

Aus der Vulpiusklinik
Akademisches Lehrkrankenhaus der Medizinischen Fakultät Mannheim
Abteilung für Handchirurgie
Chefarzt: Prof. Dr. med. Frank Unglaub

**Sensitivität und Spezifität der präoperativen MRT-Untersuchung
des Handgelenks bezüglich TFCC-Läsionen außerhalb klinischer
Studien im Vergleich zum arthroskopischen Befund**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der
Medizinischen Fakultät Mannheim
der Ruprecht-Karls-Universität
zu
Heidelberg

vorgelegt von
Johannes Rau

aus
Stuttgart
2021

Dekan: Prof. Dr. med. Sergij Goerd

Referent: Prof. Dr. med. Frank Unglaub

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|---|-------|
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 1 |
| | |
| 1 EINLEITUNG | 2 |
| 1.1 Problematik und Zielsetzung..... | 3 |
| 1.2 Anatomie und Histologie des TFCC..... | 4 |
| 1.2.1 Bestandteile des TFCC | 4 |
| 1.2.2 Histologie des TFCC | 9 |
| 1.2.3 Innervation des TFCC | 10 |
| 1.2.4 Blutversorgung des TFCC | 10 |
| 1.3 TFCC-Läsionen | 11 |
| 1.3.1 Symptomatik..... | 17 |
| 1.3.2 Ätiologie..... | 17 |
| 1.3.2.1 Traumatisch | 17 |
| 1.3.2.2 Degenerativ..... | 18 |
| 1.4 Diagnostik von TFCC Läsionen | 19 |
| 1.4.1 Klinische Untersuchung..... | 20 |
| 1.4.2 Bildgebende Diagnostik..... | 23 |
| 1.4.2.1 Röntgendiagnostik | 24 |
| 1.4.2.2 MRT-Diagnostik | 25 |
| 1.4.3 Handgelenksarthroskopie..... | 27 |
| 1.5 Therapie von TFCC Läsionen..... | 30 |
| 1.5.1 Konservative Therapie..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 1.5.2 Operative Therapie..... | 30 |
| 1.5.2.1 Arthroskopische Therapieverfahren | 31 |
| 1.5.2.2 Ulnaverkürzungsosteotomie..... | 31 |
| 1.5.2.3 Wafer-Resektion | 33 |
| 2 MATERIAL UND METHODEN | 34 |
| 2.1 Studiendesign..... | 34 |
| 2.2. Ein- und Ausschlusskriterien..... | 34 |
| 2.3 Patientendemographie..... | 34 |
| 2.4 Auswertung der MRT-Befunde | 35 |
| 2.5 Auswertung der Operationsberichte | 35 |
| 2.6 MRT- und Arthroskopiebefunde im Vergleich | 36 |
| 2.7 Statistische Auswertung..... | 36 |
| 3 ERGEBNISSE | 37 |
| 3.1 Sensitivität und Spezifität (gesamtes Kollektiv)..... | 37 |
| 3.2 Detektierte TFCC-Läsionen (gesamtes Kollektiv)..... | 38 |
| 3.3 Klassifizierte TFCC-Läsionen (gesamtes Kollektiv) | 39 |
| 3.4 Spulen- und Kontrastmitteleinsatz | 40 |
| 3.5 Sensitivität und Spezifität abhängig von Spulen- und Kontrastmitteleinsatz ... | 42 |
| 3.6 MRT-Technik | 42 |
| 4 DISKUSSION..... | 43 |
| 5 ZUSAMMENFASSUNG..... | 48 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 6 LITERATURVERZEICHNIS | 50 |
| 7 TABELLARISCHER ANHANG | 60 |
| 8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 61 |
| 9 ANHANG | 66 |
| 10 TABELLARISCHER LEBENS LAUF..... | 76 |
| 11 DANKSAGUNG..... | 77 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

TFCC Triangulärer fibroartilaginärer Komplex
TFC Discus triangularis (= triangular fibrocartilage)
IOM Membrana interossea anrtebrachii
DRUG distales Radioulnargelenk
MRT Magnetresonanztomographie
ASK Arthroskopie
ECU Musculus extensor carpi ulnaris
MKR mediokarpal-radial
PSU Processus styloideus ulnae
Lig. Ligamentum
Ligg. Ligamenta

1 EINLEITUNG

Der ulnokarpale Komplex („Triangular Fibrocartilage Complex“, TFCC) stellt zusammen mit der Membrana interossea antebrachii (IOM) den Hauptstabilisator des distalen Radioulnargelenks (DRUG) dar und garantiert uneingeschränkte Prosupination um 180° (Spies et al. 2014; Trumble et al. 2002; Spies et al. 2018). Diese Fähigkeit unterscheidet den Homo sapiens evolutionsbiologisch entscheidend von anderen Vertebraten (Almquist 1992). Neben dem wichtigen Beitrag zur Unterarmrotation unterstützt der TFCC das Radiokarpalgelenk bei der Kraftübertragung von der Handwurzel auf den Unterarm (Palmer and Werner 1981). Die Entwicklung des TFCC erlaubte es unseren Vorfahren Bewegungen der oberen Extremität durchzuführen, die viele alltägliche Tätigkeiten vereinfachten oder sogar erst möglich machte. Es wird postuliert, dass die Gehirnentwicklung, das differenzierte Nutzen von Werkzeug, die bipedale Lokomotion und die Modifikation des Gebisses mit Reduktion der Eckzähne und Expansion der Molaren mit der Entwicklung des DRUG als hauptsächliche Differenzierungsmerkmale zwischen unseren Vorfahren und den Menschenaffen darstellt (Lovejoy 1981).

Da der Radius ligamentär mit dem Karpus verbunden ist und die Ulna die Rotationsachse des Unterarms darstellt, dient der TFCC als Drehpunkt des Handgelenks, der den Karpus, der keine stabile Verbindung zur Ulna besitzt, unterstützt (Palmer and Werner 1984).

So wichtig der TFCC für die volle Funktionsfähigkeit der oberen Extremität und so vielfältig die Bewegungsfreiheiten des Handgelenks, die durch diesen ermöglicht werden, so anfällig ist der TFCC für Verletzungen und Degeneration und so groß sind die damit einhergehenden Einschränkungen (Palmer and Werner 1984).

Schmerzlose Rotationsstabilität des Unterarms unter Last wird von Handchirurgen als wesentlich für die funktionale Kapazität der oberen Extremität angesehen. (Kleinman 2009) Läsionen des TFCC sind häufige Ursache für ulnarseitige Handgelenksschmerzen, oft im Zusammenspiel mit Instabilität des DRUG und Funktionseinschränkungen vor allem bei Rotationsbewegungen des Unterarms. TFCC Läsionen treten sowohl in Form von degenerativen Veränderungen, als auch in der Folge von Traumata auf (Rein et al. 2021; Palmer 1990; Kirchberger et al. 2015a; Nypaver and Bozentka 2021). In einer „follow-up-Studie“ von Gologan et al. fanden

sich bei über 50% aller Patienten mit stattgehabter distaler Radiusfrakturen 10 Jahre nach primärem Trauma TFCC-Läsionen (Gologan et al. 2019).

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

In klinischen Studien weist die MRT-Untersuchung ein hohes Maß an Spezifität und Sensitivität für die Diagnostik von TFCC Läsionen auf. So wird in einer großen Metaanalyse von Smith et al. die Genauigkeit der MRT-Untersuchung gegenüber der Arthroskopie als Referenzstandard für „full-thickness“-Rupturen zwischen 85-90% angegeben (Smith et al. 2012). Schmitt und Lanz geben für die MRT-Untersuchung in der Abklärung von TFCC-Läsionen Sensitivitäten und Spezifitäten von über 90% an (Schmitt and Lanz 2015). Die klinische Praxis lässt jedoch anderes vermuten. Hier fällt eine subjektive Inkongruenz zwischen dem MRT-Befund und dem intraoperativen Befund auf. Das Verfahren der Wahl ist dabei die Handgelenksarthroskopie, die als diagnostischer Goldstandard für die Diagnostik von TFCC Läsionen angesehen wird (Mannil et al. 2016; Slutsky 2012; Löw et al. 2013; Hahn et al. 2012; van Schoonhoven 2016).

Des weiteren ist auffällig, dass viele Patienten bei ulnokarpalen Handgelenksbeschwerden bereits ein MRT erhalten ohne vorher von einem zertifizierten Handchirurgen gesehen worden zu sein. Daraus lässt sich schließen, dass die Indikation für ein MRT in den meisten Fällen durch einen Orthopäden oder Hausarzt gestellt wird. Nach Bickert steigt jedoch die Aussagekraft der MRT erheblich, wenn die Indikation auf eine handchirurgische Untersuchung gründet (Bickert 2010).

Ziel dieser Studie ist es, die Sensitivität und Spezifität der präoperativen MRT-Untersuchung hinsichtlich TFCC Läsionen bei allen Patienten, die zwischen 2013 und 2021 in der Vulpiusklinik Bad Rappenau eine Handgelenksarthroskopie erhalten haben zu ermitteln, um zu überprüfen ob die in klinischen Studien erreichte Spezifität und Sensitivität auch in der klinischen Praxis erreicht wird.

1.2 Anatomie und Histologie des TFCC

1.2.1 Die Bestandteile des TFCC

Der TFCC ist eine aus Faserknorpel bestehende Scheibe umgeben von stabilisierenden Ligamenten zwischen dem Ulnakopf und der ulnaren Seite der Handwurzel (Schmitt et al. 2021). Dieser dient einerseits als Puffer zwischen Unterarm und Handwurzel, andererseits als Hauptstabilisator für das distale Radioulnargelenk (Schmitt and Lanz 2015; Semisch et al. 2016).

Die Bestandteile des TFCC bilden die palmaren und dorsalen radioulnaren Ligamente (Ligg. Radioulnare palmare et dorsale), die sich in oberflächliche und tiefe Fasern (=Lig. Subcruentum) aufteilen, die ulnokarpalen Ligamente (Ligg. ulnolunatum, ulnotriquetrum et ulnocapitatum), den zentralen Discus ulnocarpalis („Triangular Fibrocartilage“, TFC), den Meniscus ulnocarpalis (syn.: Meniscus homologue), dem Lig. collaterale carpi ulnare und dem Boden des sechsten Strecksehnenfachs, gebildet durch die Sehenscheide des Musculus extensor carpi ulnaris (ECU) (Palmer and Werner 1981; Atzei and Luchetti 2011).

Anatomische Kenntnisse sind Voraussetzung um die verschiedenen Funktionen des Handgelenks und speziell des TFCC nachvollziehen zu können, wo Bewegungen, Lastenverteilung und mechanische Ansprüche extrem komplex sind (Berger 2001).

Bereits im Jahre 1981 haben Palmer und Werner den TFCC genau beschrieben und den Namen „Triangulärer fibrokartilaginärer Komplex“ eingeführt (Palmer and Werner 1981).

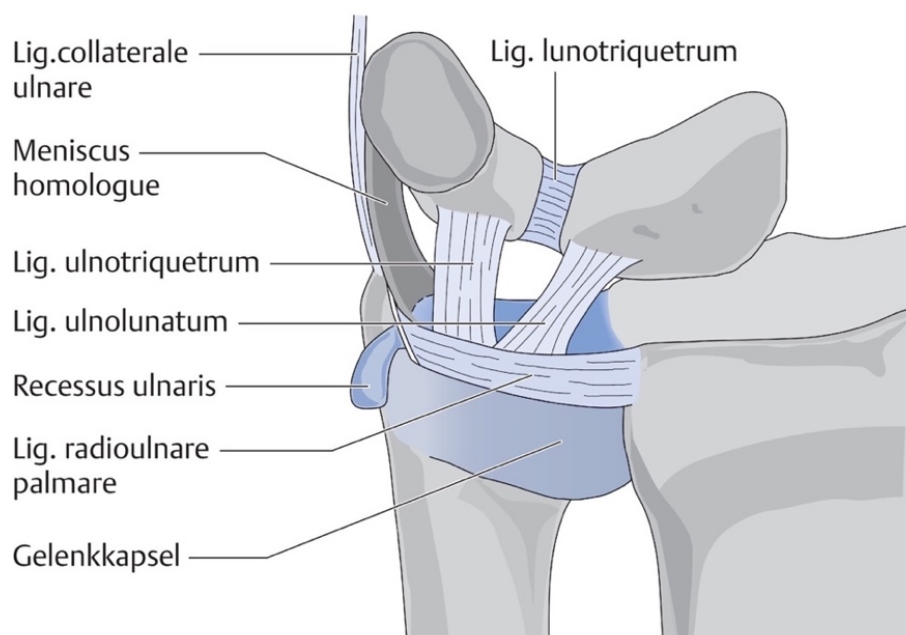


Abb. 1 Schemazeichnung des TFCC von palmar (Schmitt and Lanz 2015)

Radioulnare Ligamente

Die tiefe (=Lig. subcruentum) wird von der oberflächlichen TFCC-Lamina unterschieden, die zusammen das dorsale und palmare radioulnare Ligament bilden, welche an den kortikalen Kanten der Incisura ulnaris des distalen Radius palmar bzw. dorsal entspringen. Das tiefe Blatt setzt an der Ellenkopfgarbe (Fovea capitis ulnae) an, das oberflächliche Blatt an der Basis des PSU. Das Lig. subcruentum führt bei Prosupination den Radius um die fixierte Ulna und stabilisiert dabei das DRUG im vollen Bewegungsumfang. Der alleinige Riss des Lig. subcruentum, bei erhaltener Kontinuität des oberflächlichen Blattes, reicht aus um das DRUG zu destabilisieren. (Hagert and Hagert 2010; Kleinman 2009; Schmitt et al. 2021; Schmitt and Lanz 2015; Berger 2001; Nakamura et al. 2001).

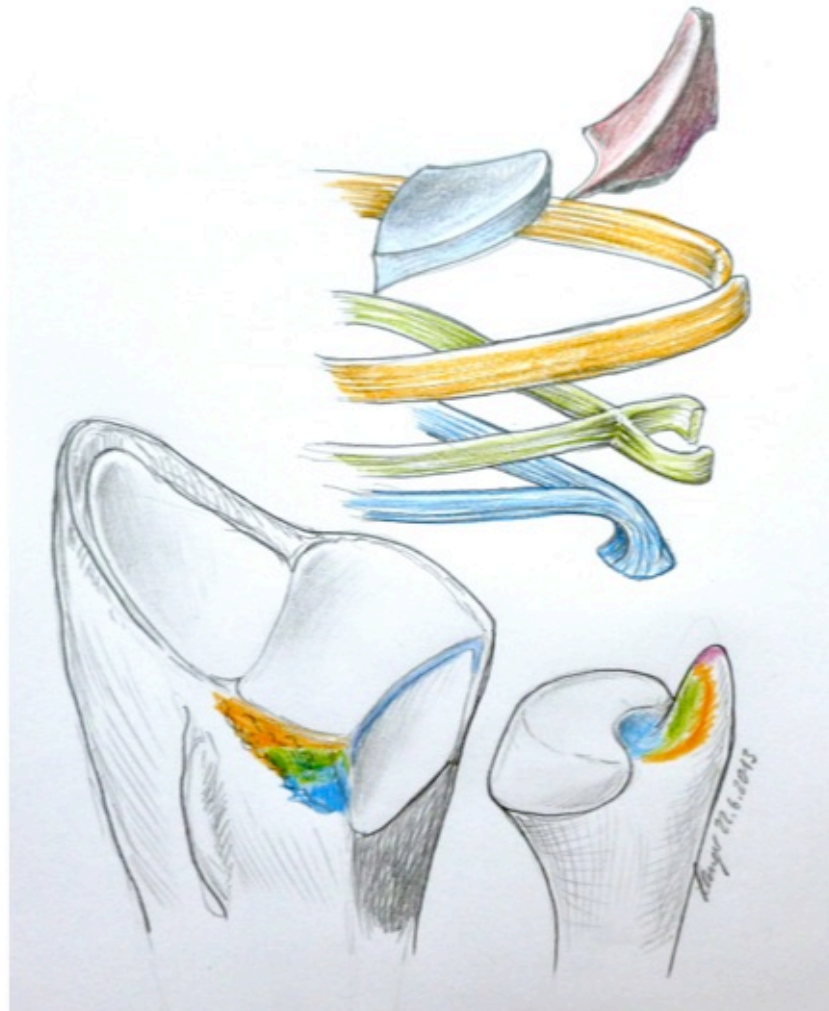


Abb. 2 Schemazeichnung von TFCC-Anteilen mit farblicher Markierung der jeweiligen Ansätze und Ursprünge mit Schwerpunkt auf die Ligg. radiolunare palmare et dorsale. hellblau: Discus ulnocarpalis; rot: Meniscus homologue; gelb: Ligg. radioulnare palmare et dorsale (=oberflächliche Lamina); grün: kreuzende Fasern der Ligg. Radioulnare palmare et dorsale; blau: Lig subcruentum (= tiefe Lamina). Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Martin Langer, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster

Ulnokarpale Ligamente

Der ulnokarpale Bandkomplex kann anatomisch in drei Einheiten unterteilt werden, das Lig. ulonlunatum, das Lig ulnotriquetrum und das Lig. ulocapitatum. Diese Bänder konfluieren häufig untereinander und sind somit makroskopisch meist nicht als einzelne Bänder zu identifizieren. Zusammen entspringen sie an der Fovea ulnaris des Ulnakopfes und an der Basis des Processus styloideus ulnae, dem Griffelfortsatz der Ulna. Ansätze sind entsprechend der Nomenklatur jeweils der palmare Kortex des Mond-, Dreiecks- und Kopfbeins. Die ulnokarpalen Bänder dienen der Stabilität des ulnokarpalen Gelenks (Garcia-Elias; Moritomo 2013; Schmitt and Lanz 2015; Berger 2001; Nakamura et al. 2001).

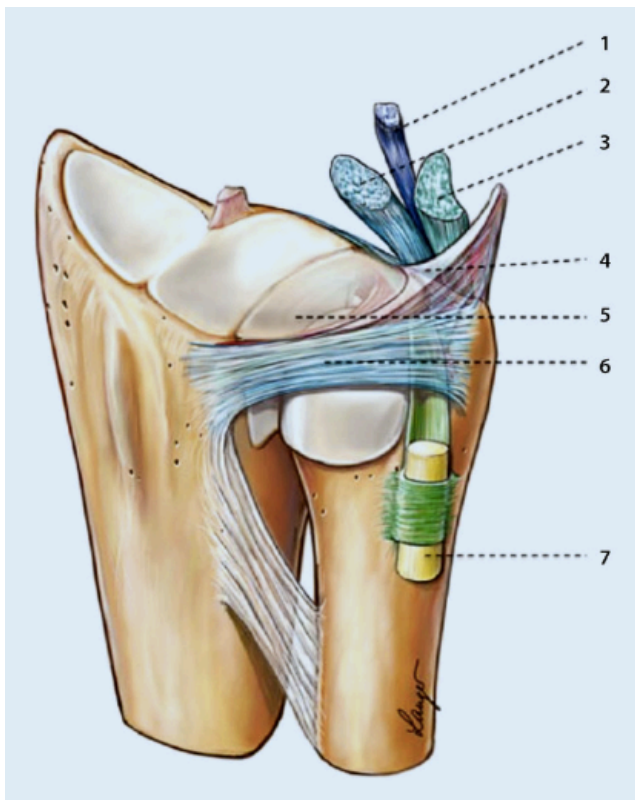


Abb. 3 Ligamentum ulnocapitatum (1); Ligamentum ulnolunatum (2); Ligamentum ulnotriquetrum (3); Meniscus ulnocarpalis (4); Discus ulnocarpalis (5); Ligamentum radioulnaris dorsalis (6); Extensor-carpis-ulnaris-Sehne (7) (Spies et al. 2018)

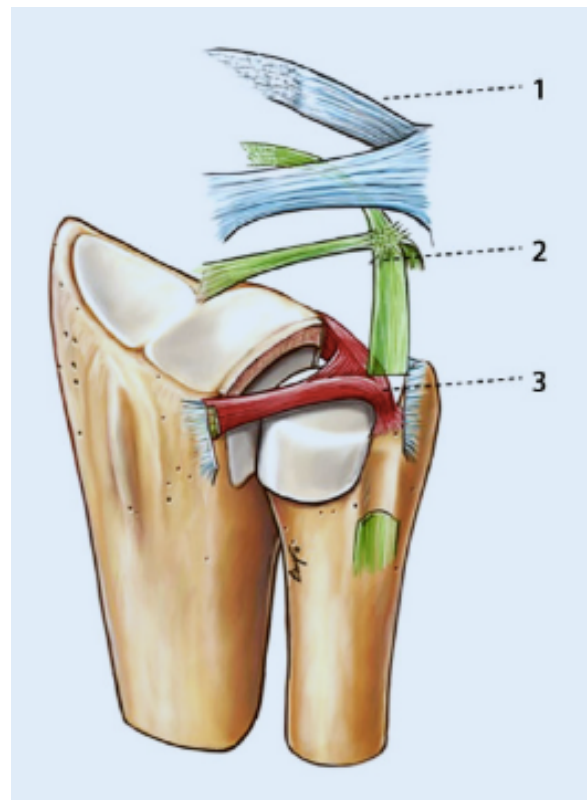


Abb. 4 Aufbau der radioulnaren Ligamente: palmare und dorsale Zügel der radioulnaren Ligamente (1); kreuzende Fasern von radiopalmar nach ulnodorsal mit Einstrahlung in das Periost und in den Boden des sechsten Strecksehnenfachs und von radiodorsal nach ulnopalmar mit Einstrahlung in die prästyloide Region (2); tiefe Zügel der radioulnaren Ligamentem mit Insertion in der Fovea ulnaris (Ligamentumsubcruentum) (Spies et al. 2018)

Discus triangularis

Der Ursprung des aus Faserknorpel bestehenden Discus triangularis („Triangular Fibrocartilage“, TFC) stellt am Radius der hyaline Gelenkknorpel der Incusura ulnaris radii dar. Der Diskuskörper ist bikonkav konfiguriert und dreieckförmig zum PSU konvergierend. Der TFC inseriert an der Ulna mit zwei peripheren Bandzügen. Der ulnoproximale Zügel spielt für die Stabilität des DRUG die entscheidende Rolle und zieht zur Fovea capitis ulnae, der ulodistale Zügel inseriert an der Spitze des PSU. Zwischen den beiden Zügel befindet sich das Lig. subcruentum. An den Außenseiten des Diskus sind die Ligg. radioulnaria sowie palmar das Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum (Schmitt et al. 2021; Schmitt and Lanz 2015; Rein et al. 2021; Nakamura et al. 2001).

