteiligung des MPQ zu Einbußen der Pronatorfunktion und damit der Handgelenksfunktion führt.

2 FRAGESTELLUNG

Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusfraktur ist zum Versorgungsstandard geworden. Ebenso der radiopalmare Zugangsweg mit Hautschnitt längs entlang der FCR- Sehne mit konsekutiver Durchtrennung des M. pronator quadratus, dem wichtigsten Pronator des Unterarmes.

Kontrollierte Nachuntersuchungen operierter Patienten mit Pronations- und Supinationskraftmessungen im postoperativen Verlauf haben bis dato kaum stattgefunden.

Hauptziel dieser Arbeit war eine Verlaufsbeobachtung von ca. 60 Patienten acht Wochen und 12 Monate nach operativer Plattenosteosynthese einer distalen Radiusfraktur hinsichtlich der Handgelenksfunktion und speziell der Pronationskraftentwicklung, des klinischen Outcome sowie der radiologischen Ergebnisse.

Die Studie ging im Besonderen der Frage nach, ob und in welchem Maße die Pronationskraft sich kurzfristig und mittelfristig von der operativen Plattenosteosynthese mit Inzision des Musculus pronator quadratus beeinflusst zeigt.

In diesem Zusammenhang waren auch folgende Fragen zu klären:

Wie stellt sich das untersuchte Patientengut zusammen? Ist es vergleichbar mit der Literatur?

Sind Komplikationen und radiologische Parameter vergleichbar mit Ergebnissen in der Literatur?

Die Supinationskraft wurde als gegenläufige Kraft zum Vergleich mitbestimmt.

Ist diese eingeschränkt, obwohl betreffende Muskeln nicht inzidiert werden?

Wie entwickelt sich die Handgelenksfunktion, im Besonderen auch die Handkraft, kurzfristig und mittelfristig beim untersuchten Patientenkollektiv?

Wie ist das klinische Outcome/ die Patientenzufriedenheit?

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Pronationskraft bzw. Supinationskraft und dem Alter oder dem Frakturtyp nach AO?

Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Größe der Pronationsbewegung, der Pronations- und Supinationskraft und der objektiven und subjektiven Handgelenksscores?

3 PATIENTEN/ MATERIAL UND METHODEN

3.1 Patientenkollektiv

Von September 2010 bis August 2011 wurden Patienten mit einer instabilen distalen Radiusfraktur, die mit einer palmaren winkelstabilen Optimus- Platte (Fa. MORE Medical, Deutschland) versorgt wurden, nach Abgleich mit unten genannten Ein- und Ausschlusskriterien, prospektiv erfasst.

3.1.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Erstes Einschlusskriterium war eine instabile distale Radiusextensionsfraktur (AO-23 A2, A3, B1-3, C1-3), die mit palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurde. Weiterhin mussten Volljährigkeit und Einverständnis des Patienten zur Teilnahme erfüllt sein. Ausschlusskriterien waren eine weitere Fraktur der betroffenen oberen Extremität, streckseitige oder nicht winkelstabile Plattenosteosynthese, Folgeoperationen, vorausgegangene Brüche oder Operationen des verletzten sowie des gesunden Handgelenks innerhalb der letzten 24 Monate und Demenz oder andere schwerwiegende kognitive Störungen. Eine Entfernung des zur Versorgung der Radiusfraktur eingebrachten Osteosynthesematerials, innerhalb des Beobachtungszeitraums, stellte kein Ausschlusskriterium dar.

3.2 Palmare Plattenfixation im Universitätsklinikum Rostock

Nach einer Bruchspalt- oder Regionalanästhesie wird die dislozierte Fraktur durch kontinuierlichen Zug im Mädchenfänger reponiert. Die Fraktur wird anschließend im zirkulären Castverband ruhiggestellt und abschließend eine weitere Röntgenaufnahme zur Dokumentation des Repositionsergebnisses gefertigt. Die Ruhigstellung erfolgt bei stabilen Frakturmustern entweder definitiv bis zur Konsolidierung der Fraktur oder bei Repositionsverlust temporär bis zur Abschwellung der Weichteile, damit eine geplante operative Versorgung unter optimalen Bedingungen möglich ist.

Nach Abschwellung der Weichteile findet sich der Patient für einen kurzen stationären Aufenthalt in die Klinik ein. Die Versorgung der distalen Radiusfraktur erfolgt in der Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Rostock mit der Optimus-Platte (Fa. MORE Medical, Deutschland). Die offene Reposition und volare Plattenosteosynthese wird in Allgemein- oder Plexusanästhesie durchgeführt. Nach Anlegen einer Blutleere wird der Arm auf einem röntgendurchlässigen Armtisch in Supinationsstellung mit einer Tuchrolle als Repositionshilfe gelagert. Danach erfolgt eine Längsinzision der Haut auf der

Sehne des Musculus flexor carpi radialis im Bereich des distalen Radius (FCR- Zugang, rot markiert in der Abbildung 15). Nach Durchtrennung der Faszie radial der Sehne des Musculus flexor carpi radialis, wird vorsichtig unter Schonung der Nerven, Gefäße und Sehnen zwischen der Sehne des Musculus flexor carpi radialis und den Vasa antebrachii bis auf den Musculus pronator quadratus vorpräpariert, der dem distalen Radius flächig aufliegt.

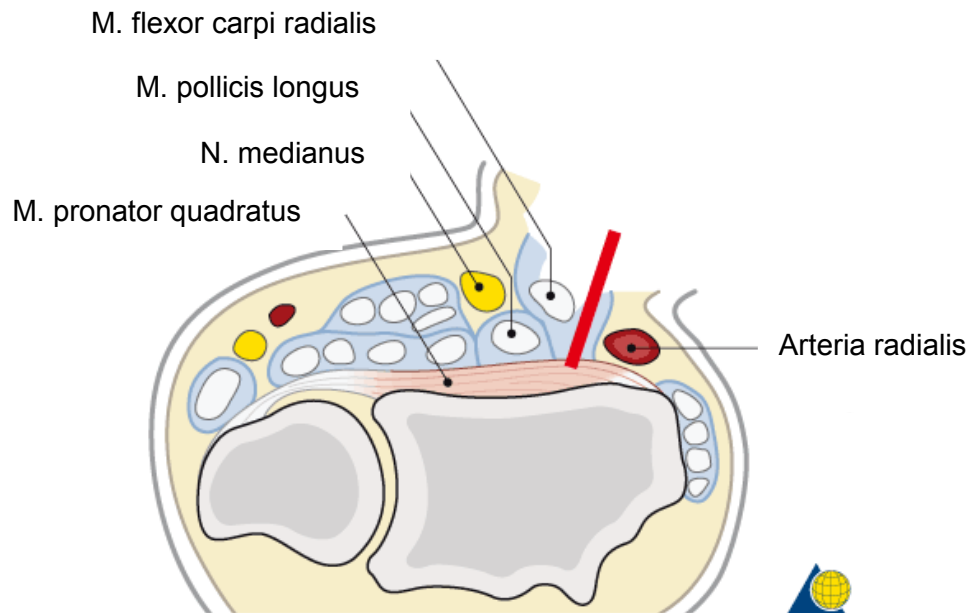


Abbildung 4: Palmarer Zugang (rot) zwischen FCR- Sehne und Gefäßbündel [120]

Die Muskelplatte des M. pronator quadratus wird transmuskulär gespalten und mit dem Raspatorium abgeschoben, so dass die Fraktur dargestellt und die Fraktur­ränder gesäubert werden können. Unter Bildwandlerkontrolle wird die Fraktur als nächstes durch Längszug reponiert und gegebenenfalls mit Kirschner Drähten fixiert. Im nächsten Schritt wird eine geeignete Platte ausgewählt, anmodelliert und mit einer Schraube im Gleitloch fixiert. Danach wird eine Kontrolle mit dem Bildwandler zum Nachweis einer anatomischen Reposition und korrekten Plattenlage erforderlich. Schritt- für Schritt werden die Schraubenlöcher dann mit winkelstabilen Schrauben besetzt, indem die Führungsbuchse als erstes in die Gewinde der Schraubenlöcher aufgeschraubt, darüber aufgebohrt und nach Längenmessung die passende winkelstabile Schraube eingebracht wird. Schließlich wird ein weiteres Mal mit dem Bildwandler kontrolliert, dass die Schrauben extraartikulär und subchondral gelegen sind und dass diese und die Platte die korrekte Länge haben. Nach gründlicher Spülung erfolgen die Einlage einer Redondrainage, Subkutannaht und die fortlaufende Hautnaht. Der M. pronator quadratus wird nicht refixiert. Noch im OP wird eine Gipschiene angebracht, die bis zum Abschluss der Wundheilung belassen wird. Während des stationären Aufenthaltes erfolgen am ersten postoperativen Tag eine Standardröntgenaufnahme (a.p. und seitlich) und am

zweiten postoperativen Tag die Entfernung der Redondrainage. Die Nachbehandlung und Physiotherapie erfolgen ambulant.

3.3 Nachuntersuchungsablauf

Noch in der Rettungsstelle erfolgte eine Erfassung aller Patienten mit distaler Radiusfraktur und der geplanten Therapie. So konnten die operierten Patienten noch während des stationären Aufenthaltes aufgesucht und ausführlich über die Studie aufgeklärt werden. Nach Einverständnis wurde der Patient in die Studie aufgenommen. Alle Patienten haben vor Studienbeginn eine Studieninformation erhalten (siehe S. 89) und eine Patienteneinwilligung (siehe S. 91) unterschrieben.

Eine Terminvereinbarung für die Verlaufskontrolle erfolgte dann telefonisch bzw., falls erwünscht, postalisch. 8 Wochen und 12 Monate postoperativ stellten sich die Patienten dann in der Ambulanz des Universitätsklinikums Rostock zur detaillierten klinischen Nachuntersuchung vor. Diese erfolgte durch die Person, die die Studie auswertet.

Nach Aufnahme des Patienten in die Studie wurde ein Aktenstudium durchgeführt. Dabei wurden das Alter zum Unfallzeitpunkt, der Zeitraum zwischen Unfall und Frakturversorgung, die Art des Implantats, Operationsdauer, Durchleuchtungsdauer während der Operation, Hospitalisationsdauer, Narkoseart sowie aufgetretene Komplikationen, vorbestehende Funktionseinschränkungen der Extremität und begleitende Verletzungen festgehalten.

3.4 Nachuntersuchungszeitraum

Die Patienten wurden zu zwei Zeitpunkten zur detaillierten Nachuntersuchung eingeladen. Der erste Termin fand 8 Wochen und der zweite 12 Monate nach erfolgter Operation statt. Im Median konnten diese zwei Termine nach 65 Tagen (1. Quartile: 60 Tage, 3. Quartile: 69,5 Tage) und 437 Tagen (1. Quartile: 370 Tage, 3. Quartile: 453 Tage) eingehalten werden.

3.5 Bildgebung

Mittels der präoperativ erfolgten Röntgenbilder in zwei Ebenen erfolgte eine Frakturklassifizierung nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen). Röntgenaufnahmen in anterior- posterioem (nachfolgend a.-p.) und lateralem Strahlengang, sowie a.- p. Kontrollaufnahmen der gesunden Gegenseite, die auswärts oder im Hause gemäß dem üblichen Nachsorgeschema erfolgt waren, wurden bezüglich Palmarinklination, radialer Verkürzung

und Ulna- Varianz ausgewertet. Zudem wurde das Röntgenbild auf Gelenkstufen, überstehende Schrauben, intraartikuläre Schrauben, Implantatbruch und sonstige Komplikationen, überprüft.

Palmare Inkliniation

Die palmare Inkliniation, die auch dorsopalmarer Radiusgelenkwinkel genannt wird, beschreibt die palmare Kippung der radialen Gelenkfläche. Der Durchschnittswert für die palmare Inkliniation beträgt 11-12° [10, 120].

Der frontale Radiusgelenkwinkel

Der frontale Radiusgelenkwinkel, bzw. die radiale Inkliniation wird im anterior- posterioren Röntgenbild ausgemessen. Die Gelenkfläche des Radius weist hier einen von radial nach ulnar abfallenden Winkel von durchschnittlich 22 – 23° auf [67, 120].

Ulna- Varianz

Die Ulna- Varianz wird ebenfalls im anterior- posterioren Bild ausgemessen. Sie beschreibt den Abstand zwischen ulnarseitiger Radiusgelenkfläche und radialeitiger Ulnagelenkfläche [10, 120]. Die durchschnittliche Ulna- Varianz beträgt – 0,9 mm. Bei 60 % der Bevölkerung beträgt dieser Wert 0, d.h. Radius- und Ulnagelenkfläche stehen auf gleicher Höhe. Für die freie Beweglichkeit des Handgelenkes sollte die Ulnarvarianz jedoch nicht größer als +4/-4 mm sein [51].

Radiale Länge

Die radiale Länge stellt den Abstand zwischen der Spitze des Processus styloideus radii des Ulnaköpfchens auf DRUG- Ebene. Der Durchschnittswert beträgt 11 – 12 mm [10, 120].

Das kontralaterale Handgelenk stellt eine bessere Referenz für die radiologischen Parameter palmare Inkliniation, frontaler Radiusgelenkwinkel und Ulna- Varianz dar, als die Werte einer Vergleichspopulation [68].

3.6 Anamnese

Zu Beginn des Nachuntersuchungstermins wurden eventuelle Unstimmigkeiten, die sich aus dem Aktenstudium ergeben hatten mit dem Patienten abgeglichen. Weiterhin wurde nach der Händigkeit gefragt. Es wurden auch vorbestehende Beschwerden oder Bewegungseinschränkungen des Handgelenkes sowohl der betroffenen als auch der Gegenseite dokumentiert. Auch wurden Komplikationen im bisherigen Verlauf, eventuelle Wetterfühligkeit sowie Auslöser von Schmerzen ermittelt und diese in Ruhe und unter Belastung mittels Visueller Analogskala eingeordnet.

Visuelle Analogskala

Die Visuelle Analogskala (nachfolgend VAS) ist eine Skala zur Ermittlung der subjektiven Empfindung. Es handelt es sich um eine Linie, deren Endpunkte extreme Zustände darstellen, wie in unserer Studie "kein Schmerz" und "unerträglicher Schmerz". Der Patient wird gebeten, seine subjektiv empfundenen Schmerzen durch eine vertikale Linie einzuordnen, die dann auf einer Skala von 0 bis 10 quantifiziert wird. Die Zahl 0 bedeutet keinen Schmerz und die Zahl 10 unerträgliche Schmerzen.

3.7 Inspektion, Palpation und Funktionsüberprüfung

In einem ersten Schritt wurde die Kontur beider Handgelenke verglichen und besonderes Augenmerk auf Schwellungen oder Fehlstellungen gelegt. Es wurde auch auf die Thenar- und Hypothenarmuskulatur auf Athrophiezeichen hin überprüft und die Narbenheilung kontrolliert. Im Anschluss erfolgte eine kurze palpatorische Untersuchung.

Danach wurden die Bewegungsumfänge für Extension und Flexion, Radial- und Ulnarabduktion, sowie Pronation und Supination nach Neutral- Null- Methode mit dem Goniometer gemessen. Die Handkraft wurde bei allen Patienten als Mittel dreier Messungen am Dynamometer beurteilt.

Schließlich erfolgte eine Messung der Pronations- sowie Supinationskraft mit dem Baseline Hydraulic Dynamometer (Fa. Fabrication Enterprises, USA). Hierbei handelt es sich um einen Apparat, der für die Messung der Pronations- und Supinationskraft entwickelt wurde.

Baseline Hydraulic Dynamometer und Messvorgang

Den Goldstandard der Kraftmessung stellen Arbeitssimulatoren und isokinetische Rehabilitations- und Messgeräte wie der Cybex 6000 [161] dar. Diese Geräte sind aber groß und kostenintensiv, so dass ein handliches und einfach bedienbares Gerät gefunden werden musste, ohne dabei auf genaue und verlässliche Messergebnisse verzichten zu müssen. Das Baseline Hydraulic Dynamometer (Fa. Fabrication Enterprises, USA) wurde in einer Studie mit dem Goldstandard zur Messung der Pronations- und Supinationskraft, dem Cybex 6000, verglichen und als tragbares, reliables und valides Werkzeug zur Messung der Pronationskraft befunden, wenn es mit einem Türkopf- Griff ausgestattet ist [161].

Speziell für dieses Messgerät wurde eine Halterung mit Lagerungsplatte für den zu messenden Arm in der Universität Rostock angefertigt. Als Vorbild diente uns die Halterung, die in einer Studie von Wong et al. verwendet wurde, jedoch nahmen wir noch einige Änderungen vor [161]. Die Lagerungsplatte kann in ihrer Höhe verstellt werden, so dass trotz unterschiedlicher Körpergrößen eine optimale Lagerung gewährleistet ist. Außerdem wurde eine zusätzliche Fixierungsmöglichkeit des Armes angebracht, die jedoch nicht die Messung der Pronationskraft behindern sollte. Es soll Lageveränderungen, wie zum Beispiel das unbewusste Anheben des Armes, das zur Aktivierung anderer für die Pronation zuständiger Muskeln führen würde, verhindern.

Jeder Patient wurde angewiesen, sich an den Tisch mit dem Messgerät zu setzen und den Arm auf die Lagerungsplatte zu legen, wobei Schulter und Ellenbogen in optisch abgeschätzten 45° Beugung positioniert werden sollten, da die Pronationskraft am stärksten in 45° Ellebogenbeugung ist [106]. Der Unterarm wurde in Neutralstellung gebracht und an die Lagerungsplatte fixiert. Dann wurde der Patient gebeten, den Türkopf zu greifen. Hierbei sollte das Handgelenk in leichte Extension gebracht werden, wobei der Grad der ulnaren Deviation vom Patienten gewählt werden konnte, um eine möglichst angenehme Griffstellung zu gewährleisten. Die aufgebrachte isometrische Drehkraft wurde in Kilogramm auf der Anzeige des BHD angezeigt und abgelesen [161].

