

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

**Ergebnisse nach Handgelenkarthroskopie bei ulnarem Handgelenkschmerz
und Korrelation arthroskopischer Befunde mit der präoperativen
MRT-Diagnostik**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Felix Scheffler

2022

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Michael Schädel-Höpfner

Zweitgutachter: PD Dr. med. Simon Thelen

Meinen Eltern

Zusammenfassung

Der ulnare Handgelenkschmerz ist ein vielfach beklagtes Symptom in der handchirurgischen Praxis. Eine häufige Ursache des ulnaren Handgelenkschmerzes ist hierbei eine akute oder degenerative Läsion des Triangulären Fibrokarartilaginären Komplexes (TFCC). Die Diagnostik einer TFCC-Läsion gestaltet sich in der klinischen Praxis schwierig. Als Goldstandard der nichtinvasiven Diagnostik gilt die Magnetresonanztomographie (MRT) des Handgelenkes. Die Aussagekraft der Handgelenk-MRT wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Spezialisierte radiologische Studien zeigen stets eine hohe Sensitivität und Spezifität hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen auf. Diese Ergebnisse konnten in Studien außerhalb spezialisierter Zentren nicht nachvollzogen werden. Als aussagekräftigste Untersuchung zur Abklärung eines möglichen TFCC-Schadens gilt die Handgelenk-Arthroskopie. Diese bietet neben der Diagnosestellung auch die Möglichkeit der Therapie des festgestellten Schadens.

Ziel dieser Studie war es, anhand klinischer Daten festzustellen, inwiefern die außerhalb von Zentren angefertigte MRT des Handgelenkes eine zuverlässige Aussage über die arthroskopisch definierte Schädigung des TFCC erlaubt. Zudem sollte das postoperative Outcome der arthroskopischen Therapie überprüft werden.

Für die Studie wurden alle Patienten berücksichtigt, bei denen im Zeitraum vom 01.01.2013 bis 31.12.2018 Handgelenk-Arthroskopien durchgeführt wurden. Eingeschlossen wurden hierbei alle Patienten mit anamnestisch-klinisch ulnarem Handgelenkschmerz und/oder im MRT nachgewiesenem Verdacht auf eine TFCC-Läsion. Mittels eines eigenen Fragebogens wurden Informationen über die Krankengeschichte, das Beschwerdemaß vor der Operation und das subjektive Ergebnis nach der Operation erfasst. Für die standardisierte Outcome-Beurteilung wurde der international anerkannte DASH-Score (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) verwendet. Zur Auswertung der MRT-Daten erfolgte ein Vergleich der auswärtigen schriftlichen Befunde mit einer eigenen Beurteilung der im krankenhouseigenen PACS (*Picture Archiving and Communication System*) hinterlegten Bilder durch zwei unabhängige Befunder (Fach- und Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie). Die erhobenen MRT-Diagnosen wurden den maßgeblichen arthroskopischen Diagnosen gegenübergestellt.

Bei insgesamt 52 Patienten wurden 53 Handgelenk-Arthroskopien durchgeführt. In 67,9% der Fälle wurde arthroskopisch eine TFCC-Läsion festgestellt. Die TFCC-Läsionen waren überwiegend degenerativen Charakters. Nur einmal wurde eine traumatische TFCC-Läsion beschrieben. Präoperativ lagen hierbei insgesamt 46 MRT-Untersuchungen von 19 unterschiedlichen radiologischen Zentren vor. Es zeigte sich eine enorm große Variabilität an durchgeführten Sequenzen und Wichtungen mit stark unterschiedlicher Bildqualität. Die anhand der präoperativen MRT erhobene Diagnose stimmte in 62,8 - 73,9% der Fälle mit dem arthroskopischen Befund überein. Die berechnete Sensitivität betrug 80 - 90%. Die ermittelte Spezifität fiel mit Werten von 18,8 - 62,5% deutlich ab. Die auf der numerischen Rating-Skala (NRS) angegebene durchschnittliche Schmerzintensität war postoperativ in Ruhe (1,42) und bei Belastung (2,92) signifikant niedriger als präoperativ (5,27 und 8,42). Die Patienten äußerten postoperativ signifikant weniger Beschwerden und Einschränkungen. Der ermittelte postoperative DASH-Wert betrug 14,28 (\pm 16,57).

Es konnte aufgezeigt werden, dass die in der alltäglichen klinischen Praxis durchgeführten MRT-Untersuchungen oftmals nicht dem aktuellen wissenschaftlichen Standard entsprachen. Die berechnete Sensitivität und insbesondere Spezifität fiel im Vergleich zu den Studienergebnissen spezialisierter Zentren ab. Die präoperative Handgelenk-MRT kann demnach im klinischen Alltag nur eingeschränkt empfohlen werden. Ungeachtet der letztendlich arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC oder etwaig vorliegenden Begleitpathologien lieferte die Handgelenk-Arthroskopie ein sehr gutes postoperatives Outcome. Die Patienten hatten postoperativ signifikant weniger Beschwerden, Einschränkungen und Schmerzen. Über 90% der Patienten würden sich rückblickend erneut operieren lassen, was für eine hohe Patientenzufriedenheit spricht.

Summary

Ulnar-sided wrist pain is a frequently complained symptom in hand surgical practice. A common cause of ulnar-sided wrist pain is an acute or degenerative lesion of the triangular fibrocartilage complex (TFCC). In clinical practice it is still difficult to determine a TFCC lesion. Magnetic resonance imaging (MRI) of the wrist is the gold standard of non-invasive diagnostics. In the literature, the informative value of wrist MRI has been stated controversially. Specialized radiological studies always show a high sensitivity and specificity regarding to the diagnosis of TFCC lesions. These results could not be reproduced in studies outside of specialized centers. Wrist arthroscopy is considered to be the most informative examination to clarify possible TFCC damages. In addition, to make a diagnosis, this also offers the option of treating the damage immediately that has been identified.

The aim of this study was to determine whether the MRI of the wrist outside of specialized centers allows a reliable statement about the arthroscopically defined damage to the TFCC. In addition, the postoperative result of the arthroscopic therapy should be checked on the basis of clinical data.

For this study, all patients were considered, who had wrist arthroscopies performed between 01 January 2013 and 31 December 2018. All patients with anamnestic and clinical ulnar sided wrist pain and/or suspected TFCC lesion confirmed by MRI were included. A separate questionnaire was used to collect information on the patient's medical history, the complaints before the operation and the subjective result after the operation. The internationally recognized DASH score (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) was used for the standardized outcome assessment. To evaluate the MRI data, the external written findings were compared with an own assessment of the MRI-images stored in the hospital's PACS (Picture Archiving and Communication System) by two independent observers (consultant and resident for orthopedics and trauma surgery). The obtained MRI findings were compared with the definitive arthroscopy diagnosis.

53 wrist arthroscopies were performed in a total of 52 patients. A TFCC lesion was found arthroscopically in 67.9% of the cases. The TFCC lesions were predominantly degenerative in character. A traumatic TFCC lesion has only been described once. A total of 46 MRI examinations from 19 different radiological centers were available preoperatively. There was an enormous variability in the sequences and weightings carried out with very different image quality. The diagnosis made on the basis of the preoperative MRI matched the arthroscopic findings in 62.8 - 73.9% of the cases. The calculated sensitivity was 80 - 90%. The determined specificity was low with values from 18.8 - 62.5%. The mean pain intensity, indicated on the numeric rating scale (NRS), was significantly lower postoperatively at rest (1.42) and during exercise (2.92) than preoperatively (5.27 and 8.42). The patients expressed significantly fewer complaints and limitations postoperatively. The determined postoperative DASH-value was 14.28 (\pm 16.57).

This study was able to show that the MRI examinations carried out in everyday clinical practice often did not correspond to the current scientific standard. The calculated sensitivity and, in particular, specificity were lower compared to the study results of specialized centers. The preoperative wrist MRI can therefore only be recommended to a limited extent in everyday clinical practice. Regardless of the ultimately arthroscopically defined diagnosis of the TFCC or any additional pathologies, wrist arthroscopy provided a very good postoperative outcome. The patients had significantly fewer complaints, limitations and pain postoperatively. Looking back, over 90% of the patients would undergo another operation, which suggests a high level of patient satisfaction.

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ASK	Arthroskopie
CT	Computertomographie
DASH	<i>Disabilities of Arm, Shoulder and Hand</i>
DRUG	Distale Radioulnargelenk
ECU	Extensor carpi ulnaris
Fa.	Firma
FOV	<i>Field of View</i>
fs	Fettsättigung
FSE	FAST Spin Echo
GRE	Gradienten-Echo
HG	Handgelenk
KIS	Krankenhausinformationssystem
KM	Kontrastmittel
Lig.	Ligamentum
LRL	Lig. radiolunatum
LRSC	Lig. radioscapnocapitatum
LRT	Lig. radiotriquetrum
LUL	Lig. ulnolunatum
LUTri	Lig. ulnotriquetrum
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
NRS	Numerische Rating-Skala
o.p.B.	Ohne pathologischen Befund
OP	Operation
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PDw	Protonendichtegewichtet
Proc.	Processus
SL-Instabilität	Scapholunäre Instabilität
SLAC	<i>Scapholunate Advanced Collapse</i>
TFCC	Triangulär Fibrokartilaginärer Komplex
UA-Drehung	Unterarm-Drehung
UCLC	Ulnokarpaler Ligamentkomplex
we	Wasseranregung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung in das Thema	1
1.2	Das Handgelenk	1
1.2.1	Anatomische Grundlagen	1
1.2.2	Articulatio radiocarpalis	4
1.2.3	Articulatio mediocarpalis	4
1.2.4	Articulationes intercarpales	5
1.2.5	Das distale Radioulnargelenk (DRUG)	5
1.3	Der trianguläre fibrokartilaginäre Komplex (TFCC)	5
1.3.1	Anatomie	6
1.3.2	Biomechanik	10
1.3.3	Klassifikation	10
1.3.4	Diagnostik	13
1.3.5	Therapie	18
1.3.6	Postoperatives Outcome	19
1.4	Ziele der Arbeit	20
2	Material und Methoden	21
2.1	Allgemeine Studienbeschreibung	21
2.2	Patientenkollektiv	22
2.2.1	Kollektivbildung	23
2.3	Datenerhebung	24
2.3.1	Allgemeines	24
2.3.2	Patientenakte, Protokoll Handgelenk-Arthroskopie, OP-Bericht	24
2.3.3	MRT-Untersuchungen / Befunde	25
2.3.4	Arthroskopische Befunde / Therapie	26
2.3.5	Postoperatives Prozedere	27
2.4	Bildgebende Diagnostik	27
2.4.1	Magnetresonanztomographie	27

2.4.2	Handgelenkarthroskopie	29
2.5	Vergleich MRT-Befunde / Arthroskopie-Befund	32
2.6	Vergleich MRT-Befunde untereinander (Befunder 1 - 3).....	32
2.7	Patientenbefragung.....	32
2.7.1	Allgemeines.....	32
2.7.2	Eigener Fragebogen	32
2.7.3	DASH-Score.....	33
2.8	Statistische Auswertung.....	34
3	Ergebnisse.....	35
3.1	Auswertung Patientenkollektiv	35
3.2	Auswertung Magnetresonanztomographie.....	36
3.2.1	Technische Aspekte.....	36
3.2.2	Auswertung schriftlicher MRT-Befund (Befunder 1).....	40
3.2.3	MRT-Befundung durch Befunder 2	41
3.2.4	MRT-Befundung durch Befunder 3	42
3.2.5	Vergleich der MRT-Befunde (Befunder 1 - 3).....	43
3.2.6	Vergleich Wahlsequenz / Schichtdicke / Ulnavarianz / Schulnote	44
3.3	Auswertung Arthroskopie.....	47
3.3.1	Patientenkollektiv 1 (alle Patienten, alle Operationen)	47
3.3.2	Patientenkollektiv 2 (isoliert Handgelenk-Arthroskopien).....	51
3.3.3	Patientenkollektiv 3 (Ulnaverkürzungsosteotomie direkt / im Verlauf)	52
3.4	Vergleich MRT-Befunde / Arthroskopie-Befund	53
3.5	Patientenbefragung.....	55
3.5.1	Auswertung des eigenen Fragebogens.....	55
3.5.2	DASH-Fragebogen	65
3.6	Korrelationen zwischen TFCC-Schaden, Einschränkungen, Schmerzen und dem DASH-Score	66
4	Diskussion.....	68
4.1	Patientenkollektiv.....	68

4.2	Auswertung der präoperativen MRT	68
4.2.1	Technische / apparative Aspekte	68
4.2.2	MRT-Befundung	70
4.2.3	Vergleich MRT - Arthroskopie.....	70
4.3	Auswertung der Arthroskopie	72
4.4	Patientenbefragung / postoperatives Outcome	74
4.4.1	Eigener Fragebogen	74
4.4.2	DASH-Fragebogen	80
4.4.3	Zusammenfassung postoperatives Outcome.....	82
4.5	Limitationen	82
4.6	Schlussfolgerung / Ausblick	83
5	Literaturverzeichnis	85
6	Abbildungsverzeichnis	92
7	Tabellenverzeichnis	93
8	Anhang	95
8.1	Arthroskopieregister	95
8.2	Eigener Fragebogen.....	96
8.3	DASH-Fragebogen	99
9	Danksagung	

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

Die menschliche Hand ist ein hochkomplexes System mit vielen unterschiedlichen Knochen, Bändern, Sehnen, Bewegungsmöglichkeiten und Funktionen. Zudem ist das Handgelenk das komplizierteste Gelenk des menschlichen Körpers. Deshalb kann die Ursache von Handgelenkbeschwerden vielfältigen Ursprungs sein. Insbesondere der ulnare Handgelenkschmerz ist ein häufig beklagtes Symptom in der handchirurgischen Praxis. Aufgrund der komplexen Anatomie dieser Region kann der Schmerz unterschiedlichster Genese sein [1-3]. Eine häufige Ursache des ulnaren Handgelenkschmerzes ist dabei eine akute oder degenerative Läsion des Triangulären Fibrokarilaginären Komplexes (*triangular fibrocartilage complex*, TFCC) [4]. Die Diagnostik einer TFCC-Läsion gestaltet sich in der klinischen Praxis trotz des medizinischen und technischen Fortschritts nach wie vor schwierig. Hinweisend ist die typische Anamnese mit ulnaren, bewegungs- und belastungsabhängigen Handgelenkschmerzen, die meist nach einem Trauma oder einer stärkeren Belastung auftreten. Zumeist ergibt sich im Röntgenbild kein sicherer Anhalt für die Ursache des Schmerzes, sodass eine Magnetresonanztomographie (MRT) des Handgelenkes zur weiterführenden Diagnostik durchgeführt wird und als Goldstandard der nichtinvasiven Diagnostik gilt [5]. In der Literatur finden sich in zahlreichen Studien zur Diagnostik einer TFCC-Läsion jedoch teils stark unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Aussagekraft einer präoperativen MRT im Vergleich zu den maßgeblichen arthroskopischen Befunden, sodass der Nutzen der präoperativen MRT-Diagnostik kontrovers diskutiert wird. Die Therapie einer TFCC-Läsion ist abhängig von Ausmaß und Alter der Schädigung, welche nach Palmer klassifiziert werden kann. Mögliche Therapieverfahren sind dabei das Debridement, die Resektion oder Teilresektion, die Refixation oder die Ulnaverkürzungsosteotomie [6-9]. Die aktuelle Studienlage bezüglich des postoperativen Outcomes ist unzureichend und oft nur von geringgradiger Evidenz. Zumeist werden die klinischen Ergebnisse als sehr erfolgreich angegeben [8, 10-13].

1.2 Das Handgelenk

1.2.1 Anatomische Grundlagen

Im Volksmund bezeichnet der Begriff des Handgelenkes die handnahe bewegliche Verbindung zwischen dem Unterarm und der funktionell so bedeutsamen Hand. Aus rein anatomischer Sicht setzt sich das Handgelenk (*Articulatio manus*) aus zwei Teilgelenken zusammen, dem Radiocarpalgelenk (*Articulatio radiocarpalis*) und dem Mediocarpalgelenk

(Articulatio mediocarpalis) [14]. Aus funktioneller Sicht müssen jedoch sowohl die Interkarpalgelenke (Artikulationes intercarpales), die Karpometakarpalgelenke (Artikulationes carpometacarpales), als auch das distale Radioulnargelenk hinzugezählt werden [15, 16]. Der Karpus besteht aus insgesamt 8 Handwurzelknochen, welche mit einem komplexen Bandapparat, teils starr, teils flexibel miteinander verbunden sind. Die Handwurzelknochen gliedern sich in eine proximale Handwurzelreihe, bestehend aus dem Kahnbein (Os scaphoideum), dem Mondbein (Os lunatum), dem Dreiecksbein (Os triquetrum) und dem Erbsenbein (Os pisiforme) sowie in eine distale Handwurzelreihe, bestehend aus dem großem Vieleckbein (Os trapezium), dem kleinem Vieleckbein (Os trapezoideum), dem Kopfbein (Os capitatum) und dem Hakenbein (Os hamatum) (s. Abb. 1 und 2) [14].

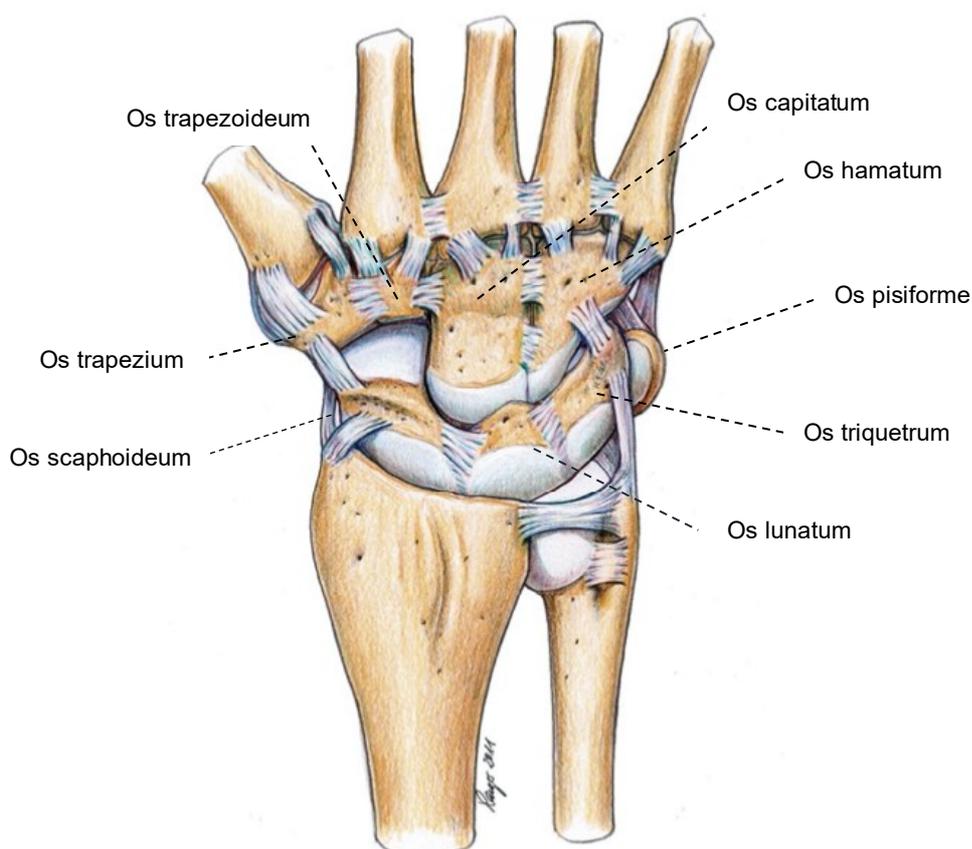


Abb. 1: Anatomie des Handgelenkes

Anatomische Übersicht des Handgelenkes mit Darstellung der beteiligten Knochen und des komplexen intrinsischen Bandapparats; Mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. Martin Langer

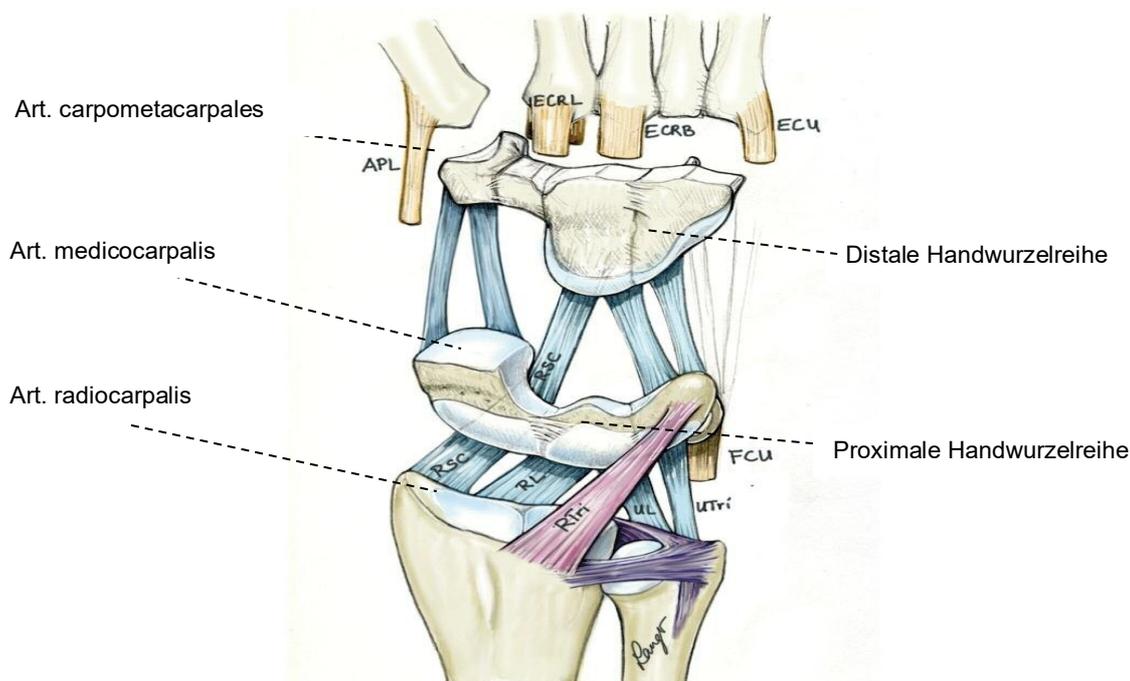


Abb. 2: Anatomische Übersicht des Handgelenkes (künstlich auseinander gezogen)

Darstellung des *Articulatio radiocarpalis*, des *Articulatio medicocarpalis*, der *Articulationes carpometacarpales*, der proximalen und distalen Handwurzelreihe sowie Teilen des intrinsischen und extrinsischen Bandapparates; RSC = Lig. radioscaphocapitatum, RL = Lig. radiolunatum; RTri = Lig. radiotriquetrum; UL = Lig. ulnolunatum; UTri = Lig. ulnotriquetrum; Mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. Martin Langer

Aus biomechanischer Sicht lassen sich neben der klassischen horizontalen Anordnung, weitere funktionelle Anordnungen der Handwurzelknochen beschreiben. In einem modifizierten Säulenmodell nach Taleisnik gliedert sich der Karpus in drei Säulen. Eine radiale Säule mit dem Os scaphoideum, eine ulnare Säule mit Os triquetrum und einer zentralen t-förmigen Säule, in der das Os lunatum mit der distalen Handwurzelreihe in Verbindung steht [17]. In der Ringtheorie nach Lichtmann et al. wird die Handwurzel als ein Ring von durch Ligamenten verbundenen Knochenelementen gesehen, in dem sich die beiden Handwurzelreihen nach ulnar und radial gegenläufig bewegen und stabilisieren [18].

Die oben genannten Modelle verdeutlichen die Komplexität der karpalen Kinematik der Hand. Das Handgelenk muss daher immer als funktionelle Einheit betrachtet werden. Es resultieren zwei Freiheitsgrade mit der Extension/Flexion und Radial-/Ulnaruktion. Durch das distale und proximale Radioulnargelenk kommt noch ein dritter Freiheitsgrad mit der Pro- und Supination hinzu. Im Kombination aller Freiheitsgrade ergibt sich somit die evolutionär so vorteilhafte Zirkumduktion der Hand [15]. Erst durch die perfekte Abstimmung aller Gelenkkomponenten sind solche komplexen Bewegungsabläufe wie die Dart Throwers Motion möglich, die eine Aussage über die globale Funktion des Handgelenkes zulässt.

1.2.2 **Articulatio radiocarpalis**

Das proximale Handgelenk, Articulatio radiocarpalis, ist ein elipsenförmiges Gelenk und verbindet die beiden Unterarmknochen (Radius und Ulna) beweglich mit der proximalen Handwurzelreihe. Die konkave Gelenkfläche wird zu $\frac{3}{4}$ vom Radius mit der Facies articularis carpalis und zu $\frac{1}{4}$ vom Discus ulnocarpalis als Teil des triangulären fibrocartilaginären Komplexes (TFCC) gebildet (s. Abb. 3). Der vom Radius gebildete Anteil der Gelenkfläche setzt sich wiederum aus 2 Teilen zusammen, der Fovea lunata und Fovea scaphoidea. Hierbei ist die Gelenkfläche nicht plan, sondern verfügt über einen natürlichen Neigungswinkel. Der sagittale Neigungswinkel beträgt 20 - 25° und der palmare Neigungswinkel 10 - 15° [19, 20].

Die distale, konvexe Gelenkfläche setzt sich aus der proximalen Handwurzelreihe mit dem Os scaphoideum, dem Os lunatum und dem Os triquetrum zusammen. Diese Knochen werden von kurzen Ligamenten (Lig. scapholunatum und Lig. lunotriquetrum) eng zusammengehalten, sodass sich funktionell eine einheitliche Gelenkfläche bildet. Das Os pisiforme ist an der Artikulation nicht beteiligt, sondern dient vielmehr als Art Sesambein als Ansatzpunkt für stabilisierende Bänder und Muskeln. Stabilisiert und umschlossen wird das Gelenk durch eine zarte, bindegewebige Gelenkkapsel und ein komplexes System an intrinsischen und extrinsischen Bändern [19].

1.2.3 **Articulatio mediocarpalis**

Das distale Handgelenk, Articulatio mediocarpalis, verbindet die proximale und distale Handwurzelreihe miteinander. Von radial nach ulnar zeigt sich ein s-förmiger Verlauf der Gelenkfläche. Das Os scaphoideum artikuliert hierbei mit seiner konvexen Gelenkfläche mit der jeweiligen konkaven Gelenkfläche des Os trapezium und Os trapezoideum. Nach ulnar hingegen artikulieren das Os lunatum und Os triquetrum mit ihren konkaven Gelenkflächen mit den gegenüberliegenden konvexen Gelenkflächen des Os capitatum und Os hamatum [14]. Diese gegensätzliche Anordnung der miteinander artikulierenden Gelenkflächen entspricht funktionell einer gewissen Verzahnung beider Handwurzelreihen. In Kombination mit stabilen interossären Bandverbindungen resultiert hieraus eine geringere Beweglichkeit im Vergleich zum proximalen Handgelenk [15].

Im funktionellen Zusammenspiel von Radiokarpalgelenk und Mediokarpalgelenk ergibt sich ein Bewegungsumfang von jeweils 60° - 80° für die Dorsalextension und Palmarflexion, 15° - 25° für die Radialduktion und 40° - 50° für die Ulnarduktion [15].

1.2.4 Articulationes intercarpales

Die einzelnen Handwurzelknochen sind durch ihre jeweiligen Gelenkflächen und durch multiple interossäre Ligamente miteinander verbunden. Aufgrund der straffen Bandführung und des geringen Bewegungsausmaßes bezeichnet man diese Gelenke zwischen den Knochen der distalen Reihe als Amphiarthrosen. Hingegen lassen die Bandverbindungen zwischen den Knochen der proximalen Reihe gegensinnige Kippbewegungen in der sagittalen Ebene zu. Die größte Beweglichkeit besteht dabei zwischen dem Os scaphoideum und Os lunatum. Bei Bewegung im Handgelenk findet hier eine Art Rotationsbewegung statt [19].

1.2.5 Das distale Radioulnargelenk (DRUG)

Das distale Radioulnargelenk ist ein Zapfengelenk und wird durch die konvexe Gelenkfläche des Caput ulnae der Elle und die konkave Gelenkfläche der Speiche, die Incisura ulnaris, gebildet. Im Zusammenspiel mit dem proximalen Radioulnargelenk ermöglicht es die Umwendbewegung des Unterarmes, wobei die Speiche um die Elle rotiert. Aufgrund der Gelenkgeometrie wird die Stabilität nur zu 20% durch die knöchernen Strukturen gewährleistet [21]. Der übrige Anteil der Stabilität erfolgt durch ein funktionelles Zusammenspiel von passiven und aktiven Stabilisatoren. Zu den aktiven Stabilisatoren zählen der Musculus pronator quadratus mit seinem tiefen und oberflächlichen Kopf sowie der Musculus extensor carpi ulnaris und Musculus flexor carpi ulnaris. Zu den passiven Stabilisatoren zählen ein komplexes System aus Bandverbindungen zwischen der distalen Ulna und dem distalen Radius sowie die Membrana interossea [16]. Insbesondere der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC), zu dem die wichtigen tiefen und oberflächlichen radioulnaren Ligamente gehören, nimmt als wichtigster Stabilisator des DRUG eine herausragende Bedeutung an [22-24].

Auf die komplexe Anatomie, Diagnostik und Therapie des funktionell so bedeutsamen TFCC wird folgend im Rahmen der Dissertationsschrift vertiefend eingegangen.

1.3 Der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC)

Der TFCC (= ulnokarpaler Komplex) beschreibt eine dreiecksförmige, komplexe Struktur aus fibrocartilaginären und ligamentären Anteilen, die an der ulnaren Seite des Handgelenkes im Wesentlichen zwischen Ulnakopf, distalem Radius und Os lunatum bzw. Os triquetrum gelegen ist. Diese anatomisch heterogene Struktur erfüllt dabei wichtige Funktionen als Hauptstabilisator des distalen Radioulnargelenkes (DRUG) und als Puffer der axialen Lastübertragung zwischen Ulna und Handgelenk [25-28].

1.3.1 Anatomie

Topographisch entspringt der TFCC ulnarseitig an der Fossa lunata des Radius und erstreckt sich nach ulnar, um am Caput ulnae und der Basis des Proc. styloideus ulnae anzusetzen. Von hier aus dehnt sich der TFCC nach distal über das Os triquetrum und Os hamatum bis zur Basis des fünften Mittelhandknochens aus [26]. Die zentrale Struktur des TFCC ist der aus Faserknorpel bestehende Discus triangularis, welcher von tiefen und oberflächlichen Bandstrukturen umfasst wird [20, 29, 30].

Im Einzelnen gliedert sich der TFCC in folgende, funktionell sehr wichtige Bestandteile (s. Abb. 3) [19, 20, 26, 27]:

- Discus ulnocarpalis (Discus triangularis)
- Lig. ulnolunatum und ulnotriquetrum
- Lig. radioulnare dorsale und palmare
- Meniscus ulnocarpalis
- Lig. collaterale carpi ulnare
- Sehnscheide des M. extensor carpi ulnaris

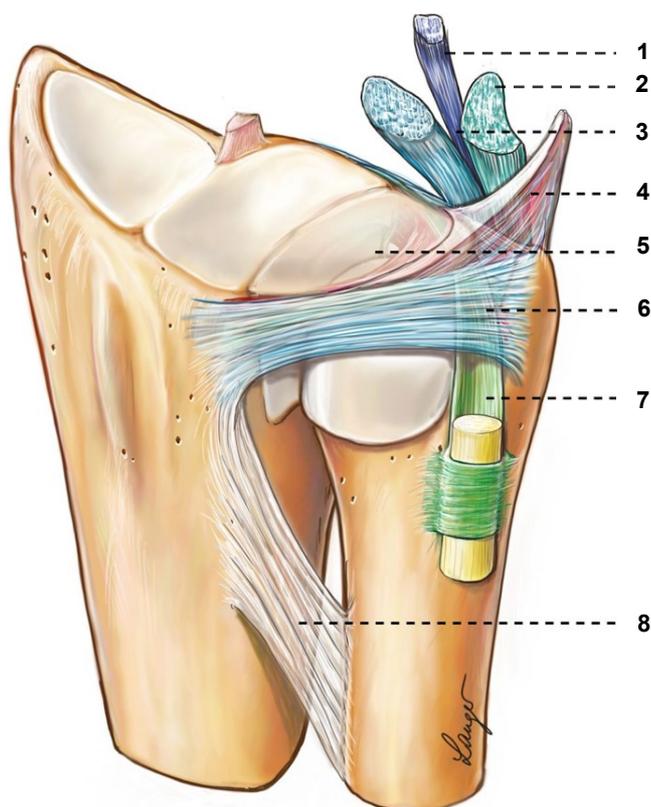


Abb. 3: Anatomie des TFCC

Schematische Übersicht der einzelnen Strukturen des TFCC; (1) Lig. ulnocapitatum; (2) Lig. ulnotriquetrum; (3) Lig. ulnolunatum; (4) Meniscus ulnocarpalis; (5) Discus ulnocarpalis; (6) Lig. radioulnaris dorsalis; (7) ECU-Sehnscheide; (8) Membrana interossea; Mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. Martin Langer

Die einzelnen Elemente des ulnokarpalen Komplexes lassen sich teils nur histologisch voneinander abgrenzen. Häufig sind die einzelnen Strukturen miteinander verwachsen und gehen ohne definierbare Grenzen fließend ineinander über [19]. Die genaue Anatomie der oben genannten Strukturen ist jedoch zum Verständnis der Biomechanik und der einzelnen TFCC-Läsionstypen von enormer Bedeutung, sodass im Folgenden vertiefend auf die einzelnen Strukturen eingegangen wird.

1.3.1.1 Discus ulnocarpalis (Discus triangularis)

Der aus Faserknorpel bestehende Discus ulnocarpalis bzw. Discus triangularis beschreibt entsprechend seiner Namensgebung eine dreiecksförmige Struktur, die im Wesentlichen zwischen Ulna und Karpus gelegen ist. Durch seine bikonkave Form schafft er eine kongruente Gelenkfläche zwischen Ulna und Karpus, welche sich sonst aufgrund ihrer jeweiligen konvexen Form inkongruent gegenüber stünden [31]. Vom Radius ausgehend entspricht der Diskus triangularis einer fibrocartilaginären Verlängerung der oberflächlichen, hyalinen Knorpelschicht des Radius nach ulnar [32]. Hierbei entspringt der Diskus triangularis, etwa 1 - 2 mm dick, am distalen Rand der Incisura ulnaris radii und teilt sich von dort aus in zwei 9 - 11 mm lange, plattenartige Faserstränge auf [31, 33]. Der proximale Strang zieht zur Basis des Proc. styloideus ulnae und einer kleinen grubenartigen Vertiefung am Caput ulnae. Der distale Faserstrang zieht zum radialen Rand der Spitze des Proc. styloideus ulnae und strahlt in die Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris und des Lig collaterale ulnae ein [32]. Beide Faserstränge sind am radialen Ansatz ungefähr 14 - 16 mm und am ulnaren Ansatz ca. 4 mm breit [31]. In dem nach ulnar breiter werdenden Zwischenraum vom proximalen und distalen Faserstrang befindet sich lockeres Bindegewebe, in das von palmar Blutgefäße eindringen. Die Dicke des Diskus triangularis beträgt an seinem dorsalen und palmaren Rand ca. 4 - 5 mm und zentral nur noch 0,5 - 1 mm [26, 31]. Die arterielle Versorgung erfolgt über Äste der Aa. interossea anterior et posterior als Äste der A. ulnaris. Die Gefäße dringen jedoch nur in die äußeren Randschichten ein, sodass nur ca. 10 - 40% des peripheren Anteils des TFCC arteriell versorgt wird, wohingegen der zentrale Anteil avaskulär ist [34-36]. Bemerkenswert ist vor allem, dass eine Einsprossung der Gefäße nur von dorsal, palmar und ulnar erfolgt [10, 36]. Längenvarianten der Ulna gehen mit einem unterschiedlichen Risiko für das Auftreten von degenerativen Diskusläsionen einher. Nach Palmer et al. ist der Diskus umso dicker, je kürzer die Ulna im Vergleich zum Radius ist (Ulna-Minus-Variante) und um so dünner, je mehr der Ulnakopf den Radius überragt (Ulna-Plus-Variante) [26]. Degenerative Diskusläsionen treten aufgrund unterschiedlicher Diskusdicke und unterschiedlicher axialer, ulnokarpaler Druckbelastung vermehrt bei Ulna-Plus-Varianten, als bei Ulna-Minus-Varianten auf [37-40]. Nach Gupta et al. (1985) erfolgt die Innervation des Diskus

überwiegend über kleine Äste des N. ulnaris und über den Ramus dorsalis des N. ulnaris [41], wohingegen der zentrale Anteil und radiale Rand frei von Nervenendigungen sind. In einer aktuellen Studie von Laporte et al. (2014) zeigte sich bei 11 Kadavern eine sehr variable Innervation des Diskus. Zu 100% erfolgte eine Innervation durch den Ramus dorsalis nervii ulnaris, zu 91% durch den Nervus cutaneus antebrachii medialis, zu 73% durch den Ramus palmaris des N. ulnaris, zu 27% durch den Nervus interosseus anterior als Ast des N. medianus, zu 18% durch den Nervus interosseus posterior als Ast des N. radialis und zu 9% durch den Ramus palmaris des N. medianus [42].

Entsprechend der arteriellen Blutversorgung gilt, dass im Allgemeinen das Heilungspotential des Diskus mit mangelnder arterieller Versorgung zentral und am radialen Rand abnimmt. Dennoch konnte auch in den vermeintlichen avitalen Anteilen eine mitotische Zellteilung als Zeichen eines Reparaturprozesses nachgewiesen werden [43, 44].

1.3.1.2 Ligg. ulnolunatum, ulnotriquetrum und ulnocapitatum

Zwischen der oberflächlichen und tiefen Faserplatte des Diskus triangularis treten auf der Beugeseite das Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum hervor. Palmar dieser beiden Bänder liegt das Lig. ulnocapitatum, welches streng genommen nicht zum TFCC gehört. Zusammengefasst werden diese Bänder auch als ulnokarpaler Ligamentkomplex bezeichnet (UCLC) [45]. Von der Ellenkopfgarbe und der Basis des Proc. styloideus ulnae ausgehend strahlen diese Bänder fächerförmig nach distal zum Os lunatum, Os triquetrum und Os capitatum aus, um dort palmarseitig zu inserieren [16, 45-47]. All diese Bänder sind mit dem palmaren radioulnaren Ligament verflochten und makroskopisch kaum voneinander abgrenzbar [45]. Aufgrund der von ulnar bis weit nach radial ziehenden, schrägverlaufenden, palmaren Ausrichtung, ist der UCLC vor allem bei einer forcierten Extension und Radialduktion maximaler Spannung ausgesetzt [45].

1.3.1.3 Ligg. radioulnare palmare et dorsale

An seinen Außenrändern wird der Diskus triangularis durch kollagene Faserzüge von palmar und dorsal verstärkt, welche den Diskus nahezu vollständig umfassen. Diese verstärkten Faserzüge bezeichnet man als Lig. radioulnare palmare und Lig. radioulnare dorsale [30, 48]. Hierbei entspringen die radioulnaren Ligamente zunächst noch palmar und dorsal aufgeteilt am distalen Radius, um dann als gemeinsames Ligament an der Fovea ulnaris und dem Proc. styloideus ulnae anzusetzen. Die radioulnaren Bänder lassen sich entsprechend aktueller Studien in 3 Schichten unterteilen (s. Abb. 4) [49]. Eine tiefe Schicht mit dem Lig. subcruentum, welche an der Fovea ulnaris ansetzt, eine mittlere Schicht mit kreuzenden Bandfasern, welche palmar an der Sehnnenscheide des Extensor carpi ulnaris (ECU) inseriert und eine oberflächliche Schicht, die am Proc. styloideus ulnae ansetzt [16,

22, 23]. Durch ihre unterschiedlichen, exzentrischen und zentrischen Insertionsstellen und gegenseitigen Spannungsverschiebungen garantieren die radioulnaren Ligamente eine konstante Gelenkstabilität des DRUG während der Rotationsbewegung [23, 49]. So sind in Supination die tiefen, dorsalen und oberflächlichen, palmaren Fasern angespannt, während sich gegensätzlich bei Pronation die oberflächlichen, dorsalen und tiefen, palmaren Fasern anspannen [50].

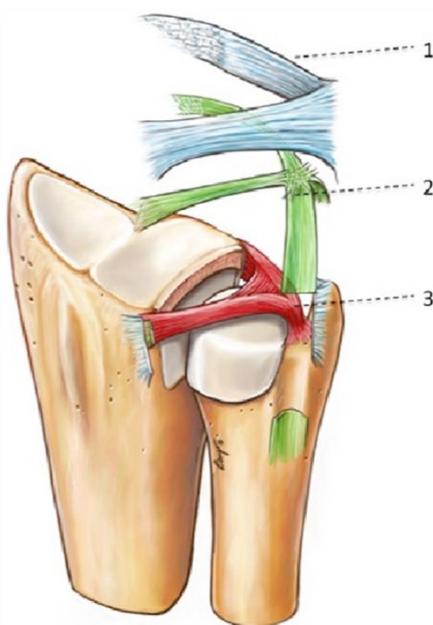


Abb. 4: Aufbau der palmaren und dorsalen radioulnaren Ligamente
 1: Oberflächliche Schicht mit Insertion am Proc. styloideus ulnae; 2: Mittlere Schicht mit Einstrahlung in das Periost und der ECU-Sehnenscheide; 3: Tiefe Schicht mit Insertion an der Fovea ulnaris; Mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. Martin Langer

1.3.1.4 Meniscus ulnocarpalis

Während der Phylogenese der menschlichen Hand erweiterte sich der ursprüngliche Gelenkspalt zwischen dem Proc. styloideus ulnae und dem Os triquetrum. Dieser breite Raum wird beim Menschen durch den vertikal ausgerichteten Meniscus ulnocarpalis (Meniscus homologue) ausgefüllt [51, 52]. Der Meniscus ulnocarpalis erstreckt sich von der dorsalen und ulnaren Kante des Diskus triangularis und dem Proc. styloideus ulnae nach distal. Von seinem breitbasigen Ansatz ausgehend konvergieren die Fasern, um letztendlich distal an der palmaren, ulnaren Fläche des Os triquetrum und ulnar am Ligamentum collaterale carpi ulnare anzusetzen. Der Meniscus ist ca. 2 mm dick und besteht aus dichtem, fasrigen Bindegewebe ohne besondere Differenzierung [32]. Zwischen dem Diskus triangularis und Meniscus ulnocarpalis existiert eine kleine, synoviale Aussackung. Diese Aussackung kann in Größe, Form und Lagebeziehung zum Proc. styloideus ulnae variieren und wird als Recessus ulnaris bezeichnet [53].

1.3.1.5 Ligamentum collaterale carpi ulnare und Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris

Die Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris bildet zusammen mit dem Lig. collaterale carpi ulnare den longitudinalen Schenkel eines dorsalseitigen, sternförmigen Bandes. Dieser erstreckt sich vom Caput ulnae ausgehend nach distal zum Os triquetrum, Os pisiforme und zur Basis des Os metacarpale V [17, 19]. Die queren Fasern dieses „Sternkomplexes“ werden durch Fasern des Lig. intercarpale dorsale und die schrägverlaufenden Fasern durch das dorsale radiotriquetrale Band gebildet [47, 54]. Zusätzlich existiert noch eine bandförmige Verbindung, die aus der Mitte dieses Komplexes hervorgeht, sich um die ulnare Seite des Os triquetrum schlingt und letztendlich in die Kapsel des pisotriquetralen Gelenkes einstrahlt [19, 20]. Insgesamt bremst dieser Bandkomplex die Supination im distalen Radioulnargelenk und begrenzt die Radialduktion des Karpus [15, 19].

1.3.2 Biomechanik

Der ulnokarpale Komplex hat im Wesentlichen drei biomechanische Hauptfunktionen. Zum einen dient der TFCC mit seinem komplexen Bandstrukturen als wichtigster Stabilisator des DRUG [15, 16, 19]. Zum anderen dient er als Puffer der axialen Lastübertragung zwischen Ulna und Karpus. In biomechanischen Studien konnte gezeigt werden, dass die axiale Kraftübertragung zu ca. 80% vom Radius und zu ca. 20% über die Ulna mit dem ulnocarpalen Komplex erfolgt. Angeborene Längenvarianten der Ulna (Ulna-Plus- / Ulna-Minus-Varianten) verändern die axialen Druckverhältnisse maßgeblich. Nach Berechnungen von Werner et al. (1986) sowie Palmer et al. (1988) bewirkte eine Längenzunahme der Ulna von 2,5 cm eine Erhöhung der ulnokarpalen Druckverhältnisse von ursprünglich 18,4% auf 41,9%. Eine Ulnaverkürzung von 2,5 cm hingegen reduzierte die Kraftverhältnisse von 18,4% auf 6,2% [39, 40]. Als dritte biomechanische Hauptfunktion verleiht der TFCC dem ulnaren Karpus Stabilität. So verhindert dieser unter anderem mit dem Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum eine palmare Subluxation des Karpus.

1.3.3 Klassifikation

Auf Grund der komplexen Anatomie des Triangulären Fibrokartilaginären Komplexes ergeben sich zahlreiche Verletzungs- oder Schädigungsmöglichkeiten, die von Palmer 1989 in einer umfassenden Klassifikation beschrieben wurden. Diese Palmer-Klassifikation hat sich sowohl in der Literatur, als auch in der klinischen Praxis durchgesetzt. Hierbei wird zunächst zwischen traumatischen oder degenerativen Läsionen unterschieden,

anschließend erfolgt eine Aufteilung in unterschiedliche anatomische Lokalisationen und Schweregrade (s. Tabelle 1) [55].

Klasse	Typ	Pathoanatomie
Traumatisch (Klasse 1)	1A	Riss im radialseitig gelegenen Abschnitt des Diskus ulnocarpalis (zentrale Perforation)
	1B	Abriss des Discus ulnocarpalis an der ulnaren Insertionsstelle, mit oder ohne Fraktur der Basis des Processus styloideus
	1C	Abriss des peripheren / distalen Anteils des TFCC, insb. der Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum
	1D	Abriss des Discus ulnocarpalis an der radialen Insertionsstelle, mit oder ohne distaler Radiusfraktur
Degenerativ (Klasse 2)	2A	degenerative Abnutzung / Ausdünnung des Discus ulnocarpalis ohne Perforation des Discus
	2B	fortgeschrittene Degeneration des Discus ulnocarpalis, ohne Perforation, initiale Chondropathien am Ulnaköpfchen und / oder Os lunatum und / oder Os triquetrum
	2C	vorangeschrittene degenerative Veränderung mit zentraler Perforation des Discus ulnocarpalis
	2D	fortschreitende degenerative zentrale Diskusperforation und Ruptur des Lig. ulnotriquetrum, malazische Veränderungen am Ulnaköpfchen bzw. Os lunatum
	2E	große zentrale Perforationen im Discus ulnocarpalis, Chondropathien des hyalinen Gelenkknorpels, Ruptur des Lig. ulnotriquetrum und begleitende degenerative ulnokarpale Arthritis mit oder ohne radiulnarer Arthritis

Tabelle 1: TFCC-Klassifikation nach Palmer (1989)

Traumatische Läsionen = Palmer 1A-D; Degenerative Läsionen = Palmer 2A-E;

© Müller, K [20]

Traumatische Läsionen (Klasse 1) werden nach Palmer in 4 Subtypen (A - D) unterteilt. Die Läsionen der Klasse 1 unterscheiden sich bezüglich ihrer Lokalisation. Eine Palmer 1A-Läsion beschreibt einen zentralen Riss oder eine Perforation am radialseitig gelegenen Abschnitt des Diskus ulnocarpalis. Eine Palmer 1B-Läsion bezeichnet einen basisnahen Abriss des TFCC an der ulnaren Insertionsstelle mit oder ohne Abriss des Proc. styloideus ulnae. Aufgrund der biomechanischen Funktion als wichtigster Stabilisator des DRUG ist diese Art der Verletzung häufig mit einer Instabilität im DRUG assoziiert. Als Palmer 1C-Läsion werden Abrisse der distalen Anheftung des TFCC bezeichnet, insbesondere der Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum. Diese Schäden führen aufgrund der Funktion als Hauptstabilisator des ulnaren Karpus häufig zu einer ulnokarpalen Instabilität mit palmarer Subluxation des ulnaren Karpus. Palmer 1D-Läsionen bezeichnen Abrisse des TFCC an seiner radialen Insertionsstelle mit oder ohne begleitende distale Radiusfraktur [20].

Degenerative TFCC-Läsionen (Klasse 2) werden nach Palmer in 5 Subtypen unterteilt und sind das Resultat der chronischen axialen, ulnokarpalen Kraftübertragung. Die Läsionen der Klasse 2 unterscheiden sich – im Unterschied zu denen der Klasse 1 - bezüglich ihres

Schweregrades. Hierbei beschreiben Klasse 2A-Läsionen eine degenerative Abnutzung des TFCC im Sinne einer Ausdünnung des Discus ulnocarpalis, ohne diesen jedoch zu perforieren. Als Klasse 2B-Läsionen wird das Fortschreiten dieser degenerativen Veränderungen mit weiterer zentraler Ausdünnung des Diskus und zusätzlichen Knorpelschäden am Os lunatum und Os triquetrum bezeichnet. Kommt es zu noch weiterer degenerativer Abnutzung mit zentraler Ausdünnung des Diskus, sodass dieser letztendlich perforiert, bezeichnet man dies als Palmer 2C-Läsion. Klasse 2D-Läsionen sind durch eine zusätzliche Ruptur des Lig. ulnotriquetriums charakterisiert. Das Endstadium der degenerativen Veränderungen mit großer, zentraler Perforation des Diskus, multiplen Knorpelschäden, Ruptur des Lig. ulnotriquetriums und ulnokarpaler Arthrose wird als Palmer 2E-Läsion klassifiziert [55].

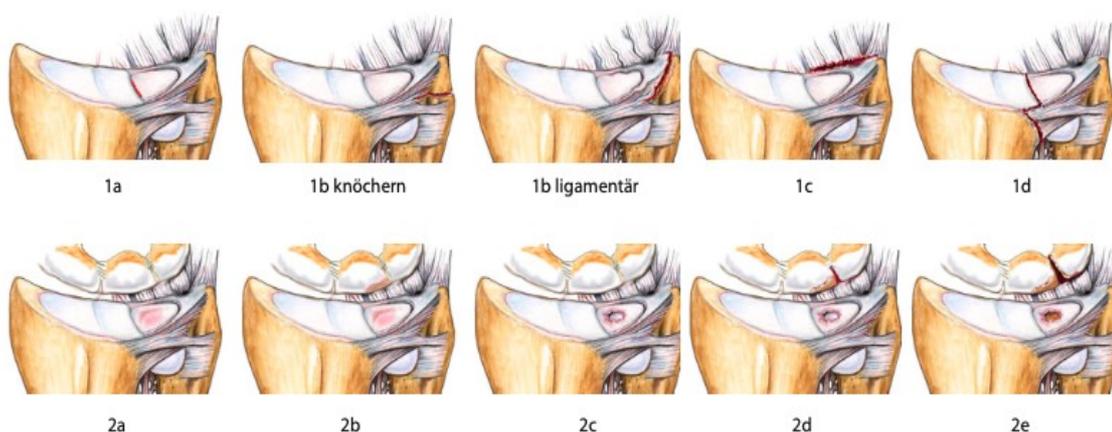


Abb. 5: Schematische Darstellung der TFCC-Läsionen, klassifiziert nach Palmer
 Oben: Traumatische Läsionen (Palmer 1A-D); Unten: Degenerative Läsionen (Palmer 2A-E); Mit freundlicher Genehmigung Prof. Dr. Martin Langer

Eine neuere Klassifikation von Atzei et al. subklassifiziert die traumatischen Palmer 1B-Läsionen des ulnaren Abrisses des TFCC in 6 unterschiedliche Varianten mit unterschiedlichem, prognostischen Outcome und möglichen Therapieoptionen [56]. Atzei differenziert die ulnaren TFCC-Läsionen hierbei vor allem in Hinblick auf Rupturen des tiefen und/oder oberflächlichen Blattes und der hieraus resultierenden Instabilität des DRUG (s. Tabelle 2) [57]. Eine Unterscheidung zwischen traumatischen und degenerativen Läsionen findet hingegen nicht statt.

Klasse	Art und Lokalisation	DRUG-Stabilität	Therapie
0	Fraktur PSU-Spitze	Stabil	Immobilisation
1	Ruptur oberflächliches Blatt, tiefes Blatt intakt	Stabil	Bandnaht
2	Ruptur oberflächliches + tiefes Blatt	Instabil	Transossäre Naht
3	Ruptur tiefes Blatt, oberflächliches Blatt intakt	Instabil	Transossäre Naht
3A	Fraktur PSU-Basis, tiefes Blatt rupturiert	Instabil	Refixation PSU
4	Zentrale Ruptur des TFCC mit Dehizens	Instabil	Rekonstruktionsversuch
5	Arthrose DRUG	Stabil/Instabil	Rettingoperation

Tabelle 2: Atzei-Klassifikation

Klassifikation und Therapieempfehlungen der ulnaren TFCC-Läsionen nach Atzei [57]; PSU = Proc. styloideus ulnae

1.3.4 Diagnostik

1.3.4.1 Anamnese und klinische Untersuchung

Leitsymptom einer potentiellen TFCC-Läsion ist der ellenseitige Handgelenkschmerz, der insbesondere bei forcierten Rotationsbewegungen verstärkt auftritt (z.B. Öffnen einer Flasche mit Schraubverschluss, Betätigen eines Türgriffes) [29]. Anamnestisch wird oftmals von einem Sturzereignis auf die ausgestreckte, pronierte Hand, ein Verdrehtrauma des Handgelenkes oder eine chronische axiale Belastung berichtet [58]. Häufig ist hierbei auch ein akutes Trauma der Auslöser von Beschwerden bei vorbestehenden, chronischen Verschleißerscheinungen.

Grundsätzlich sollte das gesamte Handgelenk untersucht werden. Es existieren jedoch mehrere spezifische, klinische Tests, die sich in der Aussagekraft teils stark unterscheiden und nur einen ersten Anhaltspunkt für das Vorliegen einer TFCC-Läsion geben können. Der klinisch bedeutsamste Test ist hierbei das Ulnar-fovea-Sign. Es beschreibt eine Druckschmerzhaftigkeit in der ulnopalmaren Grube knapp proximal des Os pisiforme. Nach Tay et al. zeigte sich in einer klinischen Studie ein sehr gutes Ergebnis mit einer Sensitivität von 95,2% und Spezifität von 86,5% bezüglich des Auftretens von TFCC-Läsionen. Ein weiterer Test ist der ulnokarpale Stresstest (TFCC-Grind-Test). Hierbei wird durch den Untersucher bei maximaler Ulnarduktion eine forcierte Supination und Pronation durchgeführt, die dabei vom Patienten ulnokarpal als schmerzhaft empfunden wird [59]. Beim TFCC-Shear-Test wird das Os pisiforme nach dorsal gedrückt, während Zeigefinger und Mittelfinger den Ulnakopf fixieren. Ein weiterer klinischer Hinweis auf eine TFCC-Läsion kann eine Instabilität im DRUG sein. Hierbei wird insbesondere bei der Rotationsbewegung ein schmerzhaftes, hörbares Klicken oder Schnappen an der distalen Ulna verspürt [28].

Eine zuverlässige Diagnostik ist allein mit der klinischen Untersuchung jedoch nicht zu stellen, sodass sich in der Regel eine bildgebende Anschlussdiagnostik ergibt.

1.3.4.2 Röntgen

Wenngleich mittels Röntgendiagnostik keinerlei Aussage über die Beschaffenheit des Diskus bzw. TFCC getroffen werden kann, so stellt das Nativröntgen des Handgelenkes in zwei Ebenen meist den ersten Schritt der bildgebenden Verfahren dar. Nach akutem Trauma kann hiermit zum Beispiel eine frische knöcherner Verletzung ausgeschlossen werden. Des Weiteren kann das Längenverhältnis der beiden Unterarmknochen zueinander bestimmt werden. Wie oben bereits erwähnt, gehen Längenvarianten der Ulna mit unterschiedlicher axialer Druckbelastung auf das ulnare Kompartiment einher. Somit können indirekt Rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit einer TFCC-Läsion getroffen werden [39]. Hierbei ist insbesondere auf die korrekte Durchführung der Röntgendiagnostik zu achten. Eine korrekte Neutralposition des Handgelenkes bei der dorsopalmar Aufnahme mit 90° im Schultergelenk abduziertem Arm ist essentiell, da eine Supinationsstellung fälschlicherweise eine Ulna-Plus-Variante und eine Pronationsstellung fälschlicherweise eine Ulna-Minus-Variante anzeigt [60, 61].

1.3.4.3 Arthrographie

Historisch gesehen war, vor den Zeiten der modernen MRT und der Handgelenk-Arthroskopie, die Arthrographie die Methode der Wahl zur Diagnostik einer TFCC-Läsion. Der Übertritt von Kontrastmittel von der proximalen Handwurzelreihe in das DRUG wurde hierbei als Ruptur gedeutet. Letztendlich konnte jedoch keinerlei Rückschluss auf die Beschaffenheit des Diskus getroffen werden. Zudem gab es eine hohe Rate an falsch-negativen Befunden [62, 63], sodass die isolierte Arthrographie heutzutage aufgrund mangelnder Aussagekraft keinerlei Bedeutung mehr hat und nur noch in Kombination mit der MRT oder Computertomographie (CT) angewendet wird.

1.3.4.4 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie des Handgelenkes gilt als Goldstandard der nichtinvasiven Diagnostik des TFCC. In der Literatur finden sich in zahlreichen Studien zur Diagnostik einer TFCC-Läsion teils stark unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Aussagekraft einer präoperativen MRT im Vergleich zu den maßgeblichen arthroskopischen Befunden, sodass der Nutzen der präoperativen MRT-Diagnostik in der klinischen Praxis kontrovers diskutiert wird.

In mehreren Studien spezialisierter radiologischer Zentren konnten sehr gute Ergebnisse der MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen mit einer Sensitivität und Spezifität von 85 - 100% im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie erreicht werden [5, 64-69], wobei hierbei auch stark unterschiedliche Ergebnisse je nach Lokalisation der TFCC-Läsion

vorlagen [70-72]. In Studien von Oneson et al. [73] und Haims et al. [72] konnte aufgezeigt werden, dass zentrale und radiale Läsionen mit einer hohen Sensitivität erkannt wurden, wohingegen ulnare Läsionen nur mit einer Sensitivität von 17 - 50% im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie richtig diagnostiziert wurden. In einer Studie von Hahn et al. wurde die Sensitivität und Spezifität der MRT für TFCC-Läsionen in der alltäglichen Praxis außerhalb von spezialisierten Studien untersucht [74]. Hierbei zeigte sich lediglich eine Sensitivität von 69% und eine Spezifität von 60% im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie, sodass aufgrund dieser Ergebnisse keine generelle Empfehlung der präoperativen MRT zur Diagnostik von TFCC-Läsionen ausgesprochen werden konnte. Vergleichbar hierzu zeigten sich in einer aktuellen Studie von Boer et al. (2018) sowohl für die 1,5-Tesla-MRT (71% Sensitivität, 75% Spezifität) als auch für die 3-Tesla-MRT (73% Sensitivität, 67% Spezifität) deutlich schlechtere Ergebnisse als allgemein beschrieben [75].

Ungeachtet dessen wird in der Literatur ein 3-Tesla-Magnetresonanztomograph als Diagnostikum der Wahl empfohlen. In der Darstellung feinsten Strukturen ist die 3-Tesla-MRT der 1,5-Tesla-MRT aufgrund der höheren Ortsauflösung und Kontrastreiche überlegen [5, 75-80]. Die Verwendung einer Handgelenkspule verbessert zusätzlich die Ergebnisse [81]. Die Magnetresonanz-Arthrographie mit zusätzlicher Applikation von intravenösen oder intraartikulären Kontrastmittel (indirekte oder direkte MR-Arthrographie) ist dem nativen MRT in der Diagnostik insbesondere von kleinsten Läsionen überlegen und sollte bei Verfügbarkeit stets durchgeführt werden [5, 75, 82-85]. Des Weiteren konnte in einer Studie von Lee et al. aufgezeigt werden, dass eine Traktion des Handgelenkes während der MRT-Untersuchung die Erkennung einer TFCC-Läsion zusätzlich erhöht [86].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Magnetresonanztomographie in zahlreichen Studien zumeist sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der richtigen Diagnostik einer TFCC-Läsion aufzeigt. Insbesondere die oben beschriebenen spezifischen Anforderungen an die MRT-Untersuchungen wie Kontrastmittelapplikation, Traktion des Handgelenkes oder auch die Durchführung durch ein 3-Tesla-MRT werden jedoch den meisten Patienten nur selten angeboten, sodass die im klinischen Alltag durchgeführten MRT-Untersuchungen zumeist von verminderter Qualität sind. So ist die MRT im klinischen Alltag ein hilfreiches Diagnostikum, sollte jedoch stets im Einklang mit dem klinischen Untersuchungsbefund gebracht werden.

Entsprechend der aktuellen Protokollempfehlung der „Arbeitsgemeinschaft Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates“ der Deutschen Röntgengesellschaft werden für eine allgemeine MRT des Handgelenkes folgende Empfehlungen ausgesprochen [87]:

- Das Gelenk sollte immer in mindestens 3 Ebenen dargestellt werden (coronar, sagital, axial).
- Zur Beurteilung des Knochenmarks sollte mindestens eine Ebene T1-gewichtet gemessen werden.
- Die Sensitivität frischer Verletzungen an Bändern, Sehnen und Muskeln, Knochenmark- und Knorpelveränderungen wird durch Fettsättigungstechniken verbessert, sodass immer mindestens 2 Ebenen mit Fettsättigung gemessen werden sollten.
- Signalarme Strukturen wie Fibrosen und Bänder sind auf dunklem Hintergrund schwer oder nicht erkennbar, sodass zu deren Beurteilung eine Sequenz ohne Fettsättigung von Vorteil ist.
- Als optimale Auflösung wird mindestens eine Schichtdicke von <2,5 mm und eine inplane Auflösung von 0,4 mm x 0,4 mm empfohlen.
- Bei akuten Verletzungen ist die Kontrastmittelgabe entbehrlich, bei chronischen Schmerzen wird stets die Kontrastmittelgabe empfohlen.
- Manche Strukturen (z.B. Muskellücken und Bandläsionen) werden erst durch das Eindringen von intraartikulärem Kontrastmittel sichtbar, sodass insbesondere bei unauffälligen konventionellen MRT und Beschwerdepersistenz eine direkte Arthro-MRT angestrebt werden sollte.

Verschiedene Sequenzen und Wichtungen können zur Darstellung des TFCC verwendet werden [5, 67, 88, 89]. Für eine optimierte Bildgebung am TFCC werden beispielhaft nach Schmitt und Lanz unten aufgeführte MRT-Protokolle empfohlen (s. Tabelle 3) [90].

MRT-Protokoll (nicht arthrografisch)			
Sequenztyp	Orientierung	Schichtdicke	Kontrastmittel
T2*w GRE	axial	2 mm	nein
PDw FSE fs	koronal	2 mm	nein
T1w (F)SE	koronal	2 mm	nein
T1w (F)SE fs	koronal	2 mm	ja
T1w (F)SE fs	sagital	3 mm	ja

MRT-Protokoll (MR-Arthrografie)			
Sequenztyp	Orientierung	Schichtdicke	Kontrastmittel intraartikulär
PDw FSE fs	koronal	2 mm	ja
T1w (F)SE	koronal	2 mm	ja
3D T1w GRE we	koronal	0,5 mm	ja
mit multiplanarer Rekonstruktion (radiär, sagital, axial)			

Tabelle 3: Empfohlene MRT-Protokolle bei TFCC-Läsionen
 aus Schmitt-Lanz, Bildgebende Diagnostik der Hand, 3. Auflage; [90]
 fs = spektrale Fettsättigung, FSE = FAST Spin Echo, GRE = Gradienten-Echo, PDw = protonendichtegewichtet, GRE = Gradienten-Echo, we = Wasseranregung

Voraussetzungen sind hierbei eine Flussdichte von 1,5 oder 3,0 Tesla, eine dezidierte Handspule, ein Field of View (FOV) von 8 - 10 cm, eine Schichtdicke von 2 mm für 2D-Sequenzen und eine Partitionsdicke von 0,5 mm für 3D-Datensätze sowie die Verwendung eines intravenösen oder intraartikulären Kontrastmittels auf Gadoliniumbasis [90].

1.3.4.5 CT- Arthrographie

Die Computertomographie des Handgelenkes mit intraartikulärer Applikation von Kontrastmittel (CT-Arthrographie) kann ein hilfreiches, zusätzliches Diagnostikum sein. So konnte in einer Studie von Bille et al. aufgezeigt werden, dass die CT-Arthrographie sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Diagnostik von zentralen TFCC- Läsionen im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie aufwies (Sensitivität 91% und Spezifität 85%). Periphere Läsionen wiesen hingegen nur eine Sensitivität von 40% und Spezifität von 97% auf [91]. In aktuellen Studien konnte zudem aufgezeigt werden, dass mittels Multidetektor-CT eine noch höhere Sensitivität und Spezifität im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie erreicht wurde. Nach Felippo et al. betrug die Sensitivität und Spezifität 92% und 94%, nach Lee et al. betrug Sensitivität und Spezifität sogar jeweils 100% [82, 92].

1.3.4.6 Ultraschall

Die Ultraschalldiagnostik besitzt zum Nachweis von TFCC-Läsionen nur einen verminderten Stellenwert. Dennoch konnte nachgewiesen werden, dass mittels hochauflösendem Ultraschall ligamentäre Strukturen darstellbar sind [93, 94].

1.3.4.7 Arthroskopie

Die Arthroskopie des Handgelenkes stellt heutzutage den Goldstandard zur Diagnostik einer TFCC-Läsion dar [95-101]. Sie ermöglicht eine präzise Beurteilung des TFCC und der umliegenden Strukturen. Akute und degenerative Läsionen können hierbei gut voneinander unterschieden werden, sodass die genaue Klassifikation nach Palmer möglich ist. Des Weiteren bietet die Arthroskopie den enormen Vorteil, dass neben der präzisen Diagnostik im selben Eingriff auch eine arthroskopisch-chirurgische Therapie erfolgen kann [95, 102, 103].

Es existieren verschiedene Techniken zur Durchführung der Handgelenkarthroskopie. In der Regel erfolgen zwei dorsale Zugänge und bedarfsweise werden weitere Zugänge angelegt. Die Kamera wird hierbei über das 3-4-Portal (zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach) in das Radiokarpalgelenk eingeführt. Das Instrumentarium wird über das 6-R-Portal (radial des 6. Strecksehnenfaches) eingebracht. Weitere dorsale Zugangswege sind beispielsweise das 1-2-Portal, das 4-5-Portal und das 6-U-Portal sowie

bedarfsweise die mediokarpalen Portale MCR (mediokarpal radial) und MCU (mediokarpal ulnar). Nach dem diagnostischen Rundgang über das 3-4-Portal erfolgt die arthroskopische Überprüfung des TFCC. Mit einem über das 6-R-Portal eingebrachten Tasthaken werden die Spannung und Elastizität des TFCC überprüft, indem leichter Druck auf die Oberfläche ausgeübt wird. Bei Normalbefund federt der Diskus durch seine Vorspannung wie ein Trampolin. Diesen Test bezeichnet man dementsprechend auch als Trampolintest [104]. Der Hakentest (Hook Test) überprüft insbesondere die tiefen Fasern des TFCC. Hierbei wird mit einem Testhaken ein Zug auf den ulnaren Rand des TFCC ausgeübt. Wenn sich dieser nach radial und distal ziehen lässt, ist der Test positiv und spricht für eine Pathologie im Sinne eines tiefen Abrisses (Lig. subcruentum). Ein weiterer Test ist der Push-off-Needle Test, mit dem insbesondere die tiefen Fasern der radioulnaren Ligamente überprüft werden können [105]. Bei diesem Test führt man eine kräftige Kanüle proximal des TFCC ein und hebt mit der Kanüle vorsichtig nach distal. Lässt sich der TFCC anheben, so ist der foveale Anteil des TFCC rupturiert. Als limitierender Faktor muss angemerkt werden, dass in mehreren Studien aufgezeigt werden konnte, dass die Inter- und Intraobserver-Reliabilität der Handgelenk-Arthroskopie gering ist [106-110]. Demnach ist die Einschätzung und Klassifikation der TFCC-Läsionen sowie die hieraus resultierende Therapie auch immer maßgeblich vom Operateur abhängig.

Resümierend lässt sich dennoch festhalten, dass die Handgelenkarthroskopie ein ausgezeichnetes Diagnostikum zur Beurteilung von TFCC-Läsionen ist und mit der Möglichkeit der direkten arthroskopischen Therapie viele Vorteile mit sich bringt. Die Komplikationsrate wird im Allgemeinen als gering angesehen [111-113]. Die am häufigsten beschriebene Komplikation ist die Schädigung von sensiblen Hautnervenästen.

1.3.5 Therapie

Die Therapie einer TFCC-Läsion ist abhängig von der nach Palmer bzw. Atzei klassifizierten Schädigung. Die konservative Therapie mittels Ruhigstellung des Handgelenkes in einer Unterarmorthese für 3 - 6 Wochen stellt bei klinisch stabilen DRUG eine gute primäre Behandlungsoption dar [114]. In einer aktuellen Studie von Sander et al. (2020) konnte ein vergleichbar positives Outcome nach konservativer (2-wöchige Ruhigstellung in einer Unterarmorthese) und arthroskopischer Therapie nachgewiesen werden [115]. Bei Beschwerdepersistenz oder primärer Instabilität im DRUG ist dennoch oftmals eine operative Therapie notwendig. Häufige chirurgische Interventionen sind dabei das Debridement, die Resektion oder Teilresektion, die Refixation oder die Ulnaverkürzungsosteotomie [6-9, 13, 116-119]. Aufgrund der komplexen Anatomie und

Durchblutung des TFCC existieren für die nach Palmer klassifizierten TFCC-Läsionen abweichende Therapieempfehlungen mit unterschiedlichem prognostischem Outcome.

In einer systematischen Literaturrecherche von Schädel-Höpfner et al. konnten die unübersichtliche Studienlage zusammengefasst und die aktuellen Therapieoptionen dargelegt werden [9]. Palmer-1A-Läsionen werden ausschließlich mittels Debridement, Teilresektion des Diskus [13, 120] und ggf. einer Ulnaverkürzungsosteotomie [121] behandelt. Bei den ulnaren 1B-Läsionen steht die Refixation und ggf. additiv ein Debridement des Diskus im Vordergrund. Zur Refixation sind offene und diverse arthroskopische Nahttechniken beschrieben, die sich jedoch nicht relevant im Therapieerfolg unterscheiden [13, 122-126]. Die Palmer-1C-Läsionen werden mittels Refixation der peripheren Anteile des Diskus oder einem Debridement behandelt [13, 127]. Bei der radialen 1-D-Läsion existieren ebenfalls die Refixation und das Debridement als Therapieoptionen, wobei die Refixation dem Debridement überlegen zu sein scheint [13].

Die Therapie degenerativer TFCC-Läsionen richtet sich nach zwei Prinzipien. Zum einen kann die Behandlung der vorliegenden Diskusläsion mittels Debridement oder Teil-/ Resektion des Diskus erfolgen und zum anderen die Entlastung des ulnokarpalen Komplexes durch eine Ulnaverkürzungsosteotomie [9, 128-130].

1.3.6 Postoperatives Outcome

Die aktuelle Studienlage bezüglich des postoperativen Outcomes ist unzureichend und oft nur von geringgradiger Evidenz. Zumeist werden die klinischen Ergebnisse von operativen Maßnahmen als sehr erfolgreich angegeben [8, 10-13, 131]. In einer aktuellen Studie von Arsalan-Werner et al. (2018) konnte beispielhaft bei 43 Patienten mit Palmer-1A-Läsion, welche mit einem arthroskopischen Debridement therapiert worden waren, eine signifikante Verbesserung des Schmerzempfindens, der Lebensqualität (DASH-Score) und der Handgelenkbeweglichkeit nachgewiesen werden [10]. Studien über die arthroskopische Therapie bei Palmer-1B-Läsionen konnten gleichermaßen eine signifikante Verbesserung von Schmerzempfinden, Lebensqualität und Beweglichkeit nachweisen [123, 132-136]. Eine klinische Studie von Wu et al. (2019) wies bei 149 Kindern und Jugendlichen mit traumatischen Palmer-Läsionen ebenfalls eine signifikante Verbesserung des Schmerzempfindens und des funktionellen Outcomes, sowohl nach erfolgtem arthroskopischen Debridement, als auch nach arthroskopischer Naht nach [137]. Studien zur Therapie degenerativen Palmer-Läsionen mit arthroskopischer Therapie des Diskusschadens in Kombination mit einer Ulnaverkürzungsosteotomie konnten ebenfalls sehr gute Ergebnisse im postoperativen Outcome nachweisen [128, 129, 138].

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die klinischen Studien über sehr gute Ergebnisse nach operativer Therapie berichten, mit signifikanten Verbesserungen in der Funktion, für Alltagseinschränkungen und der Schmerzintensität. Aufgrund geringer Fallzahlen ist jedoch eine genaue Unterscheidung anhand der nach Palmer klassifizierten Läsion, der spezifischen Therapie und des individuellen Outcomes nur selten möglich.

Bemerkenswert ist auch die aktuelle Publikation von Sander et al. (2020), welche das isolierte arthroskopische Debridement bei akuten und degenerativen TFCC-Läsionen mit einer konservativen Therapie verglich und dabei keinen signifikanten Unterschied im postoperativen Outcome nachweisen konnte [115].

1.4 Ziele der Arbeit

Ziel dieses Forschungsvorhaben war es, anhand klinischer Daten festzustellen, inwiefern die außerhalb spezialisierter, radiologischer Zentren angefertigte MRT des Handgelenkes eine zuverlässige Aussage über die arthroskopisch definierte Schädigung des TFCC gibt. Des Weiteren sollte mithilfe zweier Fragebögen (1. DASH Score, 2. selbst entworfener, spezifischer Fragebogen (s. Anhang)) das postoperative Outcome der arthroskopischen Therapie überprüft werden. Übergeordnetes Ziel war es, aus den potentiell gewonnenen Erkenntnissen Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie des ulnaren Handgelenkschmerzes abzuleiten.

2 Material und Methoden

2.1 Allgemeine Studienbeschreibung

Für die Studie wurden alle Patienten berücksichtigt, bei denen im Zeitraum vom 01.01.2013 bis 31.12.2018 in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie des Lukaskrankenhauses Neuss Handgelenkarthroskopien durchgeführt wurden. In diese retrospektive Studie eingeschlossen wurden hierbei alle Patienten mit anamnestisch-klinisch ulnarem Handgelenkschmerz und/oder anhand der MRT bestehendem Verdacht auf eine TFCC-Läsion. Ausgeschlossen wurden Patienten mit einem Alter unter 18 Jahren und fehlendem Einverständnis zur Studienteilnahme. Die in Frage kommenden Patienten wurden über das klinikeigene Arthroskopie-Register und eine Abfrage im Krankenhausinformationssystem (KIS) ermittelt. Mittels Durchsicht der Krankenakte erfolgte eine Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien. Die so selektierten Patienten wurden telefonisch kontaktiert, postalisch angeschrieben und bekamen die Patienteninformation und Einwilligungserklärung zugesandt. Voraussetzung für die endgültige Studienteilnahme war die schriftliche Einwilligung in das Forschungsvorhaben.

Mittels eines eigenen Fragebogen wurden Informationen über die Krankengeschichte, das Beschwerdemaß vor der Operation und das subjektive Ergebnis nach der Operation erfasst. Für die standardisierte Outcome-Beurteilung wurde der international anerkannte DASH Score (Disability of Arm, Shoulder and Hand) verwendet. Zur Auswertung der MRT-Daten erfolgte ein Vergleich der auswärtigen schriftlichen Befunde mit einer eigenen Beurteilung der im krankenhauseigenen PACS hinterlegten Bilder durch zwei unabhängige Befunder. Die so primär und sekundär erhobenen MRT-Diagnosen wurden den maßgeblichen arthroskopischen Diagnosen gegenübergestellt.

Mit den erhobenen Daten wurde ein wissenschaftlicher Datensatz erstellt, welcher es ermöglichte, die allgemeinen Patientendaten, die MRT-Befunde, die intraoperativen arthroskopischen Operationsbefunde und das postoperative Outcome miteinander zu vergleichen. Die Datenverarbeitung erfolgte mit Microsoft Excel. Nach Abschluss der Datenerhebung erfolgte die statistische Auswertung mittels SPSS-Software.

Die Studie wurde durch die zuständige Ethikkommission geprüft und am 21.03.2019 zustimmend bewertet (Studiennummer: 2019-413-KFogU).

2.2 Patientenkollektiv

Über das klinikeigene Arthroskopie-Register und eine Abfrage im Krankenhausinformationssystem (KIS) wurden alle Patienten ermittelt, bei denen im Zeitraum vom 01.01.2013 bis 31.12.2018 in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie des Lukaskrankenhauses Neuss Handgelenkarthroskopien durchgeführt worden sind. Nach der Abfrage folgender OPS Codes (1-697.3, 5-811.27, 5-812,07, 5-812.e7) und Auswertung des Arthroskopie-Registers konnten 156 Arthroskopien bei 151 Patienten ausfindig gemacht werden. Die primäre Operationsindikation unterteilte sich hierbei grob in drei unterschiedliche Verdachtsdiagnosen (TFCC-Schaden, skapholunäre Instabilität, unklarer Handgelenkschmerz). Von den 151 Patienten wurden alle Patienten mit anamnestisch-klinisch ulnarem Handgelenkschmerz und/oder im MRT bestehendem Verdacht auf eine TFCC-Läsion eingeschlossen. Die Festlegung erfolgte anhand des klinikeigenen Arthroskopie-Registers (s. Anhang). 68 Patienten wurden aufgrund abweichender OP-Indikation ausgeschlossen. Demnach konnten 83 Patienten mit der primären OP-Indikation des Verdachtes auf einen Diskusschaden und/oder anamnestisch ulnarem Handgelenkschmerz identifiziert werden. Eine Patientin war verstorben und musste dementsprechend aus der Studie ausgeschlossen werden. Alle Patienten waren zum Befragungszeitpunkt über 18 Jahre alt, sodass kein Ausschluss aufgrund des Patientenalters erfolgte.

Die verbliebenen 82 Patienten wurden, wenn möglich zunächst telefonisch kontaktiert, über die Studie aufgeklärt und erhielten anschließend die Studienunterlagen (Patientenanschreiben, Patienteninformation, Einwilligungserklärung, DASH-Fragebogen, spezifischer Fragebogen) im August 2019 zugesandt. 5 Patienten konnten aufgrund falscher Kontaktdaten dabei weder telefonisch noch postalisch erreicht werden. 77 Patienten konnten demnach die Studienunterlagen korrekt zugestellt werden. Von den 77 Patienten hatten 52 Patienten die Studienunterlagen vollständig und mit unterschriebener Einwilligungserklärung zurückgesandt. Dies entsprach einer sehr guten Rücklaufquote von 67,5%.

Bei den 52 Patienten wurden insgesamt 53 Handgelenk-Arthroskopien durchgeführt. Eine Patientin wurde hierbei an der linken und rechten Hand operiert.

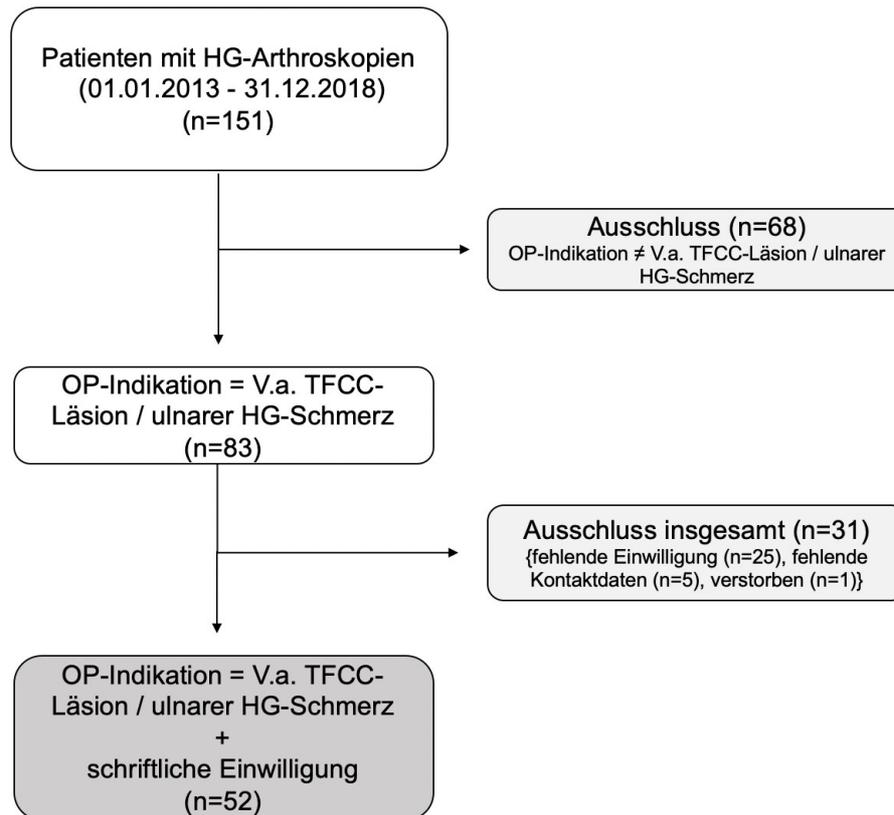


Abb. 6: Flussdiagramm der Studie
Zusammensetzung des Patientenkollektivs

2.2.1 Kollektivbildung

Zur Bewertung des Patientenoutcomes / Operationserfolges wurden die Werte des DASH-Score und die im individuellen Fragebogen ermittelten prä- und postoperativen Beschwerden / Schmerzen für unterschiedliche Patientenkollektive ermittelt und miteinander verglichen. Zuallererst erfolgte die Bewertung des gesamten Patientenkollektivs (n=52). Da beim Gesamtkollektiv zum Teil ein- oder zweizeitig Kombinations-/Folgeoperationen durchgeführt worden waren, wurde ein Subkollektiv gebildet, welches nur isoliert die Handgelenk-Arthroskopie erhalten hatte (n=33), um etwaige zusätzliche Einflussfaktoren auf das Operationsergebnis auszuschließen. Zudem wurden die Patienten, die direkt oder im weiteren Krankheitsverlauf eine Ulna-Verkürzungsosteotomie erhalten hatten (n=10), in einem weiteren Subkollektiv betrachtet. Konkret ergaben sich bei der Auswertung der Studie folgende Patientenkollektive:

- Patientenkollektiv 1: alle Patienten (n=52), alle Operationen (n=53)
- Patientenkollektiv 2: reine Handgelenk-Arthroscopien (n=33), keine Kombinations-/Folgeeingriffe
- Patientenkollektiv 3: Ulnaverkürzungsosteotomie direkt oder im Verlauf (n=10)

2.3 Datenerhebung

2.3.1 Allgemeines

Alle erhobenen Daten wurden zu pseudonymisierten Datensätzen zusammengefasst. Die Datenverarbeitung erfolgte mit Microsoft Excel (Microsoft Excel Mac, 2016). Nach Abschluss und Auswertung der Studie wurden die personenbezogenen Daten anonymisiert. Die Daten werden entsprechend der Forschungsvereinbarung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf für 10 Jahre aufbewahrt und nach Ablauf der 10 Jahre unwiderruflich gelöscht.

2.3.2 Patientenakte, Protokoll Handgelenk-Arthroskopie, OP-Bericht

Die Datenerhebung der allgemeinen Patientendaten erfolgte aus der elektronischen Patientenakte des KIS. Studien-/krankheitsspezifische Informationen wurden aus dem klinikinternen Handgelenk-Arthroskopie-Protokoll, OP-Bericht, Entlassbrief und Sprechstundenbericht entnommen. Hierbei konnten unten aufgeführte Information gewonnen werden (s. Tabelle 4).

- Geburtsdatum und Alter zum Operationszeitpunkt
- Geschlecht
- Händigkeit
- Allgemeine Patientendaten (Adresse, Telefonnummer)
- Op-Datum, ggf. Unfalldatum
- Follow-OP-Zeitraum (errechnet in Monaten)
- Präoperative Hauptdiagnose
- Präoperative Nebendiagnosen / Besonderheiten
- Arthroskopische Zugangswege (Portale)
- Arthroskopische Diagnose des TFCC
- Arthroskopische Nebendiagnosen / Begleitpathologien
- Arthroskopische Therapie des Diskus
- Arthroskopische Therapie der Nebendiagnosen / Begleitpathologien
- Postoperative Prozedere, Folgeoperationen

Tabelle 4: Datenerhebung aus Patientenakte, Arthroskopie-Protokoll, OP-Bericht

2.3.3 MRT-Untersuchungen / Befunde

Beim oben genannten Patientengut lagen im Rahmen der präoperativen bildgebenden Diagnostik im klinikinternen PACS (*Picture Archiving and Communication System*) insgesamt 46 MRT-Untersuchungen vor. Sechsmal wurde eine CT durchgeführt. Einmal war keine präoperative Schicht-Bildgebung dokumentiert. Die MRT-Untersuchungen waren dabei durch 19 unterschiedliche radiologische Praxen / Institute durchgeführt worden.

Zur Beurteilung der Qualität der vorliegenden MRT-Untersuchungen wurden die apparativen Aspekte und Geräteeinstellungen erfasst (s. Tabelle 5). Die durchgeführten Sequenzen und Wichtungen wurden mit den im Einleitungsteil beschriebenen, allgemeinen Protokollempfehlungen für die unspezifische Handgelenk-MRT sowie mit den TFCC-spezifischen Protokollempfehlung nach Schmitt-Lanz verglichen.

- Feldstärke MRT in Tesla
- Sequenzen und Wichtungen (coronar, axial, sagital)
- Schichtdicke in mm
- FOV (Field of View) in cm
- Applikation von Kontrastmittel
- Verwendung einer Handgelenkspule (wrist coil)

Tabelle 5: Beurteilungskriterien der Magnetresonanztomographien

Des Weiteren erfolgte eine Auswertung der offiziellen, schriftlichen MRT-Befunde, welche jeweils von einem Facharzt für Radiologie (im Weiteren „Befunder 1“ genannt) durchgeführt und dokumentiert worden waren. Von den 46 MRT-Untersuchungen lagen 43 schriftliche MRT-Befunde vor. Die MRT-Befunde wurden dabei in 5 unterschiedliche Kategorien bezüglich der jeweiligen Äußerung zur Beschaffenheit des TFCC unterteilt („keine Aussage“, „lose Aussage“, „differenzierte Aussage“, „spezifische Klassifikation nach Palmer“ oder „ohne pathologischen Befund“). Zudem erfolgte eine grobe Einteilung der schriftlichen MRT-Befunde in einen pathologischen Befund (= „TFCC-Läsion“) oder einen Normalbefund (= „ohne pathologischen Befund“).

Zusätzlich erfolgte eine eigene Beurteilung der im krankenhauseigenen PACS hinterlegten Bilder durch zwei unabhängige Befunder. Die Beurteilung der Bilder erfolgte hierbei jeweils verblindet ohne Wissen über den offiziellen MRT-Befund und die arthroskopisch definierte Diagnose. Der erste zusätzliche Befunder ist Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit der Zusatzbezeichnung Handchirurgie und verfügt über langjährige klinische Erfahrung und wissenschaftlicher Expertise in der Handchirurgie.

Der zweite zusätzliche Befunder (im Weiteren „Befunder 3“ genannt) ist Assistenzarzt in fortgeschrittener Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie (4. Weiterbildungsjahr) mit klinischer Tätigkeit in der Orthopädie und Unfallchirurgie und dem klinikinternen Schwerpunkt der Handchirurgie.

Befunder 2 und 3 werteten hierbei die vorliegenden MRT-Untersuchungen anhand folgender Gesichtspunkte aus (s. Tabelle 6). Es erfolgte dabei eine eigene Beurteilung des TFCC. Hierbei wurde zwischen Normalbefund (= „ohne pathologischen Befund“) und einer TFCC-Läsion (klassifiziert nach Palmer) unterschieden. Sofern eine Palmer-1B-Läsion diagnostiziert wurde, erfolgte eine Subklassifikation nach Atzei. Zudem wurden die Sequenz und Wichtung sowie die jeweilige Schichtdicke, anhand derer der Befund festgemacht wurde, dokumentiert („Wahlsequenz und Wichtung“, „Schichtdicke Wahlsequenz“). Des Weiteren wurde die Längenvarianz der Ulna (in mm) in Korrelation zur ulnaren Gelenkfläche des Radius bestimmt. Schlussendlich erfolgte eine subjektive Beurteilung der Bildqualität der vorliegenden Magnetresonanztomographie anhand von Schulnoten (1-6).

- TFCC- Läsion (o.p.B. / Klassifikation nach Palmer, ggf. Subklassifikation nach Atzei)
- Wahlsequenz und Wichtung
- Schichtdicke Wahlsequenz
- Ulnavarianz in mm
- Subjektive Beschreibung der Bildqualität (Schulnoten 1-6)

Tabelle 6: Befundungskriterien MRT (Befunder 2 und 3)

2.3.4 Arthroskopische Befunde / Therapie

Die arthroskopisch definierten Diagnosen wurden in zwei Hauptkategorien unterteilt. Anfänglich wurde die Beschaffenheit des TFCC dokumentiert. Hierbei erfolgte erneut eine Unterteilung zwischen Normalbefund (= „ohne pathologischen Befund“) und einer TFCC-Läsion (klassifiziert nach Palmer). Zudem wurden Begleitpathologien beschrieben und dokumentiert (Knorpelschaden, Synovialitis, Plicasyndrom, etc). Entsprechend der festgestellten Diagnose / Pathologie wurde die jeweils durchgeführte Therapie erfasst. Diese konnte sowohl im Rahmen des unmittelbaren arthroskopischen Eingriffes und/oder auch offen durch ein additiv durchgeführtes Operationsverfahren erfolgen.

2.3.5 Postoperatives Prozedere

Die durch den Operateur festgelegte postoperative Nachbehandlung und weitere Therapieempfehlung wurde systematisch erfasst. Sofern aufgrund des Verletzungsausmaßes und/oder bei Beschwerdepersistenz eine weitere Operation empfohlen wurde, wie z.B. eine Ulna-Verkürzungsosteotomie, so wurde die Patientenakte auf eine potentiell durchgeführte Folgeoperation überprüft. Für den Fall, dass eine Folgeoperation durchgeführt worden war, so wurde diese mit ihrer postoperativen Nachbehandlung abermals dokumentiert.

2.4 Bildgebende Diagnostik

2.4.1 Magnetresonanztomographie

Die Funktionsweise der Magnetresonanztomographie ist komplex und soll hier nur in vereinfachter Form dargestellt werden. Die Kernspintomographie beruht im Allgemeinen auf den Eigenschaften von Atomkernen mit ungerader Nukleonenzahl. Wasser ist das häufigste Molekül im menschlichen Körper und kommt je nach Gewebe in unterschiedlicher Zusammensetzung vor. Das enthaltene Wasserstoffproton (H^+) ist aufgrund des ubiquitären Vorkommens und günstiger magnetischer Eigenschaften daher besonders zur Messung geeignet [139]. Jedes Proton besitzt einen Eigendrehimpuls (Kernspin). Dies bedeutet, dass sich seine positive Ladung mit einer stoffspezifischen Geschwindigkeit um die eigene Achse bewegt. Die bewegte elektrische Ladung entwickelt hierbei ihr eigenes magnetisches Dipolmoment [139, 140]. Im menschlichen Körper liegen diese einzelnen Magnetfelder ungeordnet vor und kompensieren sich gegenseitig. Setzt man nun den menschlichen Körper einem starken externen Magnetfeld aus, so richten sich die einzelnen Dipole entlang sogenannter Feldlinien - in paralleler oder antiparalleler Richtung - aus. Die meisten Dipole nehmen hierbei die energetisch günstiger Parallelposition ein. Eine messbare Nettomagnetisierung (= Längsmagnetisierung, M_z) entsteht [139]. Um das für die MRT notwendige Signal zu erhalten, muss ein kurzer Impuls einer spezifischen Radiofrequenz (= Larmofrequenz) in das Magnetfeld eingestrahlt werden. Durch diesen Hochfrequenzimpuls (HF-Impuls) werden die Protonen um einen bestimmten Winkel in der xy-Ebene ausgelenkt. Eine messbare Quermagnetisierung M_{xy} entsteht [139, 141]. Unmittelbar nach der Anregung und Abschaltung des HF-Impulses kehren die Protonen in den energetisch günstigeren Grundzustand zurück [139]. Hierbei geben sie die überschüssige Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ab. Diesen Vorgang bezeichnet man als Relaxation, wobei zwischen einer Längsrelaxation (T_1) und einer Querrelaxation (T_2) unterschieden wird [139, 142]. Zur Erzeugung eines MR-Bildes muss

eine Schicht mehrmals nacheinander angeregt und gemessen werden. Zur räumlichen Zuordnung der magnetischen Impulse wird das Magnetfeld durch zusätzliche Magnetfelder geringerer Feldstärke (= Gradientenfelder) überlagert [141, 142]. Die Folge mehrerer HF-Impulse nennt man (Puls-)sequenz. Die Zeit zwischen zwei Anregungen heißt Repetitionszeit (TR), die Zeit zwischen Anregung und Signalaufnahme wird Echozeit (TE) genannt [139].

Das erhaltene Signal ist hierbei abhängig vom Magnetfeld des Tomographen, der Protonendichte und der T1- und T2-Relaxationszeit. Protonendichte (d.h. Wassergehalt), T1- und T2-Relaxationszeit sind spezifische Merkmale anhand derer sich verschiedene Gewebe teils sehr stark unterscheiden, sodass sich hieraus die verschiedenen Kontraste berechnen lassen [141]. Durch Änderung der Sequenzparameter (TR und TE) können bestimmte Gewichtungen erzielt werden, in denen die verschiedenen Gewebe, entsprechend ihrer Relaxationszeiten und Protonendichte zu unterschiedlich starken Signalen führen [141, 142]. Eine T1-gewichtete Sequenz ist durch eine kurze TR und TE charakterisiert. Gewebe mit einer kurzen T1 (z.B. Fett) erscheinen hierbei hell (hyperintens) und Gewebe mit einer langen T1 (z.B. Wasser) erscheinen dunkel (hypointens). Eine T2-gewichtete Sequenz zeichnet sich hingegen durch eine längere TR und TE aus. Gewebe mit einer langen T2 (z.B. Wasser) erscheinen hierbei hell und Gewebe mit einer kurzen T2 (z.B. Muskulatur) erscheinen dunkel [139, 141].

2.4.1.1 Diagnosekriterien

Die verwendeten Diagnosekriterien zur Beschreibung und Klassifikation einer TFCC-Läsion lassen sich nicht klar definieren, da die Diagnostik durch unterschiedliche Befunder mit potentiell eigenen, unterschiedlichen Diagnosekriterien stattfindet. Im Allgemeinen gilt jedoch, zentrale Läsionen lassen sich in der nativen MRT am besten in T2w-Sequenzen durch Interponation eines signalreichen Ergusses zentral innerhalb des Diskus, in Form von Flecken oder Linien, nachweisen. Der Erguss liegt jedoch häufig nicht vor, sodass bildgebender Referenzstandard die T1w-Sequenz ist, in der sich der Diskusdefekt kontrastreich abbildet [90]. Die peripheren Läsionen können entweder anhand eines Strukturdefektes mit Konturunregelmäßigkeit oder aufgrund ihrer guten Vaskularisation mit fokaler Hyperämie anhand eines KM-Enhancements am Schädigungsort festgestellt werden [90]. Eine genaue Unterscheidung zwischen traumatischen und degenerativen Läsionen ist im MRT nicht sicher möglich. Dennoch stellt sich bei einer akuten, traumatischen Läsion der Diskusdefekt eher scharfkantig und bei der degenerativen Läsion eher stumpf dar. Die Beurteilung der Gelenkknorpel erfolgt am besten in einer PDW-FSE-fs- oder T2w*-Sequenz. Eine Chondropathie stellt sich hierbei in Form von heterointensen Knorpelinschlüssen und Knorpelhöhenminderung dar [90].

2.4.2 Handgelenkarthroskopie

Alle Operationen wurden durch denselben, in der Handchirurgie erfahrenen Operateur, entweder in leitender Funktion als Hauptoperateur oder in assistierender Funktion als 1. Assistent durchgeführt. Die Handgelenkarthroskopie wurde in standardisierter Technik im Rahmen eines ambulanten Eingriffes in Vollnarkose oder Plexusanästhesie vorgenommen. Perioperativ wurde eine prophylaktische Antibiotikatherapie mit 2g Cefazolin durchgeführt. Die Operation erfolgte in Rückenlage. Hierbei wurde der Operationsarm auf einem Armtisch bei 90° Abduktion im Schultergelenk ausgelagert und auf Höhe der angelegten Oberarmblutdruckmanschette mit Extremitätengurten am Operationstisch fixiert. Anschließend erfolgte das standardisierte Abwaschen und Abdecken des Operationsgebietes. Über an Zeigefinger und Ringfinger angelegte Mädchenfänger wurde der Unterarm vertikal in ca. 90° Flexionsstellung im Ellenbogen an einem Traktionsarm befestigt und aufgespannt, sodass ein ausreichender Zug aufgebaut werden konnte. Die Operation erfolgte hierbei, nach Auswickeln des Armes mit einer Esmarch-Binde und Schließen der Blutsperre auf 280 mmHG, in Blutleere. Die anatomischen Landmarken wurden markiert. Über den 3/4-Zugang wurde eine Injektionskanüle in das Radiokarpalgelenk eingestochen. Anschließend wurde eine weitere Kanüle über den MCR-Zugang in das Interkarpalgelenk eingeführt. Nun wurde über den 3/4er Zugang das Gelenk mit ca. 10 ml NaCl 0,9% aufgefüllt. Der Zwei-Kanülen-Test zeigte sich negativ, sofern es zu keinem Austritt der Flüssigkeit aus dem MCR-Zugang kam. Nach Auffüllung des Gelenkes erfolgte eine Stichinzision über der 3/4 Pforte und die stumpfe Präparation in das Gelenk. Über einen Trokar wurde das Arthroskop (2,4 mm Optik, Fa. Stryker) eingeführt. Das Gelenk wurde zunächst ausgiebig gespült. Anschließend begann der diagnostische Rundgang mit Beurteilung der Knorpelbeschaffenheit, der Gelenkschleimhaut (Synovialis), des palmaren Bandapparates, der interossären Bänder (SL-, LT-Band) und des TFCC. Zunächst wurden die radialen Gelenkanteile inspiziert. Der Knorpelbelag am Skaphoid und der korrespondierenden Radiusgelenkfläche wurde bis hin zum Processus styloideus radii inspiziert. Anschließend wurde das Arthroskop nach palmar und ulnar umgeschwenkt. In Blickrichtung nach palmar wurde das Ligamentum radioscapnocapitatum und das Ligamentum radioscapnolunatum betrachtet. In Blickrichtung nach distal wurden der Knorpelbelag des Os lunatum und Os triquetrum sowie die Beschaffenheit der interossären Bänder (SL- und LT-Band) beurteilt und auf eine Verletzung hin überprüft. Anschließend wurde der TFCC inspiziert und der Diskus auf eine bereits sichtbare Auffaserung oder grobe Läsion hin überprüft. Über das 6R-Portal wurde in oben beschriebener analoger Technik ein zweiter Zugang geschaffen, sodass zunächst ein Tasthaken eingeführt werden konnte. Mit dem Tasthaken wurde die radiale und ulnare Anheftung sowie allgemeine Stabilität des Diskus mit Hilfe des Trampolin-Tests überprüft. Nach abgeschlossenem diagnostischen

Rundgang wurde über das 6R-Portal ein Shaver oder Punch eingeführt. Damit konnten anschließend therapeutische Maßnahmen, wie beispielhaft eine etwaige Knorpelglättung, Diskusglättung oder partielle Synovialektomie durchgeführt werden. Bedarfsweise erfolgte eine mediokarpale Arthroskopie. Nach Abschluss der therapeutischen Maßnahmen wurden die Instrumente entfernt. Die Blutspeere wurde geöffnet. Nach der Hautdesinfektion erfolgte die Hautnaht in Donati-Rückstichnaht und Anlage eines sterilen Wundverbandes. Je nach Operationsbefund wurde additiv zur Ruhigstellung eine streckseitige Unterarm-Cast-Schiene angelegt.

2.4.2.1 Diagnose- und Therapiekriterien

Als eine der ersten diagnostischen Maßnahmen erfolgte eine Beurteilung der Synovialis. Hierbei wurde zwischen einer lokalen und generalisierten Synovialitis unterschieden. Zudem wurde die Beschaffenheit der Synovialis (Gefäßzeichnung, Ödembildung, Auflagerungen, Farbe) analysiert. Lokale Synovialitiden sind im Allgemeinen eher Ausdruck lokalisierter, degenerativer Schäden (z.B. TFCC-Läsionen, extrinsische oder intrinsische Bandverletzungen), generalisierte Synovialitiden sind eher Ausdruck einer schweren, degenerativer Erkrankung (z.B. der Radiokarpalarthrose) oder rheumatischer Genese [143]. Häufig musste allein zur Übersichtsverschaffung eine partielle Synovialektomie erfolgen. Sofern eine lokale Einklemmungssymptomatik bestand, wurde verbliebene, überschießende Synovialis entfernt. Bei der Beurteilung von Knorpelopathologien erfolgte eine Einteilung entsprechend der Outerbridge-Klassifikation [144]. Knorpelschäden 1. Grades wurden belassen, Knorpelschäden 2. bis 4. Grades wurden debridiert. Bei der Beurteilung des TFCC wurde die Palmer-Klassifikation angewandt [55]. Sofern eine Palmer-1B-Läsion festgestellt wurde, erfolgte eine Subklassifikation nach Atzei [56]. Mit dem Tasthaken wurde die Oberflächenbeschaffenheit des Diskus und Anheftung / Stabilität des Diskus überprüft. Glatte, scharfkantige und eher periphergelegene Rissbildungen wurden als akut / traumatisch gewertet. Unschärfe, ausgefranste und zentralgelegene Läsionen wurden als chronisch / degenerativ angesehen. Klinikintern bestand folgendes Therapiekonzept: Palmer 1A- und 1C-Läsionen wurden debridiert. Palmer 1B-Läsionen wurden mittels Naht in Outside-Inside-Technik versorgt und Palmer 1D-Läsionen wurden, sofern sie instabil waren, transossär refixiert. Bei degenerativen Palmer 2A - E Läsionen wurde der TFCC debridiert und bei Impingementsymptomatik teilreseziert. Bei Vorliegen eines hochgradigen degenerativen Diskusschadens und/oder additiv vorliegender Ulna-Plus-Anomalie wurde ein- oder zweizeitig eine Ulnaverkürzungsosteotomie durchgeführt. Falls eine störende Plica im Gelenkkompartiment mit Einklemmsymptomatik festgestellt wurde, wurde diese reseziert.

Zur Veranschaulichung folgen zwei Fallbeispiele zur arthroskopischen Darstellung des TFCC (s. Abb. 7 und 8).

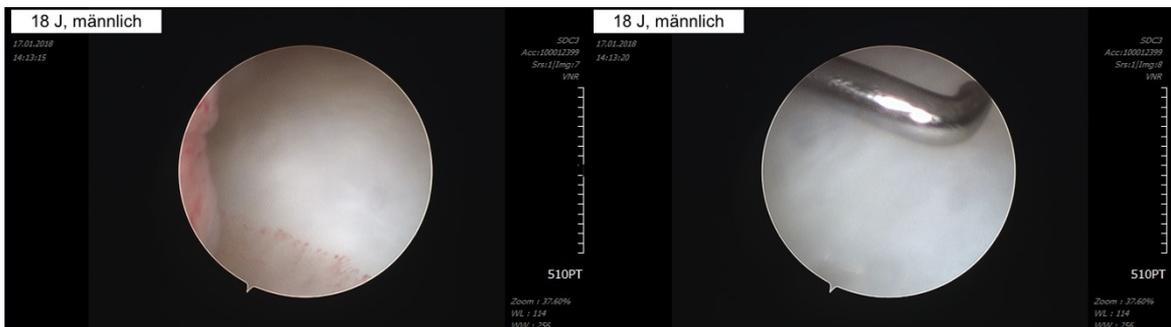


Abb. 7: ASK-Fallbeispiel: TFCC-Normalbefund
18 Jahre, männlicher Patient

Abbildung 7 zeigt einen Normalbefund des TFCC. Der Diskus ist in Kontur und Anheftung regelrecht intakt. Die Oberfläche ist glatt und ohne Auffaserung, Ausdünnung oder Perforation. Der Trampolin-Test und Hook-Test sind negativ.

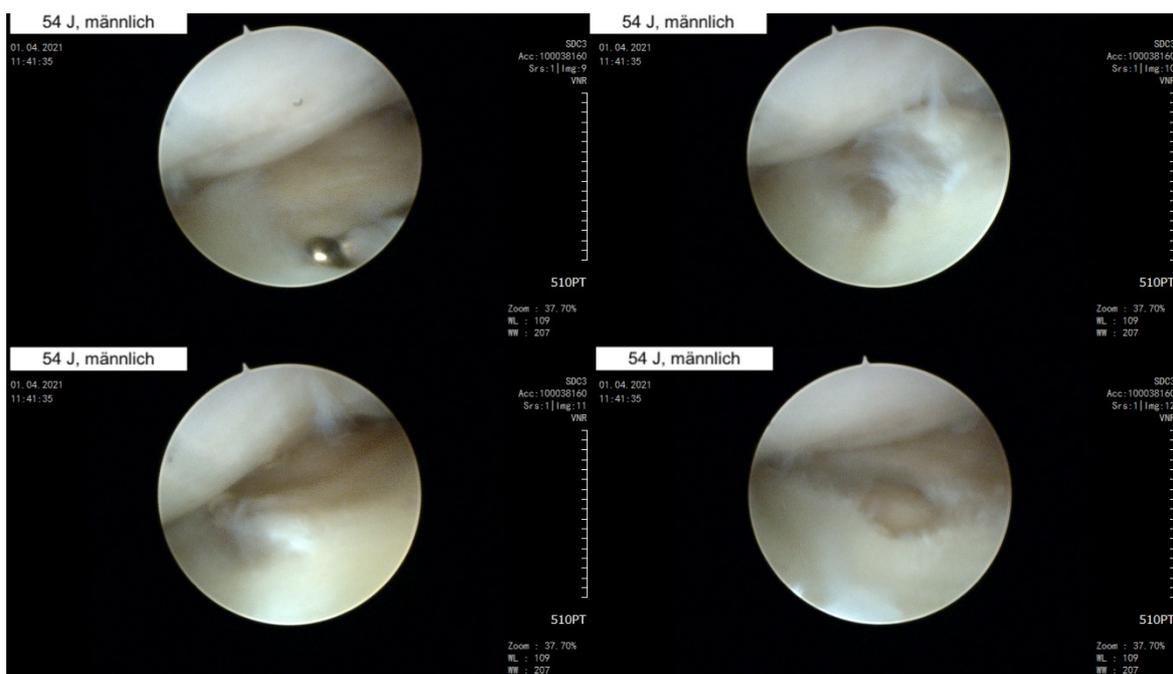


Abb. 8: ASK-Fallbeispiel: TFCC-Läsion, Typ Palmer 2C
54 Jahre, männlicher Patient

Abbildung 8 zeigt den arthroskopischen Befund einer Palmer 2C-Läsion. Der Diskus ist in der Kontur sichtbar unterbrochen. Es zeigt sich zentral eine vollständige Perforation des Diskus mit begleitender Auffaserung von Diskusanteilen. Die Knorpeloberfläche am Os lunatum ist noch weitestgehend intakt, wenngleich sich hier auch beginnende degenerative Veränderungen zeigen.

2.5 Vergleich MRT-Befunde / Arthroskopie-Befund

Zur Auswertung der MRT-Daten wurden die primär und sekundär erhobenen MRT-Diagnosen (Befunder 1 - 3) den maßgeblichen arthroskopischen Diagnosen gegenübergestellt. Hierbei erfolgte zunächst ein Vergleich der unspezifischen Befunde („ohne pathologischen Befund“ und „TFCC-Läsion“). Anschließend wurden die spezifisch nach Palmer klassifizierten TFCC-Läsionen der unterschiedlichen Befunder mit den spezifisch nach Palmer klassifizierten arthroskopischen Läsionen verglichen. Zur Ermittlung der Aussagekraft der präoperativen Handgelenk-MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen wurden die Testgütekriterien (Sensitivität, Spezifität, falsch-positiv-Rate, falsch-negativ-Rate) für die unterschiedlichen Befunder berechnet.

2.6 Vergleich MRT-Befunde untereinander (Befunder 1 - 3)

Zur Berechnung der Interrater-Reliabilität wurden die erhobenen MRT-Befunde der unterschiedlichen Befunder (Befunder 1 - 3) untereinander verglichen. Hierbei erfolgte erneut ein Vergleich der unspezifischen Befunde („o.p.B.“ und „TFCC-Läsion“) und der spezifischen Befunde („o.p.B.“ und „TFCC-Läsion klassifiziert nach Palmer“).

2.7 Patientenbefragung

2.7.1 Allgemeines

Alle Patienten hatten zwei Fragebögen mit den allgemeinen Studienunterlagen im August 2019 zugesandt bekommen. Die Fragebögen dienten der Ermittlung der postoperativen Patientenzufriedenheit und des prä- und postoperativen Beschwerdeausmaßes. Hierzu wurden der international anerkannte DASH-Fragebogen und ein selbst konzipierter Fragebogen (s. Anhang) angewandt. 77 Patienten konnten die Studienunterlagen korrekt zugestellt werden. Von den 77 Patienten sendeten 52 Patienten die Studienunterlagen vollständig und mit unterschriebener Einwilligungserklärung zurück. Dies entsprach einer sehr guten Rücklaufquote von 67,5%.

2.7.2 Eigener Fragebogen

Der selbst entworfene Fragebogen (s. Anhang) erfasste zunächst, neben den allgemeinen Patientendaten, weitere Informationen über die Krankengeschichte und evtl. schon zuvor stattgehabten Therapiemaßnahmen. Im zweiten Teil wurden die Art der Beschwerden und Schmerzangaben sowie das etwaige Vorliegen einer Arbeitsunfähigkeit vor und nach der

Operation erhoben und miteinander verglichen. Zur Erhebung der Schmerzintensität wurde innerhalb des Fragebogens prä- und postoperativ die elfstufige numerische Rating-Skala (NRS) jeweils in Ruhe und bei Belastung bestimmt. Ein Wert von 0 spiegelte hierbei keinen Schmerz, ein Wert von 10 den maximal vorstellbaren Schmerz wieder [145]. Zu guter Letzt wurde der subjektive Operationserfolg erfragt.

2.7.3 DASH-Score

Der DASH-Score (*Disabilities of Arm, Shoulder and Hand*) wurde 1996 von der *American Academy of Orthopedic Surgeons* (AAOS) in Zusammenarbeit mit dem *Council of Musculoskeletal Specialty Societies* (COMSS) und dem *Institute for Work and Health* (Toronto, Kanada) entwickelt [146]. Er besteht aus 30 Fragen und dient der Erfassung von Funktionseinschränkungen der oberen Extremität. In dieser Studie wurde die deutsche Version verwendet (s. Anhang) [147]. Der DASH-Fragebogen besteht hierbei aus 3 Teilen, einem obligaten Anteil mit 30 Fragen und zwei Zusatzmodulen (Sport- und Musikmodul sowie Arbeits- und Berufsmodul) mit jeweils 4 Fragen. Im obligaten Fragebogenanteil überprüfen die ersten 21 Fragen, inwiefern es dem Patienten innerhalb der vergangenen Woche Probleme bereitet hat, bestimmte Tätigkeiten auszuführen. In den folgenden 9 Fragen werden spezifische Symptome und soziale sowie berufliche Einschränkungen erfragt. Die optionalen Zusatzmodule bieten außerdem die Möglichkeit jeweils Einschränkungen beim Sport bzw. Spielen von Musikinstrumenten sowie im Beruf aufzuzeigen. Zur Beantwortung der Fragen sind einzelnen Kategorien Zahlenwerte zugeordnet, die von 1 („keine Schwierigkeiten“ / „keine Einschränkungen“ / „keine Symptome“) bis 5 („maximale Einschränkung“ / „nicht möglich“ / „sehr starke Symptome“) reichen.

Die Berechnung des DASH-Score erfolgte für den Hauptteil nach folgender Formel:
$$\text{DASH-Wert} = \left(\frac{\text{Summe der Antwortpunkte}}{\text{Anzahl der beantworteten Fragen}} - 1 \right) \times 25.$$
 Der DASH-Wert der Zusatzmodule wurde wie folgt berechnet:
$$\text{DASH-Sport/Beruf} = \frac{(\text{Summe der Antwortpunkte} - 4)}{0,16}.$$
 Für das Hauptmodul durften nur maximal 3 Antworten fehlen, für die Zusatzmodule durfte keine Antwort fehlen. Der DASH-Score kann Werte von 0 - 100 annehmen. Ein Wert von 0 entspricht einer uneingeschränkten Funktion ohne Beschwerden, wogegen ein Wert von 100 eine größtmögliche Funktionseinschränkung mit starken Beschwerden bedeutet [148].

2.8 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics (IBM Corp. Released 2020. IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 27.0. Armonk, NY: IBM Corp) analysiert. Die deskriptive Statistik umfasste die oben genannten Parameter. Aufgrund der Größe des Gesamtkollektivs ($n=53$) und kleinerer Subkollektive wurde keine Normalverteilung angenommen. Veränderungen zwischen den zwei Zeitpunkten (prä- und postoperativ) wurden mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für abhängige Stichproben überprüft. Für Vergleiche unabhängiger Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Ergebnisse mit $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant erachtet. Sofern ein statistisch signifikantes Ergebnis vorlag, wurde die Effektstärke anhand folgender Formel $r = \frac{z}{\sqrt{n}}$ berechnet [149]. Ein kleiner Effekt lag bei $r = 0,1$ bis $0,3$, ein mittlerer Effekt bei $r = 0,3$ bis $0,5$ und ein starker Effekt bei $r = > 0,5$ vor. Der Vergleich dichotomer Merkmale erfolgte mit dem McNemar-Test. Zusammenhänge zwischen zwei Variablen wurden mit dem Spearman-Korrelationskoeffizienten berechnet.

Zum Vergleich bzw. der Berechnung des Übereinstimmungsmaßes der primär und sekundär erhobenen MRT-Diagnosen untereinander sowie dem Vergleich der erhobenen MRT-Diagnose mit der arthroskopisch definierten Diagnose, wurde der jeweilige Cohens-Kappa-Koeffizient berechnet. Die Interpretation des Cohens-Kappa-Wertes erfolgte hierbei wie folgt: $\leq 0,2$ = keine Übereinstimmung; $0,2 - 0,39$ = sehr geringe Übereinstimmung; $0,4 - 0,59$ = geringe Übereinstimmung; $0,6 - 0,79$ = mittelmäßige Übereinstimmung; $0,8 - 0,89$ = starke Übereinstimmung; $0,91 - 1$ = fast perfekte Übereinstimmung [150].

Zur Ermittlung der Aussagekraft der präoperativen Handgelenk-MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen im Vergleich zu der maßgeblichen, arthroskopisch definierten Diagnose wurden die Testgütekriterien (Sensitivität, Spezifität, falsch-positiv-Rate, falsch-negativ-Rate) für die unterschiedlichen MRT-Befunder berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung Patientenkollektiv

Beim endgültig verbliebenen Patientenkollektiv (n=52) wurden im Untersuchungszeitraum vom 01.01.2013 bis 31.12.2018 insgesamt 53 Handgelenk-Arthroskopien durchgeführt. 25 Patienten (48,1%) waren weiblichen, 27 Patienten (51,9%) männlichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt betrug 44,3 Jahre ($\pm 16,8$ Jahre, Range 14-72 Jahre). 80,8% der Patienten waren Rechtshänder (n=42) und 19,2% Linkshänder (n=10). 27-mal (50,9%) wurde die rechte Seite, 26-mal (49,1%) die linke Seite operiert. Die durchschnittliche Follow-Up-Zeit betrug 39,7 Monate ($\pm 19,6$ Monate; Range 8-79 Monate).

Bei allen Operationen war die präoperative Hauptdiagnose der Diskusschaden (n=53). Hierbei wurden bei 24 Operationen die unten aufgeführten Nebendiagnosen bzw. präoperativen Besonderheiten beschrieben, bei 29 Patienten war keine präoperative Besonderheit / Nebendiagnose dokumentiert (s. Abb. 9).

