

Aus dem Fachbereich Medizin
der Johann Wolfgang von Goethe- Universität
Frankfurt am Main

Zentrum der Radiologie
Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
Direktor : Prof. Dr. med. Thomas J. Vogl

**Vergleich des hochauflösenden MRT und CT mit der
Arthroskopie bei Handgelenksverletzungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Johann Wolfgang von Goethe- Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Andrea Bausch
aus Limburg

Frankfurt am Main
2007

Dekan Prof. Dr. med. Josef M. Pfeilschifter

Referent: Prof. Dr. med. M. Mack

Korreferent: Prof. Dr. med. I. Marzi

3. Prüfer: Prof. Dr. med. H.-J. Bratzke

4. Prüfer: Prof. Dr. med. H. Geiger (Prüfungsvorsitzender)

Tag der mündlichen Prüfung: 09.09.2008

Für meinen Papa.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Zielsetzung	5
1 Anatomische und biomechanische Grundlagen der Hand.....	7
1.1 Anatomischer Aufbau des Handgelenkes.....	7
1.1.1 Radiocarpalgelenk	7
1.1.2 Mediocarpalgelenk	7
1.1.3 Ulnokarpaler Komplex (TFCC)	8
1.1.4 Karpale Ligamente	10
1.2 Biomechanik des Handgelenkes.....	12
1.2.1 Dynamik der Handwurzelknochen	12
1.3 Klassifikation der karpalen Instabilitäten.....	16
2 Arthroskopie der Hand	19
2.1 Durchführung	19
2.2 Zugang.....	20
2.2.1 Spiegelung des Radiocarpalgelenk.....	21
2.2.2 Spiegelung des distalen Radioulnargelenkes.....	22
2.2.3 Spiegelung des Mediocarpalgelenkes	22
2.3 Indikation.....	22
2.3.1 Diagnostik.....	22
2.3.2 Therapie	23
2.4 Kontraindikation.....	23
2.5 Komplikationen	23
3 Magnetresonanztomographie– MRT	24
3.1 Physikalische Grundlagen	24

3.1.1	Kernspin	24
3.1.2	Magnetfeld.....	26
3.1.3	Kernspin- Resonanz.....	27
3.1.4	Kernrelaxation T1, T2	27
3.1.5	Kernrelaxation im biologischen Gewebe	28
3.1.6	Bildintensität und Signal-Rausch-Verhältnis	29
3.2	MR- Bildgebungssequenzen.....	30
3.2.1	Spin-Echo Sequenz (SE)	30
3.2.2	Fast- Spin- Echo (FSE) oder Turbo- Spin- Echo (TSE).....	31
3.2.3	Inversion- Recovery- Technik (IR)	31
3.2.4	Gradienten-Echo- Technik (GRE).....	31
3.2.5	TR (time to repeat) und TE (time to echo)	32
3.3	Technischer Aufbau.....	33
3.3.1	Magnet	33
3.3.2	Shimsystem.....	33
3.3.3	Gradientenspule	33
3.3.4	Hochfrequenzspule	33
3.3.5	Rechner.....	34
3.3.6	Erzeugung von MR- Bildern	34
3.3.7	Kontrastmittel	34
3.3.8	Bildartefakte	35
3.3.9	Kontraindikationen	35
3.4	MRT der Hand.....	36
3.4.1	Lagerung der Hand	36
3.4.2	Standard- MRT des Handgelenkes	36
3.4.3	Physiologische Handgelenksanatomie im MRT	37

4	Computertomographie– CT	39
4.1	Prinzip der Computertomographie	39
4.2	Aufnahmetechniken.....	40
4.2.1	Konventionelle CT- Aufnahme	40
4.2.2	Spiral- Volumen- CT	40
4.2.3	Dynamische Serienschichtaufnahmen	41
4.2.4	Schnelle Serienschichten mit Schleifenring- CT.....	41
4.3	Technischer Aufbau.....	41
4.3.1	Gantry mit Hochfrequenzgenerator	41
4.3.2	Röntgenröhre	42
4.3.3	Detektoren	42
4.3.4	Patiententisch.....	43
4.3.5	Bildrekonstruktion	43
4.4	Bilddarstellung	44
4.4.1	Hounsfield- Skala	44
4.4.2	Nachteile.....	44
4.5	CT der Hand	44
4.5.1	Lagerung der Hand.....	44
5	Material und Methoden	46
6	Ergebnisse.....	52
6.1	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie.....	55
6.1.1	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Knochen.....	55
6.1.2	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Ligamente	56
6.1.3	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Knorpel	56
6.1.4	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Sonstiges	57
6.2	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie	59

6.2.1	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Knochen	59
6.2.2	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Ligamente.....	60
6.2.3	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Knorpel.....	67
6.2.4	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Sonstiges.....	71
7	Diskussion	74
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	74
7.1.1	Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie.....	75
7.1.2	Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie	76
7.2	Kritische Beurteilung der Methodik und der Ergebnisse	79
7.3	Vergleich der Studie mit Fremdliteratur.....	81
7.4	Ausblick.....	87
8	Zusammenfassung	88
	Summary.....	90
	Abbildungsverzeichnis	I
	Gleichungsverzeichnis.....	V
	Tabellenverzeichnis	VI
	Abkürzungsverzeichnis	VIII
	Literaturverzeichnis	XI
	Danksagung	XIV
	Lebenslauf	XV
	Ehrenwörtliche Erklärung.....	XVII

Zielsetzung

„Die Hand ist das Instrument der Instrumente“ (Aristoteles).

Sie ist nicht nur das funktionelle Ausführungsorgan der oberen Extremität, sondern ein hochempfindliches Sinnesorgan, welches Informationen aus der Umwelt aufnimmt.

Lang anhaltende Handgelenksbeschwerden mit Schmerzen, Funktionseinschränkungen bis hin zur totalen Bewegungsunfähigkeit des Handgelenkes führen bei den Betroffenen zu einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität. Ursache ist häufig ein Trauma, das beispielsweise durch einen Sturz hervorgerufen sein kann. Aber auch angeborene Deformitäten können frühzeitig zu einem Gelenkverschleiß und somit zu einer zunehmenden Schmerzsymptomatik führen. So sind es vor allem die ligamentäre Verletzungen, die Langzeitprobleme hervorrufen.

Durch eine frühzeitige Diagnostik ist die Beurteilung der Strukturschädigung und damit die Bestimmung einer adäquaten Therapie möglich. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Neben der klinischen Untersuchung, kann das Handgelenk mit Hilfe von Röntgenaufnahmen, der Computertomographie (CT), der Magnetresonanztomographie (MRT oder Kernspin) und der Arthrographie beurteilt werden. Durch die Entwicklung immer besserer und kleinerer Instrumente bietet inzwischen auch die Handgelenksarthroskopie eine Möglichkeit, die Schädigungen von Bändern, Diskus, Knochen und Knorpel zu beurteilen.

In der Praxis erweist sich das klassische Röntgenbild in der Diagnostik chronischer Handgelenksbeschwerden oft als unzureichend. Hingegen ist man mit Hilfe der MRT in der Lage, Verletzungen des Bandapparates mit ausreichender Sicherheit zu erkennen und im CT kleinste Knochenfissuren zu finden. In einer nachfolgenden Gelenkspiegelung können die pathologisch veränderten Strukturen genauer differenziert, klassifiziert und bei Bedarf behandelt werden.

Mit Hilfe der vorliegenden retrospektiven Studie wurde dem hochauflösenden MRT und CT die Arthroskopie bei Handgelenksverletzungen gegenübergestellt.

Dazu wurden die Daten der radiologischen Untersuchungen mit denen der Gelenkspiegelung verglichen. Es wurde beurteilt, ob man durch eine der Untersuchungen wesentlich mehr

Informationen gewinnen kann oder ob die gefundenen Pathologien in den verschiedenen diagnostischen Methoden übereinstimmen.

Somit sollte die Frage geklärt werden, ob CT- und MRT- Untersuchungen als Alternativen zur diagnostischen Handgelenksarthroskopie angewendet werden können oder ob die Bildgebungen eine Ergänzung zu dem Schlüssellochverfahren darstellen. Des Weiteren sollte eruiert werden, wo genau die diagnostischen Grenzen und die Vorteile in den jeweiligen Verfahren zu finden sind.

1 Anatomische und biomechanische Grundlagen der Hand

Das Handgelenk setzt sich aus zwei Einzelgelenken zusammen, dem Radiocarpalgelenk (Articulatio radiocarpea) und dem Mediocarpalgelenk (Articulatio mediocarpea) [1] [2].

1.1 Anatomischer Aufbau des Handgelenkes

1.1.1 Radiocarpalgelenk

Das Radiocarpalgelenk ist ein Eigelenk. Es besteht aus dem distalen Radius und dem den proximalen Handwurzelknochen [3].

Die Gelenkpfanne im Radiocarpalgelenk wird zu $\frac{3}{4}$ durch den Radius mit der Fossa scaphoidea radii und der Fossa lunata radii und zu $\frac{1}{4}$ vom Diskus triangularis, der den distalen Anteil des Ulnaköpfchens überdeckt, gebildet.

Die Incisura ulnaris radii stellt die Verbindungsfäche zwischen Radius und Ulna dar.

Der karpale Kondylus wird von drei proximalen Handwurzelknochen gebildet. Dazu gehören das Os scapoideum, das Os lunatum und das Os triquetrum. Diese sind durch Ligamente miteinander verbunden und bilden eine kontinuierliche konvexe, überknorpelte Gelenkfläche. Das Os pisiforme gehört ebenfalls zu der proximalen Handwurzelreihe, beteiligt sich aber nicht an der Bildung dieses Kondylus [4] [5] [6] [7].

1.1.2 Mediocarpalgelenk

Das Mediocarpalgelenk setzt sich aus den distalen und der proximalen Handwurzelknochen zusammen. Die distale Handwurzelreihe wird von dem Os trapezium, dem Os trapezoideum, dem Os capitatum und dem Os hamatum gebildet. Zu den proximalen Handwurzelknochen gehören das Os scapoideum, das Os lunatum, das Os triquetrum und das Os pisiforme. Die einzelnen Knochen stehen über Bandstrukturen in Verbindung, die im Folgenden beschrieben sind [4] [5] [6] [7].

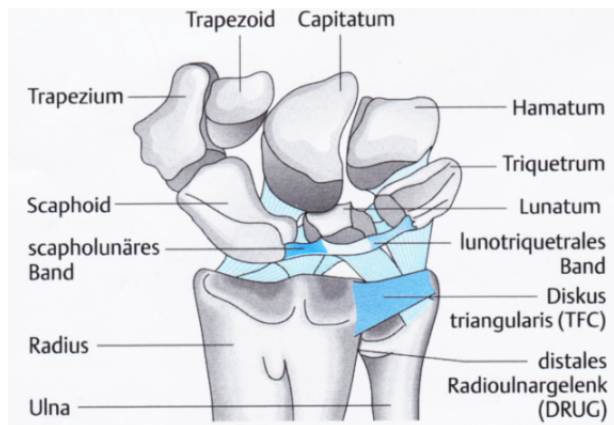


Abbildung 1: Anatomischer Aufbau des Handgelenkes mit distalem Radius, distaler Ulna und den Handwurzelknochen (vgl.[8],S.4).

1.1.3 Ulnokarpaler Komplex (TFCC)

Der *TFCC* befindet sich zwischen dem Ulnarkopf, dem Lunatum und dem Triquetrum. Er ist der wichtigste ulnarseitige Puffer, auf den ca. 20% der Gesamtdruckbelastung bei axialer Kraft auf das Handgelenk wirken. Außerdem dient er als wichtigster Stabilisator im distalen Radioulnar- und im Radiocarpalgelenk bei der Ulnaduktion.

Der *TFCC* (= triangular fibro cartilage complex) ist eine fibroligamentäre Struktur, die sich aus folgenden Einzelteilen zusammensetzt:

Discus ulnocarpalis/ Discus triangularis (TFC),

Ligg. radioulnaria palmare et dorsale,

Lig. ulnolunatum/ Lig. Ulnotriquetrum,

Meniscus homologue,

M. extensor carpi ulnaris,

Lig. collaterale ulnare.

Discus ulnocarpalis/ Discus triangularis (TFC) besteht aus Faserknorpel und entspringt am Radius im Bereich der Incisura ulnaris. Er endet entweder als Insertionstyp I zweizügig an der Ulna im Bereich der Fovea capitis ulnae und am Processus styloideus ulnae oder als Insertionstyp II (selten) breitflächig und einfach am Processus styloideus ulnae. Im peripheren Bereich ist der TFC gut durchblutet, hingegen ist er zentral und radial avaskularisiert. Er steht in Verbindung mit den Ligg. radioulnaria, dem Lig. ulnolunatum und dem Lig. ulnotriquetrum.

Die *Ligg. radioulnaria* sind zwischen distalem Radius, Ulnakopf und TFC fixiert. Sie sind wichtig für die Stabilisierung des distalen Radioulnargelenkes und des ulnokarpalen Komplexes und halten aufgrund ihrer spiralförmigen Struktur beim Wenden der Hand das distale Radioulnargelenk unter Spannung.

Das *Lig. ulnolunatum* und das *Lig. ulnotriquetrum* sind Verstärkungsbänder des TFCCs. Sie sind ebenfalls wichtig für die Stabilität im Radiokarpalgelenk und im distalen Radioulnargelenk.

Der *Meniscus homologue* stellt als bindegewebiges Evolutionsrelikt eine Stabilisierung im Pisotriquetralgelenk dar und verläuft zwischen Ulnakopf und Triquetrum, Hamatum, Basis Metakarpale IV/V sowie Lig collaterale ulnae.

Die Sehne des *M. extensor carpi ulnaris* ist dorsal in den TFCC integriert.

Das *Lig. collaterale ulnare* stellt eine strangförmige Verdickung im Bereich der ulnarseitigen Gelenkkapsel dar [4].

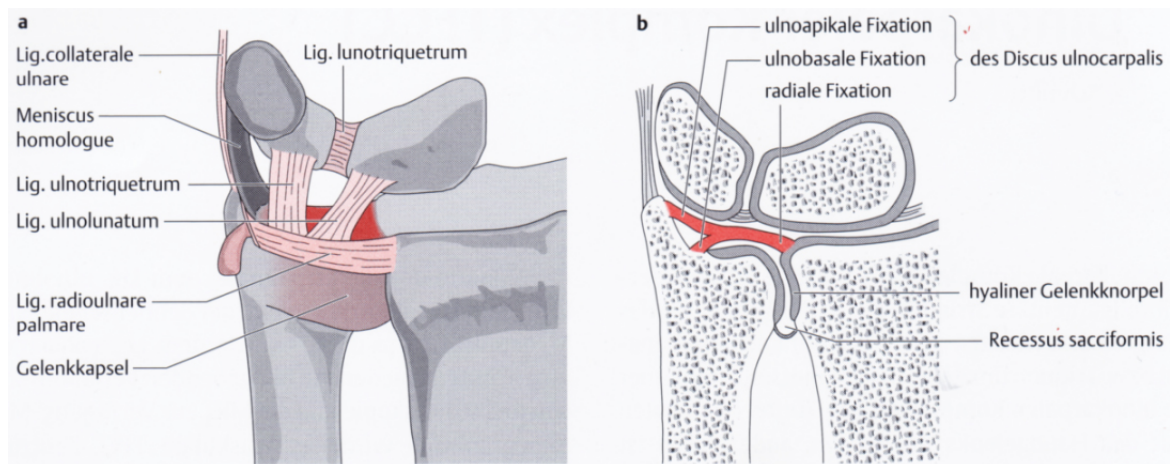


Abbildung 2 a: Blick von palmar auf den rechten TFCC; b: schematische Darstellung des rechten TFCC im Koronarschnitt (vgl.[4],S.114).

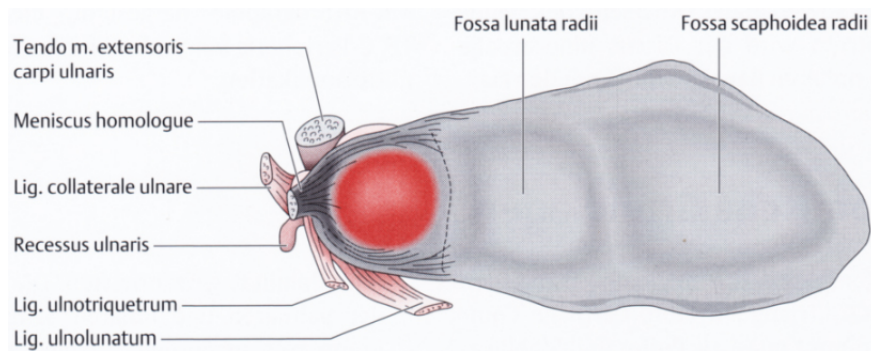


Abbildung 3: Blick von distal auf die radiokarpale Gelenkfläche und den TFCC (vgl.[4],S.114).

1.1.4 Karpale Ligamente

Die karpalen Ligamente sind einerseits wichtig für die Stabilisation im Handgelenk, ermöglichen aber andererseits eine größtmögliche Bewegungsfreiheit. Die meisten Ligamente verlaufen intrakapsulär und verstärken somit nur wenige die Gelenkkapsel. Man kann sie unterteilen in intrinsischen und extrinsischen Bänder [8].

Die *intrinsischen Bänder* stellen die unmittelbare Verbindung zwischen den einzelnen Handwurzelknochen her.

Zu den intrinsischen Bandstrukturen gehören:

- interossäre Reihe:

- Lig. scapholunatum (SL),
- Lig. lunotriquetrum (LTq),
- Lig. Capitohamatum (CH).

- distale Reihe:

- dorsale intercarpale Bänder (DIC)
- palmare intercarpale Bänder:
 - Lig. triquetrohamatocapitatum (TqHC),
 - Lig. scaphocapitatum (SC),
 - Lig. scaphotrapeziotrapezoideum (STT),
 - Lig. triquetrocapitoscapoideum / Lig. arcuatum (TCS).

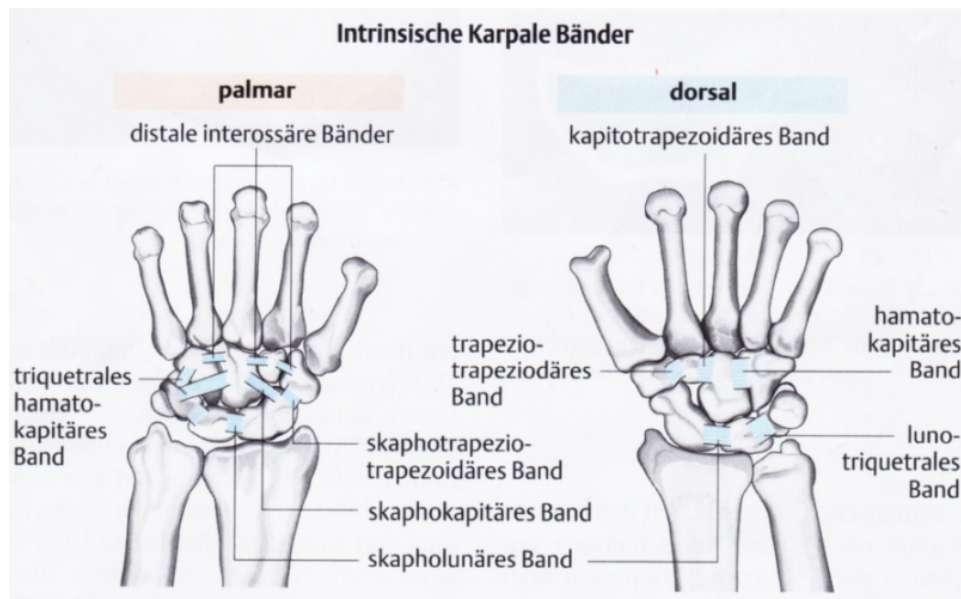


Abbildung 4: Schematische Darstellung der intrinsischen Ligamente des Handgelenkes (vgl.[8],S.7).

Die *extrinsischen Ligamente* dienen der Überbrückung von Radius bzw. Ulna zu den Handwurzelkochen.

Dazu gehören folgende Strukturen:

tiefe/ oberflächliche radiocarpale Bänder:

- Lig. radioscapocapitatum (RSC),
- langes Lig. radiolunatum (LRL),
- kurzes Lig. radiolunatum (SRL),
- Lig. radioscapolunatum (RSL),
- Lig. radiotriquetrum dorsale (RTq).

tiefe/ oberflächliche ulnocarpale Bänder:

- Lig. ulnocapitatum (UC),
- Lig. ulnotriquetrum (UTq),
- Lig. ulnolunatum (UL).

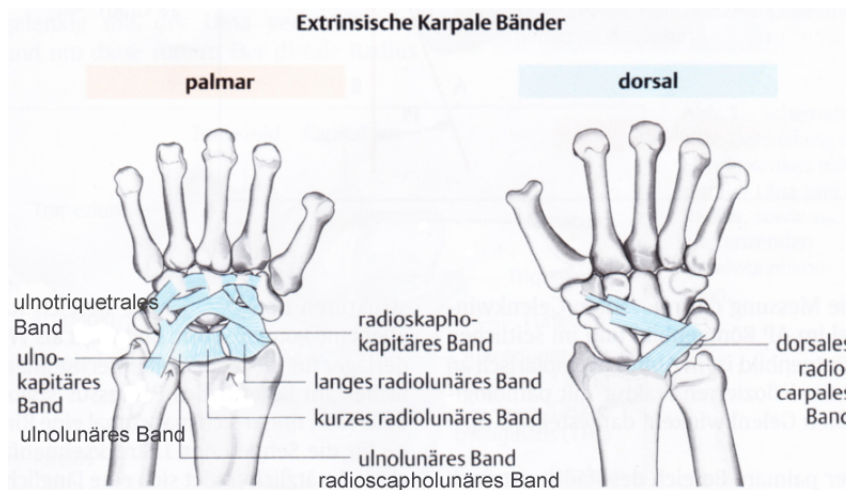


Abbildung 5: Schematische Darstellung der extrinsischen Ligamente des Handgelenkes (vgl.[8],S.6).

1.2 Biomechanik des Handgelenkes

Im Handgelenk sind vier verschiedene Bewegungsrichtungen ausführbar: Radialabduktion, Ulnarabduktion, Dorsalextension und Palmarflexion. Die Zirkumduktion stellt eine Kombinationsbewegung dar. Die Bewegungsamplituden des Handgelenkes werden ausgehend von der Neutralnullmethode in °(Grad) gemessen [5].

Bewegungsrichtung	Bewegungsausmaß
Radialabduktion	15°
Ulnarabduktion	45°
Dorsalextension	85°
Palmarflexion	85°

Tabelle 1: Durchschnittliches Bewegungsausmaß am Handgelenk ausgehend von der Neutralnullmethode.

Das Ausmaß der Handgelenksbeweglichkeit ist abhängig von dem Spannungszustand der Bandstrukturen. So wird die radiale und ulnare Abduktionsfähigkeit bei ausgeprägter Flexion oder Extension aufgrund der angespannten Bandsysteme kleiner oder die Flexion und Extension verringert sich bei Pronation.

1.2.1 Dynamik der Handwurzelknochen

Durch das Bewegen der Hand kommt es zu einem Anspannen und Entspannen der Ligamente, was zu einer funktionell- anatomischen Verschiebung der Handwurzelknochen führt. Man

unterscheidet zwei Knochensäulen des Handgelenkes, anhand derer sich die Bewegungen analysieren lassen.

Dies ist zum Einen die *mediale Knochensäule* bestehend aus dem Radius, Os lunatum und Os capitatum und zum Zweiten die *radiale Knochensäule* mit den Ossa scaphoideum, trapezium und trapezoideum. Die Dynamik der medialen Knochensäule wird von der asymmetrischen Form des Os lunatum bestimmt. Dieses ist radiallyseitig dorsal schmal und palmar bauchig. Das Os lunatum sitzt dem Os capitatum wie ein Hut auf.

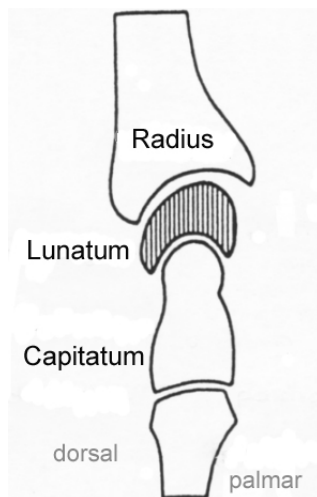


Abbildung 6: Aufbau mediale Säule (vgl.[9],S.149).

In Neutralnullstellung wird der Abstand zwischen Radius und Capitatum von der Dicke des Lunatums bestimmt. Bei Extension verkleinert sich dieser Abstand aufgrund der schmalen Anatomie des Os lunatums dorsal, hingegen nimmt er bei der Palmarflektion zu. Das bedeutet, dass das Os capitatum bei der Extension eine kürzere Wegstrecke zurücklegt, als bei der Palmarflektion; die Bewegung im proximalen Handgelenk also bei der Beugung größer als im distalen Gelenk ist und bei der Streckung die Bewegung der distalen Handwurzel überwiegen.

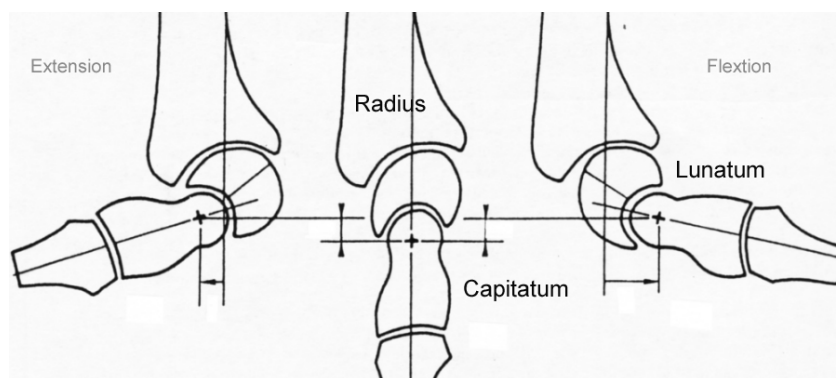


Abbildung 7: med. Säule in Extension (re), Neutralnull (mittig), Flexion (li) (vgl.[9],S.149).

Eine Instabilität des Lunatum durch Schädigung der Bandstrukturen hat somit über das Os capitatum Auswirkung auf die gesamte Handwurzel.

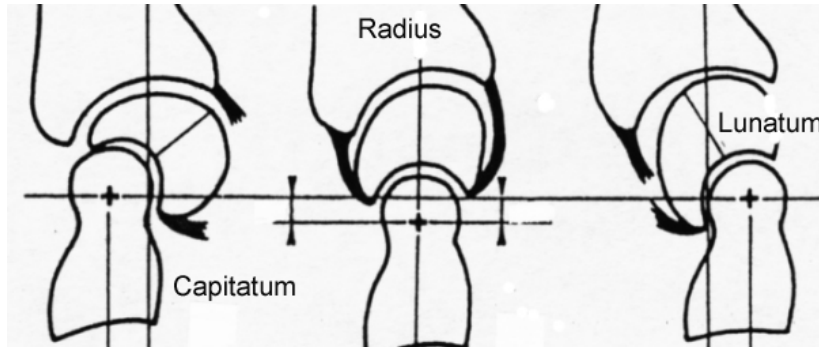


Abbildung 8: Bandinstabilität der med. Säule (vgl.[9],S.149).

Die Dynamik der *radialen Knochensäule* wird hauptsächlich durch die Form und Lage des Os scaphoideum bestimmt. Die proximale, konvexe Seite artikuliert mit dem konkaven Teil des Radius. Distal steht das Scaphoid vor allem mit dem Trapezium und teils auch mit dem Trapezoideum in Verbindung.

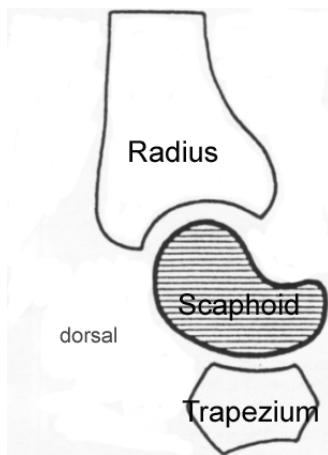


Abbildung 9: Aufbau der radialen Säule (vgl.[9],S.151).

In der Neutralnullstellung ist der Abstand zwischen Radius und Trapezium am größten. Bei der Extension richtet sich das Scaphoid auf und das Trapezium nähert sich dorsal dem Radius an. Während der Flexion legt sich das Os scaphoideum zunehmend an den Radius an und das Trapezium vermindert palmarseitig seine Distanz zum Radius.

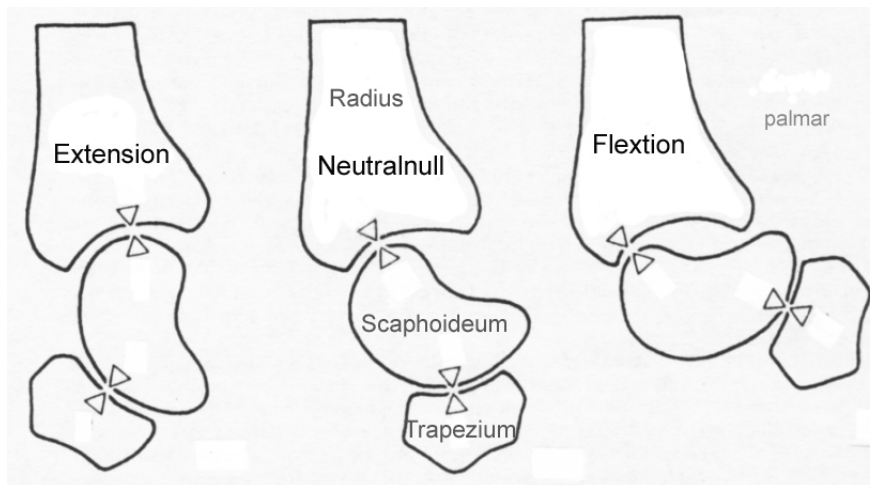


Abbildung 10: radiale Säule in Extension (li), Neutralnull (mittig), Flexion (re.) (vgl.[9],S.151).

Bei der maximalen Streckung erfolgt die Verriegelung der radialen Knochensäule durch Anspannung der palmaren Ligamente früher als die der medialen Säule. D.h., dass die Extensionsbewegung in der Lunatumsäule noch weiterläuft, während sie in der Scapoidensäule bereits abgeschlossen ist. Diese Weiterbewegung ist nur aufgrund der Elastizität des SL-Bandes gegeben. Das SL-Band verhindert die Eigenrotationsbestrebungen seiner beiden Knochen und ermöglicht so ein harmonisches und gleichmäßiges Bewegen bei leichter Extension.

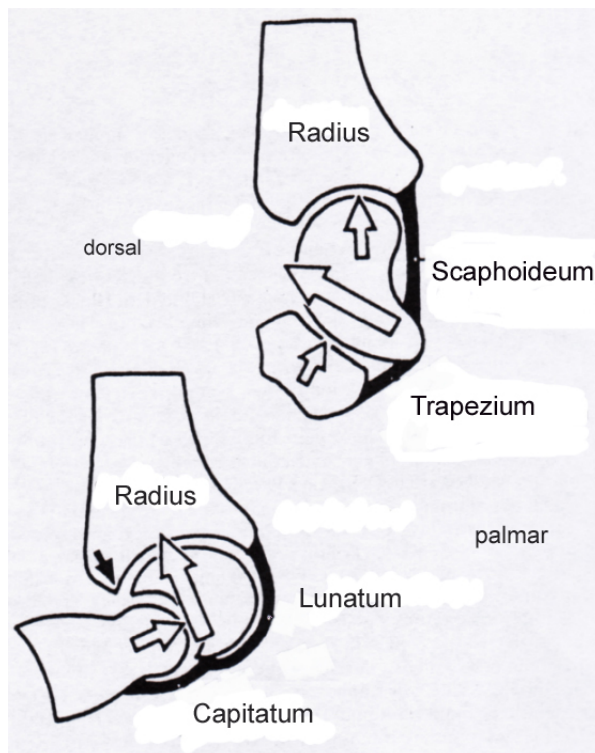


Abbildung 11: Verhalten der radialen (oben) und der medialen Säule (unten) bei Bewegung des Handgelenks in Dorsalextension (vgl.[9],S.151).

Kommt es nun bspw. aufgrund eines Sturzes auf das dorsalextendierte Handgelenk zu einer Hyperextension, besteht die Gefahr der Überdehnung des SL-Bandes mit anschließender (Partial-) Ruptur. Nach dem Riss des SL-Bandes folgen das Os lunatum und das Os scaphoidium aufgrund des asymmetrischen Gelenkradius seiner natürlichen Tendenz. Das Lunatum rotiert nach dorsal und wird dabei durch das sich gleichsinnig drehende Os triquetrum bei intaktem Lig. lunotriquetrale unterstützt. Es entsteht in der mittleren Karpalsäule eine Zickzack- Form mit pathologischen radiolunären und radiokarpalen Winkeln. Dabei zeigt sich die sog. DISI- Konfiguration, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird [9].

1.3 Klassifikation der karpalen Instabilitäten

Zu einer karpalen Instabilität kommt es aufgrund einer unphysiologischen anatomischen Anordnung der einzelnen Elemente zueinander bzw. einem abnormen Zusammenspiels der jeweiligen Artikulationspartner miteinander [10] [11]. Eine allgemein gültige Einteilung der Handinstabilität ist bis heute aufgrund vieler ungeklärter Fragen nicht möglich. Somit existierten verschiedene Klassifikationsversuche, die exemplarisch im Folgenden erläutert werden sollen.

Man unterscheidet die *dynamischen Formen*, die sich bei Bewegungen bzw. Belastung manifestieren, von den *statischen Formen*.

Neuere Klassifikationen teilen die Karpusinstabilität in *dissoziative* Gefügestörungen und in *nichtdissoziative* Fehlstellungen ein. Bei den dissoziativen Störungen kommt es zu einer Verschiebung der einzelnen Elemente einer Handwurzelreihe untereinander (SL- und LT-Läsion). Hingegen findet man bei den nichtdissoziativen Störungen eine En-bloc-Fehlstellung der Handwurzel bzw. einer Handwurzelreihe wie bei der ulnaren Translokation, der radiokarpalen oder der mediokarpalen Instabilität. Diesen beiden Gruppen stellt man die *komplexen* und *axialen* Gefügestörungen gegenüber, die sowohl dissoziative wie auch nichtdissoziative Elemente beinhalten. Zu den komplexen Störungen gehören bspw. transkaphoidale perilunäre Luxationsfrakturen (de Quervain). Axiale Schädigungen finden sich bei ulnar- und/ oder radialseitigen Luxationsverletzungen wie bei der Hamatumlängsfraktur oder der intermetacarpalen traumatischen Spalthand [4].

Zur Erklärung der Karpusinstabilität entwickelten Lichtmann et al. die *Karpusringtheorie* (=Modell des aufgebrochenen Rings). Sie beschreibt die Handwurzelknochen als eine funktionelle Ringeinheit zwischen Os scaphoideum und Os trapezium als radiales Glied und zwischen Os triquetrum und Os hamatum als ulnares Glied. Eine Schädigung dieses Rings auf knöcherner und/oder ligamentärer Seite kann zu einer unphysiologischen Beweglichkeit mit pathologischer Stellung des Os lunatum führen. Die Dorsalkippung des Os lunatum mit einer Vergrößerung des skapholunären Winkels auf $> 60^\circ$ bezeichnet man als „dorsoflexed intercalated segment instability“ (DISI), die Palmarkippung mit einer Winkelverkleinerung auf $< 30^\circ$ als „volar- oder palmarflexed intercalated segment instability“ (VISI oder PISI). Die Bezeichnungen DISI und PISI beschreiben lediglich die Fehlstellung des Lunatums, ohne ein spezifisches Krankheitsbild darzustellen .

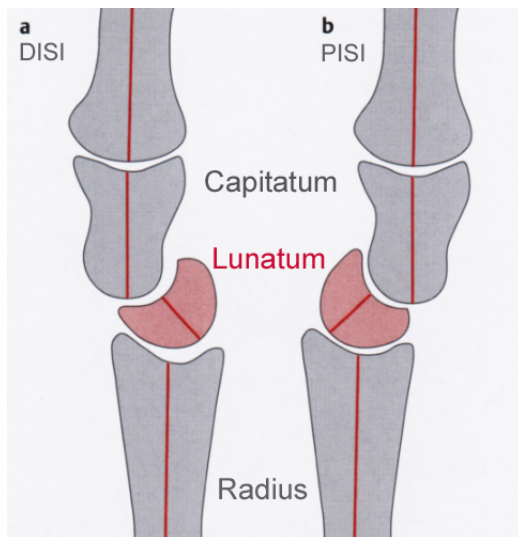


Abbildung 12: Das Os lunatum kann bei karpaler Instabilität nach dorsal (Extention) oder nach palmar (Flektion) ausweichen. a) DISI- Achsenfehlstellung b) PISI- Achsenfehlstellung (vgl.[4],S.263).

2 Arthroskopie der Hand

Die Arthroskopie (= Schlüssellochverfahren) ist eine operativ- invasive Untersuchung zur Beurteilung des Radiokarpal-, Mediokarpal- und des distalen Radioulnargelenkes. Durch diese Untersuchung ist der Operateur in der Lage, Aussagen über den Zustand des Gelenkknorpels, der Bandstrukturen, der Kochen und der Synovia treffen zu können und pathologische Befunde gleichzeitig zu therapieren [12] [13] [14].

2.1 Durchführung

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der steril abgedeckte Arm wird in rechtwinkliger Stellung mit der Hand in eine Fixationsvorrichtung (Arthrex- Handhalter) unter Traktion gelagert. Durch ein am Oberarm befestigtes Gewicht kann zusätzlich eine Erweiterung des Gelenkraumes bewirkt werden. Die Blutsperre erfolgt mit 200- 300mmHg. Andere Lagerungsformen, wie ein horizontaler Zug über die Tischkante oder die Verwendungen eines speziellen Tischextension sind möglich.



Abbildung 13: Handgelenksarthroskopie. Die Hand wird in einer Extentionsvorrichtung fixiert (vgl.[15]).

Für die Handgelenksarthroskopie werden üblicherweise Optiken mit Schaftdurchmessern zwischen 1,7 bis 2,7 mm und einer Schräge von 30° an der Instrumentenspitze verwendet. Die

Hohlraumkanüle für die Einführung hat einen Außendurchmesser von max. 3,5 mm. Es findet sich zwischen dem inneren und äußeren Schaft des Instrumentes ein Raum, durch den man dem Gelenk Flüssigkeit oder Gas zuführen kann. Für die diagnostische Arthroskopie empfiehlt sich CO₂ als Medium aufgrund seines intensiven Kontrastes und der somit verbundenen verbesserten Bildqualität. Hingegen ist für die Therapie das Spülen des Gelenkes mit Flüssigkeit wie bspw. Ringerlösung nötig [4] [16] [17].

2.2 Zugang

Die Zugangsmöglichkeiten bei der Handgelenksarthroskopie liegen auf der Streckseite zwischen den Strecksehnenfächern.

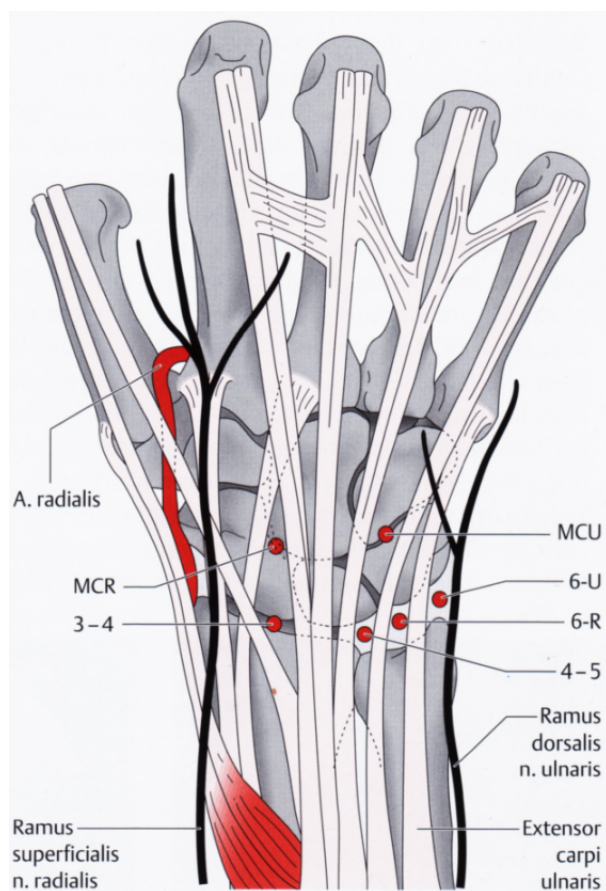


Abbildung 14: Zugangswege streckseitig für die Arthroskopie (vgl[4]S.29).

In der Regel wird die diagnostische Optik zwischen dem 3. und 4. Strecksehnenfach eingebracht, während die 4-5 Pforte (6U-6R) als Zugang für die therapeutischen Instrumente dient. Nach oberflächlicher Stichinzision und stumpfer Erweiterung des Arbeitskanals, wird die korrekte Platzierung des Arthroskopes mit Hilfe einer Hohlraumkanüle bzw. eines Trokars

bestimmt. Das Instrument wird eingeführt und das Gelenk mit Flüssigkeit oder Gas gefüllt [18].

2.2.1 Spiegelung des Radiocarpalgelenk

Für die diagnostische Spiegelung gibt es ein routinemäßiges Schema. Zunächst werden radialseitig die palmaren Ligamente beurteilt. Dazu gehört das Lig. radioscaphulocapitatum, das Lig. radiolunotriquetrum und das Lig. radioscapholunatum (RSL- Band).

Es folgt die Darstellung der Knorpelverhältnisse des Scaphoides und den korrespondierenden Radiusgelenkflächen mit der Fossa scaphoidea radii und der Fossa lunata radii einschließlich des Processus styloideus radii.

Weiter ulnarseitig findet sich eine Mulde zwischen Scaphoid und Lunatum, in der man das Lig. scapholunatum findet. Die Beurteilung des Bandes erfolgt mit Hilfe eines Testhakens.

Nach der Spiegelung des Lunatums wird der Übergang zwischen Os Lunatum und dem Os Triquetrum gesichtet und die Stabilität des Lig. lunotriquetrum mit einem Testhaken geprüft.

Ulnarseitig kommen das Lig. ulnolunatum und das Lig. ulnotriquetrum zur Darstellung, die durch leichtes seitliches Verschieben den Blick auf den Triangularen fibrocartilagen Complex (TFCC) freigeben.

Der wichtigste Bestandteil des Komplexes ist der Discus ulnocarpalis/ triangularis (TFC), der am hyalinen Gelenkknorpel der Radius in Höhe der Icisura ulnaris beginnt und in der Regel zweizügig an der Ulna im Bereich der Fovea capitis ulnae und zum Processus styloideus ulnae inseriert. Eine Beurteilung des Discus triangularis erfolgt mit einem Testhaken, wobei physiologisch ein Trampolineffekt festzustellen ist [4].

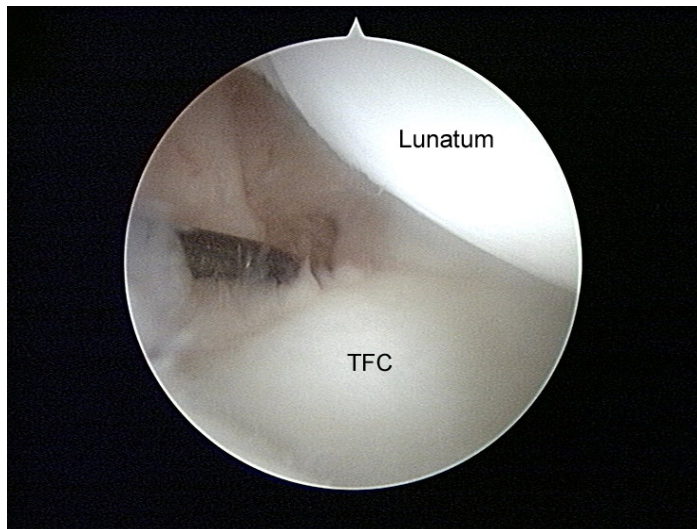


Abbildung 15: TFC Normalbefund; Der Testhaken verschwindet im Rezessus (vgl.[8] [15]).

2.2.2 Spiegelung des distalen Radioulnargelenkes

Bei dieser seltenen Arthroskopie kann die distale Gelenkfläche des Ulnakopfes und die proximale Seite des ulnocarpalen Komplexes beurteilt werden.

2.2.3 Spiegelung des Mediokarpalgelenkes

Das Arthroskop wird radial des Kapitulumkopfes eingeführt. Zur Beurteilung kommt die distale Knorpelfläche des Scaphoids, des Lunatums und des Triquetrums. Des Weiteren werden der scapholunäre und der lunotriquetrale Übergang gesichtet.

Radialseitig kann das STT- Gelenk mit dem Scaphoid, das Trapezium und das Trapezoideum gespiegelt werden. Der Knorpel des Hamatums ist ulnarseitig beurteilbar.

2.3 Indikation

2.3.1 Diagnostik

Zum einen ist mit der diagnostischen Handgelenkarthroskopie das Ausmaß eines pathologischen Befundes beurteilbar. Zum Beispiel der Arthrosegrad nach Radiusfrakturen. Zum anderen dient die Arthroskopie als diagnostische Maßnahme, wenn alternative Untersuchungsmethoden keine Erklärung für die Beschwerden des Patienten liefern konnten [4].

2.3.2 Therapie

Häufig kommt es zur Verletzung im Bereich des TFCC, die arthroskopisch therapiert werden können. Traumatische Einrisse (Klasse 1 nach Palmer) im Bereich der vaskulär- versorgten, stabilisierenden Randzone des Discus Triangularis werden meist mittels Naht versorgt. Eine Verletzung des avakulär- zentralen Bereiches wird durch Débridement mit Faszangenzangen, Elektroresektoren und / oder speziellen Shaversystem behandelt [19].

Bei degenerative Veränderungen des TFC (Klasse 2 nach Palmer) im avakulär Zentrum wird mittels Débridement therapiert. Die Erfolgsquote liegt bei 70%, wobei eine Ulnarverkürzungsosteotomie alternativ bei Therapieversagen angewendet werden kann. Weitere Indikationen sind die Entfernung von freien Gelenkkörpern, Reposition von karpalen Fehlstellungen, Reposition von intraartikulären Radiusfrakturen oder Synovialektomien [4].

2.4 Kontraindikation

Die sympathische Reflexdystrophie, Blutgerinnungsstörungen, massive Gelenksdestruktionen, die eine Arthroskopie technisch unmöglich machen und lokale sowie generalisierte Infekte stellen Kontraindikationen dar [20].

2.5 Komplikationen

Bei unvorsichtiger Durchführung der Arthroskopie kann es zu einer Läsion des R. dorsalis n. radialis und des R. dorsalis n. ulnaris kommen. Bei unvorsichtiger Punktion kann es zu iatrogenen Knorpelschäden kommen. Die Komplikationsrate wird mit 2% angegeben [4].

3 Magnetresonanztomographie– MRT

Die Magnetresonanztomographie beruht auf dem Phänomen der Kernspinnresonanz, das 1946 von F. Bloch, Hansen und Packard an der Stanford Universität und von G.M. Purcell, Pound und Torrey an der Harvard Universität unabhängig voneinander entdeckt wurde. 1952 erhielten Bloch und Purcell für ihre wissenschaftlichen Erkenntnisse den Nobelpreis der Physik [21] [22].

Die erste kernspintomographische Untersuchung eines Menschen wurde 1977 von P. Mansfield angefertigt.

Die MRT ist die Methode der Wahl zur Beurteilung von Weichteilstrukturen, der Synovialis, des Gelenkknorpels, von Ligamenten und des Knochenmarks. Eine Optimierung der Bildqualität kann mit Hilfe einer intravenösen Applikation von Kontrastmittel erfolgen und somit die diagnostische Sicherheit erhöhen. Wichtige Indikationen zur MRT sind Traumata, wie bspw. TFCC- Läsionen, Entzündungen und Tumore.

3.1 Physikalische Grundlagen

3.1.1 Kernspin

Als Kernspin bezeichnet man den Eigendrehimpuls aller Atomkerne mit ungerader Protonen- und/ oder Neutronenzahl, die man sich für die Magnetresonanztomographie zunutze macht. Durch die elektrisch geladenen Atomkerne wird ein magnetisches Moment erzeugt, bei dem der Eigendrehimpuls magnetischen, ungerichtet- rotierenden Kreiseln gleicht.

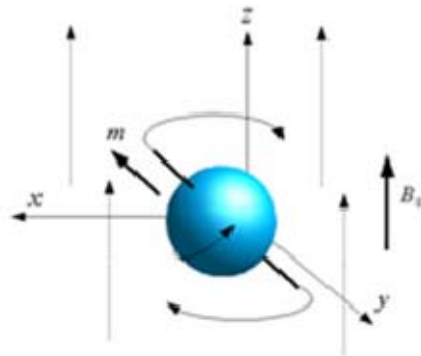


Abbildung 16: Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[23]).

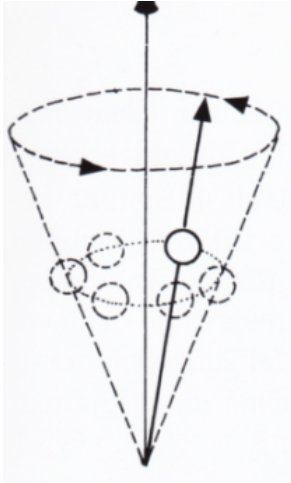


Abbildung 17: Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[24],S.335).

Das *Magnetische Dipolmoment* μ ist eine physikalische Vektorgröße, die die Intensität und Richtung des magnetischen Feldes in der Umgebung des Kerns und somit die Stärke des Dipols beschreibt. Es ist proportional zur *Fläche* A des Magnetfeldes und der *Ladung* i :

$$\mu = i \times A$$

Gleichung 1: Magnetisches Dipolmoment μ

Die magnetischen Eigenschaften einer Materie können eine Magnetfeldänderung bewirken. Der Vorgang wird als *Magnetisierung* M bezeichnet und ist proportional zu der von außen einwirkenden *magnetischen Feldstärke* B und der *Suszeptibilität* X (=Verhalten eines Stoffes in einem Magnetfeld):

$$\mathbf{M} = \mathbf{X} \times \mathbf{B}$$

Gleichung 2: Magnetisierung M

Die Geschwindigkeit der Kreisbewegung und damit Frequenz der Atomkernbewegung ist also abhängig von der Stärke des Magnetfeldes. Je stärker das angelegte Magnetfeld, desto höher ist die Anzahl der parallel ausgerichteten Protonen.

Die im menschlichen Körper am häufigsten vorkommenden Elemente mit dieser Eigenschaft sind Wasserstoff, Stickstoff, Natrium und Phosphor, wobei ausschließlich die Wasserstoffatome zur Bildgebung in der Kernspintomographie beitragen.

3.1.2 Magnetfeld

Ohne ein äußerliches Magnetfeld rotieren die Atomkerne ungerichtet und die Kernspins sind in alle Richtungen verteilt Abbildung 18, Abbildung 19. Durch einen Magneten sind die Atome in der Lage, ihre Eigendrehimpulse parallel oder antiparallel des Magnetfeldes auszurichten.



Abbildung 18: Vereinfachtes Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[24],S.354).

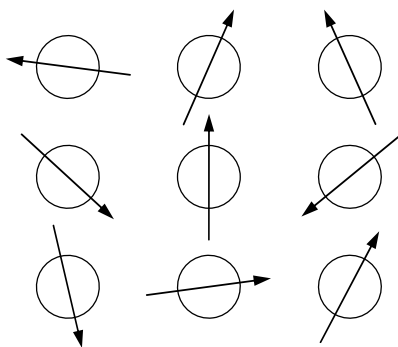


Abbildung 19: Statistisch ungerichtete Verteilung der Kernspins.

In der Regel überwiegen die parallel ausgerichteten Wasserstoffkerne gegenüber den antiparallelen, wobei sich zwei gegensinnig gerichtete Kerne ausgleichen und nicht zur Bildgebung beitragen. Das führt dazu, dass nur die überschüssig parallel ausgerichteten Wasserstoffkerne im Körper eine kernmagnetische Resonanzeigenschaft besitzen und ein Signal aussenden. Mit Hilfe dieses Protonensignals kann ein Bild errechnet werden. Eine Signalsteigerung ist durch eine Erhöhung der magnetischen Feldstärke zu erreichen.

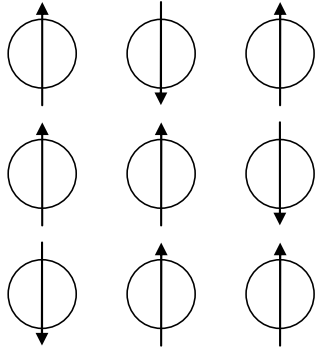


Abbildung 20: Ausrichtung der Atomkerne im Magnetfeld.

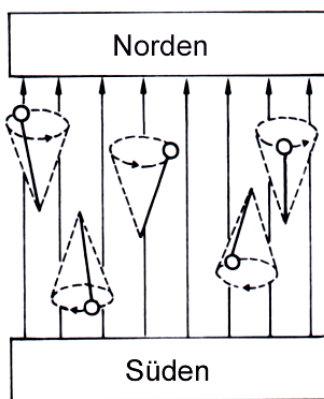


Abbildung 21: Ausrichten der Kernspins nach Anlegen eines Magnetfeldes (vgl.[24],S.355).

3.1.3 Kernspin- Resonanz

Durch Einstrahlung von Hochfrequenzwellen auf den Atomkern kann eine Änderung der Ausrichtung des Kernspins erreicht werden. Diese Interaktion bezeichnet man als Kernspin-Resonanz.

Die Richtungsänderung ist abhängig von dem einwirkenden Impuls. So führt ein 90° -Impuls zum Umklappen der Eigendrehung um den rechten Winkel und ein 180° -Impuls bewirkt eine Umkehr eines parallelen bzw. antiparallelen Spins in Gegenrichtung (Spin-Inversion).

3.1.4 Kernrelaxation T1, T2

Beendet man die kurze Einwirkung des Hochfrequenzimpulses, klappen die Kernspins der Atome in ihre Ursprungslage zurück. Dabei entsteht ein elektromagnetisches Induktionsfeld, das mit Hilfe einer Empfängerspule messbar ist. Die Geschwindigkeit der Rückbewegung hat eine definierte Zeitkonstante.

Die T1-Relaxationszeit ist definiert als die Zeit, die die Kerne benötigen, um aus dem angeregten Zustand mit einem 90° Impuls auf 63% in den Ursprungsspin nach Abschalten des Hochfrequenzimpulses zurückzukehren. Sie wird auch Spin- Gitter- Relaxationsvorgang oder longitudinale Relaxationsvorgang bezeichnet.

Die T2-Relaxationszeit wird Spin-Spin-Relaxation oder transversale Relaxation genannt. Dabei handelt es sich um die Zeit, die nötig ist, bis 63% der Quermagnetisierung vom Ursprungswert nach Wegfall eines 180° Hochfrequenzimpulses erreicht werden.

3.1.5 Kernrelaxation im biologischen Gewebe

Für das MRT sind nur die Elemente von Bedeutung, die im Kern unpaare Nukleonen aufweisen: Wasserstoff (^1H), Kohlenstoff (^{13}C), Fluor (^{19}F), Natrium (^{23}Na) und Phosphor (^{31}P). Aufgrund der Häufigkeit ihres Vorkommens in einer Vielzahl von Verbindungen werden Wasserstoffatome zur bildhaften Darstellung der verschiedenen Organsysteme des Körpers genutzt. Abhängig von dem molekularen Aufbau, der Dichte, der molekularen Beweglichkeit, der Temperatur und der Viskosität eines Gewebes, verhalten sich die Kernrelaxationszeiten als nicht veränderliche Naturkonstanten charakteristisch und bilden sich in der T1- bzw. T2 gewichteten Bildgebung mit spezifischer Helligkeit aus.

So nimmt mit zunehmender Viskosität die T2- Relaxationszeit ab, hingegen wird die T1-Relaxationszeit bei zunehmender Viskosität länger. Ebenso werden T1 und T2 in empfindlicher Weise von der Proteinkonzentration einer Lösung beeinflusst, wobei größere Moleküle stärker relaxationszeitverkürzend wirken als kleinere Moleküle. Die Signalintensitäten von T1 und T2 gewichteten Aufnahmen verschiedener Gewebe sind in Tabelle 3 dargestellt.

T1- und T2-Relaxationszeiten charakterisieren die meisten in der MR-Bildgebung erfassten Gewebe. Sie bestimmen die Geschwindigkeit mit der ein Signal abklingt und dadurch die Intensität der Pixel im Bild und den Bildkontrast. So erscheinen Substanzen mit kurzer T1-Relaxationszeit sind in der T1-Gewichtung hell, wie zum Beispiel Fett. Mit zunehmenden T2- Wichtung wird Wasser signalintensiver und die Helligkeit des Fettsignals schwächt sich ab.

Alle MR- Sequenzen sind mehr oder weniger T1- bzw. T2-gewichtet, ein reiner T1- oder T2-Kontrast lässt sich nicht darstellen. Eine T1-gewichtete Aufnahme zeichnet sich durch eine höhere Spezifität aus, während T2-gewichtete Bilder eine hohe Sensitivität aufweisen. Die

Aufnahmezeiten sind bei T1-Wichtungen um den Faktor drei bis vier kürzer als bei T2-betonten Bildern.

Gewebeart	Wasser (Massenanteil %)
Graue Gehirnmasse	8
Weißer Gehirnmasse	72
Niere	81
Herz	80
Lunge, Milz, Muskel	79
Haut	79
Leber	17
Knochen	13

Tabelle 2 Wassergehalt des menschlichen Gewebes.

Gewebe	T1-gewichtet	T2-gewichtet
Kortikalis/Kompakta	0	0
Fett (Mark)	3	2-3
Hyaliner Knorpel	2	2
Bänder, Sehnen	0	0
Muskel	2	2
(Gelenks-) Flüssigkeit	1	3

Tabelle 3: Signalintensität in verschiedenen Geweben bei T1- und T2- gewichteten Aufnahmen 0: kein Signal; 1: schwache Signalintensität (SI); 2: mittelstarke SI; 3: starke SI.

3.1.6 Bildintensität und Signal-Rausch-Verhältnis

Das *Signal-Rausch-Verhältnis* ist definiert als die Bildintensität des Gewebes dividiert durch die Standardabweichung des Rauschlevels in homogenen Bereichen des Bildes.

Dieses Verhältnis eines beliebigen Gewebes wird durch vier Faktoren bestimmt, nämlich der T1-Relaxationszeit, der T2-Relaxationszeit, der Protonendichte, d.h. die Anzahl der Protonen in einem Voxel (Gewebevolumen) und der Protonenbewegung (Fluss in Gefäßen). Außerdem beeinflussen die magnetischen Feldstärke, die Empfängerspule, die Schichtdicke, das field of view (FOV), die Matrix und die Anzahl der Mittelung der Signale (number of signal averages: NSA) das Signal- Rausch- Verhältnis.

Zur Optimierung des Signal-Rausch-Verhältnisses mittelt man die Signale mehrerer Messungen (Akquisitionen, averages), so dass sich statistisch zufällig verteilte Rauschanteile

gegenseitig aufheben. Eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses kann außerdem durch eine einfache Vergrößerung des Messvolumens unter Verwendung von Oberflächenspulen und einer höheren Magnetfeldstärke unter Inkaufnahme einer Verschlechterung der räumlichen Auflösung erreicht werden.

Die *Oberflächenspulen (Empfängerspule)* dienen ausschließlich zum Empfang der Resonanzsignale, die durch die *Körperspule (Body coil)* angeregt werden.

Der *Signal-Sensitivitäts-Faktor* wird von der Spulengeometrie und der Spulenposition beeinflusst. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die höchste Sensitivität erreicht wird, wenn die Empfängerspule so nah wie physiologisch möglich an dem zu untersuchenden Gewebe positioniert wird.

3.2 MR- Bildgebungssequenzen

Es existieren viele unterschiedliche Messsequenzen für die MRT, die je nach Fragestellung und der zu untersuchenden Körperregion zum Einsatz kommen.

3.2.1 Spin-Echo Sequenz (SE)

Als eine wichtige Einstellung für die MR- Bildgebung gilt die *Spin-Echo-Sequenz (SE-Sequenz)*. Sie wird von einem 90° Impuls erzeugt, dem nach einer Verzögerungszeit t ein weiterer Impuls mit 180° folgt.

Durch den 90° Impuls kommt es im Magnetfeld zu Richtungsänderung mit Dephasierung der Spins durch Umklappen in der xy - Ebene. Die Neigung zur schnellen Dephasierung ist bedingt durch lokale Magnetfeldinhomogenität unabhängig von dem zu untersuchenden Gewebe.

Bei dem darauffolgenden zweiten Impuls werden die Atomkerne um 180° um die y -Achse transversal rotiert, wodurch die Kerne allerdings in umgekehrter Reihenfolge erneut in der transversalen Ebene zum Liegen kommen. Da sich alle Atomkerne in einer konstanten, wenn auch unterschiedlichen Geschwindigkeit bewegen, kommen sie auf diese Weise zu einem Zeitpunkt $2t$ in Phase, deren Höhepunkt man als Rephasierung bezeichnet. Dem Höhepunkt folgt ein erneuter Phasenverlust. Aus der Wechselwirkung zwischen Phasenhöhepunkt und Phasenverlust resultiert ein messbares Echo, aus dem das Bild errechnet wird.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die konventionelle Spin- Echo- Technik die Standardmethode für die T1-betonten Aufnahmen ist.

3.2.2 Fast- Spin- Echo (FSE) oder Turbo- Spin- Echo (TSE)

Fast- oder Turbo- Spin- Echo- Sequenz ist eine Modifikation der Spin- Echo- Sequenz, bei der nach einem 90° Impuls multiple 180° Impulse folgen und jedes Spin- Echo anders phasencodiert ist. Dies führt bei gleicher Bildqualität und nahezu identischem Kontrast zu einer zu einer Beschleunigung der T2 gewichteten Aufnahme um den Zeitfaktor drei, weshalb die FSE-/ TSE- Sequenzen die konventionelle SE- Technik abgelöst haben. Für die T1 gewichteten Aufnahmen ist das Verfahren aufgrund der ohnehin kürzeren Untersuchungszeit ohne Bedeutung.

3.2.3 Inversion- Recovery- Technik (IR)

IR- Sequenzen ist weitgehend identisch mit der SE- Sequenz, wobei vor jedem TR-Zyklus ein initialer 180° Inversionspuls vorgeschaltet wird. Diese Technik erzeugt sowohl bei T1- wie auch bei T2- gewichtete Aufnahmen eine sehr gute Kontrastierung, hat jedoch aber eine sehr lange Meßdauer, die z.T. über der des konventionellen SE- Verfahrens liegt. Von Bedeutung ist daher lediglich die *STIR- Sequenz* (Short-IT-Inversion Recovery). Diese Technik ermöglicht eine Abbildung von fettgesättigten Aufnahmen. Hierbei wird die Inversionszeit so gewählt wird, dass die longitudinale Magnetisierung des Fettes zum Zeitpunkt des 90° Anregungspuls gleich Null, also gesättigt ist (Fettsättigung). An der Hand wird zeitweise die T2- betonte STIR- Sequenz als Alternative bei nicht zufrieden stellenden Aufnahmen herangezogen, um vermehrten Flüssigkeitsgehalt nachzuweisen.

3.2.4 Gradienten-Echo- Technik (GRE)

Bei den GRE- Sequenzen wird der Anregungsimpuls (α - Flipwinkel) deutlich niedriger als 90° gewählt, der Refokussierungsimpuls vom 180° wie bei der SE- Technik entfällt. Das Echo entsteht also nicht durch die Schaltung eines 180° - Pulses, sondern durch Inversion eines Gradienten. Der Bildkontrast kann durch die Wahl von TE, TR und dem Anregungswinkel α beeinflusst werden. Das GRE- Verfahren hat eine hohe Sensitivität bei der Darstellung von Metallen und Verkalkungen und wird bei der Knorpeldarstellung angewendet.

Die GRE- Sequenzen können vielseitig variiert werden, und somit unterscheidet man folgende Sequenztypen: *FLASH*, *T1- FFE*, *Spoiled GRASS*; *MEDIC* und *FISP-Sequenz* (Synonym: *FFE*, *GRASS*). Hier soll lediglich kurz auf den Frequenztyp eingehen, der für die Darstellung von Handgelenksstrukturen verwendet wird. Die T2-betonten FLASH- Sequenzen eignen sich besonders in axialer Aufnahme zur Differenzierung von Sehnen und

den zugehörigen Sehnenscheiden und in koronarer Ebene zur Abbildung von intrinsischen Ligamenten sowie Bestandteilen des TFCC.

3.2.5 TR (time to repeat) und TE (time to echo)

Die *Echozeit TE* (time to echo), ist die Zeit zwischen dem ersten Anregungsimpuls bis zum Auftreten des Echos.

Das Intervall zwischen dem ersten und den nachfolgenden Anregungspuls bezeichnet man als *Wiederholungszeit TR* (time to repeat).

Durch die Veränderung der TR und TE kann der Bildkontrast in Abhängigkeit von der Protonendichte des Gewebes beeinflusst werden.

Durch die Länge der *TR* (time to repeat) wird der Bildkontrast der T1-gewichteten Bilder beeinflusst. Eine kurze TR beträgt 500 ms oder weniger und verbessert den Bildkontrast, eine längere TR liegt zwischen 1500 und 5000 ms und eliminiert den T1-Bildkontrast.

T2-gewichtete Aufnahmen werden durch die Länge der *TE* (time to echo) beeinflusst. Eine kurze TE mit 35 ms unterbetont den T2-Bildkontrast, während lange TE zwischen 70- 135 ms diesen überbetonen.

Ein stark T1-gewichtetes Bild kann nicht durch den Ausschluss des T2-Bildkontrastes oder der Protonendichte entstehen, allerdings ist es möglich die Bildsequenzen so zu justieren, dass der Bildkontrast primär auf einem T1-Beitrag beruht: Hierfür sind eine kurze TR und eine kurze TE nötig. Entsprechend entstehen durch eine lange TR und eine lange TE T2 betonten Bilder.

Eine lange TR und kurze TE erzeugt ein gemischtes Bild, das durch eine so genannte protonengewichtete Sequenz erzeugt wird. Diese Bilder zeichnen sich durch ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis aus, haben aber einen niedrigeren Bildkontrast als rein T1- oder T2-gewichtete Bilder.

Da die meisten pathologischen Veränderungen mit einer Verlängerung der T2-Zeiten einhergehen, kommt der Abbildung der transversalen Relaxationszeiten ein hoher diagnostischer Stellenwert zu [24] [25] [26].

3.3 Technischer Aufbau

3.3.1 Magnet

Der Magnet ist zentraler Bestandteil des Magnetresonanztomographen.

3.3.2 Shimsystem

Ein Shimsystem ist nötig, um umweltbedingte Strahlen auszugleichen und somit die Magnetfeldhomogenität zu gewährleisten.

3.3.3 Gradientenspule

Um im Magnetfeld eine Ortslokalisierung vornehmen zu können, müssen Magnetspulen in den drei Raumebenen (X, Y, Z) angebracht werden, die für einen geringen, ortsabhängigen Unterschied im Magnetfeld sorgen [24]. Über die dabei verwendeten Gradientenspulen werden innerhalb von Millisekunden (ms) starke Magnetfelder auf- und abgebaut. Die entstehenden elektromagnetischen Kräfte wirken dabei so stark an den Spulenverankerungen, dass laute klopfende bzw. hämmernde Geräusche auftreten. Diese Geräusche sind je nach gefahrener Sequenz unterschiedlich. Das Gerät arbeitet ähnlich wie ein Lautsprecher: ein starker Magnet ist von wechselstrom- durchflossenen Spulen umgeben. Den Patienten wird deshalb bei der Untersuchung meistens ein Gehörschutz aufgesetzt (Magnetostriktion).

Vom Prozeßrechner sind die Spulen für einzelne Meßfrequenzen einschaltbar. Der Leistungsbedarf des Gradientensystems ist vornehmlich von der Magnetfeldstärke ab.

3.3.4 Hochfrequenzspule

Im Magneten sind Sende- und Empfangsantennen nötig, um ein Signal zu erzeugen bzw. zu empfangen. Sende- und Empfängerfunktion werden häufig von derselben Spule übernommen. Die Senderspule ist in der Lage Anregungsimpuls abzugeben, hingegen nimmt die Empfängerspule das emittierte ermittelte Signal auf. Diese Signale sind sehr schwach und müssen verstärkt werden. Mit Hilfe von empfangenden Oberflächenspulen, die auf dem Körper angebracht werden, ist es möglich eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnis zu erreichen.

3.3.5 Rechner

Der Rechner ist nötig, um alle zur Bilddarstellung nötigen Prozesse zu koordinieren, die Bilder zu konstruieren und zu bearbeiten.

3.3.6 Erzeugung von MR- Bildern

MR- Bilder können punkt-, linien- oder schichtweise erzeugt und mit Hilfe des Rechners graphisch dargestellt werden. In der Regel werden als bildgebende Aufnahmeverfahren die Schicht- oder die Volumentechniken verwendet. Bei der Schichttechnik kommt es zu einer zweidimensionalen Darstellung, hingegen wird bei der Volumentechnik ein dreidimensionales Bild erzeugt. Die Herstellung eines Bildes besteht aus folgenden Schritten:

- Lokalisierung der interessierenden Spins,
- Anregung ausgewählter Spins,
- Räumliche Kodierung ihres Signals und
- Signalempfang und –rekonstruktion [10].

3.3.7 Kontrastmittel

Das Kontrastmittel wird vor oder während der Untersuchung mittels Verweilkanüle intravenös injiziert. Die Minimaldosis für die Kontrastierung liegt bei 0,1mmol/kg Körpergewicht. Es führt im Gewebe zu einer Veränderung der magnetischen Eigenschaften der Wasserstoffprotonen.

Man unterscheidet zwischen positiven und negativen Kontrastmitteln.

Bei den *positiven Kontrastmitteln* kommt es an der Anreicherungsstelle zu einer Signalverstärkung in den T1 gewichteten Sequenzen.

Die am häufigsten routinemäßig verwendeten Substanzen basieren auf Gadolinium, das aufgrund seiner 7 unpaaren Elektronen in der Elektronenhülle gute paramagnetische Eigenschaften aufweist. Wichtige Kontrastmittel sind zum Beispiel Magnevist, Prohance. Multihance oder Gadovist.

Ein zweites positives Kontrastmittel ist Mangan, das aber in der muskuloskelettalen Diagnostik keine Bedeutung hat.

Negative Kontrastmittel basieren auf Eisenoxid und führen in den T2-gewichteten Aufnahmen zu einer Signalabschwächung. Eisenoxide finden bevorzugt in der Leberdiagnostik Anwendung.

3.3.8 Bildartefakte

Im Vergleich zur Computertomographie treten Artefakte häufiger auf und stören die Bildqualität meist stärker. Man unterscheidet verschiedene Artefakttypen:

- Bewegungs- und Flussartefakte,
- Metallartefakte,
- Einfaltung,
- Auslöschungs- und Verzerrungsartefakte (lokale Magnetfeldinhomogenitäten) sog. Suszeptibilitätsartefakte (werden auch ausgenutzt um z.B. Blutungen im Gehirn zu diagnostizieren),
- Kantenartefakte im Bereich von Gewebeübergängen mit stark unterschiedlichem Signal,
- Geräteartefakte.

3.3.9 Kontraindikationen

- Herzschrittmacher (lt. Literatur nur ältere Modelle, die vor 2002 implantiert wurden.),
- Herzklappen älteren Baujahrs,
- intrakranielle Gefäßclips,
- röntgendichte Metallsplinter,
- ferromagnetische Implantate,
- temporärer Cava-Filter,
- Schwangerschaft (erstes Trimenon),
- Kochleaimplantat,
- Insulinpumpen,
- Granatsplintern.

Wichtig ist weiterhin, dass keine ferromagnetische Gegenstände in die Nähe des Magneten gebracht werden dürfen. Durch die starke Anziehung des Magneten können diese den Patienten durch den Geschoßeffekt lebensbedrohlich verletzen [27].

3.4 MRT der Hand

Das MRT ist wichtig für die Beurteilung von Handgelenksverletzungen, Entzündungen, Arthrosen und Tumore. Mit Ausnahme der Erfassung von knöchernen Defekten, die mittels CT eruiert werden, kann man mit der MRT vor allem degenerative und traumatisch bedingte Läsionen im Bereich der Bandstrukturen mit hoher diagnostischer Sicherheit darstellen.

3.4.1 Lagerung der Hand

Die Aufnahme ist sowohl in Bauchlage wie in Rückenlage möglich (Abbildung 22). Bei der Untersuchung in Bauchlage (Incenter-Technik) sind einige wichtige Aspekte zu beachten, weil es bei der Lagerung zu einer Pronationsstellung im Handgelenk kommt: So steht der Radius gegenüber dem Ulnarkopf in diskreter palmarer Subluxation (Pseudoluxation) und es lässt sich eine Dorsalrotation des Os lunatum im Sinne einer Pseudo- DISI- Stellung diagnostizieren. Diese Befunde sind bis zu einem gewissen Ausprägungsgrad als physiologisch zu werten.



Abbildung 22: mögliche Lagerung des Handgelenkes beim MRT; li: Lagerung in Bauchlage, Hand in Pronation; re: Lagerung in Rückenlage, Hand in Neutralnullstellung (vgl.[4]],S.82).

3.4.2 Standard- MRT des Handgelenkes

An einem Beispiel soll eine mögliche Standard- MRT Untersuchung des Handgelenkes darstellen werden:

- T2- gewichte transversale Aufnahme zur Darstellung der anatomischen Übersicht,

- STIR- Sequenz in coronarer Schichtung, um Flüssigkeitsansammlungen darzustellen,
- GRE- Sequenz z.B. MEDIC oder Balanced FFE (herstellerabhängig) vor allem zur Abbildung von Knorpel,
- T1- gewichtete sagitale Aufnahme (Spinecho) zu Darstellung der Knochen und der Anatomie des Handgelenkes,
- T1- gewichtete fat sat Sequenz in transversaler und coronarer Ebene nach Kontrastmittelgabe. Durch die Fettausschaltung werden bspw. Entzündungen oder TFC- Schädigungen sichtbar.

3.4.3 Physiologische Handgelenksanatomie im MRT

Im Folgenden wird auf die für die Studie wichtigen Handstrukturen eingegangen.

In allen Sequenzen kommt die *ossifizierte Knochensubstanz* signalfrei zur Abbildung.

Für die Darstellung des *hyalinen Gelenknorpels* ist das MRT Methode der Wahl. Bei fehlendem Gelenkerguss stellt sich die Knorpelschicht zweier Gelenkpartner als hypodense, feine Linie dar. Der Knorpel der Radio- und Mediocarpalgelenke ist sowohl in der sagittalen als auch in der coronalen Ebene abbildbar. Der Knorpel des distalen Radioulnagelenkes ist bevorzugt in der axialen Ebene zu sehen.

Die bevorzugte Abbildungsebene für die *Ligamente* ist die coronare Schicht [28].

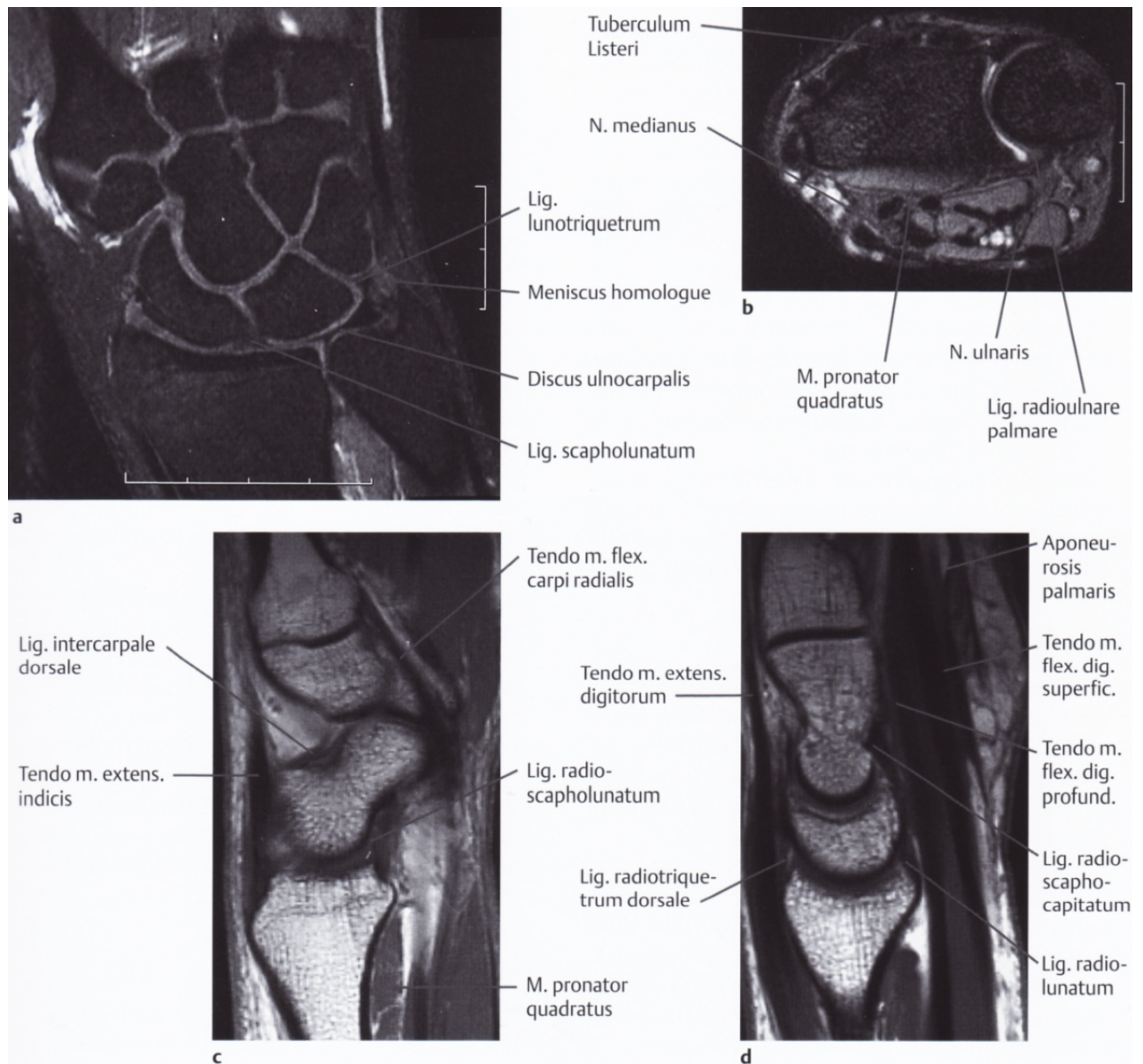


Abbildung 23: MRT Normalbefund des Handgelenks und der Handwurzeln (vgl.[4],S.89). a) coronare PD- gewichtete FSE- Sequenz mit Fettsättigung: gut zu sehen sind die intrinsischen Ligamente, der TFCC, und der hyaline Gelenkknorpel b) axiale T2- gewichtete GRE- Sequenz im distalen Radioulnargelenk: man erkennt den hyalinen Knorpel mit einem kleine signalintenseren Gelenkerguss c) sagittale T1- gewichtete SE- Sequenz in Höhe Os scaphoid mit Os trapezoideum d) sagittale T1- gewichtete SE- Sequenz auf Höhe des Os lunatum.

4 Computertomographie– CT



Abbildung 24: Spiral- CT (vgl.[29])

Die Computertomografie basiert auf einem mathematischen Verfahren, das 1917 von dem österreichischen Mathematiker Johann Radon entwickelt wurde. Damals ein rein mathematischer Erkenntnisgewinn fern jeglicher Anwendungsmöglichkeiten, ist sie heute ein röntgenologisch bildgebendes Verfahren der schichtweisen Darstellung des Körpers.

Nach Vorarbeiten des Physikers Allan M. Cormack in den 1960er Jahren realisierte der Elektrotechniker Godfrey Hounsfield mehrere Prototypen. Die erste CT-Aufnahme wurde 1971 an einem Menschen vorgenommen. Beide erhielten für ihre Arbeiten 1979 gemeinsam den Nobelpreis für Medizin.

4.1 Prinzip der Computertomographie

Beim Scanvorgang rotiert die Röntgenröhre gleichsinnig mit dem gegenüberliegenden Bildaufnahmesystem (Detektoren) um den Patienten. Bei einer Rotation von 360° wird das zu untersuchende Areal aus den unterschiedlichen Positionen durchstrahlt und von mehreren Detektoren gleichzeitig aufgezeichnet. Durch die Detektoren entsteht ein elektrischer Signalstrom, der über einen Vorverstärker dem Analogdigitalwandler zugeführt wird [30].

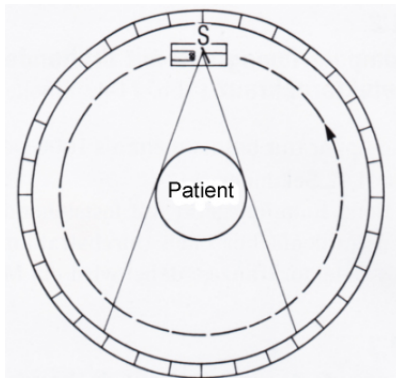


Abbildung 25: Schema von Aufnahmesystem mit drehender Röntgenstrahlung und feststehendem Detektorkranz; S= Röntgenstrahlung (vgl.[24],S.326).

Die Daten werden mittels eines mathematischen Verfahrens im Computer zu einem Volumendatensatz zusammengefügt, aus dem anschließend Schnittbilder und 3D-Ansichten in beliebigen Ebenen rekonstruiert werden können.

4.2 Aufnahmetechniken

4.2.1 Konventionelle CT- Aufnahme

Bei der konventionellen CT- Untersuchung werden Serien einzelner Scans angefertigt. Zwischen den Scans wird der Patient auf dem Untersuchungstisch durch das Gerät gefahren. Mit den dabei angefertigten Schnittbildaufnahmen kann man im Rechner eine Übersichtsaufnahme rekonstruieren.

4.2.2 Spiral- Volumen- CT

Beim Spiral- CT erfolgt die Rotation unter ständigem Tischvorschub, sodass eine Körperregion lückenlos erfasst werden kann. Während einer 360° Rotation wird so die zu untersuchende Schichtebene aus verschiedenen Röhrenpositionen bis zu 1000mal durchstrahlt. Aus Sicht des Patienten entsteht um ihn ein spiralenförmiger Datensatz, aus dem Bilder für jede beliebige Patientenebene innerhalb des gemessenen Körpervolumens errechnet werden können. So ist eine hochauflösende Darstellung von Knochenstrukturen sowohl in den drei Raumebenen sowie in dreidimensionaler Rekonstruktion möglich.

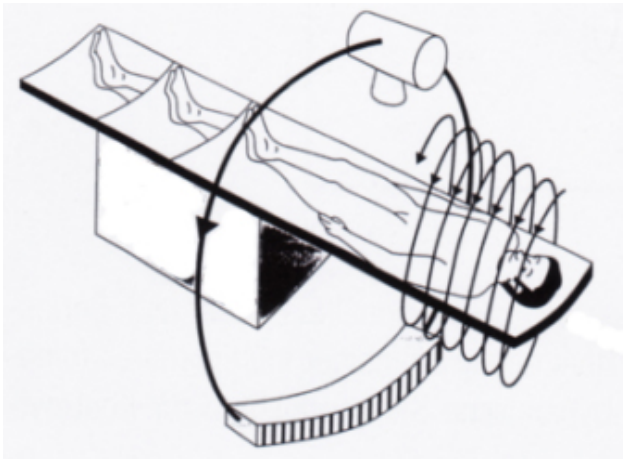


Abbildung 26: Schematische Darstellung des Spiral-CTs (vgl.[24],S.330).

4.2.3 Dynamische Serienschichtaufnahmen

Bei dieser Untersuchung wird mit Hilfe von Kontrastmittel der Kontrastmittelfluss im Körper beurteilt. Hierbei erfolgen die Scans in zeitlich variablen Abständen ohne Verschiebung des Tisches in einer Körperebene.

4.2.4 Schnelle Serienschichten mit Schleifenring- CT

Bei den schnellen Serienschichtaufnahmen wird der Tisch nach jeder Aufnahme um den gewünschten Betrag verschoben. Mit Hilfe der Datensumme ist es möglich ein 3D- Bild zu erstellen. Vorteil dieser Methode ist die schnelle Untersuchungsmöglichkeit bei schwerkranken Patienten.

4.3 Technischer Aufbau

4.3.1 Gantry mit Hochfrequenzgenerator

In der Gantry (= Faßöffnung) ist das Subsystem für die CT Untersuchung. Zur ihr gehören die Röntgenröhre, die Detektoren, das Kühlsystem und der Hochspannungsgenerator. Die Gantry ist um 25% kippbar, was Schrägaufnahmen möglich macht. Das Aufnahmesystem (Röhre und Detektorleiste) umfährt bei der Aufnahme den Körper (360°) mit kontinuierlicher Geschwindigkeit, dabei werden laufende Messprofile in der Detektorleiste aufgenommen und an den Rechner weitergegeben ([24],S.331). Hochfrequenzgeneratoren können den Strom direkt auf das Aufnahmesystem übertragen.

4.3.2 Röntgenröhre

Für das CT werden Drehanodenröhren mit einer Anodenbelastung von 150kW verwendet, deren Strahlen von den Detektoren gemessen werden.

4.3.3 Detektoren

Die Röntgenstrahlen, die von der Röntgenanode ausgesendet werden, werden von den Messdetektoren aufgefangen. Moderne Geräte der Vierten Generation besitzen einen ortsfesten Detektorkranz, der als Vollkreis aus vielen Einzeldetektoren besteht und außen um die Röntgenröhre angebracht ist.

Üblicherweise werden Gas- oder Festkörperdetektoren verwendet. Die *Gasdetektoren* funktionieren nach dem Prinzip der Ionisationskammer. In einer gasdichten Aluminiumkammer befindet sich das Edelgas Xenon mit abwechselnd Meß- und Hochspannungselektroden. Einfallende Röntgenstrahlen ionisieren die Edelgasatome, die dann über die benachbarten Elektroden als Signalstrom in den äußeren Stromkreis gelangen. Über einen Vorverstärker wird der Strom an den Analogdigitalwandler weitergeleitet.

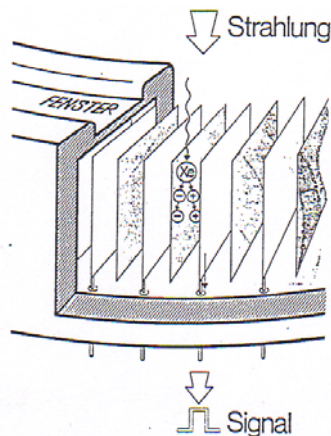


Abbildung 27: Gasdetektor

Festkörperdetektoren bestehen entweder aus Halbleitermaterial, in dem die einfallenden Röntgenphotonen direkt in einen elektrischen Strom umgewandelt werden oder üblicherweise aus einem Szintillationskristallen mit dem zugehörigen photoelektrischen Wandlern. Die Röntgenstrahlen erzeugen im Kristall Photoelektronen. Die entstehenden Photonen treffen auf einen photoelektronischen Wandler, der sie in ein elektrisches Signal umwandelt. Durch einen Vorverstärker wird der verstärkte Strom dem Analogdigitalwandler zugeführt.

4.3.4 Patiententisch

Der Patiententisch dient der Positionierung des Patienten bei der Untersuchung. Während der Aufnahme steuert der Computer automatisch die Längsverschiebung, wobei der Tischvorschub variabel ist.

4.3.5 Bildrekonstruktion

Nachdem der Vorverstärker den vom Detektorsystem gebildeten Strom verstärkt hat, werden die Daten mit Hilfe des Analogdigitalwandler digitalisiert. Für die Umwandlung der digitalen Werte zu einem Bild sind zwei wesentliche Schritte nötig. Zuerst werden die Messdaten für die nachfolgende Rekonstruktion in eine neue optimale Reihenfolge gebracht, korrigiert und neu kalibriert. Im zweiten Schritt werden die Daten im Computer zu einem Bild rekonstruiert. Mit Hilfe des Computers werden alle Bedienungsvorgänge und Funktionsabläufe gesteuert. Dazu gehören z.B. die Erfassung der Messdaten, die Bildbearbeitung oder das Befunden der Aufnahmen.

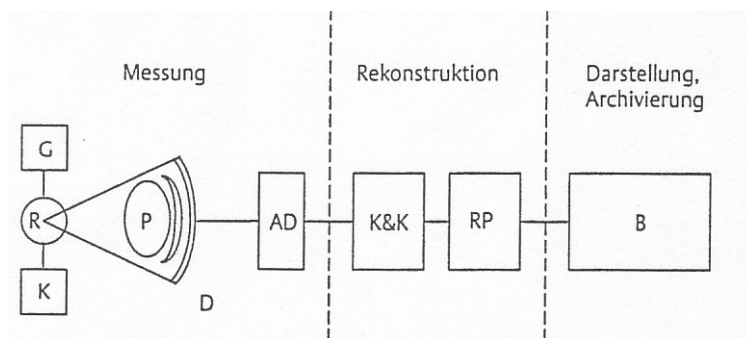


Abbildung 28: Blockschaltbild der wesentlichen Komponente eines CT- Gerätes.

AD	Analogdigitalwandler
B	Bedienkonsole mit Monitor und Bildspeicher
D	Detektor
G	Generator
K	Kühlung
K&K	Korrektur und Kalibriereinheit
P	Patient
R	Röntgenröhre
RP	Rückprojektor

4.4 Bilddarstellung

4.4.1 Hounsfield- Skala

Der Schwächungskoeffizient (oft physikalisch ungenau als Dichte oder Röntgendichte bezeichnet) wird in der CT in Grauwerten dargestellt und auf der Hounsfield- Skala (HE) angegeben. Luft hat auf dieser Skala einen Absorptionswert von -1000 , Wasser von 0 und Metall (z. B. Implantate) von über 1000 . Knochengewebe liegt typischerweise bei 400 Hounsfield- Einheiten. Nach oben ist die Hounsfield- Skala offen, sie ist jedoch in der praktischen Anwendung auf 12 Bit (ca. -1000 bis $+3095$) begrenzt.

4.4.2 Nachteile

Ein Nachteil der Computertomografie ist die Strahlenexposition, die je nach Körperregion ca. 10 mal höher liegt als bei der konventionellen Röntgenaufnahme. Das damit verbundene Risiko muss bei der Indikationsstellung berücksichtigt werden. Die hohe Aussagekraft der CT rechtfertigt jedoch in der Regel die Durchführung.

4.5 CT der Hand

Mit Hilfe der CT-Untersuchung ist es möglich das knöcherne Handskelett zu beurteilen. Die wichtigsten Indikationen für die Durchführung von CT-Aufnahmen sind somit Frakturen, komplexe Traumen und Arthrosen.

4.5.1 Lagerung der Hand

Bei allen Lagerungstechniken ist es wichtig, dass durch eine gute Fixierung der Hand Bewegungsartefakte vermieden werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Patient eine Bleischürze trägt, um von vor den Röntgenstrahlen geschützt zu sein.

Für die Aufnahme von axialen Schichten befindet sich der Patient neben dem Untersuchungstisch und legt seinen Arm in Pronationsstellung auf einer Unterlage ab.

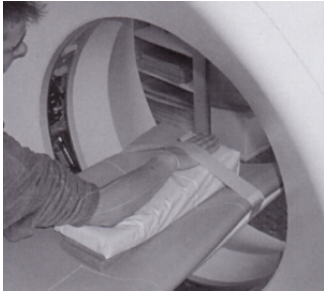


Abbildung 29: Lagerung für axiale Schichtaufnahmen (vgl.[4],S.64).

Die Untersuchung für schräg- sagittale Schichten des Os scaphoideum wird in Bauchlage durchgeführt. Der Patient legt den zu untersuchenden Arm in Pronation über den Kopf ab, wobei sich die Hand in Verlängerung der Längsachse des Unterarmes befindet und einen 45° Winkel zur Längsachse des Tisches aufweist.



Abbildung 30: Lagerung für schräg-sagittale Schichten des Os scaphoideum (vgl.[4],S.64).

Für die CT-Untersuchung gelten dieselben morphologischen Beurteilungskriterien, wie für die MRT.

5 Material und Methoden

Der vorliegenden Promotionsarbeit liegt ein Gesamtkollektiv von 34 Patienten zugrunde, wobei 23 männlich und 11 weibliche Patienten im Alter zwischen 13- 68 Jahren (Median 40,9 Jahre) beurteilt wurden (Abbildung 31).

Die retrospektive Datenerfassung wurde von Patienten erhoben, die zwischen 2001 bis 2006 an der Uniklinik Frankfurt mittels MRT oder CT untersucht worden sind und in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Uniklinik Frankfurt eine diagnostische Arthroskopie erhalten haben.

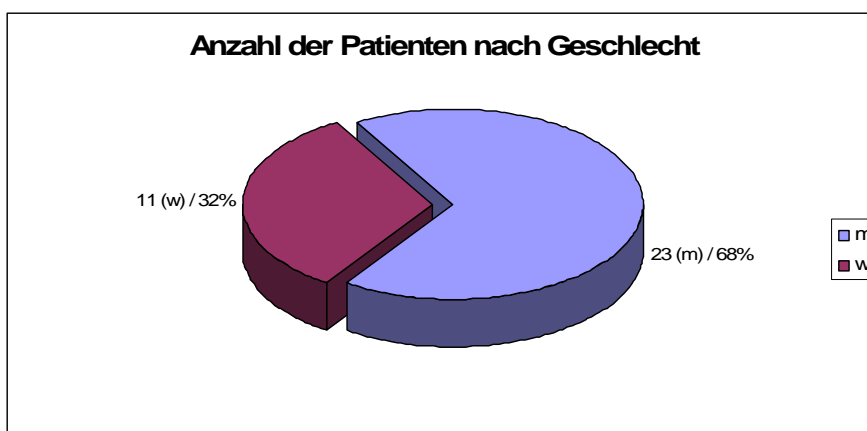


Abbildung 31: Anzahl der Studienpatienten aufgeteilt nach Geschlecht.

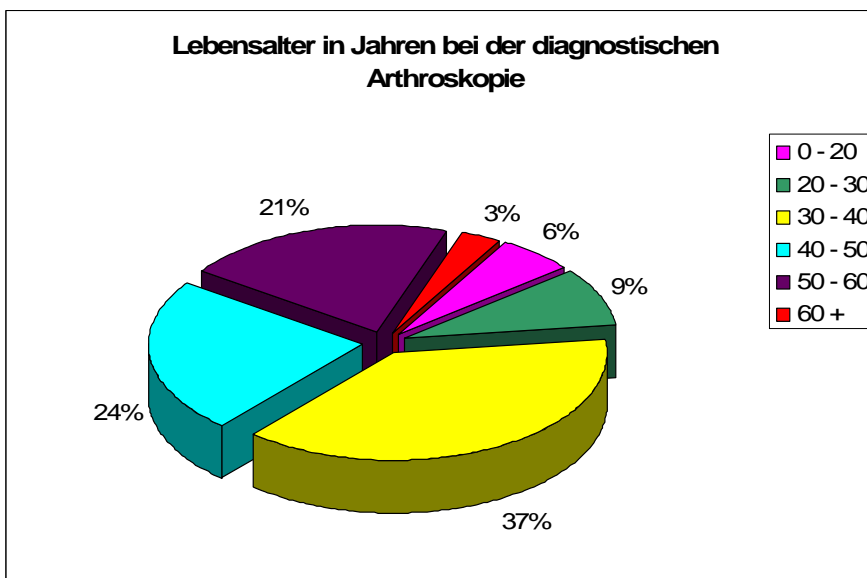


Abbildung 32: Lebensalter der Patienten in Jahren bei der diagnostischen Handgelenksarthroskopie (geschlechtsunabhängig).

Voraussetzungen zur Aufnahme in die Studie war, dass die MRT- bzw. CT- Untersuchung vor der diagnostischen Arthroskopie stattgefunden hatte und maximal 6 Monate zwischen der Bildgebung und der Operation lag. Außerdem sollten beide Untersuchungen in der Uniklinik Frankfurt durchgeführt worden sein. Alter und Geschlecht des Patienten, sowie die Durchführung der bildgebenden Diagnostik mit oder ohne Kontrastmittel waren unwesentlich. Sofern der Patient im Anschluss an die diagnostische Arthroskopie eine weiterführende offene Therapie erhielt, wurden ausschließlich die in der eingehenden Arthroskopie beschriebenen Pathologien beachtet.

Nach Prüfung der Kriterien, wurde eine Liste mit den Patientendaten angelegt. Die Daten der diagnostischen Arthroskopie, die für die Erhebung der Studie nötig waren, wurden aus dem Operationsbericht und dem Entlassungsbrief jedes einzelnen Patienten zusammengestellt. Die Befunde der zugehörigen MRT- bzw. CT-Untersuchung wurden durch erneute Ansicht und Beurteilung der Bilder durch einen Radiologen erhoben.

Für die Speicherung der Patientenstamm-, Untersuchungs-, anatomischen Struktur- und Befunddaten wurde eine MS Access-Datenbank¹ angelegt. Die gewählte Tabellenstruktur der Datenbank erlaubte pro Patient mehrere Untersuchungseinträge für MRT, CT und Arthroskopie. Für jede Untersuchung konnte pro Struktur ein Befund eingegeben werden.

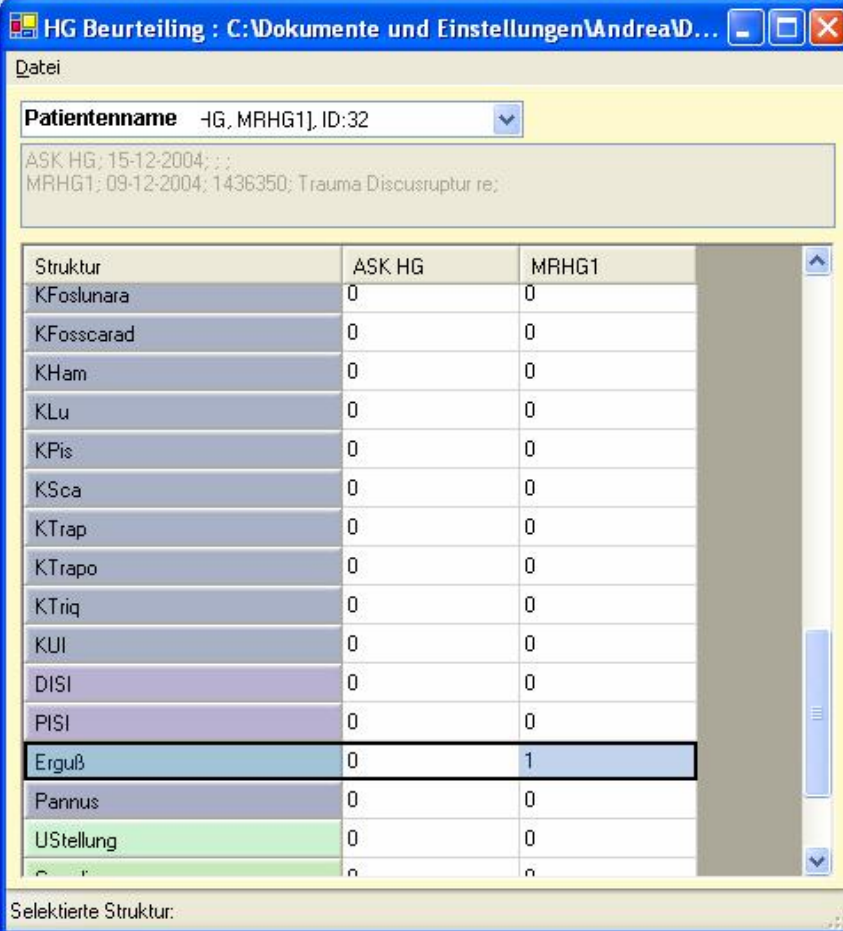
Für die bequemere Eingabe der Befunddaten pro Patient und Untersuchung wurde eine Anwendung programmiert, in der die Befunde der individuellen bildgebenden Verfahren sowie der diagnostischen Arthroskopie tabellarisch eingegeben werden konnten. Die Anwendung wurde in der Programmiersprache C#² geschrieben. Die Anwendung griff direkt auf die Access-Datenbank zu, veränderte aber lediglich die Befunddatensätze. Patient-, Untersuchungs- und Strukturdaten mußten in der Anwendung Access gepflegt werden.

Access erlaubte zwar die Eingabe in Formularen, welche direkt in Access erzeugt werden konnten, allerdings war die gewünschte Darstellung (Abbildung 33) nicht, oder nur mit erheblichem Aufwand mit in Access möglich. Die Programmierung eines Formulars in der leistungsfähigen Sprache C# erwies sich als vorteilhafter.

¹ **Microsoft Access** (kurz MS Access bzw. Access) ist ein Datenbankmanagementsystem der Firma Microsoft zur Verwaltung von Daten in Datenbanken und zur Entwicklung von Datenbankanwendungen.

² **C#** ist eine Programmiersprache, die vom Softwarehersteller Microsoft für die .NET-Plattform entwickelt und später als ein Standard von der ECMA und ISO akzeptiert wurde.

Das Eingabeformular wurde als Tabelle konzipiert, welche die Untersuchungen in Spalten und die Strukturen in Zeilen darstellt. Die editierbaren Tabellenzellen enthielten die Befunde der entsprechenden Untersuchungs-Struktur-Kombination (Abbildung 33). Aufgrund dieser Darstellung wurden direkt bei der Eingabe der Befunde erste Vergleiche möglich.



The screenshot shows a software window titled 'HG Beurteilung : C:\Dokumente und Einstellungen\AndreaW...'. Below the title bar, there is a 'Datei' section with a dropdown menu showing 'Patientenname -HG, MRHG1, ID:32'. Below this, there is a text area containing patient information: 'ASK HG; 15-12-2004; ; ; MRHG1; 09-12-2004; 1436350; Trauma Discusruptur re;'. The main part of the window is a table with three columns: 'Struktur', 'ASK HG', and 'MRHG1'. The table contains the following data:

Struktur	ASK HG	MRHG1
KFoslunara	0	0
KFosscarad	0	0
KHam	0	0
KLu	0	0
KPis	0	0
KSca	0	0
KTrap	0	0
KTrapo	0	0
KTriq	0	0
KUI	0	0
DISI	0	0
PISI	0	0
Erguß	0	1
Pannus	0	0
UStellung	0	0
...	0	0

At the bottom of the window, there is a label 'Selektierte Struktur:'.

Abbildung 33: Programm „Beurteilung.NET“ zum direkten Vergleich der diagnostischen Ergebnisse der Hand von Arthroskopie und bildgebender Untersuchung individuell für jeden Patienten.

MS Excel³ diente als Werkzeug für statistische Auswertungen. Zur Erzeugung der Datentabellen innerhalb von Excel wurden die notwendigen Informationen per SQL⁴ aus Access abgefragt und in Excel ausgewertet bzw. graphisch dargestellt.

³ **Microsoft Excel** (kurz MS Excel bzw. Excel) ist ein Tabellenkalkulationsprogramm der Firma Microsoft, welches mit Formeln und Funktionen umfangreiche Berechnungen ermöglicht und grafische Auswertungen mit Pivot-Tabellen und Diagrammen erlaubt.

⁴ **SQL** (Structured Query Language; wörtl.: strukturierte Abfragesprache) ist eine Abfragesprache, die sich um das Auffinden und die Verarbeitung von Daten kümmert.

Durch Verknüpfungen der Wertetabellen in Excel mit Abfragen bzw. Tabellen in Access konnten Datenänderungen in Access vereinfacht in Excel aktualisiert werden.

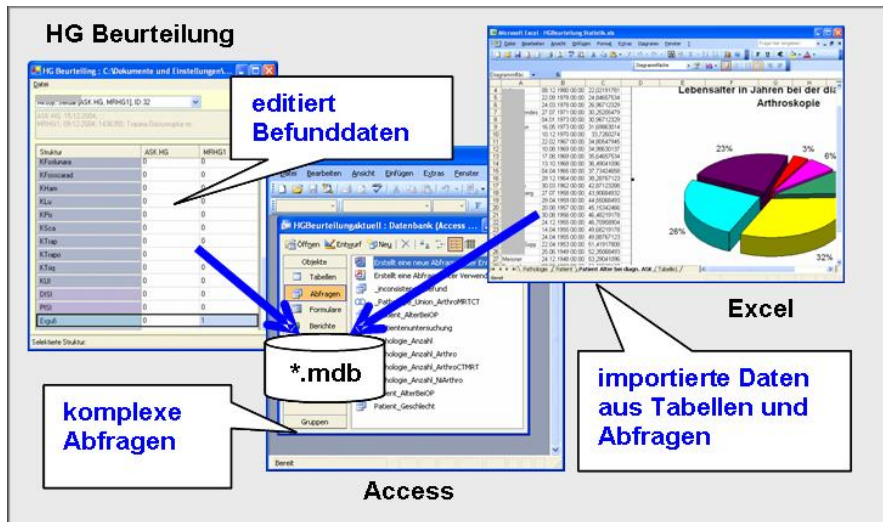


Abbildung 34: Ablauf: Dateneingabe in „Beurteilung. NET“ mit Access, Verknüpfung über SQL in Excel zur Auswertung der Daten und Erstellung der Graphik.

In dem Programm „ Beurteilung.NET“ wurden die wichtigsten anatomischen Strukturen der Hand aufgeführt und in vier Hauptgruppen unterteilt (Tabelle 4). Mit Hilfe eines Zahlencodesystems, das den Ausprägungsgrad der Schädigung der zu beurteilten Struktur verschlüsselte und für beide Untersuchungsverfahren galt, wurde einen direkten Vergleich der Untersuchungsergebnisse möglich (Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7).

Struktur: Knochen	Struktur: Ligamente	Struktur: Knorpel	Struktur: Sonstiges
Os capitatum	Lig. capitotrapezoideum (CT)	Knorpel dist. radio-ulnar Gelenk	Erguß
Os hamatum	Lig. hamatocapitatum (HC)	Knorpel Fossa lunata radii	Ganglion
Os lunatum	Lig. lunotriquetrum (LTq)	Knorpel Fossa scaphoidea radii	Knochenfusion
Os pisiforme	Lig. radiolunotriquetrum (RL)	Knorpel Os Capitatum	Lunatum in Extension oft bei scapholu. Dislokation DISI
Os scaphoideum	Lig. radioscapholunatum (RSL)	Knorpel Os Hamatum	Lunatum in Flexion oft bei lunotriquetrum. Dislokation PISI

Os trapezium	Lig. radioscaphulocapitatum (RSC)	Knorpel Os lunatum	Pannus
Os trapezoideum	Lig. radiotriquetrum (RTq)	Knorpel Os Pisiforme	Synovitis
Os triquetrum	Lig. scapholunatum (SL)	Knorpel Os scaphoideum	Tendonitis
Fossa lunata radii	Lig. Scaphotrapeziotrapezoideum (STT)	Knorpel Os Trapezium	Rotationsfehlstellung Scaphoid
Fossa scaphoidea radii	Lig. Scaphulocapitatum (SC)	Knorpel Os Trapezoideum	Stellung Ulna
Processus styloideus radii	Lig. trapeziotrapezoideum (TT)	Knorpel Os triquetrum	
Processus styloideus ulnae	Lig. Triquetrohamatocapitatum (TqHC)	Knorpel Ulna	
Radius	Lig. ulnocapitatum (UC)		
Ulna	Lig. ulnolunatum (UL)		
	Lig. ulnotriquetrum (UTq)		
	Discus triangularis (TFC)		

Tabelle 4: Liste der wichtigsten zu beurteilenden Handgelenksstrukturen.

1. Knochen	2. Ligamente	3. Knorpel
0 unauffällig	0 unauffällig	0 unauffällig
1 bone bruise	1 Zerrung/ 1°/ Auffaserung	1 leichte Schädigung/ 1°
2 Fraktur	2 An-/ Teilriß/ 2°	2 mittlere Schädigung/ 2°
	3 kompletter Riß/ 3°	3 schwere Schädigung / 3°- 4°
	4 knöchener Ausriß/ 4°	4 Osteochondrosis dissecans

Tabelle 5: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (Knochen, Ligamente, Knorpel).

4. Sonstiges: PISI/ DISI	5. Sonstiges: Erguß	6. Sonstiges: Pannus/ Synovitis
0 unauffällig	0 unauffällig	0 unauffällig
1 pathologisch	1 Erguß vorhanden	1 Pannus/ Synovitis vorhanden

Tabelle 6: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (PISI / DISI, Erguß, Pannus/ Synovitis).

7. Sonstiges: Ulnarstellung	8. Sonstiges: Ganglion, Knochenfusion
0 unauffällig	Ganglion: 0 = nicht vorhanden/ 1 = vorhanden
1 + Stellung (nach distal)	Knochenfusion: 0 = nicht vorhanden/ 1 = vorhanden
2 – Stellung (nach proximal)	

Tabelle 7: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (Ulnarstellung, Ganglion, Knochenfusion).

Mit diesen Tabellen konnte eine Übersicht erstellt werden, in der die Strukturen mit der Anzahl der zugehörigen Schädigungsausprägung den Untersuchungen zugeordnet werden konnten, in denen sie gefunden wurden. Z.B. wurde beim Vergleich von CT und diagnostischer Arthroskopie bei der Beurteilung der Knochenstruktur 2mal eine Fraktur des Radius in der CT und in der diagnostischen Arthroskopie erkannt. Diese Übersicht machte es möglich, eine Aussage über die gesammelten Ergebnisse treffen zu können.

6 Ergebnisse

Mit Hilfe der gesammelten Studiendaten wurde eine Auswertung mit graphischer Darstellung der Ergebnisse möglich.

Die Beschwerden im Handgelenk sind bei 29 von 34 Patienten überwiegend durch ein Trauma verursacht worden, wobei in 21 Fällen das rechte und in 13 Fällen das linke Handgelenk betroffen war (Abbildung 35).

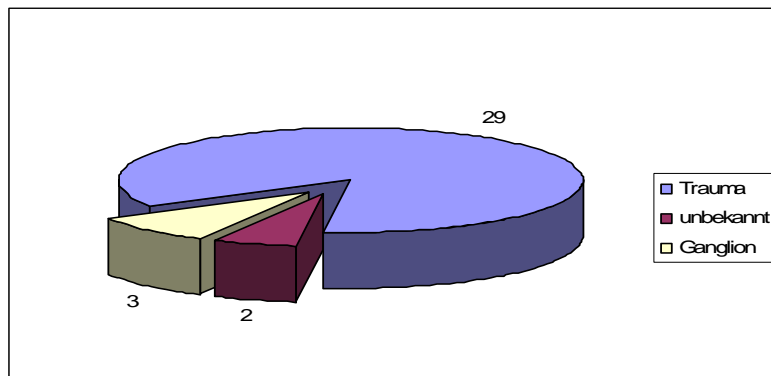


Abbildung 35: Ursachen für die Handgelenksbeschwerden.

Von den insgesamt 34 Studienpatienten wurde bei 6 Patienten ein CT durchgeführt, und bei 28 erfolgte die bildgebende Diagnostik mittels MRT. Von den 28 MRT-Untersuchungen wurden 14 unter Zugabe von Kontrastmitteln angefertigt. Alle CT-Aufnahmen erfolgten ausnahmslos ohne die Gabe von Kontrastmittel (Abbildung 36).

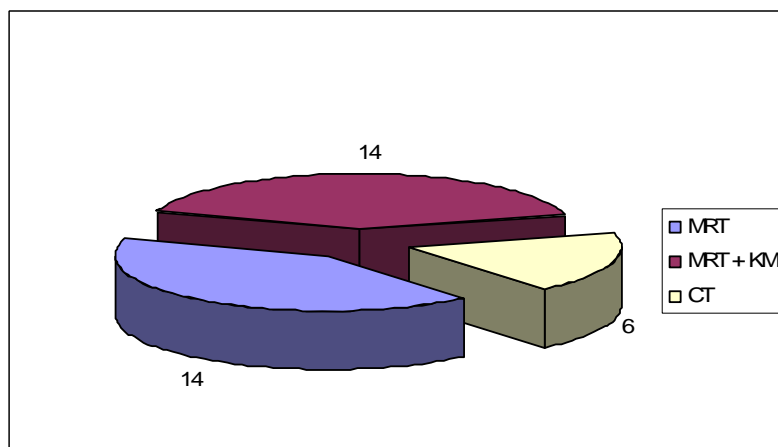


Abbildung 36: Anzahl der CT- und MRT-Untersuchungen ohne und mit Kontrastmittel.

Von den insgesamt 34 Patienten wurden bei 33 Patienten an die diagnostische Arthroskopie therapeutische Maßnahmen angeschossen: In 23 Fällen wurde nach der diagnostischen Spiegelung eine therapeutische Arthroskopie des Handgelenkes durchgeführt und bei 10 der 23 Betroffenen war eine weiterführende offene Therapie nötig. Bei 10 weiteren Patienten entschied man sich nach der diagnostischen Arthroskopie für ein offenes Vorgehen. Nur in einem Fall fand eine ausschließlich diagnostische Handgelenksspiegelung statt (Abbildung 37).

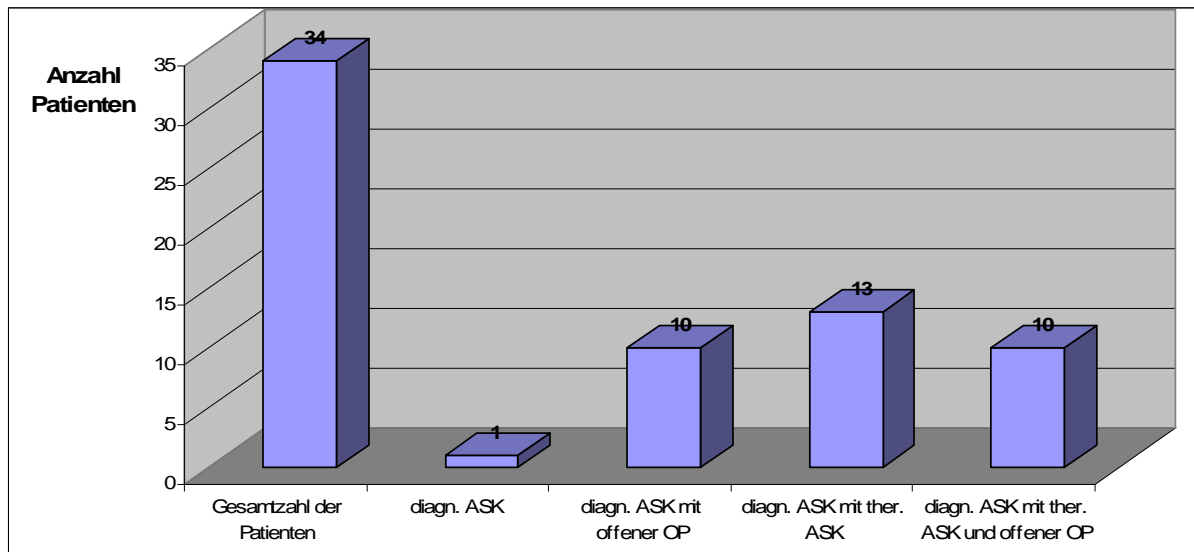


Abbildung 37: Anzahl der Patienten, bei denen im Anschluss an die diagnostische Arthroskopie keine oder weitere therapeutische Maßnahmen durchgeführt wurden im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Patienten.

Mit Hilfe des Computerprogramms „Beurteilung.NET“ (Abbildung 33) war es möglich, die Untersuchungsergebnisse aus der bildgebenden Diagnostik den Befunden der Arthroskopie jedes einzelnen Patienten gegenüber zustellen. Eine Übersicht dieser Ergebnisse zeigt Abbildung 38.

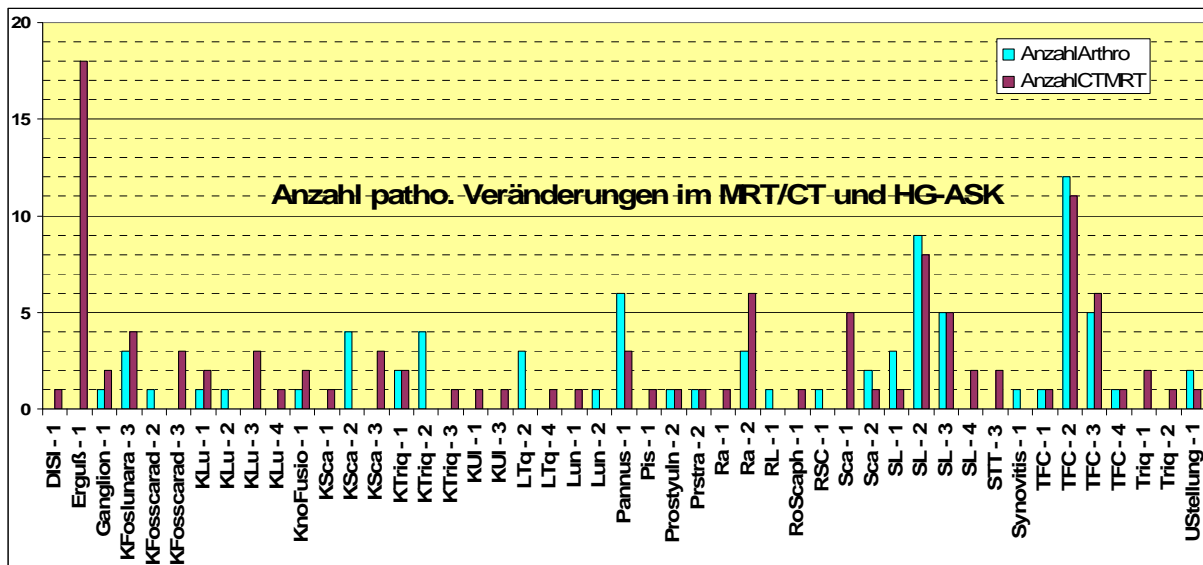


Abbildung 38: Direkter Vergleich der Anzahl pathologischer Auffälligkeiten sortiert nach Struktur im MRT/ CT und der Handgelenksarthroskopie. Die bewerteten Strukturen sind abgekürzt und kodiert dargestellt auf der x-Achse zu sehen.

Um genauer differenzieren zu können, ob die bildgebenden Verfahren oder die diagnostische Arthroscopie zur Beurteilung pathologischer Strukturen die exakteren Ergebnisse liefern oder ob beide gleichwertig sind, wurden die MRT- und CT-Untersuchungsergebnisse denen der Arthroscopie in Tabellen nach Strukturgruppen geordnet gegenübergestellt. Diese Strukturgruppen sind:

1. Knochen,
2. Ligamente,
3. Knorpel,
4. Sonstiges (PISI/ DISI; Erguß; Pannus⁴ / Synovitis; Ulnarstellung; Ganglion; Knochenfusion).

⁴ **Def. Pannus:** lat Lappen: 1.ophtalmisch (...); 2.orthopädisch: von den Gelenkkapselrezessus ausgehende Proliferation der Synovialis bei chron. Synovitis, v.a. bei rheumatoider Arthritis mit Überzug, Invasion, Unterminierung. und Destruktion des Gelenkknorpels und der kortikalen (knöchernen) Grenzlamelle, sowie Einbruch in den subchondralen Markraum; röntgenologische Unschärfe der Grenzlamelle, Signalzysten, Erosionen.[31]

In den nachfolgenden Tabellen ist in der linken Spalte die Pathologie mit einer genauen Beschreibung der Schädigung aufgeführt. In der oberen Zeile werden die Untersuchungsarten dargestellt. „Bildgebung + ASK“ bedeutet, dass die Pathologie sowohl in der diagnostischen Arthroskopie als auch in der Bildgebung (MRT oder CT) im selben Schädigungsgrad beschrieben wurde. Mit „Bildgebung < oder > ASK“ sind die Pathologien zwar in beiden diagnostischen Methoden erkannt worden, jedoch wurde der Ausprägungsgrad der Schädigung (Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7) unterschiedlich bewertet. Wurde die Schädigung ausschließlich in einer der beiden Methoden erkannt, ist die Anzahl der gefundenen Fälle direkt zugeordnet.

6.1 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie

Zunächst sollen die CT und die diagnostischen Arthroskopie den Strukturen zugeordnet und im Folgenden verglichen werden.

6.1.1 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Knochen

Die 5 im CT diagnostizierten Frakturen (vgl. Abbildung 39) konnten alle mit Hilfe der anschließenden Arthroskopie erkannt und im Schädigungsgrad richtig beurteilt werden.



Abbildung 39: CT native: Fraktur Processus styloideus radii; koronare Schichtführung.

Pathologie	CT +ASK	CT<ASK	CT>ASK	CT	ASK
Processus styloideus ulnae – Fraktur	1				
Proccesus styloideus radii – Fraktur	1				
Radius – Fraktur	2				
Os scaphoideum – Fraktur	1				

Tabelle 8: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knochenstrukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.

6.1.2 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Ligamente

Von 5 in der Arthroskopie festgestellten ligamentären Zerrungen/ Auffaserungen (1°) und An-/ Teilrissen (2°) konnten in der CT keine erkannt werden. Die in der CT diagnostizierte komplette Ruptur im SL- Band ließ sich durch die Arthroskopie nicht bestätigt. Ein knöcherner Ausriss des LTq wurde im CT gesehen, wurde aber in der Arthroskopie lediglich als An-/ Teilriss beschrieben.

Pathologie	CT +ASK	CT<ASK	CT>ASK	CT	ASK
LTq (Lig. lunotriquetrum) - An-/ Teilriß			1 * 4°>2°		
LTq (Lig. lunotriquetrum) - knöchener Ausriß					
RL (Lig. radiolunotriquetrum) - Zerrung/ Auffaserung					1
RSC (Lig. radioscaphulocapitatum) - Zerrung/ Auffaserung					1
SL (Lig. scapholunatum) - An-/ Teilriß					1
Lig. scapholunatum SL - kompletter Riß				1	1
Discus triangularis TFC - An-/ Teilriß					1

Tabelle 9: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten ligamentären Strukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.

6.1.3 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Knorpel

Von 2 in der Arthroskopie gesehenen Knorpelschädigungen mit mittlerem und starkem Ausprägungsgrad wurde im CT keine erkannt.

Pathologie	CT +ASK	CT<ASK	CT>ASK	CT	ASK
Knorpel Fossa lunata radii - schwere Schädigung 3°-4°					1
Knorpel Os triquetrum - mittlere Schädigung 2°					1

Tabelle 10: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knorpelstrukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.

6.1.4 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie - Sonstiges

Die *Rotationsfehlstellung* des Os scaphoideum und die *Knochenfusion* von Os Lunatum und Os triquetrum (Abbildung 40) wurden in der CT-Untersuchung gesehen.



Abbildung 40: CT nativ: Knochenfusion Os Lunatum und Os triquetrum; Fraktur des Processus styloideus ulnae; koronare Schichtführung

Da das Os scaphoideum in der Arthroskopie nur bedingt darstellbar war, ließ sich eine Rotation des Os scaphoideum nicht erkennen. Die Knochenfusion zwischen Os Lunatum und Os triquetrum war durch die diagnostische Spiegelung des Mediokarpalgelenkes gut zu sehen. Der *Pannus* konnte nur in der Arthroskopie diagnostiziert werden. Er war als Destruktionsvorgang des Knorpels in Anlehnung an das Ergebnis von „Vergleich CT vs diagnostische Arthroskopie– Knorpel“ nicht im CT, sondern nur in der Arthroskopie zu beurteilen.

Pathologie	CT +ASK	CT<ASK	CT>ASK	CT	ASK
Knochenfusion	1				
Pannus					1
Rotationsfehlstellung Scaphoid				1	

Tabelle 11: Anzahl von diagnostizierten verschiedenen Pathologien im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.

6.2 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie

Im Folgenden wird die MRT mit der diagnostischen Arthroskopie geordnet nach den Strukturengruppen Knochen, Ligamente, Korpel und Sonstiges in Relation gesetzt.

6.2.1 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Knochen

Vergleicht man die Ergebnisse bei der Beurteilung der knöchernen Strukturen, so lässt sich festhalten, dass von insgesamt 10 diagnostizierten bone bruises alle in der MRT erkannt wurden. In 2 der 10 Fälle wurden diese Mikrofissuren (bone bruise) in der diagnostischen Schlüssellochtechnik als Fraktur beschrieben, und in den verbleibenden 8 Fällen konnten kein Befund erhoben werden. Von den 5 im MRT gesehenen Frakturen, wobei die häufigste die Radiusfraktur (Abbildung 41) war, konnte nur eine durch die diagnostische Arthroskopie belegt werden.



Abbildung 41: MRT: Fraktur des Radius; bone bruise des os scaphoideum; TFC- Teilruptur; Erguß; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).

Pathologie	MRT +ASK	MRT< ASK	MRT> ASK	MRT	ASK
Os lunatum - bone bruise		1 * 1°<2°			
Os lunatum - Fraktur					
Os pisiforme - bone bruise				1	
Radius - bone bruise				1	
Radius - Fraktur	1			3	
Os scaphoideum - bone bruise		1 * 1°<2°		4	
Os scaphoideum - Fraktur					
Os triquetrum - bone bruise				2	
Os triquetrum - Fraktur				1	

Tabelle 12: Anzahl von als pathologisch- diagnostizierten Knochenstrukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich MRT und diagnostische Arthroskopie.

6.2.2 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Ligamente

Bei ligamentären Schädigungen handelt es sich um häufige Verletzungen. Von den 34 ausgewerteten Patienten fand sich bei 20 eine Schädigung des TFC, bei 16 lies sich eine Pathologie des SL-Bandes feststellen und bei jeweils 2 fand sich eine Störung des STT-Bandes bzw. des LTq-Bandes. Dabei wurden die Schädigungen entweder in beiden diagnostischen Verfahren in gleicher oder unterschiedlicher Ausprägung, ausschließlich in der MRT oder ausschließlich in der diagnostischen. Arthroskopie diagnostiziert.

Ein An-/ Teilriß des *LTq*-Bandes wurde 2-mal in der diagnostischen Arthroskopie (Stabilitätsprüfung mittels Testhaken), nicht aber in der MRT gesehen.

5-mal konnte ein An-/ Teilriß (Abbildung 42, Abbildung 44, Abbildung 45, Abbildung 46) und 2-mal ein Komplettriß des *SL*-Bandes (Abbildung 43, Abbildung 47) im MRT und der diagnostische Arthroskopie erkannt werden. 7-mal wurde der Ausprägungsgrad der Schädigung im MRT stärker bewertet, als er in der diagnostischen Arthroskopie zu sehen war. Eine Zerrung des Lig. scapholunatum (SL) wurde einmal ausschließlich im MRT diagnostiziert; ein An-/ Teilriß fand sich einmal ausschließlich in der diagnostischen Arthroskopie.

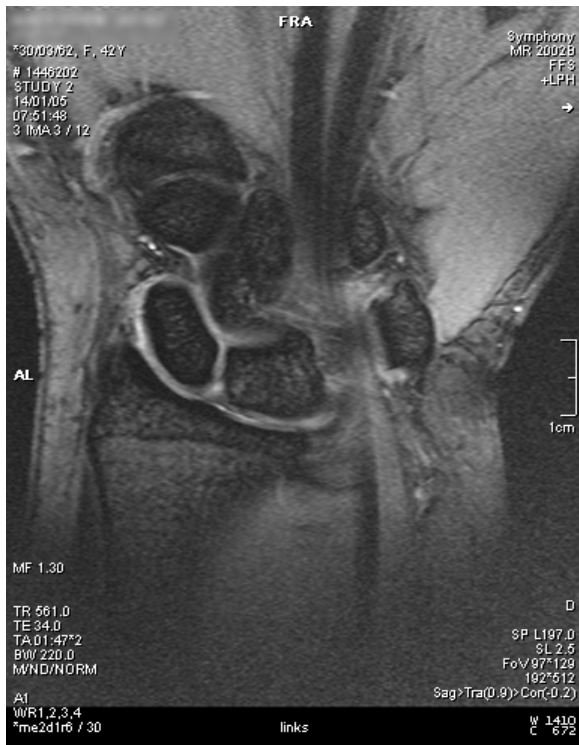


Abbildung 42: MRT: SL- Teilruptur; koronare Schichtführung, medic-Sequenz (Gradientenecho).



Abbildung 43: MRT: TFC- Abriss; STT- Abriss; SL- knöcherner Ausriss; Metallartefakte im Radius; koronare Schichtführung; T1-gewichtete Sequenz (Knochen, Anatomie).



Abbildung 44: MRT: SL- Teilruptur; Erguß; koronare Schichtführung; stir-Sequenz (Erguß, bone bruise).

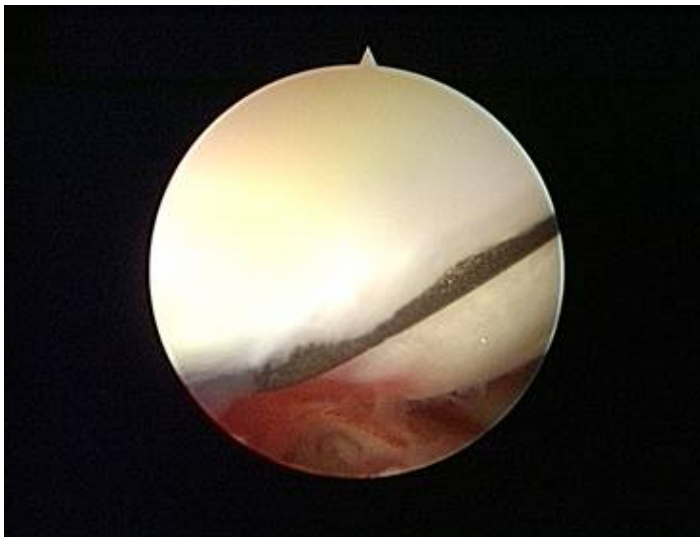


Abbildung 45: SL-Band- Ruptur 1° (vgl.[15]).

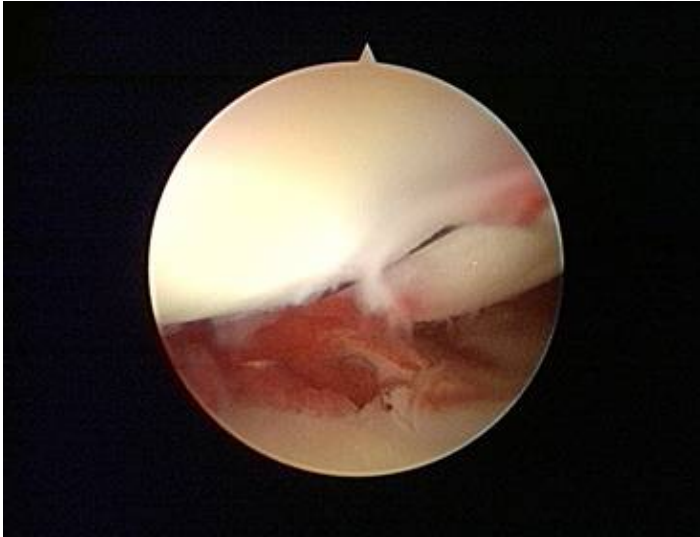


Abbildung 46: SL-Band Ruptur 2° (vgl.[15]).

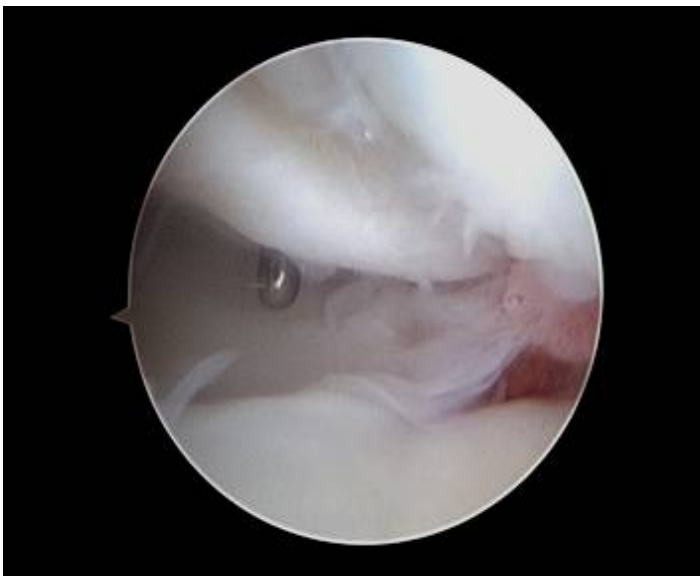


Abbildung 47: SL-Band Ruptur 3° (vgl.[15]).

Man kann feststellen, dass von 16 beobachteten Schädigungen des SL-Bandes 14 sowohl in der diagnostischen Arthroskopie, wie auch in der MRT zu sehen waren, wobei in 7 Fällen die Untersuchungsergebnisse übereinstimmten und in 7 Fällen das MRT die Schädigungsausprägung als stärker eingestuft hat.

Im Lig. scaphotrapeziotrapezoideum (*STT*) wurde zweimalig ein Komplettriß (Abbildung 43) diagnostiziert, wobei diese Pathologie ausschließlich im MRT zu erkennen war.

Der *TFC* (Discus triangularis) wurde einmal mit Zerrung und einmal mit An-/Teilriß (Abbildung 48, Abbildung 49) alleinig im MRT gesehen. Außerdem konnte einmal ein An-

/Teilriß ausschließlich in der diagnostischen Arthroskopie festgestellt werden. Insgesamt wurde 17-mal eine Schädigung sowohl in der diagnostischen Arthroskopie und die der MRT abgebildet, wobei die Schädigungsausprägung in 10 Fällen mit 8 Fälle An-/Teilriß und 2 Fälle komplettem Riß (Abbildung 50, Abbildung 51, Abbildung 52) in beiden Untersuchungsformen identisch gesehen wurde. In 3 Fällen bewertete die diagnostische Arthroskopie die Schädigung stärker und bei 4 Fällen wurde die Pathologie im MRT als ausgeprägter beschrieben.



Abbildung 48: MRT: TFC- Teilruptur mit Erguss; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho)

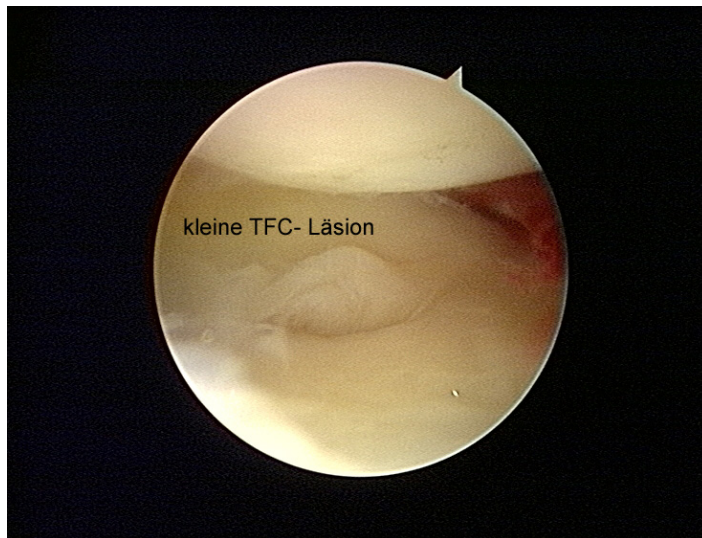


Abbildung 49: kleine TFC-Läsion (vgl.[15]).



Abbildung 50: MRT: TFC- Abriss; koronare Schichtführung, medic- Sequenz (Gradientenecho).

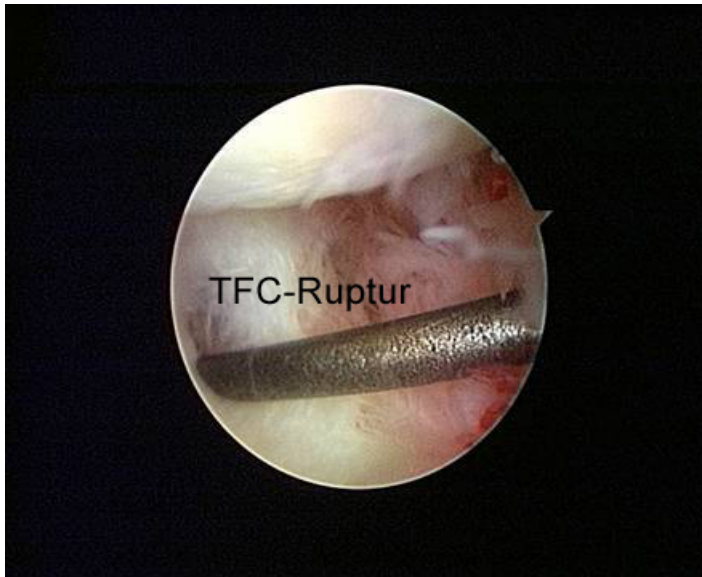


Abbildung 51: TFC-Ruptur Typ 1B nach Palmer (vgl.[15] [32]).

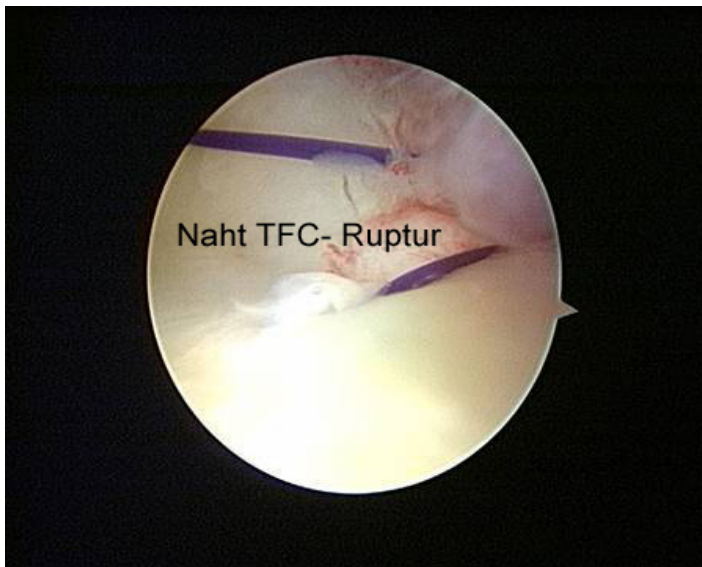


Abbildung 52: Naht TFC-Ruptur mit Inside-Out- Technik (vgl.[15] [32]).

Pathologie	MRT +ASK	MRT< ASK	MRT> ASK	MRT	ASK
LTq (Lig. lunotriquetrum) - An-/ Teilriß					2
SL (Lig. scapholunatum) - Zerrung/ Auffaserung			3 * 2°>1° 2 * 3°>2°	1	
SL (Lig. scapholunatum) - An-/ Teilriß	5		2 * 4°>3°		1
SL (Lig. scapholunatum) - kompletter Riß	2				
SL (Lig. scapholunatum) - knöchener Ausriß					
STT (Lig. scaphotrapeziotrapezoideum) - kompletter Riß				2	
TFC (Discus triangularis) - Zerrung/ Auffaserung		2 * 2°<3° 1 * 3°<4°	2 * 3°>2° 1 * 4°>3°	1	
TFC (Discus triangularis) - An-/ Teilriß	8			1	1
TFC (Discus triangularis) - kompletter Riß	2		1 * 3°>1°		
TFC (Discus triangularis) - knöchener Ausriß					

Tabelle 13: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten ligamentären Strukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich MRT und diagnostische Arthroskopie.

6.2.3 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Knorpel

Eine schwere Schädigung des Knorpels des *Fossa lunata radii* (Abbildung 53) wurde bei 2 Patienten sowohl in der MRT sowie der diagnostischen. Arthroskopie mit gleicher Ausprägung beurteilt. Allerdings wurde diese Schädigung auch 2-mal ausschließlich in der MRT gesehen.

Der Knorpel der *Fossa scaphoidea radii* (Abbildung 53, Abbildung 54) wurde ebenfalls 2-mal mit schwerer Schädigung alleinig in der MRT diagnostiziert. Bei einem Patient konnte sowohl im MRT wie auch in der diagnostischen. Arthroskopie eine Knorpelstörung gesehen werden, wobei die Schädigungsausprägung in der MRT als stärker beurteilt wurde.

Eine leichte Knorpelschädigung des *Os lunatum* (Abbildung 53) wurde einmalig in der MRT und in der diagnostischen Arthroskopie erkannt. 5-mal wurde eine Veränderung des Knorpels ausschließlich im MRT und nur einmal eine Pathologie des Knorpels in der diagnostischen Arthroskopie beobachtet.

Der Knorpel des *Os scaphoideum* (Abbildung 53, Abbildung 55) wurde 2-mal sowohl in der MRT wie in der diagnostischen Arthroskopie gesehen, wobei die MRT die Schädigung in beiden Fällen als höher einstufte. Jeweils 2-mal wurde eine Knorpelschädigung ausschließlich im MRT bzw. in der diagnostischen Arthroskopie gesehen.

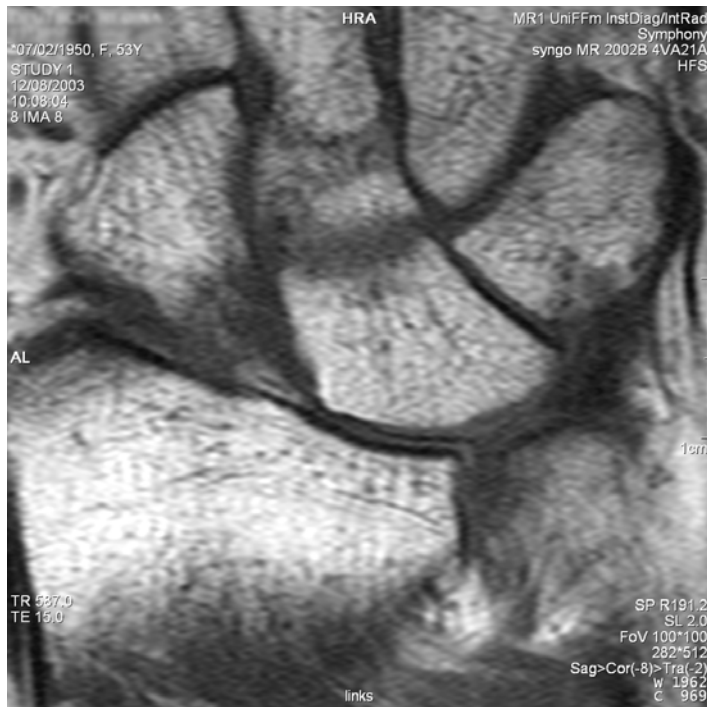


Abbildung 53: MRT: Knorpelschädigung 3-4° vom Knorpel der Fossa lunata radii und der Fossa scaphoidea radii, sowie des Os lunatum und des Os scaphoideum; koronare Schichtführung; T1-gewichtete Sequenz.

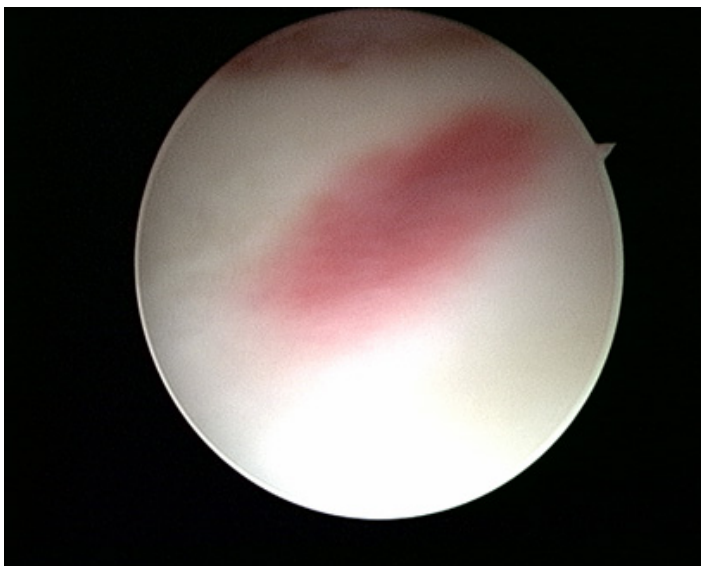


Abbildung 54: Knorpelkontusion Fossa scaphoidea (vgl.[15]).



Abbildung 55: Knochenkontusion Os scaphoideum (vgl.[15]).

In der diagnostischen Arthroskopie und in der MRT wurde in 3 Fällen eine Knorpelschädigung des *Os triquetrum* sichtbar, wobei die Bildgebung die Pathologie in einem Fall als ausgeprägter angesehen hat. Bei 2 Patienten wurde eine Schädigung mit mittlerem Ausprägungsgrad allein in der diagnostischen Arthroskopie gesehen.

Der Schädigung des Knorpels der *Ulna* wurde in verschiedener Ausprägung 2-mal ausschließlich in der MRT diagnostiziert.

Pathologie	MRT +ASK	MRT< ASK	MRT> ASK	MRT	ASK
Knorpel Fossa lunata radii - schwere Schädigung 3°-4°	2			2	
Knorpel Fossa scaphoidea radii - mittlere Schädigung 2°			1 * 3°>2°		
Knorpel Fossa scaphoidea radii - schwere Schädigung 3°-4°				2	
Knorpel Os lunatum - leichte Schädigung 1°	1			1	
Knorpel Os lunatum - mittlere Schädigung 2°					1
Knorpel Os lunatum - schwere Schädigung 3°-4°				3	
Knorpel Os lunatum - Osteochondrosis dissecans				1	
Knorpel Os scaphoideum - leichte Schädigung 1°				1	
Knorpel Os scaphoideum - mittlere Schädigung 2°			2 * 3°>2°		2
Knorpel Os scaphoideum - schwere Schädigung 3°-4°				1	
Knorpel Os triquetrum - leichte Schädigung 1°	2				
Knorpel Os triquetrum - mittlere Schädigung 2°			1 * 3°>2°		2
Knorpel Os triquetrum - schwere Schädigung 3°-4°					
Knorpel Ulna - leichte Schädigung 1°				1	
Knorpel Ulna - schwere Schädigung 3°-4°				1	

Tabelle 14: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knorpelstrukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie

Fasst man die Ergebnisse aller beurteilten Knorpelstrukturen zusammen, so wurde in 27 Fällen eine Knorpelschädigung diagnostiziert, wobei in nur 9 Fällen die Pathologien sowohl in der MRT wie der diagnostischen Arthroskopie zu sehen waren. Von diesen 9 Fällen wurde eine Übereinstimmung der Schädigungsausprägung in beiden Untersuchungsmethoden bei 5 Patienten beschrieben, und in 4 Fällen wurde die Knorpelschädigung in der MRT als höhergradig angesehen. 13-mal wurde eine Knorpelveränderung allein in der MRT diagnostiziert; in 5 Fällen wurde eine Schädigung des Knorpels ausschließlich in der diagnostischen Arthroskopie erkannt.

6.2.4 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie - Sonstiges

Die *DISI- Stellung* (Abbildung 12, Abbildung 56, Abbildung 57) wurde einmalig in der MRT gesehen.



Abbildung 56: MRT: physiologische mediale Knochensäule mit Radius und Os lunatum als Mütze auf dem Os capitatum; sagittale Schichtführung; T1- gewichtete Sequenz in niedriger Auflösung.



Abbildung 57: MRT DISI; sagittale Schichtführung; T1- gewichtet Sequenz in hoher Auflösung.

Bei 16 Patienten wurde ein *Erguss* (Abbildung 58) diagnostiziert, der ausschließlich in der bildgebenden Untersuchung zu erkennen war.

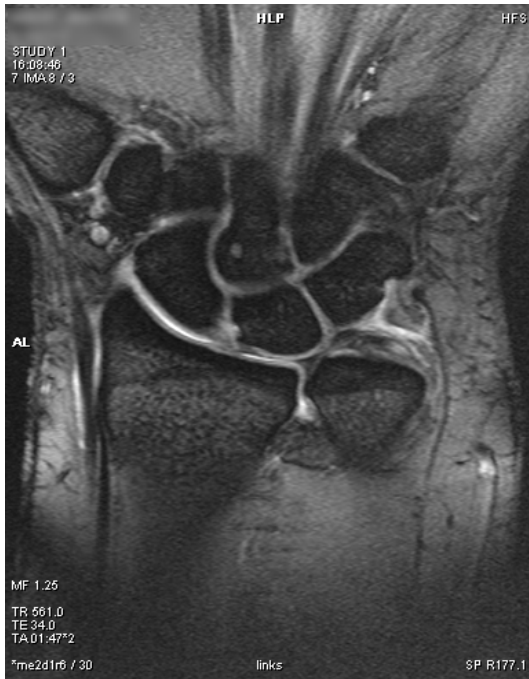


Abbildung 58: MRT: TFC- Teilruptur; SL- Ruptur; Pannus/ Erguß; leichte Knorpelschädigung; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).

2-mal wurde ein *Ganglion* (Abbildung 59) alleinig in der MRT erkannt und einmal ausschließlich in der diagnostischen Arthroskopie.



Abbildung 59: MRT Ganglion; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).

Eine *Knochenfusion* zwischen dem Os lunatum und dem Os triquetrum (häufigste Stelle einer Knochenfusion) war in der MRT zu sehen.

Der *Pannus* konnte in der diagnostischen Schlüssellochtechnik 5-mal und unabhängig davon, in der MRT 3-mal diagnostiziert werden. Er kam als Destruktionsvorgang des Knorpels also lageabhängig sowohl mit Hilfe der Bildgebung, wie auch mit der operativen Maßnahme zur Darstellung.

Die *Synovitis* wurde nur einmalig in der diagnostischen Arthroskopie beschrieben. Diese aufgrund einer Gelenkreizung entstandene Entzündung, wird in der MRT als Erguß (s.o.) und in der diagnostischen Arthroskopie als Synovitis beschrieben.

Die *Stellung der Ulna* wird in eine +Stellung und in eine –Stellung eingeteilt. Bei der +Stellung ist die Ulna nach distal und bei der –Stellung nach proximal verlagert. Bei der Auswertung der Patientendaten wurde einmal eine +Stellung der Ulna bei der MRT und der diagnostischen Arthroskopie gesehen, und einmal wurde diese +Stellung alleinig bei der Schlüssellochdiagnostik beschrieben.

Pathologie	MRT +ASK	MRT< ASK	MRT> ASK	MRT	ASK
DISI				1	
Erguß				18	
Ganglion				2	1
Knochenfusion				1	
Pannus				3	5
Synovitis					1
Stellung Ulna	1				1

Tabelle 15: Anzahl von diagnostizierten verschiedenen Pathologien im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.

7 Diskussion

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die adäquate Therapie von persistierenden Handgelenksbeschwerden ist eine frühzeitige Diagnostik erforderlich. Hierzu stehen neben der klinischen Untersuchung und der Röntgenaufnahme auch die MRT- und CT-Untersuchung, sowie die diagnostische Arthroskopie zur Verfügung, um die Schädigung von Bändern, Diskus, Knochen und Knorpel beurteilen zu können.

Durch den Pathomechanismus ist es in der Regel möglich eine Verdachtsdiagnose zu stellen.

Besteht der konkrete Hinweis auf eine knöcherne Schädigung oder will man eine Fraktur im Handgelenk ausschließen, ist nach der Basisdiagnostik und Risikoabwägung die CT-Untersuchung (abgesehen von dem Röntgenbild) zu wählen. Vergleich man die Risiken der CT-Untersuchung mit der diagnostischen Arthroskopie, so steht die Strahlenbelastung der CT, den Operationsrisiken der Arthroskopie gegenüber.

Muss man in diesem Beispiel von zusätzlichen Begleitverletzungen anderer, nicht knöcherner Strukturen ausgehen, ist eine alleinige CT-Untersuchung nicht ausreichend. Es ist abzuwägen, ob man direkt eine diagnostische Arthroskopie an die CT anschließt, oder ob in erster Linie die Durchführung einer MRT- Untersuchung sinnvoll ist. Dies wäre z.B. bei Patienten mit erhöhten Operationsrisiken (Blutungsneigung) oder bei einem Infekt im betroffenen Handgelenk der Fall. Das Voranstellen der MRT vor die diagnostische Schlüssellochtechnik hilft, die nicht exakt zu lokalisierenden Beschwerden genauer einzugrenzen. Besteht allerdings ein konkreter Verdacht auf eine mit der Arthroskopie therapierbare Pathologie, und der Patient hat keine erhöhten Operationsrisiken, so erweist es sich als günstig, die diagnostische Arthroskopie direkt im Anschluss an die CT- Untersuchung anzuschließen. Auf die MRT-Untersuchung kann dann verzichtet werden.

Wenn der Arzt die Handgelenksbeschwerden nach den Voruntersuchungen nicht eindeutig zuordnen kann, ist die Durchführung einer MRT nach den üblichen Voruntersuchungen indiziert. Die MRT ist in der Lage, alle Strukturen gut darzustellen und bietet eine umfangreiche Übersicht über das Gelenk. Die Risiken der Untersuchung sind im Vergleich zu der Strahlenbelastung im CT und den operativen Risiken der diagnostischen Arthroskopie sehr gering. Bestimmte Kontraindikationen wie zum Beispiel ein Herzschrittmacher machen

die Untersuchung für einige Patienten jedoch unmöglich. Nach der Diagnostik mit der MRT ist der Untersucher in der Lage zu beurteilen, in wie weit eine diagnostische Arthroskopie, die nur einen Teil der Gelenksstrukturen darstellt, sinnvoll ist. Durch die operative und invasive Schlüssellochtechnik ist der Patient operativen Risiken ausgesetzt. Ein großer Vorteil der diagnostischen Schlüssellochtechnik liegt jedoch in der gleichzeitigen Möglichkeit der Therapie. Wie man anhand der Auswertung erkennen kann, wurden nur in einem der 34 Fälle keine weiterführenden therapeutischen Maßnahmen durchgeführt. Bei den übrigen 33 Patienten konnte im Anschluss an die Diagnostik die arthroskopische (n=13) oder/ und die offene Therapie (n=20) angeschlossen werden. Somit scheint es, dass die Indikation für die Operation in fast allen Fällen richtig gestellt wurde. Nicht zuletzt ist dies wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass das Voranstellen der richtigen Bildgebung wichtige Hinweise zur Erstellung einer Verdachtsdiagnose geliefert hat.

Vergleicht man die Erfolgsquote in der Diagnostik bei Beschwerden im Handgelenk von den bildgebenden Verfahren CT und MRT mit der diagnostischen Arthroskopie, wie in dieser Arbeit dargestellt, so lassen sich im Einzelnen folgende Aussagen treffen:

7.1.1 Vergleich CT mit diagnostischer Arthroskopie

Stellt man die Untersuchungsergebnisse der CT- Untersuchung denen der diagnostischen Arthroskopie gegenüber, so zeigt sich anhand der Ergebnisse, dass die CT und die diagnostische Arthroskopie gleichermaßen gut geeignet scheinen, eine Beurteilung von *Knochenveränderungen*, wie Frakturen oder Fusionen zuzulassen. Pathologien der *Ligamente* waren mit Hilfe der CT nicht sicher zu diagnostizieren. Lediglich der knöcherner Ausriss eines Ligamentes konnte in der CT- Untersuchung gut dargestellt werden und somit einen Hinweis auf eine ligamentäre Schädigung geben. Bei der Beurteilung der *Knopelschäden* ließ sich festhalten, dass das CT im Gegensatz zur Arthroskopie nicht in der Lage war, Knorpel zu beurteilen. Pannus oder eine Synovialitis waren mit der Computertomographie nicht beurteilbar, sondern nur mit Hilfe der diagnostischen Spiegelung zu erkennen.

Fazit:

Es lässt sich feststellen, dass die Arthroskopie in der Handgelenksbeurteilung vielfältiger war als die CT. Die Beurteilung von Frakturen oder knöchernen Strukturen war mit Hilfe der Spiegelung zwar ebenfalls möglich, im CT aber sicherer zu sehen. Kritik lässt sich in der geringen Patientenzahl und somit einer geringen statistischen Aussagekraft manifestieren.

7.1.2 Vergleich MRT mit diagnostischer Arthroskopie

Mit Hilfe des MRT als nicht invasive Methode ist der Untersucher in der Lage, wichtige Elemente des gesamten Handgelenkes gut zu beurteilen und sich eine sehr gute Übersicht über die einzelnen Strukturen zu schaffen. Mit der diagnostischen Arthroskopie als invasive Technik, ist die Beurteilung des Radiokarpal-, Mediokarpal- und des distalen Radioulnargelenkes, also nur einem Teil des Handgelenkes möglich. Der Vorteil der diagnostischen Arthroskopie liegt in der Möglichkeit der anschließenden Therapie in derselben Sitzung. D.h. nicht jedes der beiden Verfahren ist in der Lage alle Strukturen gleich gut darzustellen.

Bei der Beurteilung von *knöchernen Strukturen* wurden Mikrofissuren (bone bruises) ausschließlich mit der MRT diagnostiziert. Erst höhergradige Schädigungen, wie Frakturen wurden in der diagnostischen Arthroskopie und in der MRT sichtbar. Bei nicht eindeutigen Befunden kam es zu einer unterschiedlichen Beurteilung des Ausprägungsgrades der Knochenschädigung durch die verschiedenen Verfahren.

Schädigungen der *Handgelenksbänder* kamen häufig vor. Vor allem waren der Discus triangularis und das SL-Band betroffen. Zur Beurteilung von *ligamentären Pathologien* war die Lage des Bandes entscheidend. Lag das betreffende Band in einem schwierig einsehbaren Bereich, wie bspw. das palmarseitig- gelegene Lig. scaphotrapeziotrapezoideum (STT) (Abbildung 4), das durch die üblicherweise streckseitig durchgeführten diagnostischen Arthroskopie nicht erfasst wird, war dieses ausschließlich in der MRT beurteilbar. Waren die Ligamente gut zugänglich für die Arthroskopie, wie der TFC oder das SL-Band, so konnten diese in der MRT und der diagnostischen Schlüssellochoperation gleichermaßen gut beurteilt werden. So zeigte die durchgeführte Studie im Einzelnen, dass die diagnostische Arthroskopie und die MRT beide geeignet waren, dorsal oder zentral gelegene ligamentäre Strukturen, wie der TFC oder das SL-Band einzusehen, wobei der Ausprägungsgrad der Schädigungen in der MRT bei 11 von 14 Pathologien als höhergradig eingeschätzt wurde. Bei der diagnostischen Arthroskopie ist der Untersucher mittels Testhaken in der Lage, den Verdacht der ligamentären Schädigung zu verifizieren und den genauen Grad zu beurteilen. Zu klären wäre, ob die MRT ligamentäre Störungen in den untersuchten Fällen als zu ausgeprägt angesehen hat, oder ob die Untersuchung mit dem Testhaken in der Arthroskopie nicht in ausreichendem Maße den Schädigungsgrad beurteilen kann.

In der vorliegenden Studie konnten Störungen des *Knorpels* in der MRT doppelt so oft erkannt werden, wie in der diagnostischen Arthroskopie. Es ergab sich, dass die MRT-Untersuchung bei der Beurteilung von Knorpelschäden/-verletzungen differenziertere Ergebnisse als die diagnostische Arthroskopie geboten hat. In der MRT konnten insgesamt 22 Knorpelschädigungen diagnostiziert werden, hingegen konnten in der diagnostischen Arthroskopie nur 14 Schädigungen des Knorpels beobachtet werden. Eine mögliche Ursache dieses Ergebnisses könnte sein, dass bei intakter Knorpeloberfläche, die folglich in der diagnostischen Arthroskopie als nicht pathologisch beschrieben wird, eine ödematöse Veränderung im Knorpel in der MRT zur Darstellung kommt. So wurden von insgesamt 6 beschriebenen Knorpelschädigungen 1° im MRT alle 6 Fälle und in der Arthroskopie nur 3 Pathologie gesehen. Eine weitere Ursachenmöglichkeit könnte sein, dass die Knorpelschäden in der MRT an Stellen beschrieben wurden, die bei dem jeweils gewählten arthroskopischen Zugang nicht einsehbar waren.

Der *Pannus* als Destruktionsvorgang des Knorpels wurde abhängig von seiner Lage und Ausprägung in beiden Verfahren beschrieben.

Bestimmte Pathologien wie eine *Knochenfusion* zwischen dem Os lunatum und dem Os triquetrum wurden ausschließlich in der MRT-Untersuchung sichtbar. Sie kommt in der Regel in der diagnostischen Arthroskopie nicht zur Darstellung, weil der Untersucher bei der Spiegelung keine Lücke zwischen Os lunatum und Os triquetrum sehen kann und daher nicht von einer Bandruptur ausgeht. Folglich findet dies als Pathologie bei der Arthroskopie keine Beachtung, sofern ein initial durchgeführtes Röntgenbild die Fusion der beiden Handwurzelknochen nicht bereits dargestellt hat.

Eine *DISI-Stellung* wurde nur einmal im MRT diagnostiziert. Um eine DISI-Stellung in der MRT zu diagnostizieren, ist eine sagittale Schichtführung notwendig. Einen solchen Einblick in das Gelenk kann man mit Hilfe der diagnostischen Arthroskopie nicht erhalten, weshalb sie in der Gelenkspiegelung folglich nicht zu sehen ist. Ebenso wie bei der Knochenfusionen kann die DISI-Stellung in der Regel im vorangegangenen Standardröntgen bereits dargestellt werden und weitere Bildgebung zur Abklärung ausschließlich dieser Pathologien nicht nötig ist.

In wie weit eine *Synovitis* auch in der MRT gut zu bewerten ist, kann aufgrund der geringen Fallzahl nicht beurteilt werden. Sie wurde nur einmalig in der diagnostischen Arthroskopie beschrieben.

Der *Erguß*, als Reaktion auf eine Entzündung, wurde ausschließlich in der MRT beschrieben. Als Grund für dieses Phänomen ist die Eröffnung des Gelenkes bei der Operation anzusehen, bei der der Erguss „ausläuft“. Somit ist der Erguß in der Arthroskopie nicht mehr zu beurteilen.

Ob ein *Ganglion* ausschließlich in der MRT oder/ und der Schlüsselochdiagnostik zu erkennen war, war abhängig von der Lage des Überbeines. Ganglien kamen jedoch grundsätzlich in beiden Verfahren zur Darstellung.

Eine so genannte *+Stellung*, mit Verschiebung der Ulna nach distal, konnte in beiden Verfahren erkannt werden, wobei eine solche Stellung auch einmal alleinig in der diagnostischen Arthroskopie zu sehen war. Hierbei ist anzumerken, dass bei einer fehlerhaften Lagerung der Hand bei der MRT-Aufnahme die Gefahr besteht, die Stellung der Ulna so zu verändern, dass eine pathologische Stellung als physiologisch fehlinterpretiert werden kann z.B. bei Lagerung in Supination oder Radialduktion.

Fazit:

Zusammenfassend kann man sagen, dass die MRT bei der Suche nach der Ursache für Handgelenksbeschwerden eine sehr gute Übersicht über die einzelnen Strukturen des gesamten Handgelenkes abbildet. Wichtige Elemente des Handgelenkes sind mit der nicht-invasiven Diagnostik gut beurteilbar. So können schon kleinste Mikrofissuren im Knochen und Knochenfehlstellungen (z.B. DISI- Stellung, Knochenfusion oder +/-Ulna- Stellung) erkannt werden. Kleine ligamentäre Schäden lassen sich gut darstellen und geringgradige Störungen des Knorpels sind früher zu erkennen, wie bei der diagnostischen Arthroskopie. Es lassen sich Ganglia zweifelsfrei abbilden und man erkennt im Gegensatz zur diagnostischen Arthroskopie einen Erguß.

Mit der Schlüsselochdiagnostik als invasive Methode ist die Beurteilung des Radiokarpal-, Mediokarpal- und des distalen Radioulnargelenkes, also nur einem Teil des Handgelenkes möglich. Der Vorteil der diagnostischen Arthroskopie liegt in der Möglichkeit der anschließenden Therapie in derselben Sitzung. Im Rahmen der zu beurteilenden Region ist der Untersucher in der Lage Knochenfrakturen und höhere Knochenschädigungen darzustellen, wobei durch die Darstellung des Handgelenkausschnittes Knochenfehlstellungen wie DISI-Stellung, Knochenfusion oder +/- Ulna-Stellung nur eingeschränkt bzw. nicht abbildbar sind. Ligamentäre Störungen können sehr gut differenziert und durch Testung der

Bandstabilität mittels Testhaken genau beurteilt werden. Eine Gelenksentzündung (Synovitis) ist in der diagnostischen Arthroskopie darstellbar, und je nach Lokalisation können auch Ganglien oder Pannus mit dieser Methode gefunden werden.

Die MRT sollte als ergänzende Untersuchung der diagnostischen Arthroskopie voran gestellt werden, um dem untersuchenden Arzt einen Überblick über das gesamte Handgelenk zu geben. Mit dieser nicht- invasive Methode ist es möglich, einen Vorstellung über die Schmerzursache zu bekommen. Sind Strukturen betroffen, deren Schädigung durch die Arthroskopie verifiziert und möglicherweise therapiert werden können, sollten beide Untersuchungen durchgeführt werden.

7.2 Kritische Beurteilung der Methodik und der Ergebnisse

Verschiedene Kritikpunkte sind bei der durchgeführten Arbeit aufzuführen:

Bei der Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Studie. Da sie sich auf Material stützt, das bereits vorhanden war, gab es für die einzelnen Untersuchungen keinen Auswertungsbögen, bei dem alle wichtigen Strukturen klassifiziert aufgeführt waren. Je nach Untersuchung konnte man unterschiedliche Beschreibungen für die Darstellung einer Diagnose finden, so dass Raum für Interpretationen entstand. Eine objektive Einordnung der Pathologien war somit teilweise erschwert. Ein Beispiel: Es wird im OP-Bericht „eine Ruptur und geringgradige Dehiszenz im Bereich scapholunären Bandes“ beschrieben. Die Frage die sich daraus ergibt ist, ob der Operateur hier von einer Teilruptur, wie im MRT beschrieben, oder einer Kompletruptur spricht. Da in diesem Fall von „geringgradige Dehisenz“ gesprochen wird und in der MRT eine Teilruptur gesehen wurde, ist die Aussage des Op-Berichtes eher als „Teilruptur“ zu verstehen.

Insgesamt wurde für die Studien 34 Patienten ausgewertet. Häufige Schädigungen waren im Bereich des SL- Bandes oder des TFC, sowohl in der diagnostischen Arthroskopie, wie auch in der MRT zu sehen. Beim Vergleich der CT und der diagnostischen Arthroskopie zeigten sich Frakturen in hoher Anzahl in beiden Verfahren. In diesen Fällen war der Vergleich der beiden Untersuchungsverfahren problemlos möglich. Hingegen fanden sich einige Diagnosen sehr selten. So zeigte sich die Knochenfusion zwischen dem Os lunatum und dem Os triquetrum nur einmal in der MRT, bzw. wurde nur einmalig im CT und der diagnostischen Arthroskopie beschrieben. Ähnlich konnte eine Synovitis nur einmal in der diagnostische Arthroskopie und eine DISI- Stellung nur einmalig in der MRT gesehen werden. Bei diesen

seltenen Befunden ist ein Vergleich zwischen den einzelnen Diagnoseverfahren aufgrund der geringen Anzahl leider nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich.

Von den 34 Probaten wurde bei 6 Patienten ein CT durchgeführt; bei 28 Personen erfolgte die Diagnostik mittels MRT, wobei davon 14-mal Kontrastmittel gegeben wurde. Zum einen könnte sich ein Kritikpunkt auf die geringe Anzahl der CT- Untersuchungen im Vergleich zu der Anzahl der MRT- Untersuchungen beziehen. Zum anderen wurde bei der Auswertung nicht unterschieden zwischen der MRT ohne und mit Kontrastmittel. Die Durchführung der Diagnostik mit Hilfe der CT ist als Voruntersuchung zur diagnostischen Arthroskopie im Vergleich zur MRT selten. Trotz intensiver Suche wurde unter Einhaltung der Ausschlusskriterien (siehe 5. Material und Methoden) in nur 6 Fällen eine Computertomographie durchgeführt. Auf eine Differenzierung der MRT ohne und mit Kontrastmittel wurde bewusst verzichtet. Grund hierfür ist, dass bei der Interpretation der Aufnahmen keine exakte Unterscheidung zwischen diesen Aufnahmen stattfinden konnte. Dies hätte vorausgesetzt, dass nach einer Nativserie eine Wiederholung der betreffenden Aufnahmen mit Kontrastmittel hätte angefertigt werden müssen, um einen Vergleich zwischen den Aufnahmen ziehen zu können. Bei einer retrospektiven Studie ist das allerdings nicht möglich.

Die relativ geringe Fallzahl der Patienten von 34 ist damit zu erklären, dass nur bei wenigen Patienten sowohl die MRT oder CT- Untersuchung wie auch die diagnostische Arthroskopie durchgeführt wurde. Eine Vielzahl der Patienten brachte entweder extern gefertigte Bilder zum arthroskopischen Eingriff mit oder es wurde nach der Bildgebung keine Operation angeschlossen. In diesen Fällen war eines der Einschlusskriterien für die Studie nicht erfüllt.

Für die Ausarbeitung der Ergebnisse steht kein standardisiertes Auswertungsverfahren zur Verfügung. Somit war es nötig, ein eigenes Programm für die Ausarbeitung zu konzipieren. Um den Auswertungsvorgang nachzuvollziehen zu können, ist es für den Leser nötig, sich mit dem Konzept vertraut zu machen.

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde bewusst auf die in der Literatur oft beschriebenen Angaben von Sensitivität (nicht pathologische Befunde, die als nicht pathologisch erkannt wurden) und Spezifität (Pathologien, die als pathologisch erkannt wurden) verzichtet. Um diese Werte zu bestimmen, ist es notwendig, die Ergebnisse aus der diagnostischen Arthroskopie und der beurteilten Bildgebung mit den tatsächlich- sicher vorhandenen Veränderungen in Relation zu setzen. Hierfür wäre beispielsweise eine komplette Eröffnung

mit vollständiger Darstellung aller Strukturen nötig gewesen. Diese Information können in der klinischen Anwendung nicht gewonnen werden.

Ebenfalls wurden keine prozentualen Angaben bei der Ergebnisauswertung angegeben. Der Grund hierfür liegt in der kleinen Fallzahl der Studie. So wurde zum Beispiel im Vergleich von MRT und diagnostischer Arthroskopie in 2 von 2 Fällen eine schwere Schädigung 3°-4° des Knorpels der Fossa scaphoidea radii im MRT gesehen, also 100%. Dies würde bedeuten, dass in der diagnostischen Arthroskopie keine schweren Schädigungen dieser Struktur beurteilbar sind. Da aber leichte und mittlere Schäden des Knorpels der Fossa scaphoidea radii sowohl in der MRT und der diagnostischen Arthroskopie beschrieben wurden, ist davon auszugehen, dass es sich bei diesen 2 Fällen mit großer Wahrscheinlichkeit um einen Zufall handelt; die 100% würden dem Leser also einen falschen Eindruck der Ergebnisse vermitteln.

7.3 Vergleich der Studie mit Fremdliteratur

Schädel-Höpfner et al. [33] veröffentlichten 2001 eine prospektive Vergleichsstudie, in der 45 Patienten mit distaler Radiusfraktur mit Hilfe der MRT (mit oder ohne i.v. Kontrastmittel) und der diagnostischen Arthroskopie auf Begleitverletzungen des SL- Bandes hin untersucht worden sind. Ziel der Arbeit war es, die Aussagefähigkeit und Verlässlichkeit der MRT für die Beurteilung der intrinsischen und extrinsischen Bänder des Karpus durch Vergleich mit der Arthroskopie zu überprüfen. Dabei stellte er fest, dass in nur 76% der Fälle eine übereinstimmende korrekte Diagnosestellung durch die MRT und der diagnostischen Arthroskopie erreicht werden konnte. Sensitivität und Spezifität der MRT lagen bei 71%, beziehungsweise 86%. Durch die intravenöse Kontrastmittelgabe konnte die Aussagefähigkeit der MRT nicht erhöht werden. Während die konventionell durchgeführten MRT-Bilder in 80% richtig befundet wurden, lag die Übereinstimmung mit dem Arthroskopiebefund nach zusätzlicher Magnevist-Gabe nur bei 70%. Durch die indirekte, also intravenöse MR-Arthrographie konnte die Spezifität zwar gesteigert werden, die Sensitivität dagegen verschlechterte sich. Es lässt sich durch diese Arbeit nicht bestimmen, ob durch die intravenöse Gabe von Kontrastmitteln eine Verbesserung der Sensitivität und Spezifität bei der Beurteilung der MRT-Aufnahmen erreicht werden kann. Der Grund ist wie bereits erwähnt die Tatsache, dass es sich hier um eine retrospektiven Studie handelt, bei der keine Vergleichsaufnahmen gemacht wurden.

Des Weiteren stellte Schädel-Höpfner eine starke Abweichung der MRT-Befunde durch die drei unabhängig voneinander arbeitenden erfahrenen Ärzte fest. In nur 24 von 45 Fällen

wurde die MRT von allen drei Untersuchern identisch befundet und eine Übereinstimmung fand sich mit dem Arthroskopiebefund nur in 19 Fällen. Er schlussfolgerte aus diesen Ergebnissen, dass die MRT keine ausreichende Sicherheit bei der Beurteilung der intrinsischen Handgelenksbänder wie dem SL-Band zulässt, da die Befunde abhängig sind von der Subjektivität und der Erfahrung des Untersuchers. Inwieweit verschiedene Untersucher die MRT-Bilder unterschiedlich werten, ist durch meine Studie nicht zu sagen, da die Befunde nur von einem erfahrenen radiologischen Oberarzt erstellt wurden.

Schädel-Höpfner et al. sehen die Arthroskopie als diagnostischer Goldstandard zu Erkennung von scapholunären Bandschäden, die trotz ihrer Risiken nicht durch die MRT zu ersetzen ist. In der vorliegenden Studie wurde 16mal die Schädigung des SL-Bandes unterschiedlicher Ausprägung beschrieben. Davon konnte in 14 Fällen die Pathologie sowohl in der diagnostischen Arthroskopie wie auch in der MRT erkannt werden. Nur jeweils einmal in jedem Verfahren lies sich ein SL-Schaden sehen, der in der jeweils anderen Untersuchung nicht zu erkennen war. Im Gegensatz zu den Ergebnissen des Autors kann man bei dieser Arbeit zusammenfassen, dass die diagnostische Arthroskopie und die MRT gleichermaßen gut geeignet scheinen, das SL-Band zu beurteilen. Unter Beachtung aller ausgewerteten ligamentären Strukturen (Lig. lunotriquetrum, Lig. scapholunatum, Lig. scaphotrapeziotrapezoideum, Discus triangularis) wurden unabhängig der Schwere der Verletzung 31 der insgesamt 40 gefundenen Pathologien sowohl in der MRT, wie auch in der diagnostischen Arthroskopie gesehen. Die verbleibenden 9 Verletzungen waren im Verhältnis 5 zu 4 einmal mehr in der MRT befundet und in der jeweils anderen Untersuchung nicht beschrieben worden. Nach der Auswertung der Studienergebnisse lässt sich resümieren, dass die Durchführung der MRT genauso sinnvoll in der Diagnostik von Bandschäden zu sein scheint, wie die Handgelenksarthroskopie.

In einer Studie von Katsching et. al. [34] wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die präoperativ durchgeführte Magnetresonanztomographie mit direkter und indirekter Kontrastmittelgabe des Handgelenkes in Bezug auf Verletzungen des Discus triangularis oder der scapholunären Bänder in der anschließenden Arthroskopie vergleichbare Ergebnisse liefert. Dazu wurden die Daten von 58 Patienten ausgewertet, die in der Zeit von 1998 bis 2003 untersucht wurden. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse kamen die Autoren zu dem Schluss, dass bei entsprechender Klinik und Vorgeschichte die MRT des Handgelenkes präoperativ als nützliche, nicht invasive ergänzende Voruntersuchung bei Verletzungen im

Handgelenk gesehen werden muss. Eventuell könne die Aussagekraft bezüglich Verletzungen des Discus triangularis beziehungsweise der scapholunären Bänder durch Einsatz der indirekten Kontrastmittelgabe erhöht werden. Angesichts des invasiven Charakters der konventionellen Arthrographie spricht die geringe Sensitivität der Untersuchungsergebnisse für die Verfasser gegen ihre weitere Durchführung. Die Arthroskopie des Handgelenkes bleibt für sie Standard in der Therapie bei Verdacht auf Handgelenksverletzungen. Lässt man die Untersuchung des Handgelenkes mittels direkter Arthrographie außer Acht, stützen die eigenen Ergebnisse die Schlussfolgerungen von Katsching et al.

In dem von Meier et. al. [35] verfassten Artikel „Bildgebende Verfahren am Handgelenk“ werden die wichtigsten diagnostischen Verfahren zur Darstellung der Handgelenksstrukturen aufgeführt. Meier beschreibt die CT als Schnittbildtechnik, die insbesondere in der Frakturdiagnostik einzusetzen ist. Moderne hochauflösende Spiral-CT bieten seiner Meinung nach in Verbindung mit der multiplanaren Rekonstruktionstechnik eine detailgetreue, nichtinvasive Möglichkeit der Abbildung von knöchernen Verletzungen aus vielen Blickwinkeln. Er gibt jedoch zu bedenken, dass bei mangelhafter Indikationsstellung nicht alle gewünschten Informationen rekonstruiert werden können. So ist seiner Meinung nach die CT vornehmlich bei ossären Fragestellungen, wie Frakturen oder Arthrosen oder mit i.v. Kontrastmittel zur Erfassung von entzündlichen Prozessen indiziert. Sind sowohl CT und MRT verfügbar, zieht der Autor aufgrund der höheren Aussagekraft die MRT der CT vor. Die Aussage Meiers, dass die CT hauptsächlich bei ossären Indikationen durchzuführen ist, deckt sich mit den hier herausgearbeiteten Ergebnissen. Meier beschreibt die MRT als Möglichkeit Schnittbilder aus allen beliebigen Ebenen abzubilden und in 2D- oder 3D- Technik zu rekonstruieren. Vorteile sieht er in der guten Darstellung der Weichteilstrukturen mit guter Differenzierungsfähigkeit der einzelnen Gewebe. Die Indikation der MRT sei prinzipiell zur Diagnostik von Frakturen, Verletzungen des Sehnen-/Bandapparats, Tumoren, Nekrosen und Entzündungen gegeben, wobei eine Verbesserung der Aussagekraft durch die i.v.-Gabe von Kontrastmittel zu erzielen wäre. Jedoch gibt Meier zu bedenken, dass die MRT im Vergleich zur CT bei der Beurteilung von Frakturen Limitationen aufweist: So führt er die Gefahr der Fehldeutung von signalreicher Darstellung von bone bruise als Fraktur auf. Außerdem sieht er eine verminderte Beurteilbarkeit von Frakturzonen durch die schlechtere Ortsauflösung des MRT. Auch in der dargestellten Arbeit hat sich gezeigt, dass die MRT in der Lage ist, alle Strukturen gut darzustellen und eine umfangreiche Übersicht über das Gelenk bietet. Von 15 pathologisch-ossären Veränderungen wurden in der vorliegenden Studie von 10

diagnostizierten bone bruises 8 nur alleinig im MRT und nur 2 sowohl im MRT wie auch in der Arthroskopie beschrieben. Von 5 diagnostizierten Frakturen fanden sich 4 ausschließlich in der MRT und 1 sowohl in der MRT wie auch in der diagnostischen Arthroskopie. Es muss die Möglichkeit bedacht werden, dass die Fehldeutung von signalreichem bone bruise als Fraktur abhängt von der Erfahrung des zuständigen Radiologen ist. Dies wird unterstützt durch die Tatsachen, dass in den Auswertungen relativ häufig von der Diagnose „bone bruise“ gesprochen wird. Inwieweit das Kontrastmittel die Aussagefähigkeit der Untersuchung verbessert, lässt sich nicht durch diese retrospektive Studie sagen. Grund hierfür ist, dass keine Unterscheidung in der Befundung der MRT-Bilder vor und nach i.v. Kontrastmittelgabe gemacht wurde bzw. Arthrographien mit intraartikulärer Kontrastmittelgaben nicht in die Studie mit einbezogen wurden. Die diagnostische Handgelenksarthroskopie gestattet laut dem Autor einen direkten Blick auf die einzelnen Gelenksstrukturen. Die Indikation zur diagnostischen Arthroskopie besteht bei Schmerzzuständen des Radioulnokarpal- oder Mediokarpalgelenks und bei frischen Verletzungen mit Verdacht auf ligamentäre Schädigungen, die nicht durch nicht-invasive Untersuchungstