

**Aus der Klinik für Handchirurgie
des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt an der Saale**

Direktor:

Professor Dr. med. Jörg van Schoonhoven

Die operative Korrektur der Madelung'schen Deformität

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Alexander Reiner Reck

aus Herzogenaurach

Würzburg, Februar 2023



Referent: Prof. Dr. Jörg van Schoonhoven

Korreferent: Prof. Dr. Maximilian Rudert

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 31.07.2023

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung – Die Madelung-Deformität	1
1.1	Historie.....	1
1.1.1	Die Erstbeschreibung der Madelung-Deformität.....	1
1.1.2	Otto Wilhelm Madelung.....	1
1.1.3	„Die spontane Subluxation der Hand nach vorne“	2
1.2	Epidemiologie	5
1.3	Formen.....	6
1.4	Ätiologie.....	7
1.4.1	Angeborene Madelung-Deformität.....	7
1.4.2	Erworbene Madelung-Deformität.....	9
1.5	Klassifikationen	10
1.6	Diagnose.....	11
1.7	Therapie	13
1.8	Ziel dieser Studie.....	14
2	Material und Methoden	16
2.1	Ethikvotum.....	16
2.2	Patientenrekrutierung	16
2.3	Untersuchte Operationstechniken	17
2.4	Retrospektive Datenerhebung.....	17
2.5	Nachuntersuchung.....	18
2.5.1	Befragung zur Krankengeschichte.....	18
2.5.2	Klinische Untersuchung	18
2.5.2.1	Bewegungsumfang des Handgelenkes.....	18
2.5.2.2	Kraftmessung	19

2.5.2.3	Beweglichkeit der Finger und des Daumens.....	20
2.5.2.4	Instabilität im DRUG.....	20
2.5.3	Patient-Rated Outcome Measures.....	20
2.5.3.1	DASH.....	21
2.5.3.2	PRWE-G.....	22
2.5.3.3	EQ-5D-3L.....	23
2.5.3.4	SF-36.....	24
2.5.4	Prä- und postoperative Röntgenbilder.....	26
2.6	Radiologische Parameter.....	26
2.6.1	Ulnare Inklination der Radiusgelenkfläche.....	27
2.6.2	Absenkung des Os Lunatum.....	28
2.6.3	Winkel der Fossa Lunata.....	29
2.6.4	Palmare Inklination der Radiusgelenkfläche.....	30
2.6.5	Verschiebung des Karpus nach palmar.....	31
2.6.6	Ulna-Varianz.....	32
2.7	Statistische Auswertung.....	33
3	Ergebnisse.....	33
3.1	Studienpopulation.....	34
3.2	Vergleich der präoperativen Daten.....	36
3.2.1	Schmerzfreiheit.....	36
3.2.2	Visuelle Analogskala.....	36
3.2.3	DASH-Score.....	37
3.2.4	Beweglichkeit des operierten Handgelenkes.....	38
3.2.5	Radiologische Parameter.....	39
3.3	Gruppe RKO: Vergleich von prä- und postoperativen Daten.....	40

3.3.1	Visuelle Analogskala	40
3.3.2	DASH-Score	41
3.3.3	Beweglichkeit des operierten Handgelenkes	42
3.3.4	Radiologische Parameter	43
3.4	Gruppe PHY: Vergleich von prä- und postoperativen Daten	44
3.4.1	Visuelle Analogskala	44
3.4.2	DASH-Score	46
3.4.3	Beweglichkeit des operierten Handgelenkes	47
3.4.4	Radiologische Parameter	48
3.5	Vergleich der postoperativen Daten	49
3.5.1	Schmerzfreiheit	49
3.5.2	Visuelle Analogskala	50
3.5.3	DASH	50
3.5.4	EQ-5D-3L	51
3.5.5	PRWE-G	52
3.5.6	SF-36	54
3.5.7	Beweglichkeit des operierten Handgelenkes	56
3.5.8	Beweglichkeit der Finger und des Daumens	57
3.5.9	Grobkraft	57
3.5.10	Kraft im Schlüsselgriff	58
3.5.11	Radiologische Parameter	58
3.5.12	Instabilität im DRUG	59
3.5.13	Komplikationen	59
3.5.14	Folgeoperationen	60
3.5.15	Fragen zum Gesundheitsstatus	61

3.5.16	Beidseitig operierte Patienten.....	62
4	Diskussion	63
4.1	Methodendiskussion.....	63
4.2	Studienpopulation	64
4.3	Die präoperative Ausgangssituation.....	66
4.4	Verlauf innerhalb der Gruppe RKO	68
4.5	Verlauf innerhalb der Gruppe PHY	72
4.6	Postoperativer Gruppenvergleich.....	75
4.7	Korrelation zwischen Radiologie und Klinik.....	81
4.8	Limitationen	82
4.9	Andere Operationsverfahren.....	83
4.10	Fazit und Interpretation	84
4.11	Ausblick	86
5	Zusammenfassung.....	88
6	Literaturverzeichnis	89

Appendix

- I Abkürzungsverzeichnis
- II Abbildungsverzeichnis
- III Tabellenverzeichnis
- IV Danksagung

1 Einleitung – Die Madelung-Deformität

1.1 Historie

1.1.1 Die Erstbeschreibung der Madelung-Deformität

Am 13. April 1878 beschrieb der deutsche Chirurg Otto Wilhelm Madelung auf einem Kongress der deutschen Gesellschaft für Chirurgie in Berlin eine seltene Erkrankung des Handgelenkes, welche er als „spontane Subluxation der Hand nach vorne“ bezeichnete [1]. Obwohl dieses Krankheitsbild bereits zuvor von anderen Chirurgen beschrieben worden war, zum ersten Mal wahrscheinlich im Jahr 1825 von Begin und danach noch mindestens vier weitere Male, unter anderem von Dupuytren im Jahr 1839 [1, 2], trägt es bis heute den Namen Otto Madelungs, da seine Ausführung die erste war, die auch eine Hypothese zur Entstehung der Erkrankung sowie Empfehlungen zur Therapie enthielt [3]. Er selbst schlug vor, die Erkrankung „Manus Valga“ zu taufen [1], was sich im Lauf der Zeit aber nicht durchsetzen konnte.

1.1.2 Otto Wilhelm Madelung

In einer medizinhistorischen Arbeit gelang es Arora et al., das Leben des seinerzeit landesweit bekannten Chirurgen zu rekonstruieren [3]:

Madelung wurde im Jahr 1846 in der deutschen Stadt Gotha geboren. Sein Vater, Moritz Madelung, war ein erfolgreicher Kaufmann, was seiner Familie ein Leben in Wohlstand ermöglichte. Trotzdem überlebten von den fünf Kindern der Familie nur zwei bis in das Erwachsenenalter, Otto und seine ältere Schwester Emma. Im Alter von 19 Jahren zog Madelung nach Bonn, um dort Medizin zu studieren, was er später auch an den Universitäten von Berlin und Tübingen fortführte. Im Jahr 1869 schloss er das Studium an der Universität Tübingen ab und arbeitete danach als Arzt in einer Psychiatrie in Siegburg. Seine Tätigkeit wurde allerdings bald vom Ausbruch des Französisch-Preußischen Krieges im Jahr 1870 unterbrochen, weshalb Madelung nach Diez an der Lahn zog, um in einem Kriegslazarett zu arbeiten. Nach dem Ende des Krieges im Jahr 1871 ging er zurück in seine Studienstadt Bonn, wo er eine eigene chirurgische Praxis eröffnete und ab 1873 auch als Dozent tätig war. Währenddessen fungierte der Chirurg

Carl Busch als sein Mentor und weckte sein Interesse für das Handgelenk. In den folgenden Jahren dokumentierte Madelung seine Beobachtungen zur spontanen Subluxation der Hand, deren Veröffentlichung im Jahr 1878 seinen Namen über die Landesgrenzen hinaus bekannt machte. Im Jahr 1881 übernahm er eine außerordentliche Professur für Chirurgie in Bonn, wechselte aber 1882 nach Rostock, um dort die Professur für Chirurgie von Friedrich Trendelenburg zu übernehmen. In den folgenden Jahren forschte er hier vor allem auf dem Gebiet der Viszeralchirurgie und gab einer weiteren seltenen Erkrankung seinen Namen, dem Madelung-Syndrom, einer Variante der benignen symmetrischen Lipomatose. Im Jahr 1894 erhielt er schließlich einen Ruf an die Universität von Straßburg, wo er als Chefarzt der Chirurgie fungierte, bis 1919 als Resultat des ersten Weltkrieges alle deutschen Fakultätsmitarbeiter durch Franzosen ersetzt wurden. Daraufhin zog er sich nach Göttingen zurück und starb am 22. Juli 1926 im Alter von 80 Jahren an einem Schlaganfall. [3]

1.1.3 „Die spontane Subluxation der Hand nach vorne“

In seinem Vortrag auf dem Kongress der deutschen Gesellschaft für Chirurgie im Jahr 1878 beschreibt Madelung seine Beobachtungen über die „Subluxationsstellung der Hand nach vorne [...], ohne dass irgend ein Zeichen von vorangegangener Entzündung aufzufinden war, ohne dass nachweisbar ein Trauma das Glied betroffen hatte. Derartige Missstellungen der Hand sollen in langsamer Weise, spontan entstehen“ [1]. Insgesamt hatte er diese Erkrankung in zehn Jahren an zwölf Händen beobachten können, wobei sie in der Regel zwischen dem 13. und dem 23. Lebensjahr entstanden sei und Frauen doppelt so häufig betroffen wären wie Männer. Die Deformität sei bei Betrachtung der Hand von ulnarseitig am eindrucklichsten und zeichnete sich durch einen normal ausgebildeten Unterarm aus, an dessen distalen Ende allerdings der Caput ulnae so deutlich hervortrete, dass sowohl der Proc. styloideus ulnae als auch die ulnare Gelenkfläche erkenn- und tastbar wären. Die Hand selbst sei ebenfalls normal ausgebildet, allerdings nach palmar abgesunken. Bei dorsalextendierter Hand sei zudem ein großer Teil der Radiusgelenkfläche frei tastbar, was Madelung zu der Annahme bewegte, dass die Handwurzelknochen nur noch mit dem untersten Rand der Radiusgelenkfläche artikulierten. [1]

Auf Basis dieser Beobachtungen sowie einer von ihm durchgeführten Sektion der Hand einer ebenfalls von der Erkrankung betroffenen, aber bei der Geburt ihres Kindes verstorbenen, Patientin fertigte Madelung Zeichnungen der Deformität an (siehe Abbildung 1 bis 4).

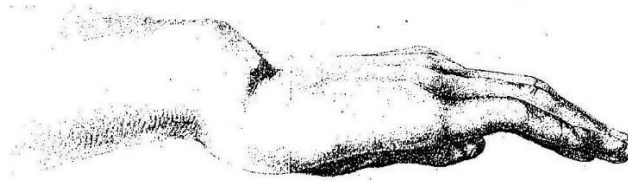


Abbildung 1: Zeichnung von O. W. Madelung: Sicht von ulnar auf eine Hand mit Madelung-Deformität [1]

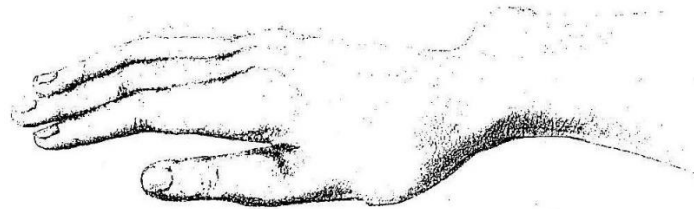


Abbildung 2: Zeichnung von O. W. Madelung: Sicht von radial auf eine Hand mit Madelung-Deformität [1]

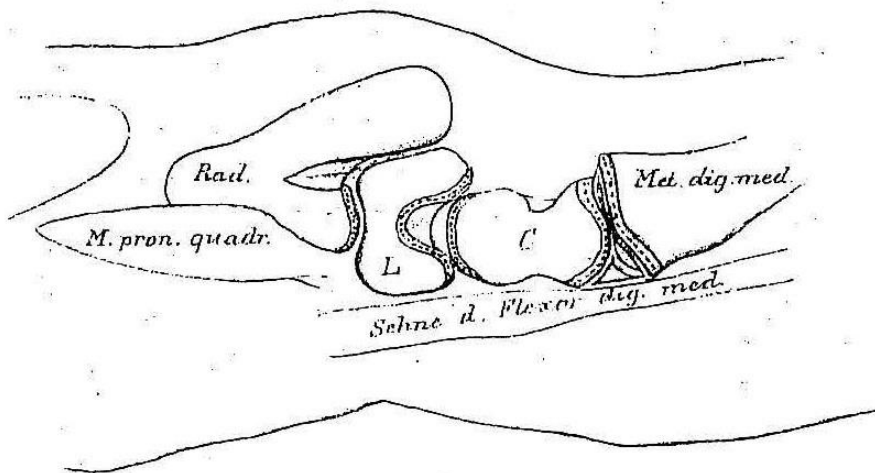


Abbildung 3: Zeichnung von O. W. Madelung: Längsschnitt durch ein Handgelenk mit Madelung-Deformität. Rad.= Radius, L= Os lunatum, C= Os capitatum. [1]

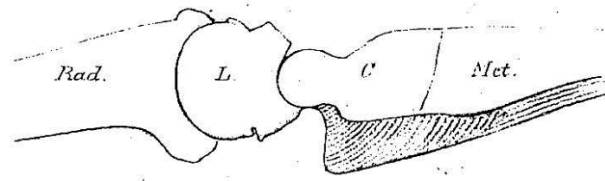


Abbildung 4: Zeichnung von O. W. Madelung: Längsschnitt durch ein gesundes Handgelenk. Beschriftung wie in Abbildung 3. [1]

Als Symptome der Erkrankung nennt Madelung die sowohl aktive als auch passive Behinderung der Dorsalextension, wogegen die Palmarflexion normal bis vergrößert erscheine. Sowohl Ulnar- als auch Radialduktion könnten ebenfalls eingeschränkt sein. Hinzu kämen noch Schmerzen am Handgelenk, welche manchmal so groß seien, dass der betroffene Patient arbeitsunfähig sei, in aller Regel aber nach ein bis zwei Jahren wieder verschwänden. Madelung beobachtete auch Fälle, bei denen trotz stark ausgeprägter Deformität keine Schmerzen beständen. [1]

Den Grund für die Entstehung der Erkrankung sieht Madelung in einem Ungleichgewicht im Zusammenspiel der langen Beuge- und Streckmuskulatur der Hand. So würden bei jeder maximalen Palmarflexion der Hand die vom Handrücken auf die Dorsalseite der Radiusepiphyse verlaufenden Sehnen der Streckmuskulatur einen Druck in Richtung palmar auf eben diese Epiphyse ausüben und die Achse des Radius so im Laufe des Wachstums nach palmar verbiegen. Dies führe mit der Zeit zu Störungen in der Struktur von Knochen und Bändern, welche wiederum in hohen Druckbelastungen der palmaren Kante der Radiusgelenkfläche und der Handwurzelknochen resultierten und schlussendlich den Wachstumsstillstand dieser zur Folge hätte. [1]

Dass die Hand dann nicht in eine permanente Beugestellung im Sinne einer Kontraktur gerät, erklärt Madelung einerseits durch die trotzdem weiterhin funktionierende Streckmuskulatur sowie andererseits durch das vertikale Herabhängen der Hand im Stehen. [1]

Als Grundvoraussetzung dafür, dass der beschriebene Mechanismus ablaufen kann, setzt Madelung außerdem einen „primären Schwächezustand der Knochen“ voraus [1]. Die einzige Möglichkeit zur kausalen Therapie der Deformität sah er in Gipsverbänden, die die Hand in einem Zeitraum von mehreren Monaten in Dorsalextension fixierten und

so eine allmähliche Umformung der Knochen bewirken sollten. Da dies aber aufgrund der daraus resultierenden, mehrmonatigen Arbeitsunfähigkeit keine praktikable Herangehensweise sei, beschränke Madelung die Therapie auf die konsequente Schonung der Hand in Kombination mit Stärkung der Armmuskulatur. [1]

1.2 Epidemiologie

In der Literatur gibt es keine Angaben zur Prävalenz und Inzidenz der Madelung-Deformität (MD). Allerdings existieren drei Studien, in denen der Anteil dieser Erkrankung an allen Neudiagnosen von Anomalien der oberen Extremität an verschiedenen Zentren dokumentiert werden konnte, wodurch sich eine Aussage zur relativen Inzidenz treffen lässt.

Bei Ogino et al. lag dieser Anteil an Madelung-Deformitäten bei 0,7%. Die Studie wurde in Sapporo auf der japanischen Insel Hokkaido durchgeführt, insgesamt wurden 943 Patienten im Zeitraum von 1968 bis 1984 eingeschlossen [4]. Goldfarb et al. fanden bei 653 erfassten Anomalien vier Madelung-Deformitäten. Die Studie wurde über den Zeitraum des Jahres 2011 an drei Kliniken in den beiden amerikanischen Staaten Minnesota und Missouri durchgeführt. [5] Dies entspricht einem Anteil von 0,6%. Flatt fand 1977 im Zuge des „Congenital Hand Project“ der Universität Iowa, USA, unter 2159 Händen mit angeborenen Anomalien der Hand 37 MDs, was einer relativen Inzidenz von 1,7% entspricht [6]. Laut Flatt kommen angeborene Anomalien der Hand bei etwa 1 – 2% der Bevölkerung vor [6].

Die Deformität kommt wesentlich häufiger beim weiblichen Geschlecht vor. Schon Madelung selbst beobachtete die Erkrankung unter seinen zwölf Fällen doppelt so häufig bei Frauen wie bei Männern [1]. Anton et al. stellten 1938 in einer großen Metaanalyse der bis dahin veröffentlichten Literatur in 171 Fällen sogar ein Verhältnis von 4:1 fest [7]. Auch neuere Studien unterstreichen dieses Ergebnis, Farr et al. fanden 2010 in ihrem Kollektiv von 31 Patienten nur zwei Männer [8].

Der Erkrankungsbeginn liegt in der Regel in der späten Kindheit. Auch hierfür lieferte Madelung selbst den ersten Hinweis, da er als Entstehungszeitraum der Erkrankung das 13. bis 23. Lebensjahr angab [1]. Anton et al. ziehen aus ihrer Metaanalyse ähnliche

Schlüsse und geben das zehnte bis 14. Lebensjahr als üblichen Beginn der Beschwerden an [7].

Die Deformität tritt in der Mehrzahl der Fälle bilateral auf, wobei oft eine Seite stärker und früher betroffen ist als die andere [7].

1.3 Formen

In der Literatur wird oft zwischen der echten Madelung-Deformität und der Pseudo-Madelung-Deformität unterschieden. Die Abgrenzung beider Formen voneinander ist allerdings uneinheitlich.

So ziehen Ali et al. das sogenannte Vickers-Ligament als Unterscheidungskriterium heran, da dieses bei der echten MD stets und bei der Pseudo-MD nie vorhanden sei [9]. Beim Vickers-Ligament, benannt nach seinem Erstbeschreiber D. Vickers, handelt es sich um ein abnormes, bis zu 5 Millimeter dickes Band, welches sich vom Os Lunatum zum distalen Radius (proximal zur distalen Radiusmetaphyse) erstreckt [10]. Moazami-Goudarzi et al. unterscheiden die beiden Formen anhand ihrer Entstehung. So sei die echte MD stets kongenitalen Ursprungs, wogegen die Pseudo-MD posttraumatisch als Folge von Verletzungen der Radiusmetaphyse entstehe [11]. Nielsen sieht als echte („idiopathische“) MD sowohl die isolierte MD als auch Fälle von MD im Zuge von Knochendysplasien wie dem Léry-Weill-Syndrom, Turner-Syndrom, Multiple Hereditäre Exostosen und Morbus Ollier an, wogegen die Pseudo-MD sekundär, zum Beispiel nach Trauma, Neoplasien oder Infektionen, entstehe [12]. Laut Kozin et al. trete die echte MD entweder isoliert oder im Zuge des Léry-Weill-Syndroms auf, Pseudo-MD dagegen entstehe auf dem Boden anderer Diagnosen wie Morbus Ollier, Multiple Hereditäre Exostosen oder nach Schädigung der Metaphyse [13].

Zudem wurde die Existenz einer seltenen, inversen Variante der MD beschrieben (eng.: „reverse MD“), bei welcher der Radius nicht wie bei der klassischen MD nach palmar, sondern nach dorsal verbogen ist, weshalb die Ulna nach palmar disloziert [11, 14]. Ali et al. fanden bei einem solchen Fall Hinweise für die Anwesenheit einer dorsal gelegenen Variante des Vickers-Bandes [9]. Laut Vickers selbst befindet sich das Band bei der inversen MD allerdings an derselben Stelle wie bei der klassischen MD [10]. Diese

Erscheinungsform wird von manchen Autoren als echte MD kategorisiert [9], von anderen aber als eigene Unterform der MD eingeordnet [11].

Aufgrund der uneinheitlichen Unterscheidung zwischen echter und Pseudo-MD werden diese Begriffe in dieser Arbeit nicht verwendet.

1.4 Ätiologie

Die Deformität entsteht durch Retardierung oder Stopp des Knochenwachstums in der medialen Metaphyse des Radius. Da der laterale Anteil des Radius aufgrund dessen schneller wächst als der mediale Anteil, verbiegt sich der Radius im Laufe des Knochenwachstums nach ulnar. Die Handwurzelknochen werden zwischen der nach ulnar zeigenden Radiusgelenkfläche und der Ulna eingeklemmt, die Ulna selbst gerät in eine dorsale Position. [15]. In manchen Fällen findet sich ein Vickers-Band, dessen Bedeutung für die Pathogenese der MD aber umstritten ist [16].

Die Ursache für diese Störung des Knochenwachstums der radialen Wachstumsfuge konnte bis heute nicht abschließend geklärt werden. Ätiologisch muss hier allerdings zwischen der angeborenen und der erworbenen MD unterschieden werden. Tabelle 1 auf Seite 10 gibt einen Überblick über deren verschiedene Ursachen.

1.4.1 Angeborene Madelung-Deformität

Die kongenitale MD scheint immer beidseitig und nur im Rahmen angeborener Erbkrankheiten aufzutreten, wenngleich sowohl die restlichen Symptome dieser Erkrankungen als auch die Deformität an einer der beiden Hände so gering ausgeprägt sein können, dass eine unilaterale, isolierte, kongenitale MD vorgetäuscht werden kann [17, 18]. Die Existenz einer idiopathischen Variante der angeborenen MD ist in der Literatur stark umstritten [17, 19, 20].

Der wichtigste Vertreter dieser Erbkrankheiten ist wohl das Léry-Weill-Syndrom (LWS), auch Dyschondrosteose genannt [21]. Das LWS äußert sich durch verminderte Körpergröße, disproportionierte Verkürzung der Extremitäten und beidseitige Madelung-Deformität und hat einen autosomal-dominanten Erbgang [22]. Es wird in etwa 60% der Fälle durch SHOX-Haploinsuffizienz, hervorgerufen durch Mutationen oder

Deletionen auf dem Genlocus des „short-stature homebox-containing“-Genes auf der pseudoautosomalen Region 1 der kurzen Arme der Gonosomen [23], verursacht [24]. Für die restlichen 40% konnte der verantwortliche Genlocus noch nicht gefunden werden, wenngleich Benito-Sanz et al. einen weiteren Genort ca. 30 – 530 Kilobasenpaare stromabwärts des SHOX-Locus identifizieren konnten, dessen Mutation ebenfalls zum LWS führt [22]. Einige Autoren nahmen noch bis in die zweite Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts an, dass es sich beim LWS und der Madelung-Deformität um ein und dieselbe Erkrankung handle [18]. Obwohl diese Theorie inzwischen fallen gelassen wurde, leidet vermutlich ein großer Teil der Patienten mit angeborener MD am LWS. In einer 2014 durchgeführten genetischen Untersuchung an 13 Patienten mit angeborener MD konnte bei neun LWS diagnostiziert werden [17], was einem Anteil von 69% entspricht. Zebala et al. konnten radiologisch bei 17 von 26 MD-Patienten LWS diagnostizieren [25], ein Anteil von 65%. Dagegen konnten Schmidt-Rohlfing et al. unter 31 MD-Patienten radiologisch keinen einzigen Fall von LWS diagnostizieren [26].

An zweiter Stelle ist das Turner-Syndrom zu nennen. Dieses äußert sich unter anderem durch Minderwuchs, Hypogonadismus, Infertilität sowie kardiovaskuläre Anomalien und wird durch den kompletten Verlust oder strukturelle Veränderungen eines der beiden weiblichen X-Chromosomen verursacht [27]. Obwohl die betroffenen Patientinnen dementsprechend stets eine SHOX-Haploinsuffizienz aufweisen, tritt paradoxerweise nur in ca. 2% der Fälle gleichzeitig ein LWS auf [28], was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass der beim Turner-Syndrom verminderte Östrogenspiegel eine protektive Wirkung auf die Wachstumsfugen des Skeletts entfaltet [29]. Das Turner-Syndrom geht in etwa 7% der Fälle mit einer MD einher [27]. Huguet et al. fanden unter zwölf Patienten mit angeborener MD drei Patientinnen mit Turner-Syndrom [17], was einem Anteil von 25% entspricht.

Homozygoter Verlust oder Mutation des SHOX-Genes führt zum Krankheitsbild der Mesomelen Dysplasie Typ Langer [30, 31]. Diese autosomal-rezessiv vererbte Erkrankung geht mit extremer Verkürzung der langen Röhrenknochen einher, woraus die sehr geringe Körpergröße der Patienten resultiert. Außerdem können Hypoplasien von Ulna, Fibula und Mandibula sowie die Madelung-Deformität auftreten. [31, 32]

Aber auch angeborene Erkrankungen ohne Assoziation zum SHOX-Gen können zur Ausbildung einer MD führen, so zum Beispiel die Achondroplasie (verursacht durch Mutation oder Deletion des FGFR3-Genes auf Chromosom 4 [33]) und die Multiplen epiphysären Dysplasien (heterogene Gruppe von Krankheiten mit verschiedenen genetischen Auslösern, unter anderem ist das COMP-Gen auf Chromosom 19 an der Krankheitsentstehung beteiligt[34]) [12].

Erst vor wenigen Jahren wurden außerdem einzelne Fälle von angeborener MD bei Patienten mit Pseudohypoparathyreoidismus Typ 1b sowie bei Patienten mit Albright-Osteodystrophie beschrieben. Beide Erkrankungen sind mit dem GNAS-Gen auf Chromosom 20 assoziiert. [35-38] Ioan konnte zeigen, dass die MD auch im Zuge des Nagel-Patella-Syndroms auftritt. Er geht davon aus, dass mehr als 30% aller Patienten mit dieser Erkrankung eine MD aufweisen. [39] Des Weiteren kann auch die Brachydaktylie Typ C mit MD einhergehen [40]. Funderburk beschrieb zudem das extrem seltene Krankheitsbild der autosomal-dominanten Dyschondrosteose-Nephritis, welches ebenfalls regelhaft mit einer MD auftritt [41].

Zumindest im Fall der angeborenen MD im Zuge des Léry-Weill-Syndroms findet sich scheinbar immer ein Vickers-Band [10]. Ob das auch für die anderen Ursachen der kongenitalen MD gilt, ist nicht untersucht.

1.4.2 Erworbene Madelung-Deformität

Die Madelung-Deformität kann allerdings auch erworben werden. Sie entsteht dann sekundär, nachdem die radiale Wachstumsfuge so geschädigt wurde, dass das Wachstum des Radius ganz oder teilweise zum Erliegen kommt.

Derartige Schädigungen können durch Traumata oder Infektionen hervorgerufen werden [42]. Ein solches Trauma kann auch in Form von häufiger und starker Belastung der Handgelenke über einen langen Zeitraum hinweg auftreten, zum Beispiel bei Turnern [43]. Einzelne Fälle von erworbener MD auf dem Boden der Rheumafaktor-positiven juvenilen idiopathischen Arthritis wurden publiziert[44]. Auch tumoröse Erkrankungen wie die Enchondromatose oder die Multiple kartilaginäre Exostose

können zur Ausbildung einer MD führen [13], wenn der Tumor auch die Wachstumsfuge erfasst und beschädigt [9].

Bei der erworbenen MD ist kein Vickers-Band vorhanden [9]. Je nach Entstehungsmechanismus tritt sie, im Gegensatz zur angeborenen MD, häufig unilateral auf [18].

Tabelle 1: Ursachen der angeborenen und der erworbenen Madelung-Deformität im Überblick.

Angeborene Madelung-Deformität	Erworbene Madelung-Deformität
Léri-Weill-Syndrom	Trauma
Turner-Syndrom	Langzeitbelastung
Mesomele Dysplasie Typ Langer	Infektion
Achondroplasie	Enchondromatose
Multiple epiphysäre Dysplasien	Multiple kartilaginäre Exostose
Pseudohypoparathyreoidismus Typ 1b	Rheumafaktor-positive JIA
Albright-Osteodystrophie	
Nagel-Patella-Syndrom	
Brachydaktylie Typ C	
Dyschondrosteose-Nephritis	
Idiopathisch (umstritten)	

1.5 Klassifikationen

In der Vergangenheit wurden mehrere Versuche unternommen, Klassifikationen für die MD zu erstellen. Allerdings konnte sich keine davon etablieren, die meisten wurden nach ihrer Vorstellung nie mehr verwendet.

Selten finden in der aktuellen Literatur die Klassifikationen nach Nielsen von 1977 [12] (siehe Tabelle 2) sowie die Klassifikation nach Henry von 1967 [45] (siehe Tabelle 3) Anwendung.

Tabelle 2: Klassifikation nach Nielsen (1977)

I) Idiopathische Madelung-Deformität
a) Klassische echte Madelung-Deformität
b) Knochendysplasie + Madelung-Deformität
II) Pseudo-Madelung-Deformität

Tabelle 3: Klassifikation nach Henry (1967)

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1) Posttraumatische Deformitäten2) MD durch Knochendysplasie3) MD durch chromosomale Anomalien4) Idiopathische MD |
|--|

Allerdings widersprechen sich die beiden Klassifikationen, beispielsweise in der Klassifikation der MD mit Knochendysplasien (z.B. LWS) als Unterform der idiopathische MD bei Nielsen und als eigene Form der MD neben der idiopathischen MD bei Henry. Zudem werden aufgrund des Alters der Klassifikationen neuere Erkenntnisse, wie zum Beispiel die Entdeckung des Vickers-Bandes 1992 [10], nicht berücksichtigt.

1.6 Diagnose

Die Diagnose Madelung-Deformität wird nach Zusammenschau von klinischer und radiologischer Präsentation gestellt. Schmerzen am Handgelenk sind das mit Abstand häufigste Symptom, aber auch Einschränkung der Beweglichkeit sowie das deformierte Aussehen des Handgelenkes können Gründe für die Vorstellung des Patienten bei einem Arzt sein [26].