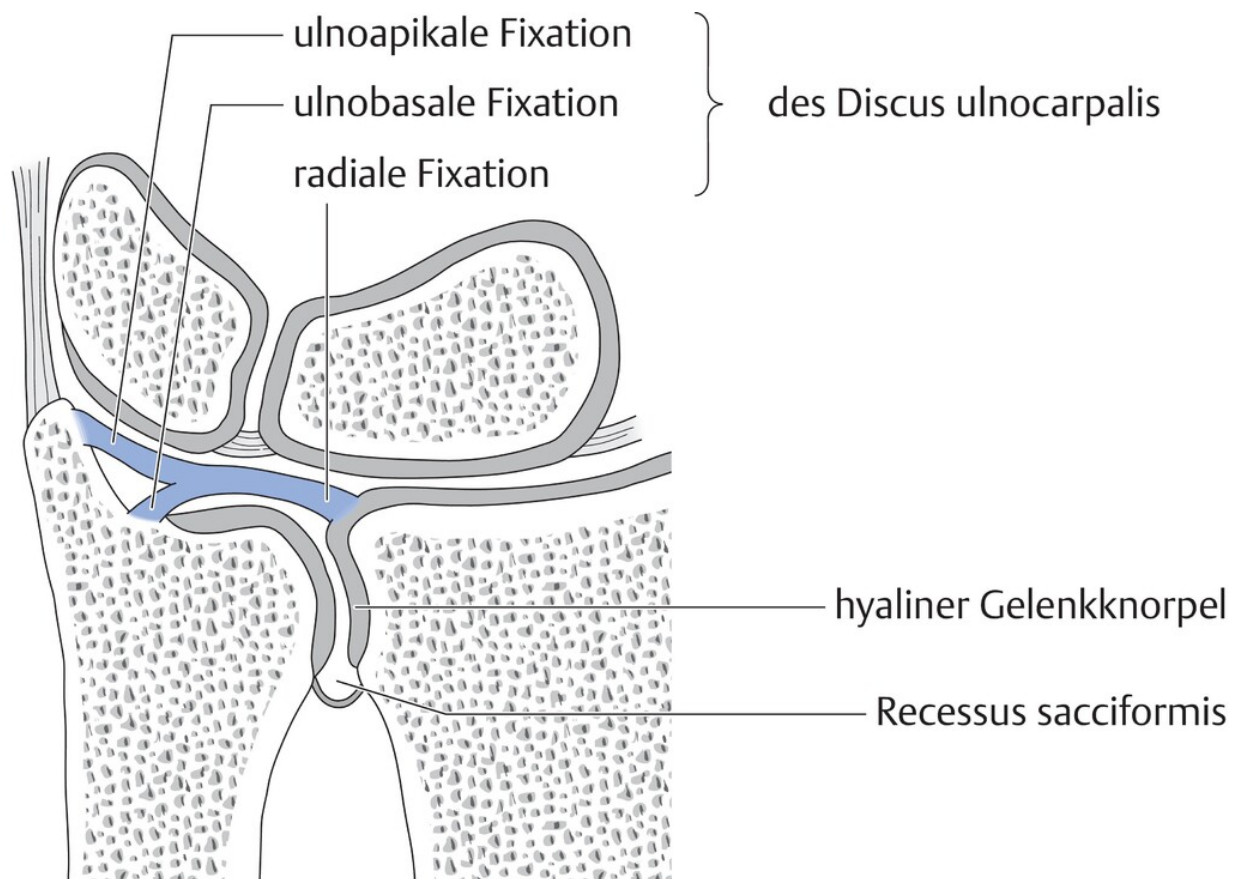


Abb. 5 Discus ulnocarpalis in Schemazeichnung eines koronalen Schnitts durch den TFCC (Schmitt and Lanz 2015)

Meniscus ulnocarpalis

Der Meniscus ulnocarpalis (syn.: Meniscus homologue) hat seinen Ursprung am ulnaren Rand des Diskus, zieht in schrägem Verlauf nach distal und inseriert ulnopalmar am Dreiecksbein. Evolutionär handelt es sich beim Meniscus ulnocarpalis um ein bindegewebiges Relikt des Gelenks zwischen Ulnakopf und Dreiecksbein, welches bei Primaten noch heute ausgebildet ist. Die Funktion und der Nutzen des Meniscus ulnocarpalis wird kontrovers diskutiert. In moderatem Umfang stabilisiert er den TFCC und das Pisotriquetralgelenk, weshalb seine Laxizität mit Ursache der pisotriquetralen Arthrose sein kann. Beim Handgelenkstrauma kann der Meniscus ulnocarpalis verletzt werden und schließlich ulnokarpale Schmerzen verursachen. Rein et al. zeigten in einer Studie, dass der Meniscus ulnocarpalis zusätzlich eine sensorische Funktion hat (Rein et al. 2015; Schmitt and Lanz 2015; Schmitt et al. 2021; Nakamura et al. 2001).

Ligamentum collaterale carpi ulnare

Mit dem Ursprung des Ligaments am Proc. styloideus ulnae, verläuft es in direkter Nachbarschaft zur ECU-Sehne, während die Insertion an der Außenseite des Dreiecksbein und des Hakenbein liegt. Das Lig. collaterale ulnae ist weniger als solitäres Band, viel eher als strangförmige Verdickung der ulnaren Gelenkkapsel am Übergang zum Retinaculum extensorum anzusehen. Klinisch spielt es eine untergeordnete Rolle, da keine eigenständigen Pathologien bekannt sind (Schmitt and Lanz 2015; Schmitt et al. 2021; Nakamura et al. 2001).

Sehnscheide des M. extensor carpi ulnaris

Die ECU-Sehnscheide ist eine sehr dünne Struktur, die einen Teil des dorsalen TFCC-Abschnitts bildet. Sie verläuft wie auch die ECU Sehne selbst dorsal des Ulnakopfes in einer rinnenförmigen Vertiefung, wobei sie durch das überspannende Retinaculum extensorum fixiert wird. Im Bereich des PSU vermischen sich Fasern der ECU-Sehnscheide mit solchen der radioulnaren Ligamente. Funktionell trägt sie in Handgelenksextension und Radialduktion zur Stabilisierung des Handgelenks und des DRUG bei. Dorsoulnare TFCC-Läsionen können mit Affektion der ECU-Sehnscheide einhergehen (Schmitt and Lanz 2015; Moritomo 2013; Schmitt et al. 2021; Nakamura et al. 2001).

1.2.2 Histologie des TFCC

Es ist bekannt, dass die Morphologie von Bindegewebskomponenten dessen biomechanischen Funktionen widerspiegelt. Um also die Funktion der jeweiligen Anteile des bindegewebigen Faserkomplexes des TFCC zu verstehen, kann ein Blick auf die Histologie derer Abhilfe schaffen (Semisch et al. 2016).

Semisch et al. haben hierzu 11 von Leichen stammende Handgelenkspräparate mikroskopisch untersucht. Dabei fanden sie heraus, dass der Discus triangularis aus eng verflochtenem Faserknorpel weitgehend ohne Blutgefäße besteht, was auf seine Funktion als „Puffer“ zwischen Karpus und Unterarm hindeutet (Semisch et al. 2016; Nakamura et al. 2001). Die palmaren und dorsalen radioulnaren Ligamente zeigten eine Struktur aus eng gepackten, parallel verlaufenden Kollagenbündeln was für deren Rolle als wichtiger Stabilisator spricht. Die Sehenscheide des ECU, sowie die ulnokarpalen Ligamente zeigten gemischt enge und lockere parallel verlaufende Kollagenfasern, wobei das Lig. ulnolunatum deutlich enger gepackte parallele Fasern zeigte und weniger elastische Fasern als das Lig. ulnotriquetrum. Der Meniscus ulnocarpalis wies eine unregelmäßige morphologische Komposition auf mit vorwiegend lockerem Bindegewebe (Spies et al. 2018). Daraus lässt sich schließen, dass vor allem dem Lig. ulnolunatum ebenso eine Stabilisatorrolle zugeschrieben werden kann (Semisch et al. 2016).

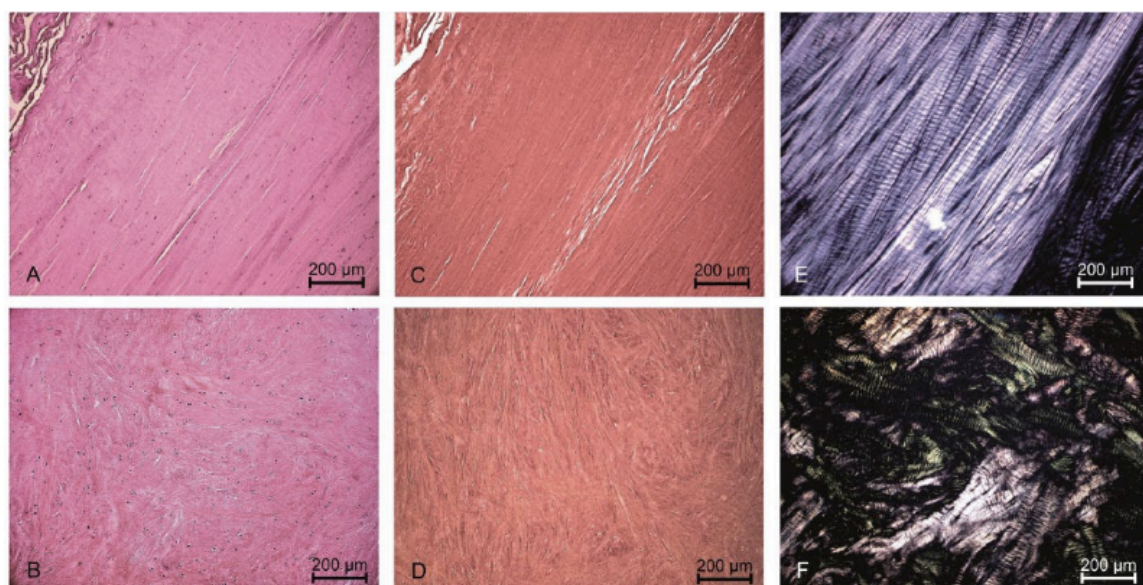


Abb. 6 A,C,E: eng gepackte parallel verlaufende Kollagenbündel eines dorsalen radioulnaren Ligaments. B,D,F: eng verflochtene Fasern eines Discus triangularis. Links: A und B in HE-Färbung, C und D in Elastica van Gieson-Färbung, E und F in HE-Färbung in Polarisation (Semisch et al. 2016).

1.2.3 Innervation des TFCC

Die Innervation des TFCC erfolgt durch Äste des Nervus interosseus posterior, des Nervus Ulnaris und des Nervus cutaneus antebrachii posterior (Gupta et al. 2001). In einer experimentellen Studie an 10 Leichenpräparaten fanden Gupta et al. heraus, dass bei allen Präparaten der palmare Anteil des TFCC von Ästen des N. ulnaris innerviert wird. In zentralen und radialen Teilen des TFCC konnten keine Nervenfasern nachgewiesen werden. Besonders im Bereich der ulnaren Außenfläche des Diskus ulnocarpalis, des Lig. collaterale ulnare und des Meniscus ulnocarpalis finden sich freie Nervenendigungen (Ohmori and Azuma 1998). Diese sind für die Schmerzentstehung und als Rezeptor für die Schmerzempfindung im Handgelenk maßgeblich verantwortlich (Schmidt 2004).

1.2.4 Blutversorgung des TFCC

Hinsichtlich der Blutversorgung können die oben genannten Anteile des TFCC in ein avaskuläres Zentrum, das Großteile des Discus triangularis ausmacht und der gut vaskularisierten Peripherie unterteilt werden (Schmitt and Lanz 2015). Die Blutversorgung erfolgt über drei Wege, durch die A. ulnaris mit ihren palmaren und dorsalen radiokarpalen Ästen, den dorsalen Ast der A. interosseus anterior und den palmaren Ast der A. interosseus anterior. Die peripheren Anteile des TFC sind, im Vergleich zu den zentralen und radialen Diskusabschnitten, durch einstrahlende Nutrialgefäße gut durchblutet (Bednar et al. 1991). Auf diesen Erkenntnissen basiert die klinisch relevante Konsequenz, dass die vaskularisierten Areale im Randbereich ein besseres Heilungspotential aufweisen als das avaskuläre Zentrum sowie der radiale Ansatz (Thiru et al. 1986; Semisch et al. 2016). Eine Diskusnaht ist daher nur im Randbereich sinnvoll (Unglaub et al. 2007b).

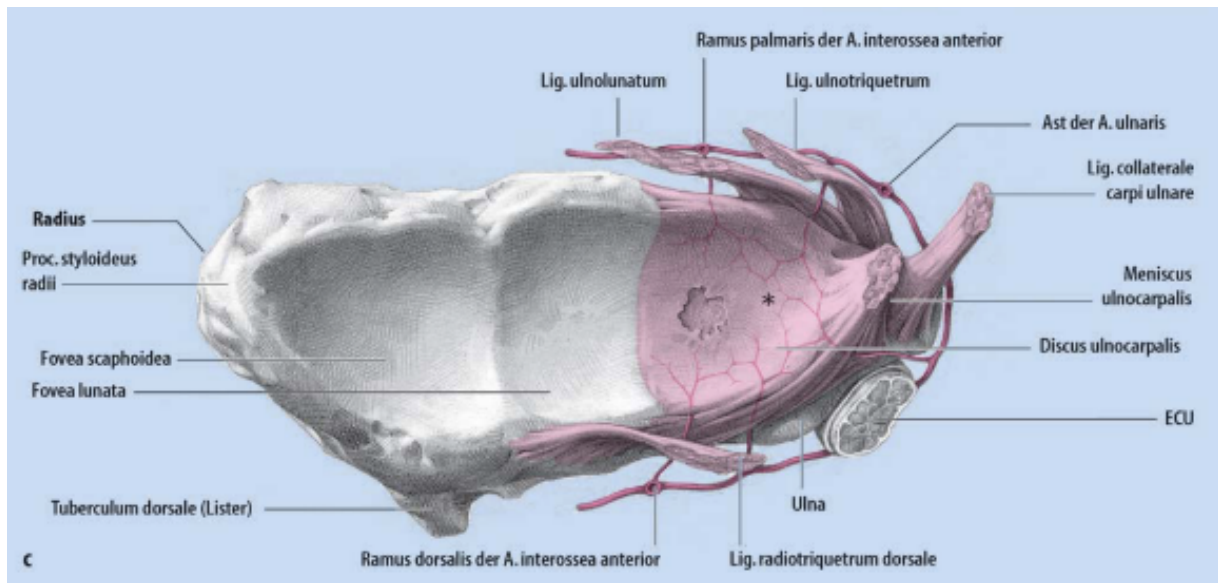


Abb. 7 Ulnokarpaler Komplex von distal mit arterieller Versorgung und Perforation des Diskus ulnocarpalis (Schmidt 2004)


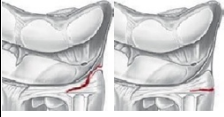







1.3 TFCC-Läsionen

Läsionen des TFCC können eingeteilt werden nach solchen traumatischem und degenerativen Ursprungs. Die hierfür am häufigsten verwendete Klassifikation nach Palmer kategorisiert TFCC-Läsionen nach der Art und Lokalisation der Läsion am TFCC (Palmer 1989).

Traumatisch bedingte TFCC-Läsionen werden unter den Typ 1 Läsionen weiter in 1A, 1B, 1C und 1D eingeteilt. Typ 1A Läsionen beschreiben einen zentralen Riss durch den horizontal verlaufenden Teil des TFCC. Traumatischer Abriss des TFCC von seiner Insertion am Ulnakopf werden als Typ 1B Läsionen beschrieben. Diese Läsionen treten häufig im Zusammenhang mit PSU Verletzungen und DRUG Instabilitäten auf (Spies et al. 2015). Ein distaler Abriss des TFCC wird von Palmer als Typ 1C klassifiziert. Dabei handelt es sich um Risse der Lig. ulnolunatum et ulnotriquetrum, die zu ulnokarpaler Instabilität führen können. Typ 1D Läsionen beschreiben einen radialen Abriss mit oder ohne Fraktur der Incisura ularis radii (Palmer 1989).

Die degenerativ bedingten Typ 2 Läsionen lassen sich wiederum in 2A, 2B, 2C, 2D und 2E unterteilen. Typ 2A Läsionen stellen proximal lokalisierte initiale degenerative „Abnutzungen“ des Diskus dar, ohne Perforation dessen und ohne begleitende Chondropathie in der unmittelbaren Umgebung. Fortgeschrittene Degenerationen des

Diskus mit zusätzlicher Chondropathie der Os lunatum oder des Ulnakopfes oder beidem, Fallen unter den Typ 2B. Fortschreitende Abnutzung des Discus triangularis führt, meist im avaskulären Bereich, zur Perforation dessen und wird als 2C Läsion klassifiziert. Fortschreiten der Degeneration kann zusätzlich zur zentralen Perforation zu Chondropathie am Os lunatum und/oder Ulnakopf und Ruptur des Lig. lunotriquetrum führen, was nach Palmer Typ 2D entspricht. Bei Typ 2E findet sich zusätzlich zu den in 2D genannten Pathologien eine ulnokarpale Arthrose (Palmer 1989).

| Klassifikation | Pathologischer Befund | Illustration |
|----------------|---|---|
| 1A | Traumatischer zentraler Riss des TFC |  |
| 1B | Traumatischer ulnarseitiger Riss des TFC (linke Illustration), ggf. mit Griffelfortsatzabriss |  |
| 1C | Traumatische periphere Risse im Bereich der Lig. ulnolunatum et ulnotriquetrum |  |
| 1D | Traumatischer radialer Riss des TFC, ggf. Fraktur der Incisura ulnaris |  |
| 2A | Degenerative Läsion mit Ausdünnung des TFC |  |
| 2B | Degenerative Läsion mit Ausdünnung des TFC und Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ellenkopf |  |
| 2C | Degenerative Läsion mit Perforation des TFC und Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ellenkopf |  |
| 2D | Degenerative Läsion mit Perforation des TFC und Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ellenkopf und Riss des Lig. lunotriquetrum |  |
| 2E | Degenerative Läsion mit Perforation des TFC und Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ellenkopf und Riss des Lig. lunotriquetrum mit ulnokarpaler Arthrose |  |

Tab. 1 Klassifikation der Läsionen des TFCC nach Palmer.
Tabelle von und mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. med. Christian Spies

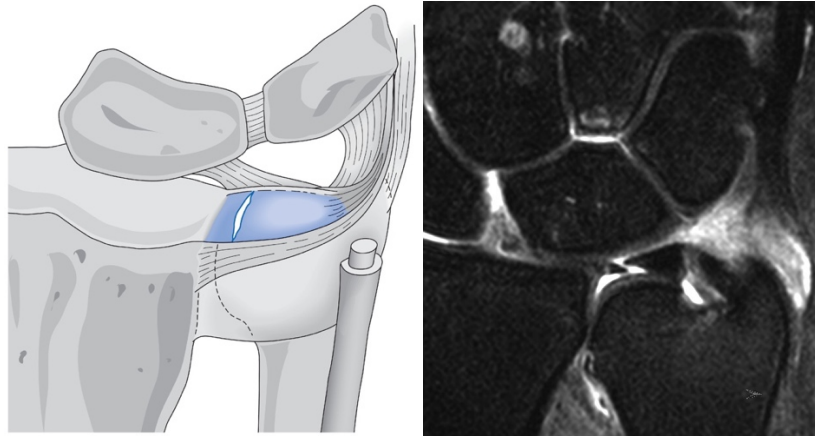


Abb. 8 TFCC-Läsion Palmer Typ 1A

Links: Schemazeichnung mit Vertikalriss im radialen Abschnitt des Discus ulnocarpalis.
Rechts: Gering dislozierter Vertikalriss im Diskuszentrum (T1w FSE fs nach Gadolinium); (Schmitt and Lanz 2015).

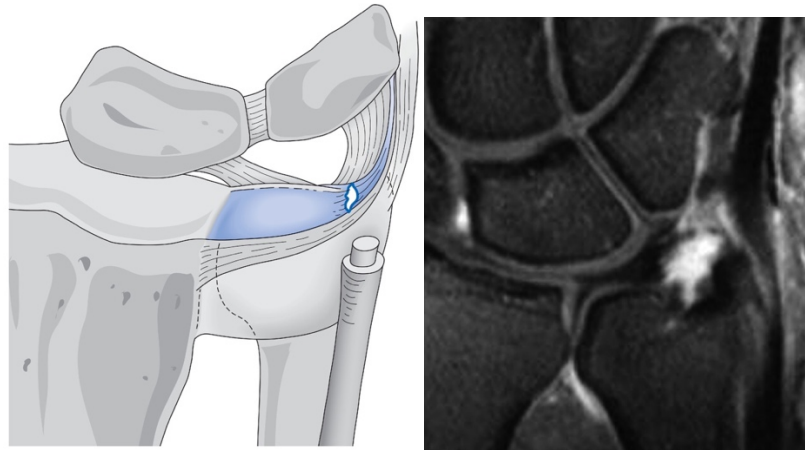


Abb. 9 TFCC-Läsion Palmer Typ 1B

Links: Schemazeichnung mit ulnarem Abriss des Discus ulnocarpalis.
Rechts: Komplettabriss der beiden ulnaren Diskuszügel von der Fovea capitis bzw. vom Proc. styloideus ulnae. Kräftiges, fokales Enhancement an den Rupturstellen in der MRT nach Gadolinium (T1w FSE fs); (Schmitt and Lanz 2015).

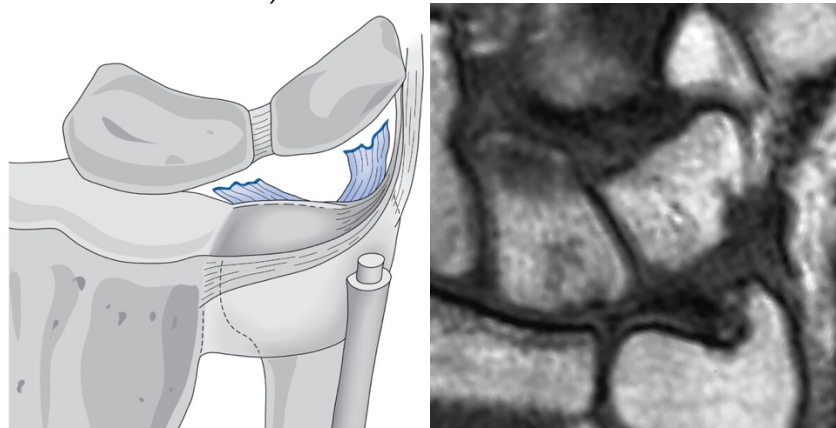


Abb. 10 TFCC-Läsion Palmer Typ 1C

Links: Schemazeichnung mit Abriss der beiden ulnopalmaren Bänder (Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum).
Rechts: Riss und Distraction des Lig. ulnotriquetrum (UTL). Bandförmiges Enhancement im Ligamentverlauf zwischen Proc. styloideus ulnae und Triquetrum. MRT mit T1w FSE ohne Fettsättigung nach Gadolinium (Schmitt and Lanz 2015).

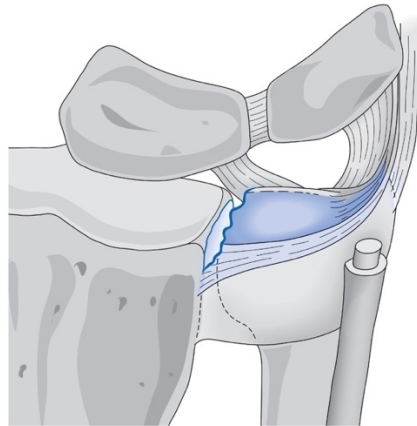


Abb. 11 TFCC-Läsion Palmer Typ 1D

Links: Schemazeichnung mit Abriss des Discus ulnocarpalis direkt von der Incisura ulnaris radii.

Rechts: Radialer Abriss des Diskus von der Incisura ulnaris radii mit ulnarer Retraktion (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

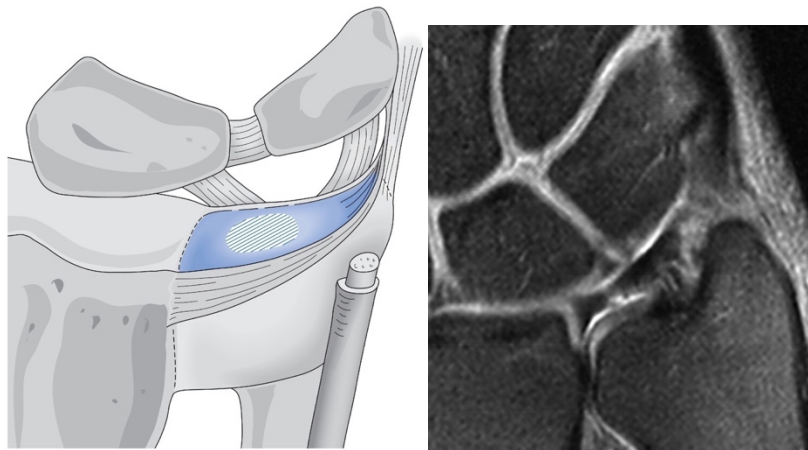


Abb. 12 TFCC-Läsion Palmer Typ 2A

Links: Schemazeichnung mit zentraler Degeneration des Discus ulnocarpalis.