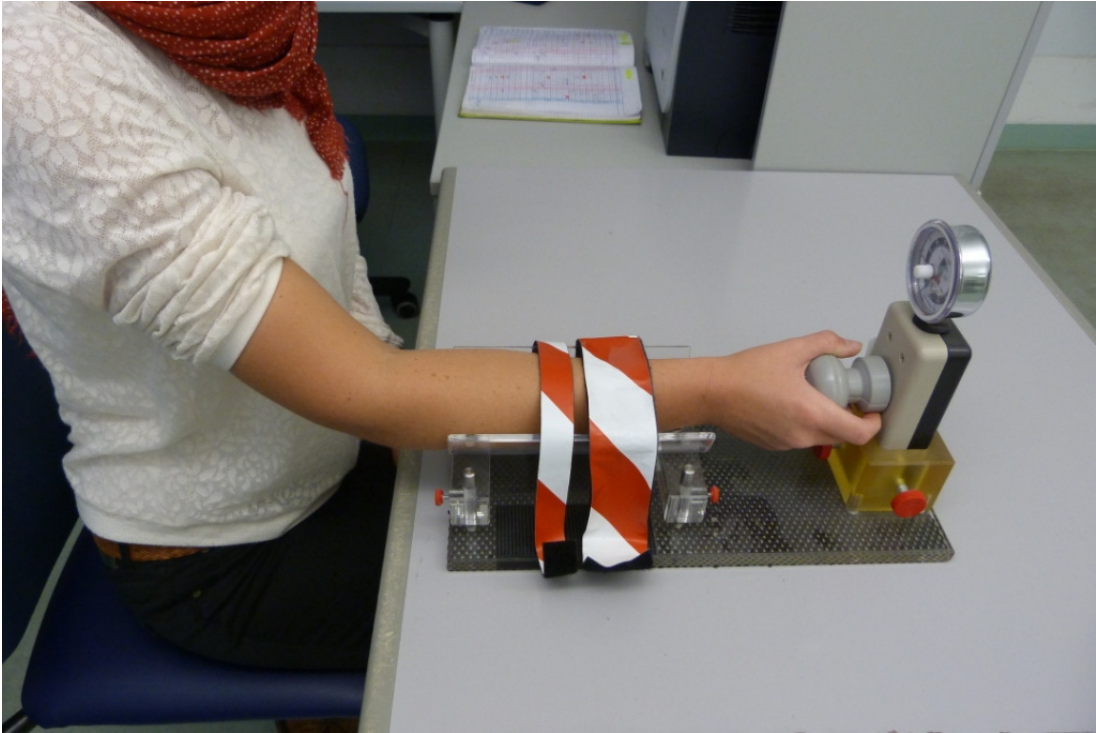


Abbildung 56: Baseline Hydraulic Dynamometer in Halterung, seitliche Ansicht

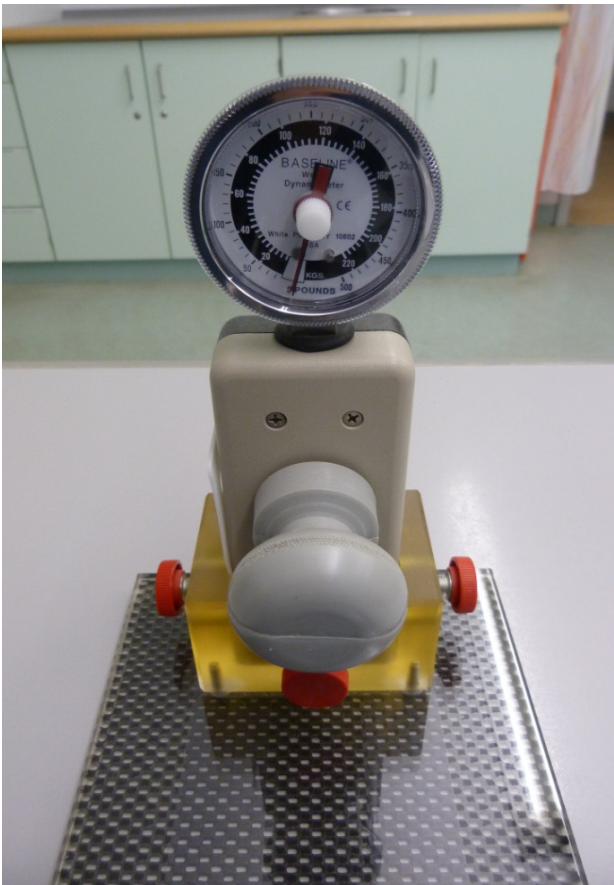


Abbildung 17: Baseline Hydraulic Dynamometer in Halterung, frontale Ansicht mit Anzeige in Kg

Der Patient konnte das Drehen des Türknopfes in einem ersten Schritt üben und nach einer kurzen Wartezeit wurden dann die Messungen durchgeführt.

Alle Bewegungsumfänge und Kraftmessungen wurden für das betroffene und das gesunde Handgelenk durchgeführt.

3.8 Erhebungsbögen

Als letzter Punkt wurden Fragebögen, die zur Bestimmung des Gartland und Werley- [54], des Castaing- , sowie des DASH- Scores dienen, gemeinsam mit dem Patienten durchgearbeitet.

Gartland and Werley Score

Dieser Score wurde 1951 von Gartland und Werley beschrieben (siehe Anhang) [54]. Der Fragebogen enthält subjektive und zu einem größeren Anteil objektive Parameter. Im subjektiven Teil muss der Patient Fragen zu Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und Aktivitätseinschränkungen beantworten. In den objektiven Teil gehen klinische Parameter, wie Form, Bewegungsumfänge nach Neutral- Null- Methode und Komplikationen ein.

Bei der Bewertung der Bewegungsumfänge wurden eine Dorsalflexion von 45 Grad, eine Palmarflexion von 30 Grad, eine Ulnar- und Radialabduktion von je 15 Grad und eine Pronation und Supination von je 50 Grad als Grenzwerte für eine normale Handgelenksfunktion festgelegt.

Die in den einzelnen Teilen des Fragebogens vergebenen Punkte werden am Ende addiert und je nach erreichter Punktzahl wird das klinische Ergebnis als exzellent (0 – 2 Punkte), gut (3 – 8 Punkte), mäßig (9 – 20 Punkte) oder schlecht (mehr als 20 Punkte) bewertet.

Der Gartland and Werley Score ist einer der wenigen Fragebögen, der eine weitestgehend objektive Einschätzung des klinischen Ergebnisses liefert.

Score nach Castaing

Dieser Erhebungsbogen liefert ebenfalls ein weitestgehend objektives Ergebnis. Der Fragebogen besteht aus drei Teilen. Im ersten Teil gilt es subjektive Fragen zu Beschwerden und

zur selbst eingeschätzten Funktionalität zu beantworten. Im zweiten Teil werden die ausgemessenen Bewegungsausmaße und in einem dritten Teil die radiologischen Parameter berücksichtigt.

Das Resultat kann perfekt (0 Punkte), gut (1 – 5 Punkte), genügend (6 – 11 Punkte), mäßig (12 – 15 Punkte), schlecht (16 – 25 Punkte) oder sehr schlecht (>25 Punkte) sein.

DASH- Score (Disabilities of the arm, shoulder and hand- score)

Im Jahre 1996 beschrieben Hudak et. al eine neue Methode zur Evaluation von Aktivitätseinschränkungen der gesamten oberen Extremität [69]. Dieser Fragebogen wurde gemeinsam von dem 'Institute for Work and Health' in Toronto, Kanada, dem 'Council of Musculoskeletal Specialty Societies' und der 'American Academy of Orthopedic Surgeons' entwickelt. Es werden sowohl die Symptomatik als auch die Fähigkeit, bestimmte Tätigkeiten auszuführen, ermittelt, wobei die obere Extremität als funktionelle Einheit gesehen wird [27]. Der DASH-Score ist ein rein subjektiver Bewertungsbogen, der darauf abzielt festzuhalten, wie die Störung durch den Patienten wahrgenommen wird und in wie weit Beeinträchtigungen nur eines Abschnittes der oberen Extremität die subjektiv empfundene Funktionalität der gesamten Extremität und damit auch das Zurechtkommen im Alltag beeinflusst.

Er kommt häufig bei der Beurteilung von distalen Radiusfrakturen zum Einsatz und hat in Studien im Vergleich mit Gelenk- spezifischen Bewertungsbögen eine gute Validität, Reliabilität und Responsivität bewiesen [27, 156]. Er kann für Patienten verwendet werden, bei denen ein Gelenk oder mehrere Gelenke gleichzeitig untersucht werden sollen [27].

Der Fragebogen besteht aus drei Teilen, wobei die beiden letzten optional sind. Der erste Teil enthält Fragen zu alltäglichen Tätigkeiten und zu den Beschwerden. Er liefert den allgemeinen DASH Score. Im zweiten Teil werden Einschränkungen bei sportlichen sowie musikalischen Aktivitäten ermittelt und der dritte Teil deckt berufsbezogene Fragen ab. Im ersten Teil muss der Patient insgesamt 30 Fragen beantworten, wobei zu jeder Frage jeweils fünf Antwortmöglichkeiten vorhanden sind, aus denen er auswählen kann. Die Abstufung der Antwortmöglichkeiten reicht von: „keine Schwierigkeiten“ oder „keine Beschwerden“ bis hin zu: „Aktivität ist nicht möglich“ oder „sehr starke Beschwerden“. Das Mindestergebnis pro Frage beträgt einen Punkt, das Höchstergebnis fünf Punkte. Ein niedriger Wert bedeutet keine oder nur sehr geringe Einschränkungen, ein hoher Wert erhebliche Schwierigkeiten.

Die einzelnen Punktwerte werden addiert. Die Berechnung des DASH- Scores ist nur möglich, wenn mindestens 27 von 30 Fragen beantwortet wurden. Fehlen mehr als drei Fragen,

ist die Berechnung des DASH-Scores also nicht möglich. Möchte man nur den DASH- Score des allgemeinen Teiles, also der alltäglichen Aktivitäten und der Beschwerden berechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$\left(\frac{\text{Summe der Punktwerte}}{\text{Anzahl der beantworteten Fragen}} - 1 \right) * 25 = \text{DASH} - \text{Wert}$$

Die Berechnung des Scores, der aus den Fragen des optionalen Teiles hervorgeht, ist nur bei vollständig ausgefülltem Fragebogen möglich. Die Patienten beurteilen wie beim ersten Teil für jede Frage auf einer Skala von 1 bis 5 ihre Fähigkeiten beziehungsweise ihr Befinden. Die Einzelpunkte werden addiert, der maximal zwanzig und minimal vier Punkte beträgt. Die optionalen DASH-Werte errechnen sich nach der Formel:

$$\frac{\text{Summe der Punktwerte} - 4}{0,16} = \text{DASH} - \text{Sport oder DASH} - \text{Arbeit}$$

Die anhand dieser Formeln ermittelten DASH-Werte liegen auf einer Skala von 0 bis 100, wobei 0 das beste Ergebnis bedeutet und 100 das Schlechteste. Für Patienten, die an der oberen Extremität operiert wurden gilt, dass ab einer Differenz von 10 Punkten eine wichtige Veränderung des DASH- Wertes eingetreten ist. Für die Allgemeinbevölkerung sind mittlerweile Normwerte abgeleitet worden, die einen Vergleich ermöglichen. Selbst nicht- klinische Gruppen zeigen von 0 abweichende DASH- Werte [73].

Die Beantwortung der Fragen benötigt in etwa 10-15 min, die Auswertung benötigt weitere 10min, was ihn zu einem recht aufwendigen Messinstrument macht [27].

3.9 Statistische Methoden

Die Studienergebnisse wurden zunächst anonymisiert in einer Excel- Datenbank zusammengetragen und dann für die statistische Auswertung in das Statistik- Programm SPSS für Windows, Version 20.0 (SPSS Inc., USA) übertragen.

Um die metrischen Variablen auf Normalverteilung zu testen, wurde der Kolmogorov-Smirnov- Test durchgeführt. Der größere Teil der Variablen zeigte keine Normalverteilung ($p < 0,05$), während einige normalverteilt waren ($p \geq 0,05$). Aufgrund der überwiegend nicht normalverteilten Variablen wurden die Ergebnisse der deskriptiven Statistik als Median und den dazugehörigen Quartilen angegeben.

Der Mann- Whitney- U- Test wurde als nichtparametrisches Testverfahren zum Vergleich von nicht normalverteilten Stichproben herangezogen. Für normalverteilte Stichproben wurde

der t- Test mit vorheriger Überprüfung der Homogenität der Varianzen mittels Levene- Test durchgeführt.

Waren die zu vergleichenden Stichproben verbunden und die metrischen Variablen normalverteilt, wurde als parametrisches Testverfahren der t- Tests für gepaarte Stichproben gewählt. Bei nicht normalverteilten, verbundenen Stichproben wurde der Wilcoxon- Test verwendet.

Für eine Korrelations- Analyse von zwei Parametern wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman- Rho ermittelt und dieser nach folgendem Schema ausgewertet:

$r < 0,2$ → sehr geringe Korrelation

$r = 0,2 - 0,5$ → geringe Korrelation

$r = 0,5 - 0,7$ → mittlere Korrelation

$r = 0,7 - 0,9$ → hohe Korrelation

$r = > 0,9$ → sehr hohe Korrelation

Die Ergebnisse der für alle Tests durchgeführten zweiseitigen Signifikanzüberprüfung, wurden bei einem p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant bewertet.

Die Grafiken wurden mit Excel und SPSS erstellt. Zur Darstellung von Häufigkeiten wurden Balkendiagramme gewählt und zur Visualisierung von Messergebnissen wurden Boxplots gewählt, da diese sich zur Darstellung vom Median und den dazugehörigen Quartilen eignen. Der untere T- Balken der Box entspricht dem Minimalwert und der obere dem Maximalwert. Die Begrenzungen der Box werden durch die 1. und 3. Quartile dargestellt.

Um Korrelationen zwischen zwei Parametern darzustellen wurden Streudiagramme mit Regressionsgerade verwendet.

4 ERGEBNISSE

4.1 **Patientenkollektiv/ Nachuntersuchungsrate**

Von September 2010 bis August 2011 konnten insgesamt 121 Patienten prospektiv erfasst werden. 65 dieser Patienten waren bereit an der Nachuntersuchung teilzunehmen und wurden nach acht Wochen nachuntersucht. Die restlichen Patienten konnten aus verschiedenen Gründen nicht in die Ambulanz des Universitätsklinikums kommen. Entweder war der Anreiseweg zu weit, die Patienten konnten es terminlich nicht einrichten oder Komorbiditäten ließen es nicht zu. 18 dieser Patienten wurden telefonisch befragt. 6 Patienten waren auch nach Rücksprache mit dem Hausarzt telefonisch und postalisch nicht zu erreichen und waren damit Lost- to- follow- up.

Nach einem Jahr konnten 59 Patienten klinisch- radiologisch nachuntersucht werden. Ein Patient war zwischenzeitlich verstorben und die restlichen konnten aus verschiedenen Gründen nicht in die Ambulanz des Universitätsklinikums kommen. Entweder war der Anreiseweg zu weit, die Patienten konnten es terminlich nicht einrichten oder Komorbiditäten ließen es nicht zu. 2 Patienten waren hier Lost- to- follow- up und konnten weder telefonisch noch postalisch erreicht werden.

Das mediane Alter der Patientengruppe betrug 68 Jahre. Die Hälfte der Patienten hatte ein Alter zwischen 58 und 74 Jahren. Der jüngste Patient war 21 Jahre und der älteste 88 Jahre alt. Das mediane Alter der Frauen betrug 69,5 Jahre (Bereich: 21 – 88 Jahre, 1. Quartile: 59 Jahre, 3. Quartile: 75 Jahre) und der Männer 62 Jahre (Bereich: 28 – 82 Jahre, 1. Quartile: 48 Jahre, 3. Quartile: 70 Jahre).

89% der Studienteilnehmer waren weiblichen und 11% männlichen Geschlechts.

4.2 **Frakturklassifizierung**

Die Frakturen wurden mit Hilfe der präoperativ erfolgten Röntgenbilder nach AO – Klassifikation eingeteilt.

70% der Frakturen wurden der AO 23- Typ A und 31% der AO 23- Typ C- Frakturgruppe zugeteilt. Eine genaue Aufschlüsselung der Frakturtypen findet sich in Tabelle 1:

Frakturtyp nach AO	Häufigkeit
A2.2	2,7%
A3.1	1,0%
A3.2	44,6%
A3.3	20,8%
C1.2	4,0%
C2.1	10,9%
C2.2	2,7%
C2.3	1,0%
C3.1	1,0%
C3.2	6,9%
C3.3	4,0%

Tabelle 1: Häufigkeiten der nach der AO-Klassifikation eingeteilten Frakturtypen

Das Seitenverhältnis der Frakturlokalisierung war ungefähr ausgeglichen, so dass 53% der Frakturen den linken und 47% den rechten Radius betrafen. Bei 44% der Patienten war dabei der Lastarm betroffen und bei 56% der andere als der Lastarm.

4.3 Operative Daten

Die Patienten wurden im Median 8 Tage (Bereich: 0 – 17 Tage, 1. Quartile: 6 Tage, 3. Quartile: 9 Tage) nach dem Tag des Frakturgeschehens operiert. Die Operationsdauer betrug mediane 48 Minuten (Bereich: 16,3 – 113 Minuten, 1. Quartile 39 Minuten, 3. Quartile: 57 Minuten) und die Röntgendauer im OP betrug mediane 0,54 Minuten (Bereich: 0,09 – 3,56 Minuten, 1. Quartile: 0,39 Minuten, 3. Quartile: 1,22 Minuten). 44 % (n=43) der Patienten wurden unter einer regionalen Plexusanästhesie und 54% (n=54) in Allgemeinanästhesie operiert. Ein Patient wurde zusätzlich zur Plexusanästhesie über eine Larynxmaske beatmet. Die Patienten wurden im Median 3 Tage (Bereich: 1 – 10 Tage, 1. Quartile: 3 Tage, 3. Quartile: 4 Tage) nach der Operation aus dem Krankenhaus entlassen.

4.4 Komplikationen

Wir sahen die folgenden Komplikationen unter unseren Patienten: 1 Fall von Dysästhesie, 1 Fall eines CRPS, 1 Patient zeigte einen Repositionsverlust, 3 Patienten entwickelten ein Karpaltunnelsyndrom und in 7 Fällen haben wir das Implantat wieder entfernt. Die Entfernungen der palmaren Platte erfolgten auf Grund von je 2 Sehnenirritationen, beziehungsweise zu langen Schrauben sowie eines Karpaltunnelsyndromes und eines CRPS. Die restlichen 3 Implantatentfernungen erfolgten auf Patientenwunsch.

4.5 Radiologische Parameter

Zum Zeitpunkt der Untersuchungstermine acht Wochen und 12 Monate nach Operation wurden die im Rahmen des normalen Nachsorgeschemas durchgeführten Röntgenbilder bezüglich Gelenkstufen, radialer Länge, Palmarinklination sowie eventueller Implantatkomplikationen ausgewertet.

Gelenkstufen

Nach acht Wochen wurden bei 4,6% der Patienten (n=3) und nach 12 Monaten bei 3,4% (n=2) noch Gelenkstufen im Röntgenbild diagnostiziert.

Radiale Länge

Der mediane Wert für die radiale Länge betrug 8 Wochen nach Operation 0 mm (1. Quartile: 0mm, 3. Quartile: 0mm). Der schlechteste Wert für die radiale Länge betrug -3 mm und der beste 0 mm. Nach 12 Monaten betrug die radiale Länge weiterhin 0 mm (1. Quartile: 0 mm, 3. Quartile: 0 mm) im Median. Die Werte schwankten zwischen -4 mm und +2 mm.

Palmare Inklination

Für die palmare Inklination konnte ein medianer Wert von +5° (1. Quartile: 0°, 3. Quartile 8°; MW ± SD: 3,8° ± 4,7) ermittelt werden. Die Werte schwankten zwischen -5° und +15° zur acht- Wochen- Untersuchung.

Die palmare Inklination betrug nach 12 Monaten mediane +3° (1. Quartile: 0 mm, 3. Quartile 5 mm; MW ± SD: 2,6 ± 4,2). Es wurden Werte zwischen -5° und + 11° ausgemessen.

4.6 Handgelenksfunktion nach 8 Wochen und 12 Monaten

Für die Beurteilung der Handgelenksfunktion stehen die Einzelwerte für Extension, Flexion, Radialabduktion, Ulnarabduktion, Pronation und Supination zur Verfügung. Das Ausmaß des aktiven Bewegungsumfanges in Grad wurde bei jeder Nachuntersuchung gemessen und in das prozentuale Verhältnis zur gesunden Gegenseite gesetzt.

Extension und Flexion

Acht Wochen postoperativ betrug die mediane Extensionsbewegung 76,5% (Bereich: 13 - 136%, 1. Quartile: 60%, 3. Quartile 91 %) der gesunden Gegenseite und die mediane Flexionsbewegung betrug 66,7 % der gesunden Gegenseite (Bereich: 14 – 100 %, 1. Quartile 55%, 3. Quartile: 79%).

Im Wilcoxon- Test zeigt sich, dass die Extensions-/Flexionsbewegung des operierten Handgelenkes im Vergleich mit der gesunden Gegenseite signifikant eingeschränkt ist ($p < 0,001$).

Nach 12 Monaten hat die Extensionsfähigkeit der Hand nahezu das der gesunden Hand erreicht, so dass der Bewegungsumfang für Extension mediane 90,2 % der Gegenseite beträgt (Bereich: 41 – 500%, 1. Quartile: 79%, 3. Quartile: 97). Die Flexion konnte sich nach 12 Monaten ebenfalls erholen und erreicht mediane 82,9% des Bewegungsumfanges des gesunden Handgelenkes (Bereich: 20 – 233%, Quartile: 75%, 3. Quartile 97%).

Im Wilcoxon- Test zeigt sich, dass die Extensions-/Flexionsbewegung des operierten Handgelenkes weiterhin im Vergleich mit der gesunden Gegenseite signifikant eingeschränkt ist ($p < 0,001$).