Die Schmerzen sind häufig über der distalen Ulna oder dem Radiocarpalgelenk lokalisiert [8, 13, 26]. Die Ausprägung der Bewegungseinschränkung ist sehr variabel, sie kann keine bis alle Bewegungsrichtungen des Handgelenks betreffen. Am häufigsten scheinen die Dorsalextension der Hand sowie die Umdrehbewegung des Unterarmes eingeschränkt zu sein. [25, 26, 46] Oft ist die Deformität schon von außen mit dem bloßen Auge gut erkennbar, typischerweise zeigt sich ein prominenter, nach dorsal



Abbildung 5: Sicht von ulnar auf eine Hand mit MD. Gut zu sehen ist der prominente Ulnakopf. (Eigene Aufnahme)

subluxierter Ulnakopf in Kombination mit einer bajonettartig nach palmar abgesackten Hand und einem verkürzten Unterarm [11, 47] (siehe Abbildung 5).

Der klinische Verdacht auf eine vorliegende MD wird radiologisch durch Röntgenbilder des Handgelenkes in zwei Ebenen bestätigt. Dannenberg et al. haben zu diesem Zweck zwölf charakteristische Veränderungen festgehalten, die typischerweise auf Röntgenbildern von Händen mit MD feststellbar sind [48]:

1. Verbiegung des Radius nach laterodorsal (Konkavität nach ulnopalmar)
2. Erweiterung des interossären Spaltes zwischen Radius und Ulna
3. Verkürzung des Radius
4. Verfrühter Verschluss der ulnarseitigen Metaphyse des Radius
5. Verminderte Knochendichte an der ulnaren Begrenzung des Radius, proximal der radialen Metaphyse
6. Kleine knöcherne Wucherungen oder eine einzelne Exostose entlang der distalen, ulnarseitigen Radiusbegrenzung
7. Triangulation der distalen Radiusepiphyse. Die Spitze des Dreiecks zeigt nach medial
8. Die Gelenkfläche des distalen Radius zeigt nach ulnopalmar
9. Luxation oder Subluxation des DRUG, weshalb die Ulna im lateralen Röntgenbild weiter dorsal liegt als der Radius
10. Erhöhte Dichte des Trabekelwerkes des Ulnakopfes
11. Triangulation des Karpus mit dem Os Lunatum an der Spitze des Dreiecks
12. Bogenform des Karpus im lateralen Röntgenbild

Nach Langer sind hiervon die Kriterien 3, 7 und 11 von fundamentaler Bedeutung für die Diagnosestellung. Die Kriterien 8, 9 und 12 können in milden Fällen der Erkrankung verborgen bleiben, wenn das Röntgenbild nicht mit einwandfrei lateralem Strahlengang aufgenommen wurde. Kriterium 1 und 2 können unter Umständen nur auf einem Röntgenbild der pronierten Hand festgestellt werden. Das Kriterium 4 ist abhängig vom Alter des Patienten und in der Regel nur bis in die frühe Adoleszenz anwendbar. Bei den

Kriterien 5, 6 und 10 handelt es sich um weniger konsistent auftretende, sekundäre Erscheinungen. [18]

Jedoch sind alle diese Merkmale rein qualitativ. Lange existierten keine quantitativen Messwerte, die eine sichere radiologische Diagnose erlauben würden. Daher entwickelten McCarroll et al. 2005 eine eigene Messtechnik für Röntgenbilder von Händen mit MD (siehe Kapitel 2.6) und konnten auf dieser Grundlage im Jahr 2010 Grenzwerte für vier radiologische Parameter festlegen, deren Überschreiten eine spätere MD-Diagnose reproduzierbar und reliabel vorhersagte [49, 50] (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Diagnosekriterien nach McCarroll. Zur Diagnosestellung muss mindestens einer der vier Grenzwerte überschritten sein.

Ulnare Inklination der Radiusgelenkfläche	$\geq 33^\circ$
Absenkung des Os Lunatum	$\geq 4 \text{ mm}$
Winkel der Fossa Lunata	$\geq 40^\circ$
Verschiebung des Karpus nach palmar	$\geq 20 \text{ mm}$

1.7 Therapie

Die Therapie der MD ist ein seit jeher kontrovers diskutiertes Thema. Madelung selbst empfahl keine Operation, sondern konservative Maßnahmen [1]. In der Tat benötigt der größere Teil aller Patienten mit MD nie eine operative Therapie [46]. Bei dauerhaft fortbestehenden oder sich verschlimmernden Beschwerden kann diese jedoch nötig werden.

Die zur Therapie der MD eingesetzten Operationstechniken lassen sich im Wesentlichen in drei Gruppen unterteilen: Eingriffe am Radius, an der Ulna und kombinierte Verfahren an beiden Unterarmknochen gleichzeitig [51].

Am Radius wurden verschiedene Techniken der Radiuskorrekturostetomie vorgestellt, welche nach Abschluss des Knochenwachstums zum Einsatz kamen und den deformierten Radius in eine möglichst physiologische Form bringen sollten. Hierzu zählen die Radiukorrektur mittels biplanar aufklappender Keilosteotomie, die Radiuskorrektur mittels trapezförmiger Keilosteotomie und die Radiuskorrektur mittels inverser Keilosteotomie. Zudem wurde die verlängernde Radiuskorrektur mittels des

Ilizarov-Apparates publiziert. [52-55] Dagegen kommt die Physiolyse mit Vickers-Band-Resektion vor dem Abschluss des Knochenwachstums zur Verhinderung der Progredienz der Deformität zum Einsatz, sie wurde erstmals von Vickers et al. zur Behandlung der MD eingesetzt [10].

An der Ulna kamen aufgrund der bei Patienten mit MD häufig bestehenden Ulna-Plus-Variante in erster Linie Ulnaverkürzungsosteotomien zum Einsatz, gelegentlich wurden auch Ulnakopfentfernungen beschrieben [12, 56, 57]. Zudem wurde die radioulnare Arthrodesse mittels Kapandji-Suave-Technik eingesetzt [58].

Es wurden außerdem verschiedene Operationsverfahren an Radius und Ulna gleichzeitig vorgestellt und untersucht. Hierzu zählen simultane Verkürzungsosteotomien an Radius und Ulna [59], die aufklappende Korrekturosteotomie des Radius in Kombination mit der Ulnaverkürzungsosteotomie [51, 52], die aufklappende Radiuskorrekturosteotomie in Kombination mit der Resektion der distalen Ulna nach Darrach [60] sowie der Komplettersatz des distalen Radioulnargelenkes (DRUG) durch Implantation einer Scheker-Prothese [61].

Obwohl die meisten dieser Operationstechniken gute klinische Erfolge erzielen konnten, weisen die Studien in der Regel nur eine sehr geringe Anzahl operierte Hände auf, was eine Verallgemeinerung der Ergebnisse erschwert. Außerdem existiert keine einzige klinische Studie, in der mehrere OP-Verfahren bezüglich ihres Outcomes verglichen wurden, weshalb die Überlegenheit einer Operationstechnik über eine andere aus der Literatur nicht zuverlässig abzuleiten ist.

1.8 Ziel dieser Studie

Ziel dieser retrospektiv-klinischen Studie war es, alle Patienten, die innerhalb eines Zeitraumes von 17,5 Jahren an der Klinik für Handchirurgie in Bad Neustadt an der Saale aufgrund einer MD mit einer Radiuskorrekturosteotomie oder eine Physiolyse in Kombination mit der Entfernung des Vickers-Bandes behandelt wurden, bezüglich des Operationsoutcomes nachzuuntersuchen. Mithilfe der gewonnenen Daten sollten folgende Fragen beantwortet werden:

Konnte die Korrektur der knöchernen Deformität mittels Radiuskorrekturosteotomie die Beschwerden, Funktionalität und die radiologischen Parameter bei bestehender Madelung-Deformität bessern?

Konnte die prophylaktisch eingesetzte Physiolyse mit Entfernung des Vickers-Bandes die Progression der Erkrankung und das Auftreten von Symptomen verhindern?

Korrelierten die Ergebnisse der radiologischen Messungen mit den klinischen Untersuchungsergebnissen?

Hatte eine der beiden Untersuchungsgruppen postoperativ einen besseren Gesundheitsstatus als die andere?

2 Material und Methoden

2.1 Ethikvotum

Alle Patienten haben der Teilnahme an der Studie schriftlich zugestimmt. Vor Studienbeginn hat die zuständige Ethikkommission (Bad Neustadt an der Saale) ein positives Votum für die Studie abgegeben (Aktenzeichen: Studie 12_2016).

2.2 Patientenrekrutierung

Alle Patienten, die in der Zeit vom 01.01.2001 bis zum 30.06.2017 wegen einer diagnostizierten MD in der Klinik für Handchirurgie Bad Neustadt an der Saale operiert worden waren, sollten im Rahmen der Studie nachuntersucht werden.

Eine erste Datenbankabfrage nach dem ICD 10-Code der MD lieferte für diesen Zeitraum 63 Patienten. 13 von ihnen hatten keine OP erhalten oder kein präoperatives Röntgenbild vorliegend, weshalb sie ausgeschlossen wurden. Die verbleibenden 50 Patienten wurde postalisch zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Diese Einladung nahmen 8 Patienten an. Bei 22 Patienten war die in der Datenbank der Klinik für Handchirurgie hinterlegte Adresse wegen Umzugs nicht mehr korrekt, so dass die Einladungsbriefe nicht zugestellt werden konnten. Von den verbleibenden 20 Patienten konnten 14 telefonisch für die Studie rekrutiert werden. Die sechs übrigen Patienten gaben an, keine Zeit oder eine zu weite Anfahrt zur Klinik zu haben, um an der Studie teilzunehmen.

Letztlich wurden so 22 Patienten im Rahmen der Studie nachuntersucht. Von diesen mussten nachträglich zwei Patienten ausgeschlossen werden, weil keine geeigneten präoperativen Röntgenbilder vorlagen. Vier weitere Patienten wurden nicht in die Auswertung der Daten miteinbezogen, da sie primär mit anderen OP-Verfahren als der Radiuskorrekturosteotomie oder der Physiolyse behandelt worden waren.

Schließlich konnten 16 Patienten eingeschlossen werden, von denen sieben an beiden Händen operiert worden waren. Somit ergab sich eine Studienpopulation von 23 Händen.

2.3 Untersuchte Operationstechniken

Im Rahmen dieser Studie wurden zwei Eingriffe am Radius betrachtet, die Radiuskorrekturosteotomie und die Physiolyse mit Resektion des Vickers-Bandes, welche im Folgenden erläutert werden.

Die Radiuskorrekturosteotomie kam in der Regel nach Abschluss des Knochenwachstums zum Einsatz. Ziel war es, den deformierten Radius in eine möglichst physiologische Form zu bringen. Es erfolgte ein palmarer Zugang zum distalen Radius. Der M. pronator quadratus wurde ansatznah inzidiert und mittels Raspatorium ulnarseitig von der Radiusfläche abgeschoben. Anschließend wurde eine Platte zur späteren Osteosynthese angebogen. Danach erfolgte die Osteotomie am distalen Radius von ulnar-palmar nach radial-dorsal ohne Durchtrennung der dorsoradialen Kortikalis. Durch vorsichtiges Aufspreizen dieser Osteotomie wurde eine Verlängerung des Radius und eine Aufrichtung der Radiusgelenkfläche erzielt. In den Osteotomiespalt wurde zur Optimierung des Heilungsprozesses meist ein autologer kortikospongiöser Beckenkammspan eingebracht. Nach röntgenologischer Kontrolle erfolgte die winkelstabile Verplattung, gefolgt vom Verschluss der Weichteile.

Die Physiolyse mit Vickers-Band-Resektion kam vor dem Abschluss des Knochenwachstums zur Verhinderung der Progredienz der Deformität zum Einsatz [10]. Es erfolgte ein ulnopalmarer Zugang zum distalen Radius. Das Vickers-Band wurde aufgesucht, vom Radius abgesetzt und danach distal resiziert. Im Anschluss wurde der pathologisch geschlossene Bereich der Wachstumsfuge im ulnapalmaren Bereich des distalen Radius dargestellt und mit dem Meißel bis in den offenen Bereich aufgebrochen. Nach Einstopfen von autologem Fettgewebe in den Bereich der durchgeführten Physiolyse erfolgte der Verschluss der Weichteile.

2.4 Retrospektive Datenerhebung

Von allen eingeschlossenen Patienten wurden anhand der digital und analog vorliegenden Patientenakten folgende Daten erhoben: Name, Geschlecht, Geburtsdatum, Datum der ersten und letzten Vorstellung in der Klinik für Handchirurgie, Händigkeit, Seite der MD, Seite der Beschwerden, Beginn der Beschwerden,

durchgeführte OP-Verfahren sowie Datum und Seite der OP, präoperativer Bewegungsumfang des operierten Handgelenkes (Extension, Flexion, Radialduktion, Ulnarduktion, Pronation, Supination), präoperative Kraft der operierten Hand und der Gegenseite, präoperative Schmerzen (ja/nein), präoperative visuelle Analogskala (VAS) der Schmerzen im Handgelenk (von eins bis zehn), präoperativer DASH-Score, präoperativ vorliegende Instabilität im DRUG (ja/nein).

2.5 Nachuntersuchung

2.5.1 Befragung zur Krankengeschichte

Alle zur Nachuntersuchung erschienenen Patienten wurden anhand des Studienbogens zu ihrer Krankengeschichte befragt. Folgende Daten wurden auf diese Weise erhoben: Körpergröße, Beruf, Berufswechsel wegen der Beschwerden (ja/nein), Händigkeit, Seite der MD, Seite der Beschwerden, Seite des erstmaligen Auftretens der Beschwerden, Jahr des erstmaligen Auftretens der Beschwerden, Verbesserung des subjektiven Wohlbefindens durch die Operationen (ja/nein), falls mehrere Operationen nötig waren: „Welche hat subjektiv am meisten gebracht? Grund für erneute OP? Würden Sie eine oder mehrere der Operationen wiederholen lassen?“, eventuelle Komplikationen nach den Operationen.

2.5.2 Klinische Untersuchung

Bei jeder untersuchten Hand wurde der Bewegungsumfang des Handgelenkes, die Kraft der Hand und der Finger, die Beweglichkeit der Finger und des Daumens sowie eine eventuell vorhandene Instabilität im DRUG dokumentiert. Das Procedere der Untersuchungen wird im Folgenden erläutert.

2.5.2.1 Bewegungsumfang des Handgelenkes

Der Bewegungsumfang des Handgelenkes wurde in Extension, Flexion, Ulnarduktion, Radialduktion, Pronation und Supination nach der Neutral-Null-Methode bestimmt. Bei der Neutral-Null-Methode wird der Bewegungsumfang eines Gelenkes aus der anatomischen Neutral-Null-Stellung (NNS) angegeben. Diese ist definiert durch aufrechtes Stehen, hängende Arme mit nach vorne zeigenden Daumen sowie parallele

Stellung der beiden Füße bei etwa hüftbreitem Stand. Jede Bewegungsrichtung des untersuchten Gelenkes wird zusammen mit ihrer Gegenrichtung durch drei Zahlen charakterisiert. Hierbei handelt es sich um die Gradzahlen der Endpunkte der beiden entgegengesetzten Bewegungsrichtungen sowie einer Null zur Kennzeichnung der NNS. Kann die NNS erreicht werden, steht die Null zwischen den beiden Endpunkten der Bewegung. Kann sie NNS dagegen nicht erreicht werden, steht die Null entweder vor oder hinter den beiden gemessenen Gradzahlen. [62]

Da für diese Studie nur der Bewegungsumfang der oberen Extremität von Bedeutung war, wurden die Messungen am aufrecht sitzenden Patienten durchgeführt. Die NNS der Handgelenke wurde erreicht, indem die Unterarme mit den Ossa Metacarpalia III in eine gerade Linie parallel zur Sagittalebene gebracht wurden. Die Ellenbogen wurden dann mit nach oben zeigenden Händen auf dem Untersuchungstisch aufgestützt und der Bewegungsumfang mittels eines 14-Zoll Goniometers der Firma MDF Instruments gemessen.

2.5.2.2 Kraftmessung

Die Grobkraft beider Hände jedes Studienteilnehmers wurde mittels eines JAMAR Dynamometers auf Stufe Drei in Kilogramm ermittelt. Das Dynamometer misst die Kraft, die die Hand beim Zug des vorderen Griffes in Richtung der proximalen Handfläche aufbringt. Zur Kraftmessung drückt der Untersuchte mit voller Kraft zu und lässt sofort wieder los. Die erreichte Grobkraft wird dann auf dem Messkopf des Gerätes durch einen Zeiger angezeigt.

Zudem wurde die Kraft der Finger beim Schlüsselgriff mittels eines JAMAR Pinch Gauges ermittelt. Dieser misst die Kraft, die beim Zusammendrücken von Daumen und Zeigefinger im Schlüsselgriff erreicht wird. Ähnlich wie beim JAMAR Dynamometer wird mit maximaler Kraft zugeedrückt und wieder losgelassen, woraufhin die erreichte Kraft auf dem Messkopf abgelesen werden kann.

2.5.2.3 Beweglichkeit der Finger und des Daumens

Zur Feststellung der Beweglichkeit der vier Finger wurde der Patient aufgefordert, alle vier Finger vollständig in allen Gelenken zu beugen und zu strecken. War der Faustschluss nicht vollständig möglich, wurde der Abstand des Nagelrandes des betreffenden Fingers zur distalen Hohlhandfurche dokumentiert. Ein vollständiger Faustschluss wurde als freie Beweglichkeit festgehalten. Die Fingerstreckung wurde als frei dokumentiert, wenn die verlängerte Handrückenebene erreicht werden konnte. Ansonsten wurde der Abstand des Nagelrandes zu dieser Ebene dokumentiert.

Die Beweglichkeit des Daumens wurde erfasst, indem die bei maximaler Opposition erreichbare Fingerkuppe dokumentiert wurde. Konnte die Kuppe des Kleinfingers derselben Hand erreicht werden, wurde die Beweglichkeit als frei festgehalten.

2.5.2.4 Instabilität im DRUG

Zur Feststellung einer eventuell vorhandenen Instabilität im DRUG wurde der Patient aufgefordert, seinen Ellenbogen mit senkrecht zur Decke des Raumes zeigender Hand auf dem Untersuchungstisch aufzustützen. Mit den Fingern einer Hand umgriff der Untersucher den distalen Radius des Patienten, um ihn zu fixieren. Mit den Fingern der anderen Hand wurde die distale Ulna ertastet und, falls möglich, bewegt. War die Ulna fest im DRUG fixiert, wurde keine Instabilität auf der untersuchten Seite dokumentiert, ansonsten schon.

2.5.3 Patient-Rated Outcome Measures

Für jede untersuchte Hand wurden vier Fragebögen (Patient Rated Outcome Measures, PROMs) ausgefüllt, welche die krankheitsbezogene Lebensqualität quantifizieren. Wurden beide Hände desselben Patienten untersucht, wurden die Fragebögen für jede Hand separat beantwortet und die Scores entsprechend unabhängig von der anderen Hand berechnet. Bei diesen PROMs handelte es sich um DASH, PREW-G, EQ-5D-3L sowie den SF-36, welche im Folgenden näher erläutert werden.

2.5.3.1 DASH

DASH steht für „Disabilities of the arm, shoulder and head“. Der Fragebogen wurde 1994 von der American Academy of Orthopedic Surgeons mit dem Ziel entwickelt, neben den Symptomen einer Beeinträchtigung der oberen Extremität auch die psychosozialen Konsequenzen und die funktionellen Einschränkungen zu erfassen [63, 64].

Es handelt sich um einen vom Patienten selbst auszufüllenden Fragebogen mit 30 Items, die sich auf Beeinträchtigungen im Schulter-, Arm- oder Hand-Bereich beziehen. Die Schwere der Beeinträchtigung im Laufe der vergangenen Woche wird für jedes Item auf einer Skala mit fünf Punkten bewertet, wobei ein Punkt keine und fünf Punkte maximale Schwierigkeiten darstellen. Zudem existieren zwei optionale Module mit jeweils vier Items: ein Sport- und Musik-Modul sowie ein Arbeits- und Berufs-Modul. Die optionalen Module wurden in dieser Studie nicht verwendet.

Die 30 Items bestehen aus 21 Items zur physikalischen Funktionalität, sechs Items zu Symptomen und drei Items zur psychosozialen Situation des Patienten [63]. Die Items zur physikalischen Funktionalität bewerten Beeinträchtigungen bei Aktivitäten des täglichen Lebens, Hausarbeiten, Einkaufen, Freizeitaktivitäten, Körperpflege, Anziehen, Essen sowie sexuelle Aktivität. Zu den abgefragten Symptomen zählen Schmerz, Schwäche, Steifheit, Kribbeln und Schlafprobleme. Die psychosoziale Situation wird durch eventuelle Schwierigkeiten im Beruf, Familienleben, Sozialleben sowie mit dem Selbstbild des Patienten abgebildet. [63, 64]

Zur Auswertung des Fragebogens werden alle vom Patienten angekreuzten Punktzahlen zusammengezählt. Bei 30 Fragen mit je mindestens einem und maximal fünf Punkten ergibt sich also ein Rohwert zwischen 30 und 150, mit einem Streubereich von 120 Punkten. Dieser Rohwert wird anhand von Formel 1 in einen Wert zwischen Null und 100 konvertiert, den DASH-Score, wobei Null keine und 100 sehr starke Einschränkung anzeigt. Von den 30 Items müssen mindestens 27 ausgefüllt werden, um den Score berechnen zu können. [65]

$$DASH - Score = \left[\frac{Rohwert}{n} - 1 \right] \times 25$$

Formel 1: Berechnung des DASH-Scores. n= Anzahl der beantworteten Items.

Die in dieser Studie benutzte deutsche Version des DASH-Bogens ist genauso reliabel und valide wie das englische Original [63]. Dem an der Klinik für Handchirurgie Neustadt an der Saale verwendeten DASH wurden noch vier weitere Items hinzugefügt. Diese fließen nicht in den Score mit ein, sondern werden gesondert voneinander zu Vergleichszwecken herangezogen. Bei Item 31 handelt es sich um eine Visuelle Analogskala in Ruhe und Belastung, welche als postoperative VAS für diese Studie genutzt wurde. Die Items 32 und 33 bewerten die aktuelle Schmerzsituation und den Grad der derzeitigen Einschränkung. Item 34 besteht aus zwei Ja/Nein-Fragen, nämlich „Würden Sie die gleiche Operation noch einmal durchführen lassen?“ und „Sind Sie mit der Behandlung zufrieden?“.

2.5.3.2 PRWE-G

Der PRWE-G ist die deutsche Version des PRWE („Patient-Rated Wrist Evaluation“). Er misst die krankheitsbezogene Lebensqualität des Patienten und berücksichtigt dabei die drei in der „Internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit“ (ICF) der WHO definierten Domänen der Gesundheit [66]. Laut ICF beeinträchtigt eine Erkrankung den Menschen in den drei Domänen „Körperliche Funktion und Strukturen“, „Aktivität“ und „Teilhabe“, wobei diese Beeinträchtigung durch personenbezogene Faktoren und Umweltfaktoren weiter moduliert wird [67]. Im PRWE wird die Domäne „Körperliche Funktion und Strukturen“ durch Items zu Schmerzen im Handgelenk (z.B. Frequenz und Intensität des Schmerzes), „Aktivität“ durch Items zur Einschränkung von Aktivitäten durch das betroffene Handgelenk (z.B. Hausarbeit) und „Teilhabe“ beispielsweise durch Items zur Beeinträchtigung von Freizeitaktivitäten abgebildet. [66]

Es handelt sich um einen Fragebogen mit 15 Items, der vom Patienten selbstständig auszufüllen ist. Er ist in zwei Skalen unterteilt, eine Schmerz- und eine Funktionsskala. Die Schmerzskala umfasst fünf Items, die jeweils von null (kein Schmerz) bis zehn

(größter vorstellbarer Schmerz) bewertet werden. Die zehn Items der Funktionskala werden ebenfalls von null (keine Schwierigkeiten) bis zehn (unmöglich) bewertet, wobei sich diese Skala weiter in eine Skala zu Alltagstätigkeiten (vier Items) und spezifischen Tätigkeiten (sechs Items) unterteilt. Genau wie beim DASH beziehen sich alle Items auf den Zeitraum der vergangenen Woche.

Der PRWE ermöglicht die Berechnung eines Pain-Scores (Schmerz) und eines Function-Scores (Funktionalität). Zur Berechnung des Pain-Scores werden die angekreuzten Punktzahlen aller fünf Items der Schmerz-Skala addiert. Der Function-Score wird durch Addition aller zehn Items der Funktionskala und einer zusätzlichen Division durch zwei errechnet. Beide Scores nehmen somit einen Wert zwischen null und 50 an, wobei der Schmerz beziehungsweise der Funktionalitätseinschränkung umso stärker ist, je größer der errechnete Score ist. Beide Scores können außerdem durch Addition in einen Summenscore zwischen null und 100 umgerechnet werden, in welchem Schmerzen und funktionelle Einschränkung gleich gewichtet sind. [66]

Nicht ausgefüllte Items können zur Berechnung des Scores durch den Mittelwert der restlichen Items der jeweiligen Skala ersetzt werden. Der PRWE konnte sich in zahlreichen Studien als reliables und valides Messinstrument beweisen, selbiges gilt auch für die in dieser Studie verwendete, deutsche Version des Fragebogens. [66, 68]

2.5.3.3 EQ-5D-3L

Der EQ-5D-3L-Fragebogen wurde von der EuroQol Gruppe, einem 1987 gegründeten Netzwerk internationaler und multidisziplinärer Forscher, die sich der Erforschung der Messung des Gesundheitsstatus verschrieben haben, entwickelt. Er wurde 1990 veröffentlicht und besteht aus zwei Teilen, dem EQ-5D Beschreibungssystem und der EQ visuellen Analogskala (EQ VAS). [69]

Das EQ-5D Beschreibungssystem setzt sich aus 5 Items zusammen, welche sich jeweils auf einen von fünf Lebensbereichen beziehen (Mobilität, Selbstversorgung, Alltagsaktivitäten, Schmerz, Angst). Jedes Item wird vom Patienten mit einer von drei Aussagen bewertet: „keine Probleme“ (Antwort 1), „leichte Probleme“ (Antwort 2) und „große Probleme“ (Antwort 3). Die Nummern der fünf gegebenen Antworten ergeben

aneinandergereiht den EQ-5D-3L Health State. Ein Patient, der in keinem der fünf Lebensbereiche Probleme angibt, hätte beispielsweise den Health State 11111. Um diese Health States statistisch miteinander vergleichen zu können, kann ein Indexwert zwischen 1 und 0 aus den fünf Antworten berechnet werden, wobei 1 für volle Gesundheit steht. Hierfür wird jeder der fünf gegebenen Antworten anhand von Wertetabellen ein Zahlenwert zwischen 0 und 1 zugeordnet. Diese fünf Zahlenwerte werden dann zusammen von 1, dem Wert für volle Gesundheit, abgezogen. Die Wertetabellen wurden von der EuroQol-Gruppe durch große epidemiologische Studien erstellt. Für Deutschland existieren zwei Sets von Wertetabellen, welche auf unterschiedliche Weisen erhoben wurden – nach der TTO-Methode („Time Trade-Off“: Die Studienteilnehmer wurden gebeten, eine Zeitspanne vollständiger Gesundheit zu wählen, welche sie als gleich wertvoll wie zehn Jahren Lebenszeit in dem zu bewertenden Health State erachteten. Je kürzer diese Zeitspanne, desto geringer der Wert des Health States) und nach der VAS-Methode („Visuelle Analogskala“: Die Studienteilnehmer wurden gebeten, einigen ausgewählten Health States einen Wert zwischen 0 und 100 zuzuordnen, wobei 100 die beste und 0 die schlechteste Bewertung darstellte). [70] In dieser Studie wurden beide Wertetabellen zum Gruppenvergleich benutzt.

Das EQ VAS besteht aus einer vertikalen, 20 cm langen visuellen Analogskala, auf welcher der Patient seinen derzeitigen Gesundheitsstatus von 0 („schlechtesten denkbaren Gesundheitszustand“) bis 100 („besten denkbaren Gesundheitsstatus“) bewertet. Diese Angabe fließt nicht in den Health State oder den Indexwert ein, sondern dient getrennt von diesen als quantitatives, subjektives Maß der Gesundheit. [70]

2.5.3.4 SF-36

Der SF-36 ist die gekürzte Version („Short Form“) eines ursprünglich aus 149 Items bestehenden Fragebogens, welcher im Zuge der Medical Outcome Study (MOS) im Jahr 1989 genutzt und weiterentwickelt wurde [71, 72]. Die Anzahl der Items wurde durch empirische Tests auf 36 reduziert, wobei hierbei vorrangig die körperliche und die psychische Dimension der Gesundheit berücksichtigt wurden, weniger die soziale

Dimension [72]. Im Jahr 1992 wurde schließlich die erste Version des Fragebogens unter dem Namen „MOS 36-Item Short Form Health Survey“ veröffentlicht [73]. In dieser Studie wurde die deutsche Übersetzung der Version 1.3 des SF-36 mit Bezug auf die letzten vier Wochen verwendet.

Von den 36 Items des SF-36 messen 35 die folgenden acht Dimensionen der Gesundheit. „Körperliche Funktionsfähigkeit“ (10 Items) zeigt den Grad der Beeinträchtigung körperlicher Aktivitäten, wie zum Beispiel Treppensteigen. „Körperliche Rollenfunktion“ (4 Items) misst die Auswirkung des Gesundheitszustandes auf die Arbeit oder tägliche Aktivitäten. „Körperliche Schmerzen“ (2 Items) bezieht sich auf die Stärke der Schmerzen und deren Auswirkungen. „Allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ (5 Items) stellt eine subjektive Beurteilung der eigenen Gesundheit dar. „Vitalität“ (4 Items) zeigt, wie energetisch die Testprobanden sich fühlen. „Soziale Funktionsfähigkeit“ (2 Items) stellt ein Maß für die Beeinträchtigung sozialer Aktivitäten durch körperliche oder emotionale Probleme dar. „Emotionale Rollenfunktion“ (3 Items) beschreibt das Ausmaß der Beeinträchtigung der Arbeit oder täglicher Aktivitäten durch emotionale Probleme. „Psychisches Wohlbefinden“ (5 Items) bezieht sich auf die allgemeine psychische Gesundheit. Zudem beinhaltet der Fragebogen ein weiteres Einzelitem, in welchem der aktuelle Gesundheitszustand im Vergleich zum vergangenen Jahr bewertet wird. Die Items werden variierend entweder mit „Ja“ bzw. „Nein“ oder mithilfe von bis zu sechsstufigen Likert-Skalen beantwortet. [72]

Für jede der oben genannten Gesundheitsdimensionen kann anhand der jeweiligen Items ein Score berechnet werden. Hierzu wird jeder gegebenen Antwort mit Hilfe der offiziellen Anleitung des Fragebogens ein bestimmter Zahlenwert zugeordnet. Durch Addition dieser Werte ergibt sich der Rohskalenwert der entsprechenden Gesundheitsdimension. Bei einigen ausgewählten Items muss vor der Addition eine rechnerische Rekalibrierung des Zahlenwertes vorgenommen werden. Der so gewonnene Rohskalenwert wird im letzten Rechenschritt in einen Prozentwert zwischen 0 und 100 transformiert, dem Subskalenwert. Dieser entspricht dem Verhältnis der vom Probanden erreichten Punktzahl zur maximal erreichbaren Punktzahl.

