

Aus dem Institut für Röntgendiagnostik
der Universität Würzburg
Vorstand: Professor Dr. med. D. Hahn

**KARPALE BANDVERLETZUNGEN - VERGLEICH DER DIREKTEN MR-ARTHROGRAPHIE
MIT DER DIAGNOSTISCHEN ARTHROSKOPIE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON
PARTIALDEFEKTEN DES SKAPHOLUNÄREN BANDES, DES LUNATOTRIQUETRALEN
BANDES SOWIE DES TFCC**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Sebastian Schneider
aus Dietzenbach

Würzburg, Oktober 2003

Referent: Prof. Dr. med. D. Hahn

Koreferent: Prof. Dr. med. J. P. Keller

Dekan: Prof. Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 28.01.2004

Der Promovend ist Arzt im Praktikum.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	ANATOMIE DES HANDGELENKES	4
2.1	Anatomische Grundlagen	4
2.2	Triangulärer fibrokartilaginärer Komplex (TFCC).....	9
2.3	Ligamentum scapholunatum (SL).....	12
2.4	Ligamentum lunotriquetrum (LT)	13
2.5	Ligamentum radioscapholunatum (RSL)	14
2.6	Ligamentum radiolunotriquetrum (RLT).....	15
2.7	Ligamentum radioscaphocapitatum (RSC).....	16
2.8	Distales Radioulnargelenk, Radiokarpalgelenk, Mediokarpalgelenk	16
3	MATERIAL UND METHODEN	18
3.1	Patientenkollektiv.....	18
3.2	MR-Arthrographie	19
3.3	Arthroskopie	23
3.4	Beurteilungskriterien.....	25
3.4.1	Auswertung der MR-Arthrographie	26
3.4.2	Auswertung der Arthroskopie	28
3.5	Statistische Auswertung	29
4	ERGEBNISSE	31
4.1	Intrinsische Ligamente und TFCC des Gesamtkollektivs	31
4.2	Ergebnisse ausgewählter Ligamente und des TFCC	34
4.2.1	Intrinsische Ligamente.....	34

4.2.1.1	Ligamentum scapholunatum (SL-Band)	34
4.2.1.1.1	Wertigkeit der 3D-FLASH-Sequenz.....	34
4.2.1.1.2	Wertigkeit der T1-SE-Sequenz.....	36
4.2.1.2	Ligamentum lunotriquetrum (LT-Band).....	38
4.2.1.2.1	Wertigkeit der 3D-FLASH-Sequenz.....	38
4.2.1.2.2	Wertigkeit der T1-SE-Sequenz.....	40
4.2.2	Triangulärer fibrocartilaginärer Komplex (TFCC).....	42
4.2.2.1	Wertigkeit der 3D-FLASH-Sequenz.....	42
4.2.2.2	Wertigkeit der T1-SE-Sequenz.....	44
4.2.3	Extrinsische Ligamente	46
4.2.3.1	Ligamentum radioscapholunatum (Lig. Testut)	46
4.2.3.1.1	Wertigkeit der 3D-FLASH-Sequenz.....	46
4.2.3.1.2	Wertigkeit der T1-SE-Sequenz.....	47
4.2.3.2	Ligamentum radioscaphocapitatum (RSC-Band) und Ligamentum radiolunotriquetrum (RLT-Band)	47
5	DISKUSSION	53
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	69
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	71
8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	89

1 EINLEITUNG

Die Diagnostik von Bandverletzungen der Hand ist bei Patienten mit posttraumatischen oder chronischen Handgelenksbeschwerden mit klinischer Symptomatik problematisch [Adolfsson 1992, Nagle 1992, Hanker 1991, Kelly 1990, Koman 1990]. Klinische Untersuchungen sind oft unergiebig und diagnostische Verfahren, wie konventionelles Röntgen, Computertomographie oder Magnetresonanztomographie, liefern oft diskordante Befunde, da anatomische Weichteilstrukturen und Bandläsionen nur indirekt bzw. schlecht darstellbar sind. Als GOLD-Standard für die Abklärung von Verletzungen intrinsischer Bänder der Hand und des triangulären fibrokarilaginären Komplexes (TFCC) gilt die Arthroskopie.

In den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie, insbesondere bei der Diagnostik einer skapholunären Bandläsion, wird der konventionellen 3-Kompartiment-Arthrographie ein hoher Stellenwert eingeräumt und diese als „nützlich“ eingestuft, während hingegen die Magnetresonanztomographie als „überflüssig“ bezeichnet wird [DGH 2001]. Bekannt ist allerdings, dass mittels Arthrographie eine Aussage über eine Ausdehnung von Defekten oder Teildefekten nur eingeschränkt möglich ist. Defekte lassen sich nur über eine Kontrastmittelkommunikation über zwei Gelenke beurteilen [Chung 1996, Roth 1996, Weiss 1996].

Die direkte MR-Arthrographie des Handgelenkes, die in den Leitlinien der DGH bislang noch nicht erwähnt wurde, vereint die Vorteile der nativen MR-Tomographie mit der konventionellen Arthrographie. Der direkten MR-Arthrographie wird, im Gegensatz zur Arthrographie, das Potenzial zugeschrieben, das exakte Ausmaß und die genaue Lokalisation einer ligamentären Verletzung zu erfassen. Zunehmend wird diese als Alternative zur diagnostischen Arthroskopie diskutiert [Scheck 1999].

In einer der ersten Arbeiten über die MR-Arthrographie untersuchte Hajek 1987 zwölf anatomische Handgelenkspräparate. Es wurden künstlich Verletzungen von SL- und LT-Band sowie vom TFCC erzeugt. Dabei zeigte sich, dass diese

Defekte nur mit der MR-Arthrographie und nicht mit der nativen Magnetresonanztomographie darstellbar waren [Hajek 1987]. Eine Untersuchung von Jacobson an vier Leichenpräparaten belegt die hohe Wertigkeit der MR-Arthrographie in der Beurteilung der SL-Band-Anatomie [Jacobson 2002]. Einige Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die MR-Arthrographie in der Evaluation von Bandverletzungen der Hand und in der Beurteilung des TFCC der Standard-Magnetresonanztomographie überlegen war [Zanetti 2000, Zanetti 1997, Schweitzer 1992].

Weitere Autoren belegten, dass mit der MR-Arthrographie als eine semi-invasive Technik die diagnostische Sicherheit in der Einschätzung intrinsischer karpaler Bandstrukturen und des TFCC zunahm [Scheck 1999, Brown 1998, Carrino 1998]. Kovanlikaya et al. erzielten in der Evaluation von Komplettdéfekten des TFCC, des SL- und des LT-Bandes für die MR-Arthrographie mit der Arthroskopie als GOLD-Standard Sensitivitäten und Spezifitäten der jeweiligen Struktur zwischen 80% bis 100% [Kovanlikaya 1997].

In der Literatur hat sich die MR-Arthrographie als eine effektive Methode in der Darstellung von Bandstrukturen der Hand etabliert [Zanetti 2000, Scheck 1999, Linkous 1998].

Ein direkter Vergleich zwischen MR-Arthrographie und Arthroskopie als GOLD-Standard lässt sich in der Literatur nur in einer Arbeit finden. An einem Kollektiv von 23 Patienten untersuchten Scheck et al. 1999 Komplettrupturen intrinsischer und extrinsischer Ligamente der Hand mit Sensitivität, Spezifität und Korrektheit von 97%, 96% und 96% [Scheck 1999].

Ziel dieser Arbeit war es, anhand eines größeren Kollektivs von 75 Patienten einen Vergleich zwischen MR-Arthrographie und diagnostischer Arthroskopie als GOLD-Standard für die Beurteilung intrinsischer und extrinsischer Ligamente unter zusätzlicher Berücksichtigung von Partialdefekten des Lig. scapholunatum (SL), des Lig. lunatotriquetrum (LT) und des triangulären fibrocartilaginären Komplexes (TFCC) durchzuführen.

In dieser Untersuchung wurde erstmals in der von uns überblickten Literatur auf die Unterscheidung in Komplettruptur / Partialdefekt abgehoben. Diese Unterteilung unterschiedlicher Defekte ist klinisch relevant, da bei isoliert vorliegenden Partialdefekten intrinsischer Bänder und des TFCC in Einzelfällen der Verzicht auf eine diagnostische Arthroskopie denkbar wäre.

Es wurde versucht, klinisch gebräuchliche und in der arthroskopischen Diagnostik verwendete Klassifikationen (Palmer, Hempfling, DGH) in eine MR-Klassifikation zu übernehmen. Diese systematische Unterteilung bei der Diagnostik intrinsischer Bandverletzungen in Komplettrupturen und Partialdefekte liegt bislang in der radiologischen Literatur nicht vor.

Die Arthroskopie wurde als Referenzstandard herangezogen. Sensitivitäten, Spezifitäten, Korrektheiten sowie Treffsicherheiten für Verletzungen intrinsischer und extrinsischer Strukturen sowie des TFCC wurden im Hinblick auf den GOLD-Standard ermittelt.

In der MR-Bildgebung wurde eine Vielzahl von verschiedenen Sequenzen für die Untersuchung des Handgelenkes eingesetzt, ohne dass sich bisher ein einheitliches Untersuchungsprotokoll durchgesetzt hat [Stäbler 2000]. In der direkten MR-Arthrographie sind häufig eingesetzte Sequenzen die T1-gewichtete-SE-Sequenz und die 3D-FLASH-Sequenz. Ein Vergleich dieser beiden Sequenzen steht jedoch noch aus. Daher wurden die T1-gewichtete-SE-Sequenz (Schichtdicke 3 mm) und die 3D-FLASH-Sequenz (Schichtdicke 1,5 mm) getrennt evaluiert und unabhängig voneinander ausgewertet.

2 ANATOMIE DES HANDGELENKES

2.1 ANATOMISCHE GRUNDLAGEN

Die Handwurzelknochen bilden zwei Reihen, eine proximale und eine distale. Die proximale Reihe besteht aus dem Os scaphoideum, dem Os lunatum und dem Os triquetrum. Der distalen Reihe ist das Os trapezium, das Os trapezoideum, das Os capitatum und das Os hamatum zuzuordnen [Sennwald 1987]. Das Os pisiforme zählt nicht direkt zur proximalen Handwurzelreihe, da es nur mit dem Os triquetrum gelenkig verbunden ist und als in die Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris eingelassenes Sesambein angesehen wird [Platzer 1991, Schiebler 1987].

Weder Muskeln noch Sehnen inserieren an den Knochen der proximalen Handwurzelreihe [Jacob 1992]. Die proximale Reihe dient als mechanische Verbindung, die dem Handgelenk Rotationsstabilität verleiht, während die distale Handwurzelreihe ihre Funktion vor allem in der Stabilisierung und Kraftverteilung hat [Atkinson, Baxley 1994].

Aufgrund vieler Verbindungen zwischen den einzelnen Karpalknochen wird im Handgelenk eine gute Stabilität erreicht. Diese Stabilität wird durch verschiedene Bänder verstärkt, die die Handwurzelknochen untereinander, mit den Metakarpalia, mit dem Radius sowie der Ulna verbinden [Viegas 1993, Mayfield 1976].

Die Beweglichkeit der einzelnen Handwurzelknochen wird zum einen durch die Stellung der benachbarten Gelenkflächen, zum anderen aber auch durch die Bandstrukturen eingeschränkt.

Beide Handwurzelreihen unterscheiden sich in ihrer Beweglichkeit. Die interossären Ligamente der distalen Reihe sind kräftig ausgebildet und bilden eine straffe Einheit, so dass bei Bewegungen der Hand keine wesentliche Veränderung dieser stabilen Reihe hervorgerufen wird. Die Knochen der proximalen Reihe bilden eine halbstarre Einheit und haben daher bedeutend höhere Freiheitsgrade [Sennwald 1987].

Die Ligamente halten die Handwurzelknochen in ihrer physiologischen Position, so dass die Gelenkflächenbelastung des einzelnen Knochen gering ist [Jacob 1992].

Taleisnik schlug 1976 eine Unterteilung der Bänder in zwei Gruppen vor, in eine intrinsische und eine extrinsische Gruppe. Intrinsische Bänder verbinden einzelne Handwurzelknochen, während extrinsische Bänder den Karpus an den Radius bzw. an den Metakarpus binden [Taleisnik 1976].

In der Literatur hat sich die Klassifikation nach Sennwald durchgesetzt. Sennwald unterteilte die Bänder entsprechend ihrer Funktion. Zwei Bandsysteme werden unterschieden: Das artikuläre System, das die intraartikulären und intrakapsulären Ligamente umfasst, und das extraartikuläre System, dessen Bänder außerhalb des Gelenkes liegen. Bei dieser Unterteilung überschneiden sich anatomische und funktionelle Kriterien.

Das extraartikuläre System besteht aus dem Retinaculum extensorum und dem Retinaculum flexorum.

Das artikuläre Bandsystem gliedert sich in vier anatomisch-funktionelle Gruppen:

1. Gruppe der interossären Bänder:

a) der proximalen Reihe

Hierzu gehören Bandstrukturen, welche die drei proximalen Karpalknochen miteinander verbinden. Diese lassen den Knochen einen gewissen Freiheitsgrad und bilden eine halbstarre, funktionelle Einheit.

b) der distalen Reihe

Die interossären Bänder der distalen Karpalreihe sind kurze kräftige Bänder. Diese gestehen den Knochen keinerlei Freiheit zu und lassen die distale Reihe als einen „funktionellen Monolithen“ erscheinen [Sennwald 1987].

2. Gruppe der palmaren V-Bänder:

a) proximales V

Mehrere Bänder halten den Radius, das Lunatum und den fibro-kartilaginären Komplex zusammen.

b) distales V

Bandstrukturen, die den äußeren Rand des Radius mit dem Capitulum verbinden, bilden das distale V. Diese setzen sich über das Hamatum zum Triquetrum und weiter zum Pisiforme fort. Das Os pisiforme ist die Schnittstelle des tiefen und des oberflächlichen Systems. Vom Retinaculum flexorum, welches zum oberflächlichen System zählt, reichen ebenfalls Bandansätze zum Pisiforme.

3. Der Ulnarkomplex:

Der Ulnarkomplex unterteilt sich in fünf Strukturen [Palmer 1981]:

a) das Ligamentum collaterale ulnare

b) das Ligamentum ulnotriquetrum, das dem ulnokarpalen Meniskus entspricht

c) den Discus articularis (dreieckiger Faserknorpel) mit dorsaler und palmarer Kapselverstärkung

d) das Ligamentum ulnolunatum, welches dem ulnaren Teil des proximalen V entspricht

e) die Hülle des Musculus extensor carpi ulnaris

4. Gruppe der dorsalen Bänder (= dorsales V):

Diese Gruppe besteht aus mehreren Bändern, die ein querliegendes V mit ulnarem Scheitelpunkt bilden. Der proximale Teil verbindet Radius und Triquetrum. An dieser Stelle geht das Retinaculum extensorum in das artikulare System über und inseriert am Pisiforme. Das Os pisiforme ist somit Bindeglied zwischen dem palmarem und dem dorsalem sowie dem

artikulärem und dem extraartikulärem System. Der distale Teil verbindet das Triquetrum über das Lunatum mit dem Skaphoid.

Die nachfolgende Übersicht stellt, in Anlehnung an Schmitt und Lanz, von den oben genannten Einteilungen leicht abgewandelt, die Lage der karpalen Ligamente dar [Schmitt, Lanz 1996].

Ligamente	Lage
Interossäre Ligamente: Lig. radioscapulolunatum Lig. scapholunatum Lig. lunatotriquetrum Lig. capitohamatum	extrinsisch intrinsisch intrinsisch intrinsisch
Ligamente des proximalen V: Lig. radiolunotriquetrum Lig. ulnotriquetrum Lig. ulnolunatum Discus triangularis	extrinsisch extrinsisch extrinsisch extrinsisch
Ligamente des palmaren distalen V: Lig. radioscaplocapitatum Lig. scaphocapitatum Lig. triquetrocipitatum Lig. scaphotrapeziotrapezoideum	extrinsisch intrinsisch intrinsisch intrinsisch
Ligamente des dorsalen V: Lig. radiotriquetrum dorsale Lig. intercarpale dorsale	extrinsisch intrinsisch

Tab. 1: Klassifikation und Lage der karpalen Ligamente

Auf den folgenden Abbildungen ist die physiologische Anatomie der Karpalknochen, der intrinsischen Bandstrukturen sowie des triangulären fibrokartilaginären Komplexes dargestellt.

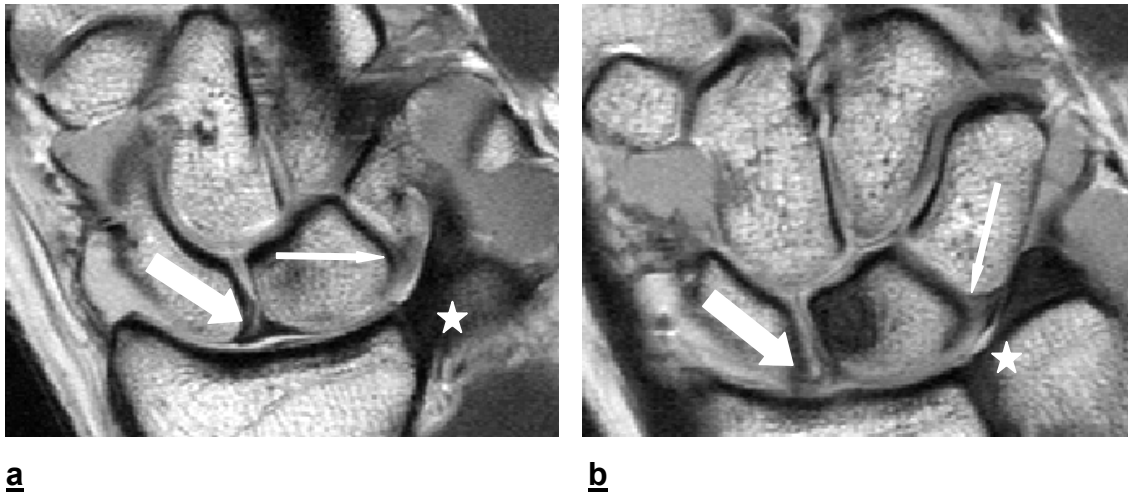


Abb. 1 a+b: Die T1-gewichtete-SE-Sequenz in koronarer Schichtführung zeigt am Beispiel eines 24-jährigen Patienten eine normale Darstellung des SL-Bandes [dicker Pfeil], des LT-Bandes [dünner Pfeil] und des TFCC [Stern].

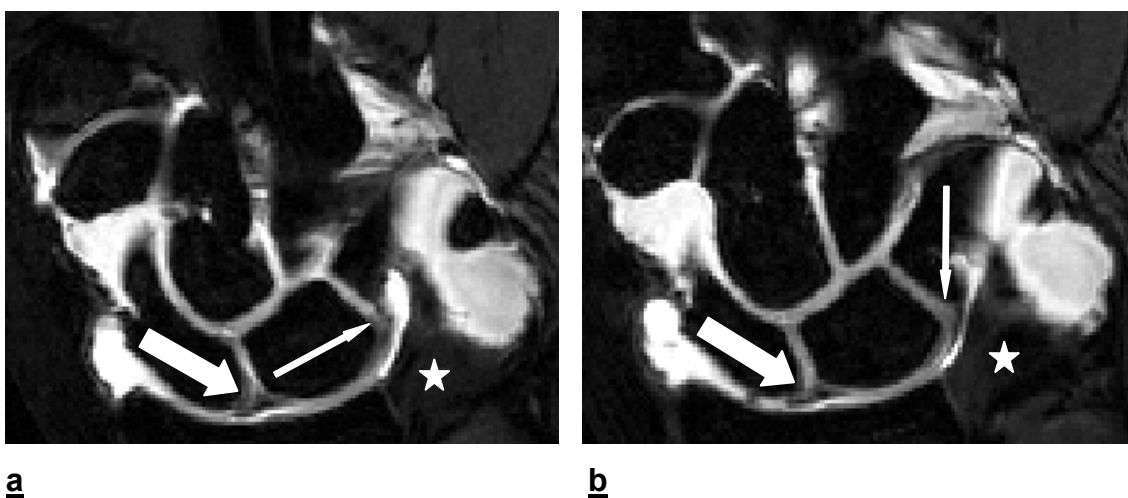


Abb. 2 a+b: Die 3D-FLASH-Sequenz in koronarer Schichtführung zeigt am Beispiel eines 24-jährigen Patienten eine normale Darstellung des SL-Bandes [dicker Pfeil], des LT-Bandes [dünner Pfeil] und des TFCC [Stern].

2.2 TRIANGULÄRER FIBROKARTILAGINÄRER KOMPLEX (TFCC)

Der TFCC zeigt sich als eine anatomisch und biomechanisch komplexe Struktur und besteht aus knorpeligen und ligamentären Anteilen, die zwischen Ulna und ulnarem Karpus organisiert sind. Der Komplex entspringt am Radius und inseriert an der distalen Ulna und am Karpus. Die Strukturen des TFCC, das Lig. collaterale ulnare, das Lig. ulnotriquetrum, der Discus articularis, das Lig. ulnolunatum und die Hülle des M. extensor carpi ulnaris, sind bei manchen Menschen leicht abgrenzbar, bei anderen jedoch kaum voneinander zu trennen [Palmer 1981].

Im Durchmesser misst der Komplex 4 mm bei einer Dicke von 2-5 mm [Palmer 1981]. Linkous legte dar, dass der TFCC an der dünnsten Stelle 1-2 mm und an der dicksten Stelle 4-5 mm misst [Linkous 1998].