Pronation und Supination

Die mediane Bewegungsumfang in Prozent gegenüber der gesunden Gegenseite betrug 8 Wochen postoperativ für die Pronation 100% (Bereich: 67 – 100 %, 1. Quartile 89 %, 3. Quartile 100%). Für die Supinationsbewegung wurden im Median ebenfalls 100 % (Bereich: 11 – 113%, 1. Quartile 78%, 3. Quartile 100%) der Gegenseite erreicht. Nach einem Jahr betrug die pronosupinatorischen Bewegungen 100% in Relation zur Gegenseite. Der kleinste Wert für die Pronation konnte auf 89% und für die Supination auf 78% der Gegenseite gesteigert werden. Der größte Wert betrug weiterhin für beide Bewegungen 100% der Gegenseite. Mindestens 50 % der Werte für die pronosupinatorische Umwendbewegung betrug 100% der Gegenseite.

Im Wilcoxon- Test zeigt sich, dass die pronosupinatorischen Umwendbewegungen des operierten Handgelenkes im Vergleich mit der gesunden Gegenseite nach 8 Wochen ($p < 0,001$) signifikant eingeschränkt sind. Nach 12 Monaten bestehen weiterhin signifikante Unterschiede zwischen operierter und gesunder Seite für die Supination ($p = 0,04$). Die Pronation hat sich erholt ($p = 0,25$).

Radialabduktion und Ulnarabduktion

Der Bewegungsumfang in Relation zur gesunden Gegenseite betrug 8 Wochen postoperativ im Median 78,6 % (Bereich: 8 – 150%, 1. Quartile 53%, 3. Quartile 95%) für die Radialabduktion und 76,5 % (Bereich: 12 – 107%, 1. Quartile 60%, 3. Quartile 87%) für die Ulnarabduktion. Nach 12 Monaten betrug die Werte weiterhin mediane 75 % (Bereich: 30 – 233%, 1. Quartile 62,5%, 3. Quartile 100%) für die Radialabduktion. Die Ulnarabduktion hatte sich auf mediane 85,7% (Bereich: 44 – 150 %, 1. Quartile 71%, 3. Quartile 100%) der Gegenseite erholt.

Im Wilcoxon- Test zeigt sich, dass die Radial- und Ulnarabduktion des operierten Handgelenkes im Vergleich mit der gesunden Gegenseite nach 8 Wochen und 12 Monaten signifikant eingeschränkt sind ($p < 0,001$).

Handkraft

Die Handkraft wurde mit einem Dynamometer an der zu untersuchenden Hand und zum Vergleich an der gesunden Hand gemessen. Diese Werte werden als Kraftäquivalent in der Einheit Kilogramm angegeben. Nach 8 Wochen betrug die Kraft 47,6% der gesunden Gegenseite (Bereich: 13 – 114%, 1. Quartile 33%, 3. Quartile 62%). Nach 12 Monaten erhöhte sich der Wert auf mediane 77,8 % (Bereich: 13 – 157%, 1. Quartile 62,5%, 3. Quartile 100%). Dieser Entwicklung ist graphisch in einem Boxplot-Diagramm dargestellt.

Obwohl die Handkraft im Vergleich mit der gesunden Gegenseite nach acht Wochen und 12 Monaten signifikant eingeschränkt ($p < 0,001$) war, zeigte sich beim Vergleich der relativen Handkraft nach 8 Wochen und 12 Monaten eine im t- Test für normalverteilte Parameter statistisch signifikante ($p < 0,001$) Erholung der Handkraft.

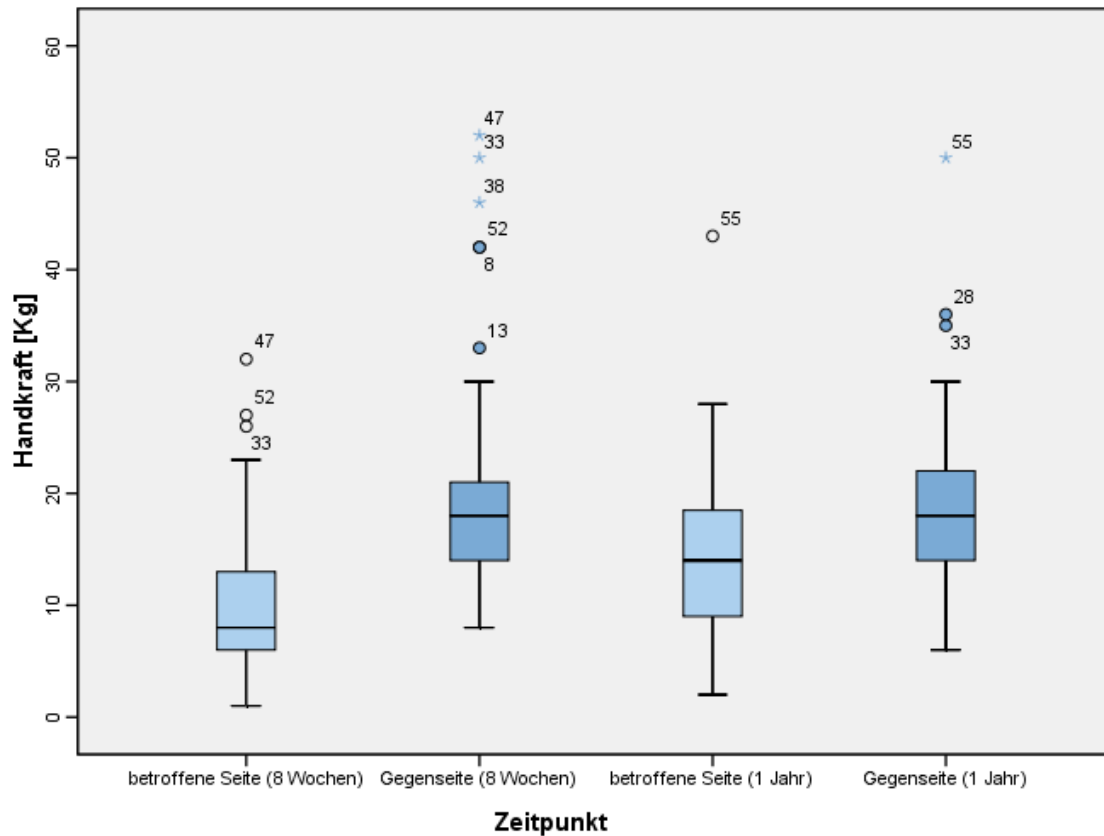


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Handkraft, absolute Werte

4.6.1 Pronations- und Supinationskraft

Die Pronationskraft wurde mit einem Dynamometer an der zu untersuchenden Hand und zum Vergleich auch an der gesunden Hand gemessen. Diese Werte werden als Kraftäquivalent in der Einheit Kilogramm angegeben und sind in den Tabellen 2 und 3 für die Nachuntersuchung nach 8 Wochen und nach 12 Monaten zu finden. Die mediane Pronationskraft in Prozent gegenüber der gesunden Gegenseite betrug 8 Wochen postoperativ 59 % (Bereich: 6 – 107%, 1. Quartile 45,8%, 3. Quartile 75%) und die mediane Supinationskraft betrug 57% (Bereich: 10 – 150%, 1. Quartile 46,6%, 3. Quartile 67,2%).

		Pronationskraft betroffene Seite	Pronationskraft Gegenseite	Supinationskraft betroffene Seite	Supinationskraft Gegenseite
n	Gültig	65	65	65	65
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert	±SD	26,83±14,49	44,31±17,69	26,48±15,74	43,32±17,91
Median		24,00	40,00	22,00	40,00
Perzentile	25	18,00	32,00	15,00	30,00
Perzentile	75	34,00	54,00	38,00	54,00
Minimum		1	16	1	10
Maximum		75	94	75	100

Tabelle 2: Absolute Werte für Pronations- und Supinationskraft nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten hatte sich die Pronationskraft um 23 Prozentpunkte auf einen medianen Wert von 82% der Gegenseite (Bereich: 25- 152 %, 1. Quartile 71%, 3. Quartile 95%) und die Supinationskraft um 22 Prozentpunkte auf einen medianen Wert von 79% der Gegenseite (Bereich: 33 – 350%, 1. Quartile 67%, 3. Quartile 100%) erholt.

		Pronationskraft betroffene Seite	Pronationskraft Gegenseite	Supinationskraft betroffene Seite	Supinationskraft Gegenseite
n	Gültig	59	59	59	59
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert	±SD	29,29±10,77	36,31±11,13	29,54±12,09	36,12±13,49
Median		30,00	36,00	30,00	36,00
Perzentile	25	20,00	30,00	20,00	25,00
Perzentile	75	38,00	42,00	40,00	42,00
Minimum		10	17	8	10
Maximum		62	72	62	78

Tabelle 3: Absolute Werte für Pronations- und Supinationskraft nach 12 Monaten

Im Wilcoxon- Test zeigte sich, dass die Pronations- und Supinationskräfte im Vergleich mit der Gegenseite nach acht Wochen und 12 Monaten signifikant eingeschränkt ($p < 0,001$) waren.

Im Vergleich der relativen Pronations- und Supinationskraft nach 8 Wochen und 1 Jahr, mittels Mann- Whitney- U- Test für nicht normalverteilte Parameter, ließ sich eine auf dem Niveau $p \leq 0,01$ statistisch signifikante Erholung der relativen Pronations- und Supinationskraft eruieren.

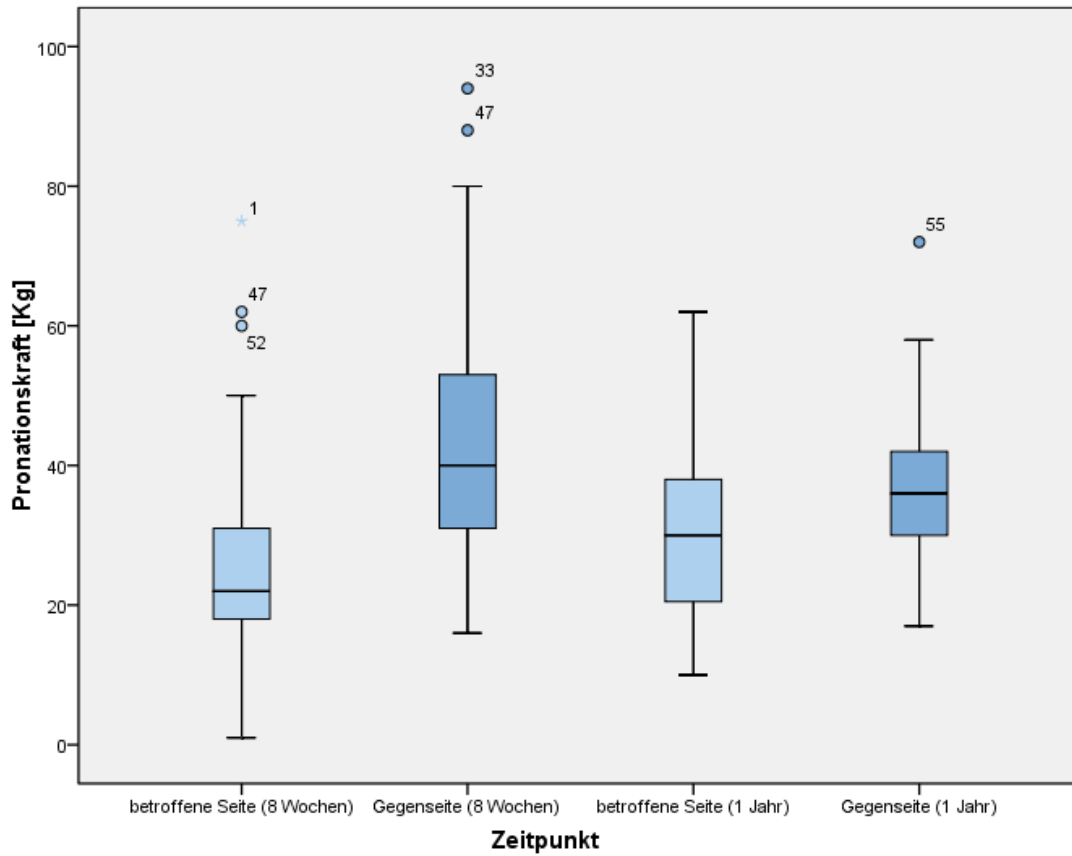


Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Pronationskraft

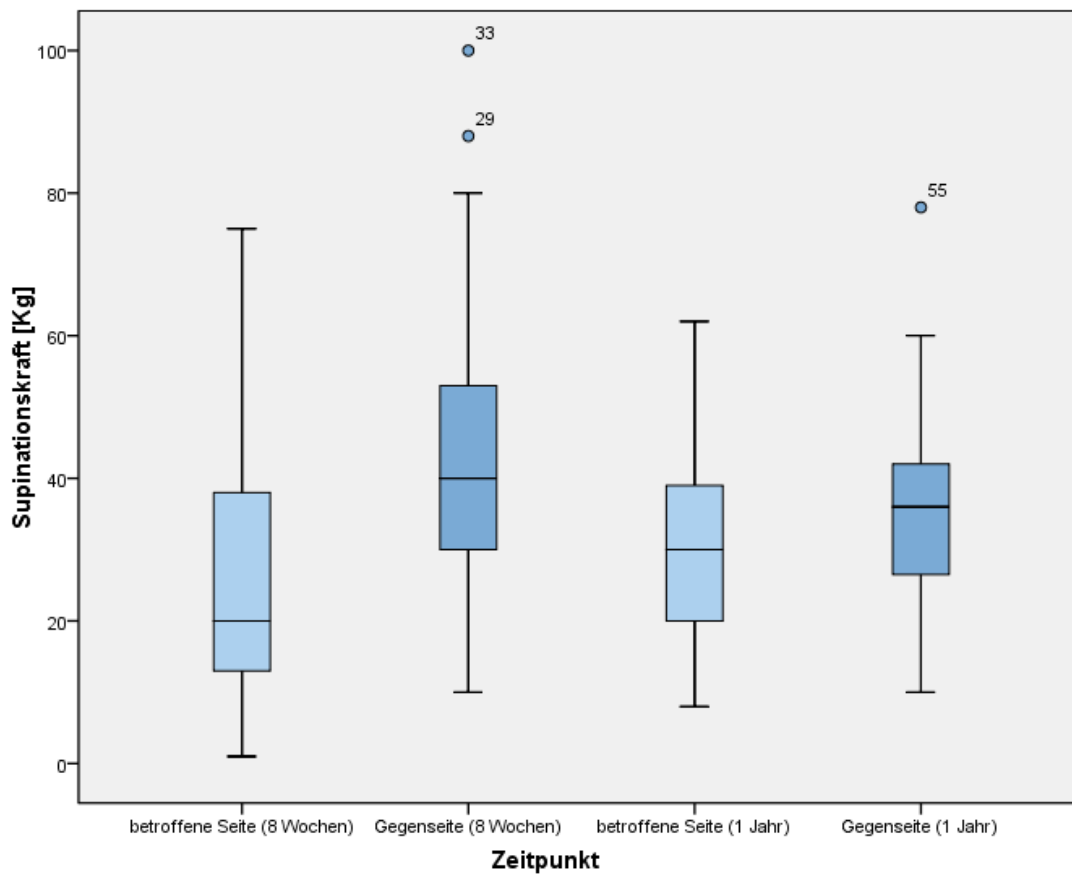


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Supinationskraft

4.6.2 Vergleich der Pronationskraft von Typ A- und Typ C- Frakturen

Die Gruppe der extraartikulären Frakturen (Typ A) hatte nach 8 Wochen eine im Median um 9,1% höhere Pronationskraft als die Gruppe der intraartikulären Frakturen (Typ C) wie in Tabelle 4 ersichtlich.

Im Mann-Whitney-U-Test zeigt sich mit einem $p = 0,307$ keine statistische Signifikanz bezüglich dieser Differenz.

AO Fx- Typ	Typ A	Typ C
Anzahl	41	24
Gültige n	41	24
Mittelwert \pm SD	63,0% \pm 21,0%	53,3% \pm 16,1%
Perzentile 25	50,0%	42,4%
Median	62,5%	53,4%
Perzentile 75	80,5%	66,6%
Minimum	5,6%	24%
Maximum	107,1%	80,3%

Tabelle 4: Relative Pronationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten hat sich die Pronationskraft in der Gruppe der Typ A- Frakturen um 19,5 Prozentpunkte auf eine relative Kraft von 82,0% erholt. Die Pronationskraft der Typ- C Frakturen zeigt eine noch stärkere Erholung um 25,5 % auf 78,9%. Die Kraft der Patienten mit intraartikulärer Fraktur ist somit weiterhin etwas geringer, als die Kraft der Patienten mit extraartikulärer Fraktur (vergleiche Tab. 5)

Im Mann-Whitney-U-Test zeigt sich diesbezüglich zwar keine Signifikanz, jedoch deutet sich nach 12 Monaten mit einem $p = 0,054$ ein deutlicher Trend zu einer niedrigeren Pronationskraft in der Gruppe der Patienten mit intraartikulärer Fraktur.

AO Fx- Typ	Typ A	Typ C
Anzahl	45	14
Gültige n	45	14
Mittelwert \pm SD	83,6% \pm 27,3%	79,6% \pm 16,9%
Perzentile 25	71,1%	71,0%
Median	82,0%	78,9%
Perzentile 75	96,2%	92,0%
Minimum	25,0%	47,5%
Maximum	152,0%	104,8%

Tabelle 5: Relative Pronationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 12 Monaten

4.6.3 Vergleich Supinationskraft von Typ A- und Typ C- Frakturen

Die Gruppe der extraartikulären Frakturen (Typ A) hatte eine im Median um 6% höhere Supinationskraft als die Gruppe der intraartikulären Frakturen (Typ C) nach 8 Wochen, wie in Tabelle 6 ersichtlich ist.

Im Mann-Whitney-U-Test zeigt sich, dass diese Differenz ohne statistische Signifikanz bleibt ($p=0,310$).

AO Fx- Typ	Typ A	Typ C
Anzahl	41	24
Gültige n	41	24
Mittelwert \pm SD	61,2% \pm 25,0%	54,6% \pm 16,3%
Perzentile 25	44,2%	48,6%
Median	58,6%	52,6%
Perzentile 75	72,9%	65,0%
Minimum	10,0%	30,0%
Maximum	150,0%	86,7%

Tabelle 6: Relative Supinationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten hat sich die Supinationskraft in der Gruppe der Typ A- Frakturen um 22,2 Prozentpunkte auf eine relative Kraft von 80,8% erholt. Die Kraft der Typ- C Frakturen zeigt eine noch stärkere Erholung um 23,2 % auf 75,8%. Die Kraft der Patienten mit intraartikulärer Fraktur ist somit weiterhin etwas geringer, als die Kraft der Patienten mit extraartikulärer Fraktur (vergleiche Tabelle 7).

Auch nach 12 Monaten ist diese Differenz statistisch nicht signifikant ($p=0,218$).

AO Fx- Typ	Typ A	Typ C
Anzahl	45	14
Gültige n	45	14
Mittelwert \pm SD	87,8% \pm 47,5%	83,1% \pm 24,9%
Perzentile 25	64,6%	66,3%
Median	80,8%	75,8%
Perzentile 75	97,8%	100,0%
Minimum	33,3%	51,4%
Maximum	350%	147%

Tabelle 7: Relative Supinationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 1 Jahr

4.6.4 Vergleich der Pronationskraft von Patienten <70 und 70< Jahre

Die Gruppe der Patienten unter 70 Jahren hat eine um 0,4 % höhere relative Pronationskraft, als die Gruppe der Patienten über 70 Jahre (vergleiche Tabelle 8).

Der Mann-Whitney-U-Test zeigt mit einem $p = 0,288$ keinen signifikanten Unterschied der Pronationskraft in den zwei Altersgruppen.

Alter	<70	70<
Anzahl	32	33
Gültige n	32	33
Mittelwert \pm SD	56,5% \pm 18,6%	62,3% \pm 20,8%
Perzentile 25	40,1%	50,0%
Median	59,2%	58,8%
Perzentile 75	71,8%	80,2%
Minimum	24,0%	5,6%
Maximum	97,5%	107,1%

Tabelle 8: Relative Pronationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten hat sich die Pronationskraft der unter 70-jährigen Patienten um 20,8 Prozentpunkte im Vergleich zur 8 Wochenuntersuchung erholt. Bei den über 70-jährigen hat sich die Pronationskraft mit 28,2% stärker erholt (vergleiche Tabelle 9).

Die um 7% höhere relative Pronationskraft der über 70-jährigen stellt im Mann-Whitney-U-Test mit einem $p = 0,192$ keinen statistisch signifikanten Unterschied dar.