Die vier körperlichen Subskalenwerte „Körperliche Funktionsfähigkeit“, „Körperliche Rollenfunktion“, „Körperliche Schmerzen“ und „Allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ lassen sich zum Summenscore „Körperliche Summenskala“ zusammenrechnen, die vier Subskalenwerte „Soziale Funktionsfähigkeit“, „Emotionale Rollenfunktion“, „Psychisches Wohlbefinden“ und „Vitalität“ zum Summenscore „Psychische Summenskala“. Dies geschieht anhand eines komplexen Rechenalgorithmus. Bei diesen beiden Summenscores handelt es sich um T-Werte mit einem Mittelwert von 50 Punkten und einer Standardabweichung von 10 Punkten. Das Einzelitem zur Gesundheitsveränderung fließt nicht in die Scores mit ein, sondern wird getrennt als Rohwert betrachtet. [72]

Für diese Studie wurde die Berechnung der Subskalenwerte und der Summenskalen mit Hilfe der SPSS-Syntax getätigt, die der deutschen Version des SF-36 beiliegt. Die beiden Summenskalen wurden basierend auf der deutschen Bevölkerungsnorm 1994 berechnet.

2.5.4 Prä- und postoperative Röntgenbilder

Vom jedem Studienteilnehmer wurde aus dem PAC-System der Klinik für Handchirurgie Bad Neustadt a.d. Saale ein präoperatives Röntgenbild (zwei Ebenen) des von der MD betroffenen Handgelenkes akquiriert. In einem Fall befand sich das Röntgenbild nicht im PACS, sondern im Mikrofilmarchiv der Klinik. Lag kein präoperatives Röntgenbild vor, wurde der Studienteilnehmer aus der Studie ausgeschlossen. Beim Nachuntersuchungstermin wurde von beiden Händen jedes Studienteilnehmers jeweils ein Röntgenbild in zwei Ebenen angefertigt, welches als postoperatives Bild dient.

Insgesamt wurden so 46 Röntgenbilder (je 23 prä- und post-OP) für diese Studie verwendet. Alle Bilder wurden ausgedruckt, die Messungen der radiologischen Parameter wurden mit Stift und Papier vorgenommen.

2.6 Radiologische Parameter

Auf allen 46 Röntgenbildern wurden die folgenden radiologischen Parameter erhoben:

- Ulnare Inklination der Radiusgelenkfläche

- Absenkung des Os Lunatum
- Winkel der Fossa Lunata
- Palmare Inklinatation der Radiusgelenkfläche
- Verschiebung des Karpus nach palmar
- Ulna-Varianz

Bis auf die Ulna-Varianz wurden die Messtechniken aller dieser Parameter von McCarroll et al. speziell für die Madelung-Deformität entwickelt. Sie erlauben die Quantifizierung der Deformität und stützen sich zur Zeichnung der Messlinien im Gegensatz zu konventionellen Messtechniken auf die Längsachse der Ulna und die Handwurzelknochen, wodurch der bei der MD typischerweise verformte distale Radius und die Fossa Lunata als Referenzpunkte vermieden werden. [50] Im Folgenden wird das genaue Procedere der jeweiligen Messung erläutert.

2.6.1 Ulnare Inklinatation der Radiusgelenkfläche

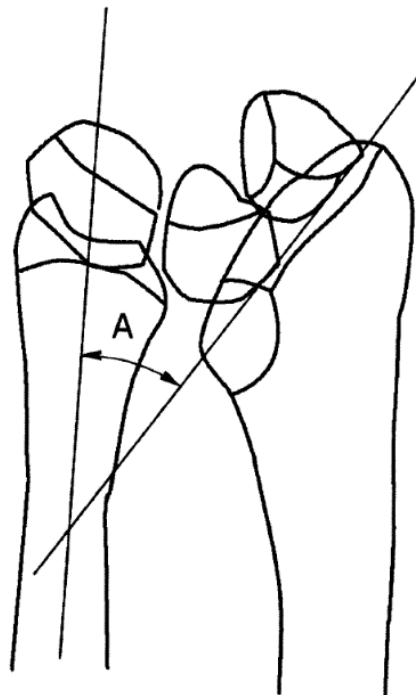


Abbildung 6: Messung der ulnaren Inklinatation der Radiusgelenkfläche nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)

Der Parameter „Ulnare Inklination der Radiusgelenkfläche“ (engl. „Ulnar tilt“, kurz „UT“) wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in P.A.-Projektion gemessen (Abbildung 6)

Als Erstes wird eine Linie entlang der Längsachse des distalen Drittels der Ulna gezeichnet, wobei die Biegung der distalsten 2cm der Ulna ignoriert wird. Im zweiten Schritt wird eine zweite Linie tangential zur proximalen Oberfläche des Os Scaphoideum und des Os Lunatum eingezeichnet. Der spitze Winkel zwischen diesen beiden Linien ist der Winkel A. Der Komplementärwinkel B zu diesem Winkel A stellt den gesuchten Parameter UT dar und wird nach Formel 2 berechnet. [50]

$$B = 90^\circ - A$$

Formel 2: Berechnung des Komplementärwinkels B

2.6.2 Absenkung des Os Lunatum

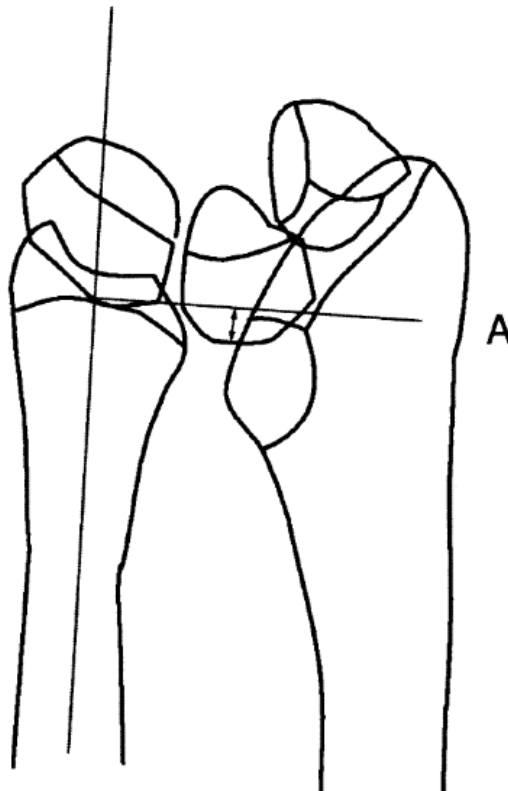


Abbildung 7: Messung der Absenkung des Os Lunatum nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)

Der Parameter „Absenkung des Os Lunatum“ (engl. „Lunate subsidence“, kurz „LS“) wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in P.A.-Projektion gemessen (Abbildung 7). Diese Messung quantifiziert die proximale Verschiebung des Karpus, welche aus dem für die MD typischen knöchernen Defekt der Fossa Lunata resultiert.

Als Erstes wird entsprechend der in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Technik eine Linie entlang der Längsachse der Ulna gezeichnet. Orthogonal zu dieser wird im zweiten Schritt eine Linie durch den Mittelpunkt der distalen Gelenkfläche der Ulna gelegt. Der Abstand von dieser zweiten Linie zum proximalsten Punkt des Os Lunatum wird in Millimetern gemessen und stellt den gesuchten Parameter LS dar. Der gemessene Abstand wird als positiver Zahlenwert dokumentiert, wenn sich die Ulna distal der proximalen Oberfläche des Os Lunatum erstreckt. Endet die Ulna davor, wird ein negativer Zahlenwert dokumentiert. [50]

2.6.3 Winkel der Fossa Lunata

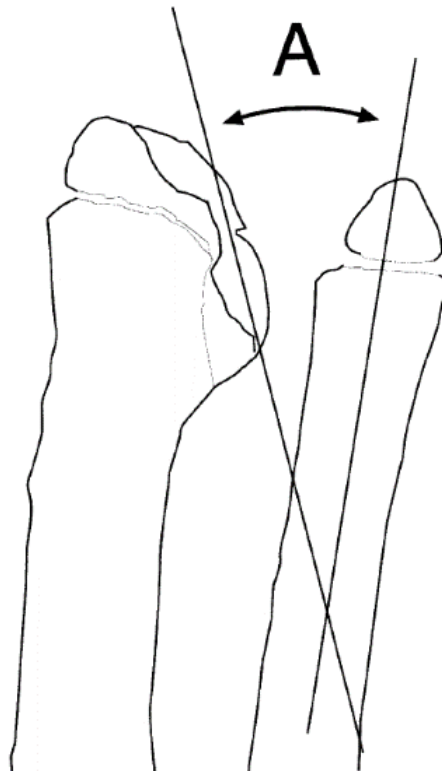


Abbildung 8: Messung des Winkels der Fossa Lunata nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)

Der Parameter „Winkel der Fossa lunata“ (engl. „Lunate fossa angle“, kurz „LFA“) wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in P.A.-Projektion gemessen (Abbildung 8).

Im ersten Schritt wird entsprechend der in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Technik eine Linie entlang der Längsachse der Ulna eingezeichnet. Als Zweites wird die Erhöhung zwischen der Fossa scaphoidea und der Fossa lunata mit einem Punkt markiert. Im dritten Schritt wird durch diesen Punkt und den ulnaren Endpunkt der Fossa lunata eine Gerade gelegt. Der spitze Winkel zwischen beiden Geraden ist der Winkel A, der über Formel Formel 2 auf Seite 28 in den Komplementärwinkel B umgerechnet wird, welcher den gesuchten Parameter darstellt. [50]

2.6.4 Palmare Inklinatation der Radiusgelenkfläche

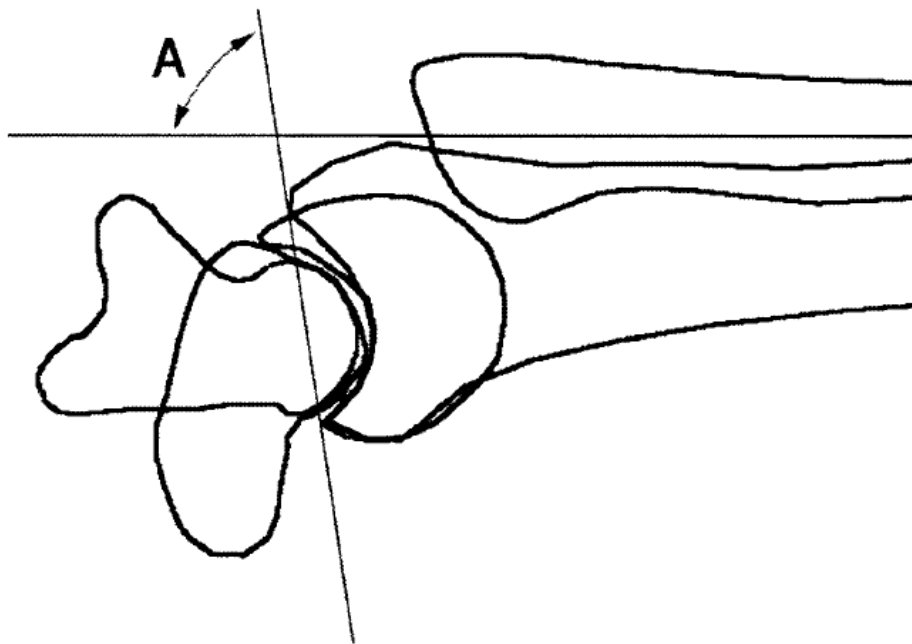


Abbildung 9: Messung der palmaren Inklinatation der Radiusgelenkfläche nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)

Der Parameter „Palmare Inklinatation der Radiusgelenkfläche“ (engl. „Palmar tilt“, kurz „PT“) wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in lateraler Projektion gemessen (Abbildung 9).

Im ersten Schritt wird analog zu der in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Technik eine Linie entlang der Längsachse der Ulna gezeichnet. Als zweiter Schritt wird eine Gerade über die distale Radiusgelenkfläche gelegt. Der spitze Winkel zwischen diesen beiden Geraden ist der Winkel A, der anhand von Formel 2 auf Seite 28 in seinen Komplementärwinkel B umgerechnet wird. Dieser stellt den gesuchten Parameter dar. [50]

2.6.5 Verschiebung des Karpus nach palmar

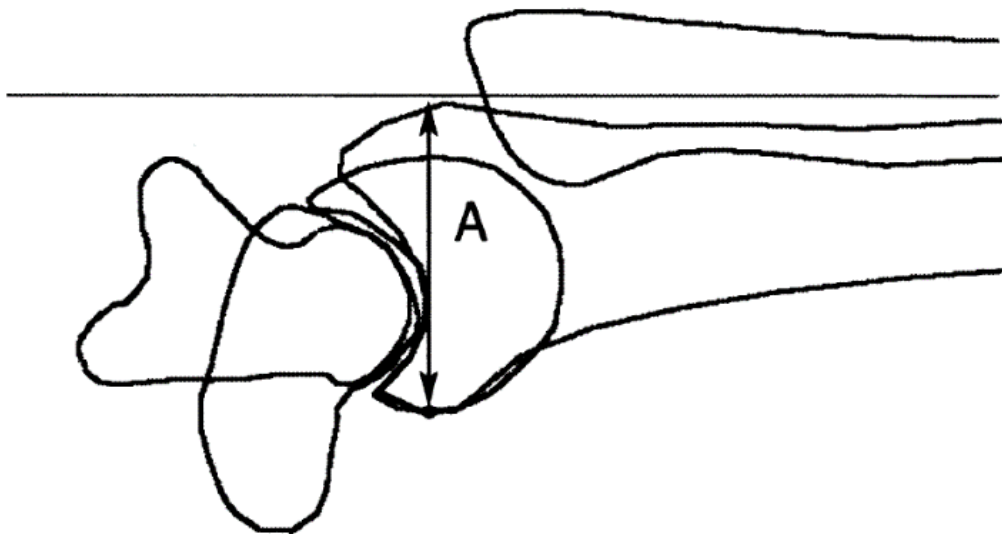


Abbildung 10: Messung der Verschiebung des Karpus nach palmar nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)

Die Verschiebung des Karpus nach palmar (engl. „Palmar carpal displacement“, kurz „PCD“) wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in lateraler Projektion gemessen (Abbildung 10). Er misst die Biegung des Radius nach palmar, welche die MD-typische Erscheinung des Handgelenkes hervorruft – die bajonettartig nach palmar abgesackte Hand.

Im ersten Schritt der Messung wird analog zu der in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Technik eine Linie entlang der Längsachse der Ulna eingezeichnet. Auf dieser Linie wird im nächsten Schritt ein Lot durch den palmarsten Punkt des Os lunatum oder das Os capitatum gefällt, je nachdem welcher der beiden Knochen weiter palmar liegt. Die

Distanz von diesem Punkt zur Längsachse der Ulna wird in Millimetern gemessen und stellt den gesuchten Parameter dar. [50]

2.6.6 Ulna-Varianz



Abbildung 11: Messung der Ulna-Varianz nach Farr (Darstellung modifiziert nach Farr et al. [74]. Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100865548)

Die Ulna-Varianz wird auf einem Röntgenbild des Handgelenkes in P.A.-Projektion gemessen. Sie beschreibt die relative Länge der Ulna gegenüber dem Radius auf Höhe des Handgelenkes. [75] Zur Messung des Parameters wurde in dieser Studie die durch Farr et al. modifizierte „Methode der Senkrechten“ nach Steyers und Blair verwendet (Abbildung 11) [74, 76].

Hierzu wird im ersten Schritt analog der in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Technik eine Linie entlang der Längsachse der Ulna gezeichnet. Im zweiten Schritt wird auf dieser Linie ein Lot durch den am weitesten distal liegenden Punkt der distalen Ulnagelenkfläche gefällt (der Processus styloideus ulnae wird bei der Auswahl dieses Punkts nicht berücksichtigt). Der Abstand zwischen diesem Lot und seiner Parallelen durch den ulnarsten Punkt der distalen Radiusgelenkfläche wird in Millimetern gemessen. Erstreckt sich die Ulna distal dieser Parallelen, wird ein positiver Zahlenwert dokumentiert, ansonsten ein negativer. [74]

2.7 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit SPSS für Windows vom Autor dieser Arbeit durchgeführt. Für die metrisch skalierten Variablen wurden die Mediane mit Interquartilabstand (IQA: 1. Quartile – 3. Quartile) und Spannweite (Spanne: Minimum – Maximum) sowie der Mittelwerte, als Streumaß die Standardabweichung angegeben. Für die kategorial skalierten Variablen wurden absolute und relative Häufigkeiten angegeben.

Vor der Durchführung von Mittelwertvergleichen wurden alle metrischen Variablen mittels des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung überprüft, ab einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurde keine Normalverteilung angenommen. Bei Normalverteilung wurden dann parametrische Tests, bei nicht vorhandener Normalverteilung nicht-parametrische Tests verwendet.

Für den Umgang mit fehlenden Werten wurde der listenweiße Fallauschluss gewählt.

Bei unabhängigen Stichproben metrisch skalierten Variablen kam als parametrisches Testverfahren, nach Überprüfung der Homogenität der Varianz mittels des Levene-Tests, der t-Test für ungepaarte Stichproben zum Einsatz, als nicht-parametrischer Test der Mann-Whitney-U-Test.

Bei abhängigen Stichproben metrisch skalierten Variablen wurde bei nachgewiesener Normalverteilung der t-Test für gepaarte Stichproben genutzt, bei fehlender Normalverteilung hingegen der Wilcoxon-Test.

Kategoriale Variablen wurden anhand des Chi-Quadrat-Tests bzw. bei geringer Fallzahl des exakten Tests nach Fisher getestet.

Für alle Tests wurde ab einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ statistische Signifikanz angenommen (zweiseitige Signifikanzprüfung).

Die Grafiken wurden ebenfalls mit SPSS erstellt. Zur Darstellung der deskriptiven Statistik wurden Boxplots erstellt. Die kategorialen Variablen wurden als einfache oder gruppierte Balkendiagramme dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Studienpopulation

Die 16 nachuntersuchten Patienten wurden anhand des primär durchgeführten OP-Verfahrens in zwei Gruppen unterteilt – die Gruppe der Radiuskorrekturosteotomien (im Folgenden RKO genannt) und die der Physiolyse in Kombination mit Vickers-Band-Entfernungen (im Folgenden PHY genannt).

Die Verteilung der Geschlechter in der Studienpopulation ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Geschlechterverteilung über die gesamte Studienpopulation sowie innerhalb der Gruppen RKO und PHY. Jeweils mit Gesamtzahl der Patienten n innerhalb der jeweiligen Gruppe sowie Angabe der absoluten und relativen Häufigkeit (als n/ %) der Geschlechter. Dass die Gesamtzahl der Patienten hier mit 17 angegeben wird, erklärt sich dadurch, dass eine Patientin an einer Hand eine Physiolyse und an der anderen eine Radiuskorrekturosteotomie erhalten hatte, sie findet sich daher in beiden Gruppen.

	n	Weiblich	Männlich
RKO	12	10/ 83,3	2/ 16,6
PHY	5	4/ 80	1/ 20
Gesamt	17	14/ 82,4	3/ 17,6

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Altersverteilung zum OP-Zeitpunkt innerhalb der beiden Gruppen sowie in der Gesamtpopulation.

Tabelle 6: Alter zum Zeitpunkt der OP in Jahren. Mit Anzahl der Hände (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Median (MED), 1. Quartile (Q1), 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX).

	n	MW	SD	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
RKO	14	21,9	8,9	10,5	14,4	18,7	30,3	36,7
PHY	9	13,2	1,5	11,0	11,6	13,2	14,5	15,0
Gesamt	23	18,5	8,2	10,5	13,2	14,6	19,5	36,7

Abbildung 12 auf Seite 35 veranschaulicht die Altersverteilung zum OP-Zeitpunkt als Boxplot.

Das Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrug in der Gruppe RKO durchschnittlich 29,1 Jahre, der Median lag bei 28,4 Jahren (Spanne: 12,0 – 47,2 Jahre). In der Gruppe PHY ergab sich ein Durchschnittsalter von 18,1 Jahren, der Median lag bei 16,6 Jahren (Spanne: 12,0 – 24,3 Jahre). Das Durchschnittsalter der gesamten Studienpopulation betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 24,8 Jahre.

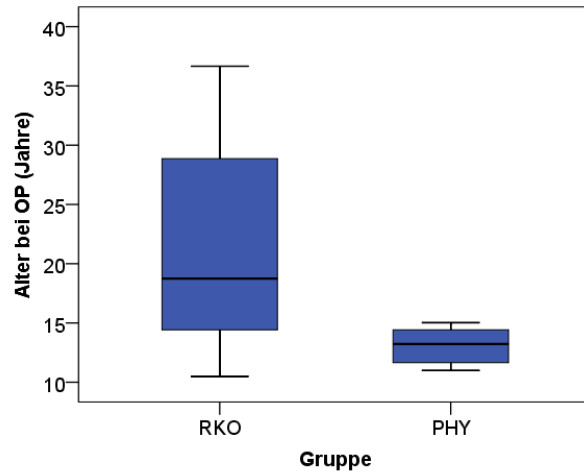


Abbildung 12: Alter zum OP-Zeitpunkt in Jahren für die beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich

Aus dem Alter zum OP-Zeitpunkt und dem Alter während der Nachuntersuchung ergeben sich die Follow-Up-Zeiträume, welche in Tabelle 7 beschrieben werden.

Tabelle 7: Follow-Up-Zeitraum in Jahren. Mit Anzahl der Hände (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX).

	n	MW	SD	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
RKO	14	7,2	4,2	0,5	3,2	7,7	10,8	13,1
PHY	9	5,0	3,8	1,0	1,5	4,2	5,1	11,3
Gesamt	23	6,3	4,1	0,5	2,4	5,1	10,1	13,1

Abbildung 13 stellt die Follow Up-Zeiträume der beiden Gruppen als Boxplot dar.

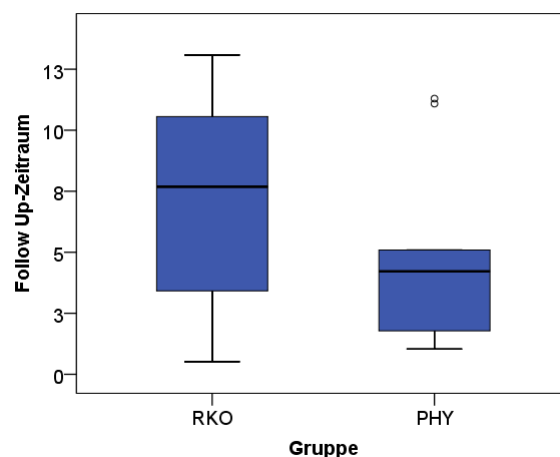


Abbildung 13: Follow Up-Zeitraum der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich, angegeben in Jahren

Bei 15 von 16 Patienten (93,8%) wurde die MD auf beiden Seiten diagnostiziert, bei sieben Patienten (43,8%) mussten auch beide Hände operiert werden.

Die beiden Gruppen wurden bezüglich der durch die Studie gewonnenen Daten sowohl miteinander (präoperativ und postoperativ) als auch innerhalb der jeweiligen Gruppe (jeweils präoperativ vs. postoperativ) verglichen.

3.2 Vergleich der präoperativen Daten

Die präoperativen Daten wurden im Rahmen der retrospektiven Datenerfassung aus den Krankenakten der Patienten gewonnen. In einigen Fällen waren diese unvollständig dokumentiert worden, weshalb die Stichprobengrößen in diesem Kapitel teilweise von den in Kapitel 3.1 angegebenen Gruppengrößen abweichen.

3.2.1 Schmerzfreiheit

Wie in Abbildung 14 dargestellt, bestanden in der Gruppe RKO an allen 14 Händen Schmerzen (100%), in der Gruppe PHY an fünf der neun Hände (55%). Das entsprach im Fisher-Test einem signifikanten Unterschied ($p=0,014$).

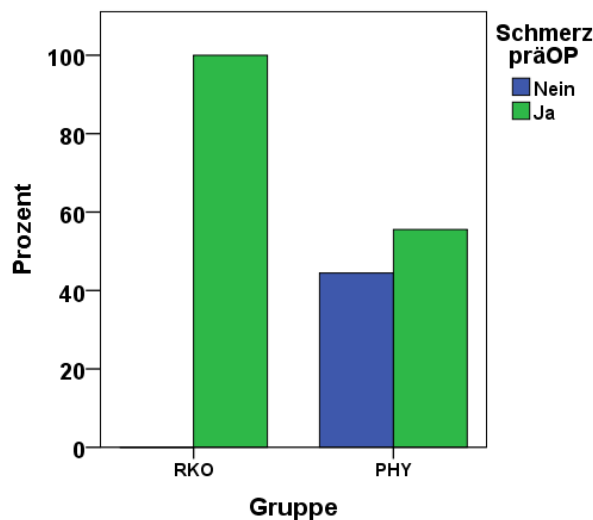


Abbildung 14: Relative Häufigkeit von Schmerzen präoperativ innerhalb der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich.

3.2.2 Visuelle Analogskala

Die VAS in Ruhe und unter Belastung war präoperativ in der Gruppe RKO bei sieben, in der Gruppe PHY bei acht Händen dokumentiert worden.

Abbildung 15 veranschaulicht die gewonnenen Daten als Boxplot. In Ruhe lag der Median in der Gruppe RKO bei 3,0 Punkten (IQA: 0,0 – 5,0 Punkte; Spanne: 0,0 – 7,0

Punkte), in der Gruppe PHY bei 0,0 Punkten (IQA: 0,0 – 0,0 Punkte, Spanne 0,0 – 2,0 Punkte). Unter Belastung lag der Median in der Gruppe RKO bei 7,0 Punkten (IQA: 5,0 – 9,0 Punkte; Spanne 5,0 – 10,0 Punkte), in der Gruppe PHY bei 0,5 Punkten (IQA: 0,0 – 3,0 Punkte; Spanne: 0,0 – 9,0 Punkte).

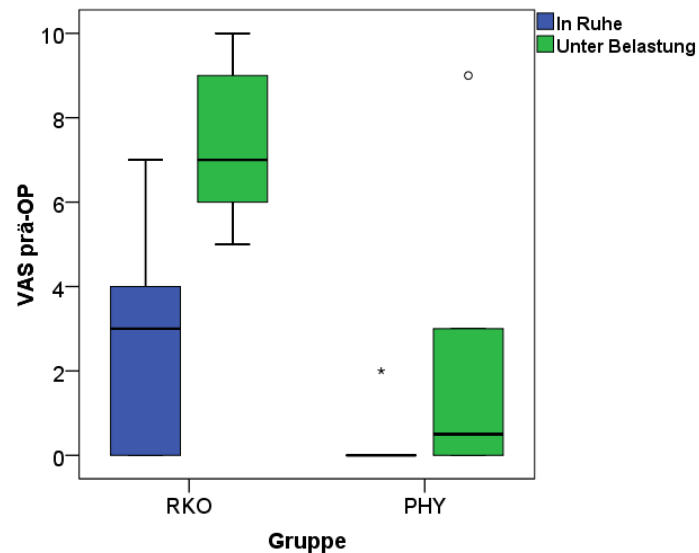


Abbildung 15: Präoperative Visuelle Analogskala (VAS) der beiden Gruppen RKO und PHY, jeweils in Ruhe und unter Belastung, angegeben als Punkte

In Ruhe wurden in der RKO-Gruppe durchschnittlich $2,6 \pm 2,8$ Punkte auf der visuellen Analogskala angegeben, in der PHY-Gruppe $0,3 \pm 0,7$ Punkte. Dieser Unterschied war signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,045$).

Unter Belastung wurden in der Gruppe RKO durchschnittlich $7,3 \pm 2,0$ Punkte auf der visuellen Analogskala angegeben, in der Gruppe PHY im Schnitt $2,0 \pm 3,1$ Punkte. Auch dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,007$).

3.2.3 DASH-Score

Der DASH-Score wurde präoperativ in beiden Gruppen jeweils fünf Mal ermittelt.

In der Gruppe RKO lag der Median bei 38,3 Punkten (IQA: 33,6 – 59,2 Punkte; Spanne: 22,0 – 62,0 Punkte), in der Gruppe PHY bei 1,79 Punkten (IQA: 1,7 – 7,5 Punkte; Spanne: 1,0 – 18,0 Punkte). Abbildung 16 auf Seite 38 veranschaulicht die deskriptive Statistik als Boxplot.

Im Durchschnitt betrug der DASH-Score in der Gruppe RKO $42,9 \pm 17,2$ Punkte, in der Gruppe PHY $6,0 \pm 6,9$ Punkte. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,009$).

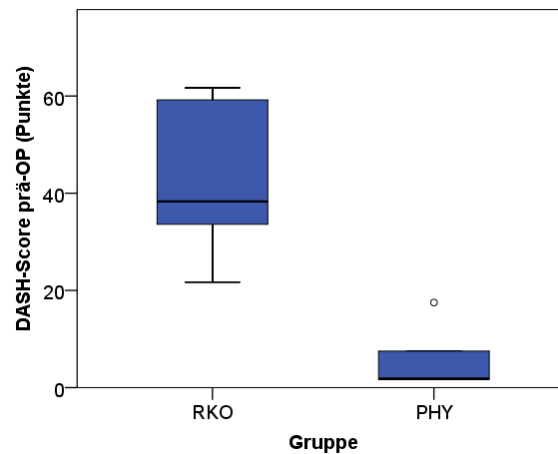


Abbildung 16: Präoperativer DASH-Score der beiden Gruppen im Vergleich

3.2.4 Beweglichkeit des operierten Handgelenkes

Tabelle 8 fasst Stichprobengrößen, Median, Quartilen und Spanne des präoperativen Bewegungsumfangs innerhalb der beiden Gruppen zusammen.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik des präoperativen Bewegungsumfangs in den Gruppen RKO und PHY, jeweils mit Anzahl (n), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). Angabe in Gradzahlen. E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination

	RKO						PHY					
	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
E	9	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	8	20,0	30,0	42,5	60,0	70,0
F	9	50,0	55,0	70,0	85,0	90,0	8	50,0	65,0	70,0	82,5	90,0
U	9	10,0	25,0	30,0	40,0	45,0	8	15,0	20,0	27,5	40,0	45,0
R	9	0,0	10,0	15,0	20,0	25,0	8	0,0	0,0	2,5	10,0	20,0
P	10	20,0	55,0	75,0	80,0	90,0	8	40,0	42,5	52,5	72,5	85,0
S	10	30,0	45,0	70,0	90,0	90,0	8	40,0	50,0	87,5	90,0	90,0

Tabelle 9 zeigt den Mittelwert und die Standardabweichung der sechs Bewegungsrichtungen des operierten Handgelenkes innerhalb der beiden untersuchten Gruppen im Vergleich. Hierbei zeigten sich bei fünf der sechs Bewegungsrichtungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Der Mittelwert der Radialduktion war in der Gruppe RKO etwa 2,5-mal so hoch wie der der Gruppe PHY, was einen statistisch signifikanten Unterschied darstellte.