Der horizontale Teil, oft TFC genannt, ist größtenteils avaskulär, der periphere ligamentäre Anteil hingegen stark vaskularisiert [Thiru 1986]. Diverse Studien an Leichen zeigten, dass zwischen 10 und 40% bzw. 15 und 20% der Peripherie durchblutet sind, der innere zentrale Teil allerdings nicht durchblutet ist [Bednar 1991, Chidgey 1991, Thiru 1986]. Die Autoren folgerten, dass Risse in der zentralen avaskulären Zone nicht heilen können, während im vaskulären Gebiet ein großes Potenzial für eine Heilung vorhanden ist.

Der Komplex hat verschiedene wichtige biomechanische Funktionen. Der Radius trägt 80% und die Ulna 20% der Belastung, wenn der Unterarm belastet wird oder unter Druck steht. Der TFCC überträgt die Belastung vom Unterarm auf die Hand. Weiterhin stabilisiert dieser das distale radioulnare Gelenk. Wenn sich die distalen radioulnaren Bänder unter Rotation des Unterarms anspannen, ist der TFCC der wichtigste Stabilisator des DRUG. Die dritte Funktion des TFCC ist, über den ulno-karpalen Bandkomplex die Stabilität des ulnaren Karpus sicher zu stellen [Beyermann 1999, Baehser-Griffith 1997, Sennwald 1987, Palmer 1981].

Mit zunehmendem Alter treten am TFCC degenerative Veränderungen auf. Mikic führte eine Studie an 180 Leichenhänden durch, die vom Kindesalter bis

zu einem Alter von 97 Jahren reichten. Im Kindesalter sowie in der ersten und zweiten Lebensdekade zeigte sich kein Hinweis auf eine degenerative Veränderung. In der dritten Dekade fanden sich erste Hinweise für degenerative Schädigungen. Perforationen traten allerdings vor der vierten Lebensdekade nicht auf. Mit zunehmendem Alter wurde eine fast lineare Zunahme von Perforationen im TFCC festgestellt. Nach dem fünfzigsten Lebensjahr waren nahezu alle Handgelenke degenerativ verändert. Eine Perforation fand sich bei 43% der 50- bis 60-Jährigen und bei 57% der über 60-Jährigen untersuchten Handgelenke. Der Beginn der Degeneration zeigte sich mittig, da der Komplex an dieser Stelle am dünnsten ist [Mikic 1978].

Palmer entwickelte eine Klassifikation, in der er Läsionen am triangulären fibrocartilaginären Komplex nach traumatischem oder degenerativem Ereignis und nach deren Lokalisation einteilte. Diese Klassifikation hat sich in der Literatur durchgesetzt und findet in der Praxis breite Anwendung [Palmer 1989].

Klasse 1: Traumatisch	
Stadium A	Zentrale Diskusverletzung
Stadium B	Ulnare Abrissverletzung mit / ohne Abriss des Processus styloideus ulnae
Stadium C	Distale Abrissverletzung
Stadium D	Radiale Abrissverletzung mit / ohne Knochenlamelle
Klasse 2: Degenerativ	
Stadium A	Schäden an der Ober- und / oder Unterfläche des Diskus ohne begleitende pathologische Befunde
Stadium B	Schäden an der Ober- und / oder Unterfläche des Diskus mit malazischen Bezirken am Ulnaköpfchen und / oder an der Gelenkfläche des Os lunatum
Stadium C	Degenerativ bedingte Perforation im Diskus mit malazischen Veränderungen am Ulnaköpfchen und / oder an der Gelenkfläche des Os lunatum
Stadium D	Degenerative Diskusperforation mit malazischen Veränderungen am Ulnaköpfchen bzw. an der Gelenkfläche des Os lunatum und mit einer degenerativ bedingten Ruptur des Ligamentum lunotriquetrale
Stadium E	Endstadium degenerativer Veränderungen einer degenerativen Diskusperforation, begleitende Knorpelveränderungen im gesamten diskoularen Bereich, am Os lunatum, am Os triquetrum und am Diskusansatz am Radius, d.h. degenerativ bedingte Arthrose des ulnaren Handgelenkbereiches

Tab. 2: Einteilung der Diskusläsionen nach Palmer 1989

2.3 LIGAMENTUM SCAPHOLUNATUM (SL-BAND)

Das SL-Band gilt als wichtigster Stabilisator der gesamten Hand [Totterman 1996]. Es ist eine biomechanische Verbindung zwischen dem Os scaphoideum und dem Os lunatum. Zum einen stabilisiert das SL-Band dieses Gelenk durch Kopplung an das Os lunatum, zum anderen glättet es elastisch dämpfend verschiedene Bewegungen [Mayfield 1976, Linscheid 1972]. Es gehört zu den intrinsischen Bandstrukturen und schweißt, gemeinsam mit dem LT-Band, vier Knochen der distalen Handwurzel zu einer funktionellen Einheit zusammen. Es ist ein schmales, hufeisenförmiges Band, mit einer Länge von 9 mm und einer Dicke von 4–5 mm [Totterman 1993]. Einer Studie von Berger zufolge misst das SL-Band bei einer Länge von 5 mm durchschnittlich 3 mm Dicke [Berger 1996]. Das Band gliedert sich in drei separate anatomische Zonen mit verschiedenen biomechanischen Funktionen. Das palmare und dorsale Drittel des interossären Bandes liegen intrakapsulär und stellen den größten Teil der biomechanischen Stärke bereit. Das mittlere proximale Drittel des Bandes hat nur einen minimalen Einfluss auf die Stabilität der skapholunären Gelenkverbindung [Levinsohn 1991]. Die dorsale Region ist mit durchschnittlich 3 mm die dickste Region, während die palmare, mit oft nicht mehr als 1 mm Dicke, eine sehr dünne Region darstellt [Berger 1996].

Laut Smith zeigen sich zwei Formen des SL-Bandes: Eine lineare Form und eine Delta-Form. Der Delta-Anteil liegt bei 90%, während die lineare Form lediglich zu 10% in Erscheinung tritt [Smith 1994].

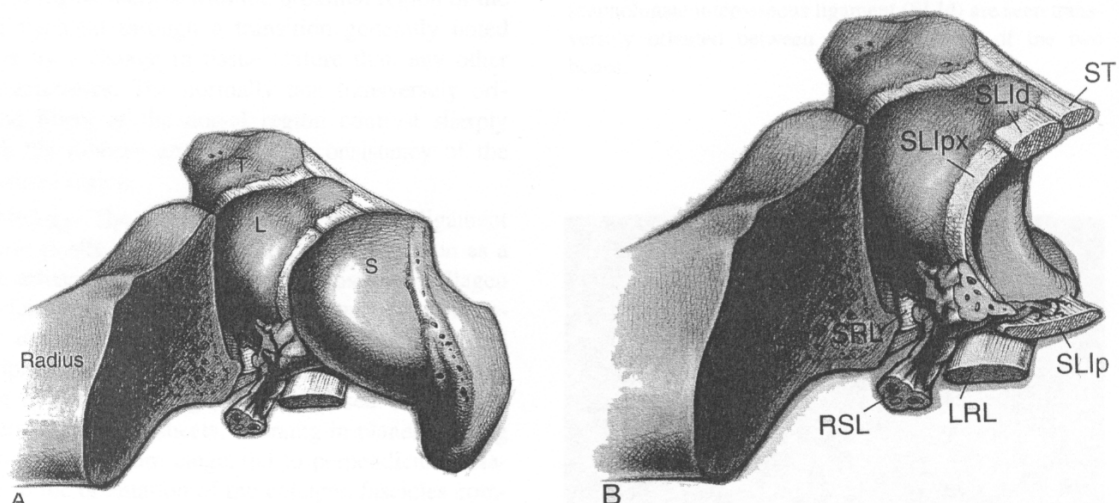


Abb. 3: Darstellung der Beziehung zwischen dem Radius und dem SL-Band aus der radialen und der proximalen Perspektive (T = triquetrum, L = lunare, S = scaphoid, LRL = long radiolunate ligament, SRL = short radiolunate ligament, SLI = scapholunate interosseus ligament, d = dorsal, px = proximal, p = palmar, RSL = radioscapholunate ligament, ST = scaphotriquetral ligament) [Berger 1996].

2.4 LIGAMENTUM LUNOTRIQUETRUM (LT-BAND)

Das LT-Band gehört, wie auch das SL-Band, zu den intrinsischen Bändern. Es verbindet das Os lunatum mit dem Os triquetrum. Das Band ist sehr kräftig und bindet diese beiden Knochen stramm aneinander. Drei verschiedene Varianten des Bandes wurden nachgewiesen: Eine Delta-Form, eine lineare Form sowie eine amorphe Form. Diese Formen treten in unterschiedlichen prozentualen Verteilungen auf: 62% bis 63% Delta-Form, 29% bis 37% lineare Form und bis zu 9% amorphe Form [Smith 1994].

Das LT-Band hat eine Länge von 2 mm und einen kurvenförmigen Verlauf, die das Erkennen der Struktur zusätzlich zu den anatomischen Varianten erschweren [Jacob 1992, Schweitzer 1992, Zlatkin 1989].

Für das LT-Band konnten Viegas und Ballantyne eine Korrelation zwischen Alter und Banddefekten nachweisen. Bei 100 Leichen fanden sich bei 27,6%

der 60-Jährigen LT-Bandverletzungen, während sich bei Leichen, die bis zu 45 Jahre alt waren, keine Läsionen zeigten [Viegas, Ballantyne 1987].

2.5 LIGAMENTUM RADIOSCAPHOLUNATUM (RSL-BAND)

Das RSL-Band stellt eine Ausnahme dar, denn es ist das einzige Band, das mit dem Namen seines Erstbeschreibers 1928 auch als Ligamentum Testut bezeichnet wird. Es entspringt unmittelbar palmar der Crista intercondylaris des distalen Radius. Die Ansätze befinden sich am palmaren Teil des SL-Bandes sowie auf beiden Seiten des Os scaphoideum und des Os lunatum. Da das Ligament zum Teil im SL-Band inseriert, bildet es als Stabilisator einen integrierten Komplex. Aufgrund der anatomischen Form trägt es aber einen eher geringen Teil zur Stabilisation bei. Es hat eine schlanke Struktur, welche im Vergleich zu anderen intrakapsulären und zum skapholunären Band sehr dünn ist. Das RSL-Band ist ungefähr 10 mm lang, 5 mm breit und zwischen 2 mm und 4 mm dick. In Anbetracht dieser anatomischen Konstellation ist das RSL-Band für sich alleinstehend nur sehr schwierig zu beurteilen. Bei Läsionen des SL-Bandes ist es wohl häufig mitbetroffen.

Im Wesentlichen dient die Bandstruktur dazu, die nervale Versorgung und die Blutversorgung für den Bereich des Ligamentum scapholunatum zu gewährleisten. Im Vergleich zu anderen ligamentären Strukturen ist die Vaskularisation des RSL am stärksten. Das Ligamentum radioscapholunatum stellt ein neurovaskuläres Netzwerk dar [Berger 1990, Hixson 1990, Berger 1984, Mayfield 1976].

Abbildung 4 zeigt die Darstellung eines intakten Ligamentum radioscapholunatum mit Hilfe der MR-Arthrographie.

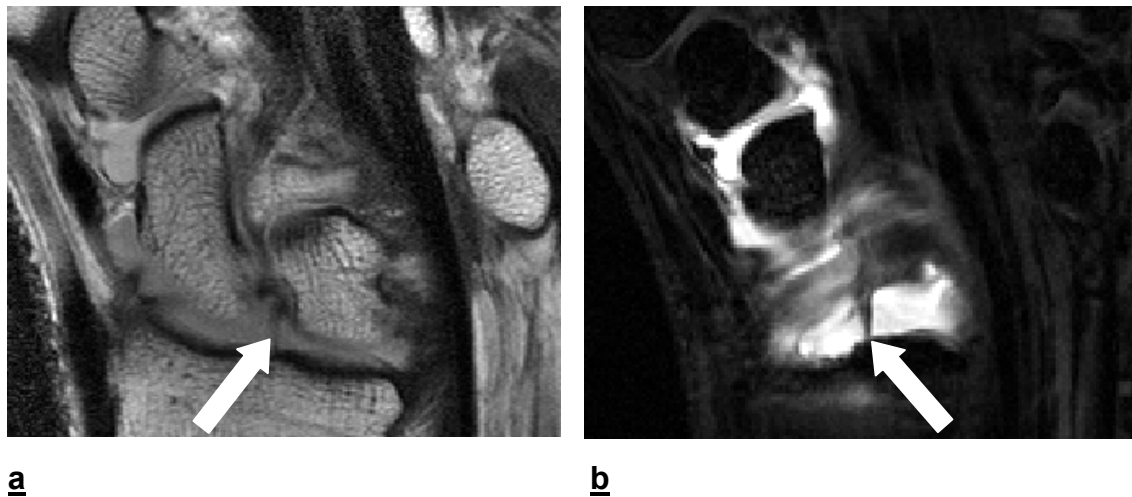


Abb. 4 a+b: T1-gewichtete-SE-Sequenz (a) und 3D-FLASH-Sequenz (b) zeigen am Beispiel eines 24-jährigen Patienten die Normalanatomie des RSL-Bandes [dicker Pfeil].

2.6 LIGAMENTUM RADIOLUNOTRIQUETRUM (RLT-BAND)

Das RLT-Band hat seinen Ursprung an der palmaren Kante des Radius. Es stellt sich als schräg-kontinuierlicher Bandzügel dar und inseriert sowohl am Os lunatum als auch am Os triquetrum. Zusammen mit dem Ligamentum radioscaphocapitatum bildet es den wichtigsten Stabilisator in der volaren Handgelenkscapsel.

2.7 LIGAMENTUM RADIOSCAPHOCAPITATUM (RSC-BAND)

Das RSC-Band entspringt am Processus styloideus radii. Es verläuft schräg über das Os scaphoideum und gibt einige Fasern an das Ligamentum scapholunatum und an das Skaphoid ab, bevor das Band die Articulatio scaphocapitatum überquert, um an der Taille des Os capitatum anzusetzen. Das Band stellt die einzige Verbindung zwischen dem Radius und dem Skaphoid dar [Berger 1990]. Das RSC-Band ist kräftig ausgebildet. Bei Pronation überträgt es durch Anspannung einen großen Teil des Pronationszuges auf den Karpus.

2.8 DISTALES RADIOULNARGELENK, RADIOKARPALGELENK UND MEDIO-KARPALGELENK

Im Handgelenk ergeben sich durch den anatomischen Aufbau drei Gelenkräume: Das distale Radioulnargelenk (DRUG), das Radiokarpalgelenk (RCG) und das Mediokarpalgelenk (MCG).

Zwischen dem DRUG und dem proximalen Handgelenk, zwei funktionell vollkommen verschiedenen Gelenken, findet sich eine Inkongruenz wegen des erheblichen Unterschiedes der Länge von Ulna und Radius bzw. der Krümmung beider Oberflächen. Diese Inkongruenz wird ligamentär ausgeglichen und durch den ulnokarpalen Komplex stabilisiert [Linscheid 1992].

Das DRUG erlaubt eine erhebliche Rotation im Unterarm [Hempfling 1995]. Es setzt sich aus Caput ulnae und Incisura ulnaris zusammen. Das DRUG ist ein Radgelenk, in dessen Gelenkraum die Circumferentia articularis des Caput ulnae fällt. Ebenso gehört zu diesem Gelenkraum die distale Caput- und die proximale Diskusoberfläche. Der Gelenkkontakt zwischen Radius und Ulna wird durch eine dichte Anheftung der Kapsel neben den überknorpelten Gelenkflächen und ulnokarpalen Bändern hergestellt. Die Bänder sind fest mit der volaren und dorsalen Begrenzung des Discus triangularis verbunden [Hempfling 1995].

Im RCG, das ein Ei- bzw. Ellipsoidgelenk darstellt, bildet der Diskus gemeinsam mit dem Radius die Gelenkpfanne. In dieser Gelenkpfanne artikulieren die Knochen der proximalen Handwurzelreihe. Diese Knochen werden von Zwischenbändern, die von einem Knorpelbelag überzogen sind, zu einem elliptischen Gelenkkopf zusammengefasst [Brandner 1992].

Das MCG, ein verzahntes Scharniergelenk [Schiebler 1987], besitzt einen wellenförmigen Gelenkspalt, der in Verbindung mit dem Gelenkspalt der Interkarpalgelenke steht. Die Gelenkkapsel ist an der Knorpel-Knochen-Grenze befestigt, auf der Dorsalseite weit und auf der Palmarseite straff.

Im Mediokarpalgelenk lassen sich zwei Typen des Os lunatum hervorheben. Das Typ I-Lunatum, das in 35% der Handgelenke auffindbar ist, hat eine einfache konkave distale Gelenkfläche, die nur mit dem Os capitatum artikuliert. Das Typ II-Lunatum, in 65% der Hände vorhanden, artikuliert primär mit dem Os capitatum, jedoch zusätzlich über eine separate Gelenkfacette mit dem Os hamatum. Die Größe dieser Facette des Os lunatum variiert zwischen 1 und 6 mm [Viegas 1992].

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 PATIENTENKOLLEKTIV

Zwischen Januar 1996 und November 2002 wurde bei 75 karpal symptomatischen Patienten, bei denen ein Verdacht auf Verletzungen der intrinsischen Bänder oder des TFCC vorlag, vor der diagnostischen Arthroskopie eine ambulante MR-Arthrographie durchgeführt. Die Arthroskopie folgte der MR-Arthrographie in einem Abstand von drei Tagen bis sieben Wochen. Bei allen Patienten wurden durch konventionelle Röntgenaufnahmen statisch instabile Defekte intrinsischer Bänder ausgeschlossen.

Von den 75 untersuchten Patienten waren 50 männlich und 25 weiblich. Die Patienten waren zwischen 19 und 64 Jahre alt (Durchschnittsalter $38,3 \pm 12,1$ Jahre).

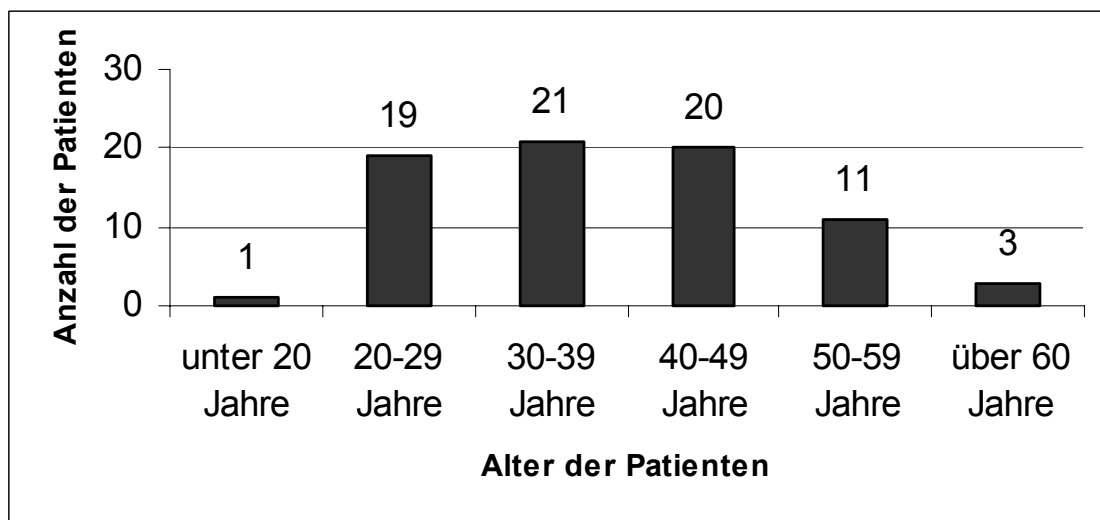


Abb. 5: Altersverteilung des Patientenkollektivs (n = 75)

3.2 MR-ARTHROGRAPHIE

Bei allen Patienten wurde ambulant unter standardisierten Bedingungen eine MR-Arthrographie durchgeführt. Die intraartikuläre Applikation des Kontrastmittels erfolgte durchleuchtungsgesteuert unter sterilen Bedingungen nach dem Protokoll einer konventionellen Handgelenksarthrographie. Das Kontrastmittel bestand aus einer Mischung aus Gadolinium-Diethylen-Triamin-Pentaacetinsäure [Gadolinium-DTPA] und Iotrolan® (0,05 ml Magnevist® und 10 ml Isovist®, Mischungsverhältnis 200:1). Mit einer 22 Gauge-Nadel wurde zunächst das Mediokarpalgelenk zwischen dem Os capitatum, dem Os scaphoideum und dem Os trapezoideum punktiert. Es wurde soviel Kontrastmittel appliziert, bis der mediokarpale Gelenkspalt aufgedehnt war und der Patient ein Spannungsgefühl im Handgelenk verspürte. Die Punktion des Radiokarpalgelenkes erfolgte in analoger Weise zum Mediokarpalgelenk proximal des Os scaphoideum. Wenn sich das Radiokarpalgelenk als ein kommunizierender Defekt über den skapholunären oder lunatotriquetralen Gelenkspalt mit Kontrastmittel anfüllte, wurde der Defekt dokumentiert und eine direkte Punktion war nicht erforderlich. Eine direkte Punktion des distalen Radioulnargelenkes hingegen erfolgte nicht, da ein Defekt in diesem Gelenk keine klinische Konsequenz hat und auch arthroskopisch nicht beurteilt wurde. Für die Injektion in das Handgelenk wurden zwischen 3 und 6 ml Kontrastmittel verwendet. Der Zeitaufwand für die Arthrographie betrug 15 bis 20 Minuten. Nach Durchführung der Arthrographie wurde das betroffene Handgelenk aktiv bewegt.