Rechts: Degenerativer Discus ulnocarpalis mit zentraler Ausdünnung und proximaler Oberflächenläsion (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015).

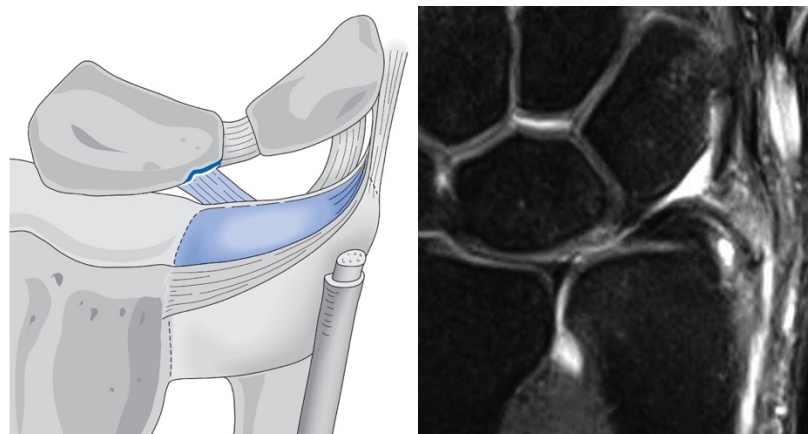


Abb. 13 TFCC-Läsion Palmer Typ 2B

Links: Schemazeichnung mit zentral degeneriertem Discus ulnocarpalis und proximaler Chondropathie am Lunatum.

Rechts: Breite, degenerativ bedingte Ausdünnung des Diskus einerseits sowie irreguläre Chondropathie am Lunatum andererseits (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

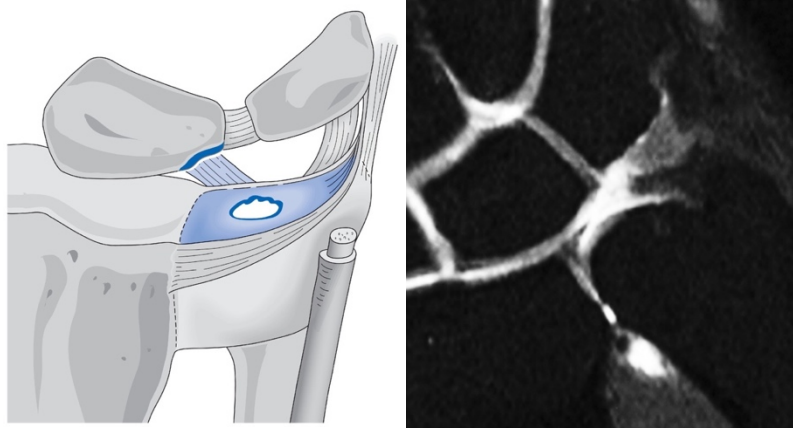


Abb. 14 TFCC-Läsion Palmer Typ 2C

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus und fortschreitender Chondropathie am Lunatum, Rechts: Breite Diskusperforation und deutliche Ausdünnung des Gelenkkorpels an der proximal-ulnaren Zirkumferenz des Lunatums. Gelenkerguss (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

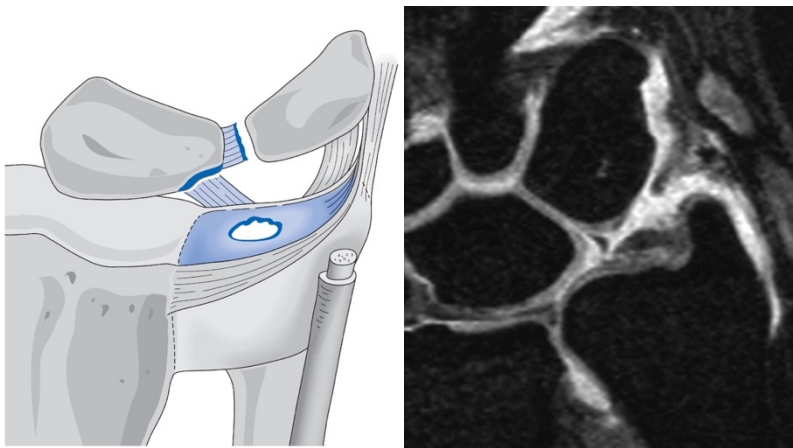


Abb. 15 TFCC-Läsion Palmer Typ 2D

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus, Chondropathie am Lunatum und Ruptur des Lig. lunotriquetrum, Rechts: Perforation des Discus ulnocarpalis, moderate Chondropathie am Lunatum sowie Ablösung des Lig. lunotriquetrum vom Lunatum (T1w FSE fs postarthrografisch). (Schmitt and Lanz 2015)

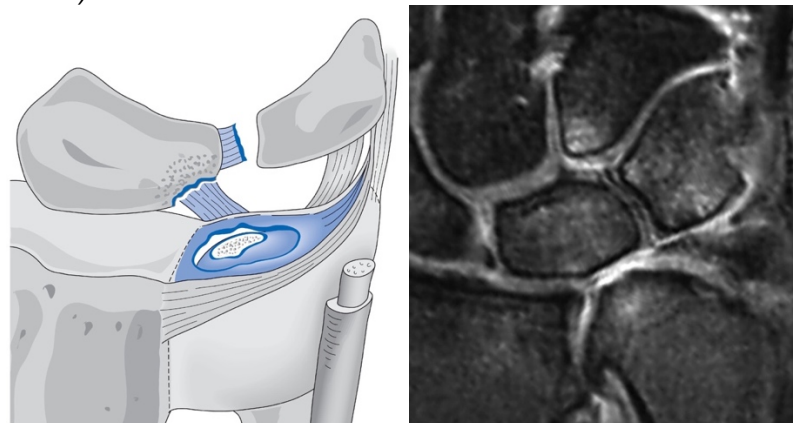


Abb. 16 TFCC-Läsion Palmer Typ 2E

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus, Ruptur des Lig. lunotriquetrum sowie subchondralen Umbauten am Lunatum und Ulnakopf. Rechts: Ulnokarpale Neoartikulation mit subchondralen Signalstörungen am Ulnakopf, Lunatum und Triquetrum (ulnolunotriquetrales Impaction-Syndrom). Kontrastmittelaufnehmende Synovialose. Syndrom der Hamatumspitze. MRT mit T1w FSE fs nach Gadolinium. (Schmitt and Lanz 2015)

1.3.1 Symptomatik

Patienten mit TFCC Verletzungen klagen meist über ulnokarpale Handgelenksbeschwerden, die vor allem bei Belastung auftreten. Besonders Rotationsbewegungen wie das Auswringen eines Handtuchs oder das Öffnen einer Flasche bereiten Patienten moderate bis hin zu stärksten einschließenden Schmerzen im ulnaren Bereich des Handgelenks. Unter Belastung nehmen die Beschwerden oft zu. Je nach Schweregrad der Läsion können zusätzlich zu den Schmerzen Einschränkungen der Griffkraft, Handgelenks-/ DRUG-Instabilität und ein wahrnehmbares „Klicken“ bestehen. Liegt aufgrund einer TFCC Läsion eine DRUG-Instabilität vor, kann sich dies durch Schmerzen und Schwäche bei Pro- und Supination äußern (Jawed et al. 2020; Andersson et al. 2016; Spies et al. 2015; Kirchberger et al. 2015a).

1.3.2 Ätiologie

1.3.2.1 Traumatisch

Traumatische Läsionen entstehen meist im Rahmen von Rotationsverletzungen, beim Fall auf das pronierte oder hyperextendierte Handgelenk (Palmer 1990). Darüberhinaus können unphysiologische Zug- und Druckbelastungen des Diskus bei Fehlstellungen am distalen Unterarm zu Diskusläsionen führen (Graham et al. 1985). Dabei kann es zusätzlich zum Abriss des Discus ulnocarpalis an den beiden ulnaren Verankerungen kommen (Typ 1B nach Palmer). Während beim Abriss des Diskus der PSU in der Regel unversehrt bleibt, bleiben umgekehrt bei PSU-Frakturen die ulnaren Ligamente unversehrt (Schmitt and Lanz 2015; Palmer 1990; Zhan et al. 2020). Auch die radioulnaren Ligamente können durch ein Trauma verletzt werden, was eine Instabilität des DRUG zur Folge haben kann. Seltener kommt es zu Diskuseinrissen am radialen Ursprung (Typ 1A), gefolgt von Diskusabrissen von der Incisura ulnaris radii (Typ 1D) und der Ruptur der ulnopalmaren Ligamente (Typ 1C) (Schmitt and Lanz 2015; Palmer 1990; Zhan et al. 2020).

1.3.2.2 Degenerativ

Der TFCC, besonders der Discus ulnocarpalis, erweitert die Fläche für die Kraftübertragung vom Karpus auf den Unterarm. Dabei ist seine dem Karpus zugewandte Fläche Druckkräften, seine dem Ulnakopf zugewandte Fläche Druck- und Scherkräften ausgesetzt. Degenerative Veränderungen finden sich daher zunächst an der proximalen Fläche, bevor eine transmurale Perforation stattfindet (Mikic 1979). Degenerative Läsionen sind vergesellschaftet mit chronischer Belastung des ulnokarpalen Gelenks (Unglaub et al. 2007b). Repetitive Druck- und Scherkräfte im ulnokarpalen Gelenkabschnitt führen zu Verschleißveränderungen des Discus ulnocarpalis selbst, sowie der angrenzenden Knorpelflächen ulnarseits an der proximalen Lunatumfläche und am Ulnakopf (Löw et al. 2018). Führt dies zu einer schmerzhaft gestörten Kraftübertragung, spricht man vom Ulnaimpaktions-Syndrom (Palmer and Werner 1981). Besonders prädisponiert, vor allem für degenerative Läsionen des zentralen TFCC und somit auch für das Ulnaimpaktionssyndrom, sind Patienten mit sogenannter Ulnaplusvariante. Dabei ist die Ulna in Relation zum Radius zu lang, was in einer erhöhten Lastübertragung über den ulnokarpalen Teil des Handgelenks führt und degenerative Veränderungen begünstigt (Palmer et al. 1988). Der TFCC ist anfällig für altersbedingte, degenerative Veränderungen, was ein Hinweis auf die Relevanz seiner mechanischen Funktion ist (Rein et al. 2021). Schon in der dritten Lebensdekade beginnt die Degeneration und schreitet in den folgenden Jahren in Frequenz und Schwere progressiv voran. Mikic et al. konnte in einer Studie, in der 180 Handgelenke von Kadavern untersucht wurden, ab der fünften Dekade keinen komplett normalen TFCC mehr vorfinden (Mikic 1979). Zu den degenerativen Veränderungen, die Mikic beschreibt, zählen eine verminderte Zellularität des Faserknorpels, mukoide Degeneration der Grundsubstanz, Verlust elastischer Fasern, Erosionen, freiliegende Kollagenfasern, Ausdünnung und Perforation des TFCC. Übereinstimmend mit den auf TFCC einwirkenden Druck und Scherkräften waren die Veränderungen an der proximalen Fläche häufiger und schwerer, als an der distalen, dem Os lunatum zugewandten Fläche. Ein schweres Ulnaimpactionssyndrom kann schließlich zur Arthrose im Ulnokarpalgelenk führen (Löw et al. 2018). Für die Unterscheidung ob TFCC-Läsionen traumatisch oder degenerativ bedingt sind, dient dem Chirurgen die Einteilung nach Palmer wie ein Tabelle 1 dargestellt. Besonders bei zentralen Läsionen lässt eine histologische Differenzierung keine eindeutigen Schlüsse zu, da die Knorpelzellen nicht nur bei degenerativen, sondern auch bei

traumatischen Läsionen apoptotischen Vorgängen unterliegen (Unglaub et al. 2007a). Je größer der zeitliche Abstand zwischen dem Unfallereignis und der histologischen Untersuchung, desto mehr ähnelt das histologische Bild einem degenerativen Schaden. Nach spätestens 18 Monaten ist keine Differenzierung mehr möglich (Unglaub et al. 2007b). Tab. 2 gibt einen Überblick über klinische Merkmale anhand derer die zentrale TFCC-Läsion einer traumatischen oder degenerativen Ursache zugeordnet werden kann (Löw et al. 2018).

| | Traumatisch | Degenerativ |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| Form | Schlitzförmig | Oval bis rund |
| Läsionsbegrenzung | Dick | Ausgedünnt |
| Gewebeeigenschaft | Stabil/glatt | Faserig/sulzig |
| Farbe | Weißlich | Gelblich |

Tab.2 Klinische Merkmale traumatischer und degenerativer TFCC-Läsionen (Löw et al. 2018)

1.4 Diagnostik von TFCC Läsionen

Ulnarseitige Handgelenksbeschwerden sind ein häufiger Vorstellungsgrund. Häufig kommen TFCC-Läsionen durch Schmerzen bei der Durchführung von Rotationsbewegungen, wie beispielsweise das Auswringen eines Handtuchs zum Vorschein. Ulnarseitige Handgelenksschmerzen beim Heben schwerer Gegenstände kann Hinweis auf TFCC-Läsion und/oder DRUG Instabilität sein. Auch Ruheschmerzen können später hinzukommen, was meist Hinweis auf eine begleitende Synovialitis im ulnokarpalen Gelenkabschnitt ist (Löw et al. 2018). Zur Diagnostik sollte zunächst wie üblich eine zielführende handchirurgische Anamnese erhoben werden. Daraus können sich Hinweise ergeben, ob es sich um eine Pathologie degenerativen oder traumatischen Ursprungs handelt, abhängig vom zeitlichen und situativen Beginn der Symptomatik (Kirchberger et al. 2015a). Verletzungen in der Vorgeschichte, wie beispielsweise eine zurückliegende distale Radiusfraktur, können bei entsprechender persistierender Klinik den Verdacht auf eine Läsion des TFCC lenken (Meier et al. 2003; Gologan et al. 2019). Eine in Verkürzung ausgeheilte distale Radiusfraktur führt dabei zu einem sekundären Ulnaimpaktions-Syndrom mit entsprechender Symptomatik (Löw et al. 2018). Für die Therapieplanung ist die gründliche Diagnostik essentiell und entscheidend für eine erfolgreiche Behandlung (Kleinman 2015).

1.4.1 Klinische Untersuchung

Im Rahmen der klinischen Untersuchung sollte das Handgelenk zunächst im Seitenvergleich inspiziert werden. Hauptaugenmerk dabei sollte auf möglichen Erhebungen am Ulnakopf, Schwellungen des prästyloidalen Recessus oder der ECU-Sehnscheide sein (Kirchberger et al. 2015a). Im Anschluss sollten Weichteile zunächst durch Palpation weiter untersucht werden. Dies sollte aufgrund von interindividuellen Unterschieden und um diskrete Auffälligkeiten nicht zu übersehen auch stets im Seitenvergleich geschehen (Spies et al. 2021b). In der Literatur werden zahlreiche klinische Tests beschrieben, um Pathologien des TFCC zu diagnostizieren. Diese Tests sind bezogen auf ihre Sensitivität und Spezifität unterschiedlich evaluiert. Am besten evaluiert sind das *ulnare Foveazeichen*, der *dorsopalmare Stresstest* und der *Presstest* (Kirchberger et al. 2015b). Beim „ulnaren Foveazeichen“ wird eine weichteilige Region des ulnaren Handgelenks, die Fovea ulnaris, die zwischen Os triquetrum und Ulnakopf ulnopalmar der ECU-Sehne liegt untersucht. Wenn bei Palpation der Fovea ulnaris Schmerzen auslösbar sind, spricht man vom sogenannten *positiven ulnaren Foveazeichen* (siehe Abb. 17). Ursachen hierfür können eine foveale Störung des TFCC sein, eine Synovialitis des prästyloidalen Recessus oder eine Pathologie des Meniscus homologue. Tay et al. attestieren dem *ulnaren Foveazeichen* eine Sensitivität von 92% für die Detektion von fovealen TFCC-Läsionen und/oder ulnotriquetrale Bandverletzungen und eine Spezifität von 86,5% im Vergleich zur Handgelenksarthroskopie als Referenzstandard (Tay et al. 2007).



Abb. 17 Der Untersucher übt mit seinem Daumen Druck auf die Fovea des linken Handgelenks des Patienten aus, um das ulnare Foveazeichen zu provozieren. (Quadlbauer et al. 2018)

Der *dorsopalmare Stresstest* dient der Feststellung einer Translation im der Ulna. Dafür umfasst der Untersucher mit einer Hand die Speiche und mit der anderen den Ulnakopf. Durch abwechselnde Krafterlösung nach dorsal und palmar kann das translatorische Bewegungsausmaß erfasst werden. Das Bewegungsausmaß kann in 4 Grade eingeteilt werden:

- Grad 0: physiologische Artikulation,
- Grad 1: Bandlaxizität ohne Funktionsverlust mit festem Anschlag,
- Grad 2: dynamische Instabilität mit Funktionsverlust und fehlendem Anschlag,
- Grad 3: spontane Subluxation mit Reposition unter aktiver Unterarmrotation.

In Studien zeigt der *dorsopalmare Stresstest* eine Sensitivität von 59% und eine Spezifität von 96% bezogen auf die Handgelenksarthroskopie.

Ein weiterer leicht durchzuführender Test für die Detektion von TFCC-Läsionen ist der *Presstest*. Dafür stützt der Patient sich beim Aufstehen von einem Stuhl an der Armlehne ab. Empfindet der Patienten dabei Schmerzen im ulnaren Handgelenk, so ist der Test positiv (Quadlbauer et al. 2018). In einer klinischen Studie mit 27 Patienten, konnte für den *Presstest* eine Spezifität und Sensitivität von je 100% ermittelt werden. Aufgrund der kleinen Kohorte und Limitationen im Studiendesign ist die Werte mit Vorsicht zu genießen (Lester et al. 1995).



Abb. 18 Dorsopalmarer Stresstest (Quadlbauer et al. 2018)

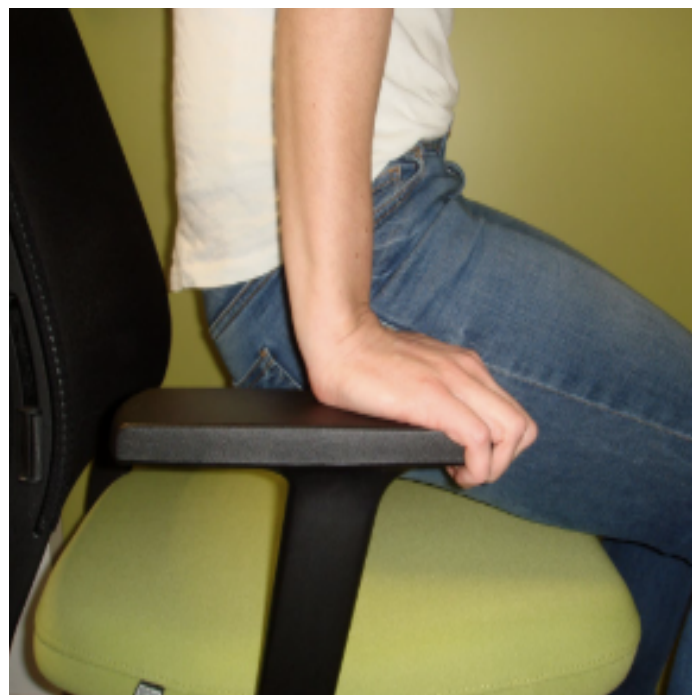


Abb. 19 Presstest (Kirchberger et al. 2015)

Zur Beurteilung der Stabilität des distalen Radioulnargelenk ist die klinische Diagnostik entscheidend (Spies et al. 2021b). Dafür stehen verschiedene Tests zur Verfügung, deren Ziel es ist, durch Palpation eine mögliche Instabilität bzw. vermehrte Translation im DRUG festzustellen.

Beim *ulnokarpalen Stresstest* wird bei forcierter Ulnarabduktion durch den Untersucher eine Pro- und Supinationsbewegung durchgeführt. Treten dabei Schmerzen auf, wird der Test als positiv gewertet, was unter anderem beim Vorliegen einer TFCC-Läsion der Fall ist. Der Test ist jedoch kein Beweis für eine TFCC Pathologie, sondern nur für eine ulnarseitige Pathologie des Handgelenks (100% Spezifität) (Nakamura et al. 1997). Der *Ballotement-Test* als dynamischer Test in Neutralstellung, Pronation und Supination hat sich diesbezüglich bewährt (Kleinman 2015; Spies et al. 2014). Alternativ kommt der *simultane Subluxationstest* in Frage, bei dem die Zeigefinger der Untersuchers auf beide DRUG-Gelenke und die Mittelfinger auf die entsprechenden Ellenköpfe gelegt werden. Durch passive Unterarmrotation bei fixierten Handgelenken können Unterschiede im Bewegungsverhalten der Gelenkpartner im Seitenvergleich detektiert werden (Spies et al. 2021b).



Abb. 20 Durchführung eines ulnokarpalen Stresstests bei forcierter Ulnarabduktion durch den Untersucher mit Pro- und Supinationsbewegung (Quadlbauer et al. 2018).



Abb. 21 Durchführung des simultanen Subluxationstests (Quadlbauer et al. 2018).

Neben der nach anamnestischem Verdacht zielgerichteten klinischen Untersuchung sollte stets das gesamte Handgelenk untersucht werden, damit bei Folgeuntersuchungen erhobene Befunde hinsichtlich ihrer Relevanz eingeschätzt werden können (Löw et al. 2018).

Differentialdiagnostisch kommen bei ulnokarpalen Beschwerden neben der TFCC-Läsion vor allem unerkannte Handwurzelfrakturen, Arthrose im DRUG, Hamatumspitzensyndrom, Syndrom des Recessus ulnaris, Lunotriquetrale Dissoziation, Adhäsive Kapsulitis und Tendovaginitis der ECU-Sehne, in Frage (Schmitt and Lanz 2015). Löw et al. heben die Wichtigkeit der Abgrenzung zur lunotriquetralen Bandläsionen hervor und erwähnen darüberhinaus die Abgrenzung gegenüber den Handgelenkspathologien der Pisotriquetralarthrose und des PSU Impingements (Löw et al. 2018).

Ebenfalls zählen die Erfassung und Dokumentation des Bewegungsumfangs des Handgelenks und des Ellenbogens zu den grundlegenden klinischen Untersuchungen. Somit sollten im Handgelenk Extension/Flexion, Pro-/Supination und Radial-/Ulnardeviation gemessen werden. Insbesondere bei der Pro-/Supination muss darauf geachtet werden, dass der Ellenbogen am Oberkörper anliegt und 90 Grad gebeugt ist, um Ausgleichbewegungen in der Schulter zu verhindern (Quadlbauer et al. 2018). Die klinische Untersuchung dient der Orientierung und ist nicht ausreichend um eine zuverlässige Diagnose zu stellen. Daher sind weitere diagnostische Verfahren, die der Objektivierung klinischer Verdachtsdiagnosen dienen, obligat (Schmauss et al. 2016).