Tabelle 9: Bewegungsumfang präoperativ, angegeben als Gradzahlen. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte (MW) der Gruppen mit Standardabweichung (SD), n gibt die Anzahl der Hände, p das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen an

	RKO			PHY			p
	n	MW	SD	n	MW	SD	
Extension	9	50,56	13,33	8	44,38	18,79	0,442
Flexion	9	70,56	17,22	8	71,88	13,08	0,922
Ulnarduktion	9	29,44	13,33	8	28,75	10,26	0,907
Radialduktion	9	14,44	8,82	8	5,62	7,29	0,044
Pronation	10	66,50	20,82	8	57,50	17,53	0,344
Supination	10	68,50	24,73	8	73,13	22,19	0,748

3.2.5 Radiologische Parameter

Die radiologischen Parameter konnten präoperativ in beiden Gruppen für alle Hände ermittelt werden. Tabelle 10 fasst die deskriptive Statistik der sechs gemessenen Parameter zusammen.

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter prä-OP, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz

	Einh.	RKO					PHY				
		MIN	Q1	MED	Q3	MAX	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
UT	°	28,0	33,0	35,0	49,0	56,0	23,0	41,0	43,0	46,0	49,0
LS	mm	-5,0	0,0	3,5	8,0	13,0	-1,5	2,0	6,3	8,7	18,0
LFA	°	32,0	39,0	43,5	50,0	74,0	15,0	44,0	52,0	69,0	80,0
PT	°	6,0	13,0	19,0	29,0	41,0	9,0	14,0	41,0	61,0	70,0
PCD	mm	23,0	28,0	30,5	32,0	49,0	21,0	26,2	30,0	31,0	37,0
UV	mm	-4,5	-1,0	1,75	4,5	13,0	-2,0	6,7	8,0	8,0	18,0

Tabelle 11 gibt die Mittelwerte mit deren Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau des Unterschiedes wieder.

Für die fünf McCarroll-Parameter ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachweisen. Die Ulna-Varianz unterschied sich dagegen signifikant zwischen den beiden Stichproben.

Tabelle 11: Radiologische Parameter prä-OP, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidience, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz, p= Signifikanzniveau des Unterschiedes

	Einheit	RKO		PHY		P
		MW	SD	MW	SD	
UT	°	39,3	9,7	40,3	9,2	0,799
LS	mm	3,9	5,2	5,9	5,8	0,412
LFA	°	46,9	12,9	53,8	19,6	0,318
PT	°	20,8	11,1	38,7	24,0	0,108
PCD	mm	30,9	6,4	29,2	4,9	0,634
UV	mm	1,99	4,44	7,07	5,45	0,023

3.3 Gruppe RKO: Vergleich von prä- und postoperativen Daten

3.3.1 Visuelle Analogskala

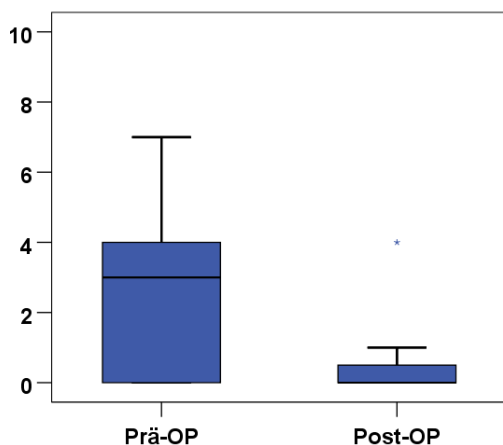


Abbildung 18: VAS in Ruhe in der Gruppe RKO, angegeben in Punkten

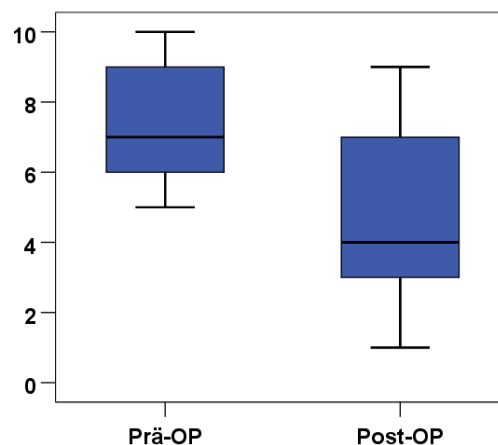


Abbildung 17: VAS unter Belastung in der Gruppe RKO, angegeben in Punkten

Abbildung 17 und Abbildung 18 veranschaulichen die Visuelle Analogskala in Ruhe sowie unter Belastung in der Gruppe RKO als Boxplots. Die präoperative VAS fehlte für 7 Hände. In Ruhe betrug der Median präoperativ 3 Punkte (IQA: 0 - 5; Spanne 0 - 7), postoperativ 0 Punkte (IQA: 0 - 1; Spanne 0 - 4). Unter Belastung betrug der Median vor der OP 7 Punkte (IQA: 5 - 9; Spanne 5 - 10), danach 4 Punkte (IQA: 1 - 7; Spanne: 1 - 9).

Tabelle 12 zeigt die jeweiligen arithmetischen Mittelwerte sowie deren Standardabweichung und p-Werte. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Situation.

Tabelle 12: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe RKO, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie p als Signifikanzniveau des Unterschiedes.

	Prä			Post			p
	n	MW	SD	n	MW	SD	
In Ruhe	7	2,57	2,76	7	0,71	1,50	0,066
Belastung	7	7,43	1,99	7	4,86	3,08	0,104

Wurden auch die Probanden in die Berechnungen mit einbezogen, deren präoperative Daten fehlten, ergaben sich die in Tabelle 13 aufgeführten Werte.

Tabelle 13: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe RKO, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Es wurden auch die Probanden berücksichtigt, deren prä- und postoperative Daten nicht vollständig waren. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

	Prä			Post		
	n	MW	SD	n	MW	SD
In Ruhe	7	2,51	2,76	14	1,14	2,14
Belastung	7	7,43	1,99	14	4,07	3,27

3.3.2 DASH-Score

Der DASH-Score war präoperativ für fünf Hände dokumentiert worden. Abbildung 19 veranschaulicht die gewonnenen Daten als Boxplot. Der Median lag präoperativ bei 38,30 Punkten (IQA: 33,6 - 59,2; Spanne: 22,0 – 62,0), postoperativ bei 15,8 Punkten (IQA: 4,7 - 42,5; Spanne: 1,0 – 48,3).

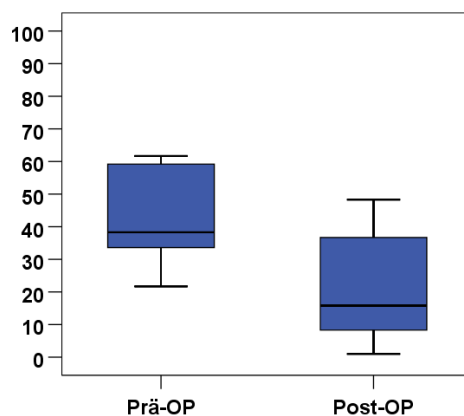


Abbildung 19: DASH-Score in der Gruppe RKO prä- und postoperativ, angegeben in Punkten

Tabelle 14 gibt die prä- und postoperativen Mittelwerte und Standardabweichungen an.

Tabelle 14: DASH-Scores der Gruppe RKO prä- und postoperativ, angegeben mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)

	Prä	Post
n	5	5
MW	42,90	22,02
SD	17,15	19,84

Im Wilcoxon-Test ließ sich hier mit $p=0,223$ kein signifikanter Unterschied feststellen.

Unter Berücksichtigung auch jener Hände mit unvollständigen präoperativen Daten, ergab sich ein postoperativer Mittelwert von $15,31 \pm 15,35$ Punkten ($n=14$).

3.3.3 Beweglichkeit des operierten Handgelenkes

Tabelle 15 stellt die deskriptive Statistik des Bewegungsumfanges des operierten Handgelenkes in der Gruppe RKO im Vergleich zwischen prä- und postoperativer Situation dar.

Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Bewegungsumfanges des operierten Handgelenkes in der Gruppe RKO, prä- und postoperativ. Angabe in Gradzahlen. n= Anzahl, Med= Median, Q1= 1. Quartile, Q3= 3. Quartile, MIN = Minimum, MAX = Maximum, E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination

	Prä						Post					
	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
E	9	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	9	30,0	40,0	50,0	55,0	60,0
F	9	50,0	55,0	70,0	85,0	90,0	9	60,0	60,0	80,0	50,0	90,0
U	9	10,0	25,0	30,0	40,0	45,0	9	10,0	30,0	30,0	40,0	40,0
R	9	0,0	10,0	15,0	20,0	25,0	9	0,0	10,0	15,0	20,0	30,0
P	10	20,0	55,0	75,0	80,0	90,0	10	25,0	60,0	80,0	90,0	90,0
S	10	30,0	45,0	70,0	90,0	90,0	10	60,0	80,0	85,0	90,0	90,0

Tabelle 16 zeigt die arithmetischen Mittelwerte, deren Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau des Unterschiedes der sechs Bewegungsrichtungen des operierten Handgelenkes in der Gruppe RKO prä- und postoperativ.

Tabelle 16: Beweglichkeit in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p.

	Prä			Post			p
	n	MW	SD	n	MW	SD	
Extension	9	50,56	13,33	9	46,67	10,90	0,439
Flexion	9	70,56	17,22	9	75,56	12,36	0,677
Ulnarduktion	9	29,44	13,33	9	30,00	10,00	0,915
Radialduktion	9	14,44	8,81	9	15,56	8,46	0,753
Pronation	10	66,50	20,82	10	69,00	24,13	0,719
Supination	10	68,50	24,73	10	82,00	10,33	0,074

Es ließen sich für keine der sechs Bewegungsrichtungen statistisch signifikante Unterschiede feststellen. Für die Supination konnte ein grenzwertig signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Tabelle 17 stellt die Mittelwerte unter Einbeziehung jener Hände dar, deren präoperative Daten fehlten.

Tabelle 17: Beweglichkeit in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. Postoperativ unter Einbeziehung auch derjeniger Hände mit fehlenden präoperativen Daten. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

	Prä			Post		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Extension	9	50,56	13,33	14	51,43	11,47
Flexion	9	70,56	17,22	14	77,14	10,14
Ulnarduktion	9	29,44	13,33	14	32,50	10,52
Radialduktion	9	14,44	8,81	14	16,43	7,95
Pronation	10	66,50	20,82	14	71,43	20,98
Supination	10	68,50	24,73	14	84,29	9,38

3.3.4 Radiologische Parameter

Tabelle 18 stellt die deskriptive Statistik der radiologischen Parameter in der Gruppe RKO prä- und postoperativ dar.

Tabelle 18: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter in der Gruppe RKO im Vergleich prä-vs. postoperativ, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UP= Ulna-Varianz

	Einh.	Prä					Post				
		MIN	Q1	MED	Q3	MAX	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
UT	°	28,0	33,0	35,0	49,0	56,0	15,0	28,0	31,5	38,0	57,0
LS	mm	-5,0	0,0	3,50	8,0	13,0	-7,0	-3,0	-1,0	6,0	10,0
LFA	°	32,0	39,0	43,5	50,0	74,0	24,0	29,0	38,5	46,0	63,0
PT	°	6,0	13,0	19,0	29,0	41,0	1,0	6,0	16,5	29,0	34,0
PCD	mm	23,0	28,0	30,5	32,0	49,0	14,0	23,0	26,5	31,0	36,0
UV	mm	-4,5	-1,0	1,75	4,5	13,0	-3,0	-1,0	0,0	4,0	10,0

Tabelle 19 gibt die Mittelwerte und deren Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau des Unterschiedes für die sechs gemessenen radiologischen Parameter an.

Tabelle 19: Radiologische Parameter in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. postoperativ. Jeweils mit Einheit in Grad (°) oder Millimeter (mm), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p. UT= Ulna tilt, LS= Lunate subsidence, LFA = Lunate fossa angle, PT= Palmar tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna Varianz.

	Einheit	Prä		Post		P
		MW	SD	MW	SD	
UT	°	39,29	9,68	33,36	10,11	0,070
LS	mm	3,92	5,15	0,90	6,14	0,178
LFA	°	46,86	12,98	39,00	12,23	0,139
PT	°	20,79	11,05	16,50	11,31	0,073
PCD	mm	30,94	6,37	26,58	6,44	0,119
UV	mm	1,99	4,44	1,50	4,38	0,600

Hierbei zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Daten. Für die Parameter Ulna Tilt und Palmar Tilt ließen sich grenzwertig signifikante Unterschiede feststellen.

3.4 Gruppe PHY: Vergleich von prä- und postoperativen Daten

3.4.1 Visuelle Analogskala

Die Visuelle Analogskala lag in der Gruppe PHY präoperativ von acht, postoperativ von allen neun Händen vor. Abbildung 21 und Abbildung 20 veranschaulichen die Daten als Boxplots.

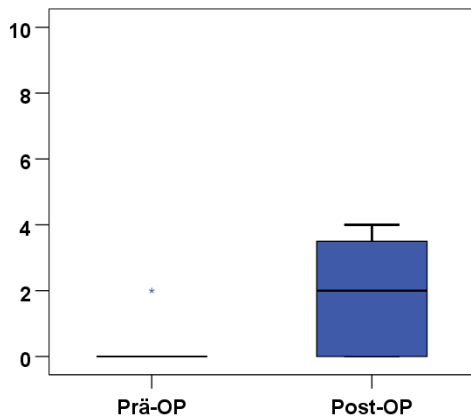


Abbildung 21: VAS in Ruhe in der Gruppe PHY, angegeben in Punkten.

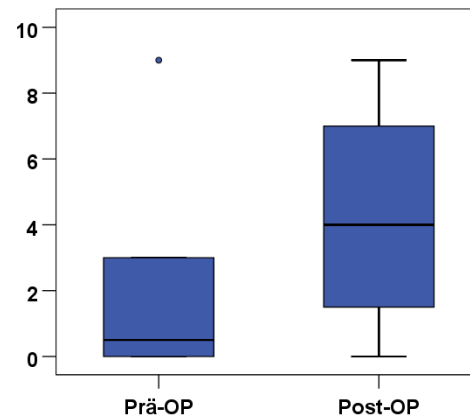


Abbildung 20: VAS unter Belastung in der Gruppe PHY, angegeben in Punkten.

In Ruhe lag der Median präoperativ bei 0 Punkten (IQA: 0 – 0; Spanne 0 - 2), postoperativ bei 2 Punkten (IQA: 0 – 3; Spanne 0 - 4). Unter Belastung lag der Median präoperativ bei 0,5 Punkten (IQA: 0 – 3; Spanne 0 - 9), postoperativ bei 4 Punkten (IQA: 0,75 – 7; Spanne: 0 - 9).

Tabelle 20 gibt die prä- und postoperativen Mittelwerte sowie deren Standardabweichungen und das Signifikanzniveau an. Sowohl in Ruhe als auch unter Belastung ließ sich ein statistisch signifikanter Unterschied feststellen.

Tabelle 20: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe PHY, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie p als Signifikanzniveau des Unterschiedes.

	Prä			Post			p
	n	MW	SD	n	MW	SD	
In Ruhe	8	0,25	0,71	8	1,88	1,72	0,039
Belastung	8	2,00	3,12	8	4,25	3,33	0,042

Wurden auch die Probanden in die Berechnungen mit einbezogen, deren präoperative Daten fehlten, ergaben sich die in Tabelle 21 aufgeführten Werte.

Tabelle 21: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe PHY, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Es wurden auch die Probanden berücksichtigt, deren präoperative Daten unvollständig waren. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

	Prä			Post		
	n	MW	SD	n	MW	SD
In Ruhe	8	0,25	0,71	9	2,00	1,66
Belastung	8	2,00	3,12	9	4,33	3,12

3.4.2 DASH-Score

Der DASH-Score lag präoperativ von fünf Händen, postoperativ von allen neun Händen vor. Abbildung 22 veranschaulicht die gewonnenen Daten als Boxplot. Präoperativ lag der Median bei 1,79 Punkten (IQA: 1,7 - 7,5; Spanne: 2 - 18), postoperativ bei 6,7 Punkten (IQA: 3,35 – 23,8; Spanne 0 – 27,5).

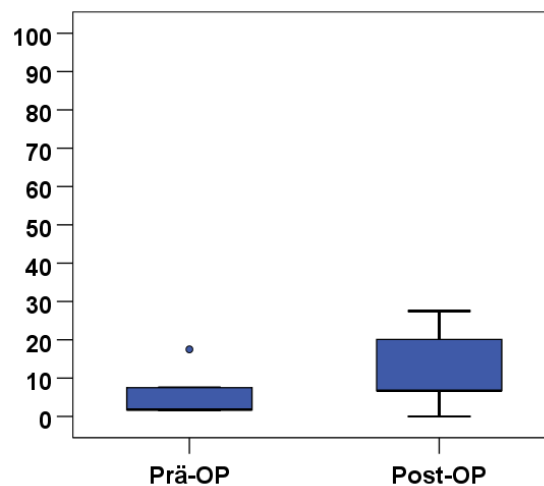


Abbildung 22: Prä- und postoperative DASH-Scores der Gruppe PHY, angegeben in Punkten

Tabelle 22 gibt die prä- und postoperativen Mittelwerte und deren Standardabweichungen an.

Tabelle 22: DASH-Scores der Gruppe PHY prä- und postoperativ, angegeben mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)

	Prä-OP	Post-OP
n	5	5
MW	6,04	12,20
SD	6,88	11,25

Der Unterschied war im Wilcoxon-Test grenzwertig signifikant mit einem p-Wert von 0,078.

Unter Berücksichtigung auch jener Hände mit unvollständigen präoperativen Daten, ergab sich ein postoperativer Mittelwert von 16,14 ± 13,28 Punkten (n=9).

3.4.3 Beweglichkeit des operierten Handgelenkes

Tabelle 23 gibt die deskriptive Statistik des Bewegungsumfanges des operierten Handgelenkes in der Gruppe PHY im Vergleich zwischen prä- und postoperativer Situation an. Tabelle 24 gibt die arithmetischen Mittelwerte mit deren Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den prä- und postoperativen Daten wieder.

Tabelle 23: Deskriptive Statistik des Bewegungsumfanges des operierten Handgelenkes in der Gruppe PHY, prä- und postoperativ. Angabe in Gradzahlen. n= Anzahl, Med= Median, Q1= 1. Quartile, Q3= 3. Quartile, MIN = Minimum, MAX= Maximum, E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination

	Prä						Post					
	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
E	8	20,0	30,0	42,5	60,0	70,0	8	20,0	25,0	37,5	45,0	50,0
F	8	50,0	65,0	70,0	82,5	90,0	8	50,0	60,0	72,5	85,0	90,0
U	8	15,0	20,0	27,5	40,0	40,0	8	0,0	5,0	20,0	40,0	40,0
R	8	0,0	0,0	2,5	10,0	20,0	8	0,0	5,0	10,0	20,0	20,0
P	8	40,0	42,5	52,5	72,5	85,0	8	60,0	70,0	80,0	90,0	90,0
S	8	40,0	50,0	87,5	90,0	90,0	8	85,0	85,0	90,0	90,0	90,0

Tabelle 24: Beweglichkeit in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p.

	Prä		Post		p
	MW	SD	MW	SD	
Extension	44,38	18,79	36,25	8,76	0,221
Flexion	71,88	13,08	72,50	11,34	0,862
Ulnarduktion	28,75	10,26	21,25	17,88	0,084
Radialduktion	5,63	7,29	11,25	7,91	0,074
Pronation	57,50	17,53	78,75	11,26	0,008
Supination	73,13	22,19	88,75	2,32	0,104

Für die Pronation konnte ein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Tabelle 25 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen unter Einbeziehung auch jener Hand dar, deren präoperative Daten fehlten.

Tabelle 25: Beweglichkeit in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. Postoperativ unter Einbeziehung auch derjenigen Hand mit fehlenden präoperativen Daten. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).

	Prä			Post		
	n	MW	SD	n	MW	SD
Extension	8	44,38	18,79	9	37,78	9,39
Flexion	8	71,88	13,08	9	74,44	12,10
Ulnarduktion	8	28,75	10,26	9	23,33	17,85
Radialduktion	8	5,63	7,29	9	11,11	7,41
Pronation	8	57,50	17,53	9	80,00	11,18
Supination	8	73,13	22,19	9	88,89	2,21

3.4.4 Radiologische Parameter

Die radiologischen Parameter lagen prä- und postoperativ von allen Händen vor. Tabelle 26 gibt die Mediane, Quartilen sowie Minima und Maxima im Vergleich zwischen prä- und postoperativer Situation wieder.

Tabelle 26: Deskriptive Statistik der radiologische Parameter in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angegeben als Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz

	Einh.	Prä					Post				
		MIN	Q1	MED	Q3	MAX	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
UT	°	23,0	41,0	43,0	46,0	49,0	10,0	32,5	40,0	45,0	59,0
LS	mm	-1,5	2,0	6,3	8,7	18,0	-1,0	6,0	7,0	11,0	23,0
LFA	°	15,0	44,0	52,0	69,0	80,0	31,0	44,0	49,0	71,0	85,0
PT	°	9,0	14,0	41,0	61,0	70,0	9,0	25,0	58,0	65,0	81,0
PCD	mm	21,0	26,2	30,0	31,0	37,0	21,0	25,0	30,0	33,0	41,0
UV	mm	-2,0	6,7	8,0	8,0	18,0	-1,0	5,0	6,0	9,0	15,0

Die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau p sind in Tabelle 27 aufgeführt.

Für den Parameter Lunate Subsidence zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied. Für die restlichen fünf Parameter ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Tabelle 27: Radiologische Parameter in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Jeweils mit Einheit in Grad (°) oder Millimeter (mm), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p. UT= Ulna tilt, LS= Lunate subsidence, LFA = Lunate fossa angle, PT= Palmar tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna Varianz.

	Einheit	Prä		Post		P
		MW	SD	MW	SD	
UT	°	40,33	9,15	40,33	15,23	1,000
LS	mm	5,86	5,79	9,67	7,73	0,033
LFA	°	53,78	19,58	56,44	17,69	0,606
PT	°	38,67	24,04	48,22	26,26	0,161
PCD	mm	29,23	4,87	29,78	6,69	0,400
UP	mm	7,07	5,45	6,33	4,95	0,591

3.5 Vergleich der postoperativen Daten

Die postoperativen Daten wurden im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelt. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich daher alle Daten in diesem Kapitel auf 14 Hände in der Gruppe RKO bzw. neun Hände in der Gruppe PHY.

3.5.1 Schmerzfreiheit

Abbildung 23 zeigt die postoperative Häufigkeitsverteilung von Schmerzfreiheit für die beiden untersuchten Gruppen. Postoperativ waren in beiden Gruppen jeweils zwei Hände schmerzfrei (RKO: 14,3%, PHY: 22,2%). In der Gruppe RKO bestanden somit an 12 Händen Schmerzen (85,7%), in der Gruppe PHY an 7 Händen (77,8%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen im exakten Fisher-Test (p=1,000).

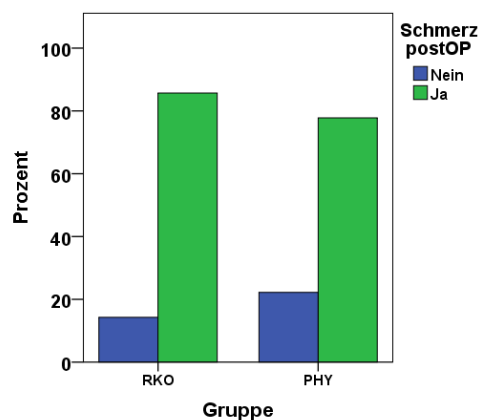


Abbildung 23: Relative Häufigkeit von Schmerzen postoperativ innerhalb der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich

3.5.2 Visuelle Analogskala

Abbildung 24 auf Seite 50 veranschaulicht die postoperative VAS für beide Gruppen als Boxplot. In Ruhe lag der Median in der Gruppe RKO bei 0 Punkten (IQA: 0 - 1; Spanne: 0 - 6), in der Gruppe PHY bei 2 Punkten (IQA: 0 - 3; Spanne 0 - 4). Unter Belastung lag der Median in der Gruppe RKO bei 3,5 Punkten (IQA: 1 - 7; Spanne 0 - 9), in der Gruppe PHY bei 5 Punkten (IQA: 3 - 7, Spanne 0 - 9).

In Ruhe wurden in der Gruppe RKO durchschnittlich $1,1 \pm 2,1$ Punkte auf der Visuellen Analogskala angegeben, in der Gruppe PHY im Durchschnitt $2,0 \pm 1,7$ Punkte. Der Unterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,186$). Unter Belastung wurden in der Gruppe RKO durchschnittlich $4,1 \pm 3,3$ Punkte angegeben, in der Gruppe PHY im Durchschnitt $4,3 \pm 3,1$ Punkte. Dieser Unterschied war ebenfalls nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,898$).

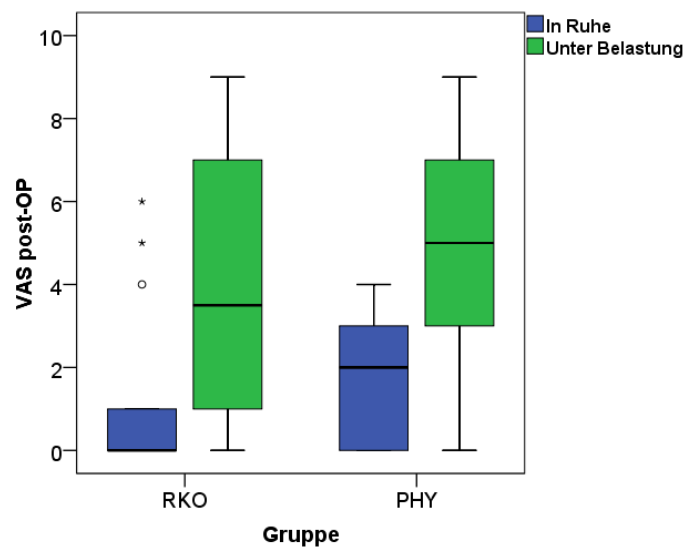


Abbildung 24: Postoperative Visuelle Analogskala (VAS) der beiden Gruppen RKO und PHY, jeweils in Ruhe und unter Belastung, angegeben als Punkte

3.5.3 DASH

Abbildung 25 stellt die postoperativ ermittelten DASH-Scores als Boxplot dar. In der Gruppe RKO lag der Median bei 11,25 Punkten (IQA: 4,2 - 20,0; Spanne: 0 - 48,3), in der Gruppe PHY bei 20,1 Punkten (IQA: 6,7 - 27,5; Spanne 0 - 36,7).

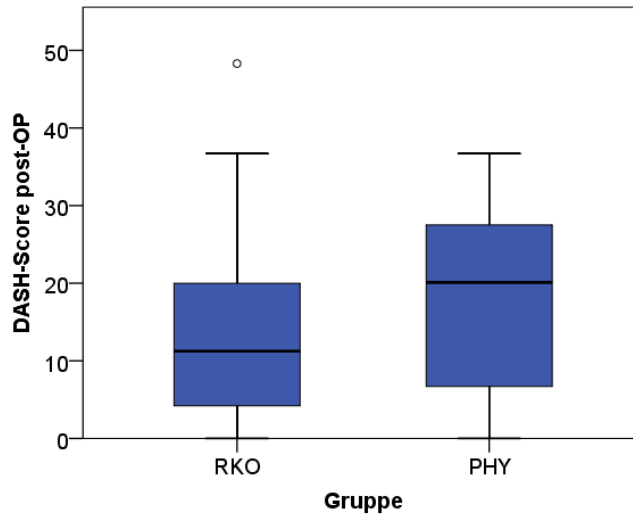


Abbildung 25: DASH-Score postoperativ der beiden Gruppen im Vergleich, angegeben als Punkte.

Im Durchschnitt erzielten die Probanden der Gruppe RKO einen DASH-Score von $15,3 \pm 15,4$ Punkten, die der Gruppe PHY durchschnittlich $16,1 \pm 13,3$ Punkte. Dieser Unterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,752$).

3.5.4 EQ-5D-3L

Tabelle 28 gibt den Median und die Quartilen der beiden EQ-5D-3L Indices sowie der EQ-5D-3L Visuellen Analogskala wieder.

Tabelle 28: Median (MED), 1. Quartile (Q1), 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN) und Maximum (MAX) für den EQ-5D-3L VAS-Index, TTO-Index und die EQ-5D-3L VAS der beiden Gruppen RKO und PHY., angegeben als Punkte.

	RKO			PHY		
	VAS-Index	TTO-Index	VAS	VAS-Index	TTO-Index	VAS
MIN	0,38	0,36	50	0,64	0,80	78
Q1	0,65	0,89	80	0,65	0,89	87
MED	1,00	1,00	90	0,82	1,00	90
Q3	1,00	1,00	95	1,00	1,00	93
MAX	1,00	1,00	100	1,00	1,00	99

Abbildung 26 veranschaulicht die deskriptive Statistik der beiden Indices als Boxplot.

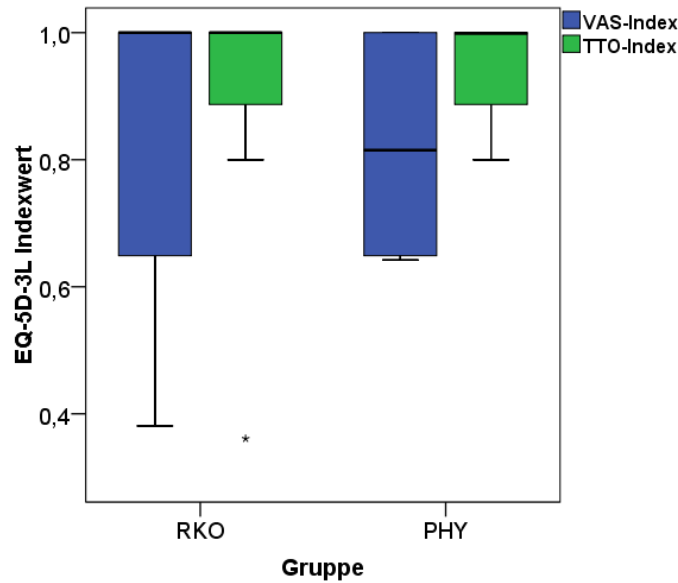


Abbildung 26: EQ-5D-3L VAS- und TTO-Index der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich

Im nach der VAS-Methode ermittelten EQ-5D-3L-Index erreichte die Gruppe RKO im Durchschnitt einen Wert von $0,87 \pm 0,21$ Punkten, die Gruppe PHY durchschnittlich $0,84 \pm 0,16$ Punkte. Dieser Unterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,601$).

Im nach der TTO-Methode ermittelten EQ-5D-3L-Index erzielte die Gruppe RKO im Durchschnitt einen Wert von $0,92 \pm 0,17$ Punkten, die Gruppe PHY durchschnittlich $0,95 \pm 0,08$ Punkte. Dieser Unterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,649$).

Auf der EQ-5D-3L Visuellen Analogskala wurden in der Gruppe RKO durchschnittlich $83,9 \pm 17,6$ Punkte angegeben, in der Gruppe PHY im Mittel $89,3 \pm 7,8$ Punkte. Auch dieser Unterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,975$).

3.5.5 PRWE-G

Abbildung 27 stellt die drei PRWE-G Scores der beiden Gruppen als Boxplot dar.