Im Anschluss an die Arthrographie wurde an einem Standard-Tomographen (Magnetom Vision und Magnetom Symphony, Firma Siemens Erlangen/ Deutschland) mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla und bei einer Gradientenstärke zwischen 25 und 40 mT/m die Magnetresonanztomographie durchgeführt. Dazu wurde der Patient in Bauchlage gelagert. Der Arm der Beschwerdeseite wurde in der sogenannten „Superman position“ mit 180° Extension im Ellbogengelenk über den Kopf gelegt. Die Hand lag mit einer zentrischen Position in der Magnetmitte, da hier die Homogenität am höchsten ist. Für die Untersuchung

wurde eine Oberflächenspule (Symphony High Resolution Wrist Array, Model HRW 1,5 T, MRI Devices Corporation, Siemens/USA und Wrist Flex Small Array, Siemens Erlangen/Deutschland) verwendet.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht des MR-Protokolls der durchgeführten Untersuchung wieder.

	T1-SE-Sequenz	3D-FLASH-Sequenz
Repetitionszeit	500 ms	24 ms
Echozeit	20 ms	11 ms
Schichtdicke	3 mm	1,5 mm
Field of View	100 – 120 mm	100 – 120 mm
Matrix	512 × 512	256 × 256
Flip angle	90°	50°
Schichten	13	30
Schichtabstand	0,3 mm	0 mm
Akquisitionszeit	312 s	258 s

Tab. 3: MR-Protokoll der durchgeführten Untersuchung

In Abbildung 6 wird die Applikation des Kontrastmittels unter sterilen Bedingungen dargestellt.

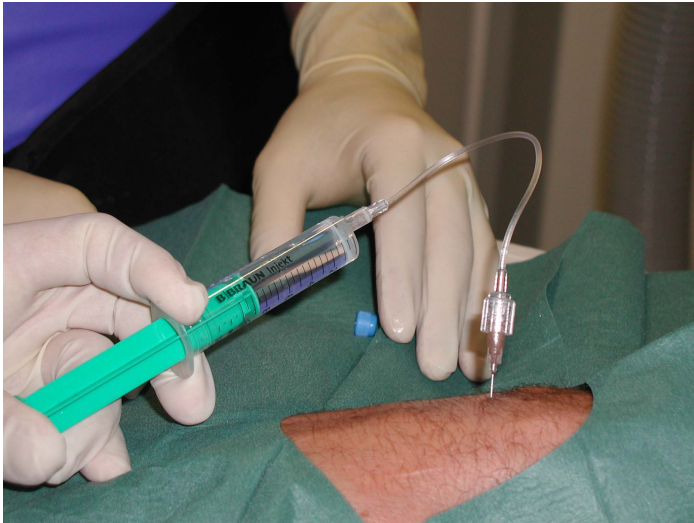


Abb. 6: Applikation des Kontrastmittels (Gadolinium-DPTA-Gemisch) unter sterilen Bedingungen

Die Applikation des Gadolinium-DTPA-Gemisches während der Arthrographie erfolgte durchleuchtungsgesteuert, wie Abbildung 7 zeigt.

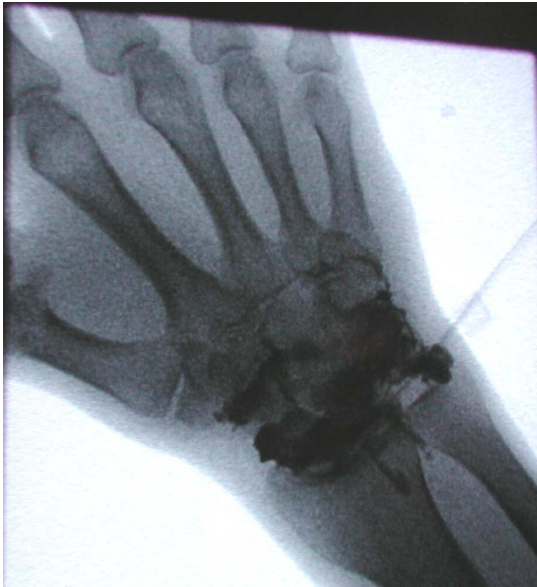


Abb. 7: Durchleuchtungsgesteuerte Kontrolle der Applikation des Kontrastmittels (Gadolinium-DPTA-Gemisch)

3.3 ARTHROSKOPIE

Die Patienten wurden in einer Arm-Plexusanästhesie und unter Lagerungsbedingungen eines Mädchenfängers arthroskopiert. Durch ein Extensionsgewicht am Oberarm wurde ein Längszug auf das Handgelenk ausgeübt. Eine Oberarmblutsperre mit 300 mmHg wurde angelegt. Die Hand stand in neutraler Rotationsstellung. Veränderungen der Stellung wie Beugung, Radial- und Ulnarduktion sowie Pro- und Supination wurden durch den Operateur oder den Assistenten ausgeführt.

Standardgemäss war das 3/4U-Portal zwischen III. und IV. Strecksehnenfach (ulnarseitig der Sehne des M. extensor pollicis longus), unabhängig von der Pathologie, immer der Erstzugang für die Optik, da man von dort in den größten Teil des Handgelenkes einsehen und sich einen ersten Überblick verschaffen konnte.

Für den instrumentellen Zugang wurde das 4/5U-Portal (ulnarseitig der Sehne des M. extensor digitorum communis) gewählt.

Im Anschluss wurde in analoger Technik das Mediokarpalgelenk gespiegelt.

Die Gelenkflächen des Radius, die proximalen Karpalia, die palmaren Kapsel-Bandstrukturen, der Discus ulnocarpalis, die dorsale Kapsel, die proximalen interkarpalen Bänder und die synoviale Auskleidung wurden mit Hilfe des Tasthakens mitunter dynamisch untersucht.

Abbildung 8 stellt die typischen Lagerungsbedingungen der Arthroskopie mit Hilfe eines sogenannten Mädchenfängers dar, unter denen die Spiegelung des Handgelenkes erfolgt.

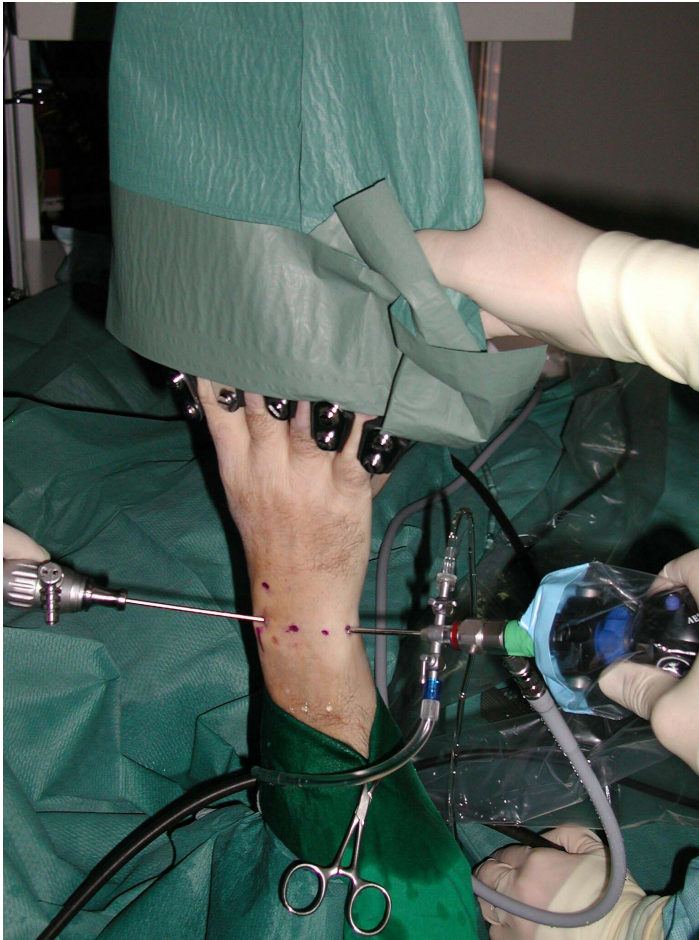


Abb. 8: Arthroskopie des Handgelenkes in Mädchenfängerposition

3.4 BEURTEILUNGSKRITERIEN

In einer retrospektiven Auswertung wurden durch zwei muskuloskelettal erfahrene Radiologen ohne vorherige Kenntnis des Arthroskopiebefundes alle MR-Bilder bezüglich Verletzungen der intrinsischen Bänder und des TFCC im Konsensus evaluiert. In der sagittalen T1-gewichteten-SE-Sequenz wurde zunächst anhand der Stellung der Karpalia untersucht, ob Zeichen für dorsale oder ventrale Segmentinstabilitäten als indirekte Hinweise für intrinsische Bandverletzungen vorlagen. Instabile Komplettrupturen und Partialdefekte intrinsischer Ligamente wurden in Anlehnung an Hempfling bzw. entsprechend der Unterteilung der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie klassifiziert. Die Einteilung perforierender Defekte des TFCC sowie degenerative Ausdünnungen und Einrisse erfolgte entsprechend der Palmer-Klassifikation. Alle Befunde der 3D-FLASH-Sequenz und der T1-gewichteten-SE-Sequenz wurden im Anschluss mit den Befunden der Arthroskopie korreliert.

Die Arthroskopeure teilten die Verletzungsgrade des skapholunären und lunotriquetralen Bandes entsprechend der Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie bzw. in Anlehnung an Hempfling ein. Mit der Arthroskopie als GOLD-Standard wurden für die MR-Arthrographie Sensitivitäten, Spezifitäten, positive sowie negative Korrektheiten und Treffsicherheiten errechnet.

In der durchgeführten Untersuchung wurden folgende Befunde erhoben und zwischen den angewendeten Verfahren verglichen:

1. Komplettrupturen und Partialdefekte karpaler Strukturen:
 - a) Ligamentum scapholunatum
 - b) Ligamentum lunotriquetrum
 - c) Triangulärer fibrocartilaginärer Komplex

2. Komplettrupturen von:

- a) Ligamentum radioscaphocapitatum
- b) Ligamentum radiolunotriquetrum

3. Darstellbarkeit des Ligamentum radioscapholunatum (Testut)

3.4.1 AUSWERTUNG DER MR-ARTHROGRAPHIE

Im Rahmen dieser Untersuchung wird von einer Komplettruptur ausgegangen, wenn in angrenzenden Schichten keine ligamentären Anteile mehr nachweisbar sind. Partialdefekte entsprechen in der MR-Arthrographie kommunizierenden Defekten zwischen Radiokarpal- und Mediokarpalgelenk bei erhaltenen ligamentären Anteilen in angrenzenden koronaren Schichten.

Extrinsische Bänder wurden nicht in Partialdefekte unterteilt, da diese zu selten arthroskopisch erfasst wurden.

Intrinsische Ligamente (SL- und LT-Band)

Verletzungen des SL-Bandes wurden nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie beurteilt. Ein Partialdefekt (Grad I) lag vor, wenn proximal und distal eines kommunizierenden Defektes noch intakte Bandstrukturen nachweisbar waren. Die Weite des SL-Raumes war im Normbereich von ≤ 2 mm. Als dynamisch instabile Komplettrupturen (Grad II) wurden Verletzungen eingeteilt, bei denen ein kommunizierender Kontrastmitteldefekt vom Mediokarpalgelenk bis in das Radiokarpalgelenk bestand, der das gesamte Sagittalausmaß des skapholunären Gelenkspaltes ausfüllte und intakte Bandanteile in angrenzenden Schichten nicht mehr erkennbar waren.

Statisch instabile, bereits auf konventionellen Röntgenaufnahmen erkennbare, Bandverletzungen (Grad III) lagen im Auswertungskollektiv nicht vor.

Die Hempfling-Klassifikation teilt intrinsische Bandverletzungen in vier Grade ein. Das erste und zweite Hempfling-Stadium wurde in der MR-Arthrographie nicht berücksichtigt, da MR-arthrographisch keine korrespondierenden morphologischen Veränderungen zu erwarten sind. Das Stadium 3, das arthroskopisch einer Partialruptur entspricht, wurde in der MR-Arthrographie als kommunizierender Defekt gewertet. Intakte, signalarme Bandanteile waren noch abgrenzbar. Die Weite des LT-Raumes war im Normbereich von ≤ 2 mm. Das Stadium 4 entspricht einer Komplettruptur, welches in Analogie zum skapholunären Band in der MR-Arthrographie als ein kommunizierender Defekt gewertet wurde. Das komplette Sagittalausmaß des Bandes war betroffen. Intakte Bandstrukturen waren nicht mehr nachweisbar.

Triangulärer fibrocartilaginärer Komplex

Komplettrupturen des triangulären fibrocartilaginären Komplexes (TFCC) sind in der MR-Arthrographie am Kontrastmittelübertritt vom Radiokarpalgelenk in das distale Radioulnargelenk erkennbar. Schlitzförmig perforierende TFCC-Defekte wurden der traumatischen Klasse 1 nach Palmer zugeordnet. Breite zentral perforierende Defekte wurden als degeneratives Stadium 2C bewertet. Umschriebene Ausdünnungen des TFCC unter 2 mm, oberflächliche Auf-faserungen oder nicht perforierende Einrisse wurden als Partialdefekt, Stadien 2A/B nach Palmer, beurteilt. Eine Unterscheidung in Stadium 2A oder Stadium 2B erfolgte nicht, da eine Auswertung eines zusätzlichen Chondromalaziegrades nicht Gegenstand der Untersuchung war.

Extrinsische Ligamente

Eine Komplettruptur wurde als durchgehende Diskontinuität oder als nicht darstellbares Band mit Kontrastmittelaustritt aus der Kapsel definiert. Das Ligamentum Testut (RSL-Band) wurde nur auf Darstellbarkeit bewertet. Wenn das Band MR-arthrographisch nachweisbar war, wurde dies dokumentiert. Auf die Beurteilung einer möglichen Pathologie wurde verzichtet.

3.4.2 AUSWERTUNG DER ARTHROSKOPIE

In der diagnostischen Arthroskopie ist eine qualitative Unterteilung der Verletzungen des skapholunären und des lunatotriquetralen Bandes in Anlehnung an die Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie bzw. in Anlehnung an Hempfling gebräuchlich.

Die Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie schlägt in ihren Leitlinien nach dem neuesten Stand von Juni 2001 für skapholunäre Bandläsionen eine Einteilung in drei Grade vor.

Grad I	Teilruptur im mittleren, membranösen Anteil ohne Achsenfehlstellung von Skaphoid und Lunatum
Grad II	Komplette Ruptur mit dynamischer Instabilität des Skaphoids
Grad III	Komplette Ruptur mit statischer Instabilität entsprechend dem Vollbild der SL-Dissoziation mit flektiertem Skaphoid und extendiertem Lunatum (DISI-Position)

Tab. 4: Einteilung der SL-Band-Läsion (Leitlinien der DGH 2001)

Verletzungen des lunatotriquetralen Bandes wurden anhand der Diagnosekriterien nach Hempfling in vier Stadien unterteilt.

Stadium I	Fehlen des hyalinen Knorpelüberzugs, stabile Bandverhältnisse
Stadium II	Lockerung der Bandverbindung mit oder ohne Verbreiterung des Gelenkspaltes unter Stressbedingungen
Stadium III	Partielle Bandruptur
Stadium IV	Vollständige Ruptur der intrinsischen Bänder

Tab. 5: Einteilung nach Hempfling (1995)

Die Differenzierung von Verletzungen des TFCC wurde anhand der Klassifikation von Palmer vorgenommen (siehe Kapitel 2, Seite 11).

3.5 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die MR-Arthrographie wurde nach folgenden Kriterien ausgewertet:

$$\text{Sensitivität (in \%)} = \frac{\text{richtig positiv}}{\text{richtig positiv} + \text{falsch negativ}}$$

Die Sensitivität gibt an, inwieweit das Verfahren einen pathologischen Befund als solchen erkennen kann.

$$\text{Spezifität (in \%)} = \frac{\text{richtig negativ}}{\text{richtig negativ} + \text{falsch positiv}}$$

Die Spezifität gibt an, inwieweit das Verfahren einen nicht pathologischen Befund als solchen erkennen kann.

$$\text{positive Korrektheit (in \%)} = \frac{\text{richtig positiv}}{\text{richtig positiv} + \text{falsch positiv}}$$

$$\text{negative Korrektheit (in \%)} = \frac{\text{richtig negativ}}{\text{richtig negativ} + \text{falsch negativ}}$$

Die Korrektheit gibt an, inwieweit das Verfahren einen richtigen / falschen Befund vorhersagen kann.

$$\text{Treffsicherheit (in \%)} = \frac{\text{richtig positiv} + \text{richtig negativ}}{\text{alle}}$$

Die Treffsicherheit gibt an, inwieweit das Verfahren einen richtigen Befund als solchen erkennen kann.

Matched-Pairs-Test nach Wilcoxon

Die beiden in der Untersuchung verwendeten Sequenzen (T1-gewichtete-SE-Sequenz und 3D-FLASH-Sequenz) wurden statistisch anhand des matched-pairs-test nach Wilcoxon verglichen. Ein p-Wert unter 0,05 kann als statistisch signifikant angenommen werden.

4 ERGEBNISSE

4.1 INTRINSISCHE LIGAMENTE UND TFCC DES GESAMTKOLLEKTIVS

Das dieser Studie zugrundeliegende Patientenkollektiv umfasste 75 karpal symptomatische Patienten, die nach einer Handgelenks-MR-Arthrographie eine diagnostische Arthroskopie erhielten. Alle Untersuchungen der 75 Patienten, sowohl mit der 3D-FLASH-Sequenz als auch mit der T1-gewichteten-SE-Sequenz, waren diagnostisch verwertbar. Es wurde ein Vergleich zwischen der MR-arthrographischen-Diagnostik der Bandstrukturen der Hand und der Arthroskopie durchgeführt. In der retrospektiven Auswertung der beiden Verfahren galt die Arthroskopie als GOLD-Standard.

Das Kollektiv bestand aus 50 männlichen und 25 weiblichen Patienten. Insgesamt (SL-Band, LT-Band, TFCC) lagen arthroskopisch 25 Komplett-rupturen vor. Diese betrafen 3-mal das SL-Band, 1-mal das LT-Band und 21-mal den TFCC.

47 Partialdefekte wurden diagnostiziert, davon 18 beim SL-Band, 9 beim LT-Band und 20 beim TFCC.

Für das gesamte Kollektiv wurden Overall-Sensitivitäten, Overall-Spezifitäten, positive und negative Korrektheiten sowie Overall-Treffsicherheiten, sowohl für die Erkennung von Komplett-rupturen als auch für die Erkennung von Partialdefekten der intrinsischen Bänder und des TFCC, ermittelt. Die extrinsischen Ligamente wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da bei diesen Bändern keine Unterscheidung von Komplett-rupturen und Partialdefekten vorgenommen wurde.

Die Ergebnisse für die Beurteilung aller Komplett-rupturen durch die MR-Arthrographie mittels 3D-FLASH- und T1-gewichteter-SE-Sequenz werden in Tabelle 6 dargestellt.

<u>Komplettruptur</u>	3D-FLASH-Sequenz	T1-SE-Sequenz
Sensitivität	92%	96%
Spezifität	100%	99,6%
Positive Korrektheit	100%	96%
Negative Korrektheit	99%	99,5%
Treffsicherheit	99,3%	99,1%

Tab. 6: Ergebnisse intrinsischer Komplettrupturen und Rupturen des TFCC (3D-FLASH-Sequenz, T1-SE-Sequenz)

Es konnte eine Sensitivität von 92% mit der 3D-FLASH-Sequenz und von 96% mit der T1-SE-Sequenz ermittelt werden. Für die 3D-FLASH-Sequenz lag eine Spezifität von 100% und für die T1-SE-Sequenz von 99,6% vor. Die positive Korrektheit bei Komplettrupturen betrug mittels 3D-FLASH-Sequenz 100% und mittels T1-SE-Sequenz 96%, während die negative Korrektheit bei 99% für die 3D-FLASH-Sequenz und bei 99,5% für die T1-SE-Sequenz lag. Anhand der Daten lässt sich eine Treffsicherheit für die Erkennung von Komplettrupturen mittels 3D-FLASH-Sequenz von 99,3% und mittels T1-SE-Sequenz von 99,1% bestimmen.

Tabelle 7 zeigt die ermittelten Ergebnisse im gesamten Patientenkollektiv für die Erkennung von Partialdefekten.

Partialdefekt	3D-FLASH-Sequenz	T1-SE-Sequenz
Sensitivität	63%	68,1%
Spezifität	96,1%	93,3%
Positive Korrektheit	80,6%	72,7%
Negative Korrektheit	91,1%	91,7%
Treffsicherheit	89,3%	88%

Tab. 7: Ergebnisse intrinsischer Partialdefekte und Partialdefekte des TFCC (3D-FLASH-Sequenz, T1-SE-Sequenz)

Für Partialdefekte konnte eine Sensitivität für die 3D-FLASH-Sequenz von 63% und für die T1-SE-Sequenz von 68,1% ermittelt werden. Die Spezifität betrug in der 3D-FLASH-Sequenz 96,1% und in der T1-SE-Sequenz 93,3%. Eine positive Korrektheit konnte in der MR-Arthrographie mittels 3D-FLASH-Sequenz mit 80,6% und mittels T1-SE-Sequenz mit 72,7% angegeben werden. Die negative Korrektheit wurde für die 3D-FLASH-Sequenz mit 91,1% und für die T1-SE-Sequenz mit 91,7% berechnet. Partialdefekte wurden in der 3D-FLASH-Sequenz mit einer Treffsicherheit von 89,3% und in der T1-SE-Sequenz von 88% diagnostiziert.

4.2 ERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER LIGAMENTE UND DES TFCC

Die ausgewählten Ligamente der Hand wurden jeweils mittels einer 3D-FLASH-Sequenz und einer T1-gewichteten-SE-Sequenz MR-arthrographisch untersucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Sequenzen anhand von Kreuztabellen graphisch dargestellt. Die Kreuztabellen zeigen die Korrelationen zwischen den Befunden der MR-Arthrographie und der Arthroskopie auf.