1.4.2 Bildgebende Verfahren

An die klinische Untersuchung sollte zielorientiert eine radiologische Diagnostik angeschlossen werden. Ziel der präoperativen bildgebenden Diagnostik ist es die exakte Lokalisation und Graduierung der TFCC-Läsion zu ermitteln, sodass eine differenzierte Therapie geplant werden kann. Der am TFCC erhobene Befund der Bildgebung darf dabei nur in engem Kontext mit der klinischen Symptomatik bewertet werden (Schmitt and Lanz 2015). TFCC-Läsionen können durch verschiedene bildgebende Verfahren beurteilt werden.

1.4.2.1 Röntgendiagnostik

Zur Basisdiagnostik bei ulnarseitigen Handgelenksbeschwerden ist die Röntgendiagnostik unverzichtbar. Nach akutem Trauma sollte zum Frakturausschluss stets eine Röntgenuntersuchung des Handgelenks in zwei Ebenen durchgeführt werden (Kirchberger et al. 2015a). Bei degenerativ verursachten TFCC-Läsionen können Plusvarianten der Ulna ursächlich eine Rolle spielen, da diese über eine erhöhte Druckbelastung zuerst zur Diskusschädigung und anschließend zur ulnokarpalen Neoartikulation zwischen Ulnakopf und den angrenzenden Handwurzelknochen (Lunatum bzw. Triquetrum) mit Manifestation eines Impaction-Syndroms führen kann (Schmitt and Lanz 2015). Um die Ulnavarianz zu bestimmen eignet sich eine präzise Röntgenaufnahme des Handgelenks in zwei Ebenen (posterior-anterior und lateral) mit der Methode der Linsenprojektion nach Gelberman (Gelberman et al. 1975). Dabei sollte das Handgelenk in der posterior-anterioren Ebene in neutraler Stellung sein ohne Flexion und bei 90° Abduktion in der Schulter. Für die laterale Ebene ist der Ellenbogen 90° zu flektieren und an den Rumpf zu adduzieren (Bhat et al. 2011). Anhand dieser Methode kann die Ulnavarianz mit und ohne Belastung gemessen werden (Löw et al. 2018). Auf die neutrale Stellung des Handgelenks ist besonders großen Wert zu legen, da eine pronierte Handgelenksposition fälschlicherweise eine Ulnaplusvariante vortäuschen kann (Tomaino 2000).

Durch Röntgendiagnostik können zusätzlich zystische Einschlüsse, kortikale Irregularitäten, Kalzifikationen und arthrotische Umbauten gezeigt werden (Schmitt and Lanz 2015). Zystische Einschlüsse an der Fovea capitis ulnae sprechen für eine Schädigung des ulnoproximalen Diskuszügels, kortikale Irregularitäten an der Spitze des PSU für eine Läsion des ulnodistalen Zügels der ulnaren Diskusfixation. Kalzifikationen sind charakteristisch für eine Chondrokalzinose als Auslöser des degenerativen Geschehens.

Der TFCC selbst kann durch eine Röntgenuntersuchung nicht evaluiert werden, weshalb es nur als ergänzendes bildgebendes Verfahren angesehen werden kann (Kirchberger et al. 2015a).



Abb. 22 Dorsopalmare Röntgenprojektion postoperativ bei PSU-Fraktur nach Versorgung mit Schraubenosteosynthese.
Mit freundlicher Genehmigung von PD. Dr. med. Christian Spies (leitender Oberarzt, Vulpiusklinik Bad-Rappenau)

1.4.2.2 MRT und MR-Arthrografie

Beim Verdacht auf degenerative bzw. traumatische TFCC-Läsion oder ulnokarpales Impaction-Syndrom kann eine MR-Untersuchung zur Abgrenzung anderer Pathologien hilfreich sein kann (Löw et al. 2018). Die MRT-Untersuchung erreicht unter Studienbedingungen eine Sensitivität und Spezifität von über 90% bezüglich der Diagnostik von TFCC-Läsionen (Schmitt and Lanz 2015). In der klinischen Praxis, außerhalb klinischer Studien, konnten diese hohen Werte nicht bestätigt werden (Hahn et al. 2012). Es stehen 2 MRT-Protokolle zur Verfügung. Zum einen die Standard-MRT-Untersuchung bei klinischem Verdacht auf TFCC-Läsion und zum andern die MR-Arthrografie bei fokussierter Fragestellung (z.B. Ruptur des ulnoproximalen Diskuszügels) (Schmitt and Lanz 2015). Für die optimale MRT-Bildgebung sollten bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Dazu gehören die Flussdichte von 1,5 T oder 3,0 T, eine dezidierte Handspule, ein „field-of-view“ von 8-10 cm, eine Schichtdicke von 2 mm für 2D-Sequenzen und Partitionsdicke von 0,5 mm für 3D-Datensätze und die Verwendung eines intravenösen oder intraartikulären

Kontrastmittels auf Gadolinumbasis (Schmitt and Lanz 2015). Die Untersuchungstechnik richtet sich nach der Vaskularisation der zu untersuchenden Struktur. Die Untersuchung des avaskulären Zentrums des TFCC sollte anhand von PDw bzw. T2w Sequenzen erfolgen (Schmitt and Lanz 2015). Liegt ein Erguss an der Rupturstelle vor, kann im nativen MRT anhand des T2-Kontrastes eine Läsion nachgewiesen werden. Da jedoch häufig kein Erguss vorliegt, weist die native MRT die geringste Nachweisrate von zentralen TFCC-Läsion auf. Bildgebender Referenzstandard ist daher die Zweikompartiment-MR-Arthrografie in T1w Sequenz, bei welcher die mit Kontrastmittel gefüllte Rupturstelle dargestellt werden kann (Schmitt and Lanz 2015).

Traumatische TFCC-Läsionen

Bei Typ 1A Läsionen nach Palmer findet sich eine vertikale, schlitzförmige Linie, die ca. 2 mm vom radialen Diskusursprung entfernt ist und beide Oberflächen des Diskus erreicht. Wenn kein Gelenkerguss vorliegt können Typ 1A Läsionen im MRT leicht übersehen werden. Bei Typ 1D Läsionen ist eine vertikale Linie mit hohem Signal zwischen dem hyalinen Gelenkknorpel der Incisura ulnaris radii und dem abgelösten Discus ulnocarpalis gelegen. Die Diagnostik der vaskularisierten TFCC-Peripherie erfolgt auf dem Boden einer fokalen Hyperämie mit Kontrastmittelanreicherung am Ort der Synovialitis bzw. fibrovaskulären Reparatur. Ohne intravenöses Kontrastmittel können periphere Diskus- und Ligamentrupturen nur schlecht erkannt werden. Bei Typ 1B Läsionen ist diese Kontrastmittelanreicherung in Höhe der Fovea capitis ulnae oder an der Spitze des PSU. Bei Typ 1C Läsionen findet sich die Kontrastmittelanreicherung im Verlauf des Lig. ulnolunatum bzw. Lig. ulnotriquetrum, selbes Anreicherungsprinzip gilt für Rupturen der Ligg. radioulnaria (Schmitt and Lanz 2015).

Degenerative TFCC-Läsionen

Frühe degenerative Diskusveränderungen führen in T2w Sequenzen zu signalreichen Flecken und Linien im avaskulären Zentrum des Diskus, ohne dass die Diskusoberfläche erreicht wird. Ursachen sind mukoidzystische Einschlüsse sowie eine geänderte Bindung für „freies Wasser“. Späte degenerative Diskusveränderungen sind durch eine Formänderung des Diskus charakterisiert und lassen sich am besten in der MR-Arthrografie darstellen. Inkomplette Perforationen lassen sich dabei von kompletten Perforationen unterscheiden. Heterointense

Knorpelinschlüsse und Knorpelhöhenminderung stellen im MRT degenerative Chondropatien ab Stadium 2B nach Palmer dar. Am besten gelingt dieser Nachweis bei Vorliegen eines Gelenkergusses (Schmitt and Lanz 2015).

Die MR-Arthrografie, von Schmitt als „Problemlöser“ in unklarer Situation bezeichnet, stellt zentrale und periphere TFCC-Läsionen durch das intraartikuläre Kontrastmittel anhand des Volumeneffekts und einer Kontrastoptimierung dar (Schmitt 2018). Für die ätiologische Differenzierung muss auf besonders auf die Lokalisation und die Form der Schädigung geachtet werden. Bei akuten traumatischen Rupturen hat der Diskusdefekt eher scharfe Ränder, bei chronischen Degenerationen eher stumpfe Ränder. Degenerative Einschlüsse weisen ein intermediäres Signal, Rupturen oder Perforationen ein hyperintensives Signal.

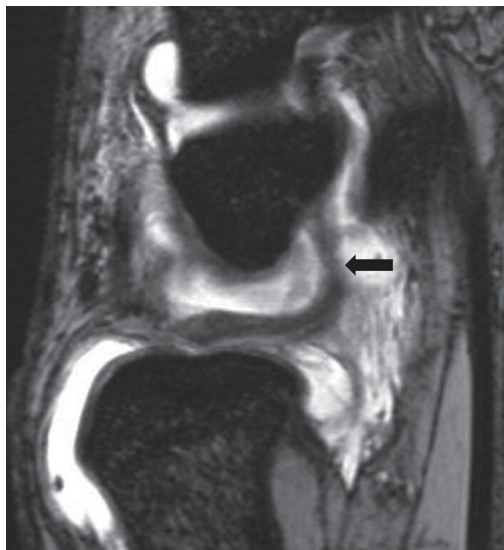


Abb. 23 Das Lig. ulnotriquetrum (Pfeil) verläuft an der ulnopalmarischen Seite der Handwurzel zwischen Diskus und Triquetrum. Sagittale Schicht (T1w FSE fs) einer MR-Arthrografie. (Schmitt und Lanz 2015)

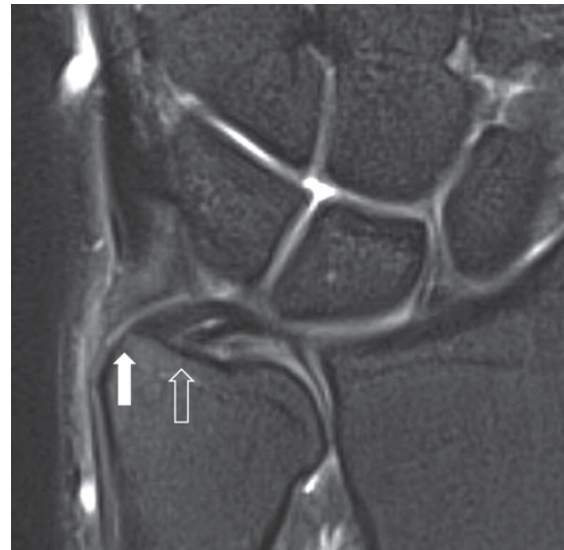


Abb. 24 Discus ulnocarpalis (TFC) in einer koronalen MRT (PDw FSE fs). Der ulnoproximale Zügel (Pfeil) und der ulnodistale Zügel (offener Pfeil) sind in der Schichtebene vollständig dargestellt (Schmitt und Lanz 2015)

1.4.3 Handgelenksarthroskopie

Sofern die klinische Untersuchung und die Bildgebung die klinische Symptomatik bei ulnaren Handgelenksschmerzen nicht hinreichend erklären, wird die diagnostische Arthroskopie des Handgelenks durchgeführt (Schmitt and Lanz 2015). Die Handgelenksarthroskopie hat sich als Goldstandard in der Diagnostik von TFCC-Läsionen etabliert, da durch diese mit hoher diagnostischer Genauigkeit traumatische

und degenerative TFCC-Läsionen erkannt werden (Mannil et al. 2016; Slutsky 2012; Löw et al. 2013; Hahn et al. 2012; van Schoonhoven 2016). Die Arthroskopie ermöglicht eine visuelle, taktile und dynamische Untersuchung von Knorpelflächen und Bandstrukturen, sowie die bei synovialitischen Reizzuständen die Chance der diagnostischen Abklärung mittels Biopsie und histologischer Untersuchung. Die vollständige Arthroskopie des Handgelenks umfasst immer das radiokarpale, das ulnokarpale und das mediokarpale Gelenkkompartiment (Löw et al. 2014a).

Nach Ausschluss von Kontraindikationen (v.a. Weichteilinfekte, starke narbige Verziehungen mit Gefahr der Verletzung von Nerven und Gefäßen) und entsprechender Patientenaufklärung erfolgt die Durchführung der Handgelenksarthroskopie nach standardisiertem Schema. Der Patient wird dafür in Rückenlage gelagert. Ein sterilisierbares Handarthroskopiesystem ermöglicht die vertikale Lagerung des Oberarms bei 90° angewinkeltem Ellenbogen, senkrechtem Unterarm in Neutralposition und Fixierung der Finger D2-D5 steril in einer speziellen Handhalterung. Ein Armgurt unter 3-4 kg axialer Traktion sorgt für eine Handgelenksdistraction. Die Schulter sollte dabei „frei“ sein und nicht auf der Unterlage aufliegen, damit die Traktion nicht behindert wird. Der Eingriff wird, wenn vom Patienten nicht anders gewünscht in Plexus-axillaris-Anästhesie und mit Oberarmblutleere durchgeführt. Dies sorgt für vollständige Relaxation der oberen Extremität, erleichtert die Einbringung des Instrumentariums und bietet somit gute Übersicht. Nach Stichinzision der Haut wird die Kapsel stumpf präpariert und die Optik über das 3-4 Portal und das Arbeitsinstrumentarium über das 4-5 Portal eingebracht. Alternativ kann das 6R Portal für das Instrumentarium genutzt werden, das 6U Portal sollte jedoch aufgrund der Nähe zum Ramus dorsalis des Nervus ulnaris nur unter Darstellung dessen verwendet werden. Als Arthroskopiemedium kommt standarmäßig Raumluft zum Einsatz. Wird ein Shaving nötig, ist eine Spülung mit NaCl unvermeidbar. Beim diagnostischen Rundgang werden alle Gelenksabschnitte untersucht und alle Befunde mit Bild- oder Videodokumentation, sowie anschließend schriftlich dokumentiert (Löw et al. 2014a).

Arthroskopisch kann die distale Diskusoberfläche und der periphere Bandapparat des Diskus direkt eingesehen werden und auf zentrale, ulnare und distale Läsionen hin untersucht werden (Löw et al. 2018). Bei unauffälligem Befund geht die Oberfläche des der Fossa lunata radii mit kontinuierlichem Übergang auf die Diskusoberfläche über. Dabei gleicht der Discus ulnocarpalis in seiner Funktion als „Stoßdämpfer“ das

Höhenniveau zwischen Radius und Ulna vollständig aus. Mit dem Tashaken, der durch das 6R Portal eingeführt wird, kann die Spannung des TFCC überprüft werden. Beim Normalbefund findet sich ein „Trampolineffekt“, der die Unversehrtheit des Diskus und der peripheren Ligamente beweist. Die Inspektion sowie die Palpation mittels Tashaken sind entscheidende Beurteilungsparameter in der arthroskopischen Untersuchung des TFCC (Schmitt and Lanz 2015). Ein weiterer wichtiger Test ist der „Push-off-Needle-Test“, welcher der Beurteilung des Lig. subcruentum dient. Dafür wird eine Tuohy-Nadel ulnokarpal eingeführt und proximal des Discus ulnocarpalis platziert. Durch Manipulation an der Nadel wird die Nadelspitze bewegt und gegen den Discus ulnocarpalis geführt. Anhand des Gewebewiderstands kann die Anheftung des Lig. subcruentum bzw. die Gewebequalität des TFCC beurteilt werden (Spies et al. 2021b). Bei pathologischem Befund TFCC kann an die diagnostische Untersuchung eine therapeutische Arthroskopie angeschlossen werden (Schmitt and Lanz 2015).



Abb. 27 Handgelenksarthroskopie, linkes Handgelenk. Durchführung eines Push-off-Needle Test. Bild aus: Vulpiusklinik Bad Rappenau von und mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. med. Christian Spies

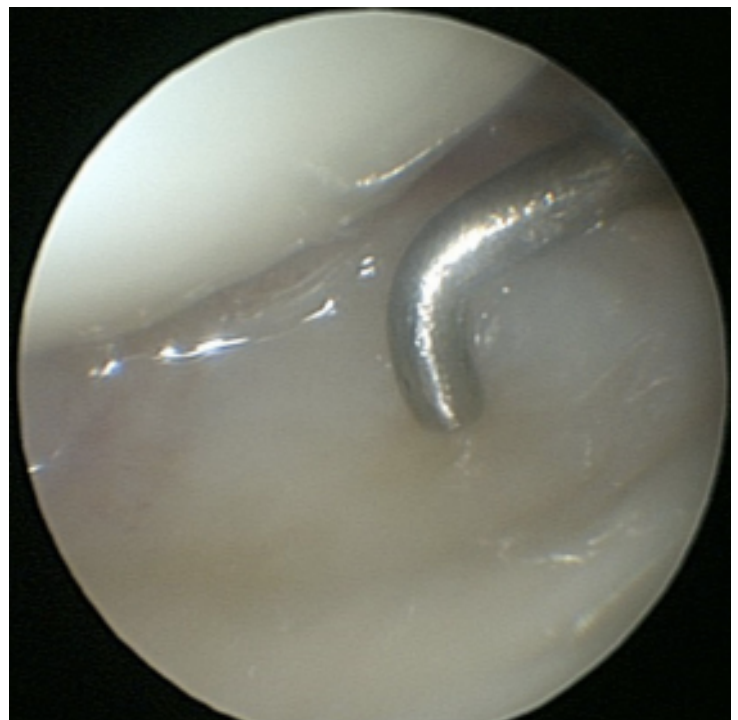


Abb. 28 Arthroskopischer Blick auf den Discus ulnocarpalis, der mit Hilfe eines Tashakens untersucht wird um den „Trampolineffekt“ und somit die Unversehrtheit dessen nachzuweisen (Kirchberger et al. 2015a).



Abb. 29 Steriles Operationsfeld mit Aufhängung des Arms (Löw et al. 2014a).

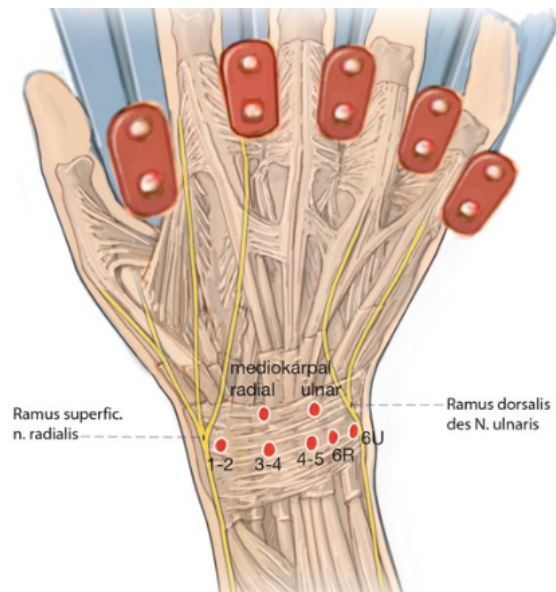


Abb. 30 Arthroskopieportale und deren anatomische Beziehung zu neurovaskulären Strukturen (Löw et al. 2014a).

1.5 Therapie von TFCC Läsionen

Für TFCC-Läsionen werden in der Literatur zahlreiche verschiedene konservative, als auch chirurgische Therapiemöglichkeiten beschrieben.

1.5.1 Konservative Therapie

TFCC-Läsionen, bei denen keine Instabilität vorliegt, sowie bei degenerative Läsionen ist eine konservative Behandlung zunächst indiziert (Löw et al. 2018; Palmer 1990). Zu den konservativen Therapiemöglichkeiten von sowohl Typ 1, als auch von Typ 2 Läsionen nach Palmer gehören die Immobilisierung im akuten Schmerzzustand (Ikeda et al. 2015), Salbenverbände mit elastischen Wickelungen, antiinflammatorische Medikamente und lokale Kortikoidgelenkinjektionen zur Linderung der häufigen Begleitsynovialitis (Löw et al. 2018). Reichen konservative Maßnahmen nicht aus, muss ein chirurgisches Verfahren in Erwägung gezogen werden (Palmer 1990).

1.5.2 Operative Therapie

Bei Typ 1 Läsionen hängt das operative Vorgehen vor allem von der Lokalisation der Läsion ab. Typischerweise werden traumatische Läsionen im gut vaskularisierten Bereich des TFCC (vorwiegend die Peripherie) chirurgisch refixiert, solche im schlecht oder nicht vaskularisierten Bereich (vorwiegend zentral) werden typischerweise debridiert (Watanabe et al. 2010). Chirurgische Therapieoptionen bei Typ 2 Läsionen

unterscheiden sich von denen bei Typ 1 Läsionen darin, dass sie häufiger im schlecht vaskularisierten Zentrum auftreten und somit vorrangig durch Debridement und weniger durch Refixierung versorgt werden (Pang and Yao 2017). Weitere chirurgische Therapiemöglichkeiten bei Typ 2 Läsionen stellen beim Vorliegen eines Ulna-impaction Syndrom die Ulnaverkürzungsosteotomie und die Wafer-Resektion dar. Bei diesen Verfahren wird durch die Verkürzung der Ulna die Ulnavarianz vermindert und somit der ulnokarpale Abschnitt entlastet (Löw et al. 2018).

1.5.2.1 Arthroskopische Therapieverfahren

Laut einer Umfrage unter 45 Ärztinnen und Ärzten erfolgt die operative Therapie von TFCC-Läsionen in 90% der Fälle arthroskopisch und in 10% offen-chirurgisch (Schädel-Hopfner et al. 2012). Das arthroskopische Debridement ist das Mittel der Wahl bei degenerativen und traumatischen TFCC-Läsionen (Löw et al. 2014a; Schädel-Hopfner et al. 2012). Spies et al. beschreiben das arthroskopische Debridement zentraler degenerativer TFCC-Läsionen als sicher, zuverlässig und effizient, sogar beim Vorliegen einer Ulna-plusvariante (Spies et al. 2021a). Ziel dabei ist es die Ränder eines zentralen TFCC-Einrisses mit einem Resektor zu reseziieren und anschließend mit dem Shaver zu debriedieren. Dadurch wird ein Einklemmen der TFCC-Ränder vermindert, was abhängig von der Ulnavarianz zu Schmerzlinderung führt (Löw et al. 2018). Zeigt sich in der klinischen Untersuchung nach traumatischer TFCC-Läsion eine Instabilität im DRUG, sollte der betroffene TFCC-Anteil anatomisch refixiert werden. Im Falle einer 1B Läsion kann dies durch eine arthroskopisch assistierte Naht der tiefen radioulnaren Ligamente erfolgen. Komplettrupturen der distalen radioulnaren Ligamente bei jungen Patienten und bei Athleten sollten jedoch offen-chirurgisch behandelt werden, sodass sowohl die oberflächlichen als auch die die tiefen Bandanteile genäht werden können. Eine Kontraindikation für eine Naht oder Rekonstruktion des TFCC stellt die DRUG-Arthrose dar. Eine Ulna-plus-Varianz muss wenn nötig zusätzlich korrigiert werden (Spies et al. 2021b).