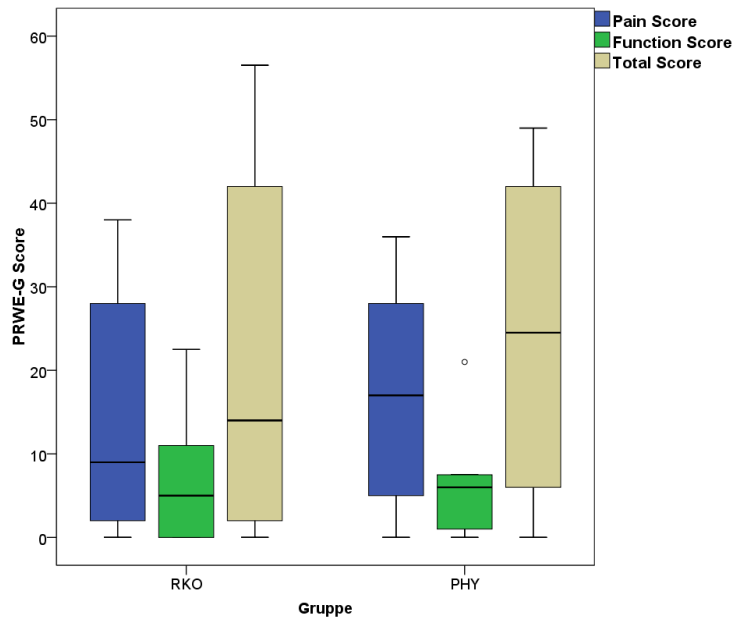


Abbildung 27: Pain Score, Function Score und Total Score des PRWE-G der beiden Gruppen RKO und PHY, angegeben in Punkten.

Tabelle 29 zeigt die deskriptive Statistik der drei Scores des PRWE-G für die beiden untersuchten Gruppen an.

Tabelle 29: Pain Score, Function Score und Total Score des PRWE-G Fragebogens, angegeben in Punkten, für die beiden Gruppen RKO und PHY. Dargestellt sind der Median (MED) sowie 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3)

	RKO			PHY		
	Pain	Function	Total	Pain	Function	Total
MIN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q1	2,0	0,0	2,0	5,0	1,0	2,0
MED	9,0	5,0	14,0	17,0	6,0	15,0
Q3	28,0	11,0	42,0	28,0	7,5	42,0
MAX	38,0	22,5	56,5	36,0	21,5	49,0

Tabelle 30 zeigt die Mittelwerte und deren Standardabweichung sowie den p-Wert der drei Scores in den beiden Gruppen RKO und PHY.

Tabelle 30: PRWE-G Scores postoperativ. Pain Score, Function Score und Total Score mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) sowie p-Wert als Signifikanzniveau des Unterschiedes.

	RKO		PHY		p
	MW	SD	MW	SD	
Pain Score	14,21	14,17	16,00	14,58	0,775
Function Score	7,39	8,19	5,56	6,61	0,773
Total Score	21,61	21,67	21,56	19,43	0,975

Bei keinem der drei Scores ließ sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen feststellen.

3.5.6 SF-36

Für das Einzelitem zur Gesundheitsveränderung innerhalb des letzten Jahres gab die Gruppe RKO im Durchschnitt $2,6 \pm 1,2$ Punkte an (Median: 3,0; IQA: 1,0 - 4,0; Spanne 1,0 – 4,0), die Gruppe PHY durchschnittlich $2,4 \pm 1,1$ Punkte (Median 2,0; IQA: 2,0 - 3,0; Spanne 1,0 – 4,0 Punkte). Abbildung 28 veranschaulicht die deskriptive Statistik als Boxplot.

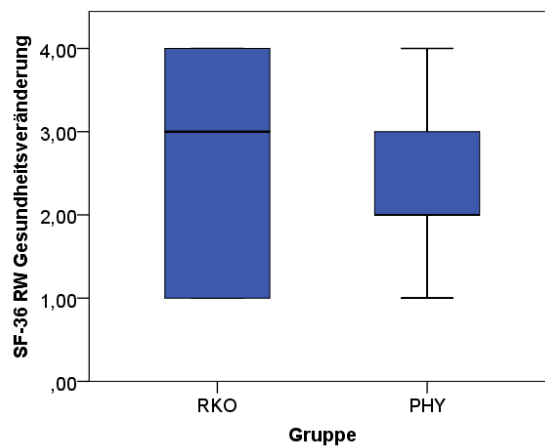


Abbildung 28: Boxplot zum SF-36 Item "Rohwert Gesundheitsveränderung" zum Vergleich der beiden Gruppen RKO und PHY.

Der Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Gruppen war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,795$).

Tabelle 31 fasst Median, erste und dritte Quartile sowie Minimum und Maximum der acht Subskalenscores des SF-36 zusammen.

Tabelle 31: Deskriptive Statistik der acht postoperativen SF-36 Subskalenscores, jeweils mit Median (MED), erster Quartile (Q1) und dritter Quartile (Q3, Minimum (MIN), Maximum (MAX). KF= Körperliche Funktionsfähigkeit, KR= Körperliche Rollenfunktion, SZ= Schmerz, AGW= Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, VIT= Vitalität, SF= Soziale Funktionsfähigkeit, ER= Emotionale Rollenfunktion, PW= Psychisches Wohlbefinden

	RKO					PHY				
	MIN	Q1	MED	Q3	MAX	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
KF	70,0	85,0	92,5	100,0	100,0	85,0	85,0	90,0	100,0	100,0
KR	25,0	100,0	100,0	100,0	100,0	25,0	50,0	100,0	100,0	100,0
SZ	22,0	51,0	84,0	100,0	100,0	51,0	62,0	62,0	84,0	100,0
AGW	30,0	70,0	82,0	100,0	100,0	52,0	92,0	92,0	97,0	100,0
VIT	50,0	60,0	77,5	85,0	90,0	45,0	60,0	75,0	75,0	80,0
SF	62,25	100,0	100,0	100,0	100,0	62,25	100,0	100,0	100,0	100,0
ER	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0
PW	55,0	68,0	80,0	92,0	100,0	55,0	72,0	84,0	92,0	96,0

Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen p sind in Tabelle 32 dargestellt. Bei keinem der Scores bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Tabelle 32: SF-36 Subskalenscores, pro Gruppe jeweils mit Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Signifikanzwert p. KF= Körperliche Funktionsfähigkeit, KR= Körperliche Rollenfunktion, SZ= Schmerz, AGW= Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, VIT= Vitalität, SF= Soziale Funktionsfähigkeit, ER= Emotionale Rollenfunktion, PW= Psychisches Wohlbefinden

	RKO		PHY		p
	MW	SD	MW	SD	
KF	90,71	8,96	92,78	7,12	0,625
KR	85,71	28,95	80,56	30,05	0,624
SZ	73,79	25,86	72,89	19,46	0,872
AGW	79,93	20,27	86,00	19,54	0,523
VIT	73,21	14,49	65,56	13,57	0,126
SF	93,75	12,74	91,67	16,54	0,827
ER	88,10	30,96	85,19	29,40	0,702
PW	78,79	14,71	81,67	13,23	0,727

Für die aus den vier körperlichen Subskalenscores errechnete Körperliche Summenskala ergab sich in der Gruppe RKO ein durchschnittlicher Punktwert von $51,3 \pm 6,4$ Punkten (Median 54,0; IQA: 47,9 - 55,8; Spanne 35,6 – 57,1), in der Gruppe PHY $51,5 \pm 4,9$ Punkte (Median 49,90; IQA: 46,4 - 55,7; Spanne: 45,9 – 57,1). Der Unterschied zwischen den Mittelwerten war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,975$).

Aus den vier psychischen Subskalenscores wurde die Psychische Summenskala errechnet. In der Gruppe RKO ergab sich hier ein Mittelwert von $53,1 \pm 9,3$ Punkten (Median: 55,39; IQA: 52,1 - 59,9; Spanne: 32,5 – 62,3), in der Gruppe PHY $52,2 \pm 8,9$ Punkte (Median: 56,2; IQA: 52,9 - 56,9; Spanne: 36,7 – 58,5). Auch dieser Mittelwertunterschied war nicht signifikant im Mann-Whitney-U-Test ($p=0,776$).

3.5.7 Beweglichkeit des operierten Handgelenkes

Tabelle 33 fasst Stichprobengrößen, Median sowie erste und dritte Quartile der postoperativen Bewegungsumfänge innerhalb der beiden Gruppen zusammen.

Tabelle 33: Deskriptive Statistik des postoperativen Bewegungsumfanges in den Gruppen RKO und PHY, jeweils mit Anzahl (n), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). Angabe in Gradzahlen. E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination

	RKO						PHY					
	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX	n	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
E	14	30,0	37,5	52,5	62,5	70,0	9	20,0	32,5	40,0	45,0	50,0
F	14	60,0	71,25	80,0	81,25	90,0	9	60,0	62,5	80,0	85,0	90,0
U	14	10,0	27,5	32,5	40,0	50,0	9	0,0	5,0	30,0	40,0	40,0
R	14	0,0	10,0	15,0	20,0	30,0	9	0,0	5,0	10,0	20,0	20,0
P	14	25,0	63,75	80,0	90,0	90,0	9	60,0	70,0	80,0	90,0	90,0
S	14	60,0	80,0	90,0	90,0	90,0	9	85,0	87,5	90,0	90,0	90,0

Tabelle 34 gibt die entsprechenden arithmetischen Mittelwerte sowie deren Standardabweichungen und das Signifikanzniveau des Unterschiedes wieder.

Tabelle 34: Bewegungsumfang postoperativ, angegeben als Gradzahlen. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte (MW) der Gruppen mit Standardabweichung (SD), n gibt die Anzahl der Hände, p das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen an

	RKO			PHY			p
	n	MW	SD	n	MW	SD	
Extension	14	51,43	11,47	9	37,78	9,39	0,021
Flexion	14	77,14	10,14	9	74,44	12,11	0,715
Ulnarduktion	14	32,50	10,52	9	23,33	17,85	0,311
Radialduktion	14	16,43	7,95	9	11,11	7,41	0,120
Pronation	14	71,43	20,98	9	71,41	11,81	0,379
Supination	14	84,29	9,38	9	88,89	2,21	0,296

Postoperativ zeigten sich für fünf der sechs Bewegungsrichtungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Der Mittelwert der Extension unterschied sich dagegen statistisch signifikant zwischen den beiden Stichproben.

3.5.8 Beweglichkeit der Finger und des Daumens

Tabelle 35 gibt die Anzahl der Hände mit freier bzw. eingeschränkter Beweglichkeit der Finger und des Daumens in den beiden untersuchten Gruppen wieder.

Tabelle 35: Beweglichkeit der Finger und des Daumens, postoperativ. Angabe der Anzahl der Hände, bei denen die Beweglichkeit frei bzw. eingeschränkt war, in absoluten Zahlen.

	RKO		PHY	
	frei	eingeschränkt	frei	eingeschränkt
Finger Flexion	14	0	9	0
Finger Extension	14	0	9	0
Daumen Opposition	14	0	9	0

Postoperativ war sowohl die Beweglichkeit der Finger als auch die Opposition des Daumens in beiden Gruppen bei allen Händen völlig frei. Es war kein gruppenspezifischer Unterschied feststellbar.

3.5.9 Grobkraft

Abbildung 29 veranschaulicht die gewonnenen Daten als Boxplot. In der Gruppe RKO lag der Median bei 21 kg (IQA: 16 – 35; Spanne 12 - 45), in der Gruppe PHY bei 25 kg (IQA: 14 – 28; Spanne 14 - 28).

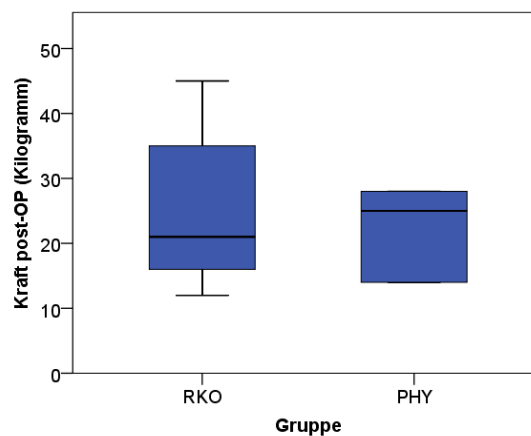


Abbildung 29: Grobkraft postoperativ, angegeben in Kilogramm. Vergleich zwischen den beiden Gruppen RKO und PHY

Die Gruppe RKO konnte im Durchschnitt $24,4 \pm 11,9$ kg aufbringen, die Gruppe PHY durchschnittlich $21,9 \pm 6,4$ kg. Zwischen den beiden Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied im t-Test ($p=0,576$).

3.5.10 Kraft im Schlüsselgriff

Für die Kraft im Schlüsselgriff wurde in der Gruppe RKO ein Median von 5,0 kg ermittelt (IQA: 4,0 – 5,0; Spanne: 3,0 – 10,0), in der Gruppe PHY lag der Median bei 6,0 kg (IQA: 5,25 – 7,0; Spanne: 3,0 – 7,0).

Der Mittelwert betrug in der Gruppe RKO $5,5 \pm 3,6$ kg, in der Gruppe PHY $5,9 \pm 1,4$ kg. Im Mann-Whitney-U-Test konnte hier kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p=0,062$).

3.5.11 Radiologische Parameter

Postoperativ konnten die radiologischen Parameter in der Gruppe PHY für alle neun Hände ermittelt werden. In der Gruppe RKO konnten die Parameter Ulna tilt und Palmar tilt für alle 14 Hände ermittelt werden, die restlichen Parameter für 12 Hände. An zwei Hände waren im Verlauf Rettungseingriffe mit Entfernung des Ulna-Kopfes vorgenommen worden, welcher als Referenzpunkt für die Messung der fehlenden vier Parameter benötigt worden wäre. Tabelle 36 fasst die deskriptive Statistik der postoperativen radiologischen Parameter zusammen.

Tabelle 36: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter post-OP, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz

	Einh.	RKO					PHY				
		MIN	Q1	MED	Q3	MAX	MIN	Q1	MED	Q3	MAX
UT	°	15,0	28,0	31,5	38,0	57,0	10,0	32,0	42,0	49,0	59,0
LS	mm	-7,0	-3,0	-1,0	6,0	10,0	-1,0	6,0	7,0	11,0	23,0
LFA	°	24,0	29,0	38,5	46,0	63,0	31,0	44,0	49,0	71,0	85,0
PT	°	1,0	6,0	16,5	29,0	34,0	9,0	25,0	58,0	65,0	81,0
PCD	mm	14,0	23,0	26,5	31,0	36,0	21,0	25,0	30,0	33,0	41,0
UV	mm	-3,0	-1,0	0,0	4,0	10,0	-1,0	5,0	6,0	9,0	15,0

Tabelle 37 gibt Mittelwerte, Standardabweichung und das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen der sechs ermittelten Parameter wieder.

Tabelle 37: Radiologische Parameter post-OP, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante, p= Signifikanzniveau des Unterschiedes

	Einheit	RKO		PHY		P
		MW	SD	MW	SD	
UT	°	33,36	10,11	40,33	15,23	0,199
LS	mm	0,90	6,14	9,67	7,73	0,014
LFA	°	39,00	12,23	56,44	17,69	0,015
PT	°	16,50	11,31	48,22	26,26	0,007
PCD	mm	26,58	6,44	29,78	6,69	0,336
UP	mm	1,50	4,38	6,33	4,95	0,037

Für vier der sechs Parameter (Lunate subsidence, Lunate fossa angle, Palmar tilt, Ulna-Varianz) ließen sich postoperativ statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Die Mittelwerte der Parameter Ulna tilt und Palmar carpal displacement unterschieden sich dagegen nicht signifikant zwischen RKO und PHY.

3.5.12 Instabilität im DRUG

In der Gruppe RKO wurde postoperativ an zwei Händen (14,3%) eine Instabilität im DRUG klinisch festgestellt, in der Gruppe PHY bei keiner (0%). Entsprechend lag bei 85,7% der Hände in der Gruppe RKO und 100% der Hände in der Gruppe PHY keine Instabilität vor. Dieser Unterschied war nicht statistisch signifikant ($p=0,502$).

3.5.13 Komplikationen

In der Gruppe RKO wurde anamnestisch an einer Hand (7,1%) von Komplikationen berichtet: einer Wundinfektion, welche aber in einem anderen Krankenhaus behandelt wurde. In der Gruppe PHY traten keine Komplikationen auf.

In der Gruppe RKO wurde für vier Hände (28,5%) angegeben, dass nach der Operation subjektiv starke Schmerzen im Bereich der OP bestanden, in der Gruppe PHY bei keiner.

3.5.14 Folgeoperationen

Tabelle 38 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von Folgeoperationen im Verlauf nach der Radiuskorrekturosteotomie bzw. Physiolyse mit Vickers-Band Entfernung innerhalb der beiden Gruppen.

Tabelle 38: Anzahl der Hände in absoluten und relativen Zahlen, an denen nach der primären Operation im Verlauf weitere Operationen erfolgten bzw. nicht erfolgten.

Folgeoperationen	RKO		PHY	
	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Keine	10	71,4%	8	88,9%
Mindestens eine	4	28,6%	1	11,1%

In der Gruppe RKO wurde nach der primären Radiuskorrektur an zwei Händen jeweils eine Ulnaverkürzungsosteotomie durchgeführt, an zwei weiteren Händen wurden nach mehreren extern durchgeführten Operationen Rettungseingriffe nötig (eine Bowers-OP, eine Implantation einer Scheker-Prothese). In der Gruppe PHY war nach der primären Physiolyse an einer Hand eine Radiuskorrekturosteotomie durchgeführt worden. Im exakten Fisher-Test ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen feststellen ($p=0,611$).

Als Grund für die erneuten Operationen wurden in der Gruppe RKO in drei Fällen Schmerzen, in einem Fall mangelnde Beweglichkeit der Hand angegeben. In der Gruppe PHY waren ebenfalls Schmerzen der Grund für die OP.

Es stellte sich die Frage, ob die Hände, die weitere OPs benötigten ($n=5$), bereits präoperativ deformierter waren, als diejenigen, die nur einmal operiert wurden ($n=18$), weshalb die Mittelwerte der präoperativen radiologischen Parameter in Tabelle 39 betrachtet werden.

Tabelle 39: Präoperative radiologische Parameter der Hände mit und ohne weitere OPs, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante

	Keine weitere OP		Weitere OP		p
	MW	SD	MW	SD	
UT (°)	38,06	9,50	45,60	5,86	0,062
LS (mm)	3,72	5,52	8,14	3,16	0,052
LFA (°)	48,56	16,67	53,20	13,39	0,526
PT (°)	27,56	19,23	28,60	20,44	0,737
PCD (mm)	29,51	3,64	33,04	10,73	0,476
UP (mm)	3,32	5,47	6,36	4,74	0,167

Für die Parameter UT und LS ließen sich hier grenzwertig signifikante Unterschiede feststellen. Tabelle 40 stellt zudem die mittleren postoperativen VAS und DASH-Scores dieser beiden Gruppen im Vergleich dar, signifikante Unterschiede waren nicht feststellbar.

Tabelle 40: Postoperative Mittelwerte von VAS in Ruhe und Belastung sowie DASH der Hände mit und ohne weitere Operationen im Vergleich. Jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

	Keine weitere OP		Weitere OP		p
	MW	SD	MW	SD	
VAS Ruhe	1,39	1,96	1,80	2,17	0,536
VAS Belastung	4,33	3,33	3,60	2,61	0,763
DASH	14,70	13,69	19,02	17,44	0,500

3.5.15 Fragen zum Gesundheitsstatus

In der Gruppe RKO wurde für 11 Hände (78,6%) angegeben, dass die Radiuskorrekturosteotomie eine subjektive Besserung des Gesundheitsstatus erbracht hatte, in der Gruppe PHY waren es 7 Hände (77,8%) bezüglich der Physiolyse mit Vickers-Band-Resektion. Dies stellte keinen signifikanten Unterschied dar ($p=1,000$).

In der Gruppe RKO wurde für drei Hände (21,4%) angegeben, dass die Patienten die Operation nicht noch einmal vornehmen lassen würden, in der Gruppe PHY waren es ebenfalls drei Hände (33,3%). Es konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden ($p=0,385$).

Die Differenz zwischen dem Jahr, in welchem erstmals MD-assozierte Beschwerden auftraten und dem Jahr der Operation betrug in der Gruppe RKO durchschnittlich $4,8 \pm 1,4$ Jahre (Spanne: 0 – 18), in der Gruppe PHY $2,3 \pm 1,2$ Jahre (Spanne 0 – 7). Der Unterschied war nicht signifikant ($p=0,149$).

3.5.16 Beidseitig operierte Patienten

Bei der Auswertung der Daten stellte sich zudem die Frage, ob das Vorliegen einer beidseitig therapiebedürftigen MD ($n=14$) mit dem Vorliegen schwerer Formen der Deformität assoziiert war als bei Händen, auf deren Gegenseite keine OP notwendig war ($n=9$). Tabelle 41 zeigte die mittleren Messwerte der präoperativen radiologischen Parameter dieser beiden Gruppen.

Tabelle 41: Präoperative radiologische Parameter der Hände mit und ohne OP auf der Gegenseite, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante

	Keine OP auf Gegenseite		OP auf Gegenseite		p
	MW	SD	MW	SD	
UT (°)	43,33	9,55	37,29	8,58	0,101
LS (mm)	4,54	5,76	4,76	5,38	1,000
LFA (°)	52,67	12,49	47,57	17,83	0,298
PT (°)	18,33	11,67	33,86	20,67	0,083
PCD (mm)	32,24	7,39	29,01	4,29	0,326
UP (mm)	2,38	5,38	5,01	5,31	0,174

Tabelle 42 gibt die postoperativen Mittelwerte von VAS und DASH-Score beider Gruppen an.

Tabelle 42: Postoperative Mittelwerte von VAS in Ruhe und Belastung sowie DASH der Hände mit OP auf der Gegenseite im Vergleich zu den Händen ohne gegenseitige OP. Jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

	Keine OP auf Gegenseite		OP auf Gegenseite		p
	MW	SD	MW	SD	
VAS Ruhe	1,78	2,49	1,29	1,64	0,676
VAS Belastung	5,11	2,57	3,56	3,41	0,225
DASH	18,81	14,91	13,60	14,00	0,311

Weder bei den präoperativen radiologischen Parametern noch bei den postoperativen PROMs ließen sich statistisch signifikante Unterschiede feststellen.

4 Diskussion

Im Ergebnisteil wurde unter anderem dargestellt, dass im Vergleich von prä- zu postoperativ in der Gruppe RKO eine Verbesserung des Schmerzstatus, der Beweglichkeit sowie der radiologischen Parameter erreicht wurde. In der Gruppe PHY kam es dagegen zu einer Verschlechterung von Schmerzstatus und radiologischen Parametern. Postoperativ schienen die beiden Gruppen vom Schmerzstatus und der Funktionalität der Hände dann auf einem vergleichbaren Niveau zu sein. Die bereits präoperativ im Gruppenvergleich durchschnittlich etwas höheren Werte der radiologischen Messungen in der Gruppe PHY nahmen weiter zu, so dass sich hier postoperativ mehrere signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ergaben. Im Folgenden werden die Ergebnisse im Detail diskutiert.

4.1 Methodendiskussion

Aufgrund der Seltenheit der Madelung-Deformität und der daher erwarteten geringen Stichprobengröße wurde vor Studienbeginn auf die Durchführung von Poweranalysen verzichtet. Stattdessen wurden alle Patienten einbestellt, die innerhalb des relativ langen Zeitraumes von 17,5 Jahren aufgrund einer diagnostizierten MD operiert worden waren, um so eine möglichst große Studienpopulation zu erreichen. Auch Patienten, die primär mit anderen als den in dieser Studie untersuchten Operationsverfahren behandelt worden waren, wurden zur Nachuntersuchung eingeladen, um sie gegebenenfalls zur Einzelfallbetrachtung heranziehen zu können. Im eingeladenen Patientenkollektiv befanden sich insgesamt 33 Hände, die primär mit einer Radiuskorrekturosteotomie behandelt worden waren, sowie 9 Hände, die primär mit einer Kombination aus Physiolyse und Entfernung des Vickers-Bandes behandelt worden waren. Somit ergab sich für die Gruppe RKO (n=14) eine Drop-Out-Rate von 57%, für die Gruppe PHY (n=9) dagegen eine Drop-Out-Rate von 0%. Während die Gruppe PHY also das gesamte mögliche Kollektiv abbildet, ist die Repräsentativität der Gruppe RKO für die Grundgesamtheit der primären Radiuskorrekturosteotomien fraglich. Deren hohe Drop-Out-Rate wurde maßgeblich durch den langen

Untersuchungszeitraum (17,5 Jahre) bedingt, 22 der insgesamt 50 eingeladenen Patienten waren bei Studienbeginn unbekannt verzogen.

Zur radiologischen Messung der Ausprägung der Deformität wurden die McCarroll-Parameter herangezogen, da diese im Gegensatz zu den in Kapitel 1.6 erläuterten rein qualitativen Dannenberg-Kriterien quantitativ und somit weniger subjektiv sind. Sie stützen sich auf die Längsachse der Ulna als zentrale Referenzlinie, wodurch der bei der Madelung-Deformität häufig verformte Radius sowie die Fossa Lunata als Bezugspunkte umgangen werden. Von den fünf Parametern stellten sich bei der Evaluierung durch McCarroll et al. vor allem Ulnar tilt, Lunate subsidence und Palmar carpal displacement als reliabel und reproduzierbar heraus und wurden zur Beschreibung der radiologischen Schwere der Deformität empfohlen. Zwar konnte auch für den Parameter Lunate fossa angle akzeptable Reproduzierbarkeit und Reliabilität gezeigt werden, McCarroll sah den Nutzen dieser Messung aber vor allem in der Identifizierung sehr früher Stadien der Erkrankung. Der Parameter Palmar Tilt zeigte nur unbefriedigende Reliabilität, aus Gründen der Vollständigkeit wurde er in der vorliegenden Studie trotzdem gemessen, seine Aussagekraft bei der Interpretation der Ergebnisse sollte aber entsprechend gering eingestuft werden. [50]

Bezüglich des Parameters Lunate subsidence ist anzumerken, dass dieser, genau wie der in dieser Studie ebenfalls erhobene Parameter Ulna-Varianz, die Länge der Ulna in Relation zum proximalen Pol des Os Lunatum misst. Farr et al. konnten die überlegene Reliabilität der Messung der Lunate subsidence gegenüber der Ulna-Varianz bei der Madelung-Deformität zeigen [74]. Auch die Aussagekraft der Ulna-Varianz sollte in dieser Studie dementsprechend als eher gering eingestuft werden.

4.2 Studienpopulation

In der Gruppe PHY, in welcher die Hände primär mit einer Physiolyse in Kombination mit der Entfernung des Vickers-Bandes behandelt worden waren, war die Stichprobengröße kleiner, das Durchschnittsalter und der durchschnittliche Follow-Up-Zeitraum dagegen größer als in den beiden bisher erschienenen Studien zu dieser Operation (siehe Tabelle 43). Bezüglich des Alters während der OP war unser Kollektiv etwas älter als das Kollektiv

von Vickers et al. und wesentlich älter als das Kollektiv von Otte et al., die nur Kinder im Grundschulalter einschlossen, welche in unserer Studie nicht betrachtet wurden (Minimales OP-Alter in der Gruppe PHY: 10,98 Jahre).

Tabelle 43: Bisherige Studien zur primären Physiolyse mit Entfernung des Vickers-Bandes (PHY). Angegeben sind Anzahl der Hände (n), Durchschnittsalter zum OP-Zeitpunkt in Jahren sowie Follow-Up-Zeitraum (FU) in Monaten (als Durchschnitt (Min. – Max.)).

Erstautor	Jahr	Verfahren	n	Durchschnittsalter (y)	FU (m)
Vickers [10]	1992	PHY	15	12 (11 – 14)	k.A. (12 – 144)
Otte [77]	2019	PHY	12	7,5 (7 – 9)	30 (17 – 51)

Die Stichprobe der Gruppe RKO war die größte unter den bisher erschienenen Studien zur primären Radiuskorrekturosteotomie. Sowohl Durchschnittsalter während der OP als auch durchschnittlicher Follow-Up-Zeitraum bewegten sich im Vergleich zur Literatur im oberen Mittelfeld (siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Bisherige Studien zur primären Radiuskorrekturosteotomie. Angegeben sind Anzahl der Hände (n), Durchschnittsalter zum OP-Zeitpunkt in Jahren (als Durchschnitt, Minimum – Maximum) sowie Follow-Up-Zeitraum (FU) in Monaten (als Durchschnitt, Minimum – Maximum). BOWO = Biplanar corrective opening wedge osteotomy, TWO= Trapezoidal wedge osteotomy, RWO= Reverse wedge osteotomy

Erstautor	Jahr	Verfahren	n	Durchschnittsalter (y)	FU (m)
Murphy [52]	1996	BOWO	12	16 (9 – 31)	48 (13 – 97)
Dagrégorio [78]	2005	RWO	5	22 (15 – 33)	k.A.
De Paula [53]	2006	TWO	6	16 (12 – 22)	24 (3 – 53)
Mallard [54]	2013	RWO	11	26 (k.A.)	95 (7 – 227)

Wie aus Tabelle 44 ersichtlich, wurden verschiedene Techniken zur Durchführung der Radiuskorrekturosteotomie vorgestellt. So platzierten Murphy et al. die Osteotomie zur Einbringung eines aufrichtenden Beckenkamm- oder Silikonkeiles ulnarseitig 1cm proximal der Fossa Lunata, bei starker Krümmung des Radius wurde zudem ein zweiter aufrichtender Keil weiter proximal eingebracht [52]. De Paula et al. modifizierten diese Technik, indem sie stets nur einen trapezförmigen aufrichtenden Beckenkammkeil ulnarseitig an der Stelle der stärksten Krümmung des Radius einbrachten [53]. Dagrégorio et al. sowie Mallard et al. entnahmen mittels zweier querer Osteotomien einen Knochenkeil aus dem Radius, dessen breitere Basis dem dorsoradiale Anteil des Radius entsprach, und brachten diesen um die eigene Achse gedreht wieder in den

Radius ein, wodurch eine Aufrichtung der Radiusgelenkfläche erzielt wurde [54, 78]. Die Radiuskorrekturosteotomie wurde in der Literatur auch gleichzeitig mit anderen Operationsverfahren angewandt, hierauf wird im Kapitel 4.9 näher eingegangen.

Bei Betrachtung des Geschlechterverhältnisses fällt auf, dass sowohl bezogen auf die gesamte Studienpopulation (82,4% weibliche Probanden) als auch innerhalb der beiden Gruppen RKO (83,3% weibliche Probanden) und PHY (80% weibliche Probanden) die Madelung-Deformität wesentlich häufiger bei weiblichen Teilnehmern vorlag als bei Männern. Dies steht in Einklang mit Beobachtungen aus der Literatur, wo die Erkrankung, wie bereits in Kapitel 1.2 erläutert, ebenfalls häufiger bei Frauen als bei Männern beschrieben wurde.

Ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte sich beim Alter zum Zeitpunkt der Operation. In der Gruppe RKO war diese im Durchschnitt mit 21 Jahren, in der Gruppe PHY im Durchschnitt mit 13 Jahren durchgeführt worden. Dies ist den bereits im Kapitel 1.7 erläuterten unterschiedlichen Indikationen der beiden Operationsverfahren geschuldet.