Es wurden Sensitivitäten, Spezifitäten sowie positive und negative Korrektheiten ermittelt. Für die Erhebung von Daten werden generell Nominaleinteilungen verwendet. In dieser Arbeit wurden Komplettruptur, Partialdefekt und unauffälliger Befund durch Ordinaleinteilungen („Neun-Felder-Tabellen“) tabellarisch veranschaulicht. Die Ordinaleinteilungen wurden in Nominaleinteilungen („Vier-Felder-Tabellen“) umgerechnet, um Sensitivitäten, Spezifitäten sowie positive und negative Korrektheiten zu ermitteln.

4.2.1 INTRINSISCHE LIGAMENTE

Die intrinsischen Ligamente umfassen das Ligamentum scapholunatum und das Ligamentum lunotriquetrum.

4.2.1.1 LIGAMENTUM SCAPHOLUNATUM (SL-BAND)

4.2.1.1.1 WERTIGKEIT DER 3D-FLASH-SEQUENZ

Anhand von Tabelle 8 können die Ergebnisse der Arthroskopie und der MR-Arthrographie für das Ligamentum scapholunatum mittels 3D-FLASH-Sequenz abgeleitet werden.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, 3D-FLASH-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	3	0	0	3
Partialdefekt	1	11	6	18
unauffällig	0	2	52	54
Summe	4	13	58	75

Tab. 8: Ergebnisse des SL-Bandes (3D-FLASH-Sequenz)

Bei der Einschätzung von Komplettrupturen (Grad II der DGH-Klassifikation) wurde keine Ruptur übersehen, so dass alle drei Fälle (100%) korrekt erkannt wurden.

Insgesamt wurden von 18 arthroskopischen Partialdefekten (Grad I) 11 (61,1%) in der MR-Arthrographie entsprechend richtig positiv gesehen und 6 Partialdefekte (33,3%) wurden nicht als solche erkannt, sondern als unauffälliger Befund bewertet. Nur ein Partialdefekt (5,6%) der Arthroskopie wurde in der MR-Arthrographie überschätzt und als Komplettruptur diagnostiziert.

In 52 (96,3%) der insgesamt 54 Fälle kamen sowohl die MR-Arthrographie als auch die Arthroskopie zu dem Ergebnis, dass das Band unauffällig war. Bei zwei Patienten (3,7%) wurde in der MR-Arthrographie ein Partialdefekt diagnostiziert, der arthroskopisch allerdings nicht bestätigt wurde.

3D-FLASH-Sequenz	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	100%	64,7%
Spezifität	100%	96,6%
Positive Korrektheit	100%	84,6%
Negative Korrektheit	100%	90,3%

Tab. 9: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des SL-Bandes (3D-FLASH-Sequenz)

Aus Tabelle 9 wird ersichtlich, dass für Komplettrupturen des SL-Bandes (Grad II) eine Sensitivität, Spezifität, positive und negative Korrektheit von jeweils 100% vorlag. Für Partialdefekte des Bandes (Grad I) konnte mittels 3D-FLASH-Sequenz eine Sensitivität von 64,7% und eine Spezifität von 96,6% ermittelt werden. Die positive Korrektheit betrug 84,6%, während eine negative Korrektheit von 90,3% ermittelt wurde.

4.2.1.1.2 WERTIGKEIT DER T1-SE-SEQUENZ

In der nachfolgenden Kreuztabelle 10 sind die Ergebnisse der T1-SE-Sequenz für das SL-Band dargestellt.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, T1-SE-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	3	0	0	3
Partialdefekt	0	15	3	18
unauffällig	0	2	52	54
Summe	3	17	55	75

Tab. 10: Ergebnisse des SL-Bandes (T1-SE-Sequenz)

In der T1-SE-Sequenz wurden, wie auch in der 3D-FLASH-Sequenz, alle Komplettrupturen (100%) des Bandes korrekt beurteilt. 15 der 18 Partialdefekte (83,3%) wurden richtig positiv gesehen. Drei Partialdefekte, die 16,7% des Kollektivs entsprechen, wurden nicht erkannt und als unauffällig eingestuft.

Wie auch mit der 3D-FLASH-Sequenz wurden in der T1-SE-Sequenz 52 Fälle (96,3%) richtig als unauffällig dargestellt, während ebenfalls zwei Fälle (3,7%) überschätzt und den Partialdefekten zugeordnet wurden.

Tabelle 11 veranschaulicht die Ergebnisse des SL-Bandes mittels T1-SE-Sequenz.

T1-SE-Sequenz	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	100%	83,3%
Spezifität	100%	96,5%
Positive Korrektheit	100%	88,2%
Negative Korrektheit	100%	94,8%

Tab. 11: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des SL-Bandes (T1-SE-Sequenz)

Für Komplettrupturen ergab sich eine Sensitivität von 100% und für Partialdefekte von 83,3%. Die Spezifität für Komplettrupturen des SL-Bandes lag bei 100% und für Partialdefekte bei 96,5%. Für Komplettrupturen errechnete sich ein positiver und ein negativer Vorhersagewert von jeweils 100%, während diese Werte für Partialdefekte 88,2% und 94,8% betragen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass von den 75 untersuchten Patienten in der 3D-FLASH-Bildgebung 66-mal (88%) die richtige Diagnose gestellt wurde (Tabelle 8). Aus Tabelle 10 ist ersichtlich, dass mit Hilfe der T1-

SE-Sequenz dagegen in 70 Fällen die richtigen Befunde erhoben wurden. Dies entspricht 93,3% des Patientenkollektivs. Für die Einschätzung des skapholunären Bandes war die T1-SE-Sequenz der 3D-FLASH-Sequenz statistisch signifikant überlegen ($p=0,046$). Von den 18 skapholunären Partialdefekten (Grad I nach DGH) konnten mit der T1-SE-Sequenz 15 (Sensitivität 83,3%), mit der 3D-FLASH-Sequenz hingegen nur 11 (Sensitivität 64,7%) erkannt werden.

4.2.1.2 LIGAMENTUM LUNOTRIQUETRUM (LT-BAND)

4.2.1.2.1 WERTIGKEIT DER 3D-FLASH-SEQUENZ

Tabelle 12 belegt die Ergebnisse für die Diagnostik des LT-Bandes mit der 3D-FLASH-Sequenz.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, 3D-FLASH-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	1	0	0	1
Partialdefekt	0	4	5	9
unauffällig	0	2	63	65
Summe	1	6	68	75

Tab. 12: Ergebnisse des LT-Bandes (3D-FLASH-Sequenz)

Eine Komplettruptur des Bandes (Stadium 4 der Hempfling-Kriterien) konnte mittels 3D-FLASH-Sequenz zu 100% korrekt dargestellt und diagnostiziert werden.

In der Beurteilung von Partialdefekten (Stadium 3) zeigte sich in der Auswertung, dass von neun vorhandenen Partialdefekten vier (44,4%) richtig gesehen und fünf (55,6%) unterschätzt und als unauffällig eingestuft wurden. Ein unauffälliger Befund konnte in 63 (96,9%) von 65 Fällen korrekt festgestellt werden. In zwei Fällen (3,1%) wurde eine in der Arthroskopie nicht vorhandene Ruptur in der MR-Arthrographie als Partialdefekt eingestuft.

<u>3D-FLASH-Sequenz</u>	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	100%	44,4%
Spezifität	100%	97%
Positive Korrektheit	100%	66,7%
Negative Korrektheit	100%	92,8%

Tab. 13: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des LT-Bandes (3D-FLASH-Sequenz)

Anhand von Tabelle 13 ist ersichtlich, dass die Sensitivität, Spezifität, positive und negative Korrektheit für Komplettrupturen (Stadium 4) jeweils 100% betrug. Für Partialdefekte des LT-Bandes (Stadium 3) konnten eine Sensitivität, Spezifität, positive und negative Korrektheit von 44,4%, 97%, 66,7% und 92,8% angegeben werden.

4.2.1.2.2 WERTIGKEIT DER T1-SE-SEQUENZ

Tabelle 14 verdeutlicht die Ergebnisse der T1-SE-Sequenz für die MR-Arthrographie und die Arthroskopie des LT-Bandes.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, T1-SE-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	1	0	0	1
Partialdefekt	0	4	5	9
unauffällig	1	7	57	65
Summe	2	11	62	75

Tab. 14: Ergebnisse des LT-Bandes (T1-SE-Sequenz)

Für die T1-SE-Sequenz ließen sich, sowohl für Komplettrupturen als auch für Partialdefekte, die gleichen Ergebnisse und Diagnosen wie mit der 3D-FLASH-Sequenz nachweisen.

Ein unauffälliges Band war in der T1-SE-Sequenz bei 57 (87,7%) der vorhandenen 65 Fälle zu erkennen. 8-mal (12,3%) wurde der Befund überschätzt. Davon wurde in 7 Fällen (87,5%) ein Partialdefekt diagnostiziert und in einem Fall (12,5%) lag in der MR-Arthrographie eine komplette Ruptur vor.

Tabelle 15 macht die Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des LT-Bandes deutlich.

<u>T1-SE-Sequenz</u>	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	100%	44,4%
Spezifität	98,7%	89,4%
Positive Korrektheit	50%	36,4%
Negative Korrektheit	100%	92,2%

Tab. 15: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des LT-Bandes (T1-SE-Sequenz)

Es ergab sich für Komplettrupturen bzw. Partialdefekte in der T1-SE-Sequenz eine Sensitivität von 100% bzw. 44,4%. Die Spezifität lag bei 98,7% bzw. 89,4%. Für Komplettrupturen errechnete sich eine positive Korrektheit von 50% und eine negative Korrektheit von 100%. Für Partialdefekte konnten in der T1-SE-Sequenz eine positive Korrektheit von 36,4% und eine negative Korrektheit von 92,2% angegeben werden.

Es lässt sich festhalten, dass zwischen MR-Arthrographie und Arthroskopie eine übereinstimmende Diagnose in der Beurteilung des LT-Bandes mit Hilfe der 3D-FLASH-Sequenz in 68 (90,7%) der 75 Fälle nachgewiesen werden konnte. In der T1-SE-Sequenz gelang dies in 62 (82,7%) Fällen. Die Beurteilung des lunatotriquetralen Bandes war für die Einschätzung der Partialdefekte (Stadium 3 nach Hempfling) für beide Sequenzen mit einer Sensitivität von 44,4% unzureichend, so dass die Ergebnisse nicht als statistisch signifikant angenommen werden konnten.

4.2.2 TRIANGULÄRER FIBROKARTILAGINÄRER KOMPLEX (TFCC)

4.2.2.1 WERTIGKEIT DER 3D-FLASH-SEQUENZ

Tabelle 16 stellt eine Übersicht der Ergebnisse für die Arthroskopie und die MR-Arthrographie des TFCC dar.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, 3D-FLASH-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	19	0	2	21
Partialdefekt	0	14	6	20
unauffällig	0	3	31	34
Summe	19	17	39	75

Tab. 16: Ergebnisse des TFCC (3D-FLASH-Sequenz)

Mittels MR-Arthrographie waren 19 Komplettrupturen (Palmer-Klassifikation Stadien 1A, 1D oder 2C) (90,5%) der insgesamt 21 Fälle zu beobachten. In zwei Fällen (9,5%) wurde der Defekt bei der Beurteilung Komplettruptur unterschätzt und als unauffälliger Befund gewertet. Bei 14 (70%) der 20 arthroskopisch vorhandenen Partialdefekte (Stadien 2A/B nach Palmer) bestand Übereinstimmung in beiden Untersuchungsmethoden, während 6 (30%) dieser Defekte in der MR-Arthrographie nicht feststellbar waren. Kein Defekt lag in insgesamt 34 Fällen des Patientenkollektivs vor und dies wurde bei 31 Patienten (91,2%) in der MR-Arthrographie korrekt gesehen. In 3 Bildgebungen (8,8%) war ein Partialdefekt sichtbar, der arthroskopisch nicht bestätigt wurde, so dass hier eine Überschätzung des Befundes vorlag.

<u>3D-FLASH-Sequenz</u>	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	90,5%	70%
Spezifität	100%	94,5%
Positive Korrektheit	100%	82,4%
Negative Korrektheit	96,4%	89,7%

Tab. 17: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des TFCC (3D-FLASH-Sequenz)

Aus den Daten ließ sich eine Sensitivität für Komplettrupturen des TFCC (Stadium 1A, 1D oder 2C) von 90,5% berechnen, während diese für Partialdefekte (Stadien 2A/B) bei 70% lag. In der Erkennung von Komplettrupturen bzw. Partialdefekten ergab sich eine Spezifität von 100% bzw. 94,5%. Die positive bzw. negative Korrektheit betrug für Komplettrupturen 100% bzw. 96,4%. Für die Diagnose Partialdefekt wurden eine positive bzw. negative Korrektheit von 82,4% bzw. 89,7% ermittelt.

4.2.2.2 WERTIGKEIT DER T1-SE-SEQUENZ

Tabelle 18 veranschaulicht die Ergebnisse der MR-Arthrographie und der Arthroskopie durch die T1-SE-Sequenz für den TFCC.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, T1-SE-Sequenz			Summe
	Komplettruptur	Partialdefekt	unauffällig	
Komplettruptur	20	0	1	21
Partialdefekt	0	13	7	20
unauffällig	0	3	31	34
Summe	20	16	39	75

Tab. 18: Ergebnisse des TFCC (T1-SE-Sequenz)

20 der 21 Komplettrupturen (95,2%) wurden in der MR-Arthrographie richtig beurteilt und nur eine Komplettruptur (4,8%) wurde falsch als unauffälliger Befund eingeschätzt. Von den insgesamt 20 Partialdefekten wurden 13 (65%) Partialdefekte richtig beobachtet und sieben (35%) Partialdefekte übersehen. Es konnten, ebenso wie in der 3D-FLASH-Sequenz, 31 (91,2%) der 34 Fälle korrekt als unauffälliger Befund gedeutet werden. In 3 Fällen (8,8%) wurde der Befund überschätzt und als Partialdefekt bewertet.

<u>T1-SE-Sequenz</u>	Komplettruptur	Partialdefekt
Sensitivität	95,2%	65%
Spezifität	100%	94,5%
Positive Korrektheit	100%	81,3%
Negative Korrektheit	98,2%	88,1%

Tab. 19: Ergebnisse für Komplettrupturen und Partialdefekte des TFCC (T1-SE-Sequenz)

Tabelle 19 zeigt, dass sich für den Befund Komplettruptur eine Sensitivität von 95,2%, eine Spezifität von 100% sowie eine positive und negative Korrektheit von 100% und 98,2% ergaben. Für einen Partialdefekt des TFCC mittels T1-SE-Sequenz wurde eine Sensitivität von 65% ermittelt. Die Spezifität lag bei 94,5% und die positive bzw. negative Korrektheit betrug 81,3% bzw. 88,1%.

Von den 75 ausgewerteten Patienten konnte mit Hilfe der MR-Arthrographie in der 3D-FLASH-Sequenz 64-mal (85,3%) ein übereinstimmender Befund mit der Arthroskopie als GOLD-Standard erzielt werden. Mit der T1-gewichteten-SE-Sequenz gelang eine korrekte Übereinstimmung in der Beurteilung des triangulären fibroartilaginären Komplexes in 64 Fällen (85,3%). Für die Einschätzung des triangulären fibroartilaginären Komplexes war zwischen T1-SE-Sequenz und 3D-FLASH-Sequenz kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen ($p=1$).

4.2.3 EXTRINSISCHE LIGAMENTE

Für extrinsische Ligamente konnten weder Sensitivität noch positive Korrektheit ermittelt werden, da im gesamten Patientenkollektiv keine Pathologien vorlagen. Untersucht wurden das Ligamentum Testut, das RSC-Band und das RLT-Band.

4.2.3.1 LIGAMENTUM RADIOSCAPHOLUNATUM (RSL-BAND)

4.2.3.1.1 WERTIGKEIT DER 3D-FLASH-SEQUENZ

Tabelle 20 verdeutlicht die Ergebnisse der MR-Arthrographie und der Arthroskopie für die Darstellbarkeit des RSL-Bandes in der 3D-FLASH-Sequenz.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, 3D-FLASH-Sequenz		Summe
	darstellbar	nicht darstellbar	
darstellbar	40	35	75
nicht darstellbar	0	0	0
Summe	40	35	75

Tab. 20: Ergebnisse des RSL-Bandes (3D-FLASH-Sequenz)

Das Ligamentum Testut konnte in 40 Fällen (53,3%) in der MR-Arthrographie dargestellt werden. In 35 Fällen (46,7%) war dieses Band in der MR-Arthrographie mittels 3D-FLASH-Sequenz nicht darstellbar.

4.2.3.1.2 WERTIGKEIT DER T1-SE-SEQUENZ

In Tabelle 21 sind in einer Kreuztabelle die Ergebnisse der Darstellbarkeit des RSL-Bandes mit Hilfe der T1-SE-Sequenz und der Arthroskopie veranschaulicht.

Arthroskopie	MR-Arthrographie, T1-SE-Sequenz		Summe
	darstellbar	nicht darstellbar	
darstellbar	22	53	75
nicht darstellbar	0	0	0
Summe	22	53	75

Tab. 21: Ergebnisse des RSL-Bandes (T1-SE-Sequenz)

Es wird ersichtlich, dass in der T1-SE-Sequenz im Vergleich zur oben beschriebenen 3D-FLASH-Sequenz das RSL-Band nur in 22 Fällen korrekt dargestellt wurde. Dies entspricht einem Prozentsatz von 29,3%.

4.2.3.2 LIGAMENTUM RADIOCAPHOCAPITATUM (RSC-BAND) UND LIGAMENTUM RADIOLUNATOTRIQUETRUM (RLT-BAND)

Das Ligamentum radioscaphocapitatum und das Ligamentum radiolunatotriquetrum waren in allen 75 Fällen, sowohl in der 3D-FLASH-Sequenz als auch in der T1-gewichteten-SE-Sequenz, darstellbar. In 100% der Fälle wurden die Bänder korrekt als unauffällig eingeschätzt. Die Spezifität betrug 100%.

In den folgenden Abbildungen werden Defekte dargestellt, die im untersuchten Patientenkollektiv aufgetreten sind:

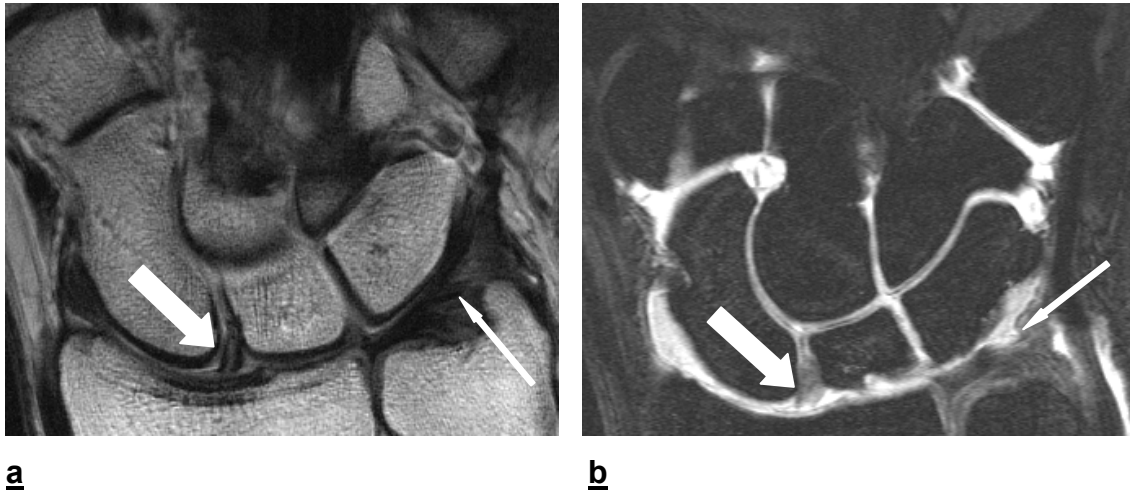


Abb. 9 a+b: Die T1-gewichtete-SE-Sequenz (a) und die 3D-FLASH-Sequenz (b) eines 52-jährigen Patienten zeigen einen SL-Band-Partialdefekt (Grad I nach DGH) [dicker Pfeil] und einen TFCC-Partialdefekt (Stadien 2A/B nach Palmer) [dünner Pfeil], der in der T1-gewichteten-SE-Sequenz schlechter abgrenzbar ist.

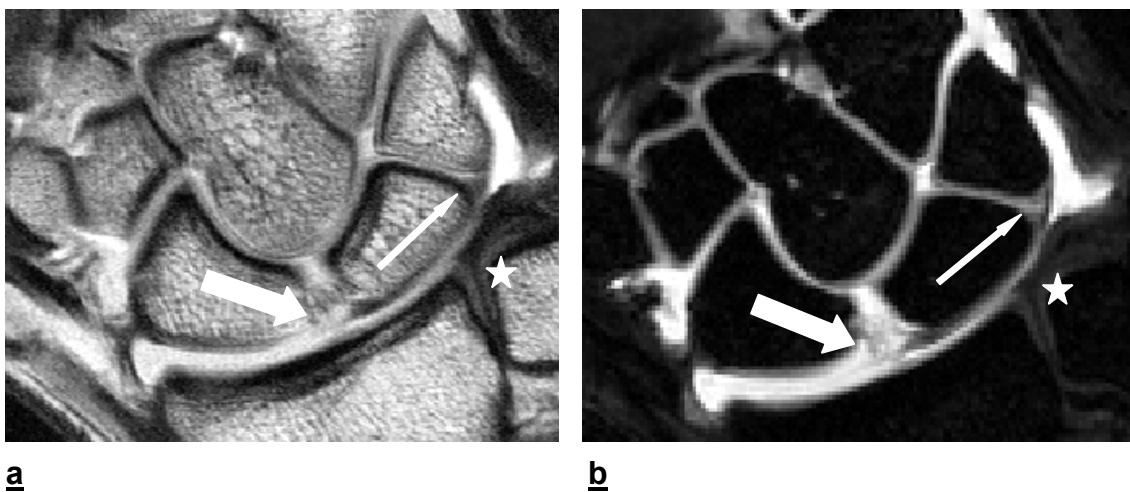


Abb. 10 a+b: Die T1-SE-Sequenz (a) und die 3D-FLASH-Sequenz (b) eines 37-jährigen Patienten zeigen einen SL-Band-Partialdefekt (Grad I nach DGH) [dicker Pfeil], ein intaktes LT-Band [dünner Pfeil] sowie einen intakten TFCC [Stern].

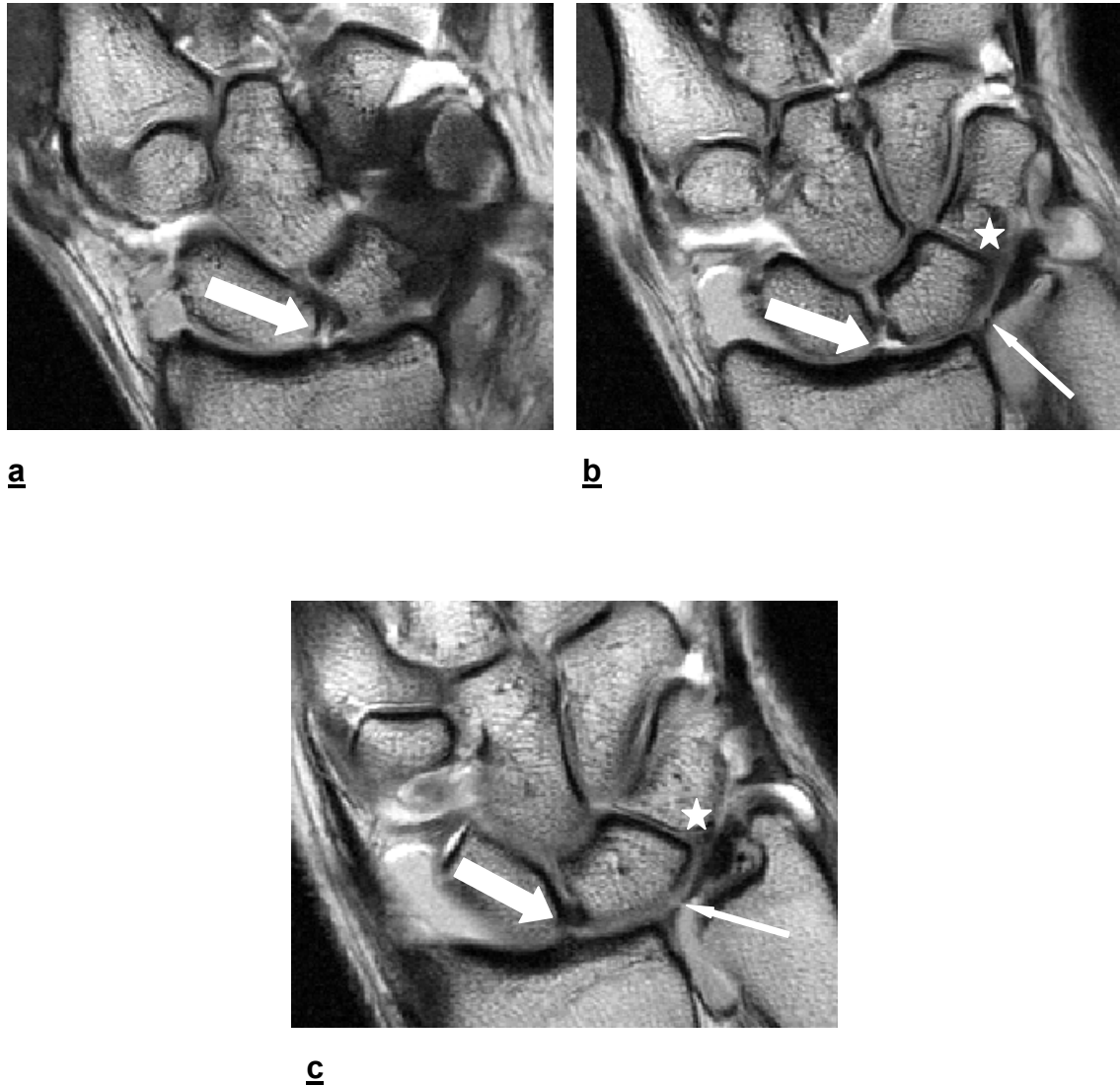


Abb. 11 a-c: T1-gewichtete-SE-Sequenz einer 44-jährigen Patientin mit einem SL-Band-Partialdefekt (Grad I nach DGH) und einer TFCC-Komplettruptur (Stadium 2C nach Palmer). In den Bildern a+b ist die partielle SL-Band-Läsion [dicker Pfeil] deutlich ersichtlich, hingegen kommen in der palmarseitigen Schicht (c) noch intakte Bandstrukturen zur Darstellung. Während im Bild a die Kontinuität des TFCC noch komplett erhalten ist, zeigen die Bilder b+c die winzige perforierende TFCC-Läsion [dünner Pfeil]. In den Bildern b+c ist ein intaktes LT-Band [Stern] zu erkennen.

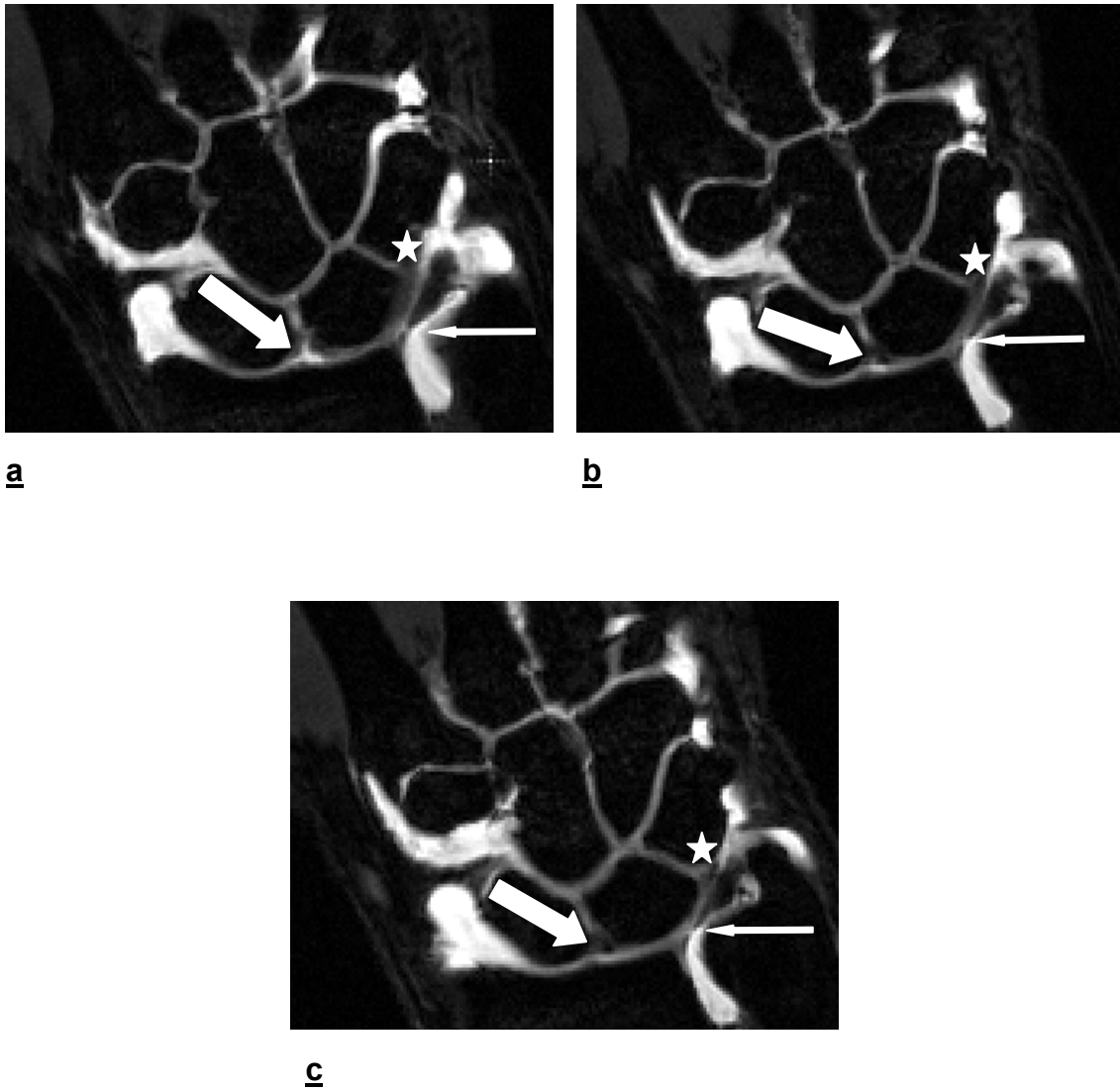


Abb. 12 a-c: 3D-FLASH-Sequenz der 44-jährigen Patientin aus Abb. 11 a-c. Die winzige perforierende TFCC-Läsion (Stadium 2C nach Palmer) [dünner Pfeil] ist in der 3D-FLASH-Sequenz deutlich abgrenzbar. Die Bilder a+b zeigen den SL-Band-Partialdefekt (Grad I nach DGH) [dicker Pfeil]. Im Bild c sind noch intakte SL-Bandstrukturen nachweisbar. Das LT-Band [Stern] stellt sich in allen Bildern als intakt dar.

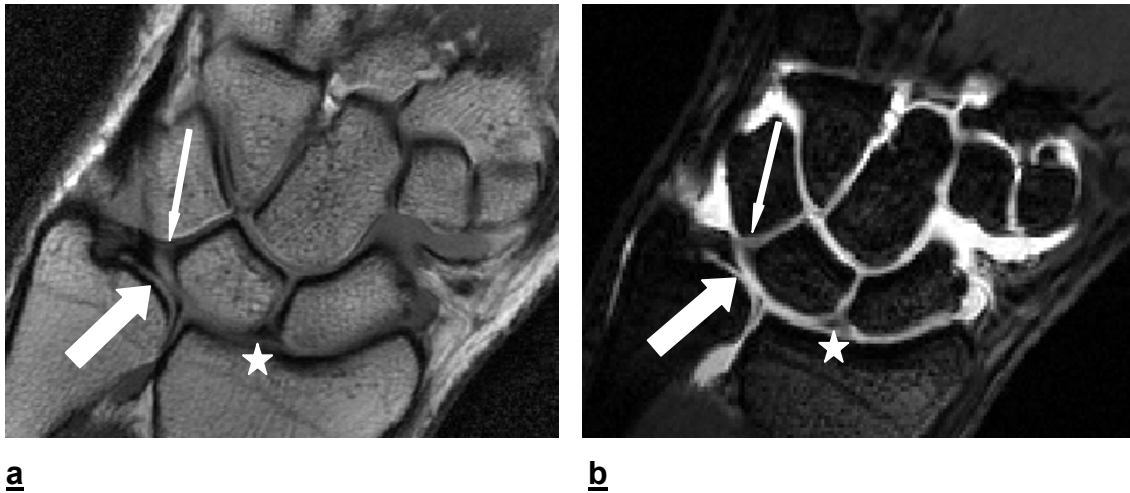


Abb. 13 a+b: Die T1-SE-Sequenz (a) und die 3D-FLASH-Sequenz (b) einer 33-jährigen Patientin zeigen eine TFCC-Komplettruptur (Stadium 2C nach Palmer) [dicker Pfeil], ein intaktes LT-Band [dünner Pfeil] sowie eine intakte SL-Bandstruktur [Stern].

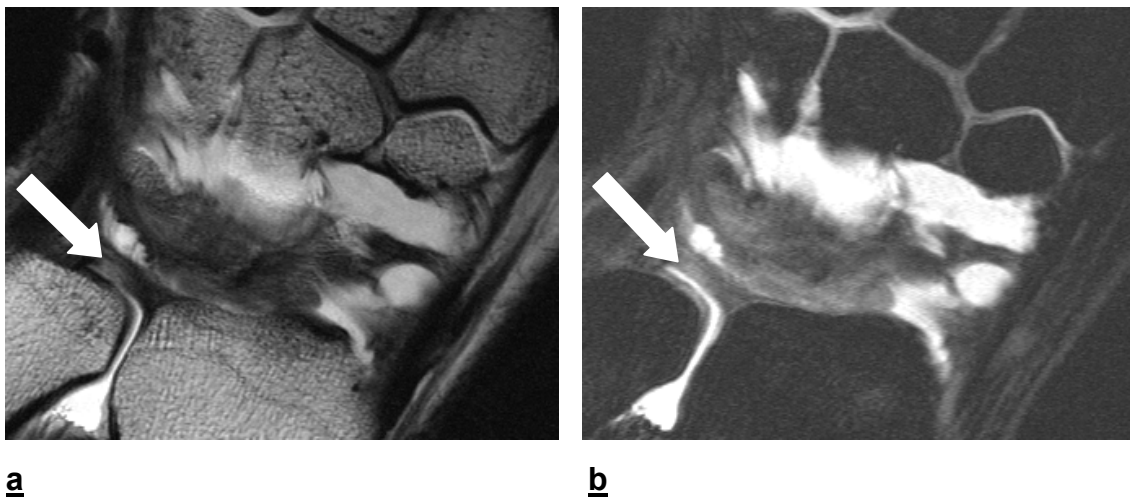


Abb. 14 a+b: Die T1-SE-Sequenz (a) und die 3D-FLASH-Sequenz (b) eines 36-jährigen Patienten zeigen eine TFCC-Komplettruptur (Stadium 2C nach Palmer) [dicker Pfeil].

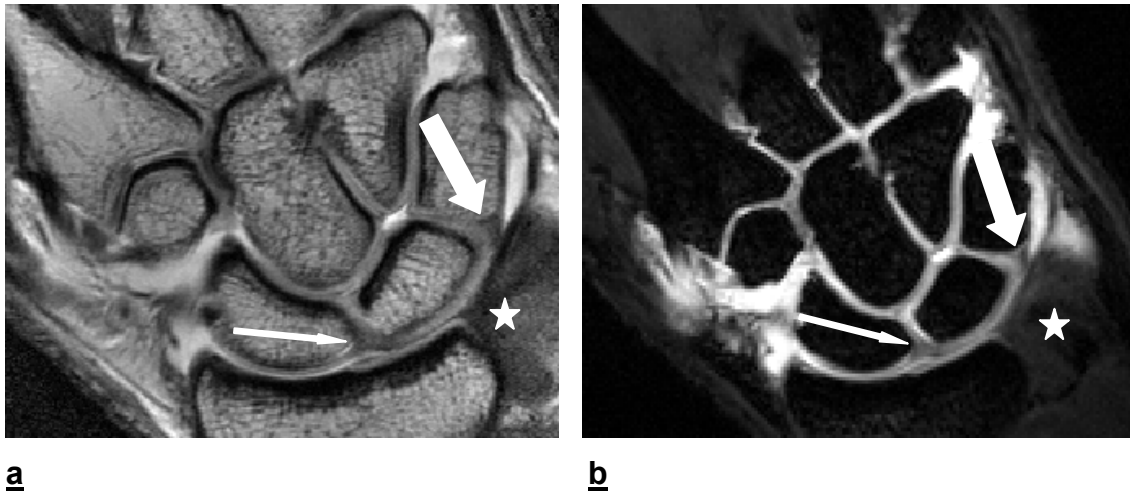


Abb. 15 a+b: Die T1-SE-Sequenz (a) und die 3D-FLASH-Sequenz (b) eines 44-jährigen Patienten zeigen einen LT-Band-Partialdefekt [dicker Pfeil], ein intaktes SL-Band [dünner Pfeil] sowie eine intakten TFCC [Stern].

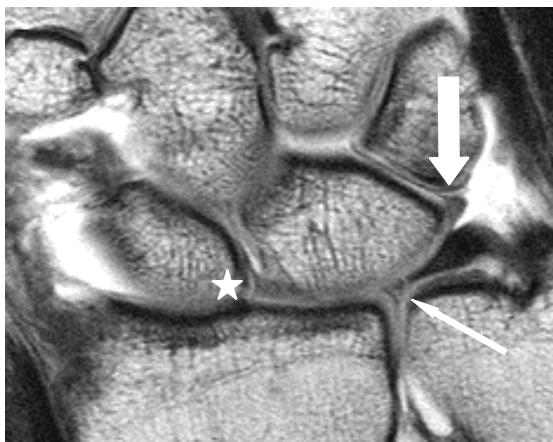


Abb. 16: Die T1-gewichtete-SE-Sequenz eines 32-jährigen Patienten zeigt einen LT-Band-Partialdefekt [dicker Pfeil] und einen TFCC-Partialdefekt (Stadien 2A/B nach Palmer) [dünner Pfeil] sowie ein intaktes SL-Band [Stern].

5 DISKUSSION

Verletzungen intrinsischer Bänder und des triangulären fibrocartilaginären Komplexes spielen bei der Abklärung des chronischen Handgelenkschmerzes eine entscheidende Rolle [Scheck 1999]. Durch die Weiterentwicklung radiologischer bildgebender Verfahren ist die Diagnostik sukzessive verbessert worden. Lediglich statisch instabile intrinsische Bandverletzungen sind allein durch konventionelle Röntgenaufnahmen und Funktionsaufnahmen aufgrund der Ausbildung eines Mal-alignments oder über eine Dissoziation des skapholunären oder des lunatotriquetralen Gelenkspaltes erkennbar [Bednar 1994, Cooney 1990]. Ein Ulna-impaction Syndrom weist in der konventionellen Röntgenaufnahme auf eine fortgeschrittene TFCC-Verletzung hin [Palmer 1990]. Eine instabile intrinsische Bandruptur ist durch eine Dissoziation des skapholunären oder lunatotriquetralen Gelenkspaltes über 2 mm oder durch eine Ventralverkipfung des Skaphoids und eine Dorsalkippung des Lunatums diagnostizierbar.

In der Arthrographie können, zusätzlich zur Aufweitung eines Gelenkspaltes, Verletzungen der intrinsischen Ligamente indirekt durch eine Kommunikation von Kontrastmittel zwischen normalerweise getrennten Gelenkräumen dargestellt werden [Linscheid 1992, Levinsohn 1991]. Der Defekt ist zwar lokalisierbar, eine Beurteilung über eine Ausdehnung oder eine Stabilität der Perforation ist arthrographisch allerdings nicht möglich [Westkaemper 1998, Chung 1996, Grechenig 1996, Roth 1996, Weiss 1996, Kirschenbaum 1995, Cantor 1994, Pederzini 1992, Cooney 1990, Kessler 1961].

Mit der Einführung der nativen MR-Bildgebung der Hand gelang zum ersten Mal eine direkte Darstellung intrinsischer Strukturen und des TFCC. Viele Arbeiten über die native Magnetresonanztomographie beschäftigen sich mit der Darstellung von Bandstrukturen der Hand, vorwiegend wurde aber nur der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex untersucht. Für diese Struktur, vor allem den zentralen Anteil des TFCC, konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden [Connell 2001, Hosten 1999, Oneson 1997, Potter 1997, Totterman 1996, Miller

1995, Totterman 1995, Metz 1992, Pederzini 1992, Schweitzer 1992, Kang 1991, Gundry 1990, Reuther 1990, Skahan 1990, Golimbu 1989, Zlatkin 1989]. Im Vergleich zur Arthrographie wies die MR-Tomographie in der Erkennung von Verletzungen intrinsischer Bänder sowie des TFCC jedoch geringere Sensitivitäten auf [Zanetti 1997, Totterman 1995]. Zudem treten Signalveränderungen häufig auch bei asymptomatischen Probanden auf, so dass die Untersuchungsmethode wenig spezifisch ist [Shionoya 1998, Bickert 1995, Smith 1995, Sugimoto 1994, Totterman 1993, Hofmann-Preiß 1990, Heuck 1989].

In einer vergleichenden Studie an 54 Patienten zeigten Morley et al., dass für die native MR-Tomographie mit der Arthroskopie als GOLD-Standard eine Sensitivität für Verletzungen des TFCC von nur 44% und für das SL-Band von lediglich 11% erreicht wurden [Morley 2001].

Drape konnte aufzeigen, dass die Standard-MR-Tomographie in der Erkennung von peripheren Läsionen des TFCC nur eine Genauigkeit von 61% besaß. Die Genauigkeit konnte mit der Gabe von Kontrastmittel auf 92% angehoben werden. Er forderte daher für die Diagnostik von peripheren TFC-Verletzungen eine Kontrastmittelinjektion und die Verwendung einer Kombination aus koronalen und sagittalen Schichten [Drape 2002]. Haims unterstreicht mit seinen Ergebnissen Drapes Forderung insofern, da native MR-Bilder den peripheren Anteil des TFCC nicht adäquat darstellen lassen [Haims 2002].

Bei der indirekten MR-Arthrographie wird ein gadoliniumhaltiges Kontrastmittel intravenös appliziert. Nach anschließendem Bewegen des Handgelenkes erfolgt etwa 15 Minuten später die MR-Bildgebung. Ein arthrographischer Effekt wird erreicht, indem durch fenestriertes Endothel synovialer Kapillaren Gd-DTPA-Moleküle in die synoviale Flüssigkeit diffundieren [Winalski 1993, Schweitzer 2000]. Der Effekt wird dadurch begünstigt, dass zwischen synovialen Blutgefäßen und dem Gelenkspalt eine Basalmembran fehlt.

Einige Autoren beschreiben, dass es bei der indirekten MR-Arthrographie zu Fehlinterpretationen kommen kann, insofern, als sowohl der Banddefekt als auch die reaktive Hyperämie, z.B. bei einer Ruptur eines Ligaments, dargestellt

werden. Ein weiteres Problem der Diagnostik mit Hilfe der indirekten MR-Arthrographie ist die „Normalvaskularisation“ der Umgebung der anatomischen Struktur. Die „Normalvaskularisation“ des TFCC ist nur schwer von einer Ruptur zu unterscheiden [Steinbach 2002, Herold 2001, Schweitzer 2000, Sommer 1997]. Bei der indirekten Methode, bei der das Infektionsrisiko einer direkten Handgelenkspunktion nicht besteht, ist die Signalintensität des TFCC für die diagnostische Aussage entscheidend. Nichtperforierende Binnenveränderungen des Diskus (Stadien 2A/B nach Palmer) werden häufig überschätzt. Dies limitiert die Spezifität der indirekten MR-Arthrographie [Herold 2001, Schweitzer 2000]. Die erreichbare intraartikuläre Gd-DTPA-Konzentration sowie die Füllung des Gelenkes mit Kontrastmittelflüssigkeit ist deutlich geringer als bei der direkten MR-Arthrographie [Vahlensieck 1996, Winalski 1993]. Diese Nachteile begrenzen den Einsatz der indirekten MR-Arthrographie.

Im Unterschied dazu vereint die direkte MR-Arthrographie die Vorteile der Arthrographie mit der guten Darstellung der Anatomie von Handgelenksstrukturen in der Magnetresonanztomographie. Die Durchführung kann in Einzel-, Doppel- oder Dreifach-Kompartiment-Injektion erfolgen [Steinbach 2002]. Kommunizierende Defekte, die in der T1-gewichteten-SE-Sequenz durch den intraartikulären Gadoliniumgehalt signalreich zur Darstellung kommen, können exakt gegen die direkt darstellbaren, typischerweise signalarmen, intrinsischen Ligamente bzw. den TFCC abgegrenzt werden [Schweitzer 1992]. Durch die intraartikuläre Kontrastmittelfüllung werden die Gelenkräume aufgedehnt, wodurch der Kapsel-Bandapparat extendiert und besser darstellbar ist. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungsverfahren wird der direkten MR-Arthrographie daher das Potenzial zugeschrieben, die exakte Größe, das Ausmaß und die genaue Lokalisation einer ligamentären Verletzung der Hand erfassen zu können [Scheck 1999, Kovanlikaya 1997, Manaster 1991]. Eine semiquantitative Unterteilung von Verletzungen in Komplettrupturen und Partialdefekte, wie sie in der arthroskopischen Diagnostik üblich ist, wird dadurch ermöglicht.

Bei Durchführung der direkten MR-Arthrographie ist es wichtig, ein angemessenes Zeitintervall (höchstens 20 bis 30 Minuten) zwischen Kontrastmittelinjektion und Tomographie einzuhalten, da sich so das optimale Verteilungsmuster des Kontrastmittels einstellt. Eine zeitliche Verzögerung bewirkt einen vermehrten „wash-out-effect“ durch Kontrastmittel-Absorption mit Signalverlust der Strukturen [Mäurer 1999, Yamato 1993]. Einer Untersuchung Drapes zufolge, ist ein Mobilisieren des zu untersuchenden Gelenkes für 10 bis 15 Minuten nach der Gabe von Gadolinium vor der Bildgebung sinnvoll, da so ein deutlicher Anstieg der Signalintensität ermöglicht wird [Drape 1993]. Laut Mäurer stellt diese Zeit aber auch gleichzeitig die maximale Steigerung der Signalintensität dar [Mäurer 1999].

Steinbach weist in seiner Arbeit bei Fehlinjektion des Kontrastmittels auf eine mögliche fehlerhafte Interpretation des Befundes hin [Steinbach 2002], was bei sorgfältiger Durchführung der MR-Arthrographie vermeidbar ist.

Die Befundung der MR-Arthrographie sollte sich, um eine bessere Kommunikation zwischen Klinikern und Radiologen zu gewährleisten, an den gängigen Behandlungsschemata der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie und an den Arthroskopie-Kriterien bzw. an klinisch gebräuchlichen Klassifikationen orientieren. Bisher fand lediglich die Palmer-Klassifikation für Verletzungen des TFCC in der radiologischen Literatur Anwendung. Dies trifft insbesondere auf TFCC-Verletzungen der Stadien 1A bis D nach Palmer zu. SL- und LT-Bandverletzungen werden bisher nur klinisch entsprechend der Unterteilung der Expertengruppe der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie bzw. in Anlehnung an die Hempfling-Kriterien eingeteilt. Wenn es möglich wäre, arthroskopische bzw. klinische Klassifikationen in einer ähnlichen Weise in die radiologische Literatur zu übernehmen, könnte, wie in einer Arbeit von Hobby gefordert, auf unnötige diagnostische Arthroskopien verzichtet werden [Hobby 2001]. Da auch in der Arthroskopie bei karpaler Instabilität Defekte nicht immer korrekt beurteilt und in Stadien eingeteilt werden können, wären einheitliche Klassifikationen für Kliniker und Radiologen von großem Nutzen [Huracek 2000, Ruby 1995, Rettig 1994].

In der Literatur liegt unseres Wissens nach nur eine Arbeit zur Diagnostik von Bandläsionen der Hand mit arthroskopischer Korrelation der direkten MR-Arthrographie vor. Scheck et al. untersuchten an einem Kollektiv von 23 Patienten Komplettrupturen intrinsischer Bänder und des TFCC. In der vorliegenden Arbeit können wir einen Vergleich der beiden Verfahren an einem größeren Kollektiv von 75 Patienten vorweisen. Scheck et al. erzielten in ihrer vergleichenden Studie bei der Einschätzung von Komplettddefekten hohe Übereinstimmungen zwischen Arthroskopie und MR-Arthrographie. Sensitivität, Spezifität und Korrektheit lagen für den TFCC bei 90%, 100% und 95%, für das SL-Band bei 100%, 100% und 100% sowie für das LT-Band bei 100%, 90% und 90% [Scheck 1999]. Bei einem vergleichbaren Durchschnittsalter von 38,3 Jahren stimmen unsere Ergebnisse mit Sensitivität, Spezifität, positive bzw. negative Korrektheit von 92%, 100%, 100% bzw. 99% für die 3D-FLASH-Sequenz und 96%, 99,6%, 96% bzw. 99,5% für die T1-gewichtete-SE-Sequenz zur Erkennung von Komplettrupturen mit denen von Scheck et al. weitgehend überein.

Beim Vergleich der Ergebnisse beider Untersuchungen muss berücksichtigt werden, dass eine unterschiedliche Prävalenz von Komplettrupturen auffallend ist. Während bei Scheck et al. bei 23 Patienten sieben SL-Bandrüpturen und sogar in neun Fällen ein komplett rupturiertes LT-Band, aber nur neun Komplettddefekte des TFCC diagnostiziert wurden, fanden sich in unserem Kollektiv (75 Patienten) drei SL-Bandrüpturen, nur ein komplett rupturiertes LT-Band, dagegen aber 21 Komplettddefekte des TFCC.

Abzugrenzen sind altersabhängige Bandläsionen. Einige Autoren konnten zeigen, dass Perforationen der zentralen Segmente interossärer Bänder und Läsionen des TFCC Teil des Alterungsprozesses sind und nicht zwangsweise Symptome oder Instabilitäten aufweisen müssen [Steinbach 2002, Linkous 2000, Zanetti 2000, Manaster 1989].

In dem von uns untersuchten Patientenkollektiv traten degenerative TFCC-Veränderungen in 31 Fällen auf. Diese Ergebnisse bestätigen Studien von Mikic und Kessler, die in ihren Arbeiten bezüglich altersbedingter Veränderungen anatomischer Strukturen im Handgelenk herausfinden konnten, dass

degenerative Läsionen ab der vierten bis fünften Lebensdekade gehäuft auftreten [Mikic 1978, Kessler 1961].

Zum ersten Mal wurde in der uns bekannten Literatur auf die Erkennung und Beurteilung von Partialdefekten abgehoben. Dabei wird in Anlehnung an Gilula von Partialdefekt und nicht von Partialruptur gesprochen, da der Begriff Partialruptur ein akutes Trauma impliziert [Gilula 1993].

Berücksichtigt wurde, dass eine klinische Relevanz von Partialdefekten zur Zeit noch nicht abschließend beurteilbar ist, insofern, als auch bei asymptomatischen Patienten Partialdefekte gefunden wurden [Linkous 2000]. Denkbar ist allerdings ein Fortschreiten des Partialdefektes bis hin zur kompletten Ruptur mit bekannten Sekundärfolgen, wie Instabilität oder Arthrose [Mudgal 1993, Cooney 1990]. Beim symptomatischen Patienten mit diagnostisch gesichertem Partialdefekt ist nach heutigem Erkenntnisstand je nach Grad der Verletzung eine konservative Therapie mit Gipsruhigstellung von vier bis acht Wochen in jedem Fall indiziert [DGH 2001, Willebrand 1999].

Der sehr hohe Anteil an Partialdefekten in unserem Kollektiv ist beachtenswert. Partialdefekte traten fast zweimal häufiger als Komplettrupturen auf und lagen in der von uns retrospektiv ausgewerteten Patientengruppe in 47 Fällen vor. Unsere Ergebnisse bestätigen arthroskopische Studien, die belegen, dass Partialdefekte von Bändern häufiger auftreten als Komplettrupturen und Rupturen des lunatotriquetralen Bandes insgesamt selten sind [Ruch 1993, Nagle 1992, North 1990].

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Erkennung von Komplettrupturen wurden bei der Diagnose eines Partialdefektes im Vergleich zur diagnostischen Arthroskopie nur mäßige Übereinstimmungen erzielt. Dies zeigen Sensitivität, Spezifität und positive bzw. negative Korrektheit für die Erkennung von Partialdefekten von 63%, 96,1%, 80,6% bzw. 91,1% für die 3D-FLASH-Sequenz und 68,1%, 93,3%, 72,7% bzw. 91,7% für die T1-gewichtete-SE-Sequenz.

Ursache hierfür ist möglicherweise, dass die diagnostische Arthroskopie untersucherabhängig ist. Die Arthroskopie ist stark von der Erfahrung des Operateurs mit der Beurteilung von Partialdefekten abhängig. Da Partialdefekte häufig nicht direkt gesehen, sondern über einen Tasthakenbefund indirekt beurteilt werden, besteht hier die Möglichkeit einer Befunddivergenz zur MR-Arthrographie.

Ein wesentlicher Vorteil der Arthroskopie ist der dynamische Untersuchungsablauf. Mit dem Tasthaken lassen sich Bandstrukturen intraoperativ besser hervorheben und ihre Funktion ist direkt unter Sicht besser beurteilbar. Die MR-Arthrographie wird im Gegensatz dazu unter statischen Bedingungen durchgeführt und weist eine schlechtere Auflösung als die Arthroskopie auf. Vorteil der MR-Arthrographie ist eine umfassende Beurteilung der Bandstrukturen und ein guter Überblick der Gesamtsituation.

Skapholunäre Bandverletzungen:

Das skapholunäre Band ist ein wichtiger Stabilisator des Handgelenkes und trägt wesentlich zu seiner Funktion bei. Dadurch verlaufen Translationsbewegungen zwischen dem Os Lunatum und dem Os Scaphoideum weich. Ein defektes SL-Band beeinträchtigt die Handgelenksfunktion [Smith 1994]. Patienten mit skapholunären Bandrupturen können frei von Symptomen sein [Linkous 2000] oder unspezifische Beschwerden mit Schmerzen oder Instabilitäten aufweisen [Scheck 1997]. Bei einer Verletzung des Bandes stehen die temporäre Gipsruhigstellung oder die operative Behandlung mit Durchführung einer Bandnaht, einer Kapsulodese oder einer interkarpale Teilarthrodese zur Wahl [Smith 1994, Ruch 1993]. Für die Einleitung einer akkuraten Therapie ist eine möglichst genaue Diagnostik notwendig.

In der Studie von Scheck wurde eine Korrelation der MR-Arthrographie mit der nativen MR-Tomographie und der Arthroskopie in der Beurteilung des SL-Bandes an 42 Patienten mit anhaltenden Schmerzen der Hand aufgedeckt. Die einzelnen Segmente des skapholunären Bandes wurden in 95% der Fälle mit der MR-Arthrographie erkannt, während dies mit der nativen MR-Tomographie

nur in 28% gelang. Defekte des Bandes wurden in der nativen MR-Tomographie in 42% der Fälle gesehen, mit Hilfe der MR-Arthrographie in 94%. Mit der Arthroskopie als Referenzstandard wurden für SL-Perforationen eine Sensitivität und Spezifität von 52% und 34% für die native MR-Tomographie und 90% und 87% für die MR-Arthrographie errechnet. In den meisten Fällen (38 bis 40 Patienten) war es nur mit der direkten MR-Arthrographie möglich, alle drei skapholunären Bandanteile präzise zu lokalisieren und abzugrenzen [Scheck 1997].

Komplettrupturen des skapholunären Bandes lagen nur in drei Fällen der von uns untersuchten 75 Patienten vor. Sowohl in der 3D-FLASH-Sequenz als auch in der T1-gewichteten-SE-Sequenz wurden diese Rupturen richtig erkannt. Der entscheidende Vorteil der direkten MR-Arthrographie bei der Einschätzung einer skapholunären Bandverletzung gegenüber der Arthrographie und der Standard-Magnetresonanztomographie ist, festzustellen, ob die biomechanisch stabilisierenden palmar- und dorsalseitigen Anteile des 9 mm bis 12 mm durchmessenden, etwa 18 mm langen und 1 mm dicken hufeisenförmigen Bandes noch erhalten sind. Kommunizierende Defekte werden in der MR-Arthrographie den einzelnen Bandabschnitten zugeordnet. Dadurch ist eine systematische Klassifikation und eine adäquate Therapie ligamentärer Verletzungen möglich [Totterman 1995, Adolfsson 1994, Cooney 1990].

Die Einteilung von Partialdefekten in Anlehnung an die behandlungsorientierte systematische Unterteilung der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie, die drei Bandabschnitte berücksichtigt, erscheint sinnvoll. Insgesamt lagen in 18 Fällen Partialdefekte des skapholunären Bandes vor. Bei einer skapholunären Bandruptur, die ausschließlich den membranösen mittleren Teil des Bandes betrifft (Grad I), sieht die Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie eine vierwöchige Gipsimmobilisation des Handgelenkes vor [DGH 2001]. Durch das Erkennen einer isoliert vorliegenden membranösen Bandruptur in der direkten MR-Arthrographie ist ein Verzicht auf eine diagnostische Arthroskopie denkbar.

Lunatotriquetrale Bandverletzungen:

Das lunatotriquetrale Band, das in den meisten Fällen linear oder deltaartig geformt ist, stabilisiert ulnarseitig die proximale karpale Reihe [Smith 1994]. Anatomisch besteht das LT-Band aus zentralen, membranösen dorsalen und volaren fibrösen Anteilen [Osterman 1995]. Um Fehldiagnosen zu vermeiden, sollte man mit den Normalvarianten des LT-Bandes vertraut sein. Eine auf konventionellen Röntgenbildern erkennbare Dissoziation des lunatotriquetralen Gelenkspaltes mit Ventralflektierung des Lunatums und dem Bild einer VISI-Position („ventral intercalated segment instability“) bildet sich nur bei einer kombinierten Verletzung des LT-Bandes und den extrinsischen Ligamenten aus. Rupturen im membranösen Anteil des Bandes führen nicht zur Instabilität. Das Band stellt sich in der Magnetresonanztomographie typischerweise signalarm dar. Häufig besteht zentral ein intermediär knorpelintensives Signal. Ungeübten Betrachtern kann hierdurch eine Perforation vorgetäuscht werden [Totterman 1995, Smith 1994].

In der von uns durchgeführten Studie mit 75 Patienten lag nur eine Komplettruptur des LT-Bandes vor. Diese wurde sowohl in der 3D-FLASH-Sequenz als auch in der T1-gewichteten-SE-Sequenz erkannt. Auch die Arbeitsgruppe Scheck et al. berichtete für die Erkennung der Komplettrupturen von einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 90% [Scheck 1999]. In der Standard-MR-Bildgebung wurde dagegen auf Probleme bei der Einschätzung von Perforationen des LT-Bandes verwiesen [Herold 2001, Dalinka 1995, Totterman 1995, Smith 1994, Zlatkin 1989]. Mit der direkten MR-Arthrographie stellt sich eine Perforation des Bandes durch den Kontrastmittelübertritt in das distale Radioulnargelenk signalreich dar. Im Gegensatz zur Arthrographie lassen sich erhaltene Bandanteile direkt abbilden. Dies ist für die Diagnose eines Partialdefektes entscheidend. Partialdefekte des lunatotriquetralen Bandes lagen in unserem Auswertungskollektiv in neun Fällen vor. Der Partialdefekt liegt häufig in den zentralen und palmaren Bandanteilen mit intakten dorsalen fibrösen Faserzügen. In der Arthroskopie erfolgt die Behandlung durch Debridement und Shaving aufgefaserter Bandanteile, in Einzelfällen wird über eine temporäre K-Drahtfixierung des

lunatotriquetralen Gelenkspaltes zur Erzeugung einer reparativen arthrofibrotischen Bandheilung berichtet [Osterman 1995].

In der Beurteilung von Partialdefekten des LT-Bandes ist die erreichte Sensitivität von lediglich 44,4%, sowohl in der 3D-FLASH-Sequenz als auch in der T1-gewichteten-SE-Sequenz, nicht zufriedenstellend. Dies liegt mitunter an der Struktur des LT-Bandes. Durch den kurvenförmigen Verlauf des 1 mm dicken, nur 6 bis 9 mm durchmessenden Bandes kommt es oft zu diagnostischen Schwierigkeiten. Zusätzlich erschwert in einigen Fällen das Verwachsen des LT-Bandes an der volaren Seite mit dem TFCC die korrekte Diagnose.

In der Literatur liegen unseres Wissens nach bislang keine Untersuchungen über LT-Partialdefekte vor, mit denen wir unsere Ergebnisse vergleichen können. Das Vorliegen von Verletzungen des LT-Bandes wird in der Arthroskopie häufig nicht unter direkter Sichtung des Bandes, sondern durch Einsetzen des Tasthakens im Bereich des lunatotriquetralen Gelenkspaltes und anschließendem Mobilisieren überprüft. Die direkte Darstellung des Bandes gelingt in der Arthroskopie über einen ulnarseitigen Zugang über das 4/5 U- oder 6 R-Portal. Wichtige Hinweise für eine lunatotriquetrale Bandverletzung werden dem Arthroskopeur auch durch eine Überdehnung oder Ruptur des extrinsischen ulnolunaren und ulnotriquetralen Bandes angezeigt [Osterman 1995]. Die MR-arthrographische Diagnose eines kommunizierenden Defektes bei erhaltenen palmar- bzw. dorsalseitigen Bandanteilen stimmt deshalb, im Gegensatz zum SL-Band, häufig nicht mit einem Partialdefekt der Arthroskopie überein. Die Anwendung der Hempfling-Kriterien für lunatotriquetrale Bandverletzungen erwies sich daher für die Diagnostik mit der direkten MR-Arthrographie als nicht sinnvoll.

TFCC-Verletzungen:

Die Funktion des TFCC ist die Stabilisierung des distalen Radioulnargelenkes und des Radiokarpalgelenkes. Der TFCC absorbiert etwa 20% der axialen Kompressionskraft auf das Handgelenk [Palmer 1981]. Seine Struktur ist

signalarm. Typischerweise besteht eine zweizügelige Insertion an der Basis und an der Spitze des Processus styloideus [Bednar 1994]. An der radialen Anheftung ist der TFCC gut vom signalreichen hyalinen Knorpelüberzug der Speiche abgrenzbar [Totterman 1995, Zlatkin 1989]. Akute Verletzungen führen häufig zu ulnarseitigen Handgelenksbeschwerden. Eine initiale Behandlung der Beschwerden erfolgt über Immobilisation, wenn nicht zusätzlich eine Styloidfraktur (Stadium 1B) oder eine Zerreißung des ulnokarpalen Bandapparates (Stadium 1C) vorliegen. Alternativ werden operativ arthroskopisches Debridement oder Bandplastiken durchgeführt [Bednar 1994].

Die Arthrographie oder die MR-Arthrographie bilden durch Kontrastmittelinjektion in das distale Radiokarpalgelenk Verletzungen der Stadien 1A und 1D durch schlitzförmige Kontrastmittel-Penetration im distalen Radioulnargelenk und Verletzungen des Stadiums 1C durch kapsuläre Leckagen direkt ab. Breite, zentrale Defekte mit Kontrastmittelkommunikation in das distale Radioulnargelenk weisen auf eine degenerative Genese hin (Stadium 2C) [Palmer 1989]. Für die Diagnostik der typischerweise zur Instabilität des Radioulnargelenkes führenden Stadium 1B-Verletzung, die mit einer Fraktur des Processus styloideus einhergehen kann, ist eine direkte Kontrastmittelinjektion in das distale Radioulnargelenk notwendig. Somit wird eine ulnarseitige, unterhalb des Diskus gelegene, Leckage in die ulnaren Weichteile darstellbar [Palmer 1989]. Kommunizierende TFCC-Defekte sind im höheren Lebensalter häufig bei asymptomatischen Patienten zu finden [Smith 1995, Schweitzer 1992]. Zanetti et al. stellten in einer Untersuchung an 407 Patienten fest, bei denen beidseitig eine Arthrographie durchgeführt wurde, dass nichtkommunizierende ulnarseitige TFCC-Partialdefekte häufig mit Beschwerden assoziiert sind und/oder auch traumatischer Genese sein können [Zanetti 2000]. Eine systematische Berücksichtigung von Partialdefekten in der Beurteilung durch die direkte MR-Arthrographie erscheint daher sinnvoll.

Für die Erkennung perforierender TFCC-Defekte erreichten wir, sowohl für die T1-gewichtete-SE-Sequenz als auch für die 3D-FLASH-Sequenz, eine hohe Sensitivität (T1-SE-Sequenz 92%, 3D-FLASH-Sequenz 96%) und Spezifität (T1-SE-Sequenz 100%, 3D-FLASH-Sequenz 99,6%). Es lagen fünf 1A-, fünf

1D- und elf 2C-Läsionen vor, jedoch keine instabilen Verletzungen der Stadien 1B und 1C. Ein zentraler, degenerativer Stadium 2C-Defekt wurde sowohl in der 3D-FLASH-Sequenz als auch in der T1-gewichteten-SE-Sequenz übersehen, da ein Kontrastmittelübertritt in das distale Radioulnargelenk nicht nachweisbar war. Die Differenzierung traumatisch und degenerativ bedingter TFCC-Perforationen gelang in 19 (3D-FLASH-Sequenz) bzw. 20 (T1-SE-Sequenz) richtig erkannten Fällen allein durch die Unterscheidung der schlitzförmig, radialseitig auftretenden 1A-Läsionen und 1D-Läsionen nach Palmer von den zentralen, breiten TFCC-Defekten der degenerativen 2C-Läsionen.

Die mit der direkten MR-Arthrographie erzielbare Spezifität liegt über den bisher veröffentlichten Werten für die indirekte MR-Arthrographie [Herold 2001]. Dies dürfte vor allem am Vorteil der direkten MR-Arthrographie liegen, perforierende Defekte eindeutig sichtbar zu machen. Falsch positive Ergebnisse sind daher selten.

Bei der indirekten MR-Arthrographie hingegen ist die Signalbeurteilung des Diskus für die Diagnose einer Komplettruptur notwendig, degenerative Binnenläsionen (Stadien 2A/B) können deshalb überschätzt werden und zu falsch positiven Werten führen [Herold 2001]. Bei der indirekten MR-Arthrographie wird für die Erkennung ulnarseitiger Läsionen eine schlechte Sensitivität erzielt [Haims 2002, Oneson 1996]. Oneson et al. werteten ulnarseitige Läsionen mit der indirekten MR-Arthrographie aus und kamen dabei auf eine Sensitivität von 25% bzw. 50% (zwei Untersucher) [Oneson 1996]. In unserem Kollektiv lagen keine ulnarseitig perforierenden Verletzungen (Stadium 1B) vor. Insbesondere bei zusätzlicher Kontrastmittelinjektion in das distale Radioulnargelenk ist für die direkte MR-Arthrographie eine bessere Sensitivität zu erwarten.

Die Einschätzung von Partialdefekten (Stadium 2A), für die in der Auswertung Ausdünnungen, nichtperforierende Einrisse und Signalanhebungen im triangulären fibrocartilaginären Komplex entscheidend waren, erreichten im Vergleich zur Erkennung von perforierenden Komplettddefekten deutlich niedrigere Werte. Von 20 Stadium 2A-Läsionen konnten nur 14 erkannt werden.

Erklärbar ist das zum einen durch instrumentelle Vorteile der Arthroskopie, denn mit Hilfe des Tasthakens kann der Arthroskopeur die Oberflächenbeschaffenheit des Diskus besser einschätzen. Dies führt zwangsweise zu einer niedrigeren Sensitivität der MR-Arthrographie (3D-FLASH-Sequenz 70%, T1-SE-Sequenz 65%). Zum anderen kommen in der MR-Auswertung Binnenveränderungen des Diskus zum Tragen, die arthroskopisch nicht erkennbar sind. Dadurch werden in der MR-Arthrographie falsch positive Befunde erhoben, was zu einer Senkung der Spezifität führt (3D-FLASH-Sequenz 94,6%, T1-SE-Sequenz 94,6%). Folglich verstehen Arthroskopeur und MR-Radiologe unter Stadium 2A-Läsionen häufig nicht die gleiche Veränderung des TFCC. Eine routinemäßige Übernahme der Palmer-Klassifikation für alle Stadium 2-Läsionen ist schwierig, denn in der Diagnostik der direkten MR-Arthrographie existieren keine klaren Beurteilungskriterien, um zwischen traumatischen und degenerativen Veränderungen zu unterscheiden. Ein Unterscheidungskriterium zwischen traumatisch und degenerativ bedingten TFCC-Veränderungen könnte in Zukunft durch die zusätzliche Evaluation des Gelenkknorpels mit Feststellung des Chondromalaziegrades ermöglicht werden. Da bislang nur fortgeschrittene Veränderungen des Gelenkknorpels in der Magnetresonanztomographie erkennbar sind [Haims 2002, Oneson 1996], konnte eine zusätzlich vorliegende Chondromalazie zur Unterscheidung traumatischer und degenerativer Läsionen bzw. eine Unterscheidung in Stadium 2A oder 2B nach Palmer nicht ausreichend evaluiert werden.

Bei den untersuchten extrinsischen Ligamenten wurde in unserem Kollektiv weder in der arthroskopischen noch in der MR-arthrographischen Darstellung eine Kompletttraktur des RLT- oder des RSC-Bandes dokumentiert. Eine Besonderheit stellt das RSL-Band dar. Die elastische, funktionell schwache, aber nutritive Struktur hat sich in der Literatur als gut darstellbar erwiesen. Aufgrund der kleinen anatomischen Ausmaße wurde bewertet, wie oft das Band MR-arthrographisch nachweisbar war. Das Ligamentum Testut ließ sich in der 3D-FLASH-Sequenz in 53,3% und in der T1-gewichteten-SE-Sequenz in 29,3%

darstellen. Eine mögliche Ursache stellt die dünne Schichtdicke dar, die mit der 3D-FLASH-Sequenz bei einem dennoch guten Signal-Rausch-Verhältnis möglich ist. In der T1-gewichteten-SE-Sequenz ist zwar eine „in-plane“-Auflösung von 0,2 mm² vorhanden, aber aufgrund der Schichtdicke von 3 mm kann die Darstellung eines 1 mm dicken Bandes mit der T1-gewichteten-SE-Sequenz unzureichend sein. Daher ist es sinnvoll und erforderlich, 3D-FLASH-Sequenzen mit einer dünneren Schichtdicke anzufertigen, um feinere anatomische Strukturen oder kleinste Läsionen besser sichtbar zu machen. Bei der Einschätzung des Ligamentum Testut kommt als limitierender Faktor hinzu, dass das Band bei bestehenden Defekten des skapholunären Bandes auch verletzt sein kann und deshalb MR-arthrographisch nicht mehr zur Darstellung kommt.

Für die native Bildgebung des Handgelenkes untersuchten Stäbler et al. an zehn Leichenhänden 12 verschiedene Sequenzen und stellten fest, dass die T1-gewichtete-SE-Sequenz die wenigsten Artefakte und das homogenste Bild erzeugte. Die 3D-FLASH-Sequenz mit Fettsuppression eignete sich am besten zur Beurteilung des Knorpels. Die Darstellung des skapholunären Bandes und des TFCC gelang mit der fettgesättigten, protonengewichteten Sequenz am deutlichsten [Stäbler 2000].

Die Eignung der von uns benutzten Untersuchungssequenzen für pathologische Veränderungen der intrinsischen Bänder und des TFCC in der direkten MR-Arthrographie hing nicht nur von der untersuchten Struktur, sondern auch vom Verletzungsgrad ab. Für die Einschätzung von Verletzungen des lunatotriquetralen Bandes und des triangulären fibroartilaginären Komplexes lagen in unserem Patientenkollektiv keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der T1-gewichteten-SE-Sequenz und der 3D-FLASH-Sequenz vor. Bei der Beurteilung des skapholunären Bandes zeigte sich die T1-gewichtete-SE-Sequenz der 3D-FLASH-Sequenz statistisch signifikant überlegen ($p < 0,05$). Für die 18 Partialdefekte des SL-Bandes ergab sich für die 3D-FLASH-Sequenz eine Sensitivität und Spezifität von 64,7% und 96,6%, für die T1-gewichtete-SE-

Sequenz hingegen von 83,3% und 96,5%. Das zuverlässigere Abschneiden der T1-gewichteten-SE-Sequenz liegt unserer Meinung nach an der höheren Matrix von 512 Bildpunkten (3D-FLASH-Sequenz: 256 Bildpunkte). Die geringere Schichtdicke von 1,5 mm der 3D-FLASH-Sequenz (T1-SE-Sequenz: 3 mm) und der höhere Kontrast wirkten sich bei der Darstellung von Partialdefekten dagegen nicht positiv aus. Die Ergebnisse zeigen, dass bei der diagnostischen Beurteilung des skapholunären Bandes daher die T1-gewichtete-SE-Sequenz bevorzugt werden sollte.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die bildgebende MR-arthrographische Darstellung struktureller Veränderungen der intrinsischen und extrinsischen Bandstrukturen sowie des triangulären fibroartilaginären Komplexes (TFCC) der Hand bei der Abklärung des chronischen Handgelenkschmerzes eine bedeutende Rolle spielt. Bei der Einschätzung ligamentärer Komplettdefekte oder perforierender Verletzungen des triangulären fibroartilaginären Komplexes wurden hohe Übereinstimmungen zwischen der diagnostischen Arthroskopie und der MR-Arthrographie erzielt. Auch die Ergebnisse für Partialdefekte bestätigen, dass trotz der nicht überzeugenden Sensitivität und Spezifität Partialdefekte in der MR-Arthrographie nicht unterschätzt wurden. Im Hinblick auf die fehlende operative Konsequenz bei alleinigem stabilem Partialdefekt ist die MR-Arthrographie als diagnostisches Verfahren vollkommen ausreichend. Es wäre vorstellbar, in diesen Fällen auf eine diagnostische Arthroskopie zu verzichten. In Zukunft wird mit Hilfe verbesserter Technik der MR-Arthrographie und zunehmender Erfahrung in der Bildinterpretation eine den Kompletttrupturen entsprechende sichere Beurteilung möglich sein.

Nach den Erkenntnissen dieser Arbeit bleibt zu diskutieren, ob es nicht sinnvoll wäre, die MR-Arthrographie als zusätzliches diagnostisches Verfahren in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie aufzunehmen.

Eine möglichst schonende, nicht-invasive Methode und frühzeitige Abklärung der Diagnose ist erforderlich, da Therapiemaßnahmen dadurch früher greifen und eine Heilung schneller erfolgen kann [Kozin 1999, Peicha 1997, Cooney 1993, Mudgal 1993, Cooney 1990].

Bei einer Arthroskopie besteht, neben den Risiken der Anästhesie und der Gefahr Sehnen, Gefäße, Nerven und Knochen bzw. intraartikulären Knorpel aufgrund des chirurgischen Vorgehens zu verletzen, ein Infektionsrisiko [Bickert 1995, Abrams 1994, Pederzini 1992, Hanker 1991]. Mehrere Autoren berichten über Komplikationsraten bei diagnostischen und operativen Arthroskopien an unterschiedlichen Gelenken zwischen 0,5% und 17% [Weber 2002, Ferkel 2001, Unger 2000, Berjano 1998, Brulhart 1993, Bigliani 1991, Barber 1990, Birr 1990, Small 1988]. De Smet ermittelte bei Arthroskopien des Handgelenkes eine Komplikationsrate von über 2% [De Smet 2002].

Bei der MR-Arthrographie treten Komplikationen sehr selten auf und die Gefahr einer Infektion durch Kontrastmittelinjektion in die Gelenkräume ist minimal. Weder im Tierexperiment noch in zahlreichen klinischen Studien wurden Nebenwirkungen einer MR-Arthrographie beobachtet [Ferrari 2002, Blanchard 1999, Engel 1990, Hajek 1990]. Die Komplikationsrate für „minor occurrences“ der intraartikulären Injektion lag in einer großen multi-institutionalen Umfrage bei 3,6% [Hugo 1998] und damit deutlich unter der der Einfach- oder Doppelkontrastarthrographie mit 40 bis 60% [Hall 1985]. Allergische Reaktionen mit Hautausschlag traten in einer arthrographischen Studie mit 126.000 Arthrographien in 60, Infektionen in drei Fällen auf [Newberg 1985].

6 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die Befunde der MR-Arthrographie mit den Ergebnissen der Arthroskopie an einem Kollektiv von 75 karpal symptomatischen Patienten verglichen, bei denen ein Verdacht auf Verletzungen der intrinsischen Bänder oder des TFCC vorlag. Zum ersten Mal gelang bei intrinsischen Bändern und dem triangulären fibrokartilaginären Komplex der Hand eine Unterscheidung in Komplettruptur und Partialdefekt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die MR-Arthrographie bei der Erfassung von Komplettrupturen intrinsischer Bänder sowie des TFCC neben der diagnostischen Arthroskopie ein gleichwertiges Verfahren darstellt. Aufgrund der Möglichkeit, die einzelne Struktur dynamisch und mit Hilfe des Tasthakens direkt zu beurteilen, ist die Arthroskopie der MR-Arthrographie bei der Einschätzung von partiellen Banddefekten zum jetzigen Zeitpunkt noch überlegen.

Für die Einschätzung skapholunärer Bandverletzungen mit der direkten MR-Arthrographie ist die Übernahme der Klassifikation der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie mit Berücksichtigung der Partialdefekte praktikabel und sollte zukünftig in der MR-Befundung etabliert werden. Bei der Beurteilung perforierender Defekte des TFCC besteht eine sehr gute, bei der Einschätzung von Partialdefekten (Stadien 2A/B nach Palmer) eine mäßige Übereinstimmung mit der diagnostischen Arthroskopie. Für Partialdefekte des lunatotriquetralen Bandes wurde eine nur unzureichende Übereinstimmung zwischen der direkten MR-Arthrographie und der diagnostischen Arthroskopie erreicht. Die Übernahme der Hempfling-Kriterien für lunatotriquetrale Bandrupturen erwies sich für die MR-Arthrographie als nicht sinnvoll.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Verletzungen mit einer operativen Konsequenz in der MR-Arthrographie erkannt und als solche nicht unterschätzt werden. Bei Patienten mit isoliert vorliegenden Partialdefekten des skapholunären Bandes oder des TFCC ist denkbar, dass aufgrund der fehlenden operativen Konsequenz in Einzelfällen auf eine diagnostische Arthroskopie verzichtet werden kann. Für die diagnostische Beurteilung des SL-

Bandes sollte die T1-gewichtete-SE-Sequenz bevorzugt werden, da mit dieser im Vergleich zur 3D-FLASH-Sequenz eine höhere Treffsicherheit in der Beurteilung von Partialdefekten erzielt werden konnte und die T1-gewichtete-SE-Sequenz eine bessere „in-plane“-Auflösung bietet.

Limitationen der MR-Arthrographie bestehen in der Erfassung kleinster Bandstrukturen, wie z.B. das Ligamentum Testut, wo bestehende Auflösungen der Sequenzen an ihre Grenzen stoßen.

Weitere Verbesserungen der Ortsauflösung sind vor allem durch eine Weiterentwicklung der Spulentechnologie zu erwarten. Die dynamische Information, die mit der Arthrooskopie gewonnen werden kann, wird dagegen vermutlich auch in Zukunft nicht zu kompensieren sein.

7 LITERATURVERZEICHNIS**Abrams RA, Petersen M, Botte MJ:**

Arthroscopic portals of the wrist: An anatomic study. J Hand Surg 1994; 19A: 940-944

Adolfsson L:

Arthroscopic diagnosis of ligament lesions of the wrist. J Hand Surg 1994; 19B: 505-512

Adolfsson L:

Arthroscopy for the diagnosis of post-traumatic wrist pain. J Hand Surg 1992; 17B: 46-50

Atkinson LS, Baxley EG:

Scapholunate dissociation. Am Fam Physician 1994; 49: 1845-1850

Baehser-Griffith P, Bednar JM, Osterman AL, Culp R:

Arthroscopic repairs of triangular fibrocartilage complex tears. AORN Journal 1997; 66 (1): 101-102, 105-111, quiz 112, 115, 117-118

Barber FA, Click J, Britt BT:

Complications of ankle arthroscopy. Foot Ankle 1990; 10 (5): 263-266

Bednar JM, Osterman AL:

The role of arthroscopy in the treatment of traumatic triangular fibrocartilage injuries. Hand Clin 1994; 10 (4): 605-614

Bednar MS, Arnoczky SP, Weiland AJ:

The microvasculature of the triangular fibrocartilage complex: its clinical significance. J Hand Surg 1991; 16A: 1101-1105

Berger RA:

The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament. J Hand Surg 1996; 21A: 170-178

Berger RA, Blair WF:

The radioscapolunate ligament: A gross and histologic description. The Anatomical Record 1984; 210: 393-405

Berger RA, Landsmeer JM:

The palmar radiocarpal ligaments: A study of adult and fetal human wrist joints. J Hand Surg 1990; 15A: 847-854

Berjano P, Gonzalez BG, Olmedo JF, Perez-Espana LA, Munilla MG:

Complications in arthroscopic shoulder surgery. Arthroscopy 1998; 14 (8): 785-788

Beyermann K, Krimmer H, Lanz U:

TFCC (Triangular Fibrocartilage Complex) lesions. Diagnosis and therapy. Orthopäde 1999; 28 (10): 891-898. German

Bickert B, Germann G:

The value of wrist joint arthroscopy in injuries. Zentralbl Chir 1995; 120 (12): 927-933. German

Bigliani LU, Flatow EL, Deliz ED:

Complications of shoulder arthroscopy. Orthop Rev 1991; 20 (9): 743-751

Birr R, Wuschech H, Kundiger R, Heller G:

Complications in 4.000 arthroscopies. Beitr Orthop Traumatol 1990; 37 (11-12): 620-626. German

Blanchard TK, Bearcroft PW, Constant CR, Griffin DR, Dixon AK:

Diagnostic and therapeutic impact of MRI and arthrography in the investigation of fullthickness rotator cuff tears. Eur Radiol 1999; 9 (4): 638-642

Brandner H:

Anatomie des Handgelenks. In: Hempfling, H: Die Arthroskopie am Handgelenk. Indikation, Technik und therapeutische Konsequenzen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart 1992: 1-9

Brown RR, Fliszar E, Cotten A, Trudell D, Resnick D:

Extrinsic and intrinsic ligaments of the wrist: normal and pathologic anatomy at MR arthrography with three-compartment enhancement. Radiographics 1998; 18 (3): 667-674

Brulhart KB, Roggo A, Kossmann T, Duff C, Schimmer R, Glinz W:

Arthroscopy of the shoulder joint. Technique, indications, surgery and complications. Langenbecks Arch Chir 1993; 378 (4): 200-205

Cantor RM, Stern PJ, Wyrick JD, Michaels SE:

The relevance of ligament tears or perforations in the diagnosis of wrist pain: An arthrographic study. J Hand Surg 1994; 19A: 945-953

Carrino JA, Smith DK, Schweitzer ME:

MR Arthrography of the Elbow and Wrist. Semin Musculoskelet Radiol 1998; 2 (4): 397-414

Chidgey LK, Dell PC, Bittar ES, Spanier SS:

Histologic anatomy of the triangular fibrocartilage. J Hand Surg 1991; 16A: 1084-1100

Chung KC, Zimmermann NB, Travis MT:

Wrist arthrography versus arthroscopy: a comparative study of 150 cases. J Hand Surg 1996; 21A: 591-594

Connell D, Page P, Wright W, Hoy G:

Magnetic resonance imaging of the wrist ligaments. Australas Radiol 2001; 45 (4): 411-422

Cooney WP:

Evaluation of Chronic Wrist pain by arthrography, arthroscopy and arthrotomy. J Hand Surg 1993; 18A: 815-822

Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL:

Arthroscopy of the wrist: Anatomy and classification of carpal instability. Arthroscopy 1990; 6 (2): 133-140

Dalinka MK:

MR Imaging of the wrist. AJR 1995; 164: 1-9

De Smet L:

Pitfalls in wrist arthroscopy. Acta Orthop Belg 2002; 68 (4): 325-329

Drape JL, Ouaknine M, Le Viet D, Godefroy DA, Pessis EG, Chevrot A:

Imaging of the Peripheral Tears of the Triangular Ligament of the Wrist. RSNA 2002: 654, Vortragsnummer 1631

Drape JL, Thelen P, Gay-Depassier P, Silbermann O, Benacerraf R:

Intraarticular Diffusion of Gd-DPTA after Intravenous Injection in the knee: MR Imaging Evaluation. Radiology 1993; 188: 227-234

Engel A:

Magnetic resonance knee arthrography. *Acta Orthop Scand* 1990; 240 (suppl): 39-42

Ferkel RD, Small HN, Gittins JE:

Complications in foot and ankle arthroscopy. *Clin Orthop* 2001; 391: 89-104

Ferrari FS, Governi S, Burrelli F, Vigni F, Stefani P:

Supraspinatus tendon tears: comparison of US and MR arthrography with surgical correlation. *Eur Radiol* 2002; 12 (5): 1211-1217

Gilula LA, Palmer AK:

Is it possible to diagnose a tear at arthrography or MR imaging? *Radiology* 1993; 187: 582

Golimbu CN, Firoznia H, Melone CP, Rafii M, Weinreb J, Leber C:

Tears of the triangular fibrocartilage of the wrist: MR Imaging. *Radiology* 1989; 173: 731-733

Grechenig W, Fellingner M, Seibert FJ, Weiglein A:

Die Arthrographie des Handgelenks beim frischen Trauma. *Unfallchirurg* 1996; 99: 260-266