Alter	<70	70<
Anzahl	32	33
Gültige n	32	33
Mittelwert \pm SD	78,7% \pm 27,5%	87,9% \pm 20,9%
Perzentile 25	59,7%	73,6%
Median	80,0%	87,0%
Perzentile 75	94,6%	98,1%
Minimum	25,0%	47,6%
Maximum	152,0%	150,0%

Tabelle 9: Relative Pronationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 12 Monaten

4.6.5 Vergleich der Supinationskraft von Patienten <70 und 70< Jahre

Die Gruppe der Patienten unter 70 Jahren hat nach 8 Wochen eine um 1 % höhere relative Supinationskraft, als die Gruppe der Patienten über 70 Jahre, wie in Tabelle 10 ersichtlich wird.

Im Mann-Whitney-U-Test zeigt sich keine statistische Signifikanz ($p = 0,813$) bezüglich dieser Differenz.

Alter	<70	70<
Anzahl	32	33
Gültige n	32	33
Mittelwert \pm SD	56,9% \pm 17,2%	60,5% \pm 26,5%
Perzentile 25	44,1%	47,7%
Median	58,1%	57,1%
Perzentile 75	65,3%	72,9%
Minimum	17,4%	10,0%
Maximum	91,3%	150,0%

Tabelle 10: Relative Supinationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten hat sich die Supinationskraft der unter 70-jährigen Patienten um 17,4 Prozentpunkte erholt. Bei den über 70-jährigen hat sich die Supinationskraft mit 30,4 Prozentpunkten annähernd doppelt so stark erholt (vergleiche Tabelle 11).

Die Gruppe der über 70-jährigen hat eine um 12,5% höhere relative Pronationskraft, die im Mann-Whitney-U-Test mit einem $p = 0,143$ jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied darstellt.

Alter	<70	70<
Anzahl	32	33
Gültige n	32	33
Mittelwert \pm SD	90,0% \pm 29,2%	96,1% \pm 56,2%
Perzentile 25	60,2%	73,6%
Median	75,5%	87,5%
Perzentile 75	95,3%	100,0%
Minimum	33,3%	43,5%
Maximum	170,0%	350,0%

Tabelle 11: Relative Supinationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 12 Monaten

4.7 Klinische Scores

DASH- Score

In der Gruppe der Patienten, die nach 8 Wochen untersucht wurden, betrug der mediane Wert 25, 5 Punkte (Bereich: 0 – 70 Punkte, 1. Quartile: 12,5 Punkte, 3. Quartile: 46 Punkte). Nach 12 Monaten verbesserten sich die Score Ergebnisse um 15,5 Punkte auf einen medianen Wert von 10 Punkten (Bereich: 0 – 76 Punkte, 1. Quartile: 3 Punkte, 3. Quartile: 22 Punkte).

Castaing- Score

Das Ergebnis des Castaing- Scores verbesserte sich von medianen 6 Punkten (Bereich: 0-15 Punkte, 1. Quartile: 3 Punkte, 3. Quartile: 9 Punkte) nach 8 Wochen auf 2 Punkte (Bereich: 0 – 13 Punkte, 1. Quartile: 1 Punkt, 2. Quartile: 3,5 Punkte) nach 12 Monaten. Somit verbesserte sich das genügende (6 – 11 Punkte) auf ein gutes (1 – 5 Punkte) Scoreergebnis. 46,1% der Patienten hatten ein perfektes oder gutes Ergebnis nach 8 Wochen und 86,5% nach 12 Monaten. Schlechte oder sehr schlechte Ergebnisse kamen nicht vor.

In Tabelle 12 sind die Häufigkeiten der Score- Ergebnisse genau aufgeschlüsselt.

Resultat	8 Wochen	12 Monate
perfekt	1,5% (n= 1)	3,4% (n=2)
gut	44,6% (n=29)	83,1% (n=49)
genügend	43,1% (n=28)	11,9% (n=7)
mäßig	10,8% (n=7)	1,7% (n=1)
schlecht oder sehr schlecht	0	0

Tabelle 12: Prozentuale Häufigkeiten der Ergebnisse des Castaing- Scores

Score nach Gartland & Werley

In den Resultaten des Scores nach Gartland & Werley [54] zeigte sich ebenfalls eine Reduktion des Test- Ergebnisses von medianen 8 Punkten (Bereich: 0 – 16 Punkte, 1. Quartile: 5 Punkte, 3. Quartile: 11 Punkte) nach 8 Wochen auf 4 Punkte (Bereich: 0 – 15 Punkte, 1. Quartile: 2 Punkte, 3. Quartile: 6 Punkte) nach 12 Monaten, was sich beides im Bereich eines guten Testergebnisses (3 - 8 Punkte) bewegte. 63, 1% der Patienten hatten ein exzellentes oder gutes Ergebnis nach 8 Wochen und 88,2% nach einem Jahr. Eine genaue Aufteilung der Score- Ergebnisse findet sich in Tabelle 13.

Resultat	8 Wochen	1 Jahr
exzellent (0-2)	16,9% (n= 11)	42,4% (n=25)
gut (3-8)	46,2% (n=30)	45,8% (n=27)
mäßig (9-20)	36,9% (n=24)	11,9% (n=7)
schlecht (>20)	0	0

Tabelle 13: Prozentuale Häufigkeiten der Ergebnisse des Scores nach Gartland & Werley

4.8 Schmerzen/ VAS

Die Patienten wurden zu beiden Untersuchungsterminen nach Schmerzen in Ruhe und bei Belastung befragt. Als Beispiel für für ‚Ruhe‘ wurde Fernsehen und als Beispiel für ‚Belastung‘ Hausarbeit genannt.

Der mediane Wert für Schmerzen in Ruhe wird mit 0 (1. Quartile: 0; 3. Quartile: 3) und für Schmerzen bei Belastung mit 5 (1. Quartile: 1; 3. Quartile 6) nach acht Wochen angegeben.

60% (n=39) der Patienten hatten keine Schmerzen in Ruhe bei der acht Wochen Untersuchung. 35,4% (n=23) gaben an leichte bis mäßige Schmerzen (VAS=1 - 6) bei ruhender Tätigkeit zu verspüren und 4,6% (n=3) der Patienten hatten noch starke Schmerzen (VAS=7 - 8).

21,5% (n=14) der Patienten hatten keine Schmerzen bei Belastung und 55,4% (n=36) gaben an leichte bis mäßige Schmerzen (VAS= 1 – 6) bei Belastung zu erleiden.

Diese Ergebnisse sind in Abbildung 22 visualisiert.

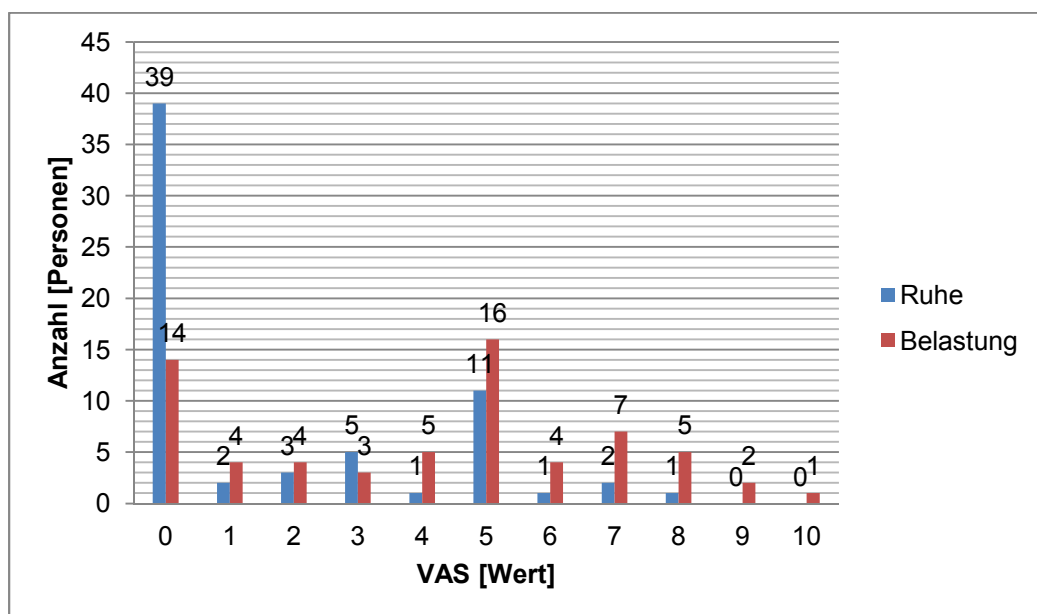


Abbildung 21: Absolute Häufigkeiten der VAS- Werte nach 8 Wochen

Nach 12 Monaten sieht man eine deutliche Verschiebung zu niedrigeren VAS- Werten (vergleiche Abbildung 22 und 23). Der mediane Wert für Schmerzen in Ruhe betrug 0 nach 12 Monaten. 79,7% (n=47) der Patienten hatten keine Schmerzen in Ruhe. 15,3% (n=9) der Patienten hatten sehr leichte bis mäßige (VAS=1 - 6) und 3,4% (n=2) der Patienten hatten noch starke Schmerzen (VAS=7)

Der mediane Wert für Schmerzen bei Belastung nahm innerhalb 12 Monaten von einer mittleren auf eine leichte Schmerzintensität mit VAS=2 (1. Quartile:0; 3. Quartile: 5) ab.

35,6% (n=47) der Patienten hatten keine Schmerzen bei Belastung und 55,9% (n=33) hatten leichte bis mäßige Schmerzen (VAS= 1 – 6).

8,5% (n=5) gaben an noch starke Schmerzen (VAS= 7 – 10) bei Belastung zu erleiden.

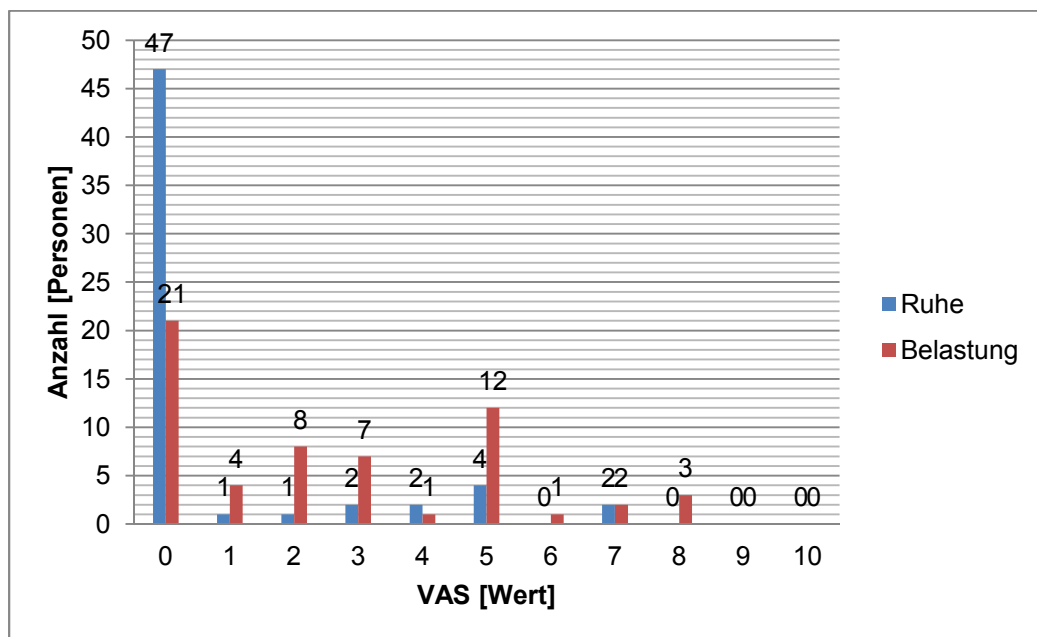


Abbildung 22: Absolute Häufigkeiten der VAS- Werte nach 12 Monaten

4.9 Korrelation der Score- Ergebnisse mit der Pronation

Bei der 8- Wochen- Nachuntersuchung zeigt sich ein mit $p= 0,027$ statistisch signifikanter gegenläufiger Zusammenhang zwischen der Höhe des Castaing- Scores und dem Ausmaß der Pronationsbewegung. Der geringe gemessene Wert von $r= -0,274$ deutet auf eine eher als gering zu beurteilende Korrelation hin.

Der DASH- Score sowie der Score nach Gartland & Werley korrelieren marginal, das heißt es gibt keine statistische Signifikanz, da $p > 0,05$. Es deutet sich dennoch ein Trend mit einem $r > 0,2$ an.

Für die Schmerzen (VAS) bei Ruhe und Belastung ist kein statistisch signifikanter Zusammenhang zu eruieren.

Bei der Nachuntersuchung nach 12 Monaten besteht weiterhin ein auf dem Niveau $p < 0,01$ statistisch signifikanter gegenläufiger Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Castaing- Scores sowie zusätzlich des Scores nach Gartland & Werley und dem Ausmaß der Pronationsbewegung. Die gemessenen Werte von $r = 0,2 - 0,5$, deuten auf eine eher als gering zu beurteilende Korrelation hin.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 und 15 visualisiert.

Für die subjektiven Parameter Schmerzen (VAS) bei Ruhe und Bewegung und den DASH- Score ist kein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Pronation zu eruieren.

Spearman-Rho		DASH	Castaing	Gartland & Werley	VAS Ruhe	VAS Bewegung
Pronation betroffen	Korrelationskoeffizient r	-0,239	-0,274	-0,240	0,076	0,033
	Sig. (2-seitig)	0,057	0,027	0,054	0,546	0,795
	n	65	65	65	65	65

Tabelle 14: Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronationsbewegung nach 8 Wochen

Spearman-Rho		DASH	Castaing	Gartland & Werley	VAS Ruhe	VAS Bewegung
Pronation betroffen	Korrelationskoeffizient r	-0,101	-0,402	-0,434	-0,126	-0,049
	Sig. (2-seitig)	0,448	0,002	0,001	0,340	0,711
	n	59	59	59	59	59

Tabelle 15: Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronationsbewegung nach 12 Monaten

4.10 Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronations- und Supinationskraft nach 8 Wochen

Bei der Nachuntersuchung besteht ein auf dem Niveau $p < 0,001$ statistisch signifikanter gegenläufiger Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Castaing-, DASH-, Gartland & Werley- Scores, der Schmerzen in Ruhe und Bewegung und der Höhe der Pronationskraft

und Supinationskraft. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten r liegen für die Pronationskraft für alle Variablen, bis auf die Schmerzen in Ruhe zwischen $-0,5$ – $-0,7$. Dieses deutet auf eine mittlere und für den DASH- und Castaing- Score auf eine marginal hohe Korrelation hin.

Die Korrelationskoeffizienten r deuten für die Supinationskraft ebenfalls auf eine mittlere Korrelation mit den Schmerzen in Ruhe bzw. auf eine marginal hohe Korrelation mit dem DASH- und Castaing- Score hin. Die Korrelation der Supinationskraft und des Gartland & Werley-Scores und der Schmerzen bei Belastung ist niedrig bzw. marginal mäßig.

Diese Ergebnisse sind in Tabelle 16 und 17 nochmals veranschaulicht.

Spearman-Rho		DASH	Castaing	Gartland & Werley	VAS Ruhe	VAS Bewegung
Pronationskraft betroffen	Korrelationskoeffizient r	-0,685	-0,679	-0,503	-0,480	-0,563
	Sig. (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	n	65	65	65	65	65

Tabelle 16: Korrelation der Scoreergebnisse und Schmerzen mit der Pronationskraft nach 8 Wochen

Spearman-Rho		DASH	Castaing	Gartland & Werley	VAS Ruhe	VAS Bewegung
Supinationskraft betroffen	Korrelationskoeffizient r	-0,644	-0,634	-0,487	-0,510	-0,498
	Sig. (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	n	65	65	65	65	65

Tabelle 17: Korrelation der Scoreergebnisse und Schmerzen mit der Supinationskraft nach 8 Wochen

4.11 Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronations- und Supinationskraft nach 12 Monaten

Bei der Nachuntersuchung nach einem Jahr besteht weiterhin ein auf dem Niveau $p < 0,01$ statistisch signifikanter gegenläufiger Zusammenhang zwischen der Höhe des Castaing- und des DASH- Scores, der Schmerzen, und der Höhe der Pronationskraft. In den nachfolgenden Streudiagrammen (Abb. 24 – 28) sind diese Beziehungen zwischen niedriger Kraft und hohen Score- Ergebnissen und Schmerzen dargestellt.

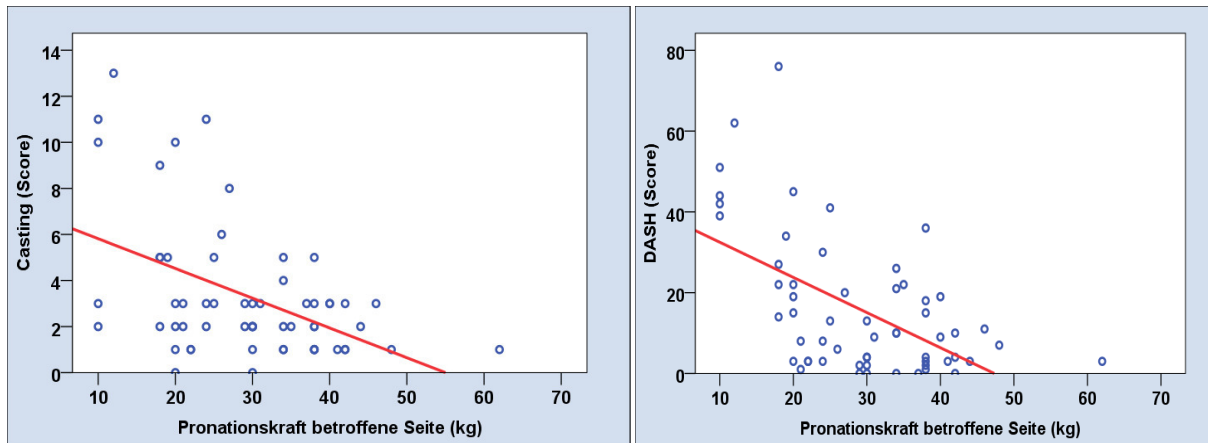


Abbildung 23 und 24: Korrelation mit Castaing- und DASH- Score

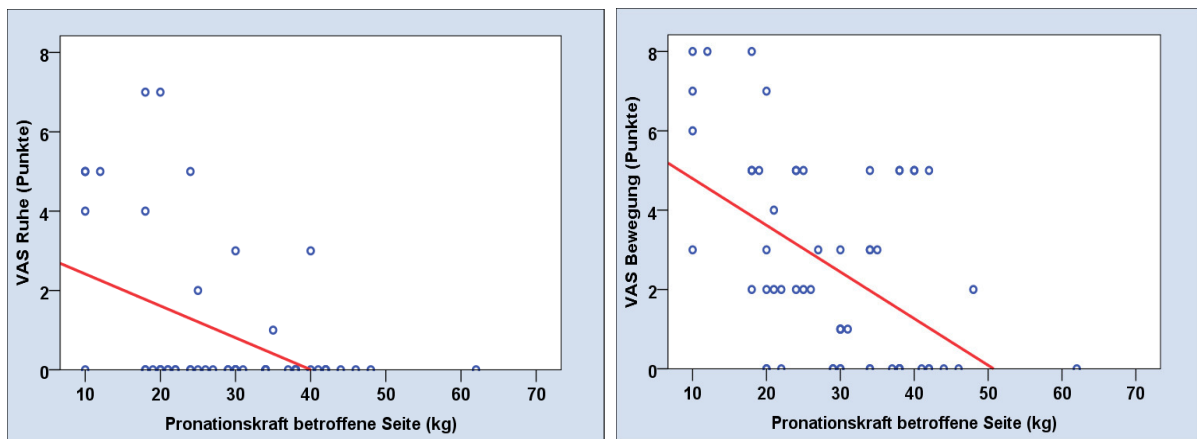


Abbildung 25 und 26: Korrelation mit VAS (Ruhe) und VAS (Bewegung)

Für alle Variablen ergibt sich ein r zwischen $-0,2$ und $-0,5$, so dass die Korrelation als eher gering zu deuten ist.

Für den Score nach Gartland & Werley ist kein statistisch signifikanter Zusammenhang zu eruieren.