Aufgrund der Seltenheit der Madelung-Deformität wurde bei der Patientenrekrutierung keine Unter- oder Obergrenze für den Follow-Up Zeitraum festgelegt. Daher ergaben sich hier für die beiden Gruppen zwar vergleichbare Mittelwerte, aber sehr unterschiedliche Spannweiten. Während die meisten Hände einen mehrjährigen Follow-Up-Zeitraum vorzuweisen hatten, gab es auch einzelne Hände im Kollektiv, deren Nachuntersuchungszeitraum sehr kurz war (Minimum der gesamten Population: 0,5 Jahre). Eine suffiziente Beurteilung des postoperativen Verlaufes ist bei diesen Händen unter Umständen nicht möglich.

4.3 Die präoperative Ausgangssituation

Die Analyse der präoperativen Daten diente vor allem dazu, die Ausgangssituation der beiden Gruppen in Relation zueinander zu setzen. Erschwerend kam hier hinzu, dass die bereits geringe Stichprobengröße der Studie durch unvollständige Dokumentation der Daten in der Vergangenheit bei einigen der betrachteten Parameter weiter verringert wurde.

Bei Betrachtung der präoperativen Handgelenksbeweglichkeit ist zu beachten, dass die Beweglichkeit der Gelenke großen interindividuellen Schwankungen unterliegt, Ryf et al. nahmen bei gesunden Individuen für Extension/Flexion Normalwerte von 35°-60°/0°/50°-60°, für Radialduktion/Ulnarduktion Normalwerte von 20°-30°/0°/30°-40° und für die Pronation/Supination Normalwerte von 80°-90°/0°/80°-90° an [62]. Unter Annahme dieser Vergleichswerte war die Unterarmdrehung in unserer Studie am stärksten eingeschränkt (Mittelwerte der Pronation: RKO 66,5°, PHY 57,5°; Mittelwerte der Supination: RKO 68,5°, PHY 73,1°). In der Gruppe PHY war die Radialduktion mit einem Durchschnitt von 5,6° ebenfalls stark eingeschränkt, in der Gruppe RKO dagegen, wie die Ulnarduktion in beiden Gruppen, nur gering unter den Referenzwerten. Flexion und Extension waren im Schnitt normwertig und damit am wenigsten eingeschränkt. Auch in der Literatur wurde mehrfach die Beobachtung gemacht, dass die Unterarm-Drehbewegung am stärksten von der Funktionseinschränkung betroffen war [25, 26, 46, 51].

In der Gruppe RKO bestanden an allen Händen präoperativ Schmerzen, wohingegen in der Gruppe PHY etwa die Hälfte der Hände schmerzfrei war. Diesen Umstand bildete auch die Visuelle Analogskala ab. Hier wurde in Ruhe in der Gruppe RKO mit durchschnittlich 2,6 Punkten ein etwa zehnmal höherer Wert angegeben als in der Gruppe PHY mit durchschnittlich 0,25 Punkten. Auch unter Belastung wurden in der Gruppe RKO mit einem Durchschnitt von 7,34 Punkten wesentlich stärkere Schmerzen als in der Gruppe PHY mit durchschnittlich 2,00 Punkten berichtet. Einschränkend muss hier gesagt werden, dass die VAS in der Gruppe RKO nur bei etwa der Hälfte der Hände dokumentiert war (n=7), in der Gruppe PHY dagegen fast bei allen (n=8), was bedeutet, dass der Punktwert von RKO eventuell nicht für die ganze Gruppe repräsentativ sein könnte. Der DASH-Score vermittelte erwartungsgemäß ein ähnliches Bild, hier wurde in der Gruppe RKO mit durchschnittlich 42,9 Punkten etwa der siebenfache Wert der Gruppe PHY mit durchschnittlich 6,0 Punkten angegeben. Auch der DASH-Score ist allerdings mit Vorsicht zu beurteilen, wurde er doch in beiden Gruppen präoperativ nur für jeweils fünf Hände ermittelt, was die Repräsentativität des Scores für die Gruppengesamtheit in Frage stellt. Trotz der teils sehr geringen Stichprobengrößen

waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen für alle in diesem Absatz beschriebenen Parameter statistisch signifikant, was die Interpretation unterstützt, dass an den Händen der Gruppe RKO präoperativ wesentlich größere Schmerzen bestanden als an denen der Gruppe PHY. Dies ist Ausdruck der in Kapitel 2.3 erläuterten unterschiedlichen Indikationen der beiden Operationsverfahren.

Bei Betrachtung der präoperativen radiologischen Parameter finden sich in beiden Gruppen ähnliche Mittelwerte für Ulnar Tilt, Lunate Fossa Angle und Palmar Carpal Displacement. Dagegen war in der Gruppe PHY das arithmetische Mittel der Lunate subsidence um 49%, das des Palmar Tilt sogar um 86% höher als in der Gruppe RKO, wobei in beiden Fällen trotz der augenscheinlich großen Unterschiede aufgrund der geringen Stichprobengröße keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden konnte. Das Mittel der Ulna-Varianz war in der Gruppe PHY etwa 3,5-mal so hoch wie in der Gruppe RKO, was einen statistisch signifikanten Unterschied darstellte. Einschränkend ist hier anzumerken, dass, wie eingangs erwähnt, der Parameter Ulna-Varianz dem Parameter Lunate subsidence bei der Quantifizierung der Deformität unterlegen ist. Aus diesen Beobachtungen lässt sich ableiten, dass die Hände der Gruppe PHY präoperativ zumindest teilweise stärker deformiert waren als die der Gruppe RKO. Dass die Schmerzen trotz stärkerer Deformierung in der Gruppe PHY dagegen geringer waren als in der Vergleichsgruppe, unterlegt die in der Literatur regelhaft beobachtete Diskrepanz zwischen der Schwere des radiologischen Befundes und der Symptomatik [17, 26, 46, 50]. Zudem waren die Probanden der Gruppe PHY zum OP-Zeitpunkt Kinder und dementsprechend nicht berufstätig. Im Alltag waren ihre Hände vermutlich geringeren Belastungen ausgesetzt als die Hände der erwachsenen Gruppe RKO, was eine Erklärung für den unterschiedlichen Schmerzstatus darstellt.

4.4 Verlauf innerhalb der Gruppe RKO

Von präoperativen 0% der Hände waren postoperativ in der Gruppe der Radiuskorrekturen zwei Hände (14,3%) schmerzfrei. Der Mittelwert der Visuellen Analogskala sank von prä- nach postoperativ in Ruhe um 73%, unter Belastung um 33% ab. Zwar ließ sich hier kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte feststellen, die

Aussagekraft der Signifikanzprüfung sollte aber aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht überschätzt werden. Es lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die Probanden der Gruppe RKO eine deutliche Schmerzreduktion im Vergleich zur präoperativen Situation erfuhren, wenngleich Schmerzfreiheit selten erreicht wurde. In allen vier in Tabelle 44 auf Seite 65 dargestellten übrigen Studien zur primären Radiuskorrekturosteotomie wurde ebenfalls von einer Abnahme der Schmerzen in ihren Kollektiven berichtet, jedoch wurde in keiner der Studien eine Visuelle Analogskala oder ähnliche objektivierende Bewertungen des Schmerzstatus eingesetzt.



Abbildung 30: Präoperatives Röntgenbild der rechten Hand einer 18-jährigen Patientin mit Madelung-Deformität. Gut zu sehen sind die typische Triangularisierung der Karpalknochen, die gekippte Radiusgelenkfläche sowie die subluxierte Ulna. Der DASH-Score betrug präoperativ 59,2. Eine Radiuskorrekturosteotomie wurde durchgeführt. (Eigene Aufnahme)

Diese Reduktion der Schmerzen beeinflusste auch den DASH-Score. Von prä- nach postoperativ sank der Median um 59%, der Mittelwert um 49% ab. Zwar war auch hier kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte feststellbar, aufgrund der geringen Stichprobengröße kommt diesem, wie bereits erwähnt, aber nur eine eingeschränkte Bedeutung zu. Einschränkend muss zudem bemerkt werden, dass vor allem die präoperative Stichprobe mit $n=5$ sehr klein und damit wenig repräsentativ für die Grundgesamtheit war. Aufgrund des augenscheinlich starken Unterschiedes lässt sich trotzdem eine Abnahme der Beeinträchtigung der oberen Extremität in unserem

Kollektiv vermuten, was auch durch die Betrachtung der mittleren DASH-Scores aller Hände, inklusive derer mit fehlenden präoperativen Daten, untermauert wird. In keiner der vier Vergleichsstudien aus Tabelle 44 wurden prä- und postoperative PROMs verglichen.

Bei Betrachtung des Bewegungsumfanges zeigte sich, dass die bereits präoperativ gering oder gar nicht eingeschränkten Bewegungsrichtungen Extension, Flexion, Ulnar- und Radialduktion postoperativ auf einem weitgehend unveränderten Niveau lagen. Die Pronation blieb weiterhin eingeschränkt, wohingegen die Supination eine deutliche, vermutlich aufgrund der geringen Stichprobengröße allerdings statistisch nicht signifikante, Verbesserung des Mittelwertes um $13,5^\circ$ (20%) aufwies. Dies lässt den Schluss zu, dass die Radiuskorrekturosteotomie in unserem Kollektiv einen positiven Effekt auf die Beweglichkeit des operierten Handgelenkes hatte. Auch in der Literatur konnten Verbesserungen einzelner Bewegungsrichtungen durch die Radiuskorrekturosteotomie beobachtet werden. Dagrégorio et al. stellten eine Zunahme des Mittelwertes der Pronation um 20% (von 65° auf 78°) sowie eine Zunahme des Mittelwertes der Supination um 33% (von 57° auf 76°) fest, andere Bewegungsrichtungen wurden in der Studie nicht erhoben [78]. De Paula et al. berichteten von einer durchschnittlichen Zunahme der Flexion um 15° , der Extension um 20° , der Pronation um 18° und der Supination um 14° [53]. Mallard et al., die als einzige unter den Vergleichsstudien zur primären Radiuskorrekturosteotomie eine statistische Auswertung ihrer Ergebnisse vornahm, berichteten von statistisch signifikanten Verbesserungen der Mittelwerte von Flexion (von 56° auf 69°), Pronation (von 74° auf 90°) und Supination (von 48° auf 78°), die Werte der übrigen Bewegungsrichtungen wurden nicht angegeben [54]. Somit unterlegt unsere Studie die aus der bisherigen Literatur ableitbare Vermutung, dass die Radiuskorrekturosteotomie die Beweglichkeit des operierten Handgelenkes, vor allem die Unterarmdrehbewegung, verbessern kann.

Bei den radiologischen Messungen sank von prä- nach postoperativ der Mittelwert des Parameters Lunate subsidence am deutlichsten (Abnahme um 77%). Zwar war dieser Unterschied nicht signifikant, dieser Umstand scheint aufgrund der augenscheinlich

großen Differenz aber am ehesten der geringen Stichprobengröße geschuldet gewesen zu sein. Auch die Mittelwerte aller fünf übrigen Parameter sanken statistisch nicht signifikant zwischen 14% und 24% ab. Dies lässt die Interpretation zu, dass die Radiuskorrekturosteotomie die knöcherne Ausprägung der Deformität in unserem Kollektiv bessern konnte. Am stärksten wurde die proximale Verschiebung des Karpus korrigiert, welche durch den Parameter Lunate subsidence quantifiziert wird. Auch in allen vier Vergleichsstudien aus Tabelle 44 wurde eine Verbesserung der radiologischen Parameter beobachtet, die erst im Jahr 2005 publizierte McCarroll-Parameter wurden aber lediglich in der Studie von Mallard et al. gemessen, die übrigen Studien waren zuvor erschienen. Mallard et al. berichten von einer statistisch signifikanten Verbesserung aller fünf McCarroll-Parameter in ihrem Kollektiv, ohne jedoch die entsprechenden Zahlenwerte zu nennen [54]. In Zusammenschau mit unserer Studie lässt sich schlussfolgern, dass die Radiuskorrektur, wie von einer Korrekturoperation erwartet, geeignet ist, die knöcherne Ausprägung der Madelung-Deformität zu korrigieren.

Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen beispielhaft prä- und postoperative Röntgenbilder einer Patientin aus der Gruppe RKO.



Abbildung 31: Selbes Handgelenk wie in Abbildung 30, fünf Jahre nach der Radiuskorrekturosteotomie. Die Radiusgelenkfläche scheint nun weniger gekippt, die Ulna weniger subluxiert. Die Werte aller sechs gemessenen radiologischen Parameter sind gesunken. Der DASH-Score hat sich auf 36,7 Punkte reduziert. (Eigene Aufnahme)

4.5 Verlauf innerhalb der Gruppe PHY

In der Gruppe der Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung nahmen die Schmerzen, im Gegensatz zur Gruppe der Radiuskorrekturosteotomien, zu. Waren präoperativ noch 45% der Hände schmerzfrei, traf dies postoperativ nur noch auf 22% der Hände zu. Der Mittelwert der Visuellen Analogskala stieg in Ruhe um das 7,5-fache (von 0,25 auf 1,88 Punkte), unter Belastung um 113% (von 2,00 auf 4,25 Punkte) an. In beiden Fällen war der Unterschied statistisch signifikant.



Abbildung 32: Präoperatives Röntgenbild des rechten Handgelenkes einer 14-jährigen Patientin mit ausgeprägter Madelung-Deformität. Die Hand ist bajonettartig nach palmar abgesackt. Der DASH-Score betrug 17,5. Es wurde eine Physiolyse mit Entfernung des Vickers-Bandes durchgeführt. (Eigene Aufnahme)

Im Gegensatz hierzu wurde in beiden bisher erschienenen Studien zur primären Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung aus Tabelle 43 auf Seite 65 eine postoperative Reduktion der Schmerzen im Vergleich zur präoperativen Situation berichtet, in diesen Studien fehlen jedoch objektivierende Messungen wie die in unserer Studie verwendete VAS [10, 77]. Somit widersprechen die Ergebnisse unserer Studie in diesem Punkt denen der bisherigen Literatur zur primären Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung. Der

Grund hierfür könnte das höhere Durchschnittsalter unseres Kollektivs sein. Die Gruppe PHY war zum Zeitpunkt der OP durchschnittlich 13 Jahre, das Kollektiv von Vickers et al. 12 Jahre und das von Otte et al. sogar nur 7,5 Jahre alt. Je früher die Operation durchgeführt wird, desto mehr Wachstumspotential und damit auch Potential zur Korrektur der Deformität verbleibt. Vickers selbst hatte bereits nach der ersten Anwendung dieses OP-Verfahrens zur Behandlung einer Madelung-Deformität im Rahmen einer 1980 veröffentlichten Studie höhere Wirksamkeit bei jüngeren Patienten postuliert und einen möglichst frühen Operationszeitpunkt empfohlen [79]. Somit liefert unsere Studie Indizien für die Korrektheit seiner Hypothese, in Bezug auf die Schmerzen hatte unser Kollektiv ein schlechteres Outcome als die jüngeren Kollektive der beiden Vergleichsstudien.

Auch der durchschnittliche DASH-Score stieg in der Gruppe PHY deutlich von präoperativen 6,04 um 101% auf postoperative 12,20 Punkte an. Zwar leidet auch dieser Test unter der sehr kleinen präoperativen Stichprobe von nur fünf Händen, aufgrund der Zunahme der Schmerzen scheint allerdings auch eine Zunahme des DASH-Scores schlüssig. Diese Schlussfolgerung wird auch durch den noch deutlicheren Anstieg des mittleren DASH-Scores aller Hände, inklusive deren mit fehlenden präoperativen Daten, unterstützt. Entsprechend kann trotz des nur grenzwertig signifikanten statistischen Unterschiedes angenommen werden, dass die Beeinträchtigung durch das betroffene Handgelenk postoperativ in der Gruppe PHY größer war als präoperativ. Leider wurde in keiner der beiden Vergleichsstudien aus Tabelle 43 PROMs erhoben, weshalb hier keine Einordnung möglich ist.

Unter Annahme der von Ryf et al. postulierten Normwerte blieben bei der Beweglichkeit die bereits präoperativ uneingeschränkte Flexion und Extension auch postoperativ ohne Einschränkungen [62]. Die präoperativ normwertige Ulnarduktion nahm postoperativ um etwa ein Viertel ab. Deutliche Verbesserungen waren dagegen bei den übrigen Bewegungsrichtungen zu verzeichnen. Der Mittelwert der Radialduktion lag postoperativ zwar immer noch unter dem Referenzbereich, hatte aber einen deutlichen Anstieg auf das Doppelte zu verzeichnen. Die präoperativ erniedrigten Mittelwerte der Unterarmdrehbewegung stiegen um 18% (Supination) bzw. 27% (Pronation, als einzige

statistisch signifikant) an. Zusammenfassend ergibt sich also bei der Entwicklung des Bewegungsumfangs in der Gruppe PHY ein gemischtes Bild, im Ganzen betrachtet scheint jedoch eine überwiegende Verbesserung der Beweglichkeit eingetreten zu sein. Die Literatur lieferte hier vergleichbare Ergebnisse. In der Studie von Vickers et al. kam es zu einer durchschnittlichen Zunahme des Mittelwerts der Supination um 23°, alle übrigen Bewegungsrichtungen verbesserten sich ebenfalls, wobei hierfür keine Zahlenwerte genannt werden [10]. Im sehr jungen Kollektiv von Otte et al. bestanden präoperativ lediglich Einschränkungen der Supination, welche sich postoperativ vollständig zurückbildeten [77]. In Zusammenschau lässt sich also annehmen, dass die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung eine Verbesserung des Bewegungsumfangs, vor allem der Unterarmdrehbewegung, erreichen kann.

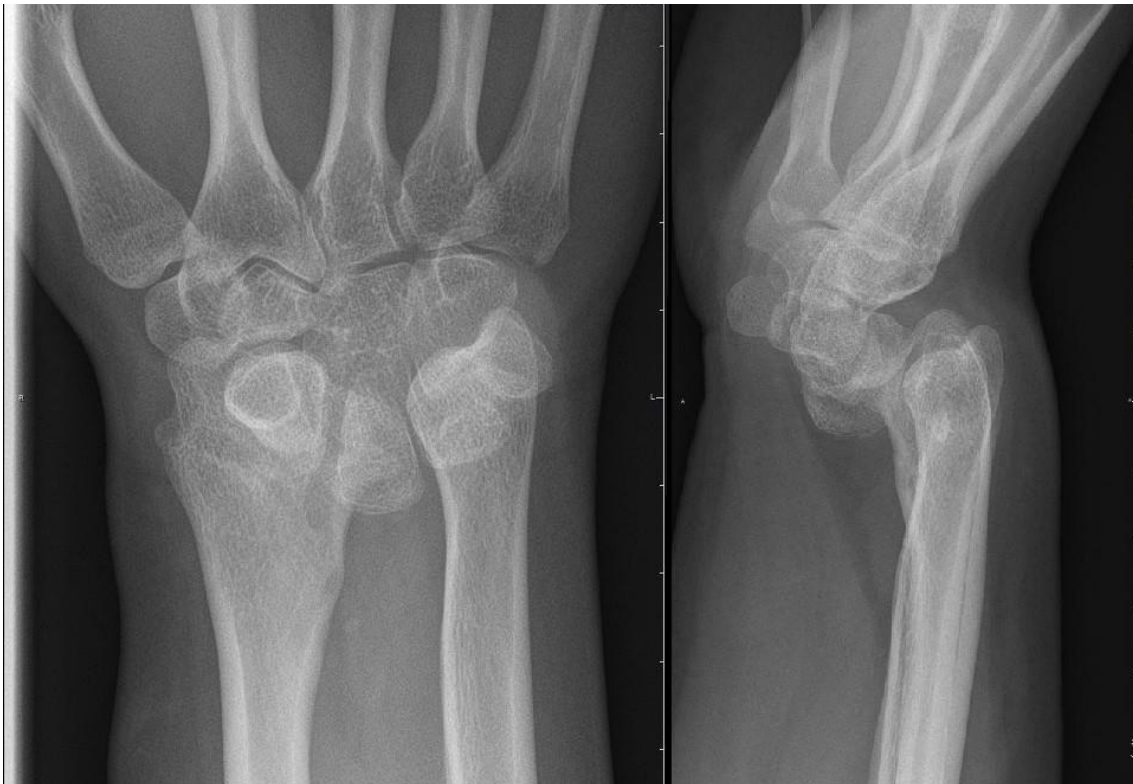


Abbildung 33: Selbes Handgelenk wie in Abbildung 32, vier Jahre nach der Operation. Die Hand ist noch weiter subluxiert als vor der Operation. Mit Ausnahme von LFA sind alle gemessenen radiologischen Parameter deutlich angestiegen. Der DASH-Score hat auf 27,5 Punkte zugenommen. (Eigene Aufnahme)

Unter den radiologischen Parametern blieben die Mittelwerte von Ulna tilt, Lunate fossa angle, Palmar carpal displacement und Ulna-Varianz mit Veränderungen zwischen 0% und 10% annähernd konstant. Palmar tilt stieg durchschnittlich um 25% an, wenn gleich

die Aussagekraft dieses Parameters, wie in Kapitel 4.1 erläutert, nicht überbewertet werden sollte. Mit einem statistisch signifikanten Anstieg um 65% war für den Parameter Lunate Subsidence die deutlichste Veränderung zu verzeichnen. Da die McCarroll-Parameter die knöcherne Ausprägung der Deformität quantifizieren, kann angenommen werden, dass die Progredienz der Erkrankung durch die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung in unserem Kollektiv nicht vollständig aufgehalten werden konnte. Dagegen berichten sowohl Vickers et al. als auch Otte et al. von keiner postoperativen Zunahme der Deformität in ihren Studien, wobei die McCarroll-Parameter hier nicht verwendet wurden [10, 77]. Der wahrscheinlichste Grund für diese Diskrepanz ist auch hier das zu Anfang dieses Kapitels erläuterte höhere Durchschnittsalter unserer Patienten. Dies unterlegt zusätzlich die von Vickers aufgestellte These, dass die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung umso effektiver ist, je jünger der behandelte Patient ist [79].

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen beispielhaft prä- und postoperative Röntgenbilder einer Patientin auf der Gruppe PHY.

4.6 Postoperativer Gruppenvergleich

Beim postoperativen Follow-Up Termin war Schmerzfreiheit in den beiden Gruppen annähernd gleich häufig, an 14,3% der operierten Hände in der Gruppe RKO und 22,2% in der Gruppe PHY bestanden keinerlei Schmerzen. Den vergleichbaren Schmerzstatus spiegelte auch die Visuelle Analogskala wider. In Ruhe wurden in beiden Gruppen im Durchschnitt geringe Ruheschmerzen angegeben (1,1 Punkte in der Gruppe RKO; 2,0 Punkte in der Gruppe PHY), welche sich in beiden Gruppen unter Belastung auf ein ähnliches Niveau steigerten (durchschnittlich 4,1 Punkte in der Gruppe RKO; 4,3 Punkte in der Gruppe PHY). Entsprechend war bei keinem der angesprochenen Tests ein statistisch signifikanter Unterschied feststellbar. Das lässt den Schluss zu, dass unsere Patienten, unabhängig davon, mit welcher Operation sie behandelt wurden, postoperativ einen sehr ähnlichen Schmerzstatus hatten.

Erwartungsgemäß lieferten dann auch die PROMs für die beiden Gruppen sehr ähnliche Ergebnisse. Die Mittelwerte des DASH lagen mit 15,3 Punkten in der Gruppe RKO und

16,1 Punkten in der Gruppe PHY ohne signifikanten Unterschied sehr nah beieinander. Jester et al. stellten in einer gemischtgeschlechtlichen Stichprobe von 716 Probanden im Alter zwischen 18 und 65 Jahren aus der deutschen Normalbevölkerung einen mittleren DASH-Score von 13 Punkten fest [80]. Da die Mittelwerte unserer beiden Gruppen nur geringfügig über diesen Normwerten lagen, kann bezüglich des DASH angenommen werden, dass in beiden Stichproben keine oder gering höhere Beeinträchtigungen der Gesundheit im Vergleich zur Normalbevölkerung bestanden.

Vergleichbare Ergebnisse lieferte der EQ-5D-3L, auch hier lagen die Mittelwerte der Scores beider Gruppen sehr nahe beieinander (0,87 Punkte in RKO und 0,84 Punkte in PHY für den VAS-Index; 0,92 Punkte in RKO und 0,95 Punkte in PHY für den TTO-Index; 83,9 Punkte in RKO und 89,3 Punkte in PHY für die EQ-5D-3L VAS). Erwartungsgemäß bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede. In der gesunden Bevölkerung Deutschlands im Alter zwischen 18 und 24 Jahren liegt der Durchschnitt des VAS-Index bei 0,950 Punkten, des TTO-Index bei 0,972 und der EQ-VAS bei 85,3 Punkten [81]. Auch im Vergleich zu diesen Werten bestanden bezüglich des EQ-5D-3L in unseren beiden Gruppen also höchstens geringe Beeinträchtigungen.

Der SF-36 untermauerte diese Beobachtung weiter. Die Mittelwerte des Einzelitems zur Gesundheitsveränderung innerhalb des letzten Jahres, aller acht Subskalenscores sowie der körperlichen und psychischen Summenskalen in den beiden Gruppen lagen wieder sehr nah beieinander, so dass weder augenscheinlich noch statistisch signifikante Unterschiede festzustellen waren. Normwerte der deutschen Bevölkerung zwischen 18 und 24 Jahren wurden 2013 von Ellert et al. ermittelt, die Subskalenscores und die beiden Summenskalen waren in unseren beiden Gruppen im Vergleich zu diesen nicht oder nur geringfügig schlechter [82]. Auch der SF-36 stellte also in unserem Kollektiv keine bis geringe Beeinträchtigungen der Gesundheit fest.

Die Ergebnisse des PRWE-G der beiden Gruppen ähnelten sich ebenfalls. So lagen die Mittelwerte des Pain Scores mit 14,2 Punkten für RKO und 16,0 Punkten für PHY, des Function Scores mit 7,4 Punkten für RKO und 5,6 Punkten für PHY und des Total Scores mit 21,6 Punkten für RKO und 21,6 Punkten für PHY erneut ohne signifikante

Unterschiede sehr nah beieinander. Normwerte der gesunden deutschen Bevölkerung existieren für den PRWE-G nicht, Mulders et al. stellten für die niederländische Bevölkerung zwischen 18 und 40 Jahren aber Durchschnittswerte von 3,6 Punkten für den Pain Score, 1,8 Punkten für den Function Score und 5,5 Punkten für den Total Score fest [83]. Im Gegensatz zu den anderen Fragebögen lagen beim PRWE-G in unseren beiden Gruppen also deutliche höhere Werte als in der Normalbevölkerung vor. Die Diskrepanz der Ergebnisse der Fragebögen untereinander könnte sich dadurch erklären, dass der PRWE-G handgelenksspezifischer ist als die übrigen Bögen, also mehr Items besitzt, die sich spezifisch auf das Handgelenk (Schmerzen, Funktionseinschränkung etc.) und nicht auf andere Dimensionen der Gesundheit (Psyche, Teilhabe etc.) beziehen. Dies wiederum ließe die Interpretation zu, dass die handgelenksbezogene Beeinträchtigung in unserem Kollektiv postoperativ größer war als in der Allgemeinbevölkerung, was sich aber nur minimal auf andere Gesundheitsdimensionen auswirkte. In der Literatur wurden bisher keine Ergebnisse der PROMs EQ-5D-3L, PRWE-G und SF-36 für die Madelung-Deformität veröffentlicht.

Bei der Auswertung der Ergebnisse der PROMs stellte sich die Frage, ob Patienten mit beidseitig therapiebedürftiger MD von schwereren Formen der Deformität betroffen waren als bei einseitigen Fällen. Bei der Betrachtung der präoperativen radiologischen Messwerte zeigt sich in der Gruppe der einseitig Operierten etwas höhere mittlere Messwerte für Ulna tilt, Lunate fossa angle und Palmar Carpal displacement. Lunate subsidence, Palmar tilt und Ulnavarianz lagen im Durchschnitt dagegen in der Gruppe der Hände mit OP auf der Gegenseite höher. Statistisch signifikante Unterschiede bestanden nicht. Aufgrund dieses ausgeglichenen Bildes lässt sich interpretieren, dass in unserem Kollektiv eine beidseitig therapiebedürftige MD nicht mit schwereren Formen der Deformität assoziiert war als bei der einseitigen Variante. Auch bei den postoperativen VAS und DASH-Scores zeigt sich keine stärkere Beeinträchtigung der beidseits operierten Patienten. Ein Vergleich zur Literatur ist leider nicht möglich, da dieser Sachverhalt in bisherigen Studien nicht betrachtet wurde.

Bezüglich des Bewegungsumfanges bestanden postoperativ bei den Mittelwerten von Flexion, Ulnarduktion, Radialduktion, Pronation und Supination nur sehr geringe,

statistisch nicht signifikante Unterschiede zwischen 0° und 9,2°. Der Mittelwert der Extension dagegen lag in der Gruppe RKO statistisch signifikant um 36% (13,7°) höher als in der Gruppe PHY. Trotz dieses einen Unterschiedes scheinen die untersuchten Handgelenke bei Betrachtung des gesamten Bewegungsumfangs in beiden Gruppen eine sehr ähnliche Beweglichkeit gehabt zu haben. Beim augenscheinlichen Vergleich des Bewegungsumfangs der Hände unserer Patienten mit den von Ryf et al. postulierten Normalwerten von 35°-60°/0°/50°-60° für Extension/ Flexion, 20°-30°/0°/30°-40° für Radial-/ Ulnarduktion und 80°-90°/0°/80°-90° für Pronation/ Supination zeigten sich in beiden Gruppen uneingeschränkte Mittelwerte von Extension, Flexion und Supination sowie leicht eingeschränkte Pronation und Radialduktion [62]. Der Mittelwert der Ulnarduktion lag nur in der Gruppe PHY unterhalb des Referenzbereichs. In Zusammenschau lassen diese Beobachtungen den Schluss zu, dass in beiden Gruppen RKO und PHY postoperativ durchschnittlich geringe Einschränkungen des Bewegungsumfangs der operierten Hand bestanden.

Dagegen war die Beweglichkeit der Finger und des Daumens in beiden Gruppen bei 100% aller Hände völlig uneingeschränkt. Zwar wurden diese Tests präoperativ nicht durchgeführt, es kann aber trotzdem interpretiert werden, dass weder die Radiuskorrekturosteotomie noch die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung einen negativen Effekt auf die Beweglichkeit der Finger und des Daumens hatte, da in diesem Fall postoperativ eine Einschränkung dieser bestanden hätte. Dieser Sachverhalt wurde in der Literatur zur Madelung-Deformität bisher noch nie untersucht.

Auch beim postoperativen Vergleich der Grobkraft zwischen den beiden Gruppen zeigte sich ein vergleichbares Bild, der Mittelwert dieser lag in der Gruppe RKO ohne statistische Signifikanz um geringe 2,5kg (10%) höher als in der Gruppe PHY. Die Mittelwerte der Kraft im Schlüsselgriff lagen ebenfalls ohne statistische Signifikanz sehr nah beieinander. Einschränkend muss gesagt werden, dass die Kraft der Hand unter anderem vom Geschlecht und dem Alter abhängt [84]. Da in den Gruppen RKO und PHY unterschiedliche Geschlechts- und Altersverteilungen vorlagen, fällt ein Vergleich mit Normwerten der gesunden Bevölkerung schwer. Auch der Vergleich zur gesunden Gegenseite war in unserem Kollektiv nicht möglich, da bei 93,8% unserer Probanden

eine beidseitige MD vorlag. Somit ist die Aussagekraft dieses Tests als gering einzuschätzen.

Aufschlussreiche Ergebnisse lieferte dagegen die Betrachtung der radiologischen Messungen. Die Mittelwerte aller gemessenen Parameter lagen in der Gruppe PHY höher als in der Gruppe RKO. Statistisch signifikant war der Unterschied für Lunate subsidence (der Wert der Gruppe PHY betrug mehr als das zehnfache des Mittelwertes der Gruppe RKO), Lunate fossa angle (45% höherer Mittelwert in der Gruppe PHY), Palmar tilt (92% höherer Mittelwert in der Gruppe PHY) und Ulna-Varianz (hier betrug der Mittelwert in der Gruppe PHY mehr als das Dreifache dessen in der Gruppe RKO). Es lässt sich dementsprechend mit hoher Sicherheit annehmen, dass die Madelung-Deformität postoperativ an den Händen der Gruppe PHY stärker ausgeprägt war als in der Gruppe RKO. Durch die Korrektur der knöchernen Deformität in der Gruppe RKO und deren gleichzeitigem Voranschreiten in der Gruppe PHY hat sich also die bereits präoperativ bestehende Diskrepanz der messbaren Ausprägung der Erkrankung zwischen den beiden Gruppen weiter verstärkt.

In der Gruppe RKO trat eine Komplikation auf (Wundinfektion), in der Gruppe PHY keine. Von den vier Vergleichsstudien zur Radiuskorrekturosteotomie wurde lediglich bei Mallard et al. von einer einzigen aufgetretenen Komplikation berichtet (Hypästhesie der radialen Seite des Thenar nach iatrogener Nervenläsion im Zuge einer Metallentfernung) [54]. In den drei übrigen Studien wurden keine Komplikationen angegeben, jedoch wurde auch nicht berichtet, ob Komplikationen überhaupt erfasst wurden [52, 53, 78]. Bei den beiden Vergleichsstudien zur Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung wurde ebenfalls nur von Otte et al. von einer einzigen Komplikation berichtet (Wundinfektion) [10, 77]. In der Literatur scheinen die beiden Verfahren also ähnlich risikoarm gewesen zu sein, was durch unsere Studie untermauert wird. Die Radiuskorrektur war in unserer Studie der schmerzhaftere Eingriff, was in Anbetracht der höheren Invasivität dieser Operation schlüssig scheint.

In der Gruppe RKO wurden im Verlauf nach der primären Operation fast dreimal so häufig Folgeoperationen nötig (28,6% der Hände) wie in der Gruppe PHY (11,1% der

Hände). Zwar konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden, der augenscheinliche Unterschied war aber so deutlich, dass hierfür am ehesten die geringe Stichprobengröße verantwortlich war. Jedoch ist zu beachten, dass in der Gruppe RKO präoperativ wesentlich stärkere Beschwerden bestanden als in der Gruppe PHY. Es lässt sich somit mutmaßen, dass die Hände der Gruppe RKO vor der OP im Schnitt stärker durch die Deformität beeinträchtigt waren als die Hände der Gruppe PHY, aufgrund des höheren Durchschnittsalters und der höheren Latenz zwischen Beginn der Beschwerden und Operationszeitpunkt bestanden eventuell auch schon Folgeschäden der MD. Die erhöhte Häufigkeit von Folgeoperationen in der Gruppe RKO kann somit nicht mit Sicherheit einem schlechteren Therapieerfolg der Radiuskorrekturosteotomie im Vergleich zur Physiolyse mit Vickers-Band-Resektion zugeordnet werden, da sich die Stichproben der beiden Gruppen bezüglich ihrer klinischen Ausgangssituation zu stark unterschieden. In der Literatur zur primären Radiuskorrekturosteotomie wurden bei Murphy et al. bei drei von zwölf Händen, also 25%, Folgeoperationen nötig (zwei neuerliche Radiuskorrekturosteotomien, eine Arthrodesse des DRUG) [52]. In den übrigen drei Studien wurde von keinerlei Folgeoperationen berichtet [53, 54, 78]. Im Rahmen der beiden Vergleichsstudien zur Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung wurden bei Vickers et al. an drei von 15 Händen, also 20%, im Verlauf Radiuskorrekturosteotomien notwendig [10]. Otte et al. berichtete bei drei der zwölf Hände seines Kollektivs, also 25%, von Folgeoperationen (zwei ulnare und eine radiale Epiphysiodese) [77]. Auch in der Literatur war somit keines der beiden Verfahren geeignet, Folgeoperationen sicher zu verhindern. Welche der beiden Operationstechniken seltener Folgeoperationen nach sich zieht, kann weder anhand unserer Studie noch der Literatur mit Sicherheit bestimmt werden.

Gruppenübergreifend betrachtet zeigte sich, dass die Hände, welche weitere Operationen benötigten, bei allen sechs radiologischen Parametern höhere Durchschnittswerte aufwiesen als jene ohne weitere OPs. Bei ersteren lag der Mittelwert des Ulna Tilt um 20%, der Lunate subsidence um 119% und der Ulna-Varianz um 92% höher als bei den einmalig operierten Händen, bei den übrigen Messwerten waren die Unterschiede geringer. Für UT und LS waren die Unterschiede grenzwertig

signifikant. In unserem Kollektiv waren die Hände, die Folgeoperationen benötigten, also wahrscheinlich deformierter. Leider existieren zu diesem Sachverhalt keine Vergleichsstudien, möglicherweise wäre es so allerdings möglich, therapierefraktäre Fälle bereits präoperativ zu identifizieren und diesen Patienten von vorneherein radikalere OP-Verfahren, beispielsweise kombinierten Operationen an Radius und Ulna gleichzeitig, anzubieten. Weitere Studien zur Evaluierung dieser Hypothese sind wünschenswert. Postoperativ lag der durchschnittliche DASH-Score der mehrmals operierten Hände 29% über dem der einfach operierten, was die Notwendigkeit der Verbesserung des Outcomes dieser schweren Fälle unterstreicht.

4.7 Korrelation zwischen Radiologie und Klinik

Wie in den vorangehenden Kapiteln dargelegt, konnte auch in unserer Studie beobachtet werden, dass offenbar keine Korrelation zwischen dem aktuellen klinischen und aktuellen radiologischen Befund besteht. So war die radiologisch messbare Deformität präoperativ in der Gruppe PHY stärker ausgeprägt, klinisch war die Gruppe RKO zu diesem Zeitpunkt aber eingeschränkter. Postoperativ war die Radiologie in der Gruppe PHY noch ausgeprägter, klinisch bestanden aber kaum noch Unterschiede zwischen den Gruppen.

Eine deutliche Korrelation bestand augenscheinlich jedoch zwischen der Veränderung des klinischen Befundes und der Veränderung der radiologischen Messwerte von prä- nach postoperativ. Es zeigte sich in unserer Gruppe RKO, dass eine Senkung der gemessenen McCarroll-Parameter zusammen mit einer Verbesserung der Symptomatik auftrat, was bereits in vorherigen Studien zu anderen Operationstechniken beobachtet wurde [51, 54, 60, 85, 86]. Erstmals in der Literatur zeigte sich in unserer Studie, dass auch ein Anstieg der radiologischen Parameter, also eine Zunahme der knöchernen Deformität, mit einer Verschlechterung des klinischen Bildes auftrat, so geschehen in der Gruppe PHY.

Der Wert der radiologischen Messung könnte also weniger in der Bemessung der Schwere der Deformität oder der Indikationsstellung zur Operation liegen, sondern vielmehr in der Operationsplanung, was bereits im Jahr 2017 von Gupta et al.

gemutmaßt wurde [87]. Es kann hypothetisiert werden, dass eine Korrekturoperation umso effektiver klinische Beschwerden lindert, je stärker die McCarroll-Parameter abgesenkt werden. Weitere Studien zur Verifizierung dieser Hypothese sind wünschenswert.

4.8 Limitationen

Unsere Studie hatte mit einigen Schwächen zu kämpfen, die die Generalisierbarkeit unserer Ergebnisse einschränken. An erster Stelle ist hier die sehr kleine Stichprobengröße zu nennen, welche maßgeblich durch die Seltenheit der Madelung-Deformität bedingt wurde und dementsprechend in der gesamten Literatur zu dieser Erkrankung ein allgegenwärtiges Problem darstellt.

An zweiter Stelle ist das Fehlen einer Kontrollgruppe zu nennen. Ohne eine solche Kontrollgruppe, bestehend aus Händen mit Madelung-Deformität, an welchen keine Operation vorgenommen wurde, können die gemessenen postoperativen Veränderungen nicht sicher als durch die Operation verursacht bestimmt werden, da unklar ist, welchen Verlauf die Erkrankung ohne den Eingriff genommen hätte. Auch diese Schwäche ist klassisch für die Literatur zur Madelung-Deformität, es existiert keine einzige kontrollierte Studie zur Untersuchung des Outcomes eines OP-Verfahrens.

An dritter Stelle steht die Tatsache, dass an manchen Händen im Verlauf mehrere Operationsverfahren angewendet wurden. Die gemessenen Veränderungen können in diesen Fällen also nicht nur auf das primäre OP-Verfahren zurückgeführt werden, sondern wurden auch maßgeblich von den Folgeoperationen beeinflusst. Da es sich bei diesen Fällen jedoch üblicherweise um die schwereren Fälle handelte, bei denen eine einzige Operation nicht ausreichte, um einen zufriedenstellenden Therapieeffekt zu erzielen, wäre durch den Ausschluss dieser Probanden das Untersuchungsergebnis zum Positiven verfälscht worden. Wie in Kapitel 4.6 dargestellt, wurden auch in sämtlichen Vergleichsstudien Hände mit Folgeoperationen nicht aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Eine spezifische Schwäche unserer Studie ist die teilweise Unvollständigkeit der präoperativen Daten. Hierdurch wurde die aufgrund der geringen Stichprobengröße bereits relativ geringe Aussagekraft der statistischen Berechnungen weiter verringert.

4.9 Andere Operationsverfahren

Unter den Operationen am Radius kam neben den beiden im Rahmen unserer Studie untersuchten Verfahren noch die Radiusverlängerung mittels der Ilizarov-Technik zum Einsatz. Sowohl de Billy et al. (n=5; durchschnittliches OP-Alter= 13 Jahre) als auch Houshian et al. (n=8; durchschnittliches OP-Alter= 19 Jahre) konnten hiermit eine Verbesserung des Schmerzstatus und der Beweglichkeit erreichen [55, 88]. Besonders erwähnenswert ist die Kombination der Radiuskorrekturosteotomie mit der Vickers-Band-Entfernung, welche von Harley et al. an einem durchschnittlich 13 Jahre alten Kollektiv von 26 Händen angewendet wurde. Auch sie berichteten von einer deutlichen Verbesserung des Schmerzstatus, der Beweglichkeit und der radiologischen Parameter nach einem mittleren Follow-Up Zeitraum von 23 Monaten. Dasselbe Kollektiv wurde nach einem mittleren Follow-Up Zeitraum von elf Jahren von Steinman et al. mit gleichbleibend guten Ergebnissen erneut untersucht. [85, 89]

Unter den Eingriffen an der Ulna wurde in erster Linie die Ulnaverkürzungsosteotomie untersucht. Die Autoren dieser Studien sind sich einig, dass dieses Verfahren nicht generell zur alleinigen Therapie der MD geeignet ist, sondern für Patienten mit mild ausgeprägter MD und positiver Ulna-Varianz zur Therapie von ulnarseitigen Handgelenkschmerzen eingesetzt werden sollte [56, 57, 90]. Angelini et al. konnten an einem durchschnittlich 18 Jahre alten Kollektiv von 15 Händen mit ausgeprägter MD mit einer radioulnaren Arthrodesse nach Sauvé-Kapandji ein gutes Outcome bezüglich Schmerz, Ästhetik und Grobkraft erzielen [58].

Zudem wurden mehrere verschiedene Techniken der Radiuskorrektur mit diversen Eingriffen an der Ulna kombiniert, Tabelle 45 gibt einen Überblick über die diesbezüglichen Studien. Alle hier erwähnten Autoren berichteten letztendlich von guten bis sehr guten klinischen Outcomes in ihren Kollektiven, wobei die entsprechenden Zielgrößen nicht einheitlich gewählt wurden. Die Kombination aus

Radiuskorrektur- und Ulnaverkürzungsosteotomie wurde von allen Verfahren zur Therapie der Madelung-Deformität am häufigsten evaluiert.

Tabelle 45: Klinische Studien zu kombinierten Operationsverfahren. n= Anzahl der Hände, Alter = Alter bei OP, angegeben als Durchschnittsalter (Minimum - Maximum), FU= Follow-Up Zeitraum, angegebenen als Durchschnitt (Minimum - Maximum), k.A. = keine Angabe, ROWO = Radial opening wedge osteotomy, RCUOWO = Radial-sided closing and ulnar-sided opening wedge osteotomy, RWSO = Radial Wedge subtraction osteotomy, RCWO = Radial closing wedge osteotomy, RBOWO= Radial biplanar opening wedge osteotomy,, MUA = Matched ulnar arthroplasty, UVO = Ulnaverkürzungsosteotomie, UKR = Ulnakopfresektion, DAR = Darrach-Operation

Erstautor	Jahr	Verfahren	n	Alter (y)	FU (m)
Burrows [91]	1937	ROWO + UVO	3	14 (10 – 17)	18 (6-34)
Watson [92]	1993	RCUOWO + MUA	15	17 (k.A.)	48 (3 – 132)
Dos Reis [59]	1998	RWSO + UVO	25	23 (16 – 35)	53 (22 – 76)
Salon [93]	2000	RCWO + UVO	14	15 (11 - 19)	116 (18 – 264)
Potenza [94]	2007	RCWO + UVO/ UKR	8	13 (12 – 14)	408 (k.A.)
Laffosse [51]	2009	RCWO + UVO	14	13 (9 – 16)	61 (48 – 105)
Kampa [60]	2010	RBOWO + DAR	5	34 (26 – 45)	55 (14 – 113)

Nicht nur aufgrund der Unterschiedlichkeit der Operationsverfahren sind die Ergebnisse aller in diesem Kapitel erwähnten Studien schwierig vergleichbar, auch die inkonsistente Auswahl der Zielgrößen, welche die Qualität des Outcomes bemessen sollen, verhindert eine Konsensfindung. Infolgedessen konnten Peymani et al. im Rahmen der ersten systematischen Metaanalyse der Literatur zur Madelung-Deformität im Jahr 2019 keinerlei Empfehlung bezüglich der chirurgischen Therapie der MD aussprechen. Sie merkten zudem an, dass diese Literatur größtenteils von Publication Bias behaftet sein könnte, da die meisten Ergebnisse von den Operateuren selbst berichtet wurden. [95]

4.10 Fazit und Interpretation

Mithilfe der Radiuskorrekturosteotomie konnte in unserem Kollektiv eine Abnahme der Schmerzen und der radiologisch erfassbaren Ausprägung der Madelung-Deformität erreicht werden, beim Bewegungsumfang verbesserte sich die Supination deutlich. Das Outcome unserer Gruppe RKO, welche größer war als die Stichproben aller anderen bisherigen Studien zur primärem Radiuskorrekturosteotomie, unterlegt die aus der bisherigen Literatur ableitbare Vermutung, dass diese Operation ein geeignetes Verfahren zur Korrektur der Madelung-Deformität nach Abschluss des

Knochenwachstums ist und eine Reduktion der Schmerzen sowie eine Verbesserung des subjektiven Gesundheitsstatus und der Beweglichkeit herbeiführen kann.

Dagegen konnte die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung die Progredienz der Madelung-Deformität bei unseren Patienten nicht suffizient aufhalten, weshalb es zu einer deutlichen Zunahme der Schmerzen und der Ausprägung der Deformität kam. Die Schmerzzunahme lässt sich auch durch die vermutlich gestiegene Belastung der Handgelenke im Alltag der Patienten erklären, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren die im Kindesalter operierten Probanden fast alle volljährig und dementsprechend inzwischen berufstätig oder in der Ausbildung. Beim Bewegungsumfang konnte eine leichte Verbesserung erzielt werden. Damit widersprechen unsere Ergebnisse denen der bisherigen Studien zu diesem Verfahren, in deren Rahmen die Progredienz der Erkrankung stets aufgehalten werden konnte. Der Grund hierfür lag vermutlich im höheren Durchschnittsalter unseres Kollektivs. Es lässt sich schlussfolgern, dass die Indikation zur Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung bezüglich des Alters zum OP-Zeitpunkt zukünftig strenger gestellt werden sollte als bisher. Ein suffizienter Therapieerfolg ist am ehesten bei Kindern (bis zwölf Jahre) zu erwarten. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bestand an den meisten Händen Schmerzen und eine Einschränkung im Alltag, so dass prinzipiell die Indikation zur erneuten Operation bestünde. Postoperativ bestand in der Gruppe PHY somit eine ähnliche Situation wie in der Gruppe RKO präoperativ, weshalb als Folgeoperation am ehesten eine Radiuskorrekturosteotomie in Betracht käme, da diese nach den Ergebnissen unserer Studie und der Literatur eine weitere Symptombesserung erwarten ließe. Es lässt sich also mutmaßen, dass unsere Gruppe PHY postoperativ ein besseres Outcome hätte, wäre sie initial mit einer zusätzlichen Radiuskorrektur behandelt worden. Diese Interpretation wird durch die bereits erwähnten Studien von Harley et al. und Steinman et al. unterstützt, in ihrem ebenfalls durchschnittlich 13 Jahre alten Kollektiv konnten mit der Kombination aus Radiuskorrekturosteotomie und Vickers-Band-Entfernung sehr gute Langzeit-Ergebnisse erzielt werden [85, 89].

Klagt der Patient über ulnarseitige Handgelenksschmerzen und besteht eine Ulna-Plus-Variante, sollte zudem die Indikation zur Ulnaverkürzungsosteotomie geprüft werden.

Die Kombination aus Radiuskorrektur- und Ulnaverkürzungsosteotomie ist in der Literatur für erwachsene Patienten das am besten evaluierte Verfahren.

Zu diesen Therapieempfehlungen ist einschränkend anzumerken, dass sie auf der Literatur zur Madelung-Deformität basieren, welche vollumfänglich aus Low-Power-Studien der Evidenzklasse IV besteht [95]. Die Therapie der Madelung-Deformität sollte daher immer eine Einzelfallentscheidung sein.

Bezüglich der radiologischen Parameter konnte in Einklang mit der bisherigen Literatur in unserer Studie beobachtet werden, dass die aktuellen Befunde von Radiologie und Klinik nicht korrelierten. Es zeigte sich jedoch eine Korrelation zwischen den Veränderungen des klinischen Befundes und der Veränderung der radiologischen Messwerte. Somit könnten die McCarroll-Parameter zur Operationsplanung herangezogen werden, was durch weitere klinische Studien verifiziert werden sollte.

4.11 Ausblick

Obwohl mit der Radiuskorrektur in unserer Studie und in der Literatur in der Regel eine Verbesserung des Gesundheitsstatus erreicht werden konnte, ist völlige Beschwerdefreiheit selten. Einige Autoren der jüngeren Vergangenheit vermuteten, dass das Outcome von Korrekturoperationen durch die Verwendung dreidimensionaler Bildgebung zur Operationsplanung verbessert werden könnte. Dies kann zum Beispiel durch CT- oder röntgengestützte dreidimensionale Rekonstruktionen am Computer oder 3D-gedruckte Modelle zur Planung der Osteotomie erfolgen. [95, 96] Imai et al. veröffentlichten einen Fallbericht einer Patientin mit schwerer Madelung-Deformität, bei der durch dreidimensionale Operationsplanung und Anfertigung von individualisierten Osteotomieschablonen und Osteosyntheseplatten komplette Schmerzfreiheit erreicht werden konnte [97]. Mit Hilfe derartiger Operationsplanung wäre auch eine gezielte Verbesserung der McCarroll-Parameter denkbar. Weitere Studien zu diesem vielversprechenden Therapieansatz sind wünschenswert.

Noch wichtiger als die Verfeinerung von Operationstechniken ist jedoch eine Standardisierung der Literatur. Zum jetzigen Zeitpunkt ist kein zuverlässiger Vergleich von Operationsergebnissen zwischen Studien möglich, da Zielgrößen in der

Vergangenheit uneinheitlich gewählt und inkonsistent berichtet wurden. Da die Stichprobengrößen zukünftiger Studien vermutlich auch weiterhin gering ausfallen werden, wird die Durchführung von Metaanalysen wohl der einzige Weg bleiben, generalisierbare Ergebnisse zu erhalten. Peymani et al. veröffentlichten im Zuge ihrer gescheiterten Metaanalyse im Jahr 2019 daher ein Protokoll zur Durchführung zukünftiger Studien zur Madelung-Deformität, mit dessen Hilfe in Zukunft konsistente Studienergebnisse und Metaanalysen ermöglicht werden können.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie zur Madelung-Deformität wurden 23 Hände von 16 Patienten, welche in einem Zeitraum von 17,5 Jahren mit einer Radiuskorrekturosteotomie (RKO) oder eine Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung (PHY) behandelt wurden, nachuntersucht und bezüglich des OP-Outcomes verglichen. Die Gruppe RKO umfasste 14 Hände mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren und einer durchschnittlichen Follow-Up-Zeitraum von 7 Jahren. Die Gruppe PHY bestand aus 9 Händen mit einem Durchschnittsalter von 13 Jahren und einem mittleren Follow-Up-Zeitraum von 5 Jahren.

In unserem Kollektiv konnte die Radiuskorrektur eine Verbesserung bezüglich der Schmerzen, des subjektiven Gesundheitsstatus, der Beweglichkeit und der radiologischen Ausprägung der Deformität herbeiführen. Die vorliegenden Ergebnisse stützen damit die aus der bisherigen Literatur ableitbare Vermutung, dass dieses Verfahren zur Therapie der Madelung-Deformität geeignet ist. Die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung konnte die Progredienz der Erkrankung in unserer Stichprobe nicht suffizient aufhalten, wie es anhand der bisherigen Literatur allerdings zu erwarten gewesen wäre. Infolgedessen kam es in der Gruppe PHY zu einer Zunahme der Schmerzen und der Ausprägung der Deformität sowie einer Verschlechterung des Gesundheitsstatus. Der Grund hierfür lag wahrscheinlich im, verglichen mit der bisherigen Literatur, relativ hohen Durchschnittsalter der Gruppe. Es lässt sich schlussfolgern, dass die Physiolyse mit Vickers-Band-Entfernung ihre Wirkung vor allem im Kindesalter voll entfaltet.

Im Einklang mit der bisherigen Literatur konnte keine Korrelation zwischen den aktuellen radiologischen und klinischen Befunden beobachtet werden. Jedoch zeigte sich ein augenscheinlicher Zusammenhang zwischen der Veränderung der radiologischen Parameter und der Veränderung des klinischen Befindens, was einen Nutzen der McCarroll-Parameter im Rahmen der OP-Planung nahelegt.

6 Literaturverzeichnis

1. Madelung OW (1878) Die spontane Subluxation der Hand nach Vorne. Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für Chirurgie Berlin 7:259 - 276
2. Adler HF (1914) Madelung's Deformity. California state journal of medicine 12:103-105
3. Arora AS, Chung KC (2006) Otto W. Madelung and the recognition of Madelung's deformity. J Hand Surg Am 31:177-182
4. Ogino T, Minami A, Fukude K, Kato H (1986) Congenital Anomalies of the Upper Limb Among the Japanese in Sapporo. Journal of Handsurgery 11:364 - 371
5. Goldfarb CA, Wall LB, Bohn DC, Moen P, Van Heest AE (2015) Epidemiology of congenital upper limb anomalies in a midwest United States population: an assessment using the Oberg, Manske, and Tonkin classification. J Hand Surg Am 40:127-132.e121-122
6. Flatt AE (1977) The care of congenital hand anomalies. Mosby, Saint Louis
7. Anton JI, Reitz GB, M.B. S (1938) Madelung's Deformity. Annals of Surgery 108:411 - 439
8. Farr S, Kalish LA, Bae DS, Waters PM (2016) Radiographic Criteria for Undergoing an Ulnar Shortening Osteotomy in Madelung Deformity: A Long-term Experience From a Single Institution. J Pediatr Orthop 36:310-315
9. Ali S, Kaplan S, Kaufman T, Fenerty S, Kozin S, Zlotolow DA (2015) Madelung deformity and Madelung-type deformities: a review of the clinical and radiological characteristics. Pediatr Radiol 45:1856-1863
10. Vickers D, Nielsen G (1992) Madelung Deformity: surgical prophylaxis (physiolysis) during the late growth period by resection of the dyschondrosteosis lesion. Journal of Hand Surgery (British Volume) 17B:401-407
11. Moazami-Goudarzi Y, Hertel P, Khodadadyan C (1991) Echte Madelung und traumatische Pseudomadelung. Eine beispielhafte Differentialdiagnose der Deformität des kindlichen Unterarmes. Akt. Traumatol. 21:279-284
12. Nielsen JB (1977) Madelung's Deformity: A Follow-Up Study of 26 Cases and a Review of the Literature. Acta Orthopaedica Scandinavica 48:379-384
13. Kozin SH, Zlotolow DA (2015) Madelung Deformity. J Hand Surg Am 40:2090-2098
14. Rajput R, Bhat RV, Bhansali A (2005) Reverse Madelung deformity. J Assoc Physicians India 53:120
15. Felman AH, Kirkpatrick JA, Jr. (1969) Madelung's deformity: observations in 17 patients. Radiology 93:1037-1042
16. Ty JM, James MA (2009) Failure of differentiation: Part II (arthrogryposis, camptodactyly, clinodactyly, madelung deformity, trigger finger, and trigger thumb). Hand Clin 25:195-213
17. Huguet S, Leheup B, Aslan M, Muller F, Dautel G, Journeau P (2014) Radiological and clinical analysis of Madelung's deformity in children. Orthop Traumatol Surg Res 100:S349-352

18. Langer LO (1965) Dyschondrosteosis, a hereditary bone dysplasia with characteristic roentgenographic features. *American Journal of Roentgenology* 95:178-188
19. Cook PA, Yu JS, Wiand W, Lubbers L, Coleman CR, Cook AJ, 2nd, Kean JR, Cook AJ (1996) Madelung deformity in skeletally immature patients: morphologic assessment using radiography, CT, and MRI. *J Comput Assist Tomogr* 20:505-511
20. Golding JS, Blackburne JS (1976) Madelung's disease of the wrist and dyschondrosteosis. *J Bone Joint Surg Br* 58:350-352
21. Leri A, Weill J (1929) Une affection congénitale et symétrique du développement osseux. La dyschondrostéose. *Bulletins et mémoires de la Société médicale des hôpitaux de Paris* 53:1491-1494
22. Benito-Sanz ST, N.S., Huber C, al. e (2005) A Novel Class of Pseudoautosomal Region 1 Deletions Downstream of SHOX Is Associated with Léri-Weill Dyschondrosteosis. *Am. J. Hum. Genet.* 77:533-544
23. Ellison JW, Wardark Z, Young MF, Robey PG, Laig-Webster M, Chiong W (1997) PHOG, a candidate gene for involvement in the short stature of Turner syndrome. *Human Molecular Genetics* 6:1341-1347
24. Schiller S, Spranger S, Schechinger B, al. e (2000) Phenotypic variation and genetic heterogeneity in Léri-Weill syndrome. *European Journal of Human Genetics* 8:54-62
25. Zebala LP, Manske PR, Goldfarb CA (2007) Madelung's deformity: a spectrum of presentation. *J Hand Surg Am* 32:1393-1401
26. Schmidt-Rohlfing B, Schwobel B, Pauschert R, Niethard FU (2001) Madelung deformity: clinical features, therapy and results. *J Pediatr Orthop B* 10:344-348
27. Lippe B (1991) Turner syndrome. *Endocrinol Metab Clin North Am* 20:121-152
28. Binder G, Fritsch H, Schweizer R, Ranke MB (2001) Radiological Signs of Leri-Weill Dyschondrosteosis in Turner Syndrome. *Horm Res* 55:71-76
29. Kosho T, Muroya K, Nagai T, Fujimoto M, Yokoya S, Sakamoto H, Hirano T, Terasaki H, Ohashi H, Nishimura G, Sato S, Matsuo N, Ogata T (1999) Skeletal Features and Growth Patterns in 14 Patients with Haploinsufficiency of SHOX: Implications for the Development of Turner Syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 84:4613-4621
30. Belin V, Cusin V, Viot G, Girlich D, Toutain A, Moncla A, Vekemans M, Le Merrer M, Munnich A, Cormier-Daire V (1998) SHOX mutations in dyschondrosteosis (Leri-Weill syndrome). *Nat Genet* 19:67-69
31. Zinn AR, Wei F, Zhang L, Elder FF, Scott CI, Jr., Marttila P, Ross JL (2002) Complete SHOX deficiency causes Langer mesomelic dysplasia. *Am J Med Genet* 110:158-163
32. Langer LO, Jr. (1967) Mesomelic dwarfism of the hypoplastic ulna, fibula, mandible type. *Radiology* 89:654-660
33. Shiang R, Thompson LM, Zhu Y-Z, Church DM, Fielder TJ, Bocian M, Winokur ST, Wasmuth JJ (1994) Mutations in the transmembrane domain of FGFR3 cause the most common genetic form of dwarfism, achondroplasia. *Cell* 78:335-342
34. Briggs MD, Hoffman SM, King LM, Olsen AS, Mohrenweiser H, Leroy JG, Mortier GR, Rimoin DL, Lachman RS, Gaines ES, et al. (1995) Pseudoachondroplasia and

- multiple epiphyseal dysplasia due to mutations in the cartilage oligomeric matrix protein gene. *Nat Genet* 10:330-336
35. Rump P, Jongbloed JD, Sikkema-Raddatz B, Mundlos S, Klopocki E, van der Luit RB (2011) Madelung deformity in a girl with a novel and de novo mutation in the GNAS gene. *Am J Med Genet A* 155a:2566-2570
 36. Patten JL, Johns DR, Valle D, Eil C, Gruppuso PA, Steele G, Smallwood PM, Levine MA (1990) Mutation in the gene encoding the stimulatory G protein of adenylate cyclase in Albright's hereditary osteodystrophy. *N Engl J Med* 322:1412-1419
 37. Sanchez J, Perera E, Jan de Beur S, Ding C, Dang A, Berkovitz GD, Levine MA (2011) Madelung-like deformity in pseudohypoparathyroidism type 1b. *J Clin Endocrinol Metab* 96:E1507-1511
 38. Goeminne L (1965) Albright's Hereditary Poly-Osteochondrodystrophy — (Pseudo-pseudo-hypoparathyroidism with diabetes hypertension, arteritis and polyarthrosis). *Acta geneticae medicae et gemellologiae* 14:226-281
 39. Ioan DM, Maximilian C, Fryns JP (1992) Madelung deformity as a pathognomonic feature of the onycho-osteodysplasia syndrome. *Genet Couns* 3:25-29
 40. Robin NH, Gunay-Aygun M, Polinkovsky A, Warman ML, Morrison S (1997) Clinical and locus heterogeneity in brachydactyly type C. *Am J Med Genet* 68:369-377
 41. Funderburk SJ, Smith L, Falk RE, Bergstein JM, Winter H (1976) A family with concurrent mesomelic shortening and hereditary nephritis. *Birth Defects Orig Artic Ser* 12:47-61
 42. Dubey A, Fajardo M, Green S, Lee SK (2010) Madelung's deformity: a review. *J Hand Surg Eur Vol* 35:174-181
 43. Vender MI, Watson HK (1988) Acquired Madelung-like deformity in a gymnast. *J Hand Surg Am* 13:19-21
 44. Sifuentes Giraldo WA, Gamir Gamir ML (2014) Acquired Madelung's deformity in rheumatoid factor-positive polyarticular juvenile idiopathic arthritis. *Reumatol Clin* 10:266-267
 45. Henry A, Thorburn MJ (1967) Madelung's deformity. A clinical and cytogenetic study. *J Bone Joint Surg Br* 49:66-73
 46. Fagg PS (1988) Wrist pain in the Madelung's deformity of dyschondrosteosis. *J Hand Surg Br* 13:11-15
 47. Knutsen EJ, Goldfarb CA (2014) Madelung's Deformity. *Hand (N Y)* 9:289-291
 48. Dannenberg M, Anton JI, Spiegel MB (1939) Madelung's deformity Consideration of its roentgenological diagnostic criteria. *Amer. J. Roentgenol* 42:671 - 676
 49. McCarroll HR, Jr., James MA, Newmeyer WL, 3rd, Manske PR (2010) Madelung's deformity: diagnostic thresholds of radiographic measurements. *J Hand Surg Am* 35:807-812
 50. McCarroll HR, Jr., James MA, Newmeyer WL, 3rd, Molitor F, Manske PR (2005) Madelung's deformity: quantitative assessment of x-ray deformity. *J Hand Surg Am* 30:1211-1220
 51. Laffosse JM, Abid A, Accadbled F, Knor G, Sales de Gauzy J, Cahuzac JP (2009) Surgical correction of Madelung's deformity by combined corrective radioulnar

- osteotomy: 14 cases with four-year minimum follow-up. *Int Orthop* 33:1655-1661
52. Murphy MS, Linscheid RL, Dobyns JH, Peterson HA (1996) Radial opening wedge osteotomy in Madelung's deformity. *J Hand Surg Am* 21:1035-1044
 53. de Paula EJ, Cho AB, Junior RM, Zumiotti AV (2006) Madelung's deformity: treatment with radial osteotomy and insertion of a trapezoidal wedge. *J Hand Surg Am* 31:1206-1213
 54. Mallard F, Jeudy J, Rabarin F, Raimbeau G, Fouque PA, Cesari B, Bizot P, Saint-Cast Y (2013) Reverse wedge osteotomy of the distal radius in Madelung's deformity. *Orthop Traumatol Surg Res* 99:S279-283
 55. Houshian S, Schroder HA, Weeth R (2004) Correction of Madelung's deformity by the Ilizarov technique. *J Bone Joint Surg Br* 86:536-540
 56. Bruno RJ, Blank JE, Ruby LK, Cassidy C, Cohen G, Bergfield TG (2003) Treatment of Madelung's deformity in adults by ulna reduction osteotomy. *J Hand Surg Am* 28:421-426
 57. Dwyer FC (1955) Treatment of traumatic Madelung's deformity by shortening the ulna. *Proc R Soc Med* 48:100-103
 58. Angelini LC, Leite VM, Faloppa F (1996) Surgical treatment of Madelung disease by the Sauve-Kapandji technique. *Ann Chir Main Memb Super* 15:257-264
 59. dos Reis FB, Katchburian MV, Faloppa F, Albertoni WM, Laredo Filho J, Jr. (1998) Osteotomy of the radius and ulna for the Madelung deformity. *J Bone Joint Surg Br* 80:817-824
 60. Kampa R, Al-Beer A, Axelrod T (2010) Madelung's deformity: radial opening wedge osteotomy and modified Darrach procedure using the ulnar head as trapezoidal bone graft. *J Hand Surg Eur Vol* 35:708-714
 61. Coffey MJ, Scheker LR, Thirkannad SM (2009) Total distal radioulnar joint arthroplasty in adults with symptomatic Madelung's deformity. *Hand (N Y)* 4:427-431
 62. Ryf C, Weymann A (1995) The neutral zero method — A principle of measuring joint function. *Injury* 26:1-11
 63. Offenbacher M, Ewert T, Sangha O, Stucki G (2003) Validation of a German version of the 'Disabilities of Arm, Shoulder and Hand' questionnaire (DASH-G). *Z Rheumatol* 62:168-177
 64. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C (1996) 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* 29:602-608
 65. Kennedy C, Institute for W, Health (2011) The DASH and QuickDASH outcome measure user's manual. Institute for Work & Health, Toronto
 66. *The Patient-Rated Wrist Evaluation (PRWE) User Manual*. 2011 [cited 2018 17.05.2018]; Available from: <https://srs-mcmaster.ca/wp-content/uploads/2015/05/English-PRWE-User-Manual.pdf>.
 67. WHO (2013) How to use the ICF: A Practical Manual for using the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Exposure draft for comment. WHO, Geneva

68. John M, Angst F, Awiszus F, Pap G, Macdermid JC, Simmen BR (2008) The patient-rated wrist evaluation (PRWE): cross-cultural adaptation into German and evaluation of its psychometric properties. *Clin Exp Rheumatol* 26:1047-1058
69. EuroQol (1990) EuroQol - a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy* 16:199-208
70. Szende A, Oppe M, Devlin NJ, EuroQol G (2007) EQ-5D value sets : inventory, comparative review, and user guide.
71. Tarlov AR, Ware JE, Jr., Greenfield S, Nelson EC, Perrin E, Zubkoff M (1989) The Medical Outcomes Study. An application of methods for monitoring the results of medical care. *Jama* 262:925-930
72. Morfeld M, Kirchberger I, Bullinger M (2011) SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand : Deutsche Version des Short Form-36 Health Survey. Hogrefe, Göttingen
73. Ware JE, Jr., Sherbourne CD (1992) The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care* 30:473-483
74. Farr S, Bae DS (2015) Inter- and intrarater reliability of ulna variance versus lunate subsidence measurements in Madelung deformity. *J Hand Surg Am* 40:62-66.e61
75. Goldfarb CA, Strauss NL, Wall LB, Calfee RP (2011) Defining ulnar variance in the adolescent wrist: measurement technique and interobserver reliability. *J Hand Surg Am* 36:272-277
76. Steyers CM, Blair WF (1989) Measuring ulnar variance: a comparison of techniques. *J Hand Surg Am* 14:607-612
77. Otte JE, Popp JE, Samora JB (2019) Treatment of Madelung Deformity With Vicker Ligament Release and Radial Physiolyse: A Case Series. *Journal of Hand Surgery* 44:158.e151-158.e159
78. Dagrégorio G, Saint-Cast Y (2005) Réorientation de la glène radiale dans la déformation de Madelung par ostéotomie cunéiforme avec retournement. *Chirurgie de la Main* 24:109-112
79. Vickers DW (1980) PREMATURE INCOMPLETE FUSION OF THE GROWTH PLATE: CAUSES AND TREATMENT BY RESECTION(PHYSOLYSIS)IN FIFTEEN CASES. *Australian and New Zealand Journal of Surgery* 50:393-401
80. Jester A, Harth A, Germann G (2005) Measuring levels of upper-extremity disability in employed adults using the DASH Questionnaire. *J Hand Surg Am* 30:1074.e1071-1074.e1010
81. Szende A, Janssen B, Cabases J (2014) Self-Reported Population Health: An International Perspective based on EQ-5D. Springer. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500356/> Accessed: 11 November 2022
82. Ellert U, Kurth BM (2013) Gesundheitsbezogene Lebensqualität bei Erwachsenen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 56:643-649
83. Mulders MAM, Kleipool SC, Dingemans SA, van Eerten PV, Schepers T, Goslings JC, Schep NWL (2018) Normative data for the Patient-Rated Wrist Evaluation questionnaire. *J Hand Ther* 31:287-294

84. Steiber N (2016) Strong or Weak Handgrip? Normative Reference Values for the German Population across the Life Course Stratified by Sex, Age, and Body Height. *PLOS ONE* 11:e0163917
85. Steinman S, Oishi S, Mills J, Bush P, Wheeler L, Ezaki M (2013) Volar ligament release and distal radial dome osteotomy for the correction of Madelung deformity: long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 95:1198-1204
86. Saffar P, Badina A (2015) Treatment of Madelung's deformity. *Chirurgie de la main* 34:
87. Gupta SP, Garg G (2017) Early outcome in Madelung's and Madelung like deformity of wrist in adolescent group. *Int J Res Orthop*. 2017 Jan 3:74 - 79
88. de Billy B, Gastaud F, Repetto M, Chataigner H, Clavert JM, Aubert D (1997) Treatment of Madelung's deformity by lengthening and reaxation of the distal extremity of the radius by Ilizarov's technique. *European journal of pediatric surgery : official journal of Austrian Association of Pediatric Surgery ... [et al] = Zeitschrift fur Kinderchirurgie* 7:296-298
89. Harley BJ, Brown C, Cummings K, Carter PR, Ezaki M (2006) Volar ligament release and distal radius dome osteotomy for correction of Madelung's deformity. *J Hand Surg Am* 31:1499-1506
90. Glard Y, Gay A, Launay F, Guinard D, Legre R (2007) Isolated wedge osteotomy of the ulna for mild Madelung's deformity. *J Hand Surg Am* 32:1037-1042
91. Burrows HJ (1937) An Operation for the Correction of Madelung's Deformity and Similar Conditions: (Section of Orthopaedics). *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 30:565-572
92. Watson HK, Pitts EC, Herber S (1993) Madelung's Deformity: A surgical technique. *Journal of Hand Surgery* 18:601-605
93. Salon A, Serra M, Pouliquen JC (2000) Long-term follow-up of surgical correction of Madelung's deformity with conservation of the distal radioulnar joint in teenagers. *J Hand Surg Br* 25:22-25
94. Potenza V, Farsetti P, Caterini R, Tudisco C, Nicoletti S, Ippolito E (2007) Isolated Madelung's deformity: long-term follow-up study of five patients treated surgically. *J Pediatr Orthop B* 16:331-335
95. Peymani A, Johnson AR, Dowlatshahi AS, Dobbe JGG, Lin SJ, Upton J, Streekstra GJ, Strackee SD (2019) Surgical Management of Madelung Deformity: A Systematic Review. *Hand (N Y)* 14:725-734
96. Babu S, Turner J, Seewoonarain S, Chougule S (2019) Madelung's Deformity of the Wrist-Current Concepts and Future Directions. *J Wrist Surg* 8:176-179
97. Imai Y, Miyake J, Okada K, Murase T, Yoshikawa H, Moritomo H (2013) Cylindrical corrective osteotomy for Madelung deformity using a computer simulation: case report. *J Hand Surg Am* 38:1925-1932

Appendix

Studienbogen: Madelung-Deformität

Name, Vorname: _____

Geburtsdatum: _____

Körpergröße: _____

Beruf: _____

Berufswechsel wegen Beschwerden? Ja Nein

Händigkeit: Links Rechts

Auf welcher Seite wurde Madelung-Deformität diagnostiziert?

Links Rechts Beide

Auf welcher Seite traten in der Vergangenheit Beschwerden auf?

Links Rechts Beide

Auf welcher Seite traten zuerst Beschwerden auf? Links Rechts

Wann traten das erste Mal Beschwerden auf (in etwa, Jahreszahl)?

Wurden Sie in einer anderen Klinik operiert? Wenn ja, wann und welche OP?

Hat sich das subjektive Wohlbefinden durch die Operation(-en) verbessert?

Ja Nein

Falls mehrere OPs: Welche hat subjektiv am meisten gebracht?

Falls mehrere OPs: Warum wurde eine erneute OP nötig?

Würden Sie die OPs wieder machen lassen? Welche schon, welche nicht?

Traten nach den OPs Komplikationen (starke Schmerzen, Blutung o.ä.) auf? Welche Komplikation nach welcher OP?

Klinische Untersuchung beider Handgelenke:

Extension/Flexion:

Links: ____/____/____ Rechts: ____/____/____

Ulnar-/Radialabduktion:

Links: ____/____/____ Rechts: ____/____/____

Pronation/ Supination:

Links: ____/____/____ Rechts: ____/____/____

Griffkraft (Jamar, Stufe 3, in KG): Links: _____ Rechts: _____

Spitzgriff (Kraftmesser, in KG): Links: _____ Rechts: _____

Beweglichkeit der Finger:

Links (Flexion/ Extension)

Rechts (Flexion/Extension)

Opposition des Daumens möglich bis: Links: _____

Rechts: _____

Instabilität im DRUG? Nur links Nur rechts Beidseits Keine
evtl. Anmerkung:

Foto machen?

Alle vier Fragebögen ausfüllen lassen:

- SF-36
- EQ-5D-3L
- PRWE-G
- DASH

Röntgenbilder:

Standartaufnahme beider Handgelenke in zwei Ebenen

I Abkürzungsverzeichnis

AGW *Allgemeine Gesundheitswahrnehmung*

DASH *Disabilities of the arm, shoulder and head*

DRUG *Distales Radioulnargelenk*

E *Extension*

Einh. *Einheit*

EQ-5D-3L *European Quality of Life 5 Dimensions 3 Level Version*

ER *Emotionale Rollenfunktion*

F *Flexion*

FU *Follow-Up Zeitraum*

ICD 10 *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10. Revision*

ICF *Internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit*

IQA *Interquartilabstand*

KF *Körperliche Funktionsfähigkeit*

KR *Körperliche Rollenfunktion*

LFA *Lunate fossa angle (dt.: Winkel der Fossa lunata)*

LS *Lunate subsidence (dt.: Absenkung des Os lunatum)*

LWS *Léri-Weill-Syndrom*

m *Monate*

MAX *Maximum*

MD *Madelung-Deformität*

MED *Median*

MIN *Minimum*

mm *Millimeter*

MOS *Medical Outcome Study*

MW *Mittelwert*

n *Anzahl*

NNS *Neutral-Null-Stellung*

OP *Operation*

p *Signifikanzwert*

P *Pronation*

P.A. *Posterior - anterior*

PACS *Picture Archiving Communication System*

PCD *Palmar carpal displacement (dt.: Verschiebung des Carpus nach palmar)*

PHY *Physiolyse*

Proc. *Processus*

PROM *Patient-Rated Outcome Measures*

PRWE-G *Patient-Rated Wrist Evaluation - German version*

Pseudo-MD *Pseudo-Madelung-Deformität*

PT *Palmar tilt (dt.: Palmare Inklination der Radiusgelenkfläche)*

PW *Psychisches Wohlbefinden*

Q1 *1. Quartile / 25. Perzentile*

Q3 *3. Quartile / 75. Perzentile*

R *Radialduktion*

RKO *Radiuskorrekturosteotomie*

S *Supination*

SD *Standardabweichung*

SF *Soziale Funktionsfähigkeit*

SF-36 *Short Form - 36*

SHOX *short-stature homebox gene*

Spanne *Spannweite*

SZ *Schmerz*

U *Ulnarduktion*

UT *Ulnar tilt (dt.: Ulnare Inklination der Radiusgelenkfläche)*

UV *Ulna-Varianz*

VAS *Visuelle Analogskala*

VIT *Vitalität*

y *Years (dt.: Jahre)*

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeichnung von O. W. Madelung: Sicht von ulnar auf eine Hand mit Madelung-Deformität [1]	3
Abbildung 2: Zeichnung von O. W. Madelung: Sicht von radial auf eine Hand mit Madelung-Deformität [1]	3
Abbildung 3: Zeichnung von O. W. Madelung: Längsschnitt durch ein Handgelenk mit Madelung-Deformität. Rad.= Radius, L= Os lunatum, C= Os capitatum. [1]	3
Abbildung 4: Zeichnung von O. W. Madelung: Längsschnitt durch ein gesundes Handgelenk. Beschriftung wie in Abbildung 3. [1]	4
Abbildung 5: Sicht von ulnar auf eine Hand mit MD. Gut zu sehen ist der prominente Ulnakopf. (Eigene Aufnahme)	11
Abbildung 6: Messung der ulnaren Inkliniation der Radiusgelenkfläche nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)	27
Abbildung 7: Messung der Absenkung des Os Lunatum nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)	28
Abbildung 8: Messung des Winkels der Fossa Lunata nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)	29
Abbildung 9: Messung der palmaren Inkliniation der Radiusgelenkfläche nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)	30
Abbildung 10: Messung der Verschiebung des Karpus nach palmar nach McCarroll [50] (Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100572389)	31
Abbildung 11: Messung der Ulna-Varianz nach Farr (Darstellung modifiziert nach Farr et al. [74]. Mit Genehmigung des Elsevier-Verlages. Lizenznummer: 5007100865548)	32
Abbildung 12: Alter zum OP-Zeitpunkt in Jahren für die beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich	35
Abbildung 13: Follow Up-Zeitraum der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich, angegeben in Jahren	35
Abbildung 14: Relative Häufigkeit von Schmerzen präoperativ innerhalb der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich.	36
Abbildung 15: Präoperative Visuelle Analogskala (VAS) der beiden Gruppen RKO und PHY, jeweils in Ruhe und unter Belastung, angegeben als Punkte	37
Abbildung 16: Präoperativer DASH-Score der beiden Gruppen im Vergleich	38
Abbildung 17: VAS unter Belastung in der Gruppe RKO, angegeben in Punkten	40
Abbildung 18: VAS in Ruhe in der Gruppe RKO, angegeben in Punkten	40
Abbildung 19: DASH-Score in der Gruppe RKO prä- und postoperativ, angegeben in Punkten	41
Abbildung 20: VAS unter Belastung in der Gruppe PHY, angegeben in Punkten.	45
Abbildung 21: VAS in Ruhe in der Gruppe PHY, angegeben in Punkten.	45

Abbildung 22: Prä- und postoperative DASH-Scores der Gruppe PHY, angegeben in Punkten	46
Abbildung 23: Relative Häufigkeit von Schmerzen postoperativ innerhalb der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich	49
Abbildung 24: Postoperative Visuelle Analogskala (VAS) der beiden Gruppen RKO und PHY, jeweils in Ruhe und unter Belastung, angegeben als Punkte	50
Abbildung 25: DASH-Score postoperativ der beiden Gruppen im Vergleich, angegeben als Punkte.	51
Abbildung 26: EQ-5D-3L VAS- und TTO-Index der beiden Gruppen RKO und PHY im Vergleich	52
Abbildung 27: Pain Score, Function Score und Total Score des PRWE-G der beiden Gruppen RKO und PHY, angegeben in Punkten.	53
Abbildung 28: Boxplot zum SF-36 Item "Rohwert Gesundheitsveränderung" zum Vergleich der beiden Gruppen RKO und PHY.	54
Abbildung 29: Grobkraft postoperativ, angegeben in Kilogramm. Vergleich zwischen den beiden Gruppen RKO und PHY	57
Abbildung 30: Präoperatives Röntgenbild der rechten Hand einer 18-jährigen Patientin mit Madelung-Deformität. Gut zu sehen sind die typische Triangularisierung der Karpalknochen, die gekippte Radiusgelenkfläche sowie die subluxierte Ulna. Der DASH-Score betrug präoperativ 59,2. Eine Radiuskorrekturosteotomie wurde durchgeführt. (Eigene Aufnahme)	69
Abbildung 31: Selbes Handgelenk wie in Abbildung 30, fünf Jahre nach der Radiuskorrekturosteotomie. Die Radiusgelenkfläche scheint nun weniger gekippt, die Ulna weniger subluxiert. Die Werte aller sechs gemessenen radiologischen Parameter sind gesunken. Der DASH-Score hat sich auf 36,7 Punkte reduziert. (Eigene Aufnahme)	71
Abbildung 32: Präoperatives Röntgenbild des rechten Handgelenkes einer 14-jährigen Patientin mit ausgeprägter Madelung-Deformität. Die Hand ist bajonettartig nach palmar abgesackt. Der DASH-Score betrug 17,5. Es wurde eine Physioolyse mit Entfernung des Vickers-Bandes durchgeführt. (Eigene Aufnahme)	72
Abbildung 33: Selbes Handgelenk wie in Abbildung 32, vier Jahre nach der Operation. Die Hand ist noch weiter subluxiert als vor der Operation. Mit Ausnahme von LFA sind alle gemessenen radiologischen Parameter deutlich angestiegen. Der DASH-Score hat auf 27,5 Punkte zugenommen. (Eigene Aufnahme)	74

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ursachen der angeborenen und der erworbenen Madelung-Deformität im Überblick.	10
Tabelle 2: Klassifikation nach Nielsen (1977)	10
Tabelle 3: Klassifikation nach Henry (1967)	11
Tabelle 4: Diagnosekriterien nach McCarroll. Zur Diagnosestellung muss mindestens einer der vier Grenzwerte überschritten sein.	13
Tabelle 5: Geschlechterverteilung über die gesamte Studienpopulation sowie innerhalb der Gruppen RKO und PHY. Jeweils mit Gesamtzahl der Patienten n innerhalb der jeweiligen Gruppe sowie Angabe der absoluten und relativen Häufigkeit (als n/ %) der Geschlechter. Dass die Gesamtzahl der Patienten hier mit 17 angegeben wird, erklärt sich dadurch, dass eine Patientin an einer Hand eine Physiolyse und an der anderen eine Radiuskorrekturosteotomie erhalten hatte, sie findet sich daher in beiden Gruppen.	34
Tabelle 6: Alter zum Zeitpunkt der OP in Jahren. Mit Anzahl der Hände (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Median (MED), 1. Quartile (Q1), 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX).	34
Tabelle 7: Follow-Up-Zeitraum in Jahren. Mit Anzahl der Hände (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX).	35
Tabelle 8: Deskriptive Statistik des präoperativen Bewegungsumfangs in den Gruppen RKO und PHY, jeweils mit Anzahl (n), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). Angabe in Gradzahlen. E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination	38
Tabelle 9: Bewegungsumfang präoperativ, angegeben als Gradzahlen. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte (MW) der Gruppen mit Standardabweichung (SD), n gibt die Anzahl der Hände, p das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen an	39
Tabelle 10: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter prä-OP, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz	39
Tabelle 11: Radiologische Parameter prä-OP, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz, p= Signifikanzniveau des Unterschiedes	40
Tabelle 12: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe RKO, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie p als Signifikanzniveau des Unterschiedes.	41

Tabelle 13: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe RKO, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Es wurden auch die Probanden berücksichtigt, deren prä- und postoperative Daten nicht vollständig waren. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).	41
Tabelle 14: DASH-Scores der Gruppe RKO prä- und postoperativ, angegeben mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)	42
Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Bewegungsumfangs des operierten Handgelenkes in der Gruppe RKO, prä- und postoperativ. Angabe in Gradzahlen. n= Anzahl, Med= Median, Q1= 1. Quartile, Q3= 3. Quartile, MIN = Minimum, MAX = Maximum, E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination	42
Tabelle 16: Beweglichkeit in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p.	43
Tabelle 17: Beweglichkeit in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. Postoperativ unter Einbeziehung auch derjeniger Hände mit fehlenden präoperativen Daten. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).	43
Tabelle 18: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter in der Gruppe RKO im Vergleich prä-vs. postoperativ, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UP= Ulna-Varianz	44
Tabelle 19: Radiologische Parameter in der Gruppe RKO im Vergleich prä- vs. postoperativ. Jeweils mit Einheit in Grad (°) oder Millimeter (mm), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p. UT= Ulna tilt, LS= Lunate subsidence, LFA = Lunate fossa angle, PT= Palmar tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna Varianz.	44
Tabelle 20: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe PHY, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie p als Signifikanzniveau des Unterschiedes.	45
Tabelle 21: Visuelle Analogskala in Bezug auf die Schmerzen in der operierten Hand der Gruppe PHY, präoperativ und postoperativ im Vergleich. Es wurden auch die Probanden berücksichtigt, deren präoperative Daten unvollständig waren. Jeweils mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).	46
Tabelle 22: DASH-Scores der Gruppe PHY prä- und postoperativ, angegeben mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)	46
Tabelle 23: Deskriptive Statistik des Bewegungsumfangs des operierten Handgelenkes in der Gruppe PHY, prä- und postoperativ. Angabe in Gradzahlen. n= Anzahl, Med= Median, Q1= 1. Quartile, Q3= 3. Quartile, MIN = Minimum, MAX= Maximum, E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination	47

Tabelle 24: Beweglichkeit in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p.	47
Tabelle 25: Beweglichkeit in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. Postoperativ unter Einbeziehung auch derjenigen Hand mit fehlenden präoperativen Daten. Angabe der Messwerte in Gradzahlen. Mit gültiger Anzahl (n), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD).	48
Tabelle 26: Deskriptive Statistik der radiologische Parameter in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Angegeben als Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz	48
Tabelle 27: Radiologische Parameter in der Gruppe PHY im Vergleich prä- vs. postoperativ. Jeweils mit Einheit in Grad (°) oder Millimeter (mm), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) sowie Signifikanzniveau p. UT= Ulna tilt, LS= Lunate subsidence, LFA = Lunate fossa angle, PT= Palmar tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna Varianz.	49
Tabelle 28: Median (MED), 1. Quartile (Q1), 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN) und Maximum (MAX) für den EQ-5D-3L VAS-Index, TTO-Index und die EQ-5D-3L VAS der beiden Gruppen RKO und PHY., angegeben als Punkte.	51
Tabelle 29: Pain Score, Function Score und Total Score des PRWE-G Fragebogens, angegeben in Punkten, für die beiden Gruppen RKO und PHY. Dargestellt sind der Median (MED) sowie 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3)	53
Tabelle 30: PRWE-G Scores postoperativ. Pain Score, Function Score und Total Score mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) sowie p-Wert als Signifikanzniveau des Unterschiedes.	53
Tabelle 31: Deskriptive Statistik der acht postoperativen SF-36 Subskalenscores, jeweils mit Median (MED), erster Quartile (Q1) und dritter Quartile (Q3, Minimum (MIN), Maximum (MAX). KF= Körperliche Funktionsfähigkeit, KR= Körperliche Rollenfunktion, SZ= Schmerz, AGW= Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, VIT= Vitalität, SF= Soziale Funktionsfähigkeit, ER= Emotionale Rollenfunktion, PW= Psychisches Wohlbefinden	55
Tabelle 32: SF-36 Subskalenscores, pro Gruppe jeweils mit Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Signifikanzwert p. KF= Körperliche Funktionsfähigkeit, KR= Körperliche Rollenfunktion, SZ= Schmerz, AGW= Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, VIT= Vitalität, SF= Soziale Funktionsfähigkeit, ER= Emotionale Rollenfunktion, PW= Psychisches Wohlbefinden	55
Tabelle 33: Deskriptive Statistik des postoperativen Bewegungsumfanges in den Gruppen RKO und PHY, jeweils mit Anzahl (n), Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile (Q3), Minimum (MIN), Maximum (MAX). Angabe in Gradzahlen. E= Extension, F= Flexion, U= Ulnarduktion, R= Radialduktion, P= Pronation, S= Supination	56

Tabelle 34: Bewegungsumfang postoperativ, angegeben als Gradzahlen. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte (MW) der Gruppen mit Standardabweichung (SD), n gibt die Anzahl der Hände, p das Signifikanzniveau des Unterschiedes zwischen den beiden Gruppen an	56
Tabelle 35: Beweglichkeit der Finger und des Daumens, postoperativ. Angabe der Anzahl der Hände, bei denen die Beweglichkeit frei bzw. eingeschränkt war, in absoluten Zahlen.	57
Tabelle 36: Deskriptive Statistik der radiologischen Parameter post-OP, jeweils mit Median (MED), 1. Quartile (Q1) und 3. Quartile), Minimum (MIN), Maximum (MAX). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar Carpal Displacement, UV= Ulna-Varianz	58
Tabelle 37: Radiologische Parameter post-OP, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante, p= Signifikanzniveau des Unterschiedes	59
Tabelle 38: Anzahl der Hände in absoluten und relativen Zahlen, an denen nach der primären Operation im Verlauf weitere Operationen erfolgten bzw. nicht erfolgten.	60
Tabelle 39: Präoperative radiologische Parameter der Hände mit und ohne weitere OPs, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante	61
Tabelle 40: Postoperative Mittelwerte von VAS in Ruhe und Belastung sowie DASH der Hände mit und ohne weitere Operationen im Vergleich. Jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).	61
Tabelle 41: Präoperative radiologische Parameter der Hände mit und ohne OP auf der Gegenseite, jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD). UT = Ulnar Tilt, LS= Lunate subsidence, LFA= Lunate Fossa Angle, PT= Palmar Tilt, PCD= Palmar carpal displacement, UP= Ulna-Plus-Variante	62
Tabelle 42: Postoperative Mittelwerte von VAS in Ruhe und Belastung sowie DASH der Hände mit OP auf der Gegenseite im Vergleich zu den Händen ohne gegenseitige OP. Jeweils als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).	62
Tabelle 43: Bisherige Studien zur primären Physiolyse mit Entfernung des Vickers-Bandes (PHY). Angegeben sind Anzahl der Hände (n), Durchschnittsalter zum OP-Zeitpunkt in Jahren sowie Follow-Up-Zeitraum (FU) in Monaten (als Durchschnitt (Min. – Max.)).	65
Tabelle 44: Bisherige Studien zur primären Radiuskorrekturosteotomie. Angegeben sind Anzahl der Hände (n), Durchschnittsalter zum OP-Zeitpunkt in Jahren (als Durchschnitt, Minimum – Maximum) sowie Follow-Up-Zeitraum (FU) in Monaten (als Durchschnitt, Minimum – Maximum). BOWO = Biplanar corrective opening wedge osteotomy, TWO= Trapezoidal wedge osteotomy, RWO= Reverse wedge osteotomy	65
Tabelle 45: Klinische Studien zu kombinierten Operationsverfahren. n= Anzahl der Hände, Alter = Alter bei OP, angegeben als Durchschnittsalter (Minimum - Maximum), FU= Follow-Up Zeitraum,	

angegebenen als Durchschnitt (Minimum - Maximum), k.A. = keine Angabe, ROWO = Radial opening wedge osteotomy, RCUOWO = Radial-sided closing and ulnar-sided opening wedge osteotomy, RWSO = Radial Wedge subtraction osteotomy, RCWO = Radial closing wedge osteotomy, RBOWO= Radial biplanar opening wedge osteotomy,, MUA = Matched ulnar arthroplasty, UVO = Ulnaverkürzungsosteotomie, UKR = Ulnakopfresektion, DAR = Darrach-Operation

IV Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. J. van Schoonhoven und Herrn Dr. med. T. Pillukat für die Überlassung des Themas und ihre fortwährende Unterstützung. Außerdem danke ich meinen Eltern und meiner Lebensgefährtin.