Gundry CR, Kursunoglu-Brahme S, Schwaighofer B, Kang HS, Sartoris DJ, Resnick D:

Is MR better than arthrography for evaluating the ligaments of the wrist? In vitro study. *AJR* 1990; 154: 337-341

Haims AH, Schweitzer ME, Morrison WB, Deely D, Lange R, Osterman AL, Bednar JM, Taras JS, Culp RW:

Limitations of MR imaging in the diagnosis of peripheral tears of the triangular fibrocartilage of the wrist. *AJR* 2002; 178: 419-422

Hajek PC, Baker LL, Sartoris DG, Neumann CH, Resnick D:

MR arthrography: anatomic-pathologic investigation. Radiology 1987; 163: 141-147

Hajek PC, Sartoris DJ, Gyls-Morin V, Haghighi P, Engel A, Kramer F, Neumann CH, Resnick D:

The effect of intra-articular gadolinium-DTPA on synovial membrane and cartilage. Invest Radiol 1990; 25 (2): 179-183

Hall FM, Goldberg RP, Wyshak G, Kilcoyne RF:

Shoulder arthrography: comparison of morbidity after use of various contrast media. Radiology 1985; 154 (2): 339-341

Hanker GJ:

Diagnostic and operative arthroscopy of the wrist. Clinical Orthopedics 1991; 263: 165-174

Hempfling H:

Farbatlas der Arthroskopie großer Gelenke. Fischer-Verlag, Stuttgart-Jena-New York 1995: 436, 498

Herold T, Lenhart M, Held P, Babel M, Ruf S, Feuerbach S, Link J:

Indirekte MR-Arthrographie des Handgelenks bei TFCC-Läsionen. Fortschr Röntgenstr 2001; 173: 1006-1011

Heuck A, Steinbach L, Neumann C, Stoller D, Genant H:

Möglichkeiten der MR-Tomographie bei Erkrankungen von Hand und Handgelenk. Radiologe 1989; 29: 53-60

Hixson ML, Stewart C:

Microvascular anatomy of the radiosapholunate ligament of the wrist. J Hand Surg 1990; 15A: 279-282

Hobby JL, Dixon AK, Bearcroft PWP, Tom BDM, Lomas DJ, Rushton N, Matthewson MH:

MR Imaging of the wrist: Effect on Clinical Diagnosis and Patient Care. Radiology 2001; 220: 589-593

Hofmann-Preiß K, Grebmeier J, Reichler B, Flügel M, Lenz G:

Vergleich Arthrographie-Kernspintomographie bei schmerzhaften Bewegungseinschränkungen der Hand. Radiologe 1990; 30: 380-384

Hosten N, Schneler A, Lemke AJ, Schröder R, Felix R:

MRT in der Diagnostik und Differentialdiagnostik von radiokarpalen Erkrankungen und Verletzungen. Orthopäde 1999; 28: 833-839

Hugo PC, Newburg AH, Newman JS:

Complications of arthrography. Semin Musculoskeletal Radiol 1998; 2: 345-348

Huracek J, Troeger H:

Wrist arthroscopy without distraction. J Bone Joint Surg 2000; 82B: 1011-1012

Jacob HA, Kunz C, Sennwald G:

Zur Biomechanik des Carpus - Funktionelle Anatomie und Bewegungsanalyse der Karpalknochen. Orthopäde 1992; 21: 81-87

Jacobson JA, Oh E, Propeck T, Jebson PJ, Jamadar DA, Hayes CW:

Sonography of the scapholunate ligament in four cadaveri wrists: correlation with MR arthrography and anatomy. AJR 2002; 179: 523-527

Kang HS, Kindynis P, Brahme SK, Resnick D, Haghighi P, Haller J, Sartoris DJ:

Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: MR Imaging. Radiology 1991; 181: 401-404

Kelly EP, Stanley JK:

Arthroscopy of the wrist. *J Hand Surg* 1990; 15B: 236-242

Kessler I, Silberman Z:

An experimental study of the radiocarpal joint by arthrography. *Surgery, Gynecology & Obstetrics* 1961; 112: 33-40

Kirschenbaum D, Sieler S, Solonick D, Loeb DM, Cody RP:

Arthrography of the wrist: assessment of the integrity of the ligaments in young asymptomatic adults. *J Bone Joint Surg* 1995; 77Am: 1207-1209

Koman LA, Poehling GG, Toby EB, Kammire G:

Chronic wrist pain: Indications for wrist arthroscopy. *Arthroscopy* 1990; 6: 116-119

Kovanlikaya I, Camli D, Cakmakci H, Goktay Y, Kovanlikaya A, Özaksoy D, Akseki D, Ekin A:

Diagnostic value of MR arthrography in detection of intrinsic carpal ligament lesions: use of cine-MR-arthrography as a new approach. *Eur Radiol* 1997; 7: 1441-1445

Kozin SH:

The role of arthroscopy in scapholunate instability. *Hand Clin* 1999; 15 (3): 435-444, VIII. Review

Levinsohn E, Rosen I, Palmer A:

Wrist Arthrography: Value of the Three-compartment Injection Method. *Radiology* 1991; 179: 231-239

Linkous MD, Gilula LA:

Wrist arthrography today. *Radiologic Clinics Of North America* 1998; 36: 651-672

Linkous MD, Pierce S, Gilula L:

Scapholunate Ligamentous Communicating Defects in Symptomatic and Asymptomatic Wrists: Characteristics. Radiology 2000; 216: 846-850

Linscheid RL:

Biomechanics of the distal radioulnar joint. Clin Orthop 1992; 275: 46-55

Linscheid RL, Dobyns JH, Beaubout JW, Bryan RS:

Traumatic instability of the wrist: Diagnosis, classification and pathomechanics. J Bone and Joint Surg 1972; 54Am: 1612-1632

Mäurer J, Rudolph J, Lorenz M, Hidajat N, Schröder R, Südkamp N, Felix R:

Prospektive Studie zum Nachweis von Läsionen des Labrum glenoidale mit der indirekten MR-Arthrographie der Schulter. Fortschr Röntgenstr 1999; 171: 307-312

Manaster BJ:

The clinical efficacy of triple-injection wrist arthrography. Radiology 1991; 178: 267-270

Manaster BJ, Mann RJ, Rubenstein S:

Wrist pain: Correlation of clinical and plain film findings with arthrographic results. J Hand Surg 1989; 14A: 466-473

Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RF:

The ligaments of the human wrist and their functional significance. Anat Rec 1976; 186: 417-428

Metz VM, Schratte M, Dock WI, Grabenwöger F, Kuzbari R, Lang S, Wanivenhaus AH, Puigg S, Imhof H:

Age-associated changes of the triangular fibrocartilage of the wrist: Evaluation of the diagnosis performance of MR Imaging. *Radiology* 1992; 184: 217-220

Mikic ZD:

Age changes in the triangular fibrocartilage of the wrist joint. *J Anat* 1978; 126: 367-384

Miller RJ, Totterman SM:

Triangular fibrocartilage in asymptomatic subjects: Investigation of abnormal MR signal intensity. *Radiology* 1995; 196: 22-23

Moriggl B, Putz RV:

Der Carpus im Konflikt zwischen Stabilität und Mobilität. *Orthopäde* 1999; 28: 822-832

Morley J, Bidwell J, Bransby-Zachary M:

A comparison of the findings of wrist arthroscopy and magnetic resonance imaging in the investigation of wrist pain. *J Hand Surg* 2001; 26B: 544-546

Mudgal C, Hastings H:

Scapho-lunate diastasis in fractures of the distal radius. *J Hand Surg* 1993; 18B: 725-729

Nagle DJ, Benson LS:

Wrist arthroscopy: Indications and results. *Arthroscopy* 1992; 8: 198-203

Newberg AH, Muhn CS, Robbins AH:

Complications of arthrography. *Radiology* 1985; 155: 605

North ER, Meyer S:

Wrist injuries: Correlation of clinical and arthroscopic findings. J Hand Surg 1990; 15A: 915-920

Oneson SR, Scales LM, Timins ME, Erickson SJ, Chamoy L:

MR Imaging interpretation of the Palmer classification of triangular fibrocartilage lesions. Radiographics 1996; 16: 97-106

Oneson SR, Timins ME, Scales LM, Erickson SJ, Chamoy L:

MR Imaging diagnosis of triangular fibrocartilage pathology with arthroscopic correlation. AJR 1997; 168: 1513-1518

Osterman AL, Seidman GD:

The role of arthroscopy in the treatment of lunatotriquetral ligament injuries. Hand Clin 1995; 11: 42-50

Palmer AK:

Triangular fibrocartilage complex lesions: A classification. J Hand Surg 1989; 14A: 594-606

Palmer AK:

Triangular fibrocartilage disorders: Injury patterns and treatment. Arthroscopy 1990; 6 (2): 125-132

Palmer AK, Werner FW, Eng MM:

The triangular fibrocartilage complex of the wrist: Anatomy and function. J Hand Surg 1981; 6: 153-162

Pederzini L, Luchetti R, Soragni O, Alfarano M, Montagna G, Cerofolini E, Colombini R, Roth J:

Evaluation of the triangular fibrocartilage complex tears by arthroscopy, arthrography and magnetic resonance imaging. Arthroscopy 1992; 8: 191-197

Peicha G, Fellingner M, Seibert FJ, Grechenig W, Schippinger G:
Skapholunäre Bandverletzungen beim akuten Handgelenktrauma. Unfallchirurg
1997; 100: 430-437

Platzer W:

Taschenatlas der Anatomie für Studium und Praxis. Band I:
Bewegungsapparat. Thieme Verlag, Stuttgart 1991: 122-125

**Potter HG, Asnis-Ernberg L, Weiland AJ, Hotchkiss RN, Peterson MG,
McCormack RR Jr:**

The utility of High-Resolution Magnetic Resonance Imaging in the evaluation of
the triangular fibrocartilage complex of the wrist. J Bone Joint Surg 1997; 79Am:
1675-1684

Rettig ME, Amadio PC:

Wrist arthroscopy. J Hand Surg 1994; 19B: 774-777

Reuther G, Erlemann R, Grünert J, Peters PE:

Untersuchungstechnik und ligamentäre Binnenmorphologie in der MRT des
Handgelenks. Radiologe 1990; 30: 373-379

Roth JH, Haddad RG:

Radiocarpal arthroscopy and arthrography in the diagnosis of ulnar wrist pain.
Arthroscopy 1986; 2: 234-243

Ruby LK:

Carpal Instability. J Bone Joint Surg 1995; 77Am: 476-487

Ruch DS, Poehling GG:

Arthroscopic management of partial scapholunate and lunotriquetral injuries of
the wrist. J Hand Surg 1996; 21A: 412-417

Ruch DS, Siegel D, Chabon SJ, Koman LA, Poehling GG:

Arthroscopic categorization of intercarpal ligamentous injuries of the wrist. Orthopedics 1993; 16 (9): 1051-1056

Scheck RJ, Kubitzek C, Hierner R, Szeimies U, Pfluger T, Wilhelm K, Hahn K:

The scapholunate interosseus ligament in MR arthrography of the wrist: correlation with non-enhanced MRI and wrist arthroscopy. Skeletal Radiol 1997; 26: 263-271

Scheck RJ, Romagnolo A, Hierner R, Pfluger T, Wilhelm K, Hahn K:

The Carpal Ligaments in MR Arthrography of the Wrist: Correlation With Standard MRI and Wrist Arthroscopy. J Magn Reson Imaging 1999; 9: 468-474

Schiebler TH, Schmidt W:

Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1987; 4. Auflage: 268-275

Schmitt R, Lanz U:

Bildgebende Diagnostik der Hand. Hippokrates Verlag, Stuttgart 1996: 116-117

Schweitzer ME, Brahme S, Hodler J, Hanker G, Lynch T, Flannigan B, Godzik C, Resnick D:

Chronic Wrist Pain: Spin-Echo and Short Tau Inversion Recovery MR Imaging and Conventional and MR Arthrography. Radiology 1992; 182: 205-211

Schweitzer ME, Natale P, Winalski CS, Culp R:

Indirect wrist MR arthrography: the effects of passive motion versus active exercise. Skeletal Radiol 2000; 29: 10-14

Sennwald G:

Anatomie des Radiokarpalkomplexes. In: Das Handgelenk. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1987: 13-46

Shionoya K, Nakamura R, Imaeda T, Makino N:

Arthrography is superior to magnetic resonance imaging for diagnosing injuries of the triangular fibrocartilage. J Hand Surg 1998; 23B: 402-405

Skahen JR, Palmer AK, Levinsohn EM, Buckingham SC, Szeverenyi NM:

Magnetic resonance imaging of the triangular fibrocartilage complex. J Hand Surg 1990; 15A: 552-557

Small NC:

Complications in arthroscopic surgery performed by experienced arthroscopists. Arthroscopy 1988; 4 (3): 215-221

Smith DK:

MR imaging of the normal and injured wrist ligaments. MRI Clin North Am 1995; 3: 213-227

Smith DK:

Scapholunate interosseous ligament of the wrist: MR appearances in asymptomatic volunteers and arthrographically normal wrists. Radiology 1994; 192: 217-221

Smith DK, Snearly WN:

Lunotriquetral interosseous ligament of the wrist: MR appearances in asymptomatic volunteers and arthrographically normal wrists. Radiology 1994; 191: 199-202

Sommer T, Vahlensieck M, Wallny T, Lutterbey G, Pauleit D, Steuer K, Golombek V, Kreft B, Keller E, Schild H:

Indirekte MR-Arthrographie in der Diagnostik von Läsionen des Labrum glenoidale. Fortschr Röntgenstr 1997; 167: 46-51

Stäbler A, Spieker A, Bonel H, Schrank C, Glaser C, Petsch R, Putz R, Reiser M:

Magnetresonanztomographie des Handgelenks - Vergleich hochauflösender Pulssequenzen und unterschiedlicher Fettsignalunterdrückungen an Leichenpräparaten. Fortschr Röntgenstr 2000; 172 (2): 168-174

Steinbach LS, Palmer WE, Schweitzer ME:

Special Focus Session. Radiographics 2002; 22: 1223-1246

Sugimoto H, Shinozaki T, Ohsawa T:

Triangular Fibrocartilage in Asymptomatic Subjects: Investigation of Abnormal MR Signal Intensity. Radiology 1994; 191:193-197

Taleisnik J:

The ligaments of the wrist. J Hand Surg 1976; 1A: 110-118

Thiru RG, Ferlic DC, Clayton ML, McClure DC:

Arterial anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist and its surgical significance. J Hand Surg 1986; 11A: 258-263

Totterman SM, Miller RJ:

Scapholunate ligament: Normal MR appearance on three-dimensional gradient-recalled-echo images. Radiology 1996; 200: 237-241

Totterman SM, Miller RJ:

Triangular fibrocartilage complex: Normal appearance on coronal three-dimensional gradient-recalled-echo MR Images. Radiology 1995; 195: 521-527

Totterman SM, Miller RJ, McCane SE, Meyers SP:

Lesions of the triangular fibrocartilage complex: MR findings with a three-dimensional gradient-recalled-echo sequence. *Radiology* 1996; 199: 227-232

Totterman SM, Miller RJ, Wasserman B, Blebea JS, Rubens DJ:

Intrinsic and extrinsic carpal ligaments: Evaluation by three-dimensional fourier transform MR Imaging. *AJR* 1993; 160: 117-123

Unger F, Lajtai G, Ramadani F, Aitzetmuller G, Orthner E:

Arthroscopy of the upper ankle joint. A retrospective analysis of complications. *Unfallchirurg* 2000; 103 (10): 858-863. German

Vahlensieck M, Peterfy C, Wischer T, Sommer T, Lang P, Schlippert U, Genant H, Schild H:

Indirect MR Arthrography: Optimization and Clinical Applications. *Radiology* 1996; 200: 249-254

Viegas SF:

Midcarpal arthroscopy: anatomy and technique. *Arthroscopy* 1992; 8: 385-390

Viegas SF, Ballantyne G:

Attritional lesions of the wrist joint. *J Hand Surg* 1987; 12A: 1025-1029

Viegas SF, Patterson RM, Hokanson JA, Davis J:

Wrist anatomy: Incidence, distribution and correlation of anatomic variations, tears and arthrosis. *J Hand Surg* 1993; 18A: 463-475

Weber SC, Abrams JS, Nottage WM:

Complications associated with arthroscopic shoulder surgery. *Arthroscopy* 2002; 18 (2 Suppl 1): 88-95

Weiss AP, Akelman E, Lambiase R:

Comparison of the Findings of Triple-Injection Cinearthrography of the Wrist with Those of Arthroscopy. J Bone Joint Surg 1996; 78Am: 348-356

Westkaemper JG, Mitsionis G, Giannakopoulos PN, Sotereanos DG:

Wrist arthroscopy for the treatment of ligament and triangular fibrocartilage complex injuries. Arthroscopy 1998; 14: 479-483

Willebrand J:

Skapholunäre Dissoziationen. Orthopäde 1999; 28: 878-882

Winalski CS, Aliabadi P, Wright RJ, Shortkroff S, Sledge CB, Weissman BN:

Enhancement of Joint Fluid with Intravenously Administered Gadopentate Dimeglumine: Technique, Rationale, and Implications. Radiology 1993; 187:179-185

Wüstner-Hofmann MC:

Aus: Leitlinien skapholunärer Bandverletzungen. Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie. <http://www.DG-H.de> (Stand 2001)

Yamato M, Tamai K, Yamaguchi T, Ohno W:

MRI of the knee in rheumatoid arthritis: Gd-DTPA perfusions dynamics. J Comput Assist Tomogr 1993; 17: 781-785

Zanetti M, Bräm J, Hodler J:

Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: Does MR arthrography improve standard MRI? J Magn Reson Imagine 1997; 7: 590-594

Zanetti M, Linkous M, Gilula L, Hodler J:

Characteristics of Triangular Fibrocartilage Defects in Symptomatic and Contralateral Asymptomatic Wrists. Radiology 2000; 216: 840-845

Zlatkin MB, Chao PC, Osterman AL, Schnall MD, Dalinka MK, Kressel HY:
Chronic wrist pain: Evaluation with High-Resolution MR Imaging. Radiology
1989; 173: 723-729

8 **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

CT	Computertomographie
DGH	Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie
DRUG	Distales Radioulnargelenk
DTPA	Diäthylentriaminpentaessigsäure
KM	Kontrastmittel
L. / Lig.	Ligament(um)
LT(-Band)	lunatotriquetrales Band (Ligamentum lunotriquetrum)
M.	Musculus
MCG	Mediokarpalgelenk
MR	Magnetresonanz
MR-Arthrographie	Magnetresonanarthrographie
MRT	Magnetresonanztomographie
RCG	Radiales Karpalgelenk
RLT(-Band)	radiolunotriquetrales Band (Ligamentum radiolunotriquetrum)
RSC(-Band)	radioscaphokapitäres Band (Ligamentum radioscaphocapitatum)
RSL(-Band)	radioscapholunäres Band (Ligamentum radioscapholunatum)
SE	Spin Echo
SL(-Band)	skapholunäres Band (Ligamentum scapholunatum)
STIR	Short Tau Inversion Recovery
TFC	senkrecht zur Unterarmachse stehender TFCC-Anteil
TFCC	Triangulärer fibrokartilaginärer Komplex
3D-FLASH-Sequenz	Dreidimensionale Fast Low Angle Shot Imaging

Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei Professor Dr. med. D. Hahn für die Überlassung des Themas dieser Dissertation bedanken.

Bei Professor Dr. J. P. Keller bedanke ich mich für die freundliche und spontane Übernahme des Koreferates.

Privatdozent Dr. med. W. Kenn möchte ich vor allem für die optimale Betreuung und Unterstützung sowie die aufmunternden Worte auch außerhalb der Universität sehr danken.

Ein weiteres mehr als großes Dankeschön geht an Dr. med. H. Braun. Durch ihn habe ich ebenso erfahren können, was optimale Betreuung eines Doktoranden nicht nur bei der Erstellung einer Doktorarbeit, sondern auch in normalen Fragen des Alltags bedeuten kann.

Natürlich bedanke ich mich auf diesem Wege bei meiner Familie. Bei meinen Eltern dafür, dass sie mir diese Ausbildung ermöglicht haben. Bei meinem Bruder, der mich zu jeder Tages- und Nachtzeit in allen computertechnischen Fragen unterstützt hat. Weiterhin möchte ich mich bei meiner Freundin bedanken, die es ertragen musste, dass diese Arbeit monatelang das Hauptthema war mit all meinen Stimmungsschwankungen, Krisen, aber auch plötzlich aufkommenden Glücksgefühlen.

Mit Hilfe dieser lieben Menschen wurde es überhaupt erst möglich diese wissenschaftliche Arbeit zu erstellen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Sebastian Dominik Schneider

geboren am 13.03.1976 in Frankfurt / Main

Familienstand: ledig

Schulbildung

1982 – 1986

Grundschule in Dietzenbach

1986 – 1995

Freiherr-vom-Stein-Schule in Frankfurt / Main

Abschluss: Abitur

Gesamtnote: 2,1

Wehrdienst

07/95 – 07/96

Deutsch-Französische Brigade in Müllheim

Hochschulstudium

10/96 – 05/03

Studium der Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Physikum 03/99

I. Staatsexamen 08/00

II. Staatsexamen 03/02

III. Staatsexamen 05/03

Praktisches Jahr

04/02 – 08/02

Bezirksspital Oberhasli Meiringen / Schweiz
Innere Medizin

09/02 – 12/02

Universitätsklinik Würzburg
Chirurgie

02/03 – 04/03

Kreiskrankenhaus Rheinfelden
Orthopädie

Beruf

Seit 07/03

Arzt im Praktikum – Orthopädische Chirurgie
Kreiskrankenhaus Rheinfelden
CA Prof. Dr. H.-R. Henche