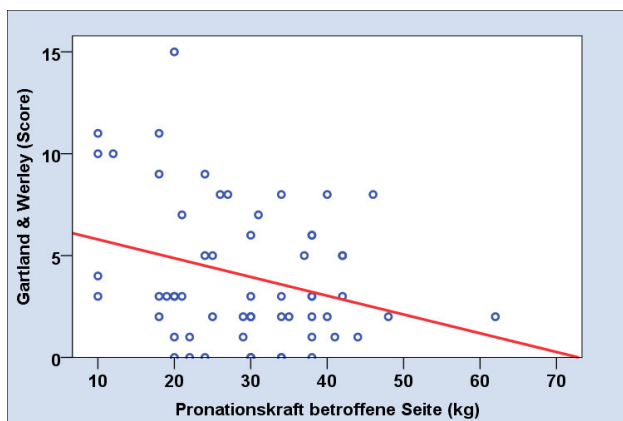


Abbildung 27: Korrelation mit dem Gartland & Werley- Score

Für die Höhe der Supinationskraft besteht ebenfalls eine statistisch signifikante mittlere Korrelation zu den Höhen des DASH- Scores, sowie der Schmerzen in Ruhe und Bewegung. Die Korrelation zum Castaing- und Gartland & Werley- Score ist signifikant, aber gering bzw. marginal zu sehr gering.

5 DISKUSSION

Die optimale Therapie der distalen Radiusfraktur des älteren Patienten wird in der Literatur noch kontrovers diskutiert [10, 90, 97, 99]. Lange Zeit stellte die Gipsimmobilisation die Therapie der Wahl dar. Damit wurde den erhöhten Operationsrisiken und dem geringeren Anspruch an die Handgelenksfunktion Rechnung getragen [30, 157].

Bei jüngeren Patienten zeigt die palmare, winkelstabile Plattenosteosynthese „sehr gute“ und „gute“ funktionelle Ergebnisse und ist damit zum Standardverfahren in der Therapie der instabilen distalen Radiusfraktur avanciert [41, 60, 62, 71, 84, 144, 150].

Trotz der weiten Verbreitung und guten Ergebnisse besteht allerdings immer noch Uneinigkeit darüber, ob die palmare Plattensynthese auch den „Goldstandard“ in der Therapie darstellt [71, 155]. Um diese Fragestellung zu beantworten, gilt es auch den Zugang genauer zu betrachten: Der operative Zugangsweg für die palmare winkelstabilen Plattenfixation verläuft radial oder ulnar der Sehne des Musculus flexor carpi radialis (FCR- Zugang). Aufgrund einer höheren Zugangsmorbidität ulnar der Sehne, wird fast immer radial des Nervus medianus, zwischen der Sehne des Musculus flexor carpi radialis und der Arteria radialis, freipräpariert (Henry- Zugang) [84]. Bei der Exposition des distalen Radius wird der wichtigste Pronator des Unterarmes, der flächig aufliegende MPQ inzidiert und abgelöst [6, 63, 96, 139].

McConkey et al. haben in einer Studie mit gesunden Probanden herausgearbeitet, dass der MPQ mit einem entscheidenden Anteil an der Pronationskraft des Unterarmes beteiligt ist. Unter EMG- Kontrolle wurde die Muskelaktivität des MPQ gezielt durch Lidocain- Injektion ausgeschaltet. Durch isometrische Messungen konnten sie zeigen, dass die Pronationskraft um durchschnittlich 21% geringer ist, als vor Injektion [96].

Basierend auch auf diesen Ergebnissen raten einige Autoren zur Naht des MPQ, um einerseits seine Funktion als wichtigster Pronator des Unterarmes und als DRUG- Stabilisator wiederherzustellen [55, 139] und um andererseits die Sehnen der Handgelenksbeuger vor Irritationen zu schützen [3, 119].

In letzter Zeit wird die vermeintlich bessere Weichteildeckung der palmaren Platte zunehmend in Frage gestellt. Es wird vermehrt von Beugesehnenirritationen berichtet [2, 12, 14, 25]. In diesem Zusammenhang wird zur Naht des MPQ, nach Implantation der palmaren Platte, geraten oder es werden MPQ- schonende Verfahren vorgeschlagen. Hierbei erfolgt eine periostale Ablösung des Muskels und die Platte kommt zwischen Muskel und Knochen zu liegen [26, 64]. Ein solches Vorgehen ist aber auch nicht immer möglich, da es die Freilegung des Frakturspaltes und die Reposition unter Sicht verhindert. Verschiedene Nahttech-

niken, um den MPQ zu refixieren sind beschrieben worden. Die Einzelkopfnah, die Durchflechtungsnah, die Nah kombiniert mit prolongierter Ruhigstellung oder die Nah des MPQ zusammen mit bindegewebigen Fasern aus dem ersten Strecksehnen- Fach und dem palmaren Schenkel des M. brachioradialis sind hier zu nennen [44, 119].

Brown et al. empfehlen die Nah des MPQ, wobei sie gleichzeitig feststellen, dass Sehnenirritationen nichtsdestotrotz auftreten können [25]. Hershman et al. haben funktionelle und subjektive Parameter in Gruppen mit und ohne Refixation des MPQ verglichen und kommen zu dem Ergebnis, dass die Nah des MPQ keine Auswirkungen auf das klinische Outcome hat. Handgelenksfunktion und Patientenzufriedenheit unterscheiden sich nicht in den untersuchten Gruppen. Stattdessen resultiert in der Gruppe mit MPQ- Refixation eine höhere Rate an Reoperationen mit Implantatentfernungen [65]. Sie unterstützen ebenfalls die These, dass die Refixation eher zu Problemen führt, da die Nah zusätzlich aufträgt [65, 147].

Bei Trümmerfrakturen, traumatisch bedingter Ruptur des Muskels oder bei schlechten Weichteilverhältnissen ist eine Refixation des Muskels außerdem nahezu unmöglich [61]. In der Literatur finden sich folgende schwere Komplikationen, die mit einer den MPQ- wiederherstellenden bzw. - erhaltenden Technik vergesellschaftet sind: ischämische Kontraktur infolge zu straffer Nah und daraus resultierendem vermindertem Bewegungsumfang des Handgelenkes, MPQ- Kompartment- Syndrom und iatrogene Arteria radialis- Verletzung [20, 118]. Das Kompartment- Syndrom folgt daraus, dass der MPQ in seinem eigenständigen Kompartiment liegt und von einer Faszie umgeben wird. Wird im Rahmen einer minimalinvasiven Technik die Osteosyntheseplatte unter den Muskel geschoben, wird die umgebende Aponeurose nicht eröffnet, so dass es im Rahmen des geschlossenen Traumas zu einer Druckerhöhung kommen kann [28].

In der Literatur sind zwar Studien zu finden, die die Handgelenksfunktion und das subjektive Ergebnis von Gruppen mit und ohne Refixation des MPQ vergleichen, jedoch gibt es nur wenige Autoren, die auch die Pronations- und Supinationskräfte gemessen haben.

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive Untersuchung an 65 bzw. 59 Patienten. Hiermit ergab sich eine Nachuntersuchungsquote von 54 % bzw. 49% zur Nachuntersuchung nach 12 Monaten. In der vergleichenden Literatur werden wenige Angaben zu Nachuntersuchungsraten gemacht.

In einer prospektiven Verlaufsbeobachtung nach palmarer Plattenosteosynthese durch Chung et al. wurde nur eine Nachuntersuchungsrate von 26% nach einem Jahr erreicht [31].

Desweiteren gibt es eine nur geringe Studienlage zu postoperativen Pronationskraftmessungen und diese haben mit kleinen Stichprobengrößen gearbeitet. Huh et al. führten

isokinetische Kraftmessungen nach sechs Monaten und einem Jahr mit jeweils 34 Patienten durch [70]. Chirpaz- Cerbat et al. [29] haben Kraftmessungen an 26 Patienten durchgeführt und Armangil et al. [9] berichten von Ergebnissen aus Messungen mit nur 14 Patienten. Eine aktuellere prospektive Studie aus Deutschland, die als erste die Pronationskraft von Patienten mit und ohne Refixation des MPQ vergleicht, liefert Ergebnisse von 60 Patienten nach 6 und 12 Wochen [61].

Eine Stärke dieser prospektiven Studie ist daher, dass sie neue Daten zu objektiven Pronationskraftmessungen liefert. Auch die hohe Nachuntersuchungsrate zu beiden Nachuntersuchungszeitpunkten und damit die hohe Vergleichbarkeit beider Gruppen, ist hervorzuheben.

Bei einem medianen Alter von 68 Jahren, gaben die Patienten häufig Komorbiditäten als Ursache für das Nichterscheinen zum Nachuntersuchungstermin an. Auch wenn im postoperativen Verlauf Komplikationen aufgetreten waren, wurde häufig abgelehnt. Ebenfalls sind jüngere Patienten seltener zu einem Nachuntersuchungstermin erschienen, obwohl sie anfangs ihr Einverständnis zur Aufnahme in die Studie gegeben hatten.

Eine Stärke dieser Studie ergibt sich aus den gewählten Nachuntersuchungszeitpunkten. Im Gegensatz zu Huh et al. kann durch die Nachuntersuchung nach 8 Wochen, nach Konsolidierung der Fraktur, der frühere postoperative Verlauf besser beurteilt werden. Nach 6 Monaten können sich die Weichteile und der MPQ schon beträchtlich regeneriert haben [70].

Der Termin, der 8 Wochen postoperativ stattfinden sollte, konnte im Median nach 65 Tagen ohne größere Schwankungen realisiert werden. So war sichergestellt, dass der Zustand der Patienten zum ungefähr gleichen Zeitpunkt erfasst wurde. Eine Limitation dieser Studie sind fehlende Langzeit- Ergebnisse. Dies wird jedoch dadurch abgemildert, dass die Handgelenksfunktion und das klinische Outcome sich nach einem Jahr nur noch wenig verändern [31, 99]. Aus diesem Grund konnten auch größere Schwankungen in den Zeitpunkten des zweiten Nachuntersuchungstermins toleriert werden.

Die Ergebnisse der Röntgendiagnostik und die Messungen der Bewegungsumfänge dienen der allgemeinen Verlaufskontrolle und dem Einsatz in den verschiedenen Handgelenks-Scores. In dieser Arbeit sind also nicht so sehr die Einzelwerte für die ausgemessenen Parameter von Bedeutung, sondern die Gesamtbewertung der Handgelenksfunktion durch die subjektiven und objektiven Auswertungsbögen.

Das von uns benutzte Baseline Hydraulic Dynamometer (Fa. Fabrication Enterprises, USA) wurde in einer Studie mit einem Goldstandard zur Messung der Pronations- und Supinationskraft, dem Cybex 6000 verglichen und als tragbares, reliables und valides Werk-

zeug zur Messung der Pronationskraft befunden, wenn es mit einem Türkopf- Griff ausgestattet ist [161].

Es gibt zahlreiche Auswertungsbögen zur Evaluierung des klinischen Ergebnisses. In der vorliegenden Studie fanden die häufig verwendeten DASH-, Castaing- und Gartland & Werley- Scores Anwendung, so dass ein Vergleich mit anderen Studien möglich war.

Die Verwendung des DASH- Scores kann eine Schwäche dieser Studie darstellen, da er die gesamte obere Extremität in die Bewertung miteinbezieht. Hatten Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung Beschwerden, die zum Beispiel von der Schulter ausgingen, sind die daraus folgenden Punktabzüge auch in die Bewertung miteingegangen. So kann ein insgesamt etwas schlechteres Ergebnis des DASH- Scores ermittelt worden sein.

Das mediane Alter des Patientenkollektivs betrug 68 Jahre, so dass das Unfallalter mit den Ergebnissen aus epidemiologischen Untersuchungen übereinstimmt [24, 36, 39, 157]. Im Hinblick auf die vergleichende Literatur [9, 32, 78] resultierte in unserer Studie ein etwas höheres Durchschnittsalter, da das Patientenkollektiv zum größten Teil aus Frauen gebildet wurde (90%). Der Anteil der Männer betrug 10%. In Studien, in denen das Patientenkollektiv mehr Männer aufweist, die meist durch Hochrasanztraumen in jüngeren Jahren von einer Radiusfraktur betroffen sind, ist das Durchschnittsalter geringer [113, 160]. Bei Huh et al. ist das Geschlechterverhältnis mit 59% Frauen und 41% Männern fast ausgeglichen [70]. Ebenso bei Chirpaz- Cerbat et al. mit 56% Frauen und 44% Männern [29].

Der geringe Anteil von Männern in der vorliegenden Studie ist dadurch zu erklären, dass einige jüngere Männer nicht in die Studie aufgenommen werden wollten oder auch nach nicht an der Nachuntersuchung teilnehmen wollten.

In der vorliegenden Studie wurden die Frakturen nach der AO- Klassifikation zu 70% als extraartikuläre Frakturen, die fast ausschließlich Frakturen mit metaphysärer Trümmerzone darstellten, eingeteilt. 30% hatten intraartikuläre Frakturen. Rund ein Drittel dieser Frakturen stellten Mehrfragmentfrakturen der Gelenkfläche dar.

Dieses Verhältnis resultiert daraus, dass ab dem 65. Lebensjahr Frakturen mit metaphysärer Trümmerzone und auch hochkomplexe mehrfach intraartikuläre Frakturen aufgrund der verminderten Knochendichte zunehmen [32, 108, 151].

In einer prospektiven Kohortenstudie zu osteoporotischen Frakturen an 9704 Frauen von Vogt et al. zeigte sich, bei einem Alter von 65 Jahren und älter, eine Frakturverteilung von 73% extraartikulären und 27% intraartikulären Frakturen, was mit unseren Ergebnissen übereinstimmt [151].

Bei 44% der Frakturen war der Lastarm betroffen. Studien an gesunden Probanden haben jedoch ergeben, dass die Pronations- und Supinationskräfte der dominanten und nicht-dominanten Hand sich nicht signifikant unterscheiden [53, 159], so dass bei der Analyse der Kraftwerte keine Berücksichtigung der Händigkeit erfolgen muss. Aufgrund der interindividuellen Kraftunterschiede, die sich aus dem Alter, dem Geschlecht und dem Body-Mass-Index ergeben, wurden die Werte immer in ein Verhältnis zur gesunden Gegenseite gesetzt [95].

Die Komplikationsrate von 9,2 % entspricht den Angaben in der Literatur, die mit einer Spanne von 8 – 40 % angegeben werden [12, 75, 82, 87, 133, 138, 152]. Hervorzuheben ist, dass kein Fall einer Beugesehnenirritation oder -ruptur aufgetreten ist. In letzter Zeit wird vermehrt berichtet, dass diese auf die fehlende Weichteildeckung durch den MPQ zurückzuführen sind [3, 14, 137]. Die Inzidenz von Beugesehnenkomplikationen wird in der Literatur mit 2 – 12 % angegeben [12, 20, 75, 137]. Scheinbar werden diese jedoch eher durch die Plattenlage, als durch die fehlende muskuläre Bedeckung verursacht. Je weiter distal die Platte positioniert wird, und vor allem wenn sie auf der „watershed linie“ [20] liegt oder distal von dieser zu liegen kommt, steigt das Risiko von Beugesehnenkomplikationen [12, 13, 94, 137, 143].

Es gibt zahlreiche Arbeiten, die auf den Zusammenhang zwischen radiologischem und subjektiv-funktionellem Ergebnis hinweisen [4, 8, 33, 45, 67, 97, 134]. Am wichtigsten ist dabei die Wiederherstellung der Kongruenz der Gelenkflächen und der radialen Länge [1, 79]. Im Median wurde keine radiale Verkürzung nach acht Wochen und einem Jahr ausgemessen und nur bei zwei Patienten waren nach acht Wochen und einem Jahr Gelenkstufen im Röntgenbild zu sehen, so dass der größte Teil der frakturierten Radii somit „anatomiegerecht“ wiederhergestellt waren. Alle Frakturen waren bis zur Nachuntersuchung nach einem Jahr knöchern konsolidiert.

In den weitestgehend objektiven Scores nach Gartland & Werley [55] und Castaing zeigte sich nach einem Jahr ein sehr gutes funktionelles Ergebnis. 88% bzw. 86% der Patienten hatten exzellente oder gute Ergebnisse, die mit anderen Arbeiten übereinstimmen [11, 109].

Im subjektiven DASH-Score wurden nach 8 Wochen mediane 25 Punkte erreicht und nach einem Jahr 10 Punkte. Dieses Ergebnis reflektiert eine nur noch geringe Behinderung der Arm-Funktion und eine hohe Patientenzufriedenheit wieder, so dass die Arbeit der bereits veröffentlichten Literatur mit guten und sehr guten Ergebnissen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese hinzugefügt werden kann [70, 109, 126, 152, 153]. Das gute Ergebnis im DASH-Score stimmt auch mit den Angaben zu Schmerzen überein, die als mäßig bei Belastung (VAS=5) nach acht Wochen und nur noch gering (VAS=2) nach einem Jahr angegeben wurden. Zu beiden Zeitpunkten waren in Ruhe im Median keine Schmerzen vorhanden.

Die Ergebnisse der Kraftmessungen stimmen mit der Literatur überein. Chirpaz- Cerbat [29] und Armangil [9] zeigten, dass 12 bis 14 Monate postoperativ 12-19 % der Pronationskraft verglichen mit der gesunden Gegenseite eingebüßt werden müssen. Trotz einer signifikant geringeren Pronationskraft, fand sich ein funktionell gutes Ergebnis [9].

Auch Huh et. al fanden signifikant geringere Pronations-, Supinations- und Handkräfte 6 Monate nach palmarer Plattenosteosynthese. Nach 12 Monaten war die Pronationskraft nicht mehr signifikant eingeschränkt, wohingegen Supinations- und Handkraft weiterhin signifikant geringer waren. Auch hier schien sich die Kraftminderung nicht negativ auf die Patientenzufriedenheit oder die Handgelenksfunktion auszuwirken [70].

Interessant ist auch, dass in unserer Studie die Supinationskraft zu beiden Zeitpunkten stärker eingeschränkt ist als die Pronationskraft. Diese Ergebnisse stimmen mit anderen Arbeiten überein [29, 70]. Chirpaz- Cerbat et al. haben ein identisches Messgerät wie in dieser Studie verwendet, jedoch mit einem zylindrischen Griff. Die Pronationskräfte und Supinationskräfte waren im Vergleich zur vorliegenden Studie etwas höher und betragen nach einem Jahr 88% bzw. 85% der Gegenseite. Die Patienten hatten ein medianes Alter von 47,5 Jahren und nur ein Patient war über 65 Jahre alt, so dass zum einen das jüngere Patientengut und zum anderen der zylindrische Griff die etwas bessere Erholung der Kraft erklären kann. Der zylindrische Griff ist einfacher zu greifen als der Türkopf in unserer Studie.

Um zu ermitteln, ob es andere Einflussfaktoren auf die Höhe der Pronationskraft gibt, wurden die Stichproben im Hinblick auf die AO- Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) in extraartikuläre (Typ A) und intraartikuläre (Typ C) Frakturen unterteilt. Bei intraartikulären Frakturen besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit für Begleitverletzungen, wie eine TFCC- Läsion [51]. Auch können verbliebene Gelenkstufen nur bei intraartikulären Frakturen beobachtet werden.

Die nach AO als Typ C klassifizierten Frakturen hatten 8 Wochen postoperativ zwar eine geringere Pronationskraft als die Typ A- klassifizierten Frakturen, jedoch ohne statistische Signifikanz. Nach 12 Monaten zeigte sich in der Gruppe der intraartikulären Frakturen eine deutliche Tendenz zu einer niedrigeren Kraft. Hier zeigt sich also, dass die nach einem Jahr weiterhin signifikant eingeschränkte Pronationskraft nicht allein auf die Inzision des Musculus pronator quadratus zurückzuführen ist, sondern auch die Verletzungsschwere einen Einflussfaktor darstellen kann.

Die Frage nach Gelenkbeteiligung schien sich nicht auf die Supinationskraft auszuwirken, so dass zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied in der Supinationskraft für Typ A- und Typ C- Frakturen ermittelt wurde.

Chirpaz- Cerbat et al. haben auch diesbezüglich untersucht und konnten keinerlei Zusammenhang zwischen intra- oder extraartikulärem Frakturmuster und Höhe der Pronations- und Supinationskraft herstellen [29].

In der Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Erholung der Pronations- und Supinationskraft gibt, wurden keine signifikanten Ergebnisse eruiert. Das Patientenkollektiv wurde dazu in zwei Teile geteilt und dabei die Grenze bei 70 Jahren gewählt, da sich der zweite Häufigkeitsgipfel der distalen Radiusfrakturen zwischen 70 und 80 Jahren darstellt [160].

Nach acht Wochen hatten die über 70- jährigen eine geringere Pronationskraft, aber nach einem Jahr eine höhere Kraft als die jüngere Gruppe, jeweils jedoch ohne statistische Signifikanz. Hier ist jedoch zu bemerken, dass knapp 80 % der Patienten in der jüngeren Gruppe ein Alter zwischen 50 und 60 Jahren hatten. Es scheint, dass die gemessene Kraft stark variieren kann und von vielen Faktoren abhängig ist, wie u. a. von Geschlecht, Body- Mass- Index, Trainingszustand, betroffener dominanter oder nicht- dominanter Seite [66]. Dieses kann aber auch bedeuten, dass sich bei älteren Patienten ab 70 Jahren die Weichteile in gleichem Maße wie bei jüngeren Patienten regenerieren. Das Alter muss daher bei der Wahl des therapeutischen Verfahrens, auch im Hinblick auf die Invasivität, nicht besonders berücksichtigt werden.

Im Vergleich aller Kraftwerte zeigte sich, dass die Handkraft mit 22,2% sogar etwas stärker eingeschränkt ist als die Pronationskraft mit 18% und die Supinationskraft mit 21% zur Nachuntersuchung nach 12 Monaten. Das Ergebnis dieser Arbeit befindet sich somit im Bereich von anderen Kraftmessungen. Chirpaz- Cerbat et al. [29] konnten eine Erholung auf 91% nach 14 Monaten und Huh et al. [70] auf 88% nach 12 Monaten eruiieren. Krimmer und Mitarbeiter [84] arbeiteten eine Handkraft von 71% der gesunden Gegenseite bei einem durchschnittlichen Follow- up von 11 Monaten heraus. In einer Metaanalyse mit 520 Patienten ermittelten Wei et al. nach 12 Monaten eine Griffkraft von 75% [155].

In der Metaanalyse von Wei et al. [155] zeigt sich aber diesbezüglich auch eine allgemein niedrigere Griffkraft von Patienten, die mit palmarer Plattenosteosynthese behandelt wurden, im Vergleich mit Patienten, die eine externe Fixation erhielten. Auch Hollevoet et al. eruierten eine Griffkraft von 82% für Patienten mit interner Fixation im Vergleich zu 94% für Patienten, die mit perkutanen Kirschnerdrähten behandelt wurden [68].

In der vorliegenden Studie zeigt sich im Wilcoxon- Test, dass alle Kraft- Werte nach einem Jahr im Vergleich mit der Gegenseite noch signifikant geringer waren, so dass andere Einflussfaktoren als die alleinige Inzision des MPQ auf die Kraftentwicklung im Handgelenk wahrscheinlich sind. Auch im Hinblick auf die oben genannten Ergebnisse von Wei et al. [155] ist denkbar, dass das Operationstrauma an sich, die Ruhigstellung und das ängstliche, schonende Verhalten der Patienten zu einer Atrophie der Muskulatur führen. Durch eine physiotherapeutische Nachbehandlung, die zusätzlich stärker auf die Kräftigung der geschwächten Unterarmmuskulatur abzielt, konnten Armangil et al. eine raschere Erholung der Pronationskraft erzielen [9].

Die Tatsache, dass die Pronationskraft 12 Monate postoperativ im Vergleich mit der gesunden Gegenseite signifikant eingeschränkt ist, wird deutlich abgemildert durch den Umstand, dass diese, wie schon zur 8-Wochen-Nachuntersuchung, im Bereich der Supinationskraft liegt. Die Supinations- und Handkraft zeigen sich ebenfalls signifikant eingeschränkt im Vergleich mit der Gegenseite und im Vergleich ist die Pronationskraft sogar tendenziell besser als die Handkraft. Damit ist sogar denkbar, dass die Krafeinbusse ihren Ursprung nicht in der Muskeldurchtrennung, sondern in der eigentlichen Fraktur hat. Der Umstand, dass die Patienten mit einer intraartikulären Fraktur eine geringere Kraft haben, als die Patienten mit extraartikulärer Fraktur, unterstützt diese Annahme.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach acht Wochen bestand eine signifikante gegenläufige Korrelation zwischen der Pronationskraft und den Score- Ergebnissen, sowie der Schmerzen in Ruhe und bei Belastung. Es standen also subjektive, als auch objektive Parameter mit der Pronationskraft in einem gegenläufigen Zusammenhang. Nach einem Jahr bestand dieser gegenläufige Zusammenhang weiterhin für alle Variablen ausgenommen dem Gartland & Werley Score. Zusammenfassend gilt also, dass eine niedrige Pronations- und Supinationskraft mit einer niedrigen Patientenzufriedenheit (hoher DASH- Score) sowie Schmerzen (hoher VAS) einhergeht.

Eine niedrige Pronationskraft schien in keinem Zusammenhang mit dem weitestgehend objektiven Gartland- and- Werley Score zu stehen, so dass hier trotz niedriger Kraft ein gutes Score- Ergebnis, also ein gutes funktionelles und radiologisches Ergebnis, erreicht werden konnte.

Auch hier ist anzumerken, dass die Supinationskraft ebenfalls in ähnlichem Maße mit den Score- Ergebnissen korreliert, sodass diese Beziehung einer geringen Pronationskraft zu einer verminderten Patientenzufriedenheit, nicht allein auf die Verletzung des Musculus pronator quadratus zurückzuführen ist.

Zusammenfassend scheint aber, dass eine gute Kraftentwicklung in der Hand, nach palmarer Plattenosteosynthese, wichtig für eine hohe Patientenzufriedenheit ist.

Huh et al., die zu den ersten gehörten, die 2011 Ergebnisse zu isokinetischen Kraftmessungen nach volarer Plattenosteosynthese veröffentlichten, konnten keine signifikante Korrelation zwischen dem DASH- Score und einer verringerten Pronationskraft 6 und 12 Monate nach palmarer Plattenosteosynthese verzeichnen [70]. Bei der Literaturrecherche ließen sich keine weiteren Vergleichsdaten zu Korrelationen finden.

Für die Pronation zeigt sich dagegen nur eine Korrelation mit den weitestgehend objektiven Scores nach Castaing zu beiden Zeitpunkten und Gartland & Werley nach einem Jahr. Das Ausmaß der Pronation geht in diese Scores auch mit ein, so dass folglich aus einem geringen Pronationsausmaß ein höherer Score folgt. Hier ist aber interessant, dass die Pronation, im Gegensatz zu den Kraft- Parametern, nicht mit den subjektiven Scores korreliert. Es scheint, dass eine geringere Pronationsfähigkeit nicht als störend, ausgedrückt durch gute DASH- und VAS- Ergebnisse, empfunden wird.

Die vorliegende Studie kann an einem großen Krankengut neben der Funktionseinbusse auch eine Erholung der Pronations- und Supinations- sowie Handkraft zum Nachuntersuchungstermin nach 12 Monaten zeigen. Dies legt nahe, dass der Muskel sich regeneriert oder aber die verbliebenen Muskeln sich derart adaptieren, dass seine Funktion übernommen werden kann. Die Ergebnisse der Untersuchungen von Ateshrang und Mitarbeitern, die bei Implantatentfernungen einen Ultraschall des MPQ durchführten und eine Regeneration des Muskels sahen, sprechen für ersteres [14].

Trotzdem ist die Pronationskraft, bei nach acht Wochen wiederhergestellter Pronationsfähigkeit, nach einem Jahr weiterhin signifikant eingeschränkt. Da die Supinationskraft und Handkraft sich stärker eingeschränkt zeigen ist es fraglich, dass diese Kraftminderung auf die Muskeldurchtrennung während des operativen Vorgehens zurückzuführen ist. Diese Annahme unterstützt die niedrigere Pronationskraft von Patienten mit intraartikulärer Fraktur im Vergleich mit Patienten mit extraartikulärer Fraktur. Im Hinblick auf die Wiederherstellung der Handgelenksfunktion bedeutet dieses, dass auf eine zusätzliche Naht des Muskels bei Verschluss der Operationswunde verzichtet werden kann, auch in Anbetracht der zuvor genannten Komplikationen, die sich aus der Naht ergeben können. Das gute subjektive und funktionelle Ergebnis nach einem Jahr zeigt auch, dass die Patienten sehr zufrieden mit der Handgelenksfunktion sind und eine verminderte Kraft im Alltag nicht immer relevant ist.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusfraktur ist zum Versorgungsstandard geworden. Ebenso der radiopalmare Zugangsweg mit Hautschnitt längs entlang der FCR- Sehne mit konsekutiver Durchtrennung des M. pronator quadratus, dem wichtigsten Pronator des Unterarmes.

Kontrollierte Nachuntersuchungen mit Pronations- und Supinationskraftmessungen im postoperativen Verlauf haben bis dato kaum stattgefunden.

Die Studie ging im Besonderen der Frage nach, ob und in welchem Maße sich die Pronationskraft, kurzfristig und mittelfristig, von der palmaren Plattenosteosynthese mit Inzision des Musculus pronator quadratus, beeinflusst zeigt.

Von September 2010 bis August 2011 erfolgte eine prospektive Erfassung von Patienten mit instabiler distaler Radiusfraktur, die mit einer palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese operativ versorgt wurden. 65 Patienten kamen 8 Wochen und 59 Patienten 12 Monate postoperativ zu einer detaillierten klinischen Nachuntersuchung. Es wurden die Handgelenksfunktion, speziell die Pronationskraft, das subjektive und funktionelle (DASH, Gartland-Werley- Score, Castaing- Score) und das radiologische Ergebnis ermittelt.

Zur Nachuntersuchung nach 8 Wochen waren die Pronations- und Supinationskraft mit 59%/57% signifikant geringer als die gesunde Gegenseite ($p \leq 0,001$). Auch die restliche Handgelenksfunktion zeigte sich signifikant eingeschränkt (alle $p \leq 0,001$). Die Handkraft betrug 47,6 % ($p < 0,001$).

Die Pronationskraft der Patienten zeigte nach acht Wochen keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Frakturtyp nach AO (Typ A oder C-Frakturen) ($p = 0,307$).

Nach 12 Monaten waren die Pronations- und Supinationskraft mit 82%/79% weiterhin signifikant geringer als die gesunde Gegenseite ($p \leq 0,001$), ebenso die gesamte Handgelenksfunktion ($p < 0,001$). Die Handkraft betrug 77,8%.

Nach 12 Monaten zeigte sich auch ein deutlicher Trend zu einer niedrigeren Pronationskraft der Patienten mit intraartikulärer Fraktur im Vergleich zu den Patienten mit extraartikulärer Fraktur ($p = 0,054$).

Im Castaing- und Gartland & Werley- Score erreichen jeweils rund 88 % der Patienten ein perfektes oder gutes funktionelles Ergebnis. Auch der mediane DASH- Score von 10 Punkten nach 12 Monaten spiegelt eine hohe Patientenzufriedenheit wieder. Die Patienten sind in Ruhe schmerzfrei und bei Belastung treten nur leichte Beschwerden auf (VAS = 0/2).

Diese Studie belegt, dass die Pronationskraft, bei nach acht Wochen wiederhergestellter Pronationsfähigkeit, nach einem Jahr weiterhin signifikant eingeschränkt ist. Dieser Umstand wird jedoch dadurch abgemildert, dass auch die restliche Handgelenksfunktion noch signifikant eingeschränkt ist. Da sich die Supinationskraft und Handkraft noch stärker eingeschränkt zeigen, ist es fraglich, ob die Kraftminderung auf die Muskeldurchtrennung während des operativen Vorgehens zurückzuführen ist. Die niedrigere Pronationskraft der Patienten mit intraartikulärer, im Gegensatz zu Patienten mit extraartikulärer Fraktur, unterstützt diese Annahme. Im Hinblick auf die Wiederherstellung der Handgelenksfunktion bedeutet dieses, dass auf eine zusätzliche Naht des Muskels bei Verschluss der Operationswunde verzichtet werden kann. Auch in Anbetracht der schweren Komplikationen, die sich aus der Naht ergeben können, ist diese kritisch zu sehen. Das subjektive und funktionelle Ergebnis ist nach palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese, trotz verminderter Kraft, sehr gut.

7 THESEN

1. Die distale Radiusfraktur stellt die häufigste Fraktur des menschlichen Skeletts dar.
2. Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusfraktur ist zum Versorgungsstandard geworden.
3. Der operative Zugangsweg entlang der FCR- Sehne führt zur Durchtrennung des Musculus pronator quadratus (MPQ), dem wichtigsten Pronator des Unterarmes.
4. Bis dato gibt es nur wenige Autoren, die sich mit der Frage auseinandergesetzt haben, ob sich die MPQ- Durchtrennung auf die Pronationsfunktion bzw. -kraftentfaltung im Handgelenk auswirkt.
5. In dieser Arbeit zeigt sich, dass die Pronationskraft zum Untersuchungszeitpunkt nach acht Wochen und zwölf Monaten signifikant eingeschränkt ist.
6. Die Supinations- und Handkräfte zeigen sich im Verlauf in ähnlichem Maße eingeschränkt wie die Pronationskraft, so dass die Muskeldurchtrennung nicht alleinig für die Kraftminderung verantwortlich gemacht werden kann.
7. Zwölf Monate postoperativ wird die Pronationskraft, durch Regeneration des Muskels oder Adaptation durch andere Muskeln, in gleichem Umfang wiedererlangt wie die Supinations- und Handkräfte.
8. Es zeigt sich jedoch auch, dass nach zwölf Monaten ein deutlicher Trend zu einer niedrigeren Pronationskraft von Patienten mit intraartikulärer Fraktur im Vergleich zu Patienten mit extraartikulärer Fraktur besteht.
9. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, dass die Pronationskraftentfaltung auch durch das Frakturausmaß beeinflusst wird.
10. Die verminderte Kraft acht Wochen postoperativ spiegelt sich in einer niedrigen Patientenzufriedenheit wieder.
11. Zwölf Monate postoperativ zeigt sich eine Erholung der Pronationskraft sowie der übrigen Kraftwerte und auch die Patientenzufriedenheit ist hoch.
12. Die Pronationskraft von älteren Patienten über 70 Jahren regeneriert sich in einem ähnlichen Umfang wie von jüngeren Patienten.
13. Für die Handgelenksfunktion zeigen sich nach Implantation einer palmare winkelstabile Optimus- Platte (Fa. MORE Medical, Deutschland) sehr gute funktionelle, klinische und radiologische Ergebnisse, die mit der vergleichenden Literatur übereinstimmen.
14. In der Literatur besteht weitestgehend Konsens, dass von der Naht des MPQ, in Anbetracht der guten Regenerationsfähigkeit des Muskels sowie der möglichen Komplikationen, abgeraten werden muss.

8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abbaszadegan H, Jonsson U, von Sivers K. Prediction of instability of Colles' fractures. *Acta Orthop Scand*. 1989 Dec;60(6):646-50
2. Adham MN, Porembski M, Adham C. Flexor tendon problems after volar plate fixation of distal radius fractures. *Hand (N Y)*. 2009 Dec;4(4):406-9
3. Ahsan ZS, Yao J. The importance of pronator quadratus repair in the treatment of distal radius fractures with volar plating. *Hand (N Y)*. 2012 Sep;7(3):276-280
4. Altissimi M, Antenucci R, Fiacca C, Mancini GB. Long-term results of conservative treatment of fractures of the distal radius. *Clin Orthop Relat Res*. 1986 May;(206):202-10
5. Andersen DJ, Blair WF, Steyers CM Jr, Adams BD, el-Khoury GY, Brandser EA. Classification of distal radius fractures: an analysis of interobserver reliability and intraobserver reproducibility. *J Hand Surg Am*. 1996 Jul;21(4):574-82
6. Annis RS. Pronator quadratus – a forgotten muscle: a case report. *J Can Chiropr Assoc*. 2003 March;47(1): 17-20
7. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. S2-Leitlinie: Distale Radiusfraktur 03/1999. URL: http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012015l_S2_Distale_Radiusfraktur_abgelaufen.pdf
8. Ark J, Jupiter JB. The rationale for precise management of distal radius fractures. *Orthop Clin North Am*. 1993 Apr;24(2):205-10
9. Armangil M, Bezirgan U, Başarır K, Bilen G, Demirtaş M, Bilgin SS. The pronator quadratus muscle after plating of distal radius fractures: is the muscle still working? *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2013 Feb 23
10. Arora R, Gabl M, Erhart S, Schmidle G, Dallapozza C, Lutz M. Aspects of current management of distal radius fractures in the elderly individuals. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2011 Sep;2(5-6):187-94
11. Arora R, Lutz M, Fritz D, Zimmermann R, Oberladstätter J, Gabl M. Palmar locking plate for treatment of unstable dorsal dislocated distal radius fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005;125(6):399-404.
12. Arora R, Lutz M, Hennerbichler A, Krappinger D, Espen D, Gabl M. Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate. *J Orthop Trauma*. 2007 May;21(5):316-22
13. Asadollahi S, Keith PP. Flexor tendon injuries following plate fixation of distal radius fractures: a systematic review of the literature. *J Orthop Traumatol*. 2013 Dec;14(4):227-34

14. Ateschrang A, Stuby F, Werdin F, Schaller HE, Weise K, Albrecht D. Flexor tendon irritations after locked plate fixation of the distal radius with the 3.5 mm T-plate: identification of risk factors. *Z Orthop Unfall*. 2010 May;148(3):319-25
15. Ateschrang A, Eisenbarth I, Schaller HE, Weise K. Arrosion of flexor tendons after palmar plate osteosynthesis of the distal radius: three case reports. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2007 Dec;39(6):418-22.
16. Aulicino PL, Siegel JL. Acute injuries of the distal radioulnar joint. *Hand Clin*. 1991 May;7(2):283-93. Review.
17. Aumüller G, Aust G, Doll A. *Duale Reihe Anatomie*, 2. Auflage, Stuttgart, Thieme Verlag, 2010:441-446
18. Bade H, Lehmann J, Schubert M. Morphologic causes and consequences of fracture of the distal radius. *Unfallchirurgie*. 1993 Aug;19(4):195-201
19. Beharrie AW, Beredjikian PK, Bozentka DJ. Functional outcomes after open reduction and internal fixation for treatment of displaced distal radius fractures in patients over 60 years of age. *J Orthop Trauma*. 2004 Nov-Dec;18(10):680-6
20. Berglund LM, Messer TM. *J Am Acad Orthop Surg*. Complications of volar plate fixation for managing distal radius fractures. 2009 Jun;17(6):369-77
21. Bert JM, Linscheid RL, McElfresh EC. Rotatory contracture of the forearm. *J Bone Joint Surg Am*. 1980 Oct; 62(7): 1163-8
22. Böhringer G (2001) In: *Tscherne Unfallchirurgie*. Schmitt-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (2001). In: *Ellenbogen, Unterarm, Hand. Arthroskopie des Handgelenks*, Band 1. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 267-269
23. Boone DC, Azen SP, Lin CM, Spence C, Baron C, Lee L. Reliability of goniometric measurements. *Phys Ther*. 1978 Nov;58(11):1355-60
24. Brogren E, Petranek M, Atroshi I. Incidence and characteristics of distal radius fractures in a southern Swedish region. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007 May 31;8:48
25. Brown EN, Lifchez SD. Flexor pollicis longus tendon rupture after volar plating of a distal radius fracture: pronator quadratus plate coverage may not adequately protect tendons. *Eplasty*. 2011;11:e43
26. Cannon TA, Carlston CV, Stevanovic MV, Ghiassi AD. Pronator-sparing technique for volar plating of distal radius fractures. *J Hand Surg Am*. 2014 Dec;39(12):2506-11
27. Changulani M, Okonkwo U, Keswani T, Kalairajah Y. Outcome evaluation measures for wrist and hand: which one to choose? *Int Orthop*. 2008 Feb;32(1):1-6