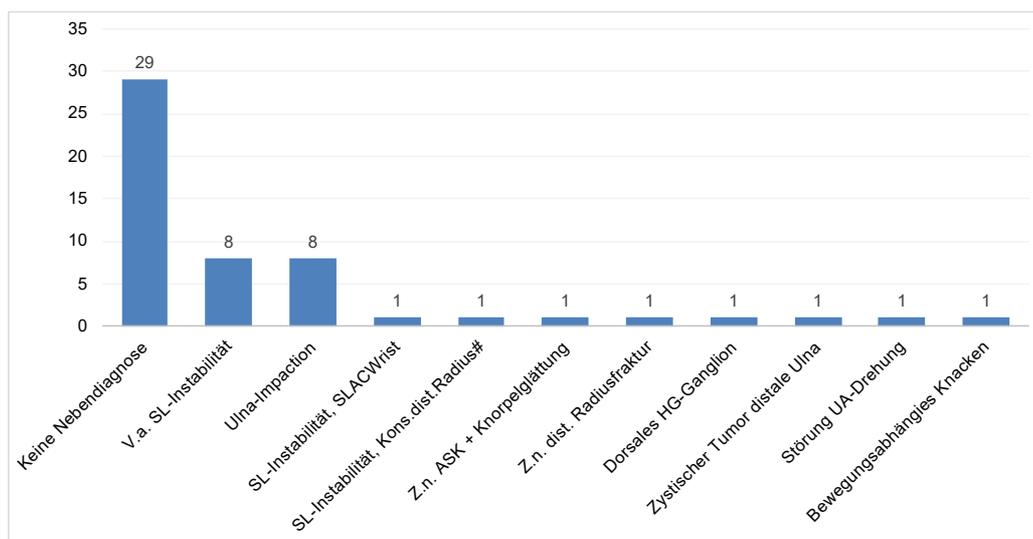


Abb. 9: Präoperative Nebendiagnosen / Besonderheiten

x-Achse: Auflistung der präoperativen Besonderheiten / Nebendiagnosen; y-Achse: Anzahl (n); SL-Instabilität = Scapholunäre Instabilität, Kons. = Konsolidierte, UA-Drehung = Unterarmdrehung, SLAC-Wrist (Scapholunate Advanced Collapse)

Bezüglich eines möglichen Unfallherganges gaben 67,3% der Patienten (n=35) an, kein Unfallereignis gehabt zu haben, 32,7% berichteten von einem länger zurückliegenden Unfallereignis (chronisch posttraumatisch; n=17). Ein unmittelbar akutes Trauma lag bei keinem Patienten vor. Die Dauer vom Symptombeginn bis zur Handgelenkarthroskopie betrug durchschnittlich 7,6 Monate ($\pm 6,1$ Monate, Range 0,5 – 15 Monate).

Die präoperative Diagnosestellung erfolgte zu 80,4% anhand der Klinik und des MRT-Befundes, zu 7,8% rein aufgrund des MRT-Befundes und zu 11,8% rein anhand der anamnestisch-klinischen Beschwerden (s. Abb. 10).

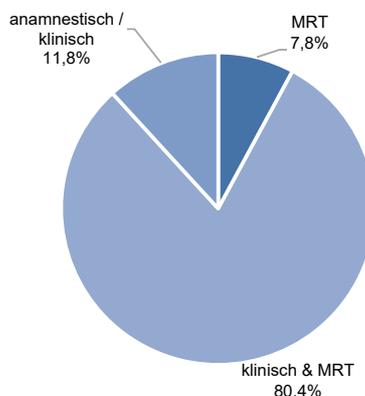


Abb. 10: Präoperative Diagnosestellung

3.2 Auswertung Magnetresonanztomographie

3.2.1 Technische Aspekte

Die vorliegenden 46 MRT-Untersuchungen wurden von insgesamt 19 unterschiedlichen radiologischen Zentren durchgeführt. 23-mal (50%) wurde hierbei ein Magnetresonanztomograph mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla verwendet. 2-mal (4,3%) wurde ein MRT mit einer Feldstärke von 1 Tesla angewendet. Ein 3-Tesla-MRT kam hingegen nie zum Einsatz. Bei 21 MRT-Untersuchungen war die Feldstärke des verwendeten Tomographen unklar (45,7%).

Die Applikation von intravenösem Kontrastmittel erfolgte in 34,8% der Fälle (n=16). In 63% der Fälle (n=29) wurde hingegen kein Kontrastmittel verwendet. Einmal wurde eine direkte Arthro-MRT durchgeführt (2,2%). Die Verwendung einer Handgelenkspule erfolgte bei 8 MRT-Untersuchungen (17,4%). 12-mal (26,1%) wurde keine Handgelenkspule verwendet und bei 26 MRT-Untersuchungen blieb die Verwendung einer Spule unklar (56,5%).

Die jeweils durchgeführten Sequenzen und Wichtungen finden sich in der nachfolgenden Tabelle (s. Tabelle 7).

Sequenzen koronar				Sequenzen sagittal		Sequenzen axial	
T1_TSE	T1_TSE_KM	STIR	T1_VIBE_FS_ISO_KM	PD_TSE_FS_RST	T1_TSE	T1_TSE_TRA_FS_KM	T2_TSE_TRA
PDW_SPIR_CLEAR	3D_WATS_f	T1W_TSE_CLEAR	T1W_TSE_KM_CLEAR	survey		PDW_SPIR_CLEAR	T1W_SPIR_KM
ePD_TSE_SPAIR_SENSE	ePD_TSE_SPAIR	smFFE_SENSE		survey		T1W_TSE	ePD_TSE_SPAIR_SENSE
T1_SE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		T2_TSE	
STIR_COR_POLS	T1_SE_POLS	T1_SE_POLS_LI		SCOUT		T1_TRA_SE_POLS_LI	T1_TRA_SE_POLS LI+ C
WRIST_FSE	WRIST_FSE_IR	WRISTS3D_T2*		WRIST_FSE_IR		FSE_IR_AX	
PD_TSE_FS	T1_TSE	T2_TRUFID3D_WE		PD_TSE_FS	MPR	PD_TSE_FS	MPR
FSE_fw_SMARTFAT	FSEfw_SMART_FAT			FSE_PD		FSE_PD	
T1_TSE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		T2_TSE	
T1_DRIVE	SPIR_PD	SPIR_KM	eT1_SPIR_GD	spirPD		PD_SPIR	SPIR_T1_KM
STIR	T1W_TSE	S*T1W/TSEKM	T1W/TSEKM	survey		PDWSPIR	T1WSPIR_KM
T2_TIRM_HF	T1_FL2D	T2_DESS3D_WE		PD_TSE_FS		T2_DESS3D_WE	
T1W_TSE_KM_SENSE	T1W_TSE	eSTIR_TSE		eSTIR_TSE		T2W_TSE_TRA_CLEAR	eT1W_spir_tra_KM
T1W_TSE_KM_CLEAR	PDW_SPIR_CLEAR		T1W_TSE_CLEAR			T1W_SPIR_KM	PDW_SPIR_CLEAR
T1_SE	PD_TSE_FS			T1_blade		PD_TSE_FS	
FSE_fw_SMARTFAT	FSE_fw_SMARTFAT			T2		FSE_T1_KM	
PD_TSE_FS	T1_SE			PD_TSE_FS		T2	
T1_COR_SENSE	PDW_SPIR	3D_WATSc_KM	V3D_WATSc	V3D_WATSc_KM	ePDW_SPIR_SENSE	T2_DRIVE_TRA_TF_SENSE	ePDW_SPIR_SENSE
FSE_IR	FSE	3D_T2*		FSE_IR		FSE_IR	
PD_BLADE	T1_TSE			PD_BLADE		PD_BLADE_FS	KM_T1_TSE_FS
PD_FS_FSE	T1_FSE			PD_FS		PD_FS	
T2_FSE_fw	T1_TSE	T2_GRE_3D		PD_FS		PD_FS_FSE	
T1_TSE	T2_TSE_FS	T2_3D_DESS		STIRS_SAG	T1_SE_SEG	T2_TSE_FS	T1_SE
T1_TSE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		T2_TSE	
PD_TSE_FS	T1_TSE			PD_TSE_FS		T2_TSE	
T1_TSE	T2_BLADE_FS			PD_BLADE_FS		T2_BLADE_FS	
T1_TSE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		T2_TSE	
T1_TSE_FS	DESS_3D	STIR	T1_SE	T2_TSE_FS		STIR	T2_TSE
T1_FSE	FSE_fw_SMARTFAT			FSE_PD		FSE_PD	
FSE	FSE_IR	3D_T2*		FSE_IR		FSE_IR	
T1_TSE_SENSE	ePDW_SPOR	T1_WATS_KM		VE_3D_WATScKM_KM	ePDW_SPIR	ePDW_TSE_SPIR	eT1W_spir_KM
T1_N_CLEAR	PDW_SPAIR_N_CLEAR	PDW_aTSE_CLEAR		PDW_SPAIR_N		PDW_SPAIR_N_CLEAR	smFFE_CLEAR
T1_TSE_KM	PD_BLADE_FS	T2_ME3D_WE_ISO	T1_TSE	T1_TSE_FS_KM	T1_TSE	T2_ME2D	
T1_SE	T2_STIR			T2_BLADE		PD_TSE_FS	
PD_FS	T1	T1_SPIR_KM_SENSE		PD_FS		PD_FS	TRA_T1_SPIR_KM
PD_TSE_FS	T1_SE	T2_TRUFID_3D_WE		localizer		localizer	
WATER_T2_FSEfw	T2_FSE_fw	T1_FSE	T1_FS_FSE_KM	PD_FS_FSE		PD_FS_FSE	T1_FS_FSE_KM
T1_SE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		PD_TSE_FS	
T1_SE	PD_TSE_FS			PD_TSE_FS		T2_TSE	
PDW_mSPIR	T1W_SPOR			T1W_TSE		T1W_SPIR	T2W_aTSE
FSE_IR	FSE			FSE_IR		FSE_IR	
T1_TSE	T2_BLADE_FS			PD_BLADE_FS		T2_BLADE_FS	
T2W_TSE	T2W_TSE_SPIR			T2W_TSE		T1W_TSE	
PDW_SPIR	T1W_TSE			T2W_aTSE		PDW_SPIR	
PDW_MSPIR	T1W_SPIR	T1W_3D_FFE		3D_WATSc		T1W_SPIR	
PD_TSE_FS	T2_TRUFID_WE	T1_SE				T2_ME2D	

Tabelle 7: Auflistung der Sequenzen und Wichtungen Sagitale, koronare und axiale Ebenen

Die obige Tabelle stellt hierbei die große Variabilität der durchgeführten Sequenzen und Wichtungen dar. 7 MRT-Untersuchungen stellten entgegen der allgemeinen Empfehlung keine sagitale und ein MRT keine axiale Schichtebene dar. Der empfohlene koronare, spezifische Sequenztyp für TFFC-Läsionen, sprich eine T1 (F)SE oder T1 (T)SE Sequenz, wurde bei 30 MRT-Untersuchungen angewandt (65,2%). Die ebenfalls empfohlene koronare PDw FSE fs Sequenz wurde hingegen nur bei 15 MRT-Untersuchungen durchgeführt (32,6%). Die oben aufgeführten axialen und sagitalen Sequenzen stellten sich stark abweichend zu den TFCC-spezifischen Protokollempfehlungen dar. Der angeratene sagitale Sequenztyp T1w (F)SE fs konnte nur bei 4 MRT-Untersuchungen (8,7%) und der axiale Sequenztyp T2*w GRE konnte kein einziges Mal nachgewiesen werden.

Zur Veranschaulichung folgen einige Fallbeispiele (s. Abb. 11-13).

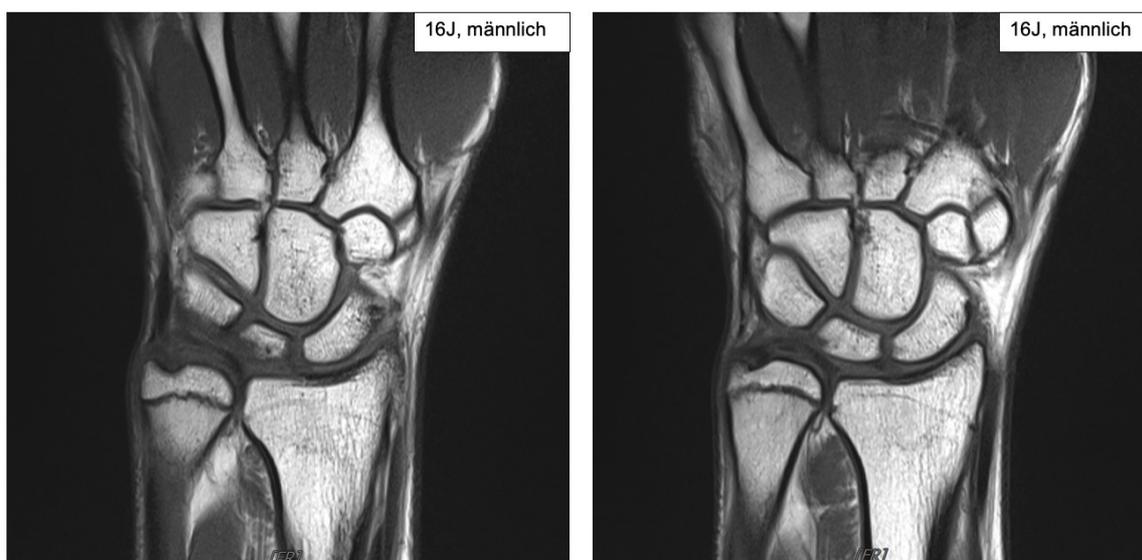


Abb. 11: MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität; MR-tomographisch diagnostizierter und arthroskopisch bestätigter TFCC-Normalbefund
16 Jahre, männlicher Patient, koronare Schichtebene, T1_TSE_COR-Sequenz, FOV 120x120 mm

In Abbildung 11 zeigt sich eine MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität. Der TFCC, insbesondere der Diskus triangularis, ist gut dargestellt und zeigt sich regelrecht intakt. Auffällig ist die positive Längenvarianz der Ulna (Ulna-Plus-Variante). Präoperativ diagnostizierten alle drei Befunder einen Normalbefund des TFCC, welcher letztendlich arthroskopisch bestätigt wurde.



Abb. 12: MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität, MR-tomographisch diagnostizierte und arthroskopisch bestätigte TFCC-Läsion (Palmer 2A)
53 Jahre, weiblicher Patient, koronare Schichtebene, T1_SE_COR-Sequenz; FOV 110x110 mm

Abbildung 12 zeigt eine weitere MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität. Der Diskus ist abermals gut dargestellt. Diesmal zeigt sich eine zentrale Auffaserung des Diskus, im Sinne einer Palmer 2A-Läsion. Dieser Befund wurde von allen Befundern gleichermaßen erhoben und konnte arthroskopisch bestätigt werden.

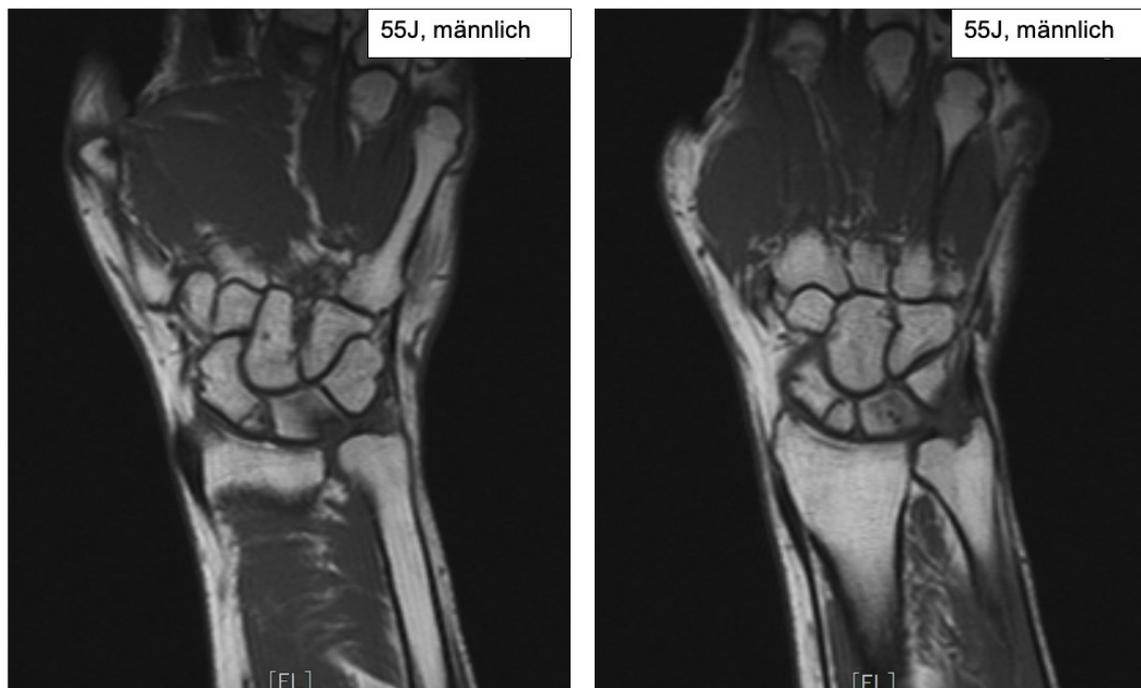


Abb. 13: MRT des Handgelenkes in schlechter Aufnahmequalität, MR-tomographisch diagnostizierte TFCC-Läsion (Palmer 2D) und arthroskopisch nachgewiesener TFCC-Normalbefund
55 Jahre, männlicher Patient, koronare Sequenzebene, T1_SE_COR Sequenz; FOV 170x170 mm

In Abbildung 13 zeigt sich nun eine MRT in sehr schlechter Aufnahmequalität. Auffallend ist bereits die zu große FOV von 170x170 mm im Vergleich zu den vorherigen MRTs mit FOV von 120x120 und 110x110 mm. Der TFCC bzw. Diskus ist kaum beurteilbar. Soweit beurteilbar lässt sich jedoch eine vollständige Kontinuitätsunterbrechung des Diskus vermuten. Zudem zeigen sich zystische, fraglich osteonekrotische Veränderungen am Os lunatum. Des Weiteren zeigt sich eine proximale Skaphoidpseudarthrose bei partiell konsolidierter Querfraktur. Der schriftliche MRT-Befund (Befunder 1) diagnostizierte eine zentrale und ödematöse Veränderung am TFCC mit Teilruptur des TFCC und osteonekrotischem Defekt am Os lunatum. Befunder 2 und 3 erhoben analog hierzu einen ebenfalls hochgradigen, degenerativen Befund und diagnostizierten jeweils eine Palmer 2D-Läsion. Arthroskopisch fand sich hingegen, abgesehen einer ausgeprägten ulnaren Synovialitis, ein altersgerechter Normalbefund. Der Diskus zeigte sich in Kontur und Anheftung regelrecht intakt (s. Abb. 14). Die Knorpelbedeckung im gesamten Handgelenk, insbesondere am Os lunatum, war ebenfalls vollständig intakt. Die präoperativen MRT-

Befunde stellten sich demnach maximal konträr zum letztendlich maßgeblichen arthroskopischen Untersuchungsbefund dar.

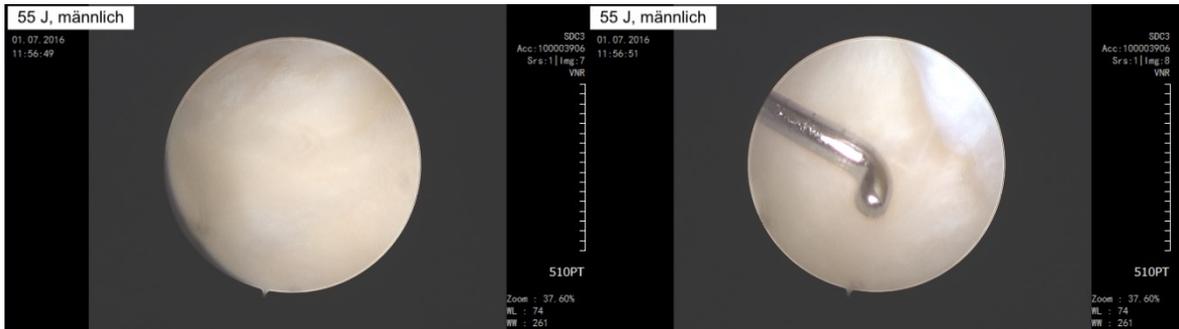


Abb. 14: Arthroskopischer Befund des in Abb. 13 aufgeführten Patienten
 Der Diskus zeigt sich entgegen der Erwartung in Kontur und Anheftung regelrecht intakt. Die Oberfläche des Diskus ist glatt ohne Ausdünnung, Auffaserung oder Perforation. Der angedeutete Trampolin-Test ist negativ.

3.2.2 Auswertung schriftlicher MRT-Befund (Facharzt für Radiologie; Befunder 1)

Von den 46 MRT-Untersuchungen lagen insgesamt 43 schriftliche MRT-Befunde (93,5%) vor. In allen Befunden wurde sich bezüglich der Beschaffenheit des TFCC geäußert. 12-mal (27,9%) wurde hierbei der TFCC differenziert beschrieben und entsprechend der Palmer-Klassifikation eingeteilt (Palmer-Läsionen: 1x 1A, 3x 1B, 2x 2A, 1x 2B, 4x 2C, 1x 2E). 18-mal (41,9%) erfolgte eine differenzierte Beschreibung des TFCC, jedoch ohne spezifische Klassifikation der Läsion, 7-mal (16,3%) wurde lediglich eine lose Aussage getroffen. In 6 Fällen (13,9%) wurde ein Normalbefund (= ohne pathologischen Befund) beschrieben (s. Abb. 15).

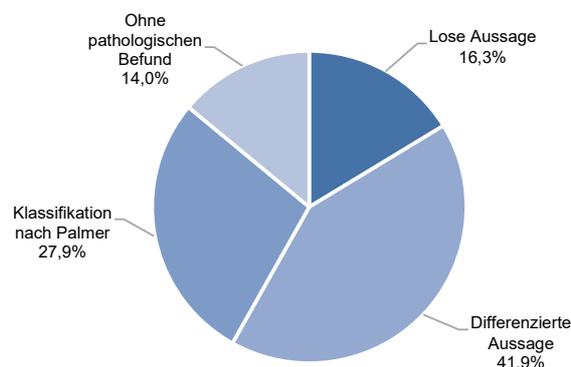


Abb. 15: Qualitative Beschreibung des präoperativen, schriftlichen MRT-Befundes

Hieraus ergab sich letztendlich, dass bei 37 MRT-Befunden (86%) ein pathologischer Befund, sprich eine TFCC-Läsion beschrieben wurde. Weiterhin wurden 6 Befunde als Normalbefund bewertet (14%) (s. Abb. 16).

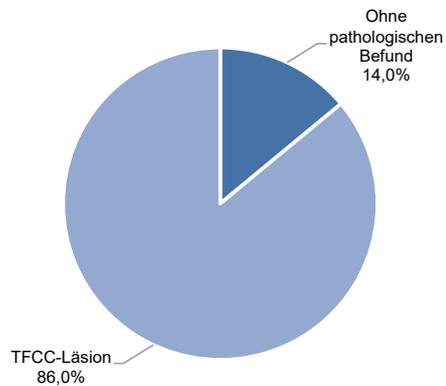


Abb. 16: Einordnung des schriftlichen MRT-Befundes in einen pathologischen Befund (= TFCC-Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund)

3.2.3 MRT-Befundung durch Befunder 2 (Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, Zusatzbezeichnung Handchirurgie)

Die vorliegenden 46 MRT-Untersuchungen wurden durch den Befunder 2 betrachtet, bewertet und entsprechend der Palmer- und Atzei-Klassifikation klassifiziert. 30-mal (65,2%) wurde der TFCC als pathologisch (= TFCC-Läsion) und 16-mal (34,8%) als Normalbefund eingeordnet (= ohne pathologischen Befund) (s. Abb. 17).

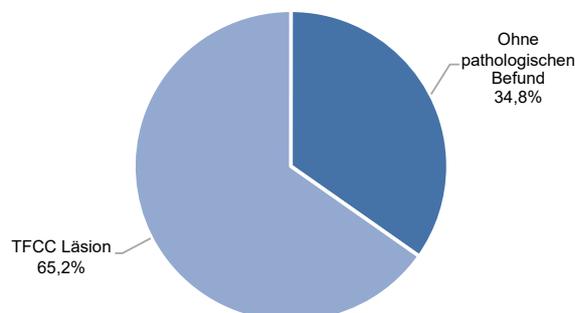


Abb. 17: Einordnung der MRT-Untersuchungen in einen pathologischen Befund (= TFCC-Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund) Klassifiziert durch Befunder 2

Die angenommenen TFCC-Läsionen wurden hierbei wie folgt klassifiziert (s. Tabelle 8). Von den vier Palmer-1B-Läsionen wurden zwei als Atzei-Klasse-1 und zwei als Atzei-Klasse-2 Läsionen bewertet.

Palmer Klassifikation	Anzahl (n)	Prozent
1A	2	6,7%
1B	4	13,3%
1D	2	6,7%
2A	5	16,7%
2B	11	36,7%
2C	2	6,7%
2D	4	13,3%
	30	100,0%

Tabelle 8: Klassifikation der TFCC-Läsionen nach Palmer; Befunder 2

3.2.4 MRT-Befundung durch Befunder 3 (Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie)

Analog zu Befunder 2 wurden die vorliegenden MRT-Untersuchungen betrachtet, bewertet und entsprechend der Palmer- und Atzei-Klassifikation klassifiziert. 35-mal (76,1%) wurde der TFCC als pathologisch und 11-mal (23,9%) als Normalbefund angesehen (s. Abb. 18).

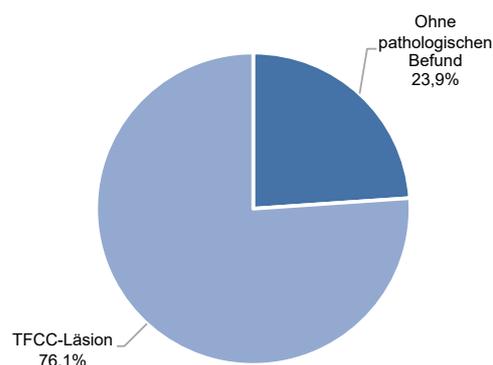


Abb. 18: Einordnung der MRT-Untersuchungen in einen pathologischen Befund (= TFCC-Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund) Klassifiziert durch Befunder 3

Die diagnostizierten TFCC-Läsionen wurden hierbei wie folgt klassifiziert (s. Tabelle 9). Von den zwei diagnostizierten Palmer-1B-Läsionen wurde eine Läsion als Atzei-Klasse-2 und eine als Atzei-Klasse-3 Läsion bewertet.

Palmer Klassifikation	Anzahl (n)	Prozent
1A	1	2,9%
1B	2	5,7%
2A	8	22,9%
2B	17	48,6%
2C	6	17,1%
2D	1	2,9%
	35	100,0%

Tabelle 9: Klassifikation der TFCC-Läsionen nach Palmer; Befunder 3

3.2.5 Vergleich der MRT-Befunde (Befunder 1 - 3)

Beim Vergleich der MRT-Befunde untereinander zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Signifikanz und des Übereinstimmungsmaßes. Bei der Betrachtung der lediglich zwischen „TFCC-Läsion“ und „ohne pathologischen Befund“ unterteilten MRT-Befunde, zeigte sich zwischen Befunder 1 und 2 eine signifikante Übereinstimmung, jedoch nur sehr geringen Ausmaßes (Cohens Kappa = 0,32, $p = 0,012$). Zwischen Befunder 1 und 3 konnte hingegen keine signifikante Übereinstimmung nachgewiesen werden (Cohens Kappa = 0,21, $p = 0,139$). Die im Vergleich beste Übereinstimmung ergab sich zwischen Befunder 2 und 3. Hier zeigte sich eine signifikante Übereinstimmung, die dennoch nur als gering bewertet werden konnte (Cohens Kappa = 0,53, $p < 0,001$) (siehe Tabelle 10).

	Befunder 1 & 2	Befunder 1 & 3	Befunder 2 & 3
Cohens Kappa	0,32	0,21	0,53
Signifikanz (p)	0,012	0,139	<0,001

Tabelle 10: Übereinstimmungsmaß der MRT-Befunde (TFCC-Läsion / Normalbefund); Befunder 1-3

Beim Vergleich der spezifisch klassifizierten MRT-Befunde (Palmer-Klassifikation / Normalbefund) zeigte sich zwischen Befunder 1 und 2 keine signifikante Übereinstimmung. Zwischen Befunder 1 und 3 und Befunder 2 und 3 konnte jeweils eine signifikante Übereinstimmung nachgewiesen werden. Diese waren jedoch beide nur sehr geringen Ausmaßes bei einem Cohens Kappa $< 0,4$ (s. Tabelle 11).

	Befunder 1 & 2	Befunder 1 & 3	Befunder 2 & 3
Cohens Kappa	0,14	0,24	0,29
Signifikanz (p)	0,103	0,019	<0,001

Tabelle 11: Übereinstimmungsmaß der spezifisch klassifizierten MRT-Befunde (TFCC-Läsion klassifiziert nach Palmer / Normalbefund); Befunder 1-3

Zusammenfassend ergibt sich daher, dass die Interrater-Reliabilität sowohl hinsichtlich der spezifischen wie auch unspezifischen MRT-Befunde, als sehr gering bewertet werden muss.

3.2.6 Vergleich Wahlsequenz / Schichtdicke / Ulnavarianz / Schulnote (Befunder 2 und 3)

3.2.6.1 Wahlsequenzen

Eine Übersicht über die bevorzugten Wahlsequenzen der Befunder 2 und 3 stellt sich in der unten aufgeführten Tabelle dar (s. Tabelle 12). Die PD_TFS_FS_COR, T1_TSE_COR und FSE_COR Sequenzen waren die am häufigsten angegebenen Sequenzen / Wichtungen der beiden Befunder.

Wahlsequenz Befunder 2	Anzahl (n)	Prozent	Wahlsequenz Befunder 3	Anzahl (n)	Prozent
PD_TSE_FS_COR	7	15,2%	T1_TSE_COR	11	23,9%
T1_TSE_COR	5	10,9%	FSE_COR	4	8,7%
FSE_COR	4	8,7%	PD_TSE_FS_COR	3	6,5%
T1_SE_COR	3	6,5%	T1_FSE_COR	3	6,5%
T1W_TSE_COR_SENSE	2	4,3%	FSE_fw_SMART__FAT_w	2	4,3%
T1_FSE_COR	2	4,3%	T1_TSE_COR_KM	2	4,3%
STIR_COR	1	2,2%	ePD_TSE_SPAIR_SENSE	1	2,2%
PDW_SPIR_CLEAR	1	2,2%	T1_DRIVE	1	2,2%
ePD_TSE_SPAIR_SENSE	1	2,2%	T2_DESS3D_WE	1	2,2%
FSE_fw_SMART__FAT_w	1	2,2%	T1W_TSE_COR_SENSE	1	2,2%
T1_DRIVE	1	2,2%	T1W_TSE_KM_SENSE	1	2,2%
T2_DESS3D_WE	1	2,2%	T1_SE_COR	1	2,2%
T1_TSE_COR	1	2,2%	T1_TSE_COR	1	2,2%
T1_COR_N_CLEAR	1	2,2%	PD_TSE_FS_COR	1	2,2%
T1_SPIR_KM_SENSE_COR	1	2,2%	T1_COR_N_CLEAR	1	2,2%
T2_TRUF13D_WE_COR	1	2,2%	T1_SPIR_KM_SENSE_COR	1	2,2%
PDW_mSPIR	1	2,2%	T2_TRUF13D_WE_COR	1	2,2%
T2_BLADE_COR_FS	1	2,2%	PDW_mSPIR	1	2,2%
PDW_SPIR_COR	1	2,2%	T2_BLADE_COR_FS	1	2,2%
T1W_SPIR_CLEAR	1	2,2%	PDW_SPIR_COR_SENSE	1	2,2%
T1_TSE_COR_KM	1	2,2%	T1W_SPIR	1	2,2%
T1_CPOR_SE_POLS	1	2,2%	PDW_SPIR_CLEAR	1	2,2%
T1W_TSE_KM	1	2,2%	T1_CPOR_SE_POLS LI+G	1	2,2%
T1W_TSE_KM_CLEAR	1	2,2%	T1W_TSE_KM_CLEAR	1	2,2%
T1_COR_SENSE	1	2,2%	T1_COR_SENSE	1	2,2%
T2_TSE_COR_FS	1	2,2%	T1_FS_FSE_KM_COR	1	2,2%
T1_SE_COR_FS	1	2,2%	T2_TSE_COR	1	2,2%
T1_FS_COR	1	2,2%			
T2W_TSE_COR	1	2,2%			
	46	100,0%		46	100,0%

Tabelle 12: Wahlsequenzen der Befunder 2 und 3
Links: Befunder 2; rechts: Befunder 3

Auffällig hierbei war, dass die jeweils am häufigsten aufgeführten Wahlsequenzen (PD_TSE_COR, T1_TSE COR, FSE_COR) der beiden Befunder exakt den empfohlenen, TFCC-spezifischen Sequenztypen entsprachen und somit scheinbar die qualitativ besten Bilder darstellten.

3.2.6.2 Schichtdicke der Wahlsequenz

Die innerhalb der Wahlsequenz erhobenen Schichtdicken unterteilten sich wie folgt (s. Tabelle 13):

Schichtdicke (mm)	Befunder 2	Befunder 3
	Anzahl (n)	Anzahl (n)
1,5	1	1
2	11	13
2,5	19	17
3	14	14
4	1	1
	46	46

Tabelle 13: Schichtdicke der Wahlsequenzen

Es zeigte sich, dass die allgemein empfohlene Schichtdicke der Handgelenk-MRT $\leq 2,5$ mm in 67,4% (n=31) der Fälle eingehalten wurde. Die empfohlene TFCC-spezifische Schichtdicke ≤ 2 mm war bei Befunder 2 in 12 (26,1%) und bei Befunder 3 in 14 Fällen (30,4%) angegeben. In jeweils 15 Fällen war eine Schichtdicke >2 mm (3 & 4 mm) dokumentiert.

3.2.6.3 Field of View (FOV)

Eine Übersicht über die am häufigsten verwendete FOV der Wahlsequenzen gibt die unten aufgeführte Tabelle (s. Tabelle 14).

FOV	Anzahl (n)
120x120	18
100x100	6
110x110	3
130x130	2
150x150	2
140x140	2
107x140	2
160x160	2
130x130	2
125x125	1
120x160	1
175x200	1
125x106	1
170x170	1
121x121	1
118x170	1
Gesamt	46

Tabelle 14: FOV der Wahlsequenzen
FOV = Field of View, Angaben in mm

3.2.6.4 Ulnavarianz

Die bemessene Längenvarianz der Ulna betrug im Durchschnitt beim Befunder 2 +0,17 mm ($\pm 2,1$ mm) und beim Befunder 3 +0,28 mm ($\pm 1,9$ mm) bei einem Maximalwert von +6 mm (Befunder 2) und +5 mm (Befunder 3). Der kleinste gemessene Wert betrug jeweils -4 mm (s. Abb. 19).

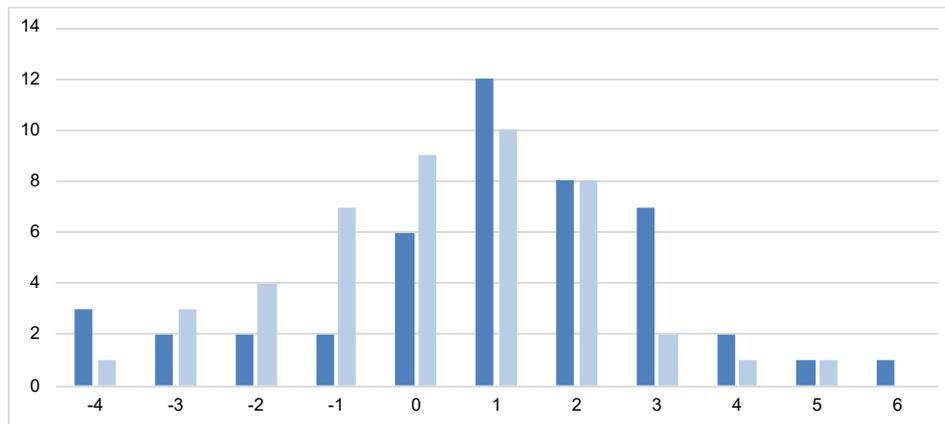


Abb. 19: Ulnavarianz in mm

x-Achse: Ulnavarianz in mm; y-Achse: Anzahl (n) der gemessenen Werte; Dunkelblau (Befunder 2), Hellblau (Befunder 3)

3.2.6.5 Schulnote

Die subjektive Beurteilung der Bildqualität nach Schulnoten (1 - 6) ergab beim Befunder 2 eine Durchschnittsnote von 2,9 ($\pm 0,75$). Bei Befunder 3 betrug die Durchschnittsnote ebenfalls 2,9 ($\pm 0,89$). Die Bestnote war jeweils eine 2, die schlechteste Note eine 5 (s. Abb. 20).

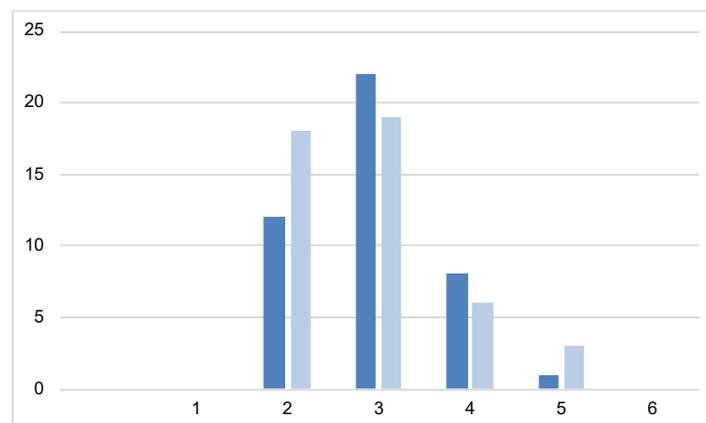


Abb. 20: Bewertung der Bildqualität in Schulnoten

x-Achse: Schulnoten 1-6; y-Achse: Anzahl der Werte (n); Dunkelblau (Befunder 2), Hellblau (Befunder 3)

3.3 Auswertung Arthroskopie

Bei der Auswertung der arthroskopischen Befunde wurde zwischen den oben erläuterten unterschiedlichen Patientenkollektiven unterschieden.

3.3.1 Patientenkollektiv 1 (alle Patienten, alle Operationen)

Beim gesamten Patientenkollektiv (n=52) wurden insgesamt 53 Handgelenk-Arthroskopien durchgeführt. 27-mal (50,9%) wurde die rechte Seite und 26-mal (49,1%) die linke Seite operiert. 36 Eingriffe (67,9%) wurden zunächst rein arthroskopisch durchgeführt. Bei 17 Operationen (32,1%) wurde zusätzlich direkt ein Kombinationseingriff durchgeführt. Hierbei wurde 7-mal neben der Handgelenk-Arthroskopie eine Ulnaverkürzungsosteotomie durchgeführt, 3-mal erfolgte eine offene Ganglionresektion und 2-mal wurde eine Metallplatte am distalen Radius entfernt. Jeweils einmal wurden die unten aufgeführten Kombinationseingriffe durchgeführt. Bei 3 Fällen war eine Ulnaverkürzungsosteotomie im weiteren Krankheitsverlauf durchgeführt worden (s. Abb. 21).

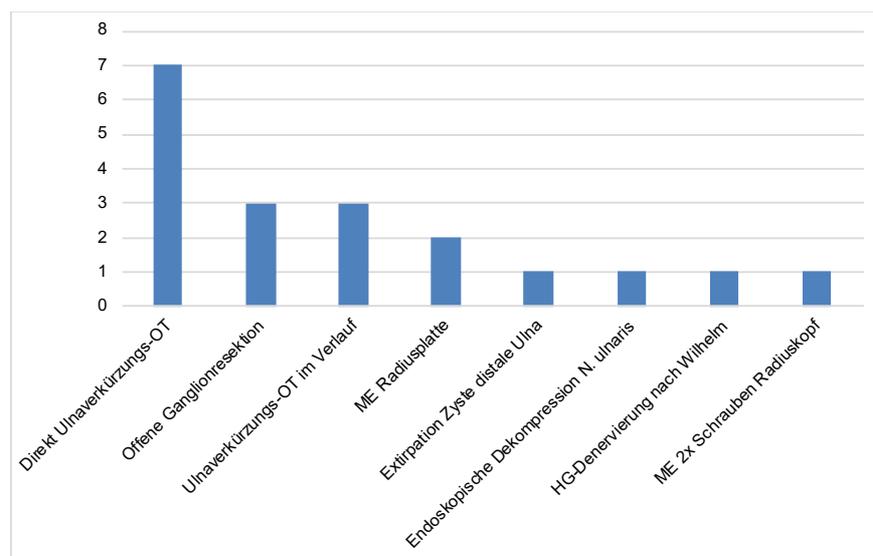


Abb. 21: Kombinations-/Folgeeingriffe des Gesamtkollektivs

x-Achse: Durchgeführte Kombinations-/Folgeeingriffe; y-Achse: Anzahl (n) der durchgeführten Eingriffe; OT = Osteotomie, HG = Handgelenk, ME = Metallentfernung

3.3.1.1 Arthroskopischen Portale

52-mal wurden die Portale 3-4 und 6-R als arthroskopische Zugangswege angewandt. Einmal erfolgte anstatt des 3-4 und 6-R Zugangs ein 3-4, 4-5 Hauptzugang. 42-mal wurden isoliert das 3-4 und 6-R-Portal verwendet. In Einzelfällen wurden die unten aufgeführten zusätzliche Portale geschaffen (s. Tabelle 15).

Arthroskopische Portale	Häufigkeit (n)
3/4 6R	43
3/4 6R 4/5	4
3/4 6R MCR	2
3/4 4/5 1/2 MCR	1
3/4 6R DRUG	1
3/4 4/5 6R MCR	1
3/4 6R MCR MCU	1
Gesamt	53

Tabelle 15: Arthroskopische Portale des Gesamtkollektivs

3.3.1.2 Arthroskopische Hauptdiagnose

36-mal (67,9%) wurde eine TFCC-Läsion festgestellt, 17-mal (32,1%) konnte hingegen am TFCC keine Pathologie festgestellt werden (= Normalbefund). Von den 36 TFCC-Läsionen wurden, entsprechend der Palmer-Klassifikation, 35 Läsionen als degenerativ und eine als traumatisch (Palmer 1D) beschrieben. Die degenerativen Läsionen unterteilten sich hierbei wie folgt: 11-mal Palmer 2A, 11-mal Palmer 2B, 12-mal Palmer 2C und 1x Palmer 2D (s. Tabelle 16).

	Anzahl (n)	Klassifikation traumatisch / degenerativ	Anzahl (n)	Palmer-Klassifikation	Anzahl (n)
o.p.B.	17	-	-	-	-
TFCC-Läsion	36	traumatisch (Palmer 1A–D)	1	1D	1
		degenerativ (Palmer 2A–E)	35	2A	11
		2B		11	
		2C		12	
		2D		1	
Gesamt	53		36		36

Tabelle 16: Arthroskopische Hauptdiagnosen; Patientenkollektiv 1
Klassifiziert entsprechend der Palmer-Klassifikation [55]

3.3.1.3 Arthroskopische Nebendiagnosen

Bei Betrachtung der arthroskopischen Befunde in Hinblick auf das Vorliegen etwaiger Begleitpathologien / Nebendiagnosen zeigte sich, dass bei 43 Arthroskopien (81,1%) eine zusätzliche Pathologie fernab des TFCC beschrieben wurde. Bei 10 Arthroskopien (18,9%) wurde demnach keine Nebendiagnose beschrieben. Die am häufigsten vorliegenden Nebendiagnosen waren die Synovialitis (28,3%), die Synovialitis mit Plica-Syndrom (11,3%), die Ulnaimpaction (7,5%) und die Ulnaimpaction mit Synovialitis (5,7%) (s. Tabelle 17).

Nebendiagnosen	Anzahl (n)	Prozent
Synovialitis	15	28,3%
Keine	10	18,9%
Synovialitis + Plica-Syndrom	6	11,3%
Ulnaimpaction	4	7,5%
Ulnaimpaction + Synovialitis	3	5,7%
Knorpelschaden ulnare Fossa lunata + Synovialitis	2	3,8%
Plicasyndrom	2	3,8%
Knorpelschaden Os lunatum, Teilruptur SL-Band (Grad1)	1	1,9%
Knorpelschaden ulnare Fossa lunata	1	1,9%
Synovialitis bei Tumor distale Ulna	1	1,9%
Knorpelschaden Fossa scaphoidea, Synovialitis	1	1,9%
Knorpelschaden ulnare Fossa lunata + Ulnaimpaction	1	1,9%
Chronisch dynamische SL-Instabilität, Knorpelschaden Ulnakopf	1	1,9%
Idiopathische radiokaphoidale Arthrose + ulnare Synovialitis	1	1,9%
Okkultes dorsales SL-Ganglion	1	1,9%
Knorpelschaden Os lunatum (Grad4)	1	1,9%
Chronisch statatische SL-Instabilität + Ulnaimpaction	1	1,9%
Idiopathische radiokaphoidale Arthrose	1	1,9%
Gesamt	53	100,0%

Tabelle 17: Arthroskopische Nebendiagnosen; Patientenkollektiv 1

Bei Aufteilung der Nebendiagnosen entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC, ergaben sich die unten aufgeführten Verteilungen (s. Tabelle 18).

Arthroskopische Diagnose (TFCC)	Arthroskopische Nebendiagnose	Anzahl (n)	Prozent
Ohne pathologischen Befund	Keine	1	5,9%
	Synovialitis	6	35,3%
	Synovialitis + Plica-Syndrom	5	29,4%
	Knorpelschaden Os lunatum, Teilruptur SL-Band (Grad1)	1	5,9%
	Synovialitis bei Tumor dist. Ulna	1	5,9%
	Plicasyndrom	2	11,8%
	Knorpelschaden Fossa scaphoidea, Synovialitis	1	5,9%
	Gesamt	17	100,0%
	Traumatisch (Palmer 1A–D)	Synovialitis	1
Degenerativ (Palmer 2A–E)	Keine	9	26,5%
	Synovialitis	8	23,5%
	Synovialitis + Plica-Syndrom	1	2,9%
	Ulnaimpaction	3	8,8%
	Knorpelschaden ulnare Fossa lunata	1	2,9%
	Knorpelschaden ulnare Fossa lunata + Synovialitis	2	5,9%
	Ulnaimpaction + Synovialitis	3	8,8%
	Knorpelschaden ulnare Fossa lunata + Ulnaimpaction	1	2,9%
	Chronisch dynamische SL-Instabilität, Knorpelschaden Ulnakopf	1	2,9%
	Idiopathische radiokaphoidale Arthrose + ulnare Synovialitis	1	2,9%
	Okkultes dorsales SL-Ganglion	1	2,9%
	Knorpelschaden Os lunatum (Grad 4)	1	2,9%
	Chronisch statische SL-Instabilität + Ulnaimpaction	1	2,9%
	Idiopathische radiokaphoidale Arthrose	1	2,9%
	Gesamt	34	100,0%

Tabelle 18: Arthroskopische Nebendiagnosen, aufgeteilt entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC; Patientenkollektiv 1

Es zeigte sich, dass insbesondere das Plica-Syndrom isoliert (11,8%) oder in Kombination mit einer Synovialitis (29,4%) bei den Patienten mit arthroskopisch definiertem Normalbefund am TFCC sehr häufig vorlag. Beim Patientengut mit diagnostizierter degenerativer TFCC-Läsion trat das Plica-Syndrom hingegen nur in 2,9% der Fälle auf.

3.3.1.4 Arthroskopische Therapie (Hauptdiagnose, Diskus triangularis)

Die durchgeführten therapeutischen Maßnahmen am Diskus triangularis unterteilten sich wie folgt: 34-mal (64,1%) war eine Diskusglättung und einmal eine Teilresektion (1,9%) durchgeführt worden. In den restlichen Fällen (n=18, 34%) war keine therapeutische Maßnahme am Diskus erfolgt. Eine Naht des TFCC wurde bei keinem Fall durchgeführt.

3.3.1.5 Arthroskopische Therapie (Nebendiagnosen)

Bezüglich der therapeutischen Maßnahmen der Nebendiagnosen / Begleitpathologien zeigte sich, dass 19-mal (35,8%) eine Synovialektomie, 9-mal (17%) eine Synovialektomie mit Knorpelglättung, 6-mal (11,3%) eine Synovialektomie mit Plicaresektion, 3-mal (5,7%) eine isolierte Knorpelglättung und 2-mal (3,8%) eine isolierte Plicaresektion durchgeführt worden war. In 14 Fällen (26,4%) war keine weitere Therapie erfolgt.

3.3.1.6 Postoperatives Prozedere / Nachbehandlung

Bei Betrachtung des postoperativen Prozederes zeigte sich, dass 22-mal (41,5%) eine zweiwöchige und 20-mal (37,7%) eine einwöchige Ruhigstellung des betroffenen Handgelenkes in einer dorsalen Unterarmschiene erfolgt war. In 3 Fällen wurde lediglich ein steriler Wundverband angelegt. Bei den Patienten, bei denen neben dem arthroskopischen Eingriff die Ulna-Verkürzungsosteotomie einzeitig durchgeführt worden war (n=7) erfolgte eine Ruhigstellung des Handgelenkes für 2 Wochen in einer Oberarmschiene und anschließend für 2 Wochen in einer Unterarmschiene. Bei dem Patienten, der einzeitig die partielle Resektion der distalen Ulna (wafer procedure) erhalten hatte, war eine vierwöchige Ruhigstellung in einer Oberarmschiene durchgeführt worden.

3.3.2 Patientenkollektiv 2 (nur Handgelenk-Arthroskopien, keine Kombinations-/Folgeeingriffe)

Von dem Patientenkollektiv, welches zunächst nur die reine Handgelenk-Arthroskopie erhalten hatte (n=36) stellte sich heraus, dass bei 3 Fällen im weiteren Krankheitsverlauf eine Ulnaverkürzungsosteotomie durchgeführt worden war. Diese Fälle wurden dementsprechend bei der Betrachtung dieses Kollektivs ausgeschlossen.

3.3.2.1 Arthroskopische Hauptdiagnose

Bei den resultierenden 33 Handgelenk-Arthroskopien wurde 21-mal (63,6%) eine TFCC-Läsion festgestellt. 12-mal (36,4%) konnte am TFCC keine Pathologie festgestellt werden (= Normalbefund). Von den 21 TFCC-Läsionen wurden, entsprechend der Palmer-Klassifikation, 20 Läsionen als degenerativ und eine als traumatisch (Palmer 1D) klassifiziert. Die genaue Subklassifikation der degenerativen TFCC-Läsionen lässt sich der unten aufgeführten Tabelle entnehmen (s. Tabelle 19).

	Anzahl (n)	Klassifikation traumatisch / degenerativ	Anzahl (n)	Palmer-Klassifikation	Anzahl (n)
o.p.B.	12	-	-	-	-
TFCC-Läsion	21	traumatisch (Palmer 1A–D)	1	1D	1
		degenerativ (Palmer 2A–E)	20	2A	5
				2B	9
				2C	5
			2D	1	
Gesamt	33		21		21

Tabelle 19: Arthroskopische Hauptdiagnosen; Patientenkollektiv 2

3.3.2.2 Arthroskopische Nebendiagnosen

Es zeigten sich die unten aufgeführten Nebendiagnosen (s. Tabelle 20). 4-mal war keine Nebendiagnose beschrieben.

Nebendiagnosen	Anzahl (n)	Prozent
Synovialitis	11	33,3%
Synovialitis + Plica-Syndrom	5	15,2%
Keine	4	12,1%
Ulnaimpaction	2	6,1%
Ulnaimpaction + Synovialitis	2	6,1%
Plicasyndrom	2	6,1%
Knorpelschaden Os lunatum, Teilruptur SL-Band (Grad1)	1	3,0%
Knorpelschaden ulnare Fossa lunata	1	3,0%
Knorpelschaden ulnare Fossa lunata + Synovialitis	1	3,0%
Knorpelschaden Fossa scaphoidea, Synovialitis	1	3,0%
Idiopathische radioskaphoideale Arthrose + ulnare Synovialitis	1	3,0%
Knorpelschaden Os lunatum (Grad4)	1	3,0%
Chronisch statische SL-Instabilität + Ulnaimpaction	1	3,0%
Gesamt	33	100,0%

Tabelle 20: Arthroskopische Nebendiagnosen; Patientenkollektiv 2

3.3.2.3 Arthroskopische Therapie (Hauptdiagnose und Nebendiagnose) und postoperatives Prozedere

19-mal (57,6%) wurde eine Diskusglättung und einmal (3,0%) eine Teilresektion des Diskus triangularis durchgeführt. 13-mal (39,4%) war keine therapeutische Maßnahme am TFCC erfolgt. Die therapeutischen Maßnahmen der Nebendiagnosen unterteilten sich ähnlich zum Gesamtkollektiv in eine Synovialektomie (39,4%), eine Synovialektomie mit Knorpelglättung (18,2%), eine Synovialektomie mit Plicaresektion (15,2%), eine isolierte Knorpelglättung (6,1%) und eine isolierte Plicaresektion (6,1%). Die Nachbehandlung unterschied sich hingegen lediglich zwischen einer einwöchigen (51,5%) und zweiwöchigen Ruhigstellung (48,5%) in einer dorsalen Unterarmschiene.

3.3.3 Patientenkollektiv 3 (Ulnaverkürzungsosteotomie direkt / im Verlauf)

10 Patienten hatten einzeitig (n=7) oder im weiteren Krankheitsverlauf (n=3) eine Ulnaverkürzungsosteotomie erhalten. 6 Patienten des Gesamtkollektivs war eine Ulnaverkürzungsosteotomie empfohlen worden, hatten diese jedoch nie erhalten.

3.3.3.1 Arthroskopische Hauptdiagnose

Bei den 10 Ulnaverkürzungsosteotomien zeigte sich bei 8 Fällen eine degenerative TFCC-Läsion (1x Palmer 2A, 2x Palmer 2B, 5x Palmer 2C), bei 2 Fällen konnte keine Läsion am TFCC festgestellt werden (s. Tabelle 21).

	Anzahl (n)	Klassifikation traumatisch / degenerativ	Anzahl (n)	Palmer-Klassifikation	Anzahl (n)
o.p.B.	2	-	-	-	-
TFCC-Läsion	8	traumatisch (Palmer 1A–D)	-	-	-
		degenerativ (Palmer 2A–E)	8	2A	1
				2B	2
				2C	5
Gesamt	10		8		8

Tabelle 21: Arthroskopische Hauptdiagnosen; Patientenkollektiv 3

3.3.3.2 Arthroskopische Nebendiagnosen

Von den 10 Fällen war als Nebendiagnose 2-mal eine Synovialitis, 2-mal eine Ulnaimpaction und jeweils einmal eine Ulnaimpaction mit Synovialitis, eine Ulnaimpaction mit Knorpelschaden an der ulnaren Fossa lunata und ein Knorpelschaden am Ulnakopf bei chronisch dynamischer SL-Instabilität festgestellt worden. Bei 3 Fällen wurde keine Begleitpathologie festgestellt.

3.3.3.3 Arthroskopische Therapie (Hauptdiagnose und Nebendiagnose) und postoperatives Prozedere

Bei allen 8 Fällen, die eine TFCC-Läsion aufwiesen, wurde eine Diskusglättung durchgeführt. Bei den 2 Fällen ohne Pathologie wurde dementsprechend auch keine Therapie am Diskus durchgeführt. Bezüglich der Nebendiagnosen wurde zweimal eine Synovialektomie und jeweils einmal eine Synovialektomie mit Knorpelglättung und eine Knorpelglättung isoliert durchgeführt. In 6 Fällen war keine weitere Therapie erfolgt. Die postoperative Nachbehandlung erfolgte 7-mal mittels 4-wöchiger Ruhigstellung (2 Wochen Oberarmschiene, 2 Wochen Unterarmschiene) und 3-mal mit einer 2-wöchigen Ruhigstellung in einer dorsalen Unterarmschiene. Bei einer Patientin war es frühzeitig (7 Tage nach der Operation) zu einem Plattenbruch gekommen, sodass eine Reosteosynthese erfolgen musste. Der weitere Krankheitsverlauf gestaltete sich fortan komplikationslos. Bei vollständiger knöcherner Konsolidierung wurde das einliegende Fremdmaterial dieser Patientin bereits entfernt. Die übrigen Ulnaverkürzungsosteotomien waren - soweit bekannt - zum Befragungszeitpunkt vollständig verheilt. Eine bekannte Pseudarthrose lag nicht vor.

3.4 Vergleich MRT-Befunde / Arthroskopie-Befund

Zur Beurteilung der Aussagekraft der präoperativen MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen wurden die erhobenen MRT-Befunde (unspezifisch / spezifisch) der unterschiedlichen Befunder mit den maßgeblichen arthroskopischen Befunden verglichen. Hierbei zeigte sich, dass bei den unspezifischen Befunden (o.p.B. / TFCC-Läsion ohne Klassifikation) bei Befunder 1 in 62,8%, bei Befunder 2 in 73,9% und bei Befunder 3 in 76,1% der Fälle die richtige Diagnose festgestellt wurde. Beim Vergleich der spezifisch klassifizierten Befunde (o.p.B. / TFCC-Läsion klassifiziert nach Palmer) konnte die richtige Diagnose bei Werten zwischen 34 - 41% deutlich seltener festgestellt werden (s. Tabelle 22).

	Befunder 1	Befunder 2	Befunder 3
Richtige Diagnosen unspezifisch	62,8%	73,9%	76,1%
Richtige Diagnosen spezifisch	38,9%	41,3%	34,8%

Tabelle 22: Richtig diagnostizierte Diagnosen (Befunder 1-3)

Unspezifische Diagnosen: TFCC-Läsion / o.p.B.; Spezifische Diagnosen: TFCC-Läsion klassifiziert nach Palmer / o.p.B.

Mittels 4-Felder-Tafel ließen sich zusätzlich die unten angegebenen Testgütekriterien berechnen (s. Tabelle 23).

	Befunder 1	Befunder 2	Befunder 3
Sensitivität	88,9%	80,0%	90,0%
Spezifität	18,8%	62,5%	50,0%
Positiver Vorhersagewert	64,9%	80,0%	77,1%
Negativer Vorhersagewert	50,0%	62,5%	72,7%

Tabelle 23: Berechnete Testgütekriterien
MRT-Befunde (Befunder 1-3) im Vergleich zum maßgeblichen ASK-Befund

Es zeigte sich, dass bei allen Befundern die berechnete Sensitivität mit einem Wert $\geq 80\%$ recht hoch war. Die ermittelte Sensitivität fiel hingegen deutlich ab. Beim offiziellen MRT-Befund (= Befunder 1) betrug sie nur 18,8%, wenngleich sie bei Befunder 2 und 3 leicht höhere Werte von 62,5% und 50% annahm. Der positive Vorhersagewert nahm bei Befunder 2 und 3 ähnlich hohe Werte mit 80% und 77,1% an, bei Befunder 1 fiel dieser mit 64,9% im Vergleich jedoch erneut ab. Die negativen Vorhersagewerte waren auf ähnlichem Niveau. Befunder 3 schnitt mit einem Wert von 72,1% leicht besser als Befunder 2 und 1, mit Werten von 62,5% und 50%, ab.

Neben den berechneten Testgütekriterien wurden analog zum Vergleich der MRT-Befunde untereinander das Übereinstimmungsmaß der unspezifischen (o.p.B. / TFCC-Läsion) und der spezifisch klassifizierten MRT-Befunde (o.p.B. / Palmer-Klassifikation) mit dem Arthroskopiebefund berechnet. Beim Vergleich der unspezifischen MRT-Befunde zeigten sich jeweils geringe, signifikante Übereinstimmungen zwischen den Befunden des Befunders 2 und dem ASK-Befund (Cohens Kappa = 0,043, $p = 0,004$) sowie den MRT-Befunden des Befunders 3 mit dem ASK-Befund (Cohens Kappa = 0,43, $p = 0,002$). Bei Befunder 1 hingegen konnte keine signifikante Übereinstimmung nachgewiesen werden (s. Tabelle 24).

	Befunder 1 & ASK	Befunder 2 & ASK	Befunder 3 & ASK
Cohens Kappa	0,09	0,43	0,43
Signifikanz (p)	0,485	0,004	0,002

Tabelle 24: Übereinstimmungsmaß der unspezifischen MRT-Befunde
(Befunder 1-3) mit dem arthroskopischen Befund

Beim Vergleich der spezifischen MRT-Befunde der Befunder 1-3 mit dem ASK-Befund zeigten sich bei Befunder 1 und 2 signifikante Übereinstimmungen. Diese waren jedoch nur sehr geringen Ausmaßes bei einem Cohens-Kappa $< 0,4$. Bei Befunder 3 ergab sich lediglich ein Cohes Kappa von 0,16, sodass hier zwar ein signifikantes Ergebnis, jedoch keine relevante Übereinstimmung festgestellt werden konnte (s. Tabelle 25).

	Befunder 1 & ASK	Befunder 2 & ASK	Befunder 3 & ASK
Cohens Kappa	0,22	0,26	0,16
Signifikanz (p)	0,043	$<0,001$	0,031

Tabelle 25: Übereinstimmungsmaß der spezifischen MRT-Befunde (Befunder 1-3) mit dem arthroskopischen Befund

3.5 Patientenbefragung

3.5.1 Auswertung des eigenen Fragebogens

3.5.1.1 Allgemeine Informationen zur Schädigung

Bei den 53 Handgelenk-Arthroskopien wurde 27-mal (50,9%) die rechte Seite und 26-mal (49,1%) die linke Seite operiert. 22 der 52 Patienten gaben an ein Unfallereignis gehabt zu haben (42,3%). Das am häufigsten beschriebene Unfallereignis war hierbei der Sturz mit 71,4% (n=15), gefolgt von einer Verdrehung des Handgelenkes mit 14,3% (n=3). Jeweils einfach genannt wurden folgende Unfallereignisse: Schlag, Verkehrsunfall und Sonstiges. 19 Patienten machten Angaben zum erstmaligen Arztkontakt. Hierbei stellte sich heraus, dass 31,6% der Patienten (n=6) sich noch taggleich ärztlich vorstellten. 2 Patienten (10,5%) stellten sich am Folgetag, 5 Patienten (26,3%) innerhalb einer Woche, 2 Patienten (10,5%) innerhalb der ersten 4 Wochen und 4 Patienten (21,1%) innerhalb der ersten 2 Monate ärztlich vor. Alle Patienten wurden hierbei primär konservativ behandelt. Die meisten Patienten (n=9, 40,9%) wurden mittels einer Schienenruhigstellung in Kombination mit Schmerzmitteln versorgt. Jeweils 5 Patienten (22,7%) gaben an mit einem Verband und Schmerzmittel oder mit einer isolierten Schienenruhigstellung ohne Schmerzmittelverordnung behandelt worden zu sein. 2 Patienten (9,1%) hatten nur Schmerzmittel und ein Patient (4,5%) hatte Schmerzmittel mit einer Salbe erhalten. Die durchschnittliche Dauer der angegebenen Therapiemaßnahmen betrug 3,5 Monate ($\pm 3,7$ Monate). 17 Patienten beantworteten die Frage hinsichtlich der Dauer vom Beschwerdebeginn bis zur erfolgten Handgelenk-Arthroskopie. Die Dauer betrug hierbei durchschnittlich 7,6 Monate ($\pm 6,1$ Monate, Range 0,5 - 15 Monate).

3.5.1.2 Patientenkollektiv 1 (alle Patienten, alle Operationen)

Beschwerden:

57,7% aller Patienten klagten präoperativ über Beschwerden bei Belastung und in Ruhe. 23,1% der Patienten klagten über isolierte Beschwerden bei Belastung und 9,6% über einen Ruheschmerz mit unregelmäßigen Schmerzereignissen. Ein isolierter Ruheschmerz wurde in 5,8% der Fälle beschrieben. In Einzelfällen wurde zusätzlich über einen unregelmäßigen Schmerz in Kombination mit einem Belastungsschmerz oder eine Kombination aus allen 3 Schmerzangaben berichtet (s. Abb. 22).

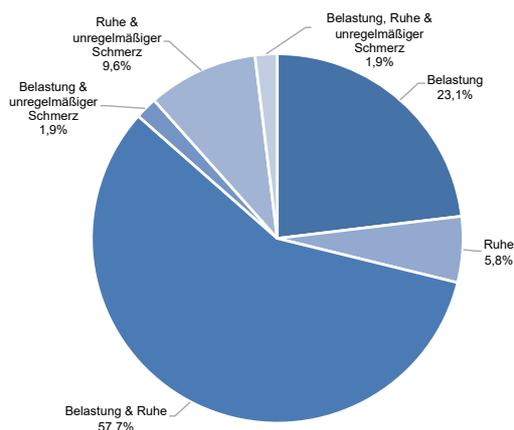


Abb. 22: Präoperative Beschwerden des Gesamtkollektivs

Die Beschwerden traten hierbei am häufigsten bei der Streckung und Beugung des Handgelenkes (78,8%), beim Aufstützen (76,9%) und beim Greifen (73,1%) auf. In 57,7% der Fälle wurden Beschwerden bei der Unterarmdrehung und in 17,3% der Fälle bei anderen Belastungen/Bewegungen geäußert (s. Tabelle 26).

Auf die Frage hinsichtlich der postoperativen Beschwerden gaben 19 Patienten (36,5%) an, dass die Beschwerden vollständig verschwunden seien. Weitere 24 Patienten (46,2%) gaben an, dass die Beschwerden fast vollständig verschwunden / deutlich gebessert seien. 7 Patienten (13,5%) gaben leicht gebesserte Beschwerden an. 2 Patienten (3,8%) berichteten über unveränderte Beschwerden, eine Verschlechterung gab kein Patient an. Die geäußerten postoperativen Beschwerden traten hierbei am häufigsten beim Aufstützen (44,2%) und der Streckung und Beugung im Handgelenk (32,7%) auf. In jeweils 19,2% der Fälle wurden Beschwerden beim Greifen, bei der Unterarmdrehung und bei alternativen Bewegungen geäußert. Es zeigte sich demnach im prä- und postoperativen Vergleich ein signifikanter Unterschied der geäußerten Beschwerden. Lediglich bei der unspezifischen Angabe „Sonstige“ konnte keine signifikante Veränderung nachgewiesen werden (s. Tabelle 26).

	Greifen	Streckung & Beugung	Aufstützen	UA-Drehung	Sonstige
Präoperativ	73,1%	78,8%	76,9%	57,7%	17,3%
Postoperativ	19,2%	32,7%	44,2%	19,2%	19,2%
Signifikanz (p)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,0

Tabelle 26: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 1
Angaben jeweils in Prozent des Gesamtkollektiv (n=52)

Einschränkungen

Auf die Frage hinsichtlich der präoperativen Einschränkungen im Alltag antworteten 37 Patienten (71,2%) sich stark und 14 Patienten (26,9%) sich leicht eingeschränkt zu fühlen. Nicht eingeschränkt zu sein gab kein Patient an. Postoperativ hingegen gaben 30 Patienten (57,7%) an uneingeschränkt zu sein. 19 Patienten (36,5%) fühlten sich weiterhin leicht und nur 2 Patienten (3,9%) weiterhin stark einschränkt. Jeweils einmal blieb die Frage unbeantwortet.

Bezüglich der präoperativen Einschränkungen im Beruf gaben 31 Patienten (59,6%) an stark eingeschränkt und 13 Patienten (25%) leicht eingeschränkt gewesen zu sein. 4 Patienten (7,7%) gaben keine Einschränkungen an. In 4 Fällen blieb die Frage unbeantwortet. Postoperativ berichteten 28 Patienten (53,8%) nun uneingeschränkt zu sein. 4 Patienten (7,7%) gaben an weiterhin stark und 15 Patienten (28,8%) weiterhin leicht eingeschränkt zu sein. In 5 Fällen blieb die Frage unbeantwortet (s. Tabelle 27).

	Alltag				Beruf			
	präoperativ		postoperativ		präoperativ		postoperativ	
	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent
Stark eingeschränkt	37	71,2	2	3,8	31	59,6	4	7,7
Leicht eingeschränkt	14	26,9	19	36,5	13	25,0	15	28,8
Nicht eingeschränkt	0	0,0	30	57,7	4	7,7	28	53,8
Fehlend	1	1,9	1	1,9	4	7,7	5	9,6
Gesamt	52	100,0	52	100,0	52	100,0	52	100,0

Tabelle 27: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 1

Es zeigte sich, dass die angegebenen Einschränkungen im prä- und postoperativen Vergleich sowohl im Alltag ($z = -5,87$, $p < 0,001$) wie auch im Beruf ($z = -5,53$, $p < 0,001$) postoperativ signifikant geringer waren. Die berechnete Effektstärke r betrug im Alltag 0,85 und im Beruf 0,81, womit jeweils ein starker Effekt zugrunde lag.

Schmerzen

Die auf der numerischen Rating-Skala (NRS) angegebene durchschnittliche Schmerzintensität war postoperativ in Ruhe ($z = -5,87$, $p < 0,001$) und bei Belastung ($z = -6,04$, $p < 0,001$) signifikant geringer als präoperativ. Die berechnete Effektstärke betrug in Ruhe $r = 0,82$ und bei Belastung $r = 0,84$, womit erneut jeweils ein starker Effekt zugrunde lag. So betrug die angegebene Schmerzintensität präoperativ in Ruhe durchschnittlich 5,27 ($\pm 2,43$) und bei Belastung 8,42 ($\pm 1,38$), was letztendlich einer mittleren bis starken Schmerzintensität entsprach. Postoperativ hingegen war die angegebene Schmerzintensität in Ruhe mit 1,42 ($\pm 2,36$) und insbesondere bei Belastung mit 2,92 ($\pm 2,93$) deutlich geringer, was nur noch einem leichten Schmerzempfinden entsprach (s. Abb. 23).

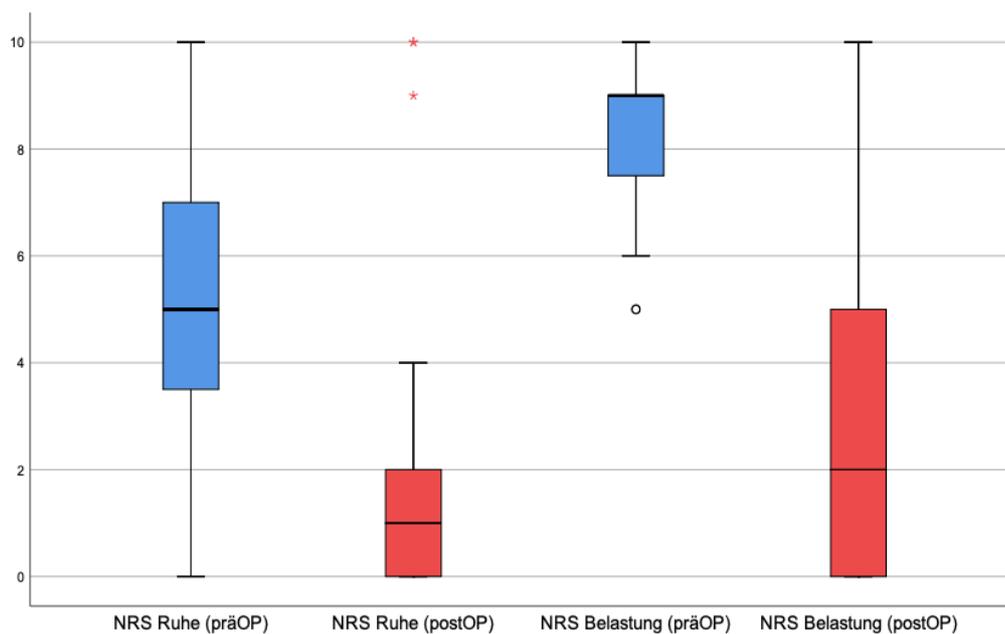


Abb. 23: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 1

x-Achse: Blau: präoperativ; Rot: postoperativ; y-Achse: Schmerzintensität 0-10

Arbeitsunfähigkeit

Auf die Frage bezüglich des Vorhandenseins einer präoperativen Arbeitsunfähigkeit antworteten 19 Patienten (36,5%) mit „Ja“, 24 Patienten (46,2%) antworteten mit „Nein“ und 8 Patienten (15,4%) gaben an nicht berufstätig gewesen zu sein. Einmal blieb die Frage unbeantwortet. Postoperativ antworteten 22 Patienten unverändert arbeitsfähig (41,5%) und 18 Patienten (34,0%) wieder arbeitsfähig zu sein. Eine Patientin war weiterhin arbeitsunfähig und eine Patientin berichtete neu arbeitsunfähig zu sein. 6 Patienten gaben an nicht berufstätig zu sein. In 5 Fällen blieb die Frage unbeantwortet. Konkret zeigte sich

eine signifikante Verbesserung der Arbeitsunfähigkeit ($p = 0,001$). 94,4% der zuvor arbeitsunfähigen Personen waren nach der Operation wieder arbeitsfähig.

Operationserfolg

35 Patienten (67,3%) bewerteten die Operation als erfolgreich und 14 Patienten (26,9%) als teilweise erfolgreich. Ein Patient (1,9%) äußerte, dass die Operation nicht erfolgreich gewesen sei. Zweimal blieb die Frage unbeantwortet. Auf die Frage hin, ob sich die Patienten rückblickend erneut operieren lassen würden, antworteten 47 Patienten (90,4%) mit „Ja“ und 4 Patienten (7,7%) mit „Unsicher“. Mit „Nein“ antwortete kein Patient. Einmal blieb die Frage unbeantwortet.

3.5.1.3 Patientenkollektiv 2 (nur Handgelenk-Arthroskopien, keine Kombinations-/Folgeeingriffe)

Beschwerden

Es zeigte sich im prä- und postoperativen Vergleich ein signifikanter Unterschied der geäußerten Beschwerden bei den unten aufgeführten Bewegungen/Belastungen. Lediglich bei der unspezifischen Angabe „Sonstige“ konnte keine signifikante Veränderung nachgewiesen werden (s. Tabelle 28).

	Greifen	Streckung & Beugung	Aufstützen	UA-Drehung	Sonstige
Präoperativ	72,7%	81,8%	75,8%	63,6%	18,2%
Postoperativ	18,2%	33,3%	39,4%	21,2%	18,2%
Signifikanz (p)	< 0,001	< 0,001	0,004	< 0,001	1,0

Tabelle 28: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 2
Angaben jeweils in Prozent des Gesamtkollektiv (n=33)

14 Patienten (42,4%) gaben an, dass die Beschwerden postoperativ vollständig verschwunden und weitere 14 Patienten (42,4%) fast vollständig verschwunden / deutlich gebessert seien. 4 Patienten (12,1%) gaben leicht gebesserte Beschwerden an. Ein Patient berichtete über unveränderte Beschwerden, eine Verschlechterung gab kein Patient an.

Einschränkungen

Analog zum Patientenkollektiv 1 konnte eine signifikante Veränderung zwischen den geäußerten prä- und postoperativen Einschränkungen im Alltag ($z = -4,85$, $p < 0,001$) wie auch im Beruf ($z = -4,44$, $p < 0,001$) nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich jeweils ein starker Effekt bei einem r -Wert $> 0,5$ (Alltag: $r = 0,86$; Beruf: $r = 0,81$).

So gaben 22 Patienten (66,7%) an sich präoperativ im Alltag und 20 Patienten (60,6%) im Beruf stark eingeschränkt zu fühlen, wenngleich es postoperativ nur noch ein Patient (3,0%) im Alltag und drei Patienten (9,1%) im Beruf waren. Gleichartig hierzu gaben postoperativ 23 Patienten (69,7%) im Alltag und 20 Patienten (60,6%) im Beruf an uneingeschränkt zu sein, obgleich es vor der Operation im Beruf nur ein Patient und im Alltag kein Patient war (s. Tabelle 29).

	Alltag				Beruf			
	präoperativ		postoperativ		präoperativ		postoperativ	
	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent
Stark eingeschränkt	22	66,7	1	3,0	20	60,6	3	9,1
Leicht eingeschränkt	10	30,3	9	27,3	11	33,3	8	24,2
Nicht eingeschränkt	0	0,0	23	69,7	1	3,0	20	60,6
Fehlend	1	3,0	0	0	1	3,0	2	6,1
Gesamt	33	100,0	33	100,0	33	100,0	33	100,0

Tabelle 29: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 2

Teilte man die angegebenen Einschränkungen entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC auf, so konnte man keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Diagnosen feststellen (s. Tabelle 30). Es zeigte sich ungeachtet der erfolgten Subklassifikation im prä- und postoperativen Vergleich weiterhin ein signifikanter Unterschied der angegebenen Beschwerden (o.p.B.: $p < 0,003$ (Alltag), $p < 0,004$ (Beruf); Degenerativ: $p < 0,001$ (Alltag), $p = 0,001$ (Beruf)).

	Einschränkungen Alltag											
	Stark eingeschränkt				Leicht eingeschränkt				Nicht eingeschränkt			
	Präoperativ		Postoperativ		Präoperativ		Postoperativ		Präoperativ		Postoperativ	
	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent
Ohne pathologischen Befund	8	36,4	0	0	3	30,0	2	22,2	0	0	10	43,5
Traumatisch (Palmer 1A-D)	1	4,5	1	100	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0,0
Degenerativ (Palmer 2A-E)	13	59,1	0	0	7	70,0	7	77,8	0	0	13	56,5
Gesamt (n)	22	100,0	1	100,0	10	100,0	9	100,0	0	0,0	23	100,0

	Einschränkungen Beruf											
	Stark eingeschränkt				Leicht eingeschränkt				Nicht eingeschränkt			
	Präoperativ		Postoperativ		Präoperativ		Postoperativ		Präoperativ		Postoperativ	
	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent
Ohne pathologischen Befund	8	40,0	0	0,0	4	36,4	2	25,0	0	0,0	8	40,0
Traumatisch (Palmer 1A-D)	1	5,0	1	33,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Degenerativ (Palmer 2A-E)	11	55,0	2	66,7	7	63,6	6	75,0	1	100,0	12	60,0
Gesamt (n)	20	100,0	3	100,0	11	100,0	8	100,0	1	100,0	20	100,0

Tabelle 30: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf, subklassifiziert nach der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC
Oben: Einschränkungen im Alltag; Unten: Einschränkungen im Beruf

Schmerzen

Gleichermaßen zum Patientenkollektiv 1 war die auf der numerischen Rating-Skala (NRS) angegebene durchschnittliche Schmerzintensität postoperativ in Ruhe ($z = -4,58$, $p < 0,001$) und bei Belastung ($z = -4,71$, $p < 0,001$) signifikant geringer als präoperativ. Die berechnete Effektstärke betrug in Ruhe $r = 0,81$ und bei Belastung $r = 0,83$, womit erneut ein starker Effekt zugrunde lag. So betrug die angegebene Schmerzintensität präoperativ in Ruhe durchschnittlich $4,91 (\pm 2,49)$ und bei Belastung $8,15 (\pm 1,44)$, was letztendlich einer mittleren bis starken Schmerzintensität entsprach. Postoperativ hingegen war die angegebene Schmerzintensität in Ruhe mit $1,31 (\pm 2,40)$ und insbesondere bei Belastung mit $2,63 (\pm 3,12)$ deutlich geringer, was nur noch einem leichten Schmerzempfinden entsprach (s. Abb. 24).

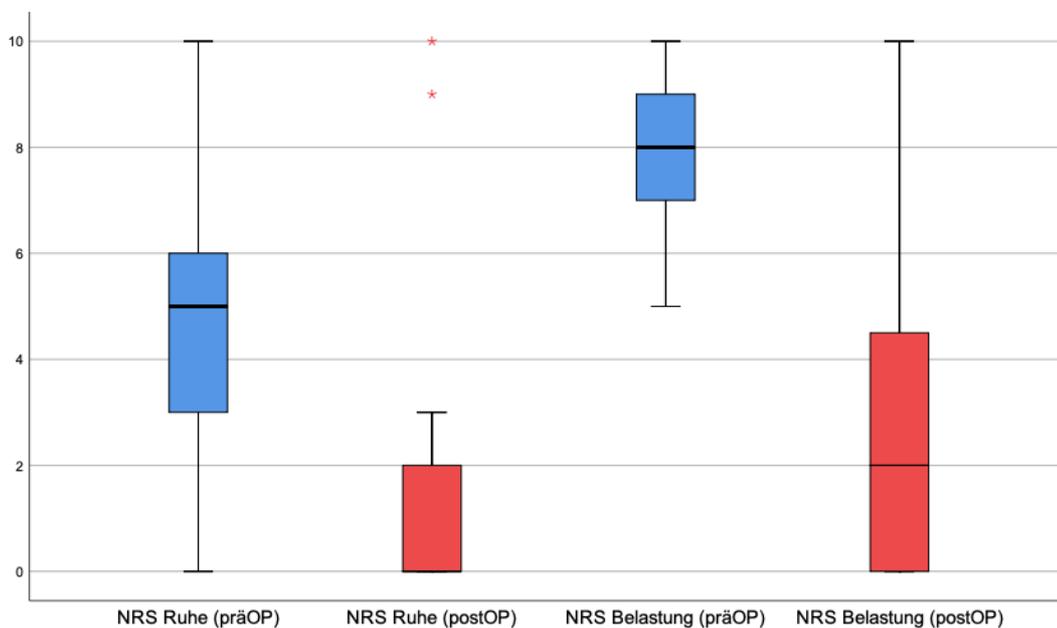


Abb. 24: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 2

x-Achse: Blau: präoperativ; Rot: postoperativ; y-Achse: Schmerzintensität 0-10

Zusätzlich wurde ein Vergleich der durchschnittlichen Schmerzintensität subklassifiziert anhand der arthroskopisch definierten Diagnose (o.p.B, traumatisch / degenerative TFCC-Läsion) durchgeführt. Hierbei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den aufgeführten Diagnosen nachgewiesen werden, wenngleich die durchschnittliche postoperative Schmerzintensität bei den degenerativen Läsionen geringgradig höher als bei den Normalbefunden war (siehe Tabelle 31).

	NRS Ruhe		NRS Belastung	
	präoperativ	postoperativ	präoperativ	postoperativ
Ohne pathologischen Befund	4,50 (± 2,68)	0,67 (± 1,23)	8,25 (± 1,42)	1,67 (± 2,06)
Traumatisch (Palmer 1A-D)	4	0	10	10
Degenerativ (Palmer 2A-E)	5,2 (± 2,46)	1,79 (± 2,90)	8,0 (± 1,45)	2,84 (± 3,24)
Gesamt	4,91 (± 2,49)	1,31 (± 2,40)	8,15 (± 1,44)	2,63 (± 3,12)

Tabelle 31: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2

Gesamtkollektiv (n=33) und subklassifiziert entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose: Ohne pathologischen Befund (n=12), Traumatisch (n=1), Degenerativ (n=20); Schmerzintensität 0-10

Teilte man dennoch die degenerativen Läsionen zusätzlich entsprechend ihrer vermeintlichen Schwere anhand der Palmer-Klassifikation auf, so zeigte sich, dass die durchschnittliche Schmerzintensität der Palmer 2C-/D-Läsionen höher, als die der Palmer 2A-Läsionen war, wenngleich der Unterschied ebenfalls statistisch nicht signifikant war (s. Tabelle 32).

	NRS Ruhe		NRS Belastung	
	präoperativ	postoperativ	präoperativ	postoperativ
2A (n=5)	3,4 (± 1,52)	1,0 (± 1,22)	7,8 (± 1,30)	2,0 (± 2-45)
2B (n=9)	5,22 (± 2,44)	0,75 (± 1,16)	7,67 (± 1,66)	1,50 (± 2,07)
2C (n=5)	6,2 (± 2,39)	2,80 (± 4,09)	8,40 (± 1,14)	4,40 (± 3,64)
2D (n=1)	9,0	9,0	10,0	10,0
Degenerativ gesamt (n=20)	5,2 (± 2,46)	1,79 (± 2,90)	8,0 (± 1,45)	2,84 (± 3,24)

Tabelle 32: Durchschnittliche Schmerzintensität der degenerativen TFCC-Läsionen in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2

Subklassifiziert entsprechend der Palmer-Klassifikation; Schmerzintensität 0-10 auf der numerischen Rating-Skala

Analog zu den Ergebnissen ungeachtet der arthroskopisch definierten Diagnose, zeigte sich im prä- und postoperativen Vergleich postoperativ eine signifikant niedrigere durchschnittliche Schmerzintensität. Des Weiteren war die berechnete Effektstärke r jeweils $> 0,5$, sodass ein starker Effekt zugrunde lag (s. Tabelle 33).

	NRS Ruhe postoperativ / präoperativ			NRS Belastung postoperativ / präoperativ		
	Z	Signifikanz (p)	Effektstärke	Z	Signifikanz (p)	Effektstärke
Ohne pathologischen Befund	-2,82	0,005	0,82	-3,06	0,002	0,88
Degenerativ (Palmer 2A-E)	-3,54	<0,001	0,81	-3,62	<0,001	0,83

Tabelle 33: Prä- und postoperativer Vergleich der durchschnittlichen Schmerzintensität in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2

Subklassifiziert entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose. Eine Berechnung für traumatische Läsionen konnte aufgrund der Fallzahl (n=1) nicht erfolgen.

Operationserfolg

24 Patienten (72,7%) bewerteten die Operation als erfolgreich und 8 Patienten (24,2%) Patienten als teilweise erfolgreich. Einmal blieb die Frage unbeantwortet. 90,9% der Patienten (n=30) gaben an sich rückblickend erneut operieren zu lassen. 3 Patienten waren sich diesbezüglich unsicher (9,1%). Bei Betrachtung des Operationserfolges anhand der arthroskopisch definierten Diagnose werteten 83,8% der Patienten mit Normalbefund und 70% der Patienten mit einer degenerativen TFCC-Läsion die Operation als erfolgreich. Alle Patienten (100%, n=12) mit arthroskopischem Normalbefund des TFCC und 85% der Patienten mit degenerativer TFCC-Läsion würden sich erneut operieren lassen. 15% der Patienten (n=3) mit degenerativer Läsion waren sich diesbezüglich unsicher.

3.5.1.4 Patientenkollektiv 3 (Ulnaverkürzungsosteotomie direkt / im Verlauf)

Beschwerden

Beim gesonderten Subkollektiv der Patienten, die direkt oder im Verlauf eine Ulnaverkürzungsosteotomie erhalten hatten, zeigten sich die unten aufgeführten prä- und postoperativen Beschwerden (s. Tabelle 34). Es zeigte sich hierbei im prä- und postoperativen Vergleich kein signifikanter Unterschied, wenngleich das Ergebnis aufgrund der geringen Fallzahl (n=10) differenziert zu betrachten ist.

	Greifen	Streckung & Beugung	Aufstützen	UA-Drehung	Sonstige
Präoperativ	40,0%	60,0%	90,0%	50,0%	10,0%
Postoperativ	30,0%	30,0%	70,0%	20,0%	20,0%
Signifikanz (p)	1,0	0,375	0,500	0,250	1,0

Tabelle 34: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 3
Angaben jeweils in Prozent des Gesamtkollektiv (n=10)

Einschränkungen

Analog zu den Patientenkollektiven 1 und 2 konnte eine signifikante Veränderung zwischen den geäußerten prä- und postoperativen Einschränkungen im Alltag ($z = -2,64$, $p = 0,008$) wie auch im Beruf ($z = -2,45$, $p = 0,014$) nachgewiesen werden. Es zeigte sich jeweils ein starker Effekt bei einem r-Wert $> 0,5$ (Alltag: $r = 0,83$; Beruf: $r = 0,77$).

So gaben 7 Patienten (70%) an sich präoperativ im Alltag und 4 Patienten (40%) im Beruf stark eingeschränkt zu fühlen, wenngleich es postoperativ nur noch jeweils ein Patient (10%) im Alltag und Beruf war (s. Tabelle 35).

	Alltag				Beruf			
	präoperativ		postoperativ		präoperativ		postoperativ	
	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent	Anzahl (n)	Prozent
Stark eingeschränkt	7	70,0	1	10,0	4	40,0	1	10,0
Leicht eingeschränkt	3	30,0	5	50,0	3	30,0	3	30,0
Nicht eingeschränkt	0	0,0	4	40,0	3	30,0	6	60,0
Gesamt	10	30,3	10	100,0	10	100,0	10	100,0

Tabelle 35: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 3

Schmerzen

Die auf der numerischen Rating-Skala (NRS) angegebene durchschnittliche Schmerzintensität war postoperativ in Ruhe ($z = -2,67$, $p = 0,008$) und bei Belastung ($z = -2,69$, $p = 0,007$) signifikant geringer als präoperativ. Die berechnete Effektstärke betrug in Ruhe und bei Belastung jeweils $r = 0,85$, womit abermals ein starker Effekt zugrunde lag. So betrug die angegebene Schmerzintensität präoperativ in Ruhe durchschnittlich $5,10 (\pm 2,60)$ und bei Belastung $8,50 (\pm 1,43)$. Postoperativ war die angegebene Schmerzintensität in Ruhe mit $2,10 (\pm 3,00)$ und bei Belastung mit $4,00 (\pm 2,70)$ deutlich geringer (s. Abb. 25).

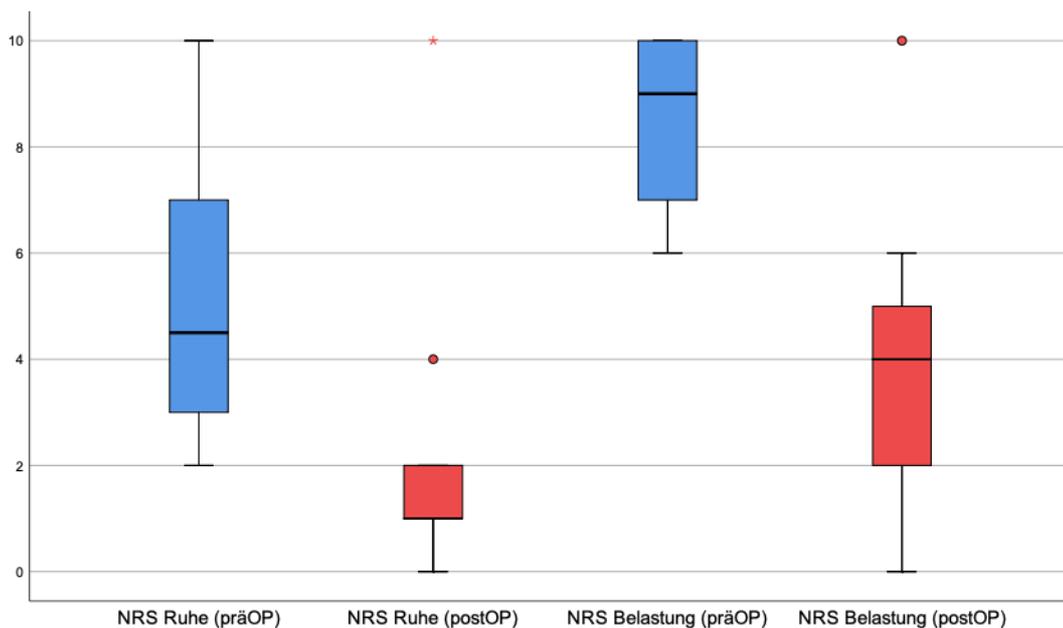


Abb. 25: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 3

x-Achse: Blau: präoperativ; Rot: postoperativ; y-Achse: Schmerzintensität 0-10

Operationserfolg

60% der Patienten (n=6) werteten die Operation als erfolgreich, 20% (n=2) als teilweise erfolgreich und 20% (n=2) als nicht erfolgreich. 8 Patienten (80%) würden sich erneut operieren lassen, eine Patientin war sich unsicher und in einem Fall blieb die Frage unbeantwortet.

3.5.2 DASH-Fragebogen

3.5.2.1 Patientenkollektiv 1 (alle Patienten, alle Operationen)

Der DASH-Fragebogen wurde von 50 Patienten beantwortet. 2 Patienten hatten den Fragebogen nicht ausgefüllt. Das Zusatzmodul Sport/Musik wurde 35-mal und das Zusatzmodul Beruf 37-mal beantwortet. Der durchschnittliche DASH-Score des Hauptmoduls betrug 14,28 (\pm 16,57) und der Zusatzmodule Sport/Musik 20,0 (\pm 26,25) und Beruf 18,07 (\pm 23,60).

3.5.2.2 Patientenkollektiv 2 (nur Handgelenk-Arthroskopien, keine Kombinations-/Folgeeingriffe)

Von den 33 Patienten hatten 32 das Hauptmodul, 23 das Zusatzmodul Sport/Musik und 24 das Zusatzmodul Beruf ausgefüllt. Der durchschnittliche DASH-Wert betrug beim Hauptmodul 13,50 (\pm 16,29) und bei den Zusatzmodulen Sport/Musik 17,12 (\pm 24,0) und Beruf 16,93 (\pm 25,57). Unterteilte man das Kollektiv zusätzlich entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC, so zeigten sich die unten aufgeführten durchschnittlichen DASH-Werte (s. Tabelle 36). Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass der durchschnittliche DASH-Wert der Patienten mit arthroskopisch definiertem Normalbefund (n=12) geringer war, als derer mit einer traumatischen (n=1) und degenerativen TFCC-Läsion (n=20), wenngleich dieser Unterschied statistisch nicht signifikant war (p jeweils $>0,05$).

	DASH-Fragebogen		
	Hauptmodul	Sport/Musik	Beruf
Ohne pathologischen Befund	7,73 (\pm 12,74)	5,0 (\pm 10,54)	4,69 (\pm 9,30)
Traumatisch (Palmer 1A-D)	31,9	81,25	0
Degenerativ (Palmer 2A-E)	16,18 (\pm 17,58)	21,88 (\pm 23,00)	23,05 (\pm 29,02)
Gesamt	13,50 (\pm 16,29)	17,12 (\pm 24,00)	16,93 (\pm 25,57)

Tabelle 36: Durchschnittliche DASH-Werte insgesamt und subklassifiziert entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC;

Patientenkollektiv 2

Gesamtkollektiv (n=33) und subklassifiziert entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose: Ohne pathologischen Befund (n=12), Traumatisch (n=1), Degenerativ (n=20)

Bei zusätzlicher Aufteilung der degenerativen TFCC-Läsionen anhand der Palmer-Klassifikation, zeigten sich bei den vermeintlichen schwereren Läsionen (Palmer 2C/D) höhere durchschnittliche DASH-Werte als bei den vermeintlich leichteren TFCC-Läsionen (Palmer 2A/B) (s. Tabelle 37). Die diesbezüglichen Unterschiede waren jedoch erneut statistisch nicht signifikant (p jeweils $> 0,05$).

	DASH-Fragebogen		
	Hauptmodul	Sport/Musik	Beruf
2A (n=5)	10,16 (\pm 10,31)	9,37 (\pm 13,26)	18,75 (\pm 29,97)
2B (n=9)	10,83 (\pm 11,27)	21,43 (\pm 22,78)	17,86 (\pm 26,13)
2C (n=5)	21,50 (\pm 19,70)	31,25 (\pm 31,25)	33,33 (\pm 42,54)
2D (n=1)	62,5	50,0	0,0
Degenerativ gesamt (n=20)	16,18 (\pm 17,58)	21,88 (\pm 23,00)	23,05 (\pm 29,02)

Tabelle 37: Durchschnittliche DASH-Werte der degenerativen TFCC-Läsionen; Patientenkollektiv 2
Subklassifiziert entsprechend der Palmer-Klassifikation

3.5.2.3 Patientenkollektiv 3 (Ulnaverkürzungs-OT direkt / im Verlauf)

Das Hauptmodul hatten alle 10 Patienten und die Zusatzmodule jeweils 8 Patienten beantwortet. Die durchschnittlichen DASH-Werte betragen für das Hauptmodul 16,02 (\pm 18,98) und für die Zusatzmodule Sport/Musik 20,31 (\pm 31,64) und Beruf 21,09 (\pm 23,60). Es zeigte sich kein statistisch relevanter Unterschied zu den Patientenkollektiven 1 und 2.

3.6 Korrelationen zwischen TFCC-Schaden, Einschränkungen, Schmerzen und dem DASH-Score

Bei der Berechnung potentieller Korrelationen zwischen der vermeintlichen Schwere der Diagnose am TFCC - aufsteigend vom Normalbefund über die traumatische Läsion bis hin zu der schwersten degenerativen Läsion (in unserem Fall die Palmer 2D-Läsion) - und den resultierenden Beschwerden und Schmerzen, ergaben sich sehr unterschiedliche Ergebnisse.

So konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem DASH-Wert des Hauptmoduls ($r_{sp} = 0,29$, $p = 0,042$) und des Zusatzmoduls Beruf ($r_{sp} = 0,36$, $p = 0,027$) und der Schwere der arthroskopisch definierten Diagnose festgestellt werden. Beim Zusatzmodul Sport/Musik konnte hingegen keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden ($p = 0,081$).

Bezüglich der präoperativ geäußerten Einschränkungen (im Alltag und Beruf) und der Schmerzintensität (in Ruhe und bei Belastung), zeigte sich keine signifikante Korrelation zur vermeintlichen Schwere der arthroskopisch definierten Diagnose. Postoperativ hingegen konnte eine signifikante Korrelation der geäußerten Beschwerden im Alltag ($r_{sp} = 0,34$, $p = 0,013$) und Beruf ($r_{sp} = 0,35$, $p = 0,015$) in Bezug zur vermeintlichen Schwere der TFCC-Läsion festgestellt werden. Bei der postoperativen Schmerzintensität zeigte sich hingegen in Ruhe und bei Belastung weiterhin keine signifikante Korrelation (Ruhe: $p = 0,055$; Belastung: $p = 0,080$).

4 Diskussion

4.1 Patientenkollektiv

Mit einem Durchschnittsalter von 44,3 Jahren ($\pm 16,8$), einer annähernd gleichmäßigen Geschlechterverteilung (48,1% Frauen, 51,9% Männer) und einer durchschnittlichen Follow-Up-Zeit von 39,7 Monaten ($\pm 19,6$ Monate) ist unser Patientenkollektiv vergleichbar mit den Patientenkollektiven ähnlicher Studien [74, 131, 151]. Die Anzahl des Gesamtkollektivs ($n=52$) ist zwar gering, jedoch hinsichtlich des kurzen Studienzeitraums (6 Jahre) und der Begrenzung des Kollektivs auf Handgelenk-Arthroskopien, welche isoliert aufgrund der primären Verdachtsdiagnose eines Diskusschaden durchgeführt worden waren, durchaus bemerkenswert.

4.2 Auswertung der präoperativen MRT

4.2.1 Technische / apparative Aspekte

In unserer Studie konnte bei der Auswertung der uns vorgelegten MRT-Untersuchungen sehr gut aufgezeigt werden, dass die im klinischen Alltag durchgeführten MRT-Untersuchungen des allgemeinen Patientenguts überwiegend nicht dem aktuellen und wissenschaftlich empfohlenen Standard [14, 75, 76, 80, 86, 90] entsprachen, sowohl im Hinblick auf die apparativen Aspekte, als auch in Bezug auf die Geräteeinstellungen. So zeigte sich insbesondere, dass die in der Literatur mittlerweile zum Goldstandard erkorene 3-Tesla-MRT unserem Patientengut nicht zugänglich war [76].

Limitierend muss hierbei jedoch angemerkt werden, dass in fast 50% der Fälle die Feldstärke des verwendeten Tomographen unklar blieb. Die als obligat angesehene Applikation von intravenösem oder intraartikulärem Kontrastmittel (37% der Fälle) war ebenfalls nur unzureichend erfolgt [82, 84, 85]. Darüber hinaus wurden die in der Literatur beschriebenen Protokoll-Empfehlungen zur optimalen Darstellung des TFCC nur spärlich umgesetzt [90]. Es zeigte sich eine enorm große Variabilität der durchgeführten Sequenzen und Wichtungen. Hierbei wurden die empfohlenen koronaren Sequenztypen T1_(T/F)SE und PDw_FSE_fs mit 65,2% bzw. 32,6% noch vergleichsweise häufig umgesetzt. Der angeratene sagittale Sequenztyp wurde hingegen nur in 8,7% der Fälle und der axiale Sequenztyp bei keiner MRT-Untersuchung durchgeführt. Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass entgegen der allgemeinen Empfehlung allein 7 MRT-Untersuchungen keine adäquate sagittale und ein MRT keine axiale Schichtebene enthielten.

Die am häufigsten angegebene Wahlsequenzen von Befunder 2 und 3 waren die PD_TFS_FS_COR, T1_TSE_COR und FSE_COR Sequenz. Auffällig hierbei war, dass diese Sequenzen exakt den empfohlenen TFCC-spezifischen Sequenztypen entsprachen und somit scheinbar die qualitativ besten Bilder darstellten. Hinsichtlich der Schichtdicke der bevorzugten Wahlsequenz zeigte sich, dass die allgemein empfohlene Schichtdicke für die Handgelenk-MRT $\leq 2,5$ mm in 67,4% und die empfohlene TFCC-spezifische Schichtdicke ≤ 2 mm in nur 26,1% bis 30,4% der Fälle eingehalten wurde. In 32,6% der Fälle wurde jedoch die empfohlene Schichtdicke mit 3 und 4 mm deutlich überschritten. Die TFCC-spezifische FOV von 8 - 10 mm konnte nur bei 6 Untersuchungen (13%) aufgezeigt werden, wenngleich die für das allgemeine Handgelenk-MRT empfohlene FOV ≤ 120 mm immerhin bei knapp 60% der Untersuchungen nachgewiesen werden konnte. 19 MRT-Untersuchungen (41,3%) wiesen demnach jedoch eine zu große FOV auf. Allein hieraus lässt sich schließen, dass die ohnehin schon diffizile Beurteilung des TFCC bei einem zu großem Sichtfeld noch zusätzlich erschwert wurde. Die subjektive Beurteilung der Bildqualität von Befunder 2 und 3 ergaben jeweils eine Durchschnittsnote von 2,9. In fast 20% der Fälle wurde das vorliegende Bildmaterial mit einer 4 oder 5 bewertet, was letztendlich auf die unbefriedigende bildmorphologische Darstellung rückschließen lässt.

Als limitierender Faktor muss hierbei angemerkt werden, dass die Patienten dem Radiologen gewiss nicht immer mit der klaren primären Verdachtsdiagnose einer TFCC-Läsion vorgestellt worden waren. Dementsprechend ist anzunehmen, dass die TFCC-spezifischen MRT-Protokolle auch aufgrund fehlender oder unzureichender klinischer Angaben nicht adäquat umgesetzt wurden. Des Weiteren ist anzumerken, dass wir den Vergleich der Sequenzen und Wichtungen mit den TFCC-spezifischen Protokoll-Empfehlung nach Schmitt-Lanz durchführten [90]. Zur Darstellung des TFCC gibt es hingegen viele potentiell mögliche unterschiedliche Sequenzen und Wichtungen [5, 67, 88, 89]. Nichtsdestotrotz wurden die Protokoll-Empfehlungen für die unspezifische / allgemeine Handgelenk-MRT gleichermaßen nur selten adäquat umgesetzt.

Zusammenfassend lässt sich demnach feststellen, dass die in der alltäglichen, klinischen Praxis, sprich in den niedergelassenen radiologischen Praxen, durchgeführten MRT-Untersuchungen oftmals nicht dem aktuellen wissenschaftlichen Standard entsprachen. Die durchgeführten Sequenzen und Wichtungen unterschieden sich enorm. Klare Empfehlungen, möglichst in Form einer Leitlinie, zur strikten Umsetzung notwendiger Handgelenk-MRT-Protokolle böten sicherlich hohes Optimierungspotenzial und wären vergleichsweise leicht umsetzbar. Grundlegende apparative Änderungen an den in den radiologischen Praxen vorhandenen Magnetresonanztomographen würden aufgrund der damit verbundenen erheblichen Investitionskosten voraussichtlich nicht umsetzbar sein.

4.2.2 MRT-Befundung

Die erhobenen MRT-Befunde der unterschiedlichen Untersucher (Befunder 1 - 3) wiesen große Unterschiede auf. So bewertete Befunder 1 in 86,0%, Befunder 2 in 65,2% und Befunder 3 in 76,1% der Fälle den TFCC als pathologisch. Sofern es zu einer statistisch signifikanten Übereinstimmung kam, war diese nur sehr geringen bis geringen Ausmaßes (Cohens-Kappa 0,21 - 0,53). Zudem konnte aufgezeigt werden, dass die einfache Unterteilung der TFCC-Läsion in einen pathologischen Befund (= TFCC-Läsion) und einen Normalbefund noch vergleichsweise einheitlich gelang, wenngleich die zusätzliche Unterteilung der TFCC-Läsion entsprechend der Palmer-Klassifikation noch deutlich geringere Übereinstimmungen aufwies (Cohens Kappa 0,14 - 0,29). Schlussfolgernd ergibt sich daher, dass die Interrater-Reliabilität sowohl hinsichtlich der spezifischen wie auch unspezifischen MRT-Befunde als sehr gering bewertet werden muss.

Es ist hierbei anzunehmen, dass die oben erörterte, teils mangelhafte Qualität der vorliegenden MRT-Untersuchungen das geringe Übereinstimmungsmaß der erhobenen Befunde maßgeblich beeinflusst hat. So ist zu erwarten, dass eine verbesserte bzw. feinere bildmorphologische Darstellung des anatomisch komplexen TFCC eine Beurteilung der Strukturen positiv begünstigen und demnach auch potentiell höhere Übereinstimmungsmaße nach sich ziehen würde. Es existierten nur vereinzelte Studien über die Interrater-Reliabilität der Handgelenk-MRT im Hinblick auf die Diagnostik von TFCC-Läsionen. Eine sehr aktuelle Studie von Zhan et al. (2020) konnte in einer spezialisierten radiologischen Studie zur Diagnostik des TFCC mittels einem *High-Resolution-3-Tesla-MRT* eine deutlich höhere Interrater-Reliabilität (Cohens kappa 0,64 - 1) zwischen 2 Radiologen nachweisen [152]. Untersuchungen über die Inter- und Intrarater-Reliabilität für die Handgelenk-MRT außerhalb radiologischer Studien sind uns nicht bekannt und sollten daher zukünftig angestrebt werden.

4.2.3 Vergleich MRT - Arthroskopie

Beim Vergleich der erhobenen MRT-Befunde mit der als maßgeblich vorausgesetzten arthroskopischen Diagnose zeigte sich analog zum Vergleich der MRT-Befunde untereinander, dass die unspezifische Diagnose, sprich die reine Unterscheidung zwischen einen pathologischen und nicht pathologischen Befund, noch vergleichsweise gut gelang. So konnte die richtige Diagnose in 62,8 - 76,1% der Fälle getroffen werden. Befunder 1 fiel mit 62,8% im Vergleich zu Befunder 2 und 3 mit Werten von 73,9% und 76,1% ab. Der Radiologe konnte demnach im Vergleich zu den in der Handchirurgie tätigen Chirurgen die richtige Diagnose seltener aufzeigen. Die richtige Unterteilung der TFCC-Läsion entsprechend der Palmer-Klassifikation gelang nur in 34,8 - 41,3% der Fälle. Anhand dieser

Daten lässt sich schlussfolgern, dass eine grobe Übersicht über die Beschaffenheit des TFCC und das etwaige Vorliegen einer Pathologie durchaus möglich ist. Eine genaue Einteilung entsprechend der Palmer-Klassifikation gelingt jedoch nur selten richtig und ist damit ohne arthroskopische Überprüfung wenig verlässlich.

In unserer Studie ergab sich eine Sensitivität der MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen von 80 - 90%, leicht variierend abhängig vom Befunder. Dies sind durchaus gute Werte und entsprechen annähernd den Werten in der aktuellen Literatur [64-67]. Die in unserer Studie ermittelte Spezifität fiel hingegen deutlich ab. So betrug die Spezifität bei Befunder 1, dem Radiologen, nur 18,8%, bei Befunder 2 62,5% und bei Befunder 3 50%. Diese Werte müssen jedoch differenziert betrachtet werden, da die herausragenden Ergebnisse der oben aufgeführten Studien zumeist in spezialisierten radiologischen Zentren mit den bestmöglichen apparativen und technischen Voraussetzungen durchgeführt worden waren. Die 2012 von Hahn et al. publizierte Studie verglich, analog zu unserer Studie, die im klinischen Alltag durchgeführte Handgelenk-MRT hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen. Hierbei zeigte sich im Vergleich zur Handgelenk-Arthroskopie lediglich eine Sensitivität von 69% und Spezifität von 60%. Die Daten unserer Studie ergaben demnach im direkten Vergleich eine höhere Sensitivität, wenngleich die Spezifität gleich niedrig bis sogar geringer war.

Anhand der Daten dieser Studie kann nach unserer Auffassung die präoperative Handgelenk-MRT im klinischen Alltag zur definitiven Diagnosestellung nicht empfohlen werden. Sofern eine TFCC-Läsion vorliegt, so kann diese mit hoher Wahrscheinlichkeit mittels MRT festgestellt werden. Liegt hingegen keine Pathologie am TFCC vor, so wird diese nur selten richtigerweise als Normalbefund bewertet. Die Gefahr, dass ein Patient aufgrund des schriftlichen MRT-Befundes, welcher ihm fälschlicherweise eine Pathologie am TFCC diagnostiziert, gebahrt wird für eine notwendige Handgelenk-Arthroskopie ist daher oftmals gegeben. Dies entspricht im Allgemeinen auch unserer alltäglichen klinischen Erfahrung. Die Patienten kommen auf Überweisung des Hausarztes oder des niedergelassenen Chirurgen/Orthopäden mit bereits vorliegendem MRT-Befund und protrahiertem Krankheitsverlauf in unsere handchirurgische Sprechstunde. Sofern der MRT-Befund eine Pathologie am TFCC bescheinigt, so ist der Handchirurg nun allein aufgrund der Erwartungshaltung des Patienten in der „Bringschuld“. Sind die konservativen Therapieoptionen durch den niedergelassenen Arzt bereits ausgeschöpft, so bleibt nur noch die Handgelenk-ASK als resultierende Therapieempfehlung übrig. Ungeachtet dessen bietet die Handgelenk-Arthroskopie mit der Möglichkeit der erweiterten Diagnostik und gleichzeitiger Therapieoption viele Vorteile, ist komplikationsarm und liefert zumeist sehr gute Ergebnisse [8, 10-13, 111-113, 131].

4.3 Auswertung der Arthroskopie

Bei allen Operationen war die präoperative Hauptdiagnose der Diskusschaden (n=53). 27-mal (50,9%) wurde die rechte Seite und 26-mal (49,1%) die linke Seite operiert. Hierbei erfolgte die präoperative Diagnosestellung zu 80,4% anhand der Klinik und des MRT-Befundes, zu 7,8% aufgrund des MRT-Befundes und zu 11,8% rein anhand der klinischen Beschwerden.

Bei Betrachtung der arthroskopisch diagnostizierten Befunde zeigten sich beim Patientenkollektiv 1, sprich dem Gesamtkollektiv mit allen Patienten (n=52) und allen Operationen (n=53), und dem Patientenkollektiv 2 (n=33), welches isoliert Handgelenk-Arthroskopien ohne Kombinations-/Folgeeingriffe erhalten hatte, sehr ähnliche Ergebnisse. In 63,6 - 67,9% der Fälle wurde eine TFCC-Läsion festgestellt. Beim Patientenkollektiv 3, sprich dem Kollektiv welches direkt oder im weiteren Verlauf eine Ulna-Verkürzungsosteotomie erhalten hatte, wurde eine TFCC-Läsion geringgradig häufiger (80% der Fälle) nachgewiesen. Die Ulna-Verkürzungsosteotomie wurde hierbei häufig aufgrund einer Ulna-Plus-Variante mit resultierendem Ulna-Impaktionssyndrom durchgeführt. Das vermehrte Auftreten von TFCC-Läsionen bei Ulna-Plus-Varianten deckt sich mit den Angaben in der Literatur. So konnte in mehreren Studien aufgezeigt werden, dass degenerative TFCC-Läsionen aufgrund unterschiedlicher Diskusdicke und unterschiedlicher axialer, ulnokarpaler Druckbelastung vermehrt bei Ulna-Plus-Varianten als bei Ulna-Minus-Varianten auftreten [37-40].

Die festgestellten TFCC-Läsionen waren bei unserem Patientengut überwiegend degenerativen Charakters. Nur einmal wurde eine traumatische TFCC-Läsion (Palmer 1D) beschrieben. Die degenerativen Läsionen beschränkten sich hierbei in annähernd gleicher Verteilung auf Palmer 2A-, 2B- und 2C-Läsionen. Eine Palmer 2D-Läsion wurde nur einmalig beschrieben (11-mal Palmer 2A, 11-mal Palmer 2B, 12-mal Palmer 2C und 1x Palmer 2D). Eine Palmer 2E-Läsion wurde kein einziges Mal festgestellt.

Neben der vermeintlichen Hauptdiagnose wurde in über 80% der Fälle (80 - 87,8% abhängig vom Patientenkollektiv) eine Begleitpathologie neben der TFCC-Läsion festgestellt. Die am häufigsten angegebene Nebendiagnose / Begleitpathologie war bei allen Kollektiven die Synovialitis. Die Synovialitis trat hierbei entweder isoliert oder in Kombination mit anderen Pathologien wie beispielhaft dem Plica-Syndrom, einem Knorpelschaden oder einem Ulna-Impaktionssyndrom auf. Insbesondere bei den Patientenkollektiven 1 und 2 konnte eine Synovialitis in über der Hälfte der Fälle (52,8 - 63,6%) nachgewiesen werden. Die Synovialitis ist sicherlich eine äußerst unspezifische Diagnose, dennoch gilt sie als allgemeines Zeichen für einen akuten oder chronischen

Reizzustand des Handgelenkes. Auffällig war zudem, dass insbesondere das Plicasyndrom in 41,4% der Fälle, bei den Patienten mit arthroskopisch diagnostiziertem Normalbefund des TFCC, nachgewiesen werden konnte (s. Tabelle 18). Bei den Patienten mit degenerativen TFCC-Läsionen wurde das Plicasyndrom hingegen nur in knapp 3 Prozent der Fälle beschrieben. Die störende Plica könnte demnach als schmerzauslösende Ursache fungiert haben.

Über die festgestellten pathomorphologischen Befunde beim ulnaren Handgelenkschmerz fernab des TFCC gibt es nur wenige Studien. Zumeist wurde sich auf die zusätzliche Erhebung vermeintlich relevanterer Diagnosen wie Verletzungen des SL- oder LT-Bandes fokussiert [153, 154]. Nichtsdestotrotz konnte in einer Studie von Farr et al. bei Kindern und Jugendlichen mit chronischem Handgelenk-Schmerz und erfolgter Handgelenk-Arthroskopie ein ähnliches Auftreten von Begleitpathologien festgestellt werden. In deren Studie wurde das Auftreten von Begleitpathologien fernab des TFCC in 75,6% der Fälle beschrieben. Eine Synovialitis konnte in 46,3% der Fälle nachgewiesen werden [155].

Die am häufigsten durchgeführte Therapiemaßnahme am TFCC war in unserer Studie die Diskusglättung. Lediglich einmal wurde eine Teilresektion durchgeführt. Eine Naht des Diskus war keinmal erfolgt. Sofern ein Ulna-impaktionssyndrom vorlag, wurde ein- oder zweizeitig eine Ulna-Verkürzungsosteotomie durchgeführt. Die erfolgten Therapiemaßnahmen entsprachen den allgemein anerkannten Empfehlungen [9, 20, 128-130]. Lediglich bei der einzigen traumatischen Läsion (Palmer 1D) wäre empirisch gesehen eine Refixation des Diskus zu bevorzugen gewesen [13]. Intraoperativ wurde der Diskus an seiner radialen Insertionsstelle jedoch als stabil bewertet, sodass lediglich ein Debridement erfolgt war. Die oben beschriebenen Begleitpathologien wurden entsprechend der vorliegenden Erkrankung therapiert. Überschießende Synovialis oder eine störende Plica wurden reseziert, etwaige Knorpelschäden wurden geglättet.

Die postoperative Nachbehandlung war in knapp 80% der Fälle mit einer ein- bis zweiwöchigen Ruhigstellung des Handgelenkes in einer dorsalen Unterarmschiene erfolgt. Bei den Ulnaverkürzungsosteotomien wurde eine längere Ruhigstellung durchgeführt (2 Wochen Oberarmschiene, gefolgt von 2 Wochen Unterarmschiene oder 4 Wochen Oberarmschiene). In nur 3 Fällen wurde lediglich ein steriler Wundverband angelegt. Die postoperative Ruhigstellung des Handgelenkes nach stattgehabter Handgelenk-Arthroskopie ist aus rein empirischer Sicht nicht zwangsläufig erforderlich, wird jedoch Klinikintern bevorzugt.

Zusammenfassend lässt sich demnach feststellen, dass die diagnostizierten Pathologien entsprechend des aktuellen wissenschaftlichen Standards therapiert worden waren. Die Rate an festgestellten TFCC-Läsionen (67,9% beim Gesamtkollektiv) war leicht geringer als bei vergleichbaren Studien (ca. 70,5 - 83,2%) [71, 74, 151]. Dies könnte unter anderem in einer großzügigeren präoperativen Indikationsstellung unsererseits begründet sein. Des Weiteren ist diesbezüglich anzumerken, dass die Intra- und Interobserver-Reliabilität bei der Handgelenk-ASK im Allgemeinen als sehr gering angesehen wird [106, 110]. Demnach ist anzunehmen, dass sowohl ein anderer Operateur, als auch eine erneute Befundung durch den gleichen Operateur abweichende Diagnosestellungen ergeben hätten.

4.4 Patientenbefragung / postoperatives Outcome

4.4.1 Eigener Fragebogen

4.4.1.1 Allgemeine Informationen zur Schädigung

Bei den 53 Handgelenk-Arthroskopien wurde 27-mal (50,9%) die rechte Seite und 26-mal (49,1%) die linke Seite operiert. 22 der 52 Patienten gaben an ein Unfallereignis gehabt zu haben (42,3%). Das am häufigsten beschriebene Unfallereignis war der Sturz mit 71,4% (n=15) gefolgt von einer Verdrehung des Handgelenkes mit 14,3% (n=3). Sofern ein Unfallereignis vorlag, so stellten sich knapp 70% der Patienten innerhalb der ersten Woche erstmalig ärztlich vor. Alle Patienten wurden hierbei primär konservativ behandelt. Die Therapie erfolgte überwiegend mit einer Ruhigstellung des Handgelenkes (Schiene oder Verband, 86,4%) und gegebenenfalls additiver Gabe von Schmerzmitteln. Die durchschnittliche Dauer der konservativen Therapiemaßnahmen betrug hierbei 3,5 Monate (\pm 3,7 Monate). Die von Patientenseite gemachten Angaben zum Unfallhergang sind durchaus plausibel, decken sich jedoch nicht mit den arthroskopisch diagnostizierten Befunden. Setzt man die hohe Anzahl an vorliegenden Unfallereignissen (42,3%) voraus, wären mehr traumatische TFCC-Läsionen zu erwarten gewesen. Bei unserem Patientengut war hingegen nur einmal eine traumatische Läsion nachgewiesen worden (Palmer 1D). Demnach ist anzunehmen, dass die angegebenen Unfallereignisse als Trigger für Beschwerden am chronisch vorgeschädigten TFCC fungiert haben könnten.

Vom Symptombeginn bis zur Handgelenkarthroskopie dauerte es im Durchschnitt 7,6 Monate (\pm 6,1 Monate). Dies ist durchaus ein langer „Leidenszeitraum“, spiegelt jedoch im Allgemeinen gut unsere klinischen Erfahrungen wieder. So betrug die durchschnittliche Dauer der auswärtigen konservativen Therapiemaßnahmen 3,5 Monate. Rechnet man nun die durchschnittliche Wartezeit auf ergänzende Diagnostik, wie beispielhaft die Handgelenk-MRT, Sprechstundentermine sowie die endgültige OP-Terminierung hinzu, ist

schnell ein halbes Jahr nach dem ursprünglichen Unfallereignis vergangen. Optimierungspotenzial böten hierbei zum Beispiel eine Begrenzung der konservativen Therapiemaßnahmen auf einen Zeitraum von 6 bis 8 Wochen, sowie - bei frustanem Behandlungsverlauf - eine folgende zeitnahe Überweisung in die Expertise eines Handchirurgen. Dieser könnte dann bei Bedarf die weitergehende, spezifische Diagnostik veranlassen oder zeitnah einen Operationstermin vereinbaren. So könnte der Zeitraum zwischen Symptombeginn und Handgelenk-Arthroskopie potenziell verkürzt werden.

4.4.1.2 Beschwerden

Die überwiegende Anzahl der Patienten klagte präoperativ über Beschwerden bei Belastung und in Ruhe (57,7%) oder isoliert bei Belastung (23,1%). Beim Patientenkollektiv 1 und 2 traten die Beschwerden am häufigsten bei der Streckung und Beugung des Handgelenkes (78,8 - 81,8%), beim Aufstützen (75,8 - 76,9%) und beim Greifen (72,7 - 73,1%) auf. Beschwerden bei der UA-Drehung wurden geringfügig seltener geäußert (57,7 - 63,6%). Postoperativ konnten bei beiden Kollektiven signifikant weniger Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen/Belastungen nachgewiesen werden. Lediglich bei der unspezifischen Angabe „Sonstige“ konnte keine signifikante Veränderung aufgezeigt werden. Auffallend war hierbei insbesondere die postoperative Veränderung beim Greifen. So wurden postoperativ nur noch bei 18,2 - 19,2% der Patienten Beschwerden beim Greifen geäußert, wenngleich es präoperativ noch über 70% waren. Beschwerden bei der Streckung und Beugung im Handgelenk (32,7 - 33,3%) und der UA-Drehung (19,2 - 21,2%) wurden postoperativ ebenfalls deutlich seltener angegeben. Am häufigsten wurden noch Beschwerden beim Aufstützen geäußert (39,4 - 44,2%). Dies ist empirisch gesehen nachvollziehbar, da insbesondere beim Aufstützen aus biomechanischer Sicht eine erhöhte axiale, ulnokarpale Druckbelastung entsteht [15, 16, 19].

Beim Patientenkollektiv 3, welches direkt oder im Verlauf eine Ulna-Verkürzungsosteotomie erhalten hatte, zeigte sich kein signifikanter Unterschied der geäußerten prä- und postoperativen Beschwerden, wenngleich das Ergebnis aufgrund der geringen Fallzahl differenziert zu betrachten ist. Auffällig war bei diesem Kollektiv dennoch, dass die mit Abstand häufigsten Beschwerden beim Aufstützen geäußert wurden (präoperativ 90%, postoperativ 70%). Dies ist empirisch gesehen ebenfalls plausibel. So konnte in mehreren Studien aufgezeigt werden, dass degenerative Diskusläsionen aufgrund unterschiedlicher Diskusdicke und unterschiedlicher axialer, ulnokarpaler Druckbelastung vermehrt bei Ulna-Plus-Varianten, als bei Ulna-Minus-Varianten auftreten [37-40].

4.4.1.3 Funktionelle Einschränkungen

Bei allen Patientenkollektiven konnte eine signifikante Veränderung zwischen den geäußerten prä- und postoperativen Einschränkungen im Alltag wie auch im Beruf nachgewiesen werden. Es zeigte sich jeweils ein starker Effekt bei einem r-Wert $> 0,8$. Bemerkenswert waren hierbei insbesondere die postoperativen Veränderungen bei den Einschränkungen „stark eingeschränkt“ und „nicht eingeschränkt“. So gaben 60 - 70% der Patienten an im Alltag (66,7 - 71,2%) und im Beruf (59,6 - 60,6%) stark eingeschränkt zu sein, wengleich es postoperativ im Alltag nur noch knapp 3% (3,0 - 3,8%) und im Beruf 7,7 - 9,1% der Patienten waren. Gegensätzlich hierzu stellten sich die Veränderungen bei den „nicht eingeschränkten“ Patienten dar. Kein Patient gab präoperativ an, im Alltag uneingeschränkt zu sein, obschon es postoperativ erfreulicherweise 57,7% der Patienten beim Gesamtkollektiv, 69,7% beim Patientenkollektiv 2 und 40% beim Patientenkollektiv 3 waren. Gleichermaßen stellten sich die Veränderungen im Berufsleben dar (präoperativ nicht eingeschränkt: 3 - 7,7%; postoperativ nicht eingeschränkt: 53,8 - 60,6%).

Bei der zusätzlichen Unterteilung des Patientenkollektivs 2 entsprechend der arthroskopisch klassifizierten Diagnose am TFCC (o.p.B., traumatische / degenerative TFCC-Läsion), konnte man keinen signifikanten Unterschied zwischen den aufgeführten Diagnosen feststellen. Es zeigte sich weiterhin im prä- und postoperativen Vergleich ein signifikanter Unterschied der angegebenen Beschwerden ungeachtet der festgestellten Diagnose (o.p.B: $p < 0,003$ (Alltag), $p < 0,004$ (Beruf); Degenerativ: $p < 0,001$ (Alltag), $p = 0,001$ (Beruf)). Eine Berechnung für die traumatische Läsion konnte aufgrund der Fallzahl ($n=1$) nicht erfolgen.

Beachtlich ist insbesondere, dass es keinen signifikanten Unterschied der geäußerten Einschränkungen zwischen den Patienten mit festgestellter Pathologie (degenerative TFCC-Läsionen) und den Patienten mit arthroskopisch diagnostiziertem Normalbefund gab. Dennoch zeigte sich, dass die Patienten mit degenerativer TFCC-Läsion häufiger stark eingeschränkt waren (59,1% Alltag, 55% Beruf) als die Patienten mit Normalbefund (36,4% Alltag, 40% Beruf). Bemerkenswert ist zudem die anschließende postoperative Veränderung. Hier waren die Patienten mit degenerativer TFCC-Läsion häufiger nicht eingeschränkt (56,6% Alltag, 60% Beruf), als die Patienten mit Normalbefund (43,5% Alltag, 40% Beruf). Eine Erklärung hierfür lässt sich nur mutmaßen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Patienten mit vorliegender Pathologie am TFCC von der eigentlichen Therapie am Diskus (Debridement, Teilresektion) vermehrt profitiert haben, als die Patienten bei denen allenfalls nur eine Nebendiagnose behandelt worden war (bsp. Synovialektomie, Plica-Resektion).

Der einzige Patient mit traumatischer TFCC-Läsion war prä- und postoperativ im Alltag und Beruf stark eingeschränkt. In diesem Einzelfall scheint die Operation demnach keine Verbesserung gebracht zu haben.

4.4.1.4 Schmerzen

Die auf der numerischen Rating-Skala (NRS) angegebene durchschnittliche Schmerzintensität war bei allen drei Patientenkollektiven postoperativ in Ruhe und bei Belastung signifikant geringer als präoperativ. Die berechnete Effektstärke betrug in Ruhe und bei Belastung jeweils $r > 0,8$, womit stets ein starker Effekt zugrunde lag. Beim Patientenkollektiv 1 und 2 zeigten sich sehr ähnliche Ergebnisse. So betrug beim Patientenkollektiv 1 die präoperative Schmerzintensität in Ruhe durchschnittlich 5,27 ($\pm 2,43$) und beim Patientenkollektiv 2 4,91 ($\pm 2,49$). Bei Belastung war die durchschnittliche Schmerzintensität höher mit Durchschnittswerten von 8,42 ($\pm 1,38$) und 8,15 ($\pm 1,44$). Letztendlich stellten die präoperativen Werte eine mittlere bis starke Schmerzintensität dar. Postoperativ hingegen war die angegebene Schmerzintensität bei beiden Kollektiven in Ruhe mit 1,42 ($\pm 2,36$) und 1,31 ($\pm 2,40$) und insbesondere bei Belastung mit 2,92 ($\pm 2,93$) und 2,63 ($\pm 3,12$) deutlich geringer, was nur noch einem leichten Schmerzempfinden entsprach.

Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit einer aktuellen Studie von Arsalan-Werner et al. (2018). In deren Studie konnte bei 43 Patienten mit Palmer 1A-Läsion, welche mit einem arthroskopischen Debridement therapiert worden waren, eine signifikante Verbesserung des Schmerzempfindens nachgewiesen werden. Hier betrug die durchschnittliche Schmerzintensität präoperativ 7,2 ($\pm 2,0$) und postoperativ 1,4 ($\pm 1,6$) und war demnach unseren Intensitätswerten sehr ähnlich.

Analog zu den oben aufgeführten Ergebnissen konnte bei der zusätzlichen Unterteilung des Patientenkollektivs 2, entsprechend der arthroskopisch klassifizierten Diagnose (o.p.B., traumatische / degenerative TFCC-Läsion) im prä- und postoperativen Vergleich postoperativ eine signifikant niedrigere durchschnittliche Schmerzintensität nachgewiesen werden. Bemerkenswerter Weise zeigte sich zwischen den aufgeführten Diagnosen jedoch kein signifikanter Unterschied der Schmerzintensitätsangaben. Ungeachtet dessen zeigten sich postoperativ höhere Schmerzintensitäten bei den Patienten mit degenerativer TFCC-Läsion (Ruhe: 1,79 ($\pm 2,9$), Belastung: 2,84 ($\pm 3,25$)), als bei den Patienten mit Normalbefund (Ruhe: 0,67 ($\pm 1,23$), Belastung: 1,67 ($\pm 2,06$)), wenngleich dieser Unterschied statistisch nicht signifikant war.

Bei der zusätzlichen Aufteilung der degenerativen TFCC-Läsionen entsprechend der Palmer-Klassifikation, konnte aufgezeigt werden, dass die durchschnittliche Schmerzintensität der Palmer 2C-/D-Läsionen prä- und postoperativ höher, als die der Palmer 2A-/B-Läsionen war, wenngleich der Unterschied ebenfalls statistisch nicht signifikant war. Aufgrund der geringen Fallzahlen der Untergruppen muss die statistische Signifikanz jedoch differenziert betrachtet werden, da bekanntermaßen bei sehr kleinen Fallzahlen eine statistische Signifikanz nur schwer zu erreichen ist. Nichtsdestotrotz ließ sich bei Betrachtung der reinen Ergebnisse dennoch ein klarer Trend erkennen: Die vermeintlich schwereren Palmer 2C-/D-Läsionen wiesen prä- und postoperativ auch höhere Schmerzintensitäten auf, als die vermeintlich leichteren Palmer 2A-/B-Läsionen (s. Tabelle 32). Zwischen den Palmer 2A- und 2B-Läsionen ließ sich kein Unterschied feststellen. Beide Läsionen wiesen insbesondere postoperativ in Ruhe und bei Belastung sehr niedrige Werte auf, was jeweils einer sehr leichten Schmerzintensität entsprach (Ruhe: 1,0 (\pm 1,22) und 0,75 (\pm 1,16); Belastung: 2,0 (\pm 2,45) und 1,50 (\pm 2,07)).

Ab Palmer 2C-Läsionen schien es hingegen zu einer Aggravation der Schmerzintensität zu kommen. Prä- und postoperativ zeigten sich deutlich höhere Werte. Insbesondere postoperativ war die verbliebene Schmerzintensität sowohl in Ruhe als auch bei Belastung deutlich höher (Palmer 2C: Ruhe: 2,8 (\pm 4,09), Belastung: 4,40 (\pm 3,64)). Die beschriebene Aggravation der Schmerzintensität ab Palmer 2C-Läsionen ist durchaus plausibel, da ab Palmer 2C-Läsionen definitionsgemäß eine vollständige Perforation des Diskus vorliegt, obgleich zuvor lediglich eine Auffaserung bzw. Ausdünnung der Diskus vorgelegen hat.

Der einzige Patient mit einer Palmer 2D-Läsion nahm mit prä- und postoperativen Werten von 9,0 bei Ruhe und 10,0 bei Belastung die mit Abstand höchsten Werte an. Hier schien es zu keiner Verbesserung der Schmerzintensität gekommen zu sein. Rein definitionsgemäß liegen bei der Palmer 2D-Läsion hochgradige degenerative Schäden mit zentraler Diskusperforation, Ruptur des Lig. ulnotriquetriums und fortgeschrittenen Knorpelschäden am Os lunatum oder Ulnakopf vor. In diesem Fall war eine Handgelenk-ASK mit Diskusglättung, Knorpelglättung und partieller Synovialektomie erfolgt. Zudem wurde bei Beschwerdepersistenz eine Ulna-Verkürzungsosteotomie empfohlen. Diese war jedoch nie erfolgt. Es lässt sich demnach festhalten, dass bei diesen hochgradigen degenerativen Schäden die reine Handgelenk-ASK keinen Operationserfolg gebracht hat. Die angebotene Ulna-Verkürzungsosteotomie hätte mit der resultierenden Verringerung der ulnokarpalen Druckbelastung unseres Erachtens hohes Optimierungspotenzial geboten. Aufgrund der geringen Fallzahl (n=1) muss das Ergebnis jedoch differenziert betrachtet werden, da wir nur Rückschlüsse aus diesem Einzelfall ziehen konnten.

Analog zum Patientenkollektiv 1 und 2 zeigte sich beim gesonderten Patientenkollektiv 3, welches direkt oder im Verlauf eine Ulna-Verkürzungsosteotomie erhalten hatte, postoperativ eine signifikant niedrigere Schmerzintensität sowohl in Ruhe als auch bei Belastung. Präoperativ war die durchschnittliche Schmerzintensität vergleichbar mit denen des Patientenkollektiv 1 und 2. Postoperativ hingegen war die verbliebene Schmerzintensität in Ruhe mit 2,10 (\pm 3,00) und bei Belastung mit 4,00 (\pm 2,70) leicht höher als in den Kollektiven 1 und 2. Diese dürfte aufgrund des höheren Anteils an schwerwiegenderen Palmer-Läsionen (50% Anteil an Palmer 2C-Läsionen) begründet sein.

Resümierend lässt sich festhalten, dass ungeachtet der gebildeten Patientenkollektive die postoperative Schmerzintensität in Ruhe und bei Belastung signifikant niedriger als präoperativ war und demnach einen Operationserfolg darstellte. Mit der vermeintlichen Schwere der festgestellten Pathologie scheint auch die die verbliebene postoperative Schmerzintensität einherzugehen, wenngleich die Unterschiede statistisch nicht signifikant waren und lediglich eine Beobachtung darstellten.

4.4.1.5 Arbeitsunfähigkeit

Beim vorliegenden Patientenkollektiv konnte eine signifikante Veränderung der Arbeitsunfähigkeit nachgewiesen werden. 94,4% der zuvor arbeitsunfähigen Personen waren nach der Operation nicht mehr arbeitsunfähig. Limitierend muss hierbei jedoch angemerkt werden, dass retrospektiv betrachtet die Fragen zur Arbeitsunfähigkeit im Fragebogen nicht klar genug definiert waren und demnach die Ergebnisse unter Vorbehalt beurteilt werden müssen. So ist zum Beispiel nicht ersichtlich, ob bei angegebener präoperativer Arbeitsunfähigkeit diese nur vorübergehend über einen bestimmten Zeitraum bestand oder einen Dauerzustand darstellte.

4.4.1.6 Subjektiver Operationserfolg

Es konnte bei allen Patientenkollektiven ein hoher Operationserfolg nachgewiesen werden. So bewerteten beim Patientenkollektiv 1 und 2 67,3 - 72,7% der Patienten die Operation als erfolgreich und 24,2 - 26,9% als teilweise erfolgreich. Nur 1,9% der Patienten werteten die Operation als nicht erfolgreich. Auf die Frage hin, ob sich die Patienten rückblickend erneut operieren lassen würden, antworteten über 90% der Patienten (90,4 - 90,9%) mit „Ja“. Die restlichen Patienten gaben an, unsicher zu sein oder enthielten sich. Kein Patient gab an, sich rückblickend nicht erneut operieren zu lassen. Dies sind durchaus positive Ergebnisse, die für eine hohe Patientenzufriedenheit sprechen.

Bei Betrachtung des Operationserfolg anhand der arthroskopisch diagnostizierten Diagnose werteten 83,8% der Patienten mit Normalbefund und 70% der Patienten mit einer

degenerativen TFCC-Läsion die Operation als erfolgreich. Alle Patienten (100%, n=12) mit arthroskopischem Normalbefund des TFCC und 85% der Patienten mit degenerativer TFCC-Läsion würden sich erneut operieren lassen. 15% der Patienten (n=3) mit degenerativer Läsion waren sich diesbezüglich unsicher. Demnach waren die Patienten mit arthroskopischem Normalbefund tendenziell zufriedener, als die Patienten mit festgestellter Pathologie.

Beim Patientenkollektiv 3 werteten 60% der Patienten (n=6) die Operation als erfolgreich, 20% (n=2) als teilweise erfolgreich und 20% (n=2) als nicht erfolgreich. 8 Patienten (80%) würden sich erneut operieren lassen. Die Patientenzufriedenheit war demzufolge in diesem Kollektiv geringer als beim Patientenkollektiv 1 und 2. Dies ist sicherlich auch in der Tatsache begründet, dass bei diesem Kollektiv zumeist eine hochgradige degenerative TFCC-Läsion oder ein ausgeprägtes Ulna-Impaktionssyndrom vorlag.

4.4.2 DASH-Fragebogen

Bei Betrachtung der DASH-Werte zeigten sich bei allen drei Patientenkollektiven sehr ähnliche Ergebnisse. Der durchschnittliche postoperative DASH-Wert des Hauptmoduls betrug beim Patientenkollektiv 1 14,28 (\pm 16,57), beim Patientenkollektiv 2 13,50 (\pm 16,29) und beim Patientenkollektiv 3 16,02 (\pm 18,98). Die Werte der Zusatzmodule betrugen beim Sport/Musik-Modul 20,0 (\pm 26,25), 17,12 (\pm 24,0) und 20,31 (\pm 31,64) sowie beim Berufs-Modul 18,07 (\pm 23,60), 16,93 (\pm 25,57) und 21,09 (\pm 23,60). Bei zusätzlicher Aufteilung des Patientenkollektiv 2 entsprechend der arthroskopisch diagnostizierten Diagnose konnte aufgezeigt werden, dass der durchschnittliche DASH-Wert der Patienten mit arthroskopischem Normalbefund (n=12) geringer war, als derer mit einer traumatischen (n=1) und degenerativen TFCC-Läsion (n=20), wenngleich dieser Unterschied statistisch nicht signifikant war (p jeweils $>0,05$).

Bei weiterer Aufteilung der degenerativen TFCC-Läsionen entsprechend der Palmer-Klassifikation zeigten sich, analog zu den oben beschriebenen Ergebnissen der Schmerzintensitäten, bei den vermeintlichen schwereren Läsionen (Palmer 2C/D) höhere durchschnittliche DASH-Werte als bei den vermeintlich leichteren TFCC-Läsionen (Palmer 2A/B) (s. Tabelle 36). Die resultierenden Unterschiede waren jedoch erneut statistisch nicht signifikant (p jeweils $> 0,05$). Auch hier lässt sich anmerken, dass mit der zusätzlichen Subklassifikation des Kollektivs und den resultierenden sehr geringen Fallzahlen eine statistische Signifikanz nur schwer zu erreichen ist. Dennoch ließen sich oben genannte Tendenzen aufzeigen.

Die Mehrzahl der Studien über das postoperative Outcome nach Handgelenk-Arthroskopien basiert auf den Ergebnissen nach traumatischen TFCC-Läsionen. Ein direkter Vergleich mit der vorliegenden Studie ist daher aufgrund der überwiegend vorliegenden degenerativen Läsionen oder dem arthroskopisch diagnostizierten Normalbefund schwierig. Des Weiteren war die überwiegende Anzahl der Patienten mittels eines arthroskopischen Debridements am Diskus therapiert worden, sodass sich die postoperativen Ergebnisse dieser Studie auch nur dahingehend rückschließen lassen.

Ungeachtet dessen zeigte sich im Vergleich zur Studie von Arsalan-Werner et al. (2018), in der das postoperative Outcome nach arthroskopischem Debridement von 43 Patienten mit Palmer 1A-Läsionen untersucht worden war, sehr ähnliche Ergebnisse hinsichtlich des postoperativen DASH-Werts [10]. In deren Studie betrug der durchschnittliche DASH-Wert des Hauptmoduls 14,1 (\pm 17,9) und war demnach fast übereinstimmend mit den Ergebnissen unserer Studie. Cardenas-Montemayor et al. (2013) ermittelten vergleichbar hierzu das funktionelle Outcome von 31 Patienten mit Palmer 1B-Läsionen, welche alle mit einem arthroskopischen Debridement therapiert worden waren und wiesen einen postoperativen DASH-Score von 17,02 (\pm 14,92) auf [136]. Zudem zeigten sie eine signifikante Reduktion der Schmerzintensität auf.

In einer Studie von Kim et al. (2011) zeigte sich bei 8 Patienten mit Palmer 2C-Läsionen nach arthroskopischem Debridement ein durchschnittlicher DASH-Wert von 33,2 (\pm 8,5). Dieser war demnach höher als der DASH-Wert der Palmer 2C-Läsionen unserer Studie mit 21,5 (\pm 19,7). In deren Studie zeigte sich zudem bei Patienten, die entweder isoliert eine Ulna-Verkürzungsosteotomie oder in Kombination mit einem arthroskopischen Debridement erhalten hatten, ähnlich niedrige DASH-Werte im Vergleich zu den Ergebnissen unseres Patientenkollektivs 3 mit 15,6 (\pm 11,8) und 19,3 (\pm 11,9).

Eine weitere Studie zum funktionellen Outcome nach arthroskopischem Debridement bei Palmer 2C-Läsionen konnte bei 15 Personen einen durchschnittlichen DASH-Wert von 18 aufzeigen und war demnach geringgradig niedriger, als der ermittelte DASH-Wert der Palmer 2C-Läsionen dieser Studie mit 21,5 [156].

Bemerkenswert ist auch die aktuelle Publikation von Sander et al. (2020), welche das isolierte arthroskopische Debridement bei akuten und degenerativen Palmer-Läsionen mit einer konservativen Therapie verglich und dabei keinen signifikanten Unterschied im postoperativen Outcome nachweisen konnte [115]. Sowohl bei der konservativen Therapie (16,8), als auch beim arthroskopischen Debridement (22,1) zeigten sich sehr niedrige DASH-Werte. Die postoperativ ermittelte Schmerzintensität war ebenfalls in Ruhe und bei Belastung vergleichbar gering (kons. Therapie: 0,1 und 1,3; Debridement: 1,3 und 3,2).

4.4.3 Zusammenfassung postoperatives Outcome

In dieser Studie zeigte sich ungeachtet der letztendlich arthroskopisch definierten Diagnose sowie gebildeter Kollektive und Subkollektive ein sehr gutes postoperatives Outcome. Die Patienten gaben signifikant weniger Beschwerden an, waren im Alltag und Beruf signifikant weniger eingeschränkt und hatten postoperativ in Ruhe und bei Belastung signifikant weniger Schmerzen. Der DASH-Wert aller Module nahm sehr niedrige Werte an, was einer geringen postoperativen Funktionseinschränkung der oberen Extremität entsprach. Bemerkenswert ist insbesondere, dass die positiven Ergebnisse ungeachtet der festgestellten Diagnose und derer vermeintlichen Schwere auftraten. Patienten mit festgestellter Pathologie am TFCC profitierten gleichermaßen durch die Operation wie Patienten mit letztendlich festgestelltem Normalbefund. Es zeigten sich lediglich geringgradig höhere Schmerzintensitäten und DASH-Werte bei den höhergradigen degenerativen TFCC-Läsionen, wenngleich der Unterschied statistisch nicht signifikant war. Bemerkenswerter Weise zeigte sich zudem, dass bei den Patienten, ohne festgestellter Pathologie am TFCC, in über 40% der Fälle ein Plica-Syndrom als Nebendiagnose diagnostiziert wurde. Es ist dahingehend anzunehmen, dass die störende Plica als Schmerzursache fungiert haben könnte. Ob die Patienten mit einem Normalbefund des TFCC und einer Nebendiagnose fernab des Plica-Syndroms, wie beispielhaft der unspezifischen Synovialitis, nun kausal von der eigentlichen arthroskopischen Therapie (Synovialektomie) profitiert haben oder ob die postoperative Ruhigstellung des Handgelenkes oder auch der Glaube an den Operationserfolg, den positiven Behandlungserfolg darstellten, bleibt unklar.

4.5 Limitationen

Die Ergebnisse dieser Studie werden durch verschiedene Faktoren limitiert. Primär muss bei der Auswertung der Qualität der vorliegenden MRT-Untersuchungen angemerkt werden, dass bei einigen MRT-Untersuchungen, die technischen und apparativen Aspekte und Parameter nicht vollständig erhoben werden konnten. Bei der Analyse hinsichtlich der korrekten Durchführung TFCC-spezifischer MRT-Protokolle muss angemerkt werden, dass präoperativ sicherlich nicht alle MRT-Untersuchungen mit der primären, klinischen Verdachtsdiagnose einer TFCC-Läsion durchgeführt worden waren und demnach allein deswegen die Protokolle nicht adäquat umgesetzt wurden. Ungeachtet dessen wurden die allgemein empfohlenen Protokolle zur unspezifischen Handgelenk-ASK ebenfalls häufig nicht adäquat umgesetzt.

Bezüglich der Auswertung des Patientenoutcomes muss angemerkt werden, dass es sich um eine rein retrospektive Beurteilung der präoperativen Beschwerden, Einschränkungen und Schmerzen handelte. Es existierten keine präoperativen Ausgangswerte. Je nach Länge des Follow-Up-Zeitraums ist demnach anzunehmen, dass die präoperativen Angaben nur noch wenig erinnerlich waren und durchaus falsch hohe oder negative Werte angenommen haben könnten. Zudem handelt es sich bei der erhobenen Outcomebeurteilung um rein subjektive Werte. Objektive prä- und postoperative Daten wie beispielhaft der Bewegungsumfang im Handgelenk und/oder die Griffstärke liegen nicht vor. Des Weiteren traten beim Patientenkollektiv dieser Studie überwiegend degenerative TFCC-Läsionen auf. Als resultierende Therapie war überwiegend das Debridement des Diskus erfolgt. Rückschlüsse bezüglich der TFCC-Läsionen sind dahingehend auch nur in Bezug auf degenerative Läsionen nach arthroskopischem Debridement zu werten.

4.6 Schlussfolgerung / Ausblick

In dieser Studie konnte sehr gut aufgezeigt werden, dass die in der alltäglichen, klinischen Praxis, sprich in den niedergelassenen radiologischen Praxen / Zentren, durchgeführten MRT-Untersuchungen oftmals nicht dem aktuellen wissenschaftlichen Standard entsprechen. Sowohl die apparativen Aspekte wie auch die durchgeführten Sequenzen und Wichtungen unterschieden sich enorm. Klare Empfehlungen zur strikten Umsetzung notwendiger Handgelenk-MRT-Protokolle böten sicherlich hohes Optimierungspotenzial und wären vergleichsweise leicht umsetzbar.

Die berechnete Sensitivität und insbesondere Spezifität der unterschiedlichen Befunder fiel im Vergleich zu den Studienergebnissen spezialisierter Zentren ab. Es ist anzunehmen, dass die teils mangelhafte Qualität der vorliegenden MRT-Untersuchungen die geringeren Werte maßgeblich beeinflusst hat. Anhand der Daten dieser Studie kann, unseres Ermessens nach, die präoperative Handgelenk-MRT im klinischen Alltag nicht als entscheidendes Diagnostikum empfohlen werden. Sollte dennoch eine Handgelenk-MRT für notwendig erachtet werden, so sollte diese zwangsläufig in spezialisierten Einrichtungen mit den notwendigen apparativen Voraussetzungen und dem Know-how über die technischen Einstellungen erfolgen.

Ungeachtet der letztendlich arthroskopisch klassifizierten Diagnose am TFCC oder etwaig vorliegenden Begleitpathologien lieferte die Handgelenk-Arthroskopie bei unserem Patientengut ein sehr gutes postoperatives Outcome. Die Patienten hatten postoperativ signifikant weniger Beschwerden, Einschränkungen und Schmerzen. Der DASH-Score nahm postoperativ niedrige Werte an, was letztendlich einer geringen

Funktionseinschränkung der oberen Extremität entsprach. Die Operation wurde in ca. 70% der Fälle als erfolgreich bewertet. Über 90% der Patienten würden sich rückblickend erneut operieren lassen, was für eine hohe Patientenzufriedenheit spricht.

Übergeordnetes Ziel dieser Studie war es, aus den Erkenntnissen dieser Studie Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie des ulnaren Handgelenkschmerzes abzuleiten. Diesbezüglich lässt sich aufzeigen, dass zunächst die konservativen Therapiemaßnahmen vollständig ausgeschöpft werden sollten. Die konservative Therapie liefert im Vergleich zum arthroskopischen Debridement vergleichbar positive Ergebnisse im Patientenoutcome und sollte dahingehend bevorzugt werden [115]. Sind die konservativen Therapieoptionen ausgeschöpft, so stellt die Handgelenk-Arthroskopie mit der Möglichkeit der spezifischen Diagnostik und gleichzeitigen Therapie eine sehr gute Behandlungsoption dar. Die Handgelenk-Arthroskopie liefert hierbei ungeachtet der Diagnose sehr gute postoperative Ergebnisse mit einer hohen Patientenzufriedenheit. Die Handgelenk-MRT sollte nur in begründeten Fällen und nicht als Screening-Untersuchung durchgeführt werden. Sofern dennoch zur erweiterten präoperativen Diagnostik, beispielhaft bei unspezifischer / unklarer Klinik, eine Handgelenk-MRT für notwendig erachtet wird, so sollte diese zwangsläufig in einem spezialisierten Zentrum mit den notwendigen apparativen Voraussetzungen und Geräteeinstellungen durchgeführt werden. Nur dann scheint die Handgelenk-MRT valide Aussagen über die vorliegende Pathologie zu geben. Eine Arthro-MRT ist hierbei zu bevorzugen. Auf die unspezifische Handgelenk-MRT nicht spezialisierter, radiologischer Praxen kann demzufolge aufgrund mangelnder bildmorphologischer Qualität verzichtet werden. Das Ziel weiterer Studien sollte die Optimierung der Handgelenk-MRT durch klare Empfehlungen zur korrekten Durchführung sein, insbesondere mittels strikter Einhaltung technischer Mindeststandards (beispielhaft: mindestens 1,5-Tesla-MRT, Schichtdicke ≤ 2 mm, Verwendung von Kontrastmittel und einer Handgelenkspule etc.). Nur durch eine anhand anamnestisch-klinischer Kriterien indizierte, technisch korrekt durchgeführte MRT sind eine zielführende Diagnosestellung und die Ableitung sinnvoller Behandlungsmaßnahmen für Patienten mit ulnaren Handgelenksbeschwerden möglich.

5 Literaturverzeichnis

1. DaSilva, M.F., et al., *Evaluation of Ulnar-sided Wrist Pain*. J Am Acad Orthop Surg, 2017. **25**(8): p. e150-e156.
2. Read, J., *Ulnar-sided wrist pain is not the only cause of TFCC injury: a clinical perspective on other diagnoses in the sport setting*. Br J Sports Med, 2013. **47**(17): p. 1061-2.
3. Shin, A.Y., et al., *Ulnar-sided wrist pain: diagnosis and treatment*. Instr Course Lect, 2005. **54**: p. 115-28.
4. Sachar, K., *Ulnar-sided wrist pain: evaluation and treatment of triangular fibrocartilage complex tears, ulnocarpal impaction syndrome, and lunotriquetral ligament tears*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(9): p. 1669-79.
5. Ng, A.W.H., et al., *MR imaging of the traumatic triangular fibrocartilaginous complex tear*. Quant Imaging Med Surg, 2017. **7**(4): p. 443-460.
6. Sachar, K., *Ulnar-sided wrist pain: evaluation and treatment of triangular fibrocartilage complex tears, ulnocarpal impaction syndrome, and lunotriquetral ligament tears*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(7): p. 1489-500.
7. Watanabe, A., et al., *Ulnar-sided wrist pain. II. Clinical imaging and treatment*. Skeletal Radiol, 2010. **39**(9): p. 837-57.
8. Infanger, M. and D. Grimm, *Meniscus and discus lesions of triangular fibrocartilage complex (TFCC): treatment by laser-assisted wrist arthroscopy*. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2009. **62**(4): p. 466-71.
9. Schädel-Höpfner, M., et al., *[Therapy of triangular fibrocartilage complex lesions]*. Unfallchirurg, 2012. **115**(7): p. 582-8.
10. Arsalan-Werner, A., et al., *Results after arthroscopic treatment of central traumatic lesions of the triangular fibrocartilage complex*. Arch Orthop Trauma Surg, 2018. **138**(5): p. 731-737.
11. Pillukat, T., et al., *[Arthroscopically assisted transcapsular refixation of the triangular fibrocartilage complex of the wrist]*. Oper Orthop Traumatol, 2016. **28**(4): p. 233-50.
12. Estrella, E.P., et al., *Arthroscopic repair of triangular fibrocartilage complex tears*. Arthroscopy, 2007. **23**(7): p. 729-37, 737 e1.
13. Miwa, H., et al., *Arthroscopic surgery for traumatic triangular fibrocartilage complex injury*. J Orthop Sci, 2004. **9**(4): p. 354-9.
14. Schünke, M., *Prometheus : LernAtlas der Anatomie [Atlas, Lehrbuch] : Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem [Atlas, Lehrbuch]*. 5., vollständig überarbeitete Auflage ed, ed. M. Schünke, et al. 2018.
15. Hirt, B., *Anatomie und Biomechanik der Hand*. 3., überarb. und erw. Aufl. ed, ed. B. Hirt. 2015, Stuttgart u.a.: Thieme.
16. Spies, C.K., et al., *[Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint]*. Orthopade, 2018. **47**(8): p. 621-627.
17. Taleisnik, J., *The wrist*. 1985: Churchill Livingstone.
18. Lichtman, D.M., et al., *Ulnar midcarpal instability-clinical and laboratory analysis*. J Hand Surg Am, 1981. **6**(5): p. 515-23.
19. Schmidt, H.-M., *Chirurgische Anatomie der Hand*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. ed, ed. H.-M. Schmidt, U. Lanz, and G. Kohnle. 2003, Stuttgart u.a.: Thieme.
20. Müller, K., *Therapie von Läsionen des Triangular Fibrocartilage Complex (TFCC) - Eine systematische Literaturanalyse*, in *Klinik für Unfall- und Handchirurgie*. 2012, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf: Düsseldorf. p. 159.
21. Stuart, P.R., et al., *The dorsopalmar stability of the distal radioulnar joint*. J Hand Surg Am, 2000. **25**(4): p. 689-99.
22. Haugstvedt, J.R., M.F. Langer, and R.A. Berger, *Distal radioulnar joint: functional anatomy, including pathomechanics*. J Hand Surg Eur Vol, 2017. **42**(4): p. 338-345.
23. Kleinman, W.B., *Stability of the distal radioulna joint: biomechanics, pathophysiology, physical diagnosis, and restoration of function what we have learned in 25 years*. J Hand Surg Am, 2007. **32**(7): p. 1086-106.

24. Haugstvedt, J.R., et al., *Relative contributions of the ulnar attachments of the triangular fibrocartilage complex to the dynamic stability of the distal radioulnar joint*. J Hand Surg Am, 2006. **31**(3): p. 445-51.
25. Palmer, A.K., *The distal radioulnar joint. Anatomy, biomechanics, and triangular fibrocartilage complex abnormalities*. Hand Clin, 1987. **3**(1): p. 31-40.
26. Palmer, A.K. and F.W. Werner, *The triangular fibrocartilage complex of the wrist--anatomy and function*. J Hand Surg Am, 1981. **6**(2): p. 153-62.
27. Nakamura, T., [*Triangular fibrocartilage complex: functional anatomy and histology*]. Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi, 1995. **69**(4): p. 168-80.
28. Vezeridis, P.S., et al., *Ulnar-sided wrist pain. Part I: anatomy and physical examination*. Skeletal Radiol, 2010. **39**(8): p. 733-45.
29. Kirchberger, M.C., et al., *Update TFCC: histology and pathology, classification, examination and diagnostics*. Arch Orthop Trauma Surg, 2015. **135**(3): p. 427-37.
30. Nakamura, T. and Y. Yabe, *Histological anatomy of the triangular fibrocartilage complex of the human wrist*. Ann Anat, 2000. **182**(6): p. 567-72.
31. Mikic, Z.D., *Detailed anatomy of the articular disc of the distal radioulnar joint*. Clin Orthop Relat Res, 1989(245): p. 123-32.
32. Benjamin, M., E.J. Evans, and D.J. Pemberton, *Histological studies on the triangular fibrocartilage complex of the wrist*. J Anat, 1990. **172**: p. 59-67.
33. Kuhlmann, J.N., T. Vinh, and H. Guerin-Surville, [*The triangular ligament and the medial compartment of the wrist*]. Bull Assoc Anat (Nancy), 1985. **69**(207): p. 305-14.
34. Mikic, Z., *The blood supply of the human distal radioulnar joint and the microvasculature of its articular disk*. Clin Orthop Relat Res, 1992(275): p. 19-28.
35. Thiru, R.G., et al., *Arterial anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist and its surgical significance*. J Hand Surg Am, 1986. **11**(2): p. 258-63.
36. Bednar, M.S., S.P. Arnoczky, and A.J. Weiland, *The microvasculature of the triangular fibrocartilage complex: its clinical significance*. J Hand Surg Am, 1991. **16**(6): p. 1101-5.
37. Unglaub, F., et al., *Apoptotic pathways in degenerative disk lesions in the wrist*. Arthroscopy, 2009. **25**(12): p. 1380-6.
38. Unglaub, F., et al., *Correlation of ulnar length and apoptotic cell death in degenerative lesions of the triangular fibrocartilage*. Arthroscopy, 2008. **24**(3): p. 299-304.
39. Werner, F.W., et al., *Force transmission through the distal radioulnar carpal joint: effect of ulnar lengthening and shortening*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 1986. **18**(5): p. 304-8.
40. Palmer, A.K., et al., *Partial excision of the triangular fibrocartilage complex*. J Hand Surg Am, 1988. **13**(3): p. 391-4.
41. Gupta, R., et al., *The innervation of the triangular fibrocartilage complex: nitric acid maceration rediscovered*. Plast Reconstr Surg, 2001. **107**(1): p. 135-9.
42. LaPorte, D.M., S.S. Hashemi, and A.L. Dellon, *Sensory innervation of the triangular fibrocartilage complex: a cadaveric study*. J Hand Surg Am, 2014. **39**(6): p. 1122-4.
43. Unglaub, F., et al., *Cartilage cell proliferation in degenerative TFCC wrist lesions*. Arch Orthop Trauma Surg, 2010. **130**(8): p. 953-6.
44. Unglaub, F., et al., *Detection of apoptotic cartilage cells in symptomatic central tears of the triangular fibrocartilage*. J Hand Surg Am, 2007. **32**(5): p. 618-22.
45. Moritomo, H., *Anatomy and clinical relevance of the ulnocarpal ligament*. J Wrist Surg, 2013. **2**(2): p. 186-9.
46. Berger, R.A., *The anatomy of the ligaments of the wrist and distal radioulnar joints*. Clin Orthop Relat Res, 2001(383): p. 32-40.
47. Schmidt, H.M., [*The anatomy of the ulnocarpal complex*]. Orthopade, 2004. **33**(6): p. 628-37.
48. Chidgey, L.K., et al., *Histologic anatomy of the triangular fibrocartilage*. J Hand Surg Am, 1991. **16**(6): p. 1084-100.

49. Hagert, E. and C.G. Hagert, *Understanding stability of the distal radioulnar joint through an understanding of its anatomy*. Hand Clin, 2010. **26**(4): p. 459-66.
50. Xu, J. and J.B. Tang, *In vivo changes in lengths of the ligaments stabilizing the distal radioulnar joint*. J Hand Surg Am, 2009. **34**(1): p. 40-5.
51. Lewis, O.J., *Evolutionary Change in the Primate Wrist and Inferior Radio-Ulnar Joints*. Anat Rec, 1965. **151**: p. 275-85.
52. Lewis, O.J., R.J. Hamshere, and T.M. Bucknill, *The anatomy of the wrist joint*. J Anat, 1970. **106**(Pt 3): p. 539-52.
53. Bade, H., J. Koebke, and R. Stangier, *[The ulnar recess in the arthrogram of the proximal wrist joint]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 1993. **25**(4): p. 171-8.
54. Nakamura, T., Y. Yabe, and Y. Horiuchi, *Functional anatomy of the triangular fibrocartilage complex*. J Hand Surg Br, 1996. **21**(5): p. 581-6.
55. Palmer, A.K., *Triangular fibrocartilage complex lesions: a classification*. J Hand Surg Am, 1989. **14**(4): p. 594-606.
56. Atzei, A., R. Luchetti, and L. Garagnani, *Classification of ulnar triangular fibrocartilage complex tears. A treatment algorithm for Palmer type IB tears*. J Hand Surg Eur Vol, 2017. **42**(4): p. 405-414.
57. Atzei, A., R. Luchetti, and F. Braidotti, *Arthroscopic foveal repair of the triangular fibrocartilage complex*. J Wrist Surg, 2015. **4**(1): p. 22-30.
58. Ahn, A.K., D. Chang, and A.M. Plate, *Triangular fibrocartilage complex tears: a review*. Bull NYU Hosp Jt Dis, 2006. **64**(3-4): p. 114-8.
59. Nakamura, R., et al., *The ulnocarpal stress test in the diagnosis of ulnar-sided wrist pain*. J Hand Surg Br, 1997. **22**(6): p. 719-23.
60. Epner, R.A., W.H. Bowers, and W.B. Guilford, *Ulnar variance--the effect of wrist positioning and roentgen filming technique*. J Hand Surg Am, 1982. **7**(3): p. 298-305.
61. Tomaino, M.M., *The importance of the pronated grip x-ray view in evaluating ulnar variance*. J Hand Surg Am, 2000. **25**(2): p. 352-7.
62. Chung, K.C., N.B. Zimmerman, and M.T. Travis, *Wrist arthrography versus arthroscopy: a comparative study of 150 cases*. J Hand Surg Am, 1996. **21**(4): p. 591-4.
63. Schers, T.J. and H.A. van Heusden, *Evaluation of chronic wrist pain. Arthroscopy superior to arthrography: comparison in 39 patients*. Acta Orthop Scand, 1995. **66**(6): p. 540-2.
64. Smith, T.O., et al., *Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography for triangular fibrocartilaginous complex injury: a systematic review and meta-analysis*. J Bone Joint Surg Am, 2012. **94**(9): p. 824-32.
65. Johnstone, D.J., et al., *A comparison of magnetic resonance imaging and arthroscopy in the investigation of chronic wrist pain*. J Hand Surg Br, 1997. **22**(6): p. 714-8.
66. Oneson, S.R., et al., *MR imaging interpretation of the Palmer classification of triangular fibrocartilage complex lesions*. Radiographics, 1996. **16**(1): p. 97-106.
67. Zlatkin, M.B. and J. Rosner, *MR imaging of ligaments and triangular fibrocartilage complex of the wrist*. Radiol Clin North Am, 2006. **44**(4): p. 595-623, ix.
68. Potter, H.G., et al., *The utility of high-resolution magnetic resonance imaging in the evaluation of the triangular fibrocartilage complex of the wrist*. J Bone Joint Surg Am, 1997. **79**(11): p. 1675-84.
69. Meier, R., R. Schmitt, and H. Krimmer, *[Wrist lesions in MRI arthrography compared with wrist arthroscopy]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2005. **37**(2): p. 85-9.
70. Zanetti, M., N. Saupe, and L. Nagy, *Role of MR imaging in chronic wrist pain*. Eur Radiol, 2007. **17**(4): p. 927-38.
71. Blazar, P.E., et al., *The effect of observer experience on magnetic resonance imaging interpretation and localization of triangular fibrocartilage complex lesions*. J Hand Surg Am, 2001. **26**(4): p. 742-8.

72. Haims, A.H., et al., *Internal derangement of the wrist: indirect MR arthrography versus unenhanced MR imaging*. Radiology, 2003. **227**(3): p. 701-7.
73. Oneson, S.R., et al., *MR imaging diagnosis of triangular fibrocartilage pathology with arthroscopic correlation*. AJR Am J Roentgenol, 1997. **168**(6): p. 1513-8.
74. Hahn, P., et al., *[Quality rating of MRI regarding TFCC lesions in the clinical practice]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2012. **44**(5): p. 310-3.
75. Boer, B.C., et al., *MR arthrography is slightly more accurate than conventional MRI in detecting TFCC lesions of the wrist*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2018.
76. von Borstel, D., et al., *High-Resolution 3T MR Imaging of the Triangular Fibrocartilage Complex*. Magn Reson Med Sci, 2017. **16**(1): p. 3-15.
77. Saube, N., et al., *MR imaging of the wrist: comparison between 1.5- and 3-T MR imaging--preliminary experience*. Radiology, 2005. **234**(1): p. 256-64.
78. Bittersohl, B., et al., *High-resolution MRI of the triangular fibrocartilage complex (TFCC) at 3T: comparison of surface coil and volume coil*. J Magn Reson Imaging, 2007. **26**(3): p. 701-7.
79. Anderson, M.L., et al., *Diagnostic comparison of 1.5 Tesla and 3.0 Tesla preoperative MRI of the wrist in patients with ulnar-sided wrist pain*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(7): p. 1153-9.
80. Ochman, S., et al., *High-resolution MRI (3T-MRI) in diagnosis of wrist pain: is diagnostic arthroscopy still necessary?* Arch Orthop Trauma Surg, 2017. **137**(10): p. 1443-1450.
81. Tanaka, T., et al., *Comparison between high-resolution MRI with a microscopy coil and arthroscopy in triangular fibrocartilage complex injury*. J Hand Surg Am, 2006. **31**(8): p. 1308-14.
82. Lee, R.K., et al., *Intrinsic ligament and triangular fibrocartilage complex tears of the wrist: comparison of MDCT arthrography, conventional 3-T MRI, and MR arthrography*. Skeletal Radiol, 2013. **42**(9): p. 1277-85.
83. Zanetti, M., J. Bram, and J. Hodler, *Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: does MR arthrography improve standard MRI?* J Magn Reson Imaging, 1997. **7**(3): p. 590-4.
84. Scheck, R.J., et al., *The carpal ligaments in MR arthrography of the wrist: correlation with standard MRI and wrist arthroscopy*. J Magn Reson Imaging, 1999. **9**(3): p. 468-74.
85. Petsatodis, E., et al., *Comparison between conventional MRI and MR arthrography in the diagnosis of triangular fibrocartilage tears and correlation with arthroscopic findings*. Injury, 2019. **50**(8): p. 1464-1469.
86. Lee, R.K., et al., *Wrist Traction During MR Arthrography Improves Detection of Triangular Fibrocartilage Complex and Intrinsic Ligament Tears and Visibility of Articular Cartilage*. AJR Am J Roentgenol, 2016. **206**(1): p. 155-61.
87. AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates, D.R. *Protokollempfehlungen zu Messsequenzen für die Gelenk-MRT*. 2018 14.03.2021]; Available from: <https://cdn.drg.de/media/document/17532/Protokollempfehlungen-zu-Messsequenzen-fuer-die-Gelenke-RoeFo.pdf>.
88. Yu, J.S. and P.A. Habib, *Normal MR imaging anatomy of the wrist and hand*. Radiol Clin North Am, 2006. **44**(4): p. 569-81, viii.
89. Cody, M.E., et al., *MR Imaging of the Triangular Fibrocartilage Complex*. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2015. **23**(3): p. 393-403.
90. Schmitt, R., *Bildgebende Diagnostik der Hand*. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage ed, ed. R. Schmitt and U. Lanz. 2015, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
91. Bille, B., B. Harley, and H. Cohen, *A comparison of CT arthrography of the wrist to findings during wrist arthroscopy*. J Hand Surg Am, 2007. **32**(6): p. 834-41.
92. De Filippo, M., et al., *MDCT arthrography of the wrist: diagnostic accuracy and indications*. Eur J Radiol, 2010. **74**(1): p. 221-5.

93. Taljanovic, M.S., et al., *Sonography and sonoarthrography of the scapholunate and lunotriquetral ligaments and triangular fibrocartilage disk: initial experience and correlation with arthrography and magnetic resonance arthrography*. J Ultrasound Med, 2008. **27**(2): p. 179-91.
94. Keogh, C.F., et al., *High-resolution sonography of the triangular fibrocartilage: initial experience and correlation with MRI and arthroscopic findings*. AJR Am J Roentgenol, 2004. **182**(2): p. 333-6.
95. Lucky, S.D. and G.G. Poehling, *Arthroscopic treatment of triangular fibrocartilage complex tears*. Tech Hand Up Extrem Surg, 1997. **1**(4): p. 228-36.
96. Gan, B.S., R.S. Richards, and J.H. Roth, *Arthroscopic treatment of triangular fibrocartilage tears*. Orthop Clin North Am, 1995. **26**(4): p. 721-9.
97. Slutsky, D.J. and D.J. Nagle, *Wrist arthroscopy: current concepts*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(7): p. 1228-44.
98. Chloros, G.D., E.R. Wiesler, and G.G. Poehling, *Current concepts in wrist arthroscopy*. Arthroscopy, 2008. **24**(3): p. 343-54.
99. Park, M.J. and J. Yao, *Advances in hand and wrist arthroscopy*. Plast Reconstr Surg, 2014. **134**(5): p. 758e-765e.
100. Wolf, J.M., A. Dukas, and M. Pensak, *Advances in wrist arthroscopy*. J Am Acad Orthop Surg, 2012. **20**(11): p. 725-34.
101. Slutsky, D.J., *Current innovations in wrist arthroscopy*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(9): p. 1932-41.
102. Pederzini, L., et al., *Evaluation of the triangular fibrocartilage complex tears by arthroscopy, arthrography, and magnetic resonance imaging*. Arthroscopy, 1992. **8**(2): p. 191-7.
103. Osterman, A.L. and R.G. Terrill, *Arthroscopic treatment of TFCC lesions*. Hand Clin, 1991. **7**(2): p. 277-81.
104. Hermansdorfer, J.D. and W.B. Kleinman, *Management of chronic peripheral tears of the triangular fibrocartilage complex*. J Hand Surg Am, 1991. **16**(2): p. 340-6.
105. Unglaub, F., et al., *Push-off needle test for traumatic triangular fibrocartilage complex lesions*. J Hand Surg Am, 2014. **39**(7): p. 1448-9.
106. Park, A., et al., *An Evaluation of the Reliability of Wrist Arthroscopy in the Assessment of Tears of the Triangular Fibrocartilage Complex*. J Hand Surg Am, 2018. **43**(6): p. 545-549.
107. Low, S., et al., *The effect of additional video documentation to photo documentation in wrist arthroscopies on intra- and interobserver reliability*. Arch Orthop Trauma Surg, 2013. **133**(3): p. 433-8.
108. Low, S., et al., *The effect of labeling photo documents in wrist arthroscopies on intra- and interobserver reliability*. Arch Orthop Trauma Surg, 2012. **132**(12): p. 1813-8.
109. Low, S., A. Herold, and C. Eingartner, *[Standard wrist arthroscopy: technique and documentation]*. Oper Orthop Traumatol, 2014. **26**(6): p. 539-46.
110. Low, S., et al., *[Intra- and interobserver reliability of digitally photodocumented findings in wrist arthroscopy]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2010. **42**(5): p. 287-92.
111. Ahsan, Z.S. and J. Yao, *Complications of Wrist and Hand Arthroscopy*. Hand Clin, 2017. **33**(4): p. 831-838.
112. Leclercq, C., C. Mathoulin, and E. Members of, *Complications of Wrist Arthroscopy: A Multicenter Study Based on 10,107 Arthroscopies*. J Wrist Surg, 2016. **5**(4): p. 320-326.
113. Ahsan, Z.S. and J. Yao, *Complications of wrist arthroscopy*. Arthroscopy, 2012. **28**(6): p. 855-9.
114. Palmer, A.K., *Triangular fibrocartilage disorders: injury patterns and treatment*. Arthroscopy, 1990. **6**(2): p. 125-32.
115. Sander, A.L., et al., *Outcome of conservative treatment for triangular fibrocartilage complex lesions with stable distal radioulnar joint*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020.
116. Beyermann, K., H. Krimmer, and U. Lanz, *[TFCC (Triangular Fibrocartilage Complex) lesions. Diagnosis and therapy]*. Orthopade, 1999. **28**(10): p. 891-8.

117. Darlis, N.A., R.W. Weiser, and D.G. Sotereanos, *Arthroscopic triangular fibrocartilage complex debridement using radiofrequency probes*. J Hand Surg Br, 2005. **30**(6): p. 638-42.
118. Darrow, J.C., Jr., et al., *Distal ulnar recession for disorders of the distal radioulnar joint*. J Hand Surg Am, 1985. **10**(4): p. 482-91.
119. Griska, A. and P. Feldon, *Wafer Resection of the Distal Ulna*. J Hand Surg Am, 2015. **40**(11): p. 2283-8.
120. Blackwell, R.E., D.M. Jemison, and B.D. Foy, *The holmium:yttrium-aluminum-garnet laser in wrist arthroscopy: a five-year experience in the treatment of central triangular fibrocartilage complex tears by partial excision*. J Hand Surg Am, 2001. **26**(1): p. 77-84.
121. Bilos, Z.J. and D. Chamberland, *Distal ulnar head shortening for treatment of triangular fibrocartilage complex tears with ulna positive variance*. J Hand Surg Am, 1991. **16**(6): p. 1115-9.
122. Bayoumy, M.A., et al., *Arthroscopic Treatment of Type 1B Triangular Fibrocartilage Complex Tear by "Outside-In" Repair Technique Using Transcapsular Transverse Mattress Suture*. Arthrosc Tech, 2017. **6**(5): p. e1581-e1586.
123. Reiter, A., et al., *Arthroscopic repair of Palmer 1B triangular fibrocartilage complex tears*. Arthroscopy, 2008. **24**(11): p. 1244-50.
124. Lee, C.K., et al., *Arthroscopic all-inside repair of Palmer type 1B triangular fibrocartilage complex tears: a technical note*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008. **16**(1): p. 94-7.
125. Bohringer, G., et al., *A method for all-inside arthroscopic repair of Palmer 1B triangular fibrocartilage complex tears*. Arthroscopy, 2002. **18**(2): p. 211-3.
126. Chou, K.H., I.K. Sarris, and D.G. Sotereanos, *Suture anchor repair of ulnar-sided triangular fibrocartilage complex tears*. J Hand Surg Br, 2003. **28**(6): p. 546-50.
127. Corso, S.J., et al., *Arthroscopic repair of peripheral avulsions of the triangular fibrocartilage complex of the wrist: a multicenter study*. Arthroscopy, 1997. **13**(1): p. 78-84.
128. Iwasaki, N., et al., *Factors affecting results of ulnar shortening for ulnar impaction syndrome*. Clin Orthop Relat Res, 2007. **465**: p. 215-9.
129. Shih, J.T., et al., *Chronic triangular fibrocartilage complex tears with distal radioulna joint instability: A new method of triangular fibrocartilage complex reconstruction*. J Orthop Surg (Hong Kong), 2000. **8**(1): p. 1-8.
130. Seo, J.B., et al., *The Outcomes of Arthroscopic Repair Versus Debridement for Chronic Unstable Triangular Fibrocartilage Complex Tears in Patients Undergoing Ulnar-Shortening Osteotomy*. J Hand Surg Am, 2016. **41**(5): p. 615-23.
131. Selles, C.A., P.N. d'Ailly, and N.W.L. Schep, *Patient-Reported Outcomes following Arthroscopic Triangular Fibrocartilage Complex Repair*. J Wrist Surg, 2020. **9**(1): p. 58-62.
132. Wolf, M.B., et al., *Arthroscopic repair of ulnar-sided triangular fibrocartilage complex (Palmer Type 1B) tears: a comparison between short- and midterm results*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(11): p. 2325-30.
133. Kabakas, F., et al., *[Results of arthroscopic repair of triangular fibrocartilage complex peripheral tears (Palmer type 1B)]*. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg, 2014. **20**(3): p. 205-10.
134. Cornu, A., et al., *Clinical, functional and prognostic results after repair of peripheral lesions of the triangular fibrocartilage complex: a retrospective study of 21 patients*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2020.
135. Wedemeyer, A., et al., *[Arthroscopic refixation of traumatic 1B-lesions of the TFCC-a retrospective study]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2009. **41**(3): p. 135-40.
136. Cardenas-Montemayor, E., et al., *Subjective and objective results of arthroscopic debridement of ulnar-sided TFCC (Palmer type 1B) lesions with stable distal radio-ulnar joint*. Arch Orthop Trauma Surg, 2013. **133**(2): p. 287-93.

137. Wu, M., et al., *Early Results of Surgical Treatment of Triangular Fibrocartilage Complex Tears in Children and Adolescents*. J Hand Surg Am, 2019.
138. Kim, B.S. and H.S. Song, *A comparison of ulnar shortening osteotomy alone versus combined arthroscopic triangular fibrocartilage complex debridement and ulnar shortening osteotomy for ulnar impaction syndrome*. Clin Orthop Surg, 2011. **3**(3): p. 184-90.
139. Reiser, M., *Radiologie [Lehrbuch]*. 4., vollständig überarbeitete Auflage ed, ed. M. Reiser, et al. 2017, Stuttgart: Thieme.
140. Schick, F., *Grundlagen der Magnetresonanztomographie (MRT)*. Der Radiologe, 2005. **45**(1): p. 69-88.
141. Weishaupt, D., *Wie funktioniert MRI? : Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung ; mit 9 Tabellen*. 7., überarb. und erg. Aufl. ed, ed. D. Weishaupt, V.D. Köchli, and B. Marincek. 2014, Berlin u.a.: Springer.
142. Urbanek, F., *Untersuchung zur Kernspindiagnostik bei unklarem traumatisch bedingtem Handgelenkschmerz*, in *Klinik für Handchirurgie und Plastische Chirurgie - Evangelisches Diakoniewerk Friederikenstift Hannover*. 2012, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: Erlangen-Nürnberg. p. 105.
143. Towfigh, H., *Handchirurgie Bd. 1*, ed. H. Towfigh. 2011, Berlin u.a.: Springer.
144. Outerbridge, R.E., *The etiology of chondromalacia patellae*. J Bone Joint Surg Br, 1961. **43-B**: p. 752-7.
145. Lazaridou, A., et al., *Chapter 5 - Pain Assessment*, in *Essentials of Pain Medicine (Fourth Edition)*, H.T. Benzon, et al., Editors. 2018, Elsevier. p. 39-46.e1.
146. Hudak, P.L., P.C. Amadio, and C. Bombardier, *Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG)*. Am J Ind Med, 1996. **29**(6): p. 602-8.
147. Health, I.f.W. *Der DASH-Fragebogen*. 2012 [cited 2012 04.01.2021]; Available from: https://www.dash.iwh.on.ca/sites/dash/public/translations/DASH_German_2012.pdf.
148. Health, I.f.W. *Auswertung DASH-Fragebogen*. [cited n.d. 04.01.2021]; Available from: https://dash.iwh.on.ca/sites/dash/public/translations/Scoring_DASH_German.pdf.
149. Tomczak, M. and E. Tomczak, *The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size*. 2014. **21**: p. 19-25.
150. McHugh, M.L., *Interrater reliability: the kappa statistic*. Biochem Med (Zagreb), 2012. **22**(3): p. 276-82.
151. Joshy, S., et al., *Accuracy of direct magnetic resonance arthrography in the diagnosis of triangular fibrocartilage complex tears of the wrist*. Int Orthop, 2008. **32**(2): p. 251-3.
152. Zhan, H., et al., *Traumatic injury of the triangular fibrocartilage complex (TFCC)-a refinement to the Palmer classification by using high-resolution 3-T MRI*. Skeletal Radiol, 2020. **49**(10): p. 1567-1579.
153. Yin, Y.B., et al., *Clinical and Epidemiological Features Among Patients with Wrist Arthroscopy Surgery: A Hospital-based Study in China*. Orthop Surg, 2020. **12**(4): p. 1223-1229.
154. Ramavath, A.L., et al., *Wrist Arthroscopy in Children and Adolescent With Chronic Wrist Pain: Arthroscopic Findings Compared With MRI*. J Pediatr Orthop, 2017. **37**(5): p. e321-e325.
155. Farr, S., et al., *Pathomorphologic findings of wrist arthroscopy in children and adolescents with chronic wrist pain*. Arthroscopy, 2012. **28**(11): p. 1634-43.
156. Moldner, M., et al., *Functionality after arthroscopic debridement of central triangular fibrocartilage tears with central perforations*. J Hand Surg Am, 2015. **40**(2): p. 252-258 e2.

6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anatomie des Handgelenkes	2
Abb. 2: Anatomische Übersicht des Handgelenkes (künstlich auseinander gezogen).....	3
Abb. 3: Anatomie des TFCC.....	6
Abb. 4: Aufbau der palmaren und dorsalen radioulnaren Ligamente.....	9
Abb. 5: Schematische Darstellung der TFCC-Läsionen, klassifiziert nach Palmer.....	12
Abb. 6: Flussdiagramm der Studie.....	23
Abb. 7: ASK-Fallbeispiel: TFCC-Normalbefund	31
Abb. 8: ASK-Fallbeispiel: TFCC-Läsion, Typ Palmer 2C	31
Abb. 9: Präoperative Nebendiagnosen / Besonderheiten	35
Abb. 10: Präoperative Diagnosestellung.....	36
Abb. 11: MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität; MR-tomographisch diagnostizierter und arthroskopisch bestätigter TFCC-Normalbefund	38
Abb. 12: MRT des Handgelenkes in guter Aufnahmequalität, MR-tomographisch diagnostizierte und arthroskopisch bestätigte TFCC-Läsion (Palmer 2A).....	38
Abb. 13: MRT des Handgelenkes in schlechter Aufnahmequalität, MR-tomographisch diagnostizierte TFCC-Läsion (Palmer 2D) und arthroskopisch nachgewiesener TFCC- Normalbefund.....	39
Abb. 14: Arthroskopischer Befund des in Abb. 13 aufgeführten Patienten.....	40
Abb. 15: Qualitative Beschreibung des präoperativen, schriftlichen MRT-Befundes	40
Abb. 16: Einordnung des schriftlichen MRT-Befundes in einen pathologischen Befund (= TFCC-Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund).....	41
Abb. 17: Einordnung der MRT-Untersuchungen in einen pathologischen Befund (= TFCC- Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund).....	41
Abb. 18: Einordnung der MRT-Untersuchungen in einen pathologischen Befund (= TFCC- Läsion) oder Normalbefund (= ohne pathologischen Befund).....	42
Abb. 19: Ulnavarianz in mm.....	46
Abb. 20: Bewertung der Bildqualität in Schulnoten.....	46
Abb. 21: Kombinations- / Folgeeingriffe des Gesamtkollektivs	47
Abb. 22: Präoperative Beschwerden des Gesamtkollektivs	56
Abb. 23: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 1.....	58
Abb. 24: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 2.....	61
Abb. 25: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung im prä- und postoperativen Vergleich; Patientenkollektiv 3.....	64

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TFCC-Klassifikation nach Palmer (1989).....	11
Tabelle 2: Atzei-Klassifikation	13
Tabelle 3: Empfohlene MRT-Protokolle bei TFCC-Läsionen	16
Tabelle 4: Datenerhebung aus Patientenakte, Arthroskopie-Protokoll, OP-Bericht	24
Tabelle 5: Beurteilungskriterien der Magnetresonanztomographien.....	25
Tabelle 6: Befundungskriterien MRT (Befunder 2 und 3).....	26
Tabelle 7: Auflistung der Sequenzen und Wichtungen	37
Tabelle 8: Klassifikation der TFCC-Läsionen nach Palmer; Befunder 2	42
Tabelle 9: Klassifikation der TFCC-Läsionen nach Palmer; Befunder 3	43
Tabelle 10: Übereinstimmungsmaß der MRT-Befunde (TFCC-Läsion / Normalbefund); Befunder 1-3.....	43
Tabelle 11: Übereinstimmungsmaß der spezifisch klassifizierten MRT-Befunde (TFCC-Läsion klassifiziert nach Palmer / Normalbefund); Befunder 1-3.....	44
Tabelle 12: Wahlsequenzen der Befunder 2 und 3	44
Tabelle 13: Schichtdicke der Wahlsequenzen	45
Tabelle 14: FOV der Wahlsequenzen	45
Tabelle 15: Arthroskopische Portale des Gesamtkollektivs.....	48
Tabelle 16: Arthroskopische Hauptdiagnosen; Patientenkollektiv 1	48
Tabelle 17: Arthroskopische Nebendiagnosen; Patientenkollektiv 1.....	49
Tabelle 18: Arthroskopische Nebendiagnosen, aufgeteilt entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC.....	49
Tabelle 19: Arthroskopische Hauptdiagnosen; Patientenkollektiv 2	51
Tabelle 20: Arthroskopische Nebendiagnosen; Patientenkollektiv 2.....	51
Tabelle 21: Arthroskopische Hauptdiagnosen Patientenkollektiv 3	52
Tabelle 22: Richtig diagnostizierte Diagnosen (Befunder 1-3)	53
Tabelle 23: Berechnete Testgütekriterien	54
Tabelle 24: Übereinstimmungsmaß der unspezifischen MRT-Befunde (Befunder 1-3) mit dem arthroskopischen Befund.....	54
Tabelle 25: Übereinstimmungsmaß der spezifischen MRT-Befunde (Befunder 1-3) mit dem arthroskopischen Befund	55
Tabelle 26: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 1.....	57
Tabelle 27: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 1	57

Tabelle 28: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 2.....	59
Tabelle 29: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 2.....	60
Tabelle 30: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf, subklassifiziert nach der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC	60
Tabelle 31: Durchschnittliche Schmerzintensität auf der numerischen Rating-Skala (NRS) in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2	62
Tabelle 32: Durchschnittliche Schmerzintensität der degenerativen TFCC-Läsionen in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2.....	62
Tabelle 33: Prä- und postoperativer Vergleich der durchschnittlichen Schmerzintensität in Ruhe und bei Belastung; Patientenkollektiv 2	62
Tabelle 34: Prä- und postoperativer Vergleich der geäußerten Beschwerden bei den oben aufgeführten Bewegungen / Belastungen; Patientenkollektiv 3.....	63
Tabelle 35: Prä- und postoperative Einschränkungen im Alltag und Beruf; Patientenkollektiv 3	64
Tabelle 36: Durchschnittliche DASH-Werte insgesamt und subklassifiziert entsprechend der arthroskopisch definierten Diagnose am TFCC; Patientenkollektiv 2.....	65
Tabelle 37: Durchschnittliche DASH-Werte der degenerativen TFCC-Läsionen; Patientenkollektiv 2	66

8.2 Eigener Fragebogen

Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie
 Chefarzt: Prof. Dr. M. Schädel-Höpfner



Fragebogen Handgelenkarthroskopie

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

dieser Fragebogen dient der Qualitätssicherung nach Ihrer Behandlung.

In diesem Fragebogen werden allgemeine persönliche Daten, Informationen zu Ihrer Schädigung und vor allem Fragen zu Ihren individuellen Beschwerden vor und nach der Operation erhoben.

Wir bitten Sie, die Fragen durch Ankreuzen und kurze Einträge zu beantworten.

Allgemeine Angaben

Name: _____ Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____ Alter: _____
 Beruf: _____
 Händigkeit: rechts links

Allgemeine Informationen zur Schädigung

Betroffene Seite rechts links
 Unfallereignis ja nein

Falls ein Unfallereignis zu den Beschwerden / der Schädigung führte:

- Unfallmechanismus: Sturz Verdrehung sonstiges _____
- Unfalldatum: _____
- Dauer bis zum erstmaligen Arztbesuch? _____
- Erfolgte eine bildgebende Diagnostik? Röntgen MRT CT keine
- Erfolgte eine Behandlung?? Salben Schmerzmittel
 - Ruhigstellung in Schiene Ruhigstellung mit Verband
 - Sonstiges? _____
- Dauer der Behandlungsmaßnahmen? _____
- Dauer vom Beschwerdebeginn bis zur Handgelenkarthroskopie? _____

Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie
 Chefarzt: Prof. Dr. M. Schädel-Höpfner



Beschwerden vor der Operation

1) Die Art des Schmerzes würde ich wie folgt beschreiben

- Schmerzen vor allem bei Belastung
- Schmerzen auch in Ruhe
- unregelmäßiger Schmerz (keine Abhängigkeit von Belastung)

2) Die Beschwerden hatte ich im Handgelenk (mehrere Antworten möglich)

- beim Greifen
- bei Streckung und Beugung im Handgelenk
- beim Aufstützen
- bei der Drehung des Unterarmes
- bei anderen Belastungen / Bewegungen: _____

3) Die Stärke der Schmerzen vor der Operation würde ich wie folgt beschreiben

(0 – keine Schmerzen, 10 – maximale Schmerzen). **Bitte jeweils ein Feld ankreuzen!**

a) in Ruhe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

b) unter starker Belastung

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4) Ich fühlte mich vor der Operation durch die Beschwerden im Alltag

- stark eingeschränkt
- leicht eingeschränkt
- nicht eingeschränkt

5) Ich fühlte mich vor der Operation durch die Beschwerden bei der Ausübung meines Berufes

- stark eingeschränkt
- leicht eingeschränkt
- nicht eingeschränkt

6) Bestand aufgrund der Beschwerden vor der Operation Arbeitsunfähigkeit?

- ja wenn ja, wie lange _____
- nein
- entfällt, da keine Berufstätigkeit vorlag

Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie
 Chefarzt: Prof. Dr. M. Schädel-Höpfner



Beschwerden nach der Operation

7) Seit der Operation sind meine Beschwerden

- vollständig verschwunden unverändert
- fast verschwunden/ deutlich gebessert schlimmer als zuvor
- leicht verbessert

8) Beschwerden im Handgelenk habe ich noch

- beim Greifen
- bei Streckung und Beugung im Handgelenk
- beim Aufstützen
- bei der Drehung des Unterarmes
- bei anderen Belastungen / Bewegungen: _____

9) Die Stärke der Schmerzen nach der Operation würde ich wie folgt beschreiben:

(0 – keine Schmerzen, 10 – maximale Schmerzen). **Bitte jeweils ein Feld ankreuzen!**

a) in Ruhe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

b) unter starker Belastung

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

10) Ich fühle mich durch die Beschwerden im Alltag

- nicht eingeschränkt weiterhin leicht eingeschränkt weiterhin stark eingeschränkt

11) Ich fühle mich durch die Beschwerden bei der Ausübung meines Berufes

- nicht eingeschränkt weiterhin leicht eingeschränkt weiterhin stark eingeschränkt

12) Ich bin seit der Operation

- unverändert arbeitsfähig wieder arbeitsfähig
- weiterhin arbeitsunfähig neu arbeitsunfähig

13) Falls immer noch Arbeitsunfähigkeit besteht, ist diese Folge der ursprünglichen Erkrankung / Verletzung des Handgelenkes

- ja nein nicht zutreffend, da Arbeitsfähigkeit vorliegt

14) Ich würde das Operationsergebnis wie folgt bewerten

- erfolgreich teilweise erfolgreich nicht erfolgreich

15) Ich würde mich zurückblickend nochmals operativ behandeln lassen?

- ja nein unsicher

8.3 DASH-Fragebogen

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

DER

DASH-Fragebogen

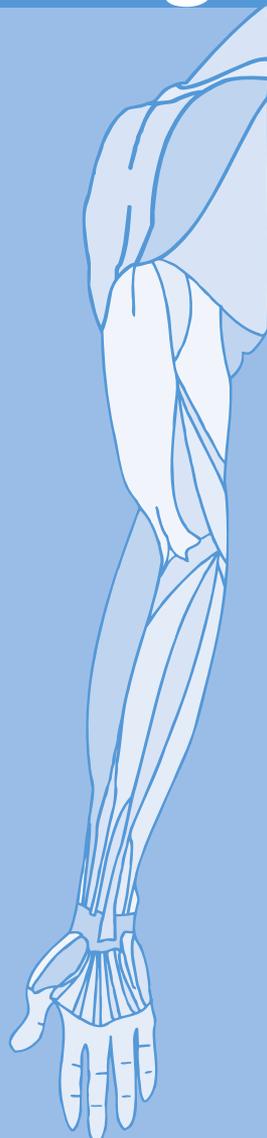
ANLEITUNG

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

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

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

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



© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

Deutsche Version:
Günter Germann, Angela Harth, Gerhard Wind, Erhan Demir.
University of Heidelberg.

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

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

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
7. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
8. Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
9. Betten machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
13. Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.) ¹	1	2	3	4	5
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
20. Mit Fortbewegungsmitteln zurecht kommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5

- Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Symptome während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

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

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

30. Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
1	2	3	4	5

DASH Wert für Behinderung/Symptome = $\frac{[(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}) - 1] \times 25}{n}$,

wobei n der Anzahl der beantworteten Fragen entspricht

Wurden mehr als 3 Fragen nicht beantwortet, so darf ein DASH Wert nicht berechnet werden.

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

SPORT- UND MUSIK-MODUL (OPTIONAL)

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

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

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

Ich treibe keinen Sport oder spiele kein Instrument (Sie können diesen Bereich auslassen).

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

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

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

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

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

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

Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen).

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

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. So gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

Auswertung der optionalen Module: Die Antwortpunkte der Fragen werden summiert; durch 4 (Anzahl der Fragen) dividiert; 1 wird subtrahiert und danach mit 25 multipliziert.

Für die Auswertung eines optionalen Moduls dürfen keine Antworten fehlen.



**Institute
for Work &
Health**

Research Excellence
Advancing Employee
Health

9 Danksagung

Zuallererst möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. M. Schädel-Höpfner bedanken. Er hat mir nicht nur dieses Thema überlassen und das wissenschaftliche Arbeiten ermöglicht, sondern zeigte stete Diskussionsbereitschaft mit vielen wichtigen Anregungen, sowie großes Interesse an dem Vorankommen dieses Forschungsprojektes. Die Betreuung durch ihn war hervorragend, wofür ich mich nochmals besonders bedanken möchte.

Besonderer Dank gilt außerdem Herrn PD Dr. med. S. Thelen für die Betreuung und Unterstützung bei Konzeption und Umsetzung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. J. Windolf für die Möglichkeit bedanken, in seiner Klinik zu promovieren.

Weiter danke ich Herrn Prof. Dr. med. M. Langer für die Bereitstellung und Überlassung der herausragenden Bilder und Illustrationen.

Frau C. Neufeld danke ich insbesondere für die organisatorische Unterstützung bei der Patientenrekrutierung und Zusammenstellung der Patientenunterlagen.

Des Weiteren möchte ich von ganzem Herzen meinen Eltern für ihre uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung während meines gesamten Lebens, des Studiums und der Erstellung dieser Arbeit danken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Stephanie, die stets an mich geglaubt hat und mir den nötigen Rückhalt gibt. Danke für ihre zahlreichen Korrekturlesungen, ihre vielen liebevollen Ermutigungen und dafür, dass sie immer an meiner Seite ist.