1.5.2.2 Ulnaverkürzungsosteotomie

Die Therapie von degenerativ verursachten TFCC-Läsionen erfolgt nach zwei Prinzipien, der Behandlung des eigentlichen TFCC-Schadens und der langfristigen Entlastung des ulnokarpalen Komplexes durch Ulnaverkürzung (Schädel-Hopfner et

al. 2012). Die Ulnaverkürzungsosteotomie ist ein extraartikuläres Verfahren zur Verminderung der Ulnavarianz, wodurch eine Druckentlastung im ulnokarpalen Gelenkabschnitt erreicht wird (Löw et al. 2018; Unglaub 2020). Zusätzlich wird der TFCC angespannt, wodurch eine Stabilisierung des distalen Radioulnargelenks erreicht wird (Unglaub 2020). Indiziert ist die Ulnaverkürzungsosteotomie beim therapieresistenten primären oder sekundären Ulna-Impaction-Syndrom, sofern konservative und arthroskopische Behandlungsmöglichkeiten ausgeschöpft sind (Möldner et al. 2015; Terzis et al. 2019). Der Eingriff erfolgt über einen ulnopalmaren Zugang im distalen Drittel der Ulna. Diese wird dargestellt und mit einer winkelstabilen Platte versehen. Mit Hilfe einer frei einstellbaren Osteotomielehre wird in 45° oder 90° eine entsprechende Knochenscheibe reseziert, wobei die 45°-Methode überlegen zu sein scheint (Unglaub 2020). Nach Entfernung der Knochenscheibe werden die beiden Osteotomiebereiche durch einen rotationsgesicherten Kompressionsapparat approximiert. Zuletzt erfolgt die Stabilisierung der winkelstabilen Plattenosteosynthese mittels Schrauben proximal und distal der Osteotomiezone. Zu den Kontraindikationen gehört die Arthrose im distalen Radioulnargelenk (Terzis et al. 2019), eine in Fehlstellung verheilte Radiusfraktur mit ausgeprägter Fehlstellung (Löw et al. 2014b) oder eine Inkongruenz zwischen Incisura ulnaris radii und Ulnakopf (Unglaub 2020).

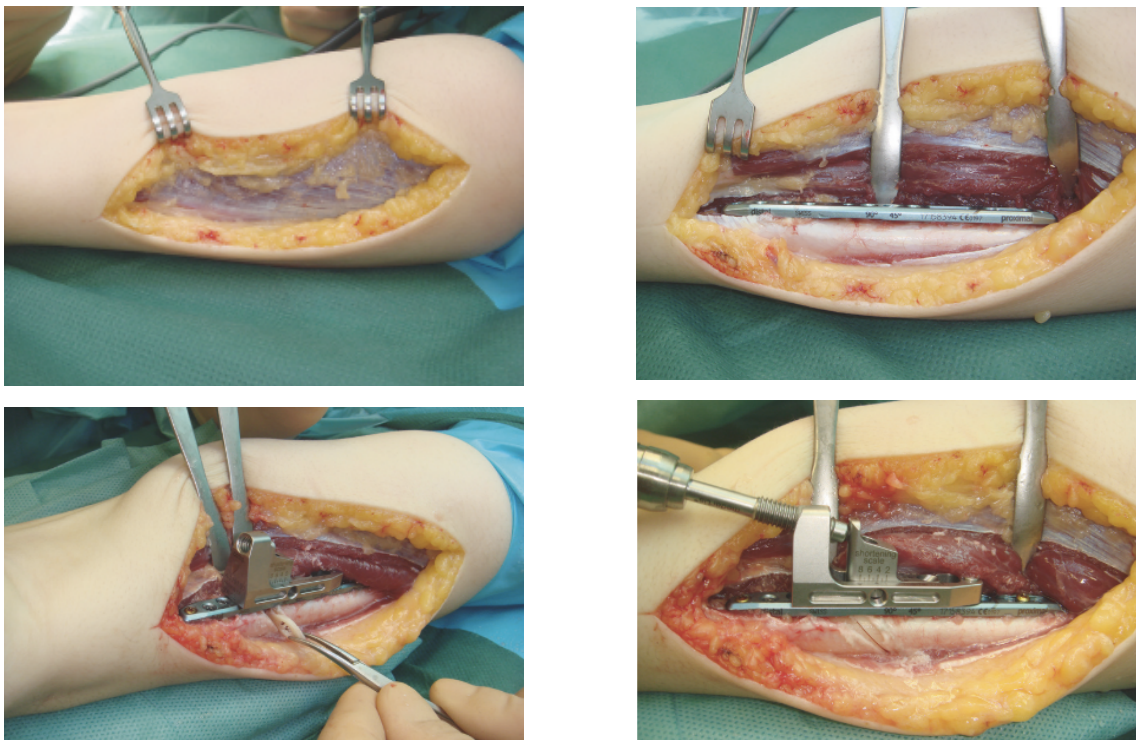


Abb. 31 Ulnopalmarer Zugang (oben links), Aufbringen der winkelstabilen Platte (oben rechts), Resektion und entnahme der Knochenscheibe mit Hilfe des Kompressionsapparats (unten links), Kompression der beiden Osteotomiebereiche (unten rechts) (Unglaub 2020)

1.5.2.3 Wafer-Resektion

Im Gegensatz zur Ulnaverkürzungsosteotomie ist die Wafer-Resektion ein intraartikuläres Verfahren. Es dient ebenfalls der Druckentlastung des ulnokarpalen Gelenkskompartiments (Löw et al. 2018). Die Operation wird heutzutage meist arthroskopisch durchgeführt, wobei im Vergleich zur Ulnaverkürzungsosteotomie keine Knochenscheibe entfernt wird. Mit dem Ziel den Kontakt zwischen Ulnakopf und Karpus zu reduzieren Arthroskopisch wird korrespondierend zum Karpus in Pronation, Neutralstellung und Supination eine Grube in den Ulnakopf gefräst (Del Gaudio and Haerle 2016). Vorteil des Eingriffes ist die Minimalinvasivität des arthroskopischen Vorgehens im. Zu den Nachteilen gehört die flache Lernkurve und das Risiko der Verletzung des distalen Radioulnargelenks (Löw et al. 2018). Darüberhinaus ist der Eingriff nur dann indiziert, wenn der TFCC einen zentralen Schaden aufweist, keine Instabilität im DRUG vorliegt, die Plusvariante der Ulna unter 4 mm beträgt (Feldkamp 2004) und der Patient sich nicht mehr im Wachstum befindet (Del Gaudio and Haerle 2016).

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie wurde durch die Ethikkommission der Universität Heidelberg genehmigt (Ethik-Votum, Zeichen: S-175/2012). Auf Grundlage von MRT- und Arthroskopiebefunden wurden retrospektiv Daten erhoben. Die MRT-Befunde stammen vornehmlich von Radiologen aus der Rhein-Neckar Region. Alle Arthroskopiebefunde stammen aus der Vulpiusklinik Bad Rappenau. Durchgeführt wurden die Arthroskopien durch drei Fachärzte der Vulpiusklinik Bad Rappenau, wovon zwei über eine abgeschlossene Zusatzbezeichnung Handchirurgie verfügen. Die Ergebnisse der genannten Untersuchungen wurden nach Anonymisierung der Daten verglichen und statistisch ausgewertet.

Neben einer Gesamtauswertung, wurden jeweils auch für die Jahre von 2013 bis 2021 separate Jahresstatistiken erfasst, um Unterschiede im Laufe der Zeit feststellen zu können.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Zunächst wurden alle Patienten identifiziert, bei denen zwischen März 2013 und Juni 2021 in der Abteilung für Handchirurgie der Vulpiusklinik Bad Rappenau von einem der drei ausgewählten Fachärzte, ungeachtet der Indikation eine Handgelenkarthroskopie durchgeführt wurde. Aus diesem Kollektiv wurden schließlich alle Patienten in die Studie aufgenommen, die maximal 6 Monate vor der Arthroskopie eine präoperative MRT-Untersuchung des Handgelenks erhalten haben. Patienten jeden Alters und jeden Geschlechts wurden in die Studie inkludiert.

2.3 Patientendemographie

Insgesamt wurden 859 Patienten in die Studie aufgenommen. Davon sind 424 weiblich (49,36%) und 435 männlich (50,64%). Das Durchschnittsalter zum Untersuchungszeitpunkt entsprach 43,1 Jahren, während der jüngste Patient 10 Jahre alt und der älteste Patient 84 Jahre alt war. Bei 397 Patienten (43,77%) handelte es sich beim betroffenen Handgelenk um das linke und bei 483 Patienten (56,23%) um das rechte.

| Durchschnittsalter – in Jahren | weiblich – n | männlich – n | linkes Handgelenk – n | rechtes Handgelenk – n |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 43.1 | 424 | 435 | 379 | 483 |

Tab. 3 Demographische Daten der Studienpopulation.

2.4 Auswertung der MRT-Befunde

Über 100 Radiologinnen und Radiologen aus 25 verschiedenen Radiologischen Kliniken und Praxen führten die MRT-Untersuchungen durch und befundeten die MRTs. Aus den vorliegenden MRT-Befunden wurden die folgenden Kriterien ermittelt:

- Befund des TFCC
- Klassifikation nach Palmer bei Vorliegen einer TFCC Läsion
- Einsatz einer Oberflächenspule
- Einsatz von Kontrastmittel
- Feldstärke des MRT Geräts in Tesla (T)
- Untersuchungsdatum

2.5 Auswertung der Operationsberichte

Zwei zertifizierte Handchirurgen, sowie ein Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie führten die Handgelenksarthroskopien durch und befundeten diese im Anschluss. Insgesamt 699 Arthroskopie wurden dabei von den beiden Handchirurgen und 160 Arthroskopie durch den Facharzt ohne abgeschlossene Zusatzbezeichnung Handchirurgie durchgeführt. Die Arthroskopie des Handgelenks erfolgt in der Vulpiusklinik Bad Rappenau nach standardisiertem Protokoll. Dieses sieht vor, dass sich der Arm der betroffenen Seite in hängender Position befindet, ein Aufhängesystem zur Distraction der Hand mit ca. 4kg Gewicht zum Einsatz kommt und eine Oberarmblutsperr mit durchschnittlich 300 mmHg verwendet wird. Als Zugänge für das 2,4 mm Arthroskop mit 30° Optik dienen die Portale 3-4, 6R und mediokarpal-radial (MKR). Die diagnostische Arthroskopie erfolgt zunächst ohne Flüssigkeit und ohne Gas. Wenn eine therapeutische Intervention nötig wird, erfolgt diese in wässrigem Medium. Im Anschluss an eine jede Arthroskopie wird eine

Operationsbericht verfasst, in dem unter anderem die gestellte Diagnose erfasst wird, sowie bei Vorliegen einer TFCC-Läsion die observierte Klassifikation nach Palmer festgehalten wird. Die vorliegenden Operationsberichte dienten als Quelle für die Ermittlung der folgenden Kriterien:

- Durchführender Facharzt mit oder ohne abgeschlossene Zusatzbezeichnung Handchirurgie
- Befund des TFCC
- Klassifikation nach Palmer bei Vorliegen einer TFCC-Läsion
- Gestellte Diagnose

2.6 MRT- und Arthroskopiebefunde im Vergleich

Die arthroskopischen Befunde wurden mit den radiologischen Befunden hinsichtlich des Vorliegens auffälliger Befunde des TFCC und der vorgenommenen Klassifikation von TFCC Läsionen nach Palmer verglichen. 438 der MRT-Berichte enthielten keine Informationen bezüglich der Klassifikation von TFCC-Läsionen nach Palmer. In allen 859 Arthroskopieberichten wurde die Klassifikation nach Palmer dokumentiert.

2.7 Statistische Auswertung

Die Datenerfassung erfolgte mit Microsoft Excel. Für die statistische Auswertung wurde SAS 9.4 WIN (SAS-Institute, Cary, NC, USA) verwendet. Die empirische Verteilung kontinuierlicher Daten (Alter) wurden mit Mittelwert und Standardabweichung erfasst. Für kategorische Daten wurden die absoluten und relativen Häufigkeiten berechnet. Darauf basierend wurde anschließend die Sensitivität und Spezifität für verschiedene Szenarien ermittelt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Sensitivität und Spezifität (gesamtes Kollektiv)

| Jahr | Sensitivität - % | Spezifität - % | Anzahl Patienten - n |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2013 | 70.27 | 50.00 | 49 |
| 2014 | 83.33 | 32.00 | 73 |
| 2015 | 84.91 | 54.76 | 95 |
| 2016 | 73.53 | 53.33 | 128 |
| 2017 | 64.10 | 57.14 | 113 |
| 2018 | 78.21 | 32.76 | 136 |
| 2019 | 76.66 | 54.05 | 84 |
| 2020 | 72.62 | 40.54 | 121 |
| 2021 | 81.25 | 46.43 | 60 |
| 2013 - 2021 | 75.24 | 46.71 | 859 |

Tab. 4 Sensitivität und Spezifität im gesamten Kollektiv

Im gesamten Kollektiv und auf den gesamten Untersuchungszeitraum von 2013 bis 2021 bezogen zeigte sich in der MRT-Untersuchung des Handgelenks eine Sensitivität von 75,24% und eine Spezifität von 46,71% bezüglich der Detektion von TFCC-Läsionen im Vergleich zur Arthroskopie als Referenzstandard.

3.2 Detektierte TFCC-Läsionen (gesamtes Kollektiv)

| | arthroskopisch detektierte TFCC-Läsionen – n (%) | | | |
|--|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | <i>ja</i> | <i>nein</i> | <i>gesamt</i> |
| im MRT detektierte TFCC- Läsionen – n (%) | <i>ja</i> | 395 | 178 | 573 (66,71%) |
| | <i>nein</i> | 130 | 156 | 286 (33,29%) |
| | <i>gesamt</i> | 525 (61,12%) | 334 (38,88%) | 859 |

Tab. 5 Übersicht aller TFCC-Läsionen, die arthroskopisch und durch MRT detektiert wurden.

Anhand der MRT konnte bei 573 eine TFCC-Läsion festgestellt werden. Bei 395 Patienten konnte dies arthroskopisch bestätigt werden. Die übrigen 178 Patienten wiesen dem MRT-Befund zufolge keine TFCC-Läsion auf. In der Handgelenksarthroskopie wurde in 525 Fällen eine TFCC-Läsion festgestellt, wovon 395 ebenso in der MRT-Untersuchung als solche gewertet wurden.

Eine Übereinstimmung der MRT- und Arthroskopieergebnisse hinsichtlich des Vorliegens einer TFCC-Läsion konnte somit in 64,14% der Patienten ermittelt werden. Bezogen auf die Arthroskopie als diagnostischer Goldstandard war die mittels MRT-Untersuchung gestellte Diagnose einer TFCC-Läsion in 75,24% der Fälle richtig (Sensitivität), der Ausschluss einer derartigen Verletzung in 46,71% (Spezifität). Ein positiver bzw. negativer prädiktiver Wert von 68,94% bzw. 54,55% wurde erreicht.

3.3 Klassifizierte TFCC-Läsionen in MRT und Arthroskopie

| Palmer 1 | Arthroskopie – n (%) | MRT - n/% | Übereinstimmend klassifiziert |
|-----------------|---------------------------------|------------------|--|
| A | 57 (10;86%) | 8 (8,99%) | 0 |
| B | 39 (7;43%) | 52 (57,78%) | 5 |
| C | 4(0,76%) | 2 (2,22%) | 0 |
| D | 16 (3,05%) | 1(1,11%) | 0 |
| Palmer 2 | Arthroskopie – n (%) | MRT - n/% | Übereinstimmend klassifiziert |
| A | 72(13,90%) | 8 (0,89%) | 0 |
| B | 53 (10,10%) | 10 (11,11%) | 1 |
| C | 273 (52,0%) | 8 (8,89%) | 7 |
| D | 4 (0,76%) | 0 | |
| E | 5(0,95%) | 1 (1,11%) | 0 |

Tab.6 Vergleich zwischen der Arthroskopie und dem MRT in der Klassifizierung der TFCC-Läsionen nach Palmer

Von 573 im MRT auffälligen Fällen wurde in 90 (15,7%) eine Klassifikation nach Palmer vorgenommen. In den restlichen 483 (84,70%) war dies nicht der Fall. Am häufigsten (52 Fälle) wurden Läsionen als 1B Läsion nach Palmer klassifiziert, wovon sich nur 5 Fälle in der Arthroskopie bestätigen ließen. In allen OP-Berichten wurde standardmäßig die Klassifikation nach Palmer angewandt. Die arthroskopisch am häufigsten vorgefundene Läsion entspricht mit 273 Fällen (52%) dem Typ 2C, wovon 7 in der MRT-Untersuchung ebenso als solche erkannt wurden.

3.4 Spulen- und Kontrastmitteleinsatz

| Jahr | mit Spule – n (%) | ohne Spule – n (%) | gesamt |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 2013 | 19 (38,78%) | 30 (61,22%) | 49 |
| 2014 | 26 (35,62%) | 47 (64,38%) | 73 |
| 2015 | 37 (38,95%) | 58 (61,05%) | 95 |
| 2016 | 49 (38,28%) | 79 (61,72%) | 128 |
| 2017 | 33 (29,20%) | 80 (70,80%) | 113 |
| 2018 | 47 (34,56%) | 89 (65,44%) | 136 |
| 2019 | 28 (33,33%) | 56 (66,67%) | 84 |
| 2020 | 47 (38,84%) | 74 (61,16%) | 121 |
| 2021 | 25 (41,67%) | 35 (58,33%) | 60 |
| 2013 - 2021 | 311 (36,20%) | 548 (63,80%) | 859 |

Tab. 7 Anzahl der gesamten sowie anteilig mit Spule durchgeführten MRT Untersuchungen.

In 36,2% der Fälle wurde bei der MRT-Untersuchung eine Spule verwendet, in 63,80% war dies nicht der Fall. Im zeitlichen Verlauf ist kein Veränderungsmuster was den Spuleneinsatz angeht ersichtlich.

| Jahr | mit Kontrastmittel - n | ohne Kontrastmittel - n | gesamt |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------|
| 2013 | 6 (13,95) | 43 (86,04%) | 49 |
| 2014 | 13 (21,66%) | 60 (87,33%) | 73 |
| 2015 | 25 (35,71%) | 70 (64,29%) | 95 |
| 2016 | 24 (23,07%) | 104 (76,92%) | 128 |
| 2017 | 21 (22,83%) | 92 (77,17%) | 113 |
| 2018 | 33 (32,04%) | 103 (67,96%) | 136 |
| 2019 | 19 (29,23%) | 65 (70,77%) | 84 |
| 2020 | 22 (22,22%) | 99 (77,78%) | 121 |
| 2021 | 7 (13,21%) | 53 (86,79%) | 60 |
| 2013 - 2021 | 170 (24,67%) | 689 (75,33%) | 859 |

Tab. 8 Kontrastmittelnutzung bei MRT-Untersuchungen nach Jahren.

Insgesamt wurden 170 (24,67%) MRT-Untersuchungen mit i.v.-Kontrastmittel durchgeführt, bei 689 (75,33%) ist aus dem MRT-Bericht keine Kontrastmittelnutzung zu entnehmen. Analog zum Spuleneinsatz ist auch beim Kontrastmitteleinsatz über die Jahre keine Systematik zu erkennen.

3.5 Sensitivität und Spezifität abhängig von Spulen- und Kontrastmitteleinsatz

| MRT | Sensitivität - % | Spezifität - % |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| Mit Spule | 79,31 | 49,64 |
| Ohne Spule | 73,31 | 44,67 |
| Mit Kontrastmittel | 68,87 | 56,25 |
| Ohne Kontrastmittel | 76,85 | 44,44 |

Tab.9 Sensitivität und Spezifität des MRT abhängig Spulen- und Kontrastmitteleinsatz.

Abhängig vom Spulen- und Kontrastmitteleinsatz, wurden die jeweiligen Sensivitäten und Spezifitäten ermittelt. Bei Spuleneinsatz konnte sowohl eine höhere Sensivität (79,31%) als auch eine höhere Spezifität (49,64%) ermittelt werden. Entgegen der Erwartungen konnte dieser Effekt beim Einsatz von Kontrastmittel nicht festgestellt werden.

3.6 MRT-Technik

| MRT mit Spule - n | | Feldstärke des MRT-Gerätes - n | | | MRT mit Kontrastmittel - n | |
|--------------------------|------|---------------------------------------|-----|---------------|-----------------------------------|------|
| ja | nein | 1.5 T | 3 T | keine Aussage | ja | nein |
| 311 | 548 | 74 | 4 | 781 | 170 | 689 |

Tab. 10 Technische Parameter der durchgeführten MRT-Untersuchungen.

In 311 Fällen kam bei der MRT-Untersuchung eine Spule zum Einsatz. Was den Einsatz von i.v.-Kontrastmittel angeht war dies nur in 170 Fällen zu sehen. Über die Feldstärke des verwendeten MR-Gerätes für die MRT wurde in über 90% der Fälle keine Aussage getroffen.

4 DISKUSSION

In der durchgeführten Studie wurden die Spezifität und Sensitivität der MRT, verglichen mit der Handgelenksarthroskopie als Referenzstandard zur Diagnostik von TFCC-Läsionen in der klinischen Praxis, außerhalb klinischer Studien in einer relativ großen Kohorte ermittelt.

Beim Verdacht auf degenerative oder traumatische TFCC-Läsionen kann eine MRT-Untersuchung zur Abgrenzung anderer Pathologien hilfreich sein kann (Löw et al. 2018). In der muskuloskelettalen Chirurgie und speziell der Handchirurgie hat sich die MRT-Diagnostik als flächendeckend verfügbares bildgebendes Verfahren zur Beurteilung von Pathologien am Handgelenk etabliert (von Borstel et al. 2017; Anderson et al. 2008). Über die Aussagekraft dieser Untersuchung hinsichtlich der Diagnostik von TFCC-Läsionen wird kontrovers diskutiert. Hahn et al. warnen davor die MRT als „Screening-Untersuchung“ zur Diagnostik ulnarer Handgelenksschmerzen misszuverstehen (Hahn et al. 2012). Eine Metaanalyse von Smith et al. ergab für die Genauigkeit der MRT-Untersuchung gegenüber der Arthroskopie als Referenzstandard für „full-thickness“-Rupturen zwischen 85-90%, wobei höhere Feldstärken im Zusammenhang mit besseren Ergebnissen standen (Smith et al. 2012). Schmitt und Lanz geben für die MRT-Untersuchung in der Abklärung von TFCC-Läsionen Sensitivitäten und Spezifitäten von über 90% an (Schmitt and Lanz 2015). Die bis dato größte und sehr aktuelle Meta-Analyse, die unter anderem die Rolle der MRT-Untersuchung für die Diagnostik von TFCC-Läsionen untersucht, in die mehr als 20 unabhängige Studien einfließen, weist im gesamten eine gemittelte Sensitivität von 76% (72% - 80%) und eine Spezifität von 82% (77% - 86%) auf (Treiser et al. 2018). In der hier durchgeführten Studie wurde eine Sensitivität von 75,24% und eine Spezifität von 46,71% ermittelt. In diesem Fall sind die Sensitivität und Spezifität also geringer, als vorherige klinische Studien vermuten ließen. Wie lässt sich diese Diskrepanz erklären?

Es bestehen technische Einschränkungen und technische Herausforderungen, welche die Aussagekraft der MRT beeinflussen und die es bei der Interpretation derer zu beachten gilt (Kirchberger et al. 2015a; Schmauss et al. 2016). Haims et al. erkennen an, dass die Interpretation von MRT-Befunden des relativ kleinen Handgelenks im

Vergleich zu größeren Gelenken stärker von der Bildqualität abhängt, die wiederum von Patienten Bewegung, mangelnder Fettsuppression oder metallischen Artefakten von Implantaten beeinflusst wird (Snyder and Haims 2008). Zielgerichtete Indikationsstellung, hochauflösende Matrix, hoher Bildkontrast und der Einsatz gadoliniumhaltigen Kontrastmittels stellen die Basis für eine technisch optimale MRT (Ng and Tong 2019). Auf Grund der technischen Fortschritte im Laufe der Zeit wäre zu erwarten, dass sich die diagnostische Genauigkeit der MRT verbessern könnte. Jedoch hat sich in der Zeit von 2013 bis 2021, unabhängig vom Typ der TFCC Läsion, weder die Spezifität noch die Sensitivität verbessert. Darüber hinaus wurden weder häufiger Spulen eingesetzt, noch gab es einen signifikanten Anstieg was den Einsatz von Kontrastmittel und Spulen für die Erstellung von MRT-Bildern angeht. Die Spezifität und Sensitivität für MRT-Untersuchungen, die unter Spuleneinsatz durchgeführt wurden lag in dieser Studie zwar höher im Vergleich beim Gesamten Kollektiv, jedoch deutlich unter denen der genannten klinischen Studien. Die Sensitivität und Spezifität ermittelt für alle MRT-Untersuchungen, die mit Kontrastmittel durchgeführt wurden, lag sogar entgegen der Erwartung unter denen des gesamten Kollektivs.

Die Literatur deutet an an, dass eine höhere diagnostische Genauigkeit mit der MR-Arthrographie (MRA) einhergeht, anstelle der konventionellen MRT-Untersuchung ohne intraartikulären Kontrastmitteleinsatz (Chung and Zimmerman 1996). Boer et al. konnten jedoch zeigen, dass die MRA nur geringfügig bessere Ergebnisse liefert und wohl nicht allen Verdachtsfällen für TFCC Läsionen zu empfehlen ist, unter Beachtung des größeren Risikos, Aufwand und Kosten, das mit diesem invasiveren Verfahren einhergeht (Boer et al. 2018). Bei keinem der Patienten, die Teil dieser Studie waren wurde ein MRT-Untersuchung in Form einer MRA in intraartikulär appliziertem Kontrastmittel durchgeführt, was vermuten lässt, dass die MRA in unserer Region in der klinischen Praxis eine untergeordnete Rolle zur Diagnostik von TFCC-Läsionen spielt.

Häufig diskutiert wird der Nutzen von MRT Geräten höherer Feldstärken. In der hier angelegten Studie flossen jedoch unzureichend viele MRT-Untersuchungen ein, die mit einer Feldstärke über 1,5 Tesla durchgeführt wurden, um hierzu eine eindeutige Aussage treffen zu können. Vorangegangene Studien konnten die Überlegenheit von

3 Tesla Geräten gegenüber derer mit 1,5 Tesla nicht ausreichend belegt (Boer et al. 2018; Ochman et al. 2017).

In der hier aufgeführten Studie stammen die radiologischen Befunde von mehr als 100 verschiedenen Radiologen aus 25 verschiedenen radiologischen Praxen bzw. Kliniken. Dabei sind Praxisübergreifend kein einheitliches Vorgehen in der Bildgebung des Handgelenks zu erkennen, was jedoch sehr wünschenswert wäre für eine bestmögliche diagnostische Genauigkeit. In MRT-Berichten fehlen zusätzlich wichtige Informationen. Nur 15,70% aller im MRT als TFCC-Läsion diagnostizierten Fällen wurde eine Klassifikation nach Palmer vorgenommen und 90,92% erwähnten die Feldstärke des verwendeten MRT Geräts nicht im MRT-Bericht. Dieser Mangel an Informationen schmälert die diagnostische Wertigkeit der MRT in der klinischen Praxis, auch wenn möglicherweise die neueste MRT Technik zu Einsatz kommt.

Genauere Übereinstimmung in der vorgenommenen Klassifizierung nach Palmer zwischen MRT und ASK fanden wir in 13 Fällen. Dabei fiel auf, dass schließlich zwei Radiologen für die korrekten klinischen Befunde verantwortlich waren. Zum einen zeigt dies, dass nur wenige Radiologen die Klassifikation für TFCC-Läsionen nach Palmer für die Befundung in der Praxis anwenden, zum anderen, dass diejenigen Radiologen, die die Klassifikation heranziehen tendenziell genauere Diagnosen liefern.

In der MRT Diagnostik von TFCC-Läsionen sind verschiedene Fehlermöglichkeiten bekannt. Der signalreiche Gelenkknorpel der Incisura ulnaris radii, von welcher der Discus ulnocarpalis entspringt, kann leicht mit einer 1D-Läsion nach Palmer verwechselt werden. Das größte Potential für Fehldiagnosen weist die 1B-Läsion auf. Dies liegt zum einen daran, dass der dreieckige Discus ulnocarpalis nur in den mittleren Koronalschichten einer MRT in voller Länge bis zur Fovea capitis bzw. bis zum Processus styloideus ulnae dargestellt wird, während er in der dorsalen und palmaren Koronalschicht aus der Ebene herausläuft. Zum anderen befindet sich signalreiches Fettgewebe zwischen den beiden ulnaren Diskuszügeln (Schmitt and Lanz 2015). Diese geschilderten Begebenheiten können 1B-Läsionen vortäuschen und müssen mit besonderer Aufmerksamkeit von einer 1B-Läsion abgegrenzt werden. Bei Betrachtung der Daten der hier durchgeführten Studie fällt auf, dass von 90 MRT Befunden, bei denen eine Klassifizierung nach Palmer vorgenommen wurde, in 52 Fällen eine 1B-Läsion klassifiziert wurde, wovon wiederum fünf übereinstimmend auch

in der Arthroskopie als 1B-Läsion erkannt wurden. Das auffällig häufige Vorkommen von 1B-Läsionen in der MRT, die sich zum Großteil arthroskopisch nicht bestätigen ließen, deckt sich mit dem oben genannten Potential für Fehldiagnosen von Schmitt. Diese Beobachtung deckt sich mit der Feststellung von Schmitt et al., dass mit allgemeinradiologischer Expertise die präzise Abbildung aller anatomischen Bestandteile des ulnokarpalen Handgelenks, sowie mögliche Schädigungen, vergleichbar der Arthroskopie durch die MRT-Untersuchung nicht erreicht werden kann (Schmitt 2018).

In klinisch kontrollierten Studien konnte zwar die Wertigkeit der MRT bewiesen, jedoch in der alltäglichen klinischen Praxis nicht bestätigt werden (Hahn et al. 2012). Auffälligkeiten des TFCC in MR-Untersuchungen können sowohl bei symptomatischen als auch bei asymptomatischen Individuen festgestellt werden und nehmen mit steigendem Alter zu (Chan et al. 2014). Dies erschwert die Interpretation von Auffälligkeiten in der MRT vor allem bei älteren Patienten und steigert das Risiko ulnare Handgelenksbeschwerden fälschlicherweise einer TFCC-Läsion zuzuschreiben (Kato et al. 2000). Signalveränderungen im MRT des TFCC nehmen mit dem Alter der Patienten stetig zu, jedoch ohne klinische Relevanz (Mikic 1979; Rein et al. 2021). Im Alter von 70 Jahren zeigen sich bei über der Hälfte aller Patienten TFCC-Veränderungen, davon mehr als 90% ohne klinischen Verdacht auf TFCC-Läsion (Oneson et al. 1997). In der bereits erwähnten Meta-Analyse von Treiser et al. lag der Altersdurchschnitt aller Patienten bei 35,7 Jahren, während in der Kohorte der hier dargelegten Studie der Durchschnitt bei 43,1 Jahren war (Treiser et al. 2018). Unter Beachtung der Tatsache, dass ein höheres Alter mit einer höheren Wahrscheinlichkeit des Auftretens von TFCC-Läsionen einhergeht, ist der relativ gesehen hohe Altersdurchschnitt als mit einfließender Faktor zu betrachten für die höhere Anzahl der detektierten TFC-Läsionen im Vergleich zur ASK innerhalb der Studie, sowie im Vergleich zu ähnlich durchgeführten anderen Studien.

Die Arthroskopie ist der Goldstandard zur Diagnostik von TFCC-Läsionen (Spies et al. 2021b; Slutsky 2012). Durch die ASK können die anatomisch komplexen Strukturen des TFCC genau beurteilt werden. Läsionen können genau beschrieben werden und es kann unterschieden werden, ob Läsionen traumatischem oder degenerativem Ursprungs sind (Kirchberger et al. 2015a). Dies ist entscheidend für die Klassifizierung

der Läsion nach Palmer und somit für die Entscheidung über weitere therapeutische Maßnahmen (Spies et al. 2015). In bestimmten Fällen, wie beispielsweise der häufig auftretenden Typ 2C Läsion nach Palmer ist die ASK nicht nur für die Diagnostik, sondern auch für die Therapie Mittel der ersten Wahl. Dafür wird ein arthroskopisches Debridement im Zuge der initial diagnostischen ASK durchgeführt (Jawed et al. 2020; Spies et al. 2021a; Löw et al. 2018; Kwon et al. 2020). Da die Arthroskopie ein untersucherabhängiger Eingriff ist, müssen auch die hier erhobenen Befunde kritisch betrachtet werden. Die durchgeführte Studie weist eine relativ große Kohorte an Patienten auf, die alle von einem von drei fachärztlichen Chirurgen arthroskopiert wurde. Eine vergleichbare Anzahl an Patienten und ein vergleichbares „Patienten-Chirurgen-Verhältnis“ konnte in keiner englisch- oder deutschsprachigen Veröffentlichung gefunden werden. Da alle drei Chirurgen vom selben handchirurgisch zertifizierten Chefarzt ausgebildet wurden, kann ein homogenes chirurgisches Personal und eine reduzierte Interobserver-Variabilität attestiert werden.

Schlussfolgerung

Die Studie zeigte, dass die MRT-Untersuchung und die Handgelenksarthroskopie nicht zuverlässig kongruent in der Diagnostik von TFCC-Läsionen sind. Den Ergebnissen dieser Studie zufolge, ist das MRT der Arthroskopie in der klinischen Praxis außerhalb klinischer Studien weiterhin in der Erfassung von TFCC-Läsionen unterlegen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

TFCC-Läsionen führen zu schmerzhafter Funktionseinschränkung des Handgelenks. Dies kann die Durchführung alltäglicher Tätigkeiten erschweren und somit die Lebensqualität der betroffenen Patienten negativ beeinflussen. Um eine adäquate Therapie ermöglichen zu können, muss eine zielgerichtete Diagnostik durchgeführt werden. Hierzu zählt in der handchirurgischen Praxis neben der Anamnese auch die klinische Untersuchung des Handgelenks, Bildgebende Verfahren, sowie die Handgelenksarthroskopie. Bei Verdacht auf eine TFCC-Läsion bei ulnokarpalen Handgelenksbeschwerden kommt die MRT-Untersuchung routinemäßig zum Einsatz. In klinischen Studien zeigte sich für die MRT-Untersuchung eine hohe Sensitivität und Spezifität bezüglich TFCC-Läsionen im Vergleich zur Handgelenksarthroskopie als Referenzstandard. Ziel dieser Studie war es zu überprüfen, ob die hohe Sensitivität und Spezifität der präoperativen MRT-Untersuchung hinsichtlich TFCC Läsionen auch in der klinischen Praxis erreicht wird. Dafür wurden alle Patienten erfasst, bei denen zwischen März 2013 und Juni 2021 eine präoperative MRT-Untersuchung, sowie eine Handgelenksarthroskopie in der Vulpiusklinik Bad-Rappenau durchgeführt wurde. Insgesamt konnten 859 Patienten in die Studie eingeschlossen werden, davon 424 Frauen und 435 Männer, mit einem Altersdurchschnitt von 43,1 Jahren.

Die MRT-Untersuchungen wurden von über 100 verschiedenen Radiologinnen und Radiologen aus 25 verschiedenen Kliniken und Praxen für Radiologie durchgeführt und befundet. In 311 Fällen kam bei der MRT-Untersuchung eine Spule zum Einsatz. Der Kontrastmitteleinsatz wurde in 170 MRT-Befunden dokumentiert. Bei 573 Patienten wurde in der MRT-Untersuchung eine TFCC-Läsion detektiert, wovon 90 nach Palmer klassifiziert wurden. Die Handgelenksarthroskopien wurden von 3 Fachärzten durchgeführt, wovon 2 über eine abgeschlossene Zusatzbezeichnung für Handchirurgie verfügen. Arthroskopisch wurden 525 TFCC-Läsionen festgestellt, wovon alle nach Palmer klassifiziert wurden. Daraus ergeben sich für die MRT-Untersuchung eine Sensitivität von 75,24% und eine Spezifität von 46,71%. Bei den MRT-Untersuchungen wurden am häufigsten Typ 1B Läsionen (52 Fälle) festgestellt, was nur in 5 Fällen arthroskopisch bestätigt werden konnte. Arthroskopisch wurde wiederum mit 273 Fällen am häufigsten die Typ 2C Läsion diagnostiziert, wovon 7 Fälle in der MRT-Untersuchung ebenso als solche erkannt wurden. Die hohe

diagnostische Wertigkeit der MRT-Untersuchung, die in klinischen Studien erreicht wurde, konnte sich in dieser Studie aus der klinischen Praxis nicht bestätigen. Von der Nutzung der MRT-Untersuchung als „Screening-Methode“ bei ulnokarpalen Handgelenksbeschwerden ist daher abzuraten. Welche Faktoren zu besseren Sensitivitäten und Spezifitäten führen würde, kann mit der durchgeführten Studie nicht endgültig geklärt werden. Prospektive Studien könnten zeigen, ob bessere Sensitivitäten und Spezifitäten erreicht werden, wenn die Indikation zur MRT-Untersuchung von einem Handchirurgen gestellt wird, standardisierte MRT-Protokolle implementiert werden und die Palmer Klassifikation routinemäßig von Radiologinnen und Radiologen zur Einteilung von TFCC-Läsionen herangezogen wird.

6 LITERATURVERZEICHNIS

Almquist EE. Evolution of the distal radioulnar joint. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1992. p. 5–13.

Anderson ML, Skinner JA, Felmlee JP, Berger RA, Amrami KK. 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):1153–9.

Andersson JK, Axelsson P, Strömberg J, Karlsson J, Fridén J. Patients with triangular fibrocartilage complex injuries and distal radioulnar joint instability have reduced rotational torque in the forearm. *J. Hand Surg. Eur.* 2016;41(7):732–8.

Atzei A, Luchetti R. Foveal TFCC Tear Classification and Treatment. *Hand Clin.* 2011. p. 263–72.

Bednar MS, Arnoczky SP, Weiland AJ. The microvasculature of the triangular fibrocartilage complex: Its clinical significance. *J. Hand Surg. Am.* 1991. p. 1101–5.

Berger RA. The anatomy of the ligaments of the wrist and distal radioulnar joints. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2001;(383):32–40.

Bhat AK, Kumar B, Acharya A. Radiographic imaging of the wrist. *Indian J Plast Surg.* 2011;44(2):186–96.

Bickert B. Stellenwert der handgelenkarthroskopie: Immer noch notwendig? *Trauma und Berufskrankheit.* 2010;12(3):298–302.

Boer BC, Vestering M, van Raak SM, van Kooten EO, Huis in 't Veld R, Vochteloo AJH. MR arthrography is slightly more accurate than conventional MRI in detecting TFCC lesions of the wrist. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2018;28(8):1549–53.

von Borstel D V., Wang M, Small K, Nozaki T, Yoshioka H. High-resolution 3T MR imaging of the triangular fibrocartilage complex. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2017;16(1):3–15.

Chan JJ, Teunis T, Ring D. Prevalence of Triangular Fibrocartilage Complex Abnormalities Regardless of Symptoms Rise With Age: Systematic Review and Pooled Analysis. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2014;472(12):3987–94.

Chung K, Zimmerman N. Arthrography versus arthroscopy.pdf. *J. Hand Surg. Am. The Journal of Hand Surgery*; 1996;21(4):591–4.

Feldkamp G. Die arthroskopische “wafer procedure” bei degenerativen discus-ulnocarpalis-rissen mit ulnokarpalem kompressions-syndrom. Methode, Indikation, Ergebnisse. *Orthopade.* 2004;33(6):685–91.

Garcia-Elias M. Soft-tissue of distal ulna. *Hand Clin.* 14(2):165–76.

Del Gaudio T, Haerle M. Die arthroskopische ulnokarpale Dekompression durch Teilresektion des Ulnakopfs. *Oper. Orthop. Traumatol.* 2016;28(4):263–9.

Gelberman R, Salamon P, Jurist J, Posch J. Ulnar variance in Kienböck’s disease. *J Bone Jt. Surg Am.* 1975;57:674–6.

Gologan RE, Koeck M, Suda AJ, Obertacke U. > 10-year outcome of dislocated radial fractures with concomitant intracarpal lesions as proven by MRI and CT. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2019;139(6):877–81.

Graham HK, McCoy GF, Mollan RAB. A new injury to the distal radio-ulnar joint. *J. Bone Jt. Surg.* 1985;67:302–4.

Gupta R, Nelson SD, Baker J, Jones NF, Meals RA. The innervation of the triangular fibrocartilage complex: Nitric acid maceration rediscovered. *Plast. Reconstr. Surg.* 2001. p. 135–9.

Hagert E, Hagert C-G. Understanding Stability of the Distal Radioulnar Joint Through an Understanding of Its Anatomy. *Hand Clin.* 2010. p. 459–66.

Hahn P, Häusler A, Bruckner T, Unglaub F. Wertigkeit der MRT hinsichtlich TFCC-Läsionen außerhalb klinischer Studien. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast. Chir.* 2012;44(5):310–3.

Ikeda M, Kobayashi Y, Saito I, Ishii T. Conservative treatment using a newly designed custom. *Prosthet Orthot Int.* 2015;39(6):496–501.

Jawed A, Ansari MT, Gupta V. TFCC injuries: How we treat? *J. Clin. Orthop. Trauma.* Elsevier Ltd; 2020;11(4):570–9.

Johnstone DJ, Thorogood S, Smith WH, Scott TD. A Comparison of Magnetic Resonance Imaging and Arthroscopy. *J. Hand Surg. Eur. Vol.* 1997;22B(6):714–8.

Kato H, Nakamura R, Shionoia K, Makino N, Imaeda T. Does high-resolution MR imaging have better accuracy than standard MR imaging for evaluation of the triangular fibrocartilage complex? *J Hand Surg Br.* 2000;25(5):487–91.

Kirchberger MC, Unglaub F, Mühldorfer-Fodor M, Pillukat T, Hahn P, Müller LP, et al. Update TFCC: histology and pathology, classification, examination and diagnostics. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2015a;135(3):427–37.

Kirchberger MC, Unglaub F, Müller LP, Oppermann J, Hahn P, Spies CK. Klinische Testverfahren zur Überprüfung der Stabilität im distalen Radioulnargelenk. *J. Mar. Sci. Technol.* 2015b;20(4):202–7.

Kleinman WB. Stability of the distal radioulnar joint: Biomechanics, pathophysiology, physical diagnosis, and restoration of function. *Princ. Pract. Wrist Surg.* 2009;41–55.

Kleinman WB. Physical examination of the wrist: Useful provocative maneuvers. *J. Hand Surg. Am.* Elsevier Inc; 2015;40(7):1486–500.

Kwon YW, Park JH, Choi IC, Lee JS, Park JW. Revisional triangular fibrocartilage complex (TFCC) repair using arthroscopic one-tunnel transosseous suture: preliminary results. Arch. Orthop. Trauma Surg. Springer Berlin Heidelberg; 2020 Oct. 13

Lester B, Halbrecht J, Levy IM, Gaudinez R. "Press test" for office diagnosis of triangular fibrocartilage complex tears of the wrist. Ann. Plast. Surg. 1995. p. 41–5.

Lovejoy OC. The origin of man. Science. 1981. p. 341–50.

Löw S, Erne H, Pillukat T, Mühldorfer-Fodor M, Unglaub F, Spies CK. Diagnosing central lesions of the triangular fibrocartilage as traumatic or degenerative: A review of clinical accuracy. J. Hand Surg. Eur. Vol. 2017;42(4):357–62.

Löw S, Herold A, Eingartner C. Standard wrist arthroscopy : Technique and documentation. Oper. Orthop. Traumatol. 2014a;26(6):539–46.

Löw S, Mühldorfer-Fodor M, Pillukat T, Prommersberger KJ, Van Schoonhoven J. Ulnar shortening osteotomy for malunited distal radius fractures: Results of a 7-year follow-up with special regard to the grade of radial displacement and post-operative ulnar variance. Arch. Orthop. Trauma Surg. 2014b;134(1):131–7.

Löw S, Pillukat T, Prommersberger KJ, Van Schoonhoven J. The effect of additional video documentation to photo documentation in wrist arthroscopies on intra- and interobserver reliability. Arch. Orthop. Trauma Surg. 2013;133(3):433–8.

Löw S, Spies CK, Unglaub F, Oppermann J, Langer M, Erne H. Diagnosis and treatment of degenerative disc lesions of the wrist. Orthopade. 2018;47(8):670–6.

Mannil L, Martin W, Dahmen J, Witte T, Juten PG, Deneken F, et al. Arthroscopic treatment for ulnar-sided TFCC-tears. Eur. J. Trauma Emerg. Surg. 2016;42(1):29–35.

Meier R, Schmitt R, Christopoulos G, Krimmer H. TFCC-Läsionen. Wertigkeit der arthro-MRT im Vergleich zur Handgelenkarthroskopie. Unfallchirurg. 2003;106(3):190–4.

Mikic Z. Age changes in the triangular fibrocartilage of the wrist joint. Plast. Reconstr. Surg. 1979;64(1):128.

Möldner M, Unglaub F, Hahn P, Müller LP, Bruckner T, Spies CK. Functionality after arthroscopic debridement of central triangular fibrocartilage tears with central perforations. J. Hand Surg. Am. 2015;40(2):252-258

Moritomo H. Anatomy and Clinical Relevance of the Ulnocarpal Ligament. J. Wrist Surg. 2013;02(02):186–9.

Nakamura R, Horri E, Imaeda T. The ulnocarpal stress test in the diagnosis of ulnar-sided wrist pain. J Hand Surg Br. 1997;22(6):719–23.

Nakamura T, Takayama S, Horiuchi Y, Yabe Y. Origins and insertions of the triangular fibrocartilage complex: A histological study. J. Hand Surg. Am. 2001;26 B(5):446–54.

Ng AWH, Tong CSL. Top-Ten Tips for Imaging the Triangular Fibrocartilaginous Complex. Semin Musculoskelet Radiol. 2019;23(4):436–43.

Nypaver C, Bozentka DJ. Distal Radius Fracture and the Distal Radioulnar Joint. Hand Clin. 2021. p. 293–307.

Ochman S, Wieskötter B, Langer M, Vieth V, Raschke MJ, Stehling C. High-resolution MRI (3T-MRI) in diagnosis of wrist pain: is diagnostic arthroscopy still necessary? Arch. Orthop. Trauma Surg. Springer Berlin Heidelberg; 2017;137(10):1443–50.

Ohmori M, Azuma H. Morphology and distribution of nerve endings in the human Triangular Fibrocartilage Complex. J. Hand Surg. Br. Eur. Vol. 1998;23(4):522–5.

Oneson SR, Ti ME, Scales LM, Erickson S. MR Imaging Diagnosis of Triangular Fibrocartilage Pathology with Arthroscopic Correlation. *Am. J. Roentgenol.* 1997;(June):1513–8.

Palmer AK. Triangular fibrocartilage complex lesions: A classification. *J. Hand Surg. Am.* 1989. p. 594–606.

Palmer AK. Triangular fibrocartilage disorders: Injury patterns and treatment. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* 1990;6(2):125–32.

Palmer AK, Werner FW. The triangular fibrocartilage complex of the wrist--anatomy and function. *J Hand Surg Am.* 1981;6(2):153–62.

Palmer AK, Werner FW. Biomechanics of the Distal Radioulnar Joint. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1984;187:26–35.

Palmer AK, Werner FW, Glisson RR, Murphy DJ. Partial excision of the triangular fibrocartilage complex. *J Hand Surg Am.* 1988;13(3):391–4.

Pang EQ, Yao J. Ulnar-sided wrist pain in the athlete (TFCC/DRUJ/ECU). *Curr. Rev. Musculoskelet. Med. Current Reviews in Musculoskeletal Medicine;* 2017;10(1):53–61.

Pillukat T, Fuhrmann RA, Windolf J, van Schoonhoven J. Die arthroskopisch unterstützte transkapsuläre Refixation des Discus triangularis am Handgelenk. *Oper. Orthop. Traumatol.* 2016;28(4):233–50.

Quadlbauer S, Pezzei C, Hintringer W, Hausner T, Leixnering M. Clinical examination of the distal radioulnar joint. *Orthopade.* 2018;47(8):628–36.

Rein S, Krenn V, Hagert E, Garcia-Elias M, Lluch A, Kremer T, et al. Degeneration of the articular disc in the human triangular fibrocartilage complex. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2021;141(4):699–708.

- Rein S, Semisch M, Garcia-Elias M, Lluch A, Zwipp H, Hagert E. Immunohistochemical Mapping of Sensory Nerve Endings in the Human Triangular Fibrocartilage Complex. *Clin. Orthop. Relat. Res.* Springer US; 2015;473(10):3245–53.
- Schädel-Hopfner M, Muller K, Gehrmann S, Logters TT, Windolf J. Therapie von Läsionen des “triangular fibrocartilage complex.” *Unfallchirurg.* 2012;115(7):582–8.
- Schmauss D, Pöhlmann S, Lohmeyer JA, Germann G, Bickert B, Megerle K. Clinical tests and magnetic resonance imaging have limited diagnostic value for triangular fibrocartilaginous complex lesions. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2016;136(6):873–80.
- Schmelzer-Schmied N. Arthroskopisch unterstützte ulnare Refixierung des TFCC mit Schraubanker. *Oper. Orthop. Traumatol.* 2016;28(4):251–62.
- Schmidt HM. Die Anatomie des ulnokarpalen Komplexes. *Orthopade.* 2004;33(6):628–37.
- Schmitt R. Radiology of the distal radioulnar joint and the ulnocarpal complex. *Orthopade.* 2018;47(8):637–46.
- Schmitt R, Grunz JP, Luetkens K, Haas-Lützenberger E, Hesse N. The ulnocarpal complex: New clinical and radiological considerations. *Radiologe.* 2021;61(4):343–50.
- Schmitt R, Lanz U. *Bildgebende Diagnostik der Hand*, 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York. 2015.
- van Schoonhoven J. Arthroscopic wrist surgery. *Oper. Orthop. Traumatol.* 2016;28(4):231–2.
- Semisch M, Hagert E, Garcia-Elias M, Lluch A, Rein S. Histological assessment of the triangular fibrocartilage complex. *J. Hand Surg. Eur. Vol.* 2016;41(5):527–33.

Slutsky DJ. Current innovations in wrist arthroscopy. *J. Hand Surg. Am.* 2012;37(9):1932–41.

Smith TO, Drew B, Toms AP, Jerosch-Herold C, Chojnowski AJ. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography for triangular fibrocartilagenous complex injury: A systematic review and meta-analysis. *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A.* 2012;94(9):824–32.

Snyder T, Haims A. Internal Derangement of the Wrist. *Imaging Musculoskelet. Syst.* 2008. p. 322–52.

Spies CK, Bruckner T, Müller LP, Unglaub F, Eysel P, Löw S, et al. Long-term outcome after arthroscopic debridement of Palmer type 2C central degenerative lesions of the triangular fibrocartilage complex. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2021a;141(10):1807–14.

Spies CK, Langer M, Müller LP, Oppermann J, Löw S, Unglaub F. Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint. *Orthopade.* 2018;47(8):621–7.

Spies CK, Müller LP, Oppermann J, Hahn P, Unglaub F. Die Instabilität des distalen Radioulnargelenks - Zur Wertigkeit klinischer und röntgenologischer Testverfahren - eine Literaturübersicht. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast. Chir.* 2014;46(3):137–50.

Spies CK, Prommersberger KJ, Langer M, Müller LP, Hahn P, Unglaub F. Instabilität des distalen Radioulnargelenks: Möglichkeiten der Behandlung ulnarer Läsionen des triangulären fibrocartilaginären Komplexes. *Unfallchirurg.* 2015;118(8):701–17.

Spies CK, Schmitt R, Langer MF, Eysel P, Ayache A, Unglaub F, et al. Die Therapie des instabilen distalen Radioulnargelenkes (DRUG) Aspekte des distalen Radioulnar- Epidemiologie und Ätiologie. 2021b;.

Tay SC, Tomita K, Berger RA. The “Ulnar Fovea Sign” for Defining Ulnar Wrist Pain: An Analysis of Sensitivity and Specificity. *J. Hand Surg. Am.* 2007;32(4):438–44.

Terzis A, Neubrech F, Sebald J, Sauerbier M. Surgical treatment of ulnar impaction syndrome: Ulnar shortening osteotomy through the ulnopalmar approach using a low-profile, locking plate. *Oper. Orthop. Traumatol.* 2019;31(6):547–56.

Thiru R, Ferlic D, Clayton M, McClure D. Arterial anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist and its surgical significance. *J Hand Surg Am.* 1986;11(2):258–63.

Tomaino M. The importance of the pronated grip x. *J Hand Surg Am.* 2000;25(2):352–7.

Treiser M, Crawford K, Iorio M. TFCC Injuries: Meta-Analysis and Comparison of Diagnostic Imaging Modalities. *J. Wrist Surg.* 2018;07(03):267–72.

Trumble TE, Gilbert M, Vedder N. Arthroscopic repair fo the torn triangular fibrocartilage complex. *Oper. Tech. Plast. Reconstr. Surg.* 2002;9(4):124–30.

Unglaub F. Hand und Handgelenk. Hand und Handgelenk. Springer Berlin Heidelberg; 2020.

Unglaub F, Fellenberg J, Germann G, Bickert B, Sauerbier M, Richter W. Detection of Apoptotic Cartilage Cells in Symptomatic Central Tears of the Triangular Fibrocartilage. *J. Hand Surg. Am.* 2007a;32(5):618–22.

Unglaub F, Hahn P, Wolf E, Germann G, Bickert B, Sauerbier M. Degeneration process of symptomatic central tears in the triangular fibrocartilage. *Ann. Plast. Surg.* 2007b;59(5):515–9.

Unglaub F, Müller LP, Oppermann J, Hahn P, Spies CK. Push-off needle test for traumatic triangular fibrocartilage complex lesions. *J. Hand Surg. Am.* 2014;39(7):1448–9.

Watanabe A, Souza F, Vezeridis PS, Blazar P, Yoshioka H. Ulnar-sided wrist pain. II. Clinical imaging and treatment. *Skeletal Radiol.* 2010;39(9):837–57.

Zhan H, Bai R, Qian Z, Yang Y, Zhang H, Yin Y. Traumatic injury of the triangular fibrocartilage complex (TFCC)—a refinement to the Palmer classification by using high-resolution 3-T MRI. *Skeletal Radiol. Skeletal Radiology*; 2020;49(10):1567–79.

7 TABELLARISCHER ANHANG

Tab. 1 Klassifikation der Läsionen des TFCC nach Palmer.

Tabelle von und mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. med. Christian Spies

Tab. 2 Klinische Merkmale traumatischer und degenerativer TFCC-Läsionen (Löw et al. 2018)

Tab. 3 Demographische Daten der Studienpopulation.

Tab. 4 Sensitivität und Spezifität im gesamten Kollektiv

Tab. 5 Übersicht aller TFCC-Läsionen, die arthroskopisch und durch MRT detektiert wurden.

Tab. 6 Vergleich zwischen der Arthroskopie und dem MRT in der Klassifizierung der TFCC-Läsionen nach Palmer

Tab. 7 Anzahl der gesamten, sowie anteilig mit Spule durchgeführten MRT-Untersuchungen.

Tab. 8 Kontrastmittelnutzung bei MRT-Untersuchungen nach Jahren.

Tab. 9 Sensitivität und Spezifität des MRT abhängig Spulen- und Kontrastmitteleinsatz.

Tab. 10 Technische Parameter der durchgeführten MRT-Untersuchungen.

8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Schemazeichnung des TFCC von palmar (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 2 Schemazeichnung von TFCC-Anteilen mit farblicher Markierung der jeweiligen Ansätze und Ursprünge mit Schwerpunkt auf die Ligg. radiolunare palmare et dorsale. hellblau: Discus ulnocarpalis; rot: Meniscus homologue; gelb: Ligg. radiolunare palmare et dorsale (=oberflächliche Lamina); grün: kreuzende Fasern der Ligg. radiolunare palmare et dorsale; blau: Lig subcruentum (= tiefe Lamina).

Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Martin Langer, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster

Abb. 3 Ligamentum ulnocapitatum (1); Ligamentum ulnolunatum (2); Ligamentum ulnotriquetrum (3); Meniscus ulnocarpalis (4); Discus ulnocarpalis (5); Ligamentum radioulnaris dorsalis (6); Extensor-carpi-ulnaris-Sehne (7) (Spies et al. 2018)

Abb. 4 Aufbau der radioulnaren Ligamente: palmare und dorsale Zügel der radioulnaren Ligamente (1); kreuzende Fasern von radiopalmar nach ulnodorsal mit Einstrahlung in das Periost und in den Boden des sechsten Strecksehnenfachs und von radiodorsal nach ulnopalmar mit Einstrahlung in die prästyloide Region (2); tiefe Zügel der radioulnaren Ligamente mit Insertion in der Fovea ulnaris (Lig. subcruentum) (Spies et al. 2018)

Abb. 5 Discus ulnocarpalis in Schemazeichnung eines koronalen Schnitts durch den TFCC (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 6 A,C,E: parallel verlaufende Kollagenbündel eines dorsalen radioulnaren Ligaments. B,D,F: eng verflochtene Fasern eines Discus triangularis.

Links: A und B in HE-Färbung, C und D in Elastica van Gieson-Färbung, E und F in HE-Färbung in Polarisation. (Semisch et al. 2016)

Abb. 7 Ulnokarpaler Komplex von distal mit arterieller Versorgung und Perforation des Diskus ulnocarpalis (Schmidt 2004)

Abb. 8 TFCC-Läsion Palmer Typ 1A

Links: Schemazeichnung mit Vertikalriss im radialen Abschnitt des Discus ulnocarpalis.

Rechts: Gering dislozierter Vertikalriss im Diskuszentrum (T1w FSE fs nach Gadolinium). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 9 TFCC-Läsion Palmer Typ 1B

Links: Schemazeichnung mit ulnarem Abriss des Discus ulnocarpalis.

Rechts: Komplettabriss der beiden ulnaren Diskuszügel von der Fovea capitis bzw. vom Processus styloideus ulnae. Kräftiges, fokales Enhancement an den Rupturstellen in der MRT nach Gadolinium (T1w FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 10 TFCC-Läsion Palmer Typ 1C

Links: Schemazeichnung mit Abriss der beiden ulnopalmaren Bänder (Lig. ulnolunatum und Lig. ulnotriquetrum).

Rechts: Riss und Distraction des Lig. ulnotriquetrum (UTL). Bandförmiges Enhancement im Ligamentverlauf zwischen Processus styloideus ulnae und Triquetrum. MRT mit T1w FSE ohne Fettsättigung nach Gadolinium. (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 11 TFCC-Läsion Palmer Typ 1D

Links: Schemazeichnung mit Abriss des Discus ulnocarpalis direkt von der Incisura ulnaris radii.

Rechts: Radialer Abriss des Diskus von der Incisura ulnaris radii mit ulnarer Retraktion (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 12 TFCC-Läsion Palmer Typ 2A

Links: Schemazeichnung mit zentraler Degeneration des Discus ulnocarpalis.

Rechts: Degenerativer Discus ulnocarpalis mit zentraler Ausdünnung und proximaler Oberflächenläsion (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 13 TFCC-Läsion Palmer Typ 2B

Links: Schemazeichnung mit zentral degeneriertem Discus ulnocarpalis und proximaler Chondropathie am Lunatum.

Rechts: Breite, degenerativ bedingte Ausdünnung des Diskus einerseits sowie irreguläre Chondropathie am Lunatum andererseits (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 14 TFCC-Läsion Palmer Typ 2C

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus und fortschreitender Chondropathie am Lunatum, Rechts: Breite Diskusperforation und deutliche Ausdünnung des Gelenkknorpels an der proximal-ulnaren Zirkumferenz des Lunatums. Gelenkerguss (PDw FSE fs). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 15 TFCC-Läsion Palmer Typ 2D

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus, Chondropathie am Lunatum und Ruptur des Lig. lunotriquetrum, Rechts: Perforation des Discus ulnocarpalis, moderate Chondropathie am Lunatum sowie Ablösung des Lig. lunotriquetrum vom Lunatum (T1w FSE fs postarthrografisch). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 16 TFCC-Läsion Palmer Typ 2E

Links: Schemazeichnung mit zentral perforiertem Diskus, Ruptur des Lig. lunotriquetrum sowie subchondralen Umbauten am Lunatum und Ulnakopf.
Rechts: Ulnokarpale Neoartikulation mit subchondralen Signalstörungen am Ulnakopf, Lunatum und Triquetrum (ulnolunotriquetrales Impaction-Syndrom). Kontrastmittelaufnehmende Synovialose. Syndrom der Hamatumspitze. MRT mit T1w FSE fs nach Gadolinium. (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 17 Der Untersucher übt mit seinem Daumen Druck auf die Fovea des linken Handgelenks des Patienten aus um das ulnare Foveazeichen zu provozieren. (Quadlbauer et al. 2018)

Abb. 18 Dorsopalmarer Stresstest (Quadlbauer et al. 2018)

Abb. 19 Presstest (Kirchberger et al. 2015)

Abb. 20 Durchführung eines ulnokarpalen Stresstests bei forcierter Ulnarabduktion durch den Untersucher mit Pro- und Supinationsbewegung. (Quadlbauer et al. 2018)

Abb. 21 Durchführung des simultanen Subluxationstests. (Quadlbauer et al. 2018)

Abb. 22 Dorsopalmare Röntgenprojektion postoperativ bei PSU-Fraktur nach Versorgung mit Schraubenosteosynthese.

Mit freundlicher Genehmigung von PD. Dr. med. Christian Spies (leitender Oberarzt, Vulpiusklinik Bad-Rappenau)

Abb. 23 Das Lig. ulnotriquetrum (Pfeil) verläuft an der ulnopalmaren Seite der Handwurzel zwischen Diskus und Triquetrum. Sagittale Schicht (T1w FSE fs) einer MR-Arthrografie. (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 24 Discus ulnocarpalis (TFC) in einer koronalen MRT (PDw FSE fs). Der ulnoproximale Zügel (Pfeil) und der ulnodistale Zügel (offener Pfeil) sind in der Schichtebene vollständig dargestellt. (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 25 Discus ulnocarpalis (TFC) in einer koronalen MRT (T1w FSE fs nach Gadolinium) durch die Handwurzelmitte. Der ulnoproximale Zügel verlässt kurz vor Erreichen der Fovea capitis ulnae die Schichtebene. Beachte den chondralen Ursprung des Diskus am Radius (Pfeil). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 26 Meniscus ulnocarpalis (Pfeile) mit geschwungenem Verlauf an der ulnopalmaren Seite des TFCC. Koronale MRT-Schicht (T1w FSE fs nach Gadolinium). (Schmitt and Lanz 2015)

Abb. 27 Handgelenksarthroskopie, linkes Handgelenks. Durchführung eines Push-off-Needle Test.

Bild aus: Vulpiusklinik Bad Rappenau von und mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. med. Christian Spies

Abb. 28 Arthroskopischer Blick auf den Discus ulnocarpalis, der mit Hilfe eines Tashakens untersucht wird um den „Trampolineffekt“ und somit die Unversehrtheit dessen nachzuweisen (Kirchberger et al. 2015a)

Abb. 29 Steriles Operationsfeld mit Aufhängung des Arms. (Löw et al. 2014a)

Abb. 30 Arthroskopieportale und deren anatomische Beziehung zu neurovaskulären Strukturen.

(Löw et al. 2014a)

Abb. 31 Ulnopalmarer Zugang (oben links), Aufbringen der winkelstabilen Platte (oben rechts), Resektion und entnahme der Knochenscheibe mit Hilfe des Kompressionsapparats (unten links), Kompression der beiden Osteotomiebereiche (unten rechts) (Unglaub 2020)

9 ANHANG

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in:

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery/ 10.01.2022

Spies CK, Unglaub F, Bruckner T, Müller L, Eysel P, Rau J.

Diagnostic accuracy of wrist MRI in comparison to wrist arthroscopy regarding TFCC lesions in clinical practice. Arch Orthop Trauma Surg. 2022 Jan 10.

doi: 10.1007/s00402-021-04329-6



Diagnostic accuracy of wrist MRI in comparison to wrist arthroscopy regarding TFCC lesions in clinical practice

C. K. Spies¹ · F. Unglaub^{2,3} · T. Bruckner⁴ · L. Müller⁵ · P. Eysel⁶ · J. Rau^{2,3}Received: 3 November 2021 / Accepted: 19 December 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

Abstract

Introduction The purpose of this study was to arthroscopically verify MRI diagnostic accuracy for triangular fibrocartilage complex (TFCC) lesions in a regular clinical environment.

Methods A total of 859 patients' data with both preoperative MRI of the wrist and additional wrist arthroscopy were retrospectively reviewed. Two board-certified hand surgeons and one orthopaedic surgeon executed wrist arthroscopy, whereas more than 100 radiologists examined the MRI of the wrist. The accordance of TFCC lesion classification using MRI in comparison to wrist arthroscopy and diagnostic precision of the former depending on technical details were evaluated.

Results Diagnostic accuracy of MRI for TFCC lesions is poor in comparison to wrist arthroscopy as the reference standard. Technical specifications for MRI of the wrist are heterogeneous among the radiologists. These parameters have not improved accuracy of TFCC evaluation at large.

Conclusion The accuracy of MRI in a regular clinical environment still remains inferior to wrist arthroscopy for detection of TFCC lesions. Development of a standard MRI protocol may be implemented on a regular basis and application of the Palmer classification for TFCC lesion should be sought.

Keywords Accuracy · Arthroscopy · Lesion · MRI · TFCC · Wrist

Introduction

The triangular fibrocartilage complex (TFCC) plays a crucial role in the distribution of stress from the carpus to the forearm. In combination with the interosseous membrane it serves as the main stabilizer to the distal radioulnar joint (DRUJ) especially during forearm rotation which is a prerequisite for executing activities of daily living [1][2][3]. The TFCC consists of the articular disc, the meniscus homologue, the dorsal and palmar radioulnar ligaments, the ulnolunate and ulnotriquetral ligaments, and the extensor carpi ulnaris (ECU) tendon sheath [4]. TFCC lesions are a common cause for ulnar sided wrist pain, often combined with DRUJ instability and consequently functional deterioration. One of the main causes for lesions of the TFCC is traumatic wrist injuries as a result from a fall on the outstretched upper extremity or from a rotational injury to the forearm [4].

The TFCC is also very liable to degenerative alterations associated with age [5]. Degeneration begins in the third decade and progressively increases in frequency and severity in subsequent decades. From the fifth decade onward no

✉ C. K. Spies
christianspies27@gmail.com

¹ Hand Surgery, Spital Langenthal, Spital Region Oberaargau SRO AG, 4900 Langenthal, Switzerland

² Hand Surgery, Vulpius Klinik, Vulpiusstraße 29, 74906 Bad Rappenau, Germany

³ Medical Faculty Mannheim, Ruprecht-Karls University Heidelberg, Theodor-Kutzer-Ufer 1-3, 68167 Mannheim, Germany

⁴ Department of Medical Biometry and Informatics, University Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 305, 69120 Heidelberg, Germany

⁵ Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Cologne, Kerpener Str. 62, 50937 Köln, Germany

⁶ Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Cologne, Joseph-Stelzmann-Str. 24, 50931 Köln, Germany

completely normal discs were found in a study of 180 cadaveric wrists by Mikic et al. [5].

TFCC lesions can be classified after Palmer's classification for TFCC injuries, differentiating between traumatic (type 1) and degenerative (type 2) causes [6][4].

In suspected cases of TFCC lesions, taking a thorough patient history and clinical examination is regularly followed by imaging of the wrist. Examination of a suspected TFCC lesion requires careful palpation and application of provocative tests. The "ulnar fovea sign" and "ulnar grinding test" help diagnosing TFCC injuries, yet they are not sufficiently specific and sensitive to ensure a reliable diagnosis [1][7][8]. Imaging of the TFCC with its small structures and complex anatomy also remains difficult, as no single imaging modality demonstrates perfect sensitivity and specificity [9]. Being non-invasive and easily accessible, MRI is commonly used as a diagnostic tool for evaluation of wrist pain [10]. In brief, clinical tests and MRI findings are still of limited diagnostic value for the diagnosis of TFCC lesions [8][11][12]. Reference standard for diagnosis of TFCC lesions with the option of simultaneous therapeutic intervention is the arthroscopy of the wrist [13][14][15][16]. Preliminary studies conclude that in real-life clinical settings, arthroscopy of the wrist should be the reference standard for diagnosis of TFCC lesions [10] [1]. The purpose of this study was therefore to evaluate the sensitivity and specificity of MRI compared to wrist arthroscopy for detection of TFCC injury in a real-life clinical setting outside of clinical studies.

Methods

The retrospective study was approved by the local ethics committee.

Patients

Data of all patients with preoperative MRI and wrist arthroscopy from March 2013 to June 2021 were reviewed. Time interval between MRI and wrist arthroscopy was no longer than 6 months as a prerequisite. Arthroscopy was indicated both for detection of TFCC lesions or other wrist pathologies and therapeutic procedures. Board-certified hand surgeons indicated arthroscopy in all cases based on clinical examination. A total of 859 (424 female; 435 male) patients were included in this study.

Demographic data of study population are detailed in Table 1.

MRI

MRI of the wrist was examined by more than 100 radiologists in 25 different private practices or clinics of the region around the hand surgery department (Fig. 1).

Technical parameters are depicted in Table 2.

Table 1 Demographic data

| Average age (years) | Female (n) | Male (n) | Left wrist (n) | Right wrist (n) |
|---------------------|------------|----------|----------------|-----------------|
| 43.1 | 424 | 435 | 376 | 483 |



Fig. 1 MRI coronal view depicting a TFCC 2C lesion

Arthroscopy

Patients underwent arthroscopy of the wrist by two board-certified hand surgeons (certified since 2011 and 2015), who performed 699 wrist arthroscopies and one orthopaedic surgeon, who performed 160 arthroscopies included in this study (Fig. 2). Arthroscopic procedures of the wrist were performed with the arm at hanging position and arm plexus anaesthesia or general anaesthesia. The 3–4, 6R and midcarpal-radial or midcarpal-ulnar portals were used (2.7 mm arthroscope, 30° optic). TFCC lesions were classified according to Palmer depicted in Fig. 3 [6].

MRI reports vs. wrist arthroscopy

The arthroscopic evaluations were compared to the radiologists' reports. Four hundred eighty-three reports did not contain information about the Palmer classification for TFCC lesions. In order to detect potential changes of diagnostic accuracy each year from 2013 to 2021 was assessed separately.

Table 2 Technical parameters of MRI

| Coil used (n) | | Field strength of MRI device used (n) | | | Contrast agent used | |
|---------------|-----|---------------------------------------|-----|----------------------|---------------------|-----|
| Yes | No | 1.5 T | 3 T | No information given | Yes | No |
| 311 | 548 | 74 | 4 | 781 | 170 | 689 |

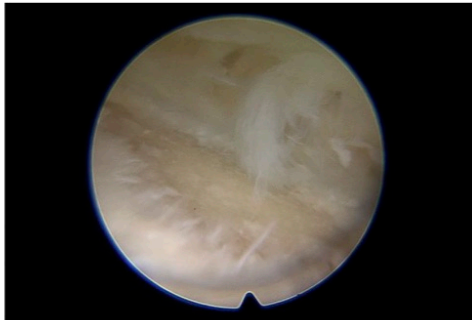


Fig. 2 Wrist arthroscopy viewing a TFCC 2C lesion from the 3/4 portal

Outcome measures/ statistical analysis

The statistical analysis was done using SAS 9.4 WIN (SAS-Institute, Cary, NC, USA). The empirical distribution of continuous data (age) was reported with mean and standard deviation. Absolute and relative frequencies were calculated for categorical data. Sensitivity and specificity were calculated for different settings.

Results

Distribution of results regarding MRI and wrist arthroscopy is depicted in Table 3.

Fig. 3 Palmer classification of traumatic and degenerative TFCC lesions (with friendly permission Springer Nature [6] [18])

| classification | pathologic findings | illustration |
|----------------|--|--------------|
| 1A | traumatic central perforation of the TFC | |
| 1B | traumatic ulnar sided avulsion of the TFC (<i>left illustration</i>), or with ulnar styloid fracture (<i>right illustration</i>) | |
| 1C | distal avulsion of the TFC involving ulnotriquetral and ulnolunate ligaments | |
| 1D | radial avulsion of the TFC | |
| 2A | degenerative TFC wear | |
| 2B | degenerative TFC wear with lunate, triquetral and/or ulnar chondromalacia | |
| 2C | degenerative central TFC perforation with chondromalacia as for 2B lesions | |
| 2D | degenerative lunotriquetral ligament rupture in addition to the former lesions | |
| 2E | additional ulnocarpal arthritis | |

Table 3 TFCC lesions detected—MRI—arthroscopy

| MRI: TFCC lesion detected | Arthroscopy: TFCC lesion detected | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| | Yes | No | Total |
| Yes | 395 | 178 | 573 (66.71%) |
| No | 130 | 156 | 286 (33.29%) |
| Total | 525 (61.12%) | 334 (38.88%) | 859 |

Table 4 Total sensitivity and specificity of MRI grouped by years

| Year | Sensitivity (%) | Specificity (%) | Patients (n) |
|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
| 2013 | 70.27 | 50.00 | 49 |
| 2014 | 83.33 | 32.00 | 73 |
| 2015 | 84.91 | 54.76 | 95 |
| 2016 | 73.53 | 53.33 | 128 |
| 2017 | 64.10 | 57.14 | 113 |
| 2018 | 78.21 | 32.76 | 136 |
| 2019 | 76.66 | 54.05 | 84 |
| 2020 | 72.62 | 40.54 | 121 |
| 2021 | 81.25 | 46.43 | 60 |
| 2013–2021 | 75.24 | 46.71 | 859 |

Diagnostic accuracy of MRI regarding TFCC lesions in comparison to wrist arthroscopy is depicted in Table 4.

Application of Palmer’s classification and evaluation of its comparative use are delineated in Table 5.

The examination of technical issues regarding MRI is depicted in Table 6.

The total and relative number of MRI conducted using a coil is illustrated in Table 7.

The total and relative number of MRI conducted using intravenous contrast agent is illustrated in Table 8.

Discussion

This study determined the sensitivity and specificity of MRI compared to wrist arthroscopy as the reference standard for the detection of TFCC lesions in clinical practice in a large cohort of patients outside clinical studies.

Arthroscopy is the intervention of choice to identify and define TFCC lesions [16][17]. It allows for an accurate assessment of the anatomically complex TFCC. Lesions can be described precisely and it can be distinguished whether a lesion is traumatic or degenerative [1]. This is crucial for the classification of TFCC lesions and their specific treatment. [18]. In certain cases, especially Palmer type 2C articular disc lesions, arthroscopic treatment, such

Table 6 Sensitivity and specificity of MRI considering the use of coil and contrast agent

| MRI | Sensitivity (%) | Specificity (%) |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| With coil | 79.31 | 49.64 |
| Without coil | 73.31 | 44.67 |
| With contrast agent | 68.87 | 56.25 |
| Without contrast agent | 76.85 | 44.44 |

Table 5 Comparison of arthroscopy and MRI regarding application of Palmer’s classification

| Palmer 1 | Arthroscopy (n/%) | MRI (n/%) | Classified in accordance |
|----------|-------------------|-------------|--------------------------|
| A | 57 (10.86%) | 8 (8.99%) | 0 |
| B | 39 (7.43%) | 52 (57.78%) | 5 |
| C | 4 (0.76) | 2 (2.22%) | 0 |
| D | 16 (3.05%) | 1 (1.11%) | 0 |
| Palmer 2 | Arthroscopy (n/%) | MRI (n/%) | Classified in accordance |
| A | 72 (13.90%) | 8 (0.89%) | 0 |
| B | 53 (10.10%) | 10 (11.11%) | 1 |
| C | 273 (52.0%) | 8 (8.89%) | 7 |
| D | 4 (0.76%) | 0 | 0 |
| E | 5 (0.95%) | 1 (1.11%) | 0 |

Table 7 Total and relative number of MRI conducted using a coil

| Year | With coil (n/%) | Without coil (n/%) | Total |
|-----------|-----------------|--------------------|-------|
| 2013 | 19 (38.78) | 30 (61.22) | 49 |
| 2014 | 26 (35.62) | 47 (64.38) | 73 |
| 2015 | 37 (38.95) | 58 (61.05) | 95 |
| 2016 | 49 (38.28) | 79 (61.72) | 128 |
| 2017 | 33 (29.20) | 80 (70.80) | 113 |
| 2018 | 47 (34.56) | 89 (65.44) | 136 |
| 2019 | 28 (33.33) | 56 (66.67) | 84 |
| 2020 | 47 (38.84) | 74 (61.16) | 121 |
| 2021 | 25 (41.67) | 35 (58.33) | 60 |
| 2013–2021 | 311 (36.20) | 548 (63.80) | 859 |

Table 8 Total and relative number of MRI conducted using intravenous contrast agent

| Year | With contrast agent (n) | Without contrast agent (n) | Total |
|-----------|-------------------------|----------------------------|-------|
| 2013 | 6 | 43 | 49 |
| 2014 | 13 | 60 | 73 |
| 2015 | 25 | 70 | 95 |
| 2016 | 24 | 104 | 128 |
| 2017 | 21 | 92 | 113 |
| 2018 | 33 | 103 | 136 |
| 2019 | 19 | 65 | 84 |
| 2020 | 22 | 99 | 121 |
| 2021 | 7 | 53 | 60 |
| 2013–2021 | 170 | 689 | 859 |

as debridement, is the treatment of choice which can be performed simultaneously with the diagnostic arthroscopy [7][19][20][21]. For example, arthroscopic TFCC refixation is observed as technically relatively simple and has led to good results in the past [22][23].

In orthopaedic practice, MRI has become a commonly used modality to assess wrist pathologies. Technical limitations and technical issues involved in the interpretation of MRI have remained up to now [1, 13]. Haims et al. acknowledged that the interpretation of findings using MRI of the wrist, compared with larger joints, depends on image quality. This can be compromised by patient motion, poor fat suppression or metallic implant artifacts. From orthopaedic implants [24]. Targeted indication, high-resolution matrix, high contrast and the use of a contrast agent are a good base for an optimal MRI technique [17].

Higher MRI field strength might be of advantage; however, the number of MRIs executed with field strengths higher than 1.5 T was too low to make an explicit statement. Prior studies could not confirm the superiority of 3 T

compared to 1.5 T for detection of TFCC lesions with certainty [25][10].

The largest meta-analysis and review to date to examine the role of MRI among other imaging modalities for the role of diagnosing TFCC injuries, including 20 independent studies evaluating MRI, demonstrated a sensitivity of 76% (72–80%) and specificity of 82% (77–86%) overall [9]. Our study shows a sensitivity of 75.24% and a specificity of 46.71%. In this case, sensitivity and specificity are lower in clinical practice than prior clinical studies suggested.

One may expect that with advances in imaging technology over time diagnostic accuracy may improve. However, neither the application of a coil nor the use of a contrast agent for MRI significantly increased over the years. At the same time neither specificity nor sensitivity had improved. This was also independent of the type of TFCC lesions.

Radiological findings in our study coming from more than 100 radiologists of 25 different institutions preclude the possibility of having standardized procedures and consistent image quality, which would be desirable. MRI reports seem to lack information since only 15.70% of all detected TFCC lesions were classified after Palmer and 90.92% did not mention the field strength of the MRI device used [6]. This lack of information diminishes the value of MRI in the clinical setting even though latest MRI technology may have been used.

In 13 patients TFCC lesions were classified in accordance between MRI and arthroscopy after Palmer's definition. It stands out that two specific radiologists were responsible for these observations after all. First, this indicates that only few radiologists use Palmer's classification to specify their diagnosis and second that those radiologists who are familiar with the classification for TFCC lesions tend to provide a more precise diagnosis.

TFCC signal abnormalities on MRI are more common with increasing age in patients without clinical relevance [5][26]. At the age of 70, more than half of all patients may have TFCC signal changes, and more than 90% are present in patients with low clinical suspicion of TFCC pathology [27]. In the meta-analysis by Treiser et al. the average patient age was 35.7 and mean age in our cohort was 43.1 years [9]. Considering the fact that age is correlated with higher incidence of TFCC lesions, the relatively older average age of patients in our cohort might contribute to the higher numbers of detected TFCC lesions in MRI.

There are studies suggesting higher diagnostic accuracy in magnetic resonance arthrography (MRA) rather than MRI [28]. However, Boer et al. have demonstrated that MRA is only slightly better and arguably not worth advising in all suspected cases of TFCC lesions given the increased discomfort and risk of an invasive procedure and cost associated with MRA [25]. In our study no MRI with intra-articular application of a contrast agent was performed which

suggests that MRA plays a rather inferior role to diagnose TFCC lesions in our region.

This study provides a relatively large study population which was operated by only 3 surgeons. Such a large study population from a single department has not been found in the English-written literature yet. Since all 3 surgeons were educated and trained by the senior board-certified hand surgeon, a rather homogeneous surgical personnel can be attested. This fact may further diminish bias and promotes wrist arthroscopy as the reference standard.

In conclusion, MRI findings in comparison to arthroscopic assessment are not reliably congruent. According to our results MRI may still be inferior for detection of TFCC lesions in regular clinical setting. Imaging of the wrist should not be observed in competition to wrist arthroscopy rather than as an addition for discriminatory considerations in ulnocarpal wrist pain [17].

Arthroscopy after a precise clinical examination may still be the most efficacious procedure to assess and treat TFCC pathologies nowadays [13][28][29][30]. Therefore, wrist arthroscopy currently remains the reference standard for detection of TFCC lesions.

Funding The authors received financial support for this project from the Richard and Annemarie Wolf Foundation, Knittlingen, Germany.

Availability of data and material Statistics data are available in SPSS.

Code availability Data are available in Microsoft excel; SPSS; SAS.

Declarations

Conflict of interest The authors declare no potential conflicts of interest with respect to research, authorship and/or publication of this article.

Ethical approval This study has been approved by the institutional ethics committee.

Consent to participate All participants gave their written consent.

Consent for publication Not applicable.

References

- Kirchberger MC et al (2015) Update TFCC: histology and pathology, classification, examination and diagnostics. *Arch Orthop Trauma Surg* 135:427–437. <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2153-6>
- Jui-Tien S, Yao-Tung H, Hung-Maan L, Chuan-Ming T, Ming-Chung C (2000) Chronic triangular fibrocartilage complex tears with distal radioulnar joint instability: a new method of triangular fibrocartilage complex reconstruction. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 8(1):1–8. <https://doi.org/10.1177/23094990000800102>
- Spies CK, Langer M, Müller LP, Oppermann J, Löw S, Unglaub F (2018) Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint. *Orthopade* 47:621–627. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-3589-5>
- Palmer AK (1990) Triangular fibrocartilage disorders: injury patterns and treatment. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 6:125–132. [https://doi.org/10.1016/0749-8063\(90\)90013-4](https://doi.org/10.1016/0749-8063(90)90013-4)
- Mikić ZD (1978) Age changes in the triangular fibrocartilage of the wrist joint. *J Anat* 126:367–384
- Palmer AK (1989) Triangular fibrocartilage complex lesions: a classification. *J Hand Surg* 14:594–606. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(89\)90174-3](https://doi.org/10.1016/0363-5023(89)90174-3)
- Jawed A, Ansari MT, Gupta V (2020) TFCC injuries: how we treat? *J Clin Orthop Trauma* 11:570–579. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.06.001>
- Schmauss D, Pöhlmann S, Lohmeyer JA, Germann G, Bickert B, Megerle K (2016) Clinical tests and magnetic resonance imaging have limited diagnostic value for triangular fibrocartilaginous complex lesions. *Arch Orthop Trauma Surg* 136:873–880. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2441-9>
- Treiser M, Crawford K, Iorio M (2018) TFCC injuries: meta-analysis and comparison of diagnostic imaging modalities. *J Wrist Surg* 7:267–272. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1629911>
- Ochman S, Wieskötter B, Langer M, Vieth V, Raschke MJ, Stehling C (2017) High-resolution MRI (3T-MRI) in diagnosis of wrist pain: is diagnostic arthroscopy still necessary? *Arch Orthop Trauma Surg* 137:1443–1450. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2747-2>
- Johnstone DJ, Thorogood S, Smith WH, Scott TD (1997) A comparison of magnetic resonance imaging and arthroscopy. *J Hand Surg* 22:714–718. [https://doi.org/10.1016/S0266-7681\(97\)80431-7](https://doi.org/10.1016/S0266-7681(97)80431-7)
- Gologan RE, Koeck M, Suda AJ, Obertacke U (2019) 10-year outcome of dislocated radial fractures with concomitant intracarpal lesions as proven by MRI and CT. *Arch Orthop Trauma Surg* 139:877–881. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03186-8>
- Schmitt R, Grunz JP, Luetkens K, Haas-Lützenberger E, Hesse N (2021) The ulnocarpal complex: new clinical and radiological considerations. *Radiologe* 61:343–350. <https://doi.org/10.1007/s00117-021-00824-4>
- Mannil L et al (2016) Arthroscopic treatment for ulnar-sided TFCC-tears. *Eur J Trauma Emerg Surg* 4:29–35. <https://doi.org/10.1007/s00068-015-0593-x>
- Bille B, Harley B, Cohen H (2007) A comparison of CT arthrography of the wrist to findings during wrist arthroscopy. *J Hand Surg Am* 32:834–841. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2007.04.005>
- Slutsky DJ (2012) Current innovations in wrist arthroscopy. *J Hand Surg Am* 37:1932–1941. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2012.06.028>
- Spies CK et al (2021) Therapy of the instabile distal radioulnar joint. *Handchirurgie Scan* 10:215–235. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-3576-x>
- Spies CK, Prommersberger KJ, Langer M, Müller LP, Hahn P, Unglaub F (2015) Instability of the distal radioulnar joint: treatment options for ulnar lesions of the triangular fibrocartilage complex. *Unfallchirurg* 118:701–717. <https://doi.org/10.1007/s00113-015-0044-5>
- Löw S, Spies CK, Unglaub F, Oppermann J, Langer M, Erne H (2018) Diagnosis and treatment of degenerative disc lesions of the wrist. *Orthopade* 47:670–676. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-3551-6>
- Spies CK et al (2021) Long-term outcome after arthroscopic debridement of Palmer type 2C central degenerative lesions of

- the triangular fibrocartilage complex. *Arch Orthop Trauma Surg* 141:1807–1814. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03918-9>
21. Kwon YW, Park JH, Choi IC, Lee JS, Park JW (2020) Revisional triangular fibrocartilage complex (TFCC) repair using arthroscopic one-tunnel transosseous suture: preliminary results. *Arch Orthop Trauma Surg*. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03613-1>
 22. Pillukat T, Fuhrmann RA, Windolf J, van Schoonhoven J (2016) Arthroscopically assisted transcapsular refixation of the triangular fibrocartilage complex of the wrist. *Oper Orthop Traumatol* 28:233–250. <https://doi.org/10.1007/s00064-016-0466-4>
 23. Schmelzer-Schmied N (2016) Arthroscopic refixation of TFCC by bone screw anchor. *Oper Orthop Traumatol* 28:251–262. <https://doi.org/10.1007/s00064-01604557>
 24. Haims AH, Schweitzer ME, Morrison WB, Deely D, Lange RC, Osterman AL, Bednar JM, Taras JS, Culp RW (2003) Internal derangement of the wrist: indirect MR arthrography versus unenhanced MR imaging. *Radiology* 227:701–707. <https://doi.org/10.1148/radiol.2273020398>
 25. Boer BC, Vestering M, van Raak SM, van Kooten EO, Huis in 't Veld R, Vochteloo AJH (2018) MR arthrography is slightly more accurate than conventional MRI in detecting TFCC lesions of the wrist. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 28:1549–1553. <https://doi.org/10.1007/s00590-018-2215-x>
 26. Rein S et al (2021) Degeneration of the articular disc in the human triangular fibrocartilage complex. *Arch Orthop Trauma Surg* 141:699–708. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03795-2>
 27. Oneson SR, Ti ME, Scales LM, Erickson S (1997) MR imaging diagnosis of triangular fibrocartilage pathology with arthroscopic correlation. *Am J Roentgenol*. <https://doi.org/10.2214/ajr.168.6.9168716>
 28. Chung K, Zimmerman N (1996) Arthrography versus arthroscopy. *J Hand Surg Am* 21:591–594. [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(96\)80008-6](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(96)80008-6)
 29. Atzei A, Luchetti R (2011) Foveal TFCC tear classification and treatment. *Hand Clin* 27:263–272. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2011.05.014>
 30. Unglaub F, Müller LP, Oppermann J, Hahn P, Spies CK (2014) Push-off needle test for traumatic triangular fibrocartilage complex lesions. *J Hand Surg Am* 39:1448–1449. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2014.03.026>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Medizinische Fakultät Heidelberg

Ethikkommission der Med. Fak. HD | Alte Glockengießerei 11/1 | D-69115 Heidelberg

Herrn PD Dr. med. Frank Unglaub
Handchirurgie
Vulpius Klinik
Vulpiusstr. 29
74906 Bad Rappenau



Alte Glockengießerei 11/1
D-69115 Heidelberg

+49 6221 33822 0 (Empfang)
+49 6221 3382222
ethikkommission-l@med.uni-heidelberg.de

www.medizinische-fakultaet-hd.uni-heidelberg.de/
ethikkommission

Vorsitz:

Prof. Dr. med. Thomas Strowitzki

Stellv. Vorsitz:

Prof. Dr. med. Johannes Schröder
Prof. Dr. med. Klaus Herfarth

Geschäftsleitung:

Dr. med. Verena Pfeilschifter

Sonstige Studien:

Damir Jurincic, M.A.
+49 6221 33822-0
+49 6221 3382222
Damir.Jurincic@med.uni-heidelberg.de

— 25.05.2012
ts-dj

**VOTUM
(Berufsrechtliche Beratung)**

Unser Zeichen: S-175/2012 (Bitte stets angeben)

Titel: Vergleichende retrospektive Studie zur Ermittlung der Sensitivität und Spezifität der präoperativen MRT Untersuchung im Vergleich zum intraoperativen Befund bei Handgelenksarthroskopie bezüglich Läsionen des TFCC und des SL-Bandes

— **Eingereichte
Unterlagen:**

Primäreinreichung vom 04.04.2012:
Anschreiben vom 26.03.2012
Zusammenfassung
Checkliste Sonstige Studien
Formular für Erstantrag (alte Version)
Studienprotokoll vom 26.03.2012
CV PD Dr. med. Frank Unglaub vom 14.03.2012
Formelle Nachreichung vom 11.04.2012:
Anschreiben vom 11.04.2012
Zusammenfassung
Checkliste Sonstige Studien
Formular für Erstantrag vom 11.04.2012
Studienprotokoll vom 11.04.2012
CV PD Dr. med. Frank Unglaub vom 14.03.2012

Sehr geehrter Herr Dr. Unglaub,

die Ethikkommission hat Ihr Forschungsvorhaben in der Sitzung am 07.05.2012 beraten und hat **keine Bedenken gegen die Studie.**

Wir wünschen Ihnen bei der Durchführung der Studie viel Erfolg.

Bitte leiten Sie das Ergebnis der berufsrechtlichen Beratung und die studienrelevante Korrespondenz allen teilnehmenden Ärzten in unserem Zuständigkeitsbereich weiter.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. Thomas Strowitzki
Vorsitzender



Bankverbindung:

Baden-Württembergische Bank Stuttgart
Konto-Nr.: 7421 500 429
BLZ: 600 501 01
SWIFT/BIC Code: SOLADEST
IBAN-Nr.: DE 64600501017421500429



Seite 2/2

Allgemeine Hinweise:

- Änderungen in Organisation und Ablauf der Studie sind der Kommission, zusammen mit einer Bewertung der Nutzen-Risiko-Relation, umgehend mitzuteilen. Sowohl die **Antragsnummer** als auch die **geänderten Passagen** sollten in den betreffenden Unterlagen **deutlich gekennzeichnet** sein, da anderenfalls keine zügige Bearbeitung möglich ist.
- Die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Heidelberg arbeitet gemäß den nationalen gesetzlichen Bestimmungen und den ICH-GCP-Richtlinien. Ihren Beratungen liegt die Deklaration des Weltärztebundes von Helsinki in der jeweils aktuellen Fassung zugrunde.
- Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethikkommission Sie darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung einer Studie beim Leiter der Studie und bei allen teilnehmenden Ärzten liegt.

S-075/2012

©EKO-D-28-S-Dok-Nr-DV-070-020101

10 LEBENS LAUF

PERSONALIEN

Name und Vorname: Johannes Rau

Geburtsdatum: 29.08.1994

Geburtsort: Stuttgart

SCHULISCHER WERDEGANG

09/2004 – 07/2013 Gymnasium Korntal

08/2010 – 06/2011 Chisago Lakes Highschool (USA)

25.06.2013 Allgemeine Hochschulreife

UNIVERSITÄRER WERDEGANG

Ab WS 2014/15 Beginn des Studiums der Humanmedizin
an der Semmelweis Universität Budapest

03.07.2016 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Ab WS 2016/17 Klinischer Abschnitt des Medizinstudiums an der
Medizinischen Fakultät Mannheim, Universität

15.04.2021 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

09.06.2021 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

BERUFLICHER WERDEGANG

Ab 01.02.2021 Assistenzarzt Orthopädie und Traumatologie,
SRO Spital Langenthal, Schweiz

11 DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. med. Frank Unglaub danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit, die ausgezeichnete Betreuung, Motivation, sein Engagement, sowie die ständige und unkomplizierte Erreichbarkeit, die die Erstellung dieser Arbeit erst möglich gemacht haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Spies für die herausragende Zusammenarbeit, Motivation und Betreuung im gesamten Prozess der Erstellung der Publikation.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Thomas Bruckner vom Institut für Biometrie und Informatik des Universitätsklinikum Heidelberg, der bei der statistischen Auswertung mit Rat und Tat zur Seite stand.

Abschließend danke ich meiner lieben Desirée und meinen Eltern Susanne und Martin, ohne deren uneingeschränkte Motivation und liebevolle Unterstützung in allen Lebenslagen diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Die Arbeit widme ich meinen Großeltern Inge und Werner, die den schönen Zufall begünstigten, dass ich an der Vulpiusklinik Fuß fassen konnte und mich zu jeder Zeit mit offenen Armen umsorgen.