28. Chen NJ, Jupiter JB, Management of Distal Radial Fractures. *J Bone Joint Surg Am*, 2007 Sep; 89 (9): 2051 -2062
29. Chirpaz-Cerbat JM, Ruatti S, Houillon C, Ionescu S. Dorsally displaced distal radius fractures treated by fixed-angle volar plating: Grip and pronosupination strength recovery. A prospective study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2011 Sep;97(5):465-70
30. Chung KC, Shauver MJ, Birkmeyer JD. Trends in the United States in the treatment of distal radial fractures in the elderly. *J Bone Joint Surg Am*. 2009 Aug;91(8):1868-73
31. Chung KC, Watt AJ, Kotsis SV, Margaliot Z, Haase SC, Kim HM. Treatment of unstable distal radial fractures with the volar locking plating system. *J Bone Joint Surg Am*. 2006 Dec;88(12):2687-94.
32. Clayton RA, Gaston MS, Ralston SH, Court-Brown CM, McQueen MM. Association between decreased bone mineral density and severity of distal radial fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 2009 Mar 1;91(3):613-9
33. Cooney WP. Management of Colles' fractures. *J Hand Surg Br*. 1989 May;14(2):137-9
34. Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Complications of Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1980;62(4):613-9
35. Court-Brown CM, Caesar B. Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*. 2006 Aug;37(8):691-7
36. Cuenca J, Martinez AA, Herrera A, Domingo J. The incidence of distal forearm fractures in Zaragoza (Spain). *Chir main* 2003;22:211-215
37. Cummings SR, Kelsey JL, Nevitt MC, O'Dowd KJ. Epidemiology of osteoporosis and osteoporotic fractures. *Epidemiol Rev*. 1985;7:178-208
38. Davis AM, Beaton DE, Hudak P, Amadio P, Bombardier C, Cole D, Hawker G, Katz JN, Makela M, Marx RG, Punnett L, Wright JG. Measuring disability of the upper extremity: a rationale supporting the use of a regional outcome measure. *J Hand Ther*. 1999 Oct-Dec;12(4):269-74
39. Diamantopoulos AP, Rohde G, Johnsrud I, Skoie IM, Hochberg M, Haugeberg G. The epidemiology of low- and high-energy distal radius fracture in middle-aged and elderly men and women in Southern Norway. 2012;7(8):e43367
40. Dremstrup L, Skjærbæk MS, Olesen S, Høgh A, Hansen TB. Good radiological and functional results after intramedullary nailing of distal radius fractures. *J Plast Surg Hand Surg*. 2013 Sep;47(4):286-8
41. Drobetz H, Kutscha-Lissberg E. Osteosynthesis of distal radial fractures with a volar locking screw plate system. *Int Orthop*. 2003;27(1):1-6

42. Dumont C, Fuchs M, Folwaczny EK, Heuermann C, Stürmer KM. Results of palmar T-plate osteosynthesis in unstable fractures of the distal radius. *Chirurg*. 2003 Sep;74(9):827-33
43. Earnshaw SA, Cawte SA, Worley A, Hosking DJ. Colles' fracture of the wrist as an indicator of underlying osteoporosis in postmenopausal women: a prospective study of bone mineral density and bone turnover rate. *Osteoporos Int*. 1998;8(1):53-60
44. Erhard L, Bou farah C, Elkholti K, Ninou M, Rostoucher P. Pronator quadratus repair using the Henry approach with an outward-return running suture. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2007 Jun;93(4):381-4
45. Fernandez DL. Correction of post-traumatic wrist deformity in adults by osteotomy, bone-grafting, and internal fixation. *J Bone Joint Surg Am*. 1982 Oct;64(8):1164-78
46. Fernandez DL, Geissler WB. Treatment of displaced articular fractures of the radius. *J Hand Surg Am*. 1991 May;16(3):375-84
47. Figl M, Weninger P, Jurkowitsch J, Hofbauer M, Schauer J, Leixnering M. Unstable distal radius fractures in the elderly patient--volar fixed-angle plate osteosynthesis prevents secondary loss of reduction. *J Trauma*. 2010 Apr;68(4):992-8
48. Fisk GR. The wrist. *J Bone Jt Surg*. 1984; 66B:396-407
49. Förstner H. The distal radio-ulnar joint. Morphologic aspects and surgical orthopedic consequences. *Unfallchirurg*. 1987 Nov;90(11):512-7
50. Franck WM, Dahlen C, Amlang M, Friese F, Zwipp H. Distal radius fracture--is non-bridging articular external fixator a therapeutic alternative? A prospective randomized study. *Unfallchirurg*. 2000 Oct;103(10):826-33
51. Frank J, Pralle H, Lehnert M, Marzi I. Concomitant injuries of distal radius fractures. *Unfallchirurg*. 2010 Oct;113(10):796, 797-803
52. Frykman G. Fracture of the distal radius including sequelae--shoulder-hand-finger syndrome, disturbance in the distal radio-ulnar joint and impairment of nerve function. A clinical and experimental study. *Acta Orthop Scand*. 1967:Suppl 108:3+
53. Gallagher MA, Cuomo F, Polonsky L, Berliner K, Zuckerman JD. Effects of age, testing speed, and arm dominance on isokinetic strength of the elbow. *J Shoulder Elbow Surg*. 1997 Jul-Aug;6(4):340-6
54. GARTLAND JJ Jr, WERLEY CW. Evaluation of healed Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1951 Oct;33-A(4):895-907

55. Gordon KD, Dunning CE, Johnson JA, King GJ. Influence of the pronator quadratus and supinator muscle load on DRUJ stability. *J Hand Surg Am.* 2003 Nov;28(6):943-50
56. Gradl G. Distale Radiusfrakturen. *Z Orthop Unfall.* 2009; 147(5): 621-637
57. Gradl G, Gradl G, Wendt M, Mittlmeier T, Kundt G, Jupiter JB. Non-bridging external fixation employing multiplanar K-wires versus volar locked plating for dorsally displaced fractures of the distal radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013 May;133(5):595-602
58. Gradl G, Wendt M, Gierer P, Beck M, Mittlmeier T. Fixation of distal radial fractures with the Targon DR nail. *Oper Orthop Traumatol.* 2009 Nov;21(4-5):472-83
59. Grewal R, Perey B, Wilmsink M, Stothers K. A randomized prospective study on the treatment of intra-articular distal radius fractures: open reduction and internal fixation with dorsal plating versus mini open reduction, percutaneous fixation, and external fixation. *J Hand Surg Am.* 2005 Jul;30(4):764-72
60. Gschwentner M, Arora R, Wambacher M, Gabl M, Lutz M. Distal forearm fracture in the adult: is ORIF of the radius and closed reduction of the ulna a treatment option in distal forearm fracture? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008 Aug;128(8):847-55
61. Häberle S, Sandmann GH, Deiler S, Kraus TM, Fensky F, Torsiglieri T, Rondak IC, Biberthaler P, Stöckle U, Siebenlist S. Pronator quadratus repair after volar plating of distal radius fractures or not? Results of a prospective randomized trial. *Eur J Med Res.* 2015 Nov 25;20:93.
62. Hakimi M, Jungbluth P, Windolf J, Wild M. Functional results and complications following locking palmar plating on the distal radius: a retrospective study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010 May;35(4):283-8
63. Haugstvedt JR, Berger RA, Berglund LJ. A mechanical study of the moment-forces of the supinators and pronators of the forearm. *Acta Orthop Scand.* 2001 Dec;72(6):629-34
64. Heidari N, Clement H, Kosuge D, Grechenig W, Tesch NP, Weinberg AM. Is sparing the pronator quadratus muscle possible in volar plating of the distal radius? *J Hand Surg Eur Vol.* 2012 Jun;37(5):402-6
65. Hershman SH, Immerman I, Bechtel C, Lekic N, Paksima N, Egol KA. The effects of pronator quadratus repair on outcomes after volar plating of distal radius fractures. *J Orthop Trauma.* 2013 Mar;27(3):130-3
66. Herzberg G, Berthonnaud E, Bestion A, Dimnet J. [Testing of pronation and supination strength in the outpatient setting: a preliminary study]. *Chir Main.* 2007 Feb;26(1):40-3

67. Hoffmann TF, Ruppert R, Renneker D. Treatment results after surgical therapy of distal radius fractures. *Unfallchirurg*. 1994 Sep;97(9):472-7
68. Hollevoet N, Van Maele G, Van Seymortier P, Verdonk R. Comparison of palmar tilt, radial inclination and ulnar variance in left and right wrists. *J Hand Surg Br*. 2000 Oct;25(5):431-3
69. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*. 1996 Jun;29(6):602-8
70. Huh JK, Lim JY, Song CH, Baek GH, Lee YH, Gong HS. Isokinetic evaluation of pronation after volar plating of a distal radius fracture. *Injury*. 2012 Feb;43(2):200-4
71. Hull P, Baraza N, Whalley H, Brewster M, Costa M. Dorsally displaced fractures of the distal radius - a study of preferred treatment options among UK trauma and orthopaedic surgeons. *Hand Surg*. 2010;15(3):185-91
72. Imatani J, Akita K, Yamaguchi K, Shimizu H, Kondou H, Ozaki T. An anatomical study of the watershed line on the volar, distal aspect of the radius: implications for plate placement and avoidance of tendon ruptures. *J Hand Surg Am*. 2012 Aug;37(8):1550-4
73. 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 Feb;42(1):55-64
74. Johnson RK, Shrewsbury MM. The pronator quadratus in motions and in stabilization of the radius and ulna at the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am*. 1976 Nov;1(3):205-9
75. Jupiter JB, Marent-Huber M; LCP Study Group. Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates: a multicenter prospective case series. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am*. 2010 Mar;92 Suppl 1 Pt 1:96-106
76. Jupiter JB, Ring D, Weitzel PP. Surgical treatment of redisplaced fractures of the distal radius in patients older than 60 years. *J Hand Surg Am*. 2002 Jul;27(4):714-23
77. Kamano M, Honda Y, Kazuki K, Yasuda M. Palmar plating for dorsally displaced fractures of the distal radius. *Clin Orthop Relat Res*. 2002 Apr;(397):403-8
78. Kapandji IA. *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 1, Obere Extremität*. 5. Auflage, Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 1984: 98-162

79. Knirk JL, Jupiter JB. Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1986 Jun;68(5):647-59
80. Koebke J, Werner J, Piening H. The quadrator pronator muscle--a morphological and functional analysis. *Anat Anz.* 1984;157(4):311-8
81. Koebke J. A biomechanical and morphological analysis of human hand joints. *Adv Anat Embryol Cell Biol.* 1983; 80: 1-85
82. Konstantinidis L, Helwig P, Strohm PC, Hirschmüller A, Kron P, Südkamp NP. Clinical and radiological outcomes after stabilisation of complex intra-articular fractures of the distal radius with the volar 2.4 mm LCP. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010 Jun;130(6):751-7
83. Koval KJ, Harrast JJ, Anglen JO, Weinstein JN. Fractures of the distal part of the radius. The evolution of practice over time. Where's the evidence? *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Sep;90(9):1855-61
84. Krimmer H, Pessenlehner C, Hasselbacher K, Meier M, Roth F, Meier R. Palmar fixed angle plating systems for instable distal radius fractures. *Unfallchirurg.* 2004 Jun;107(6):460-7
85. Lafontaine M, Delince P, Hardy D, Simons M. Instability of fractures of the lower end of the radius: apropos of a series of 167 cases. *Acta Orthop Belg.* 1989;55(2):203-16
86. Lanz Tv, Wachsmuth W. *Praktische Anatomie*, 1. Bd, 3. Teil: Arm, 2. Auflage, Berlin Springer Verlag, 1959. In: Schmidt HM, Lanz U: *Chirurgische Anatomie der Hand*. Stuttgart, Hippokrates Verlag, 1992:61-77
87. Lattmann T, Meier C, Dietrich M, Forberger J, Platz A. Results of volar locking plate osteosynthesis for distal radial fractures. *J Trauma.* 2011 Jun;70(6):1510-8
88. Lee SK, Kim KJ, Lee JW, Choy WS. Plate osteosynthesis versus intramedullary nailing for both forearm bones fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013 May 28
89. Lerch S, Sextro HG, Wilken F, Wittenberg CE. Clinical and radiological results after distal radius fracture: intramedullary locking nail versus volar locking plate osteosynthesis. *Z Orthop Unfall.* 2009 Sep-Oct;147(5):547-52
90. Liporace FA, Adams MR, Capo JT, Koval KJ. Distal radius fractures. *J Orthop Trauma.* 2009 Nov-Dec;23(10):739-48
91. Mackenney PJ, McQueen MM, Elton R. Prediction of instability in distal radial fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2006 Sep;88(9):1944-51
92. Magnus CR, Arnold CM, Johnston G, Dal-Bello Haas V, Basran J, Krentz JR, Farthing JP. Cross-education for improving strength and mobility after distal radi-

- us fractures: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013 Jul;94(7):1247-55
93. Maravic M, Le Bihan C, Landais P, Fardellone P. Incidence and cost of osteoporotic fractures in France during 2001. A methodological approach by the national hospital database. *Osteoporos Int.* 2005 Dec;16(12):1475-80
 94. Matityahu AM, Lapalme SN, Seth A, Marmor MT, Buckley JM, Lattanza LL. How placement affects force and contact pressure between a volar plate of the distal radius and the flexor pollicus longus tendon: a biomechanical investigation. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013 Feb;38(2):144-50
 95. Matsuoka J, Berger RA, Berglund LJ, An KN. An analysis of symmetry of torque strength of the forearm under resisted forearm rotation in normal subjects. *J Hand Surg Am.* 2006 May-Jun;31(5):801-5
 96. McConkey MO, Schwab TD, Travlos A, Oxland TR, Goetz T. Quantification of pronator quadratus contribution to isometric pronation torque of the forearm. *J Hand Surg Am.* 2009 Nov;34(9):1612-7
 97. McQueen M, Caspers J. Colles fracture: does the anatomical result affect the final function? *J Bone Joint Surg Br.* 1988 Aug;70(4):649-51
 98. McQueen MM, Hajducka C, Court-Brown CM. Redispaced unstable fractures of the distal radius: a prospective randomised comparison of four methods of treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 1996 May;78(3):404-9
 99. Meiners J, Jürgens C, Mägerlein S, Wallstabe S, Kienast B, Faschingbauer M. [Osteoporotic fractures of the distal radius. What is new?]. *Chirurg.* 2012 Oct;83(10):892-6
 100. Melone CP Jr. Distal radius fractures: patterns of articular fragmentation. *Orthop Clin North Am.* 1993 Apr;24(2):239-53
 101. Mikic ZD. Age changes in the triangular fibrocartilage of the wrist joint. *J Anat.* 1978; 126: 367-384
 102. Müller M, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones.* Springer Verlag, 1990
 103. Navarro A. Anatomia y fisiologia del carpo. *Ann Inst Clin Quir Chir Exp.* 1937; 1: 162-250
 104. Nesbitt KS, Failla JM, Les C. Assessment of instability factors in adult distal radius fractures. *J Hand Surg Am.* 2004 Nov;29(6):1128-38
 105. Nishiwaki M, Tazaki K, Shimizu H, Ilyas AM. Prospective study of distal radial fractures treated with an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am.* 2011 Aug 3;93(15):1436-41

106. O'Sullivan LW, Gallwey TJ. Upper-limb surface electro-myography at maximum supination and pronation torques: the effect of elbow and forearm angle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2002 Aug;12(4):275-85
107. Olerud C, Kongsholm J, Thuomas KA. The congruence of the distal radioulnar joint. A magnetic resonance imaging study. *Acta Orthop Scand.* 1988 Apr;59(2):183-5
108. Orbay JL, Fernandez DL. Volar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fractures in the elderly patient. *J Hand Surg Am.* 2004 Jan;29(1):96-102
109. Osti M, Mittler C, Zinnecker R, Westreicher C, Allhoff C, Benedetto KP. Locking Versus Nonlocking Palmar Plate Fixation of Distal Radius Fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2011 Feb 16;93(4):328-35
110. Oyen J, Brudvik C, Gjesdal CG, Tell GS, Lie SA, Hove LM. Osteoporosis as a risk factor for distal radial fractures: a case-control study. *J Bone Joint Surg Am.* 2011 Feb 16;93(4):348-56
111. Palmer AK, Glisson RR, Werner FW. Relationship between ulnar variance and triangular fibrocartilage complex thickness. *J Hand Surg Am.* 1984 Sep;9(5):681-2
112. Palmer AK, Werner FW. The triangular fibrocartilage complex of the wrist--anatomy and function. *J Hand Surg Am.* 1981 Mar;6(2):153-62
113. Pechlaner S, Gabl M, Lutz M, Krappinger D, Leixnering M, Krulis B, Ulmer H, Rudisch A; Arbeitsgruppe AMUDIRA. Distal radius fractures--aetiology, treatment and outcome. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2007 Feb;39(1):19-28
114. Pirela-Cruz MA, Goll SR, Klug M, Windler D. Stress computed tomography analysis of the distal radioulnar joint: a diagnostic tool for determining translational motion. *J Hand Surg Am.* 1991 Jan;16(1):75-82
115. Prescher A, Schmidt HM. Arm, obere Gliedmaße, Membrum superius. In: *Waldeyer Anatomie des Menschen – Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R Hrsg., 17. Auflage, Walter de Gruyter Verlag Berlin, 2003; 679-691, 706-720, 735*
116. Rappold G, Leixnering M, Pezzeri C. Carpal injuries associated with distal radius fractures. Diagnosis and therapy. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2001 Jul;33(4):221-8
117. Rawlings ID. The management of dislocations of the carpal lunate. *Injury.* 1981 Jan;12(4):319-30
118. Rhee PC, Dennison DG, Kakar S. *Hand Clin.* Avoiding and treating perioperative complications of distal radius fractures. 2012 May;28(2):185-98

119. Ries C, Maier J, Wegmann K, Zhang W, Hohendorff B, Skouras E, Müller LP, Burkhart KJ. Anatomic relationship between the pronator quadratus and brachioradialis muscle insertion: implications for repair of the muscle after volar plate fixation of distal radius fractures. *Z Orthop Unfall*. 2013 Jun;151(3):272-7
120. Rikli DA, Campbell DA. Distal radius and wrist. In: Rüedi TP, Buckley RE, Moran CG: *AO principles of fracture management*, 2nd edition, Stuttgart, Thieme Verlag, 2007; 657-677
121. Rikli DA, Honigmann P, Babst R, Cristalli A, Morlock MM, Mittlmeier T. Intra-articular pressure measurement in the radioulnocarpal joint using a novel sensor: in vitro and in vivo results. *J Hand Surg Am*. 2007 Jan;32(1):67-75
122. Rikli DA, Küpfer K, Bodoky A. Long-term results of the external fixation of distal radius fractures. *J Trauma*. 1998 Jun;44(6):970-6
123. Rikli DA, Regazzoni P, Babst R. Dorsal double plating for fractures of the distal radius--a biomechanical concept and clinical experience. *Zentralbl Chir*. 2003 Dec;128(12):1003-7
124. Rikli DA, Rosenkranz J, Regazzoni P. Complex fractures of the distal radius. *Europ J Trauma*. 2003; 29:199-207
125. Roumen RM, Hesp WL, Bruggink ED. Unstable Colles' fractures in elderly patients. A randomised trial of external fixation for redisplacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1991 Mar;73(2):307-1
126. Rozental TD, Beredjikian PK, Bozentka DJ. Functional outcome and complications following two types of dorsal plating for unstable fractures of the distal part of the radius. *J Bone Joint Surg Am*. 2003 Oct;85-A(10):1956-60
127. Rubenstein LZ, Josephson KR. The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med*. 2002 May;18(2):141-58
128. Schmidt HM. The anatomy of the ulnocarpal complex. *Orthopäde*. 2004 Jun;33(6):628-37
129. Schmidt HM, Lanz U. *Chirurgische Anatomie der Hand*. Stuttgart, Hippokrates Verlag, 1992;46-77
130. Schmidt HM, Geissler F. Die Artikulationsflächen des proximalen Handgelenkes beim Menschen. *Z Morph Anthrop*. 1983; 74: 145-172
131. Schuind F, An KN, Berglund L, Rey R, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EYS. The distal radioulnar ligaments – a biomechanical study. *J Hand Surg*. 1991; 16A: 1106-1114
132. Schuind F, Cooney WP, Linscheid RL, An KN, Chao EY. Force and pressure transmission through the normal wrist. A theoretical two-dimensional study in the posteroanterior plane. *J Biomech*. 1995 May;28(5):587-601

133. Schupp A, Tuttlies C, Möhlig T, Siebert HR. Distal radius fractures. 2.4 mm locking compression plates. Are they worth the effort? *Chirurg*. 2003 Nov;74(11):1009-17
134. Short WH, Palmer AK, Werner FW, Murphy DJ. A biomechanical study of distal radial fractures. *J Hand Surg Am*. 1987 Jul;12(4):529-34
135. Siebert, HR, Klonz, A: Distale Radiusfraktur, *Unfallchirurg*, 2005; 108: 135-153
136. Solgaard S. Angle of inclination of the articular surface of the distal radius. *Radiologe*. 1984 Jul;24(7):346-8
137. Soong M, Earp BE, Bishop G, Leung A, Blazar P. Volar locking plate implant prominence and flexor tendon rupture. *J Hand Surg Eur Vol*. 2013 Feb;38(2):144-50
138. Soong M, van Leerdam R, Guitton TG, Got C, Katarincic J, Ring D. Fracture of the distal radius: risk factors for complications after locked volar plate fixation. *J Hand Surg Am*. 2011 Jan;36(1):3-9
139. Stuart PR. Pronator quadratus revisited. *J Hand Surg Br*. 1996 Dec;21(6):714-22
140. Swigart CR, Badon MA, Bruegel VL, Dodds SD. Assessment of pronator quadratus repair integrity following volar plate fixation for distal radius fractures: a prospective clinical cohort study. *J Hand Surg Am*. 2012 Sep;37(9):1868-73
141. Taleisnik J. Current concepts review. Carpal instability. *J Bone Joint Surg Am*. 1988 Sep 01;70(8):1262-1268
142. Tan V, Bratchenko W, Nourbakhsh A, Capo J. Comparative analysis of intramedullary nail fixation versus casting for treatment of distal radius fractures. *J Hand Surg Am*. 2012 Mar;37(3):460-468
143. Tanaka Y, Aoki M, Izumi T, Fujimiya M, Yamashita T, Imai T. Effect of distal radius volar plate position on contact pressure between the flexor pollicis longus tendon and the distal plate edge. *J Hand Surg Am*. 2011 Nov;36(11):1790-7
144. Thielke KH, Wagner T, Bartsch S, Echtermeyer V. Angularly stable radius plate: progress in treatment of problematic distal radius fracture? *Chirurg*. 2003 Nov;74(11):1057-63
145. Thomas BP, Sreekanth R. Distal radioulnar joint injuries. *Indian J Orthop*. 2012 Sep;46(5):493-504
146. Tittel K. *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen*, 12. Auflage, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag Jena, 1994;52:139-149
147. Tosti R, Ilyas AM. Prospective evaluation of pronator quadratus repair following volar plate fixation of distal radius fractures. *J Hand Surg Am*. 2013 Sep;38(9):1678-84

148. Trumble TE, Culp RW, Hanel DP, Geissler WB, Berger RA. Intra-articular fractures of the distal aspect of the radius. *Instr Course Lect.* 1999;48:465-80
149. Trumble TE, Schmitt SR, Vedder NB. Factors affecting functional outcome of displaced intra-articular distal radius fractures. *J Hand Surg Am.* 1994 Mar;19(2):325-40
150. Uzdil T, Winker KH. Distale Radiusfrakturen. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2007;2(1):1-20
151. Vogt MT, Cauley JA, Tomaino MM, Stone K, Williams JR, Herndon JH. Distal radius fractures in older women: a 10-year follow-up study of descriptive characteristics and risk factors. *The study of osteoporotic fractures. J Am Geriatric Soc* 2002;50:97-103
152. Voigt C, Lill H. What advantages does volar plate fixation have over K-wire fixation for distal radius extension fractures in the elderly? *Unfallchirurg.* 2006 Oct;109(10):845-6, 848-54
153. Voigt C, Plesz A, Jensen G, Katthagen C, Lill H. Volar locking plating for distal radial fractures. Is osteoporosis associated with poorer functional results and higher complications rates? *Chirurg.* 2012 May;83(5):463-71
154. Warwick D, Field J, Prothero D, Gibson A, Bannister GC. Function ten years after Colles' fracture. *Clin Orthop Relat Res.* 1993 Oct;(295):270-4
155. Wei DH, Poolman RW, Bhandari M, Wolfe VM, Rosenwasser MP. External fixation versus internal fixation for unstable distal radius fractures: a systematic review and meta-analysis of comparative clinical trials. *J Orthop Trauma.* 2012 Jul;26(7):386-94
156. Westphal T, Piatek S, Schubert S, Schuschke T, Winckler S. [Reliability and validity of the upper limb DASH questionnaire in patients with distal radius fractures]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2002 Jul-Aug;140(4):447-51
157. Wilcke MK, Hammarberg H, Adolphson PY. Epidemiology and changed surgical treatment methods for fractures of the distal radius: a registry analysis of 42,583 patients in Stockholm County, Sweden, 2004–2010. *Acta Orthop.* 2013 Jun;84(3):292-6
158. Winker KH. Winkelstabile Plattensysteme am distalen Radius: Lösungsmöglichkeiten und Probleme. *Akt Traumatol.* 2005;35:151-154
159. Wittstein J, Queen R, Abbey A, Moorman CT 3rd. Isokinetic testing of biceps strength and endurance in dominant versus nondominant upper extremities. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010 Sep;19(6):874-7

160. Witzel K, Raschka C, Schiffhauer S, Koch HJ. Epidemiology and chronoepidemiology of distal radius fractures. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2001 May-Jun;139(3):252-5
161. Wong CK, Moskovitz N. New assessment of forearm strength: reliability and validity. *Am J Occup Ther.* 2010 Sep-Oct;64(5):809-13
162. Young BT, Rayan GM. Outcome following nonoperative treatment of displaced distal radius fractures in low-demand patients older than 60 years. *J Hand Surg Am.* 2000 Jan;25(1):19-28
163. Zilles K, Tillmann BN. *Anatomie.* Heidelberg, Springer Verlag, 2010: 195-198

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Formvarianten des Caput ulnae in Abhängigkeit von den distalen radioulnaren Lagepositionen (nach Förstner [49].	6
Abbildung 2: Drehung des Radius um die Ulna bei den Umwendebewegungen des Unterarmes [128].....	6
Abbildung 3: Schema eines histologischen Präparates des ulnokarpalen Komplexes [129] ..	9
Abbildung 4: Anatomische Variationen des M. pronator quadratus [6].....	11
Abbildung 5: „Drei- Säulen- Modell“ der Lastübertragung [120]	12
Abbildung 6: AO 23 A1- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	17
Abbildung 7: AO 23 A2- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	17
Abbildung 8: AO 23 A3- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	17
Abbildung 9: AO 23 B1- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	18
Abbildung 10: AO23 B2- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	18
Abbildung 11: AO23 B3- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	18
Abbildung 12: AO23 C1- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	19
Abbildung 13: AO23 C2- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend	19
Abbildung 14: AO 23 C3- Fraktur, mit freundlicher Genehmigung von Dr. H.-H. Jend.....	19
Abbildung 15: Palmarer Zugang (rot) zwischen FCR- Sehne und Gefäßbündel [138]	26
Abbildung 16: Baseline Hydraulic Dynamometer in Halterung, seitliche Ansicht.....	31
Abbildung 17: Baseline Hydraulic Dynamometer in Halterung, frontale Ansicht mit Anzeige in Kg.....	31
Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Handkraft, absolute Werte.....	41
Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Pronationskraft.....	43
Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Supinationskraft	43
Abbildung 21: Absolute Häufigkeiten der VAS- Werte nach 8 Wochen.....	49
Abbildung 22: Absolute Häufigkeiten der VAS- Werte nach 12 Monaten	50
Abbildung 23 und 24: Korrelation mit Castaing- und DASH- Score.....	53
Abbildung 25 und 26: Korrelation mit VAS (Ruhe) und VAS (Bewegung)	53
Abbildung 27: Korrelation mit dem Gartland & Werley- Score.....	53

10TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Häufigkeiten der nach der AO-Klassifikation eingeteilten Frakturtypen.....	37
Tabelle 2: Absolute Werte für Pronations- und Supinationskraft nach 8 Wochen.....	42
Tabelle 3: Absolute Werte für Pronations- und Supinationskraft nach 1 Jahr.....	42
Tabelle 4: Relative Pronationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 8 Wochen.....	44
Tabelle 5: Relative Pronationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 12 Monaten.....	44
Tabelle 6: Relative Supinationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 8 Wochen.....	45
Tabelle 7: Relative Supinationskraft der Patienten mit Typ A bzw. Typ C Fraktur nach 12 Monaten.....	45
Tabelle 8: Relative Pronationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 8 Wochen.....	46
Tabelle 9: Relative Pronationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 12 Monaten.....	46
Tabelle 10: Relative Supinationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 8 Wochen.....	47
Tabelle 11: Relative Supinationskraft für Patienten jünger als 70 und älter als 70 Jahre nach 12 Monaten.....	47
Tabelle 12: Prozentuale Häufigkeiten der Ergebnisse des Castaing- Scores.....	48
Tabelle 13: Prozentuale Häufigkeiten der Ergebnisse des Scores nach Gartland & Werley	49
Tabelle 14: Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronationsbewegung nach 8 Wochen	51
Tabelle 15: Korrelation der Scoreergebnisse mit der Pronationsbewegung nach 12 Monaten.....	51
Tabelle 16: Korrelation der Scoreergebnisse und Schmerzen mit der Pronationskraft nach 8 Wochen.....	52
Tabelle 17: Korrelation der Scoreergebnisse und Schmerzen mit der Supinationskraft nach 8 Wochen.....	52

11 ANHANG

11.1 DASH- Score

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (z. B Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare waschen oder fönen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5

Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
Mit Fortbewegungsmitteln zurecht kommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5
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?	Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
	1	2	3	4	5
Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt?	Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
	1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein.	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	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
Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich?	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5
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.	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
	1	2	3	4	5

11.2 Score nach Castaing

Anwendung: Radiusfraktur

Subjektive Angaben	Perfekt	keine Beschwerden	0
	Befriedigend	Beschwerden alle Kraftgriffe möglich, selten Beschwerden	1
	Genügend	alle Kraftgriffe möglich, oft Beschwerden bei Belastung	2
	Ordentlich	gewisse Kraftgriffe unmöglich	4
	Ungenügend	mehrere Kraftgriffe unmöglich, manuelle Tätigkeit eingeschränkt	6
	Schlecht	mehrere Kraftgriffe unmöglich manuelle Tätigkeit sehr reduziert	8
	Sehr schlecht	unbrauchbare Hand	9
Funktion	Normal		0
	Dorsalflexion	von 45 - 25°	1
		von 25- 15°	2
		von 15- 10°	3
	Palmarflexion	weniger als 45°	1
	Ulnarabduktion	von 30 -15°	1
		von 15-0°	2
	Radialabduktion	eingeschränkt	1
	Pronation-Supination	zwischen 130-90°	1
		unter 90°	2
Röntgenbild [1]	Normal		0
	Dorsalkippung	von 5 -10°	1
		von 10-20°	2
		über 20°	3
	Radialkipfung	von 10-20°	1
		über 20°	2
	Arthrosezeichen	+	1
++		2	

	Ulnarvorschub	von 2-4 mm	1
		über 4 mm	2
Resultat	0	perfekt	
	1-5	gut	
	6-11	genügend	
	12-15	mäßig	
	16-25	schlecht	
	>25	sehr schlecht	

[1] Bewertung Röntgenbild: Bleibender Stellungsverlust im Vergleich zur Gegenseite

11.3 Gartland & Werley Score

Anwendung: Radiusfraktur

Anmerkung Score vergleicht Hand nicht mit Gegenseite

Residual deformity	Prominent ulnar styloid	1
	Residual dorsal tilt	2
	Radial deviation of hand	3-3
Subjective evaluation		
	Excellent: No pain, disability, or limitation of motion	0
	Good: Occasional pain, slight limitation of motion, no disability	2
	Fair: Occasional pain, some limitation of motion, feeling of weakness in wrist, no particular disability if careful, activities slightly restricted	4
	Poor: Pain, limitation of motion, disability, activities more or less markedly restricted.	6
Objective evaluation [1]	Loss of dorsiflexion	5
	Loss of ulnar deviation	3
	Loss of supination	2

	Loss of palmar flexion	1
	Loss of radial deviation	1
	Loss of circumduction	1
	Pain in distal radio-ulnar joint	1
Complications		
	Arthritis change	
	Minimal	1
	Minimal with pain	3
	Moderate	2
	Moderate with pain	4
	Severe	3
	Severe with pain	5
	Nerve complications (median)	1-3
	Poor finger function due to cast	1-3
Result	0-2	excellent
	3-8	good
	9-20	fair
	>20	poor

[1] The objective evaluation is based upon the following ranges of motion as being the minimum for normal function: dorsiflexion 45°; palmar flexion 30°; radial deviation 15°; ulnar deviation 15°; pronation 50°; supination 50°

12 PATIENTENINFORMATION

Prof. Dr. med. Georg Gradl
Chirurgische Klinik und Poliklinik der Universität Rostock
Abteilung Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Schillingallee 35
18055 Rostock
Tel.: 00 49 381 4946051
Fax: 00 49 381 4946052
E-mail: georg.gradl@med.uni-rostock.de

Hat der Zugang durch den Musculus pronator quadratus bei der palmaren winkelstabilen Plattenfixation distaler Radiusfrakturen Einfluss auf die Pronationskraft?

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

Sie haben sich einen Bruch der Speiche zugezogen, der mit einer Plattenosteosynthese operativ versorgt wurde. Dieser Bruch gehört zu den häufigsten Brüchen des menschlichen Skeletts und wird in ganz Deutschland standardmäßig mit der Plattenosteosynthese versorgt.

Der operative Zugangsweg zur Speiche erfordert die Durchtrennung eines flächig aufliegenden Muskels, des Musculus pronator quadratus, der eine wichtige Rolle bei den Umwendbewegungen des Unterarms spielt.

Obwohl die Plattenosteosynthese des Speichenbruches seit Jahren den Goldstandard in der Therapie darstellt und viele Studien eine hohe Patientenzufriedenheit sowie eine sehr gute postoperative Handgelenksfunktion belegt haben, haben sich bislang wenige Studien mit der Frage befasst, ob diese Muskeldurchtrennung Auswirkungen auf die Kraftentwicklung im Handgelenk hat.

Anliegen der Studie

Hauptziel dieser Studie wird eine Verlaufsbeobachtung von ca. 60 Patienten 8 Wochen und 12 Monate nach operativer Plattenosteosynthese. Besonderes Augenmerk wird auf die Handgelenksfunktion, speziell auf die Kraft bei den Umwendbewegungen, gelegt.

Konzeption der Studie

Alle Patienten mit einem Speichenbruch (Radiusfraktur), der operativ versorgt wurden, werden nach Einverständnis, in die Studie aufgenommen.

Untersuchungsintervalle finden 8 Wochen und 12 Monate postoperativ statt.

Die Untersuchungsdauer wird ca 20- 30 min betragen.

Für Sie bedeutet das, dass Sie den normalen Nachuntersuchungstermin 8 Wochen nach der Operation wahrnehmen müssen sowie zusätzlich einen nach einem Jahr.

Während der Nachuntersuchung erfolgen Kraftmessungen sowie Messungen der Bewegungsumfänge des operierten und gesunden Handgelenkes. Außerdem werden wir mit Ihnen drei kurze Fragebögen (DASH, Gartland & Werley Score, Castaing Score) durchgehen. Mit Hilfe dieser Fragebögen können wir ermitteln, wie zufrieden Sie sind und wie gut sie im Alltag mit dem operierten Handgelenk zurechtkommen.

Wir bitten Sie darum Röntgenbilder mitzubringen, die bei niedergelassenen Kollegen erfolgt sind. Ansonsten wird das Handgelenk in zwei Ebenen geröntgt. Die Röntgenuntersuchungen sind notwendig, also nicht studienbedingt.

Lediglich die Untersuchungen nach 1 Jahr würden auch aus Kostengründen von Ihrem Hausarzt/Chirurgen nicht zwangsweise durchgeführt werden. Die Strahlenbelastung der hier durchgeführten Röntgenuntersuchung beträgt 0,01-0,1mSv und ist als sehr gering einzustufen. Vorteil ist, dass beginnende degenerative Veränderungen sowie die Beurteilung der Anatomie möglich ist, und ggf. schnell mit therapeutischen Schritten reagiert werden kann.

Die Auswertung der Röntgenbilder geht ebenfalls in zwei der oben genannten Bewertungsbögen ein.

Diese Untersuchungen sind völlig schmerzfrei und erfolgen ohne Medikamente oder Nebenwirkungen. Bei auffälligen Befunden kann eine weitere Abklärung in der Uniklinik erfolgen.

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig und kostenlos. Die Vorschriften der ärztlichen Schweigepflicht und des Datenschutzes werden eingehalten.

Es werden nur anonymisierte Daten ohne Namensnennung erfasst.

Wenn Sie mit der Studienteilnahme einverstanden sind, bitten wir Sie die beiliegende Einverständniserklärung zu unterschreiben.

Patienteneinwilligung

Hat der Zugang durch den Musculus pronator quadratus bei der palmaren winkelstabilen Plattenfixation distaler Radiusfrakturen Einfluss auf die Pronationskraft?

Ich, _____, wurde von meinem Arzt vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung mit dem o. g. Titel aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Mein Arzt hat mich über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser klinischen Prüfung freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluß nachteilig auf meine spätere Behandlung auswirken wird.

Datenschutzrechtliche Patienteneinwilligung (§ 40 Abs.1, Satz 2 und Abs. 2, AMG)

Mir ist bekannt, dass meine persönlichen Daten in verschlüsselter (anonymisierter) Form gespeichert werden. Mir wurde versichert, dass dabei die Grundsätze des Datenschutzes beachtet werden, d.h. meine personenbezogenen Daten vertraulich behandelt und nicht an andere als die nachfolgend genannten Personen und Stellen weitergegeben werden.

Mit meinem Einverständnis zur Teilnahme erkläre ich gleichzeitig, dass ich mit der Weitergabe der im Rahmen dieser klinischen Prüfung erfolgenden Aufzeichnung meiner Krankheitsdaten zur Überprüfung an den Auftraggeber, an die zuständigen Überwachungsbehörden oder die zuständige Bundesoberbehörde einverstanden bin.

Ich gestatte hiermit, dass offizielle Vertreter des Auftraggebers dieser Prüfung unter Wahrung der ihnen auferlegten Schweigepflicht Einblick in meine personenbezogenen Krankenakten am Ort der klinischen Prüfung nehmen können. Dies geschieht, um zu gewährleisten, dass alle studienbezogenen Daten korrekt und vollständig erfaßt worden sind.

Schließlich erkläre ich auch mein Einverständnis für die wissenschaftliche Veröffentlichung der Forschungsergebnisse unter Beachtung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen.

Ich habe eine Kopie der Patienteninformation und dieser Einwilligungserklärung erhalten. Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser klinischen Studie.

Ort und Datum

Unterschrift des Patienten

13 DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. med. Georg Gradl für die Überlassung des Promotionsthemas sowie seine persönliche Betreuung bedanken.

Auch möchte ich dem Team der Rettungsstelle des Universitätsklinikum Rostock für die Geduld und Mithilfe bei den Nachuntersuchungen danken. Trotz der hohen Frequentierung der Rettungsstelle, konnten immer Räumlichkeiten zur Verfügung gestellt werden.

In tiefer Dankbarkeit verbunden bin ich auch meinen Eltern für die unermüdliche Unterstützung während des Studiums und der Anfertigung dieser Arbeit.

14 ERKLÄRUNG

Hiermit gebe ich folgende Erklärung ab: Die vorgelegte Dissertation wurde weder vorher noch gleichzeitig bei einer anderen Fakultät eingereicht.

Ich versichere an Eides Statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und ich keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die wörtlich oder inhaltlich verwendeten Quellen wurden als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre, dass ich noch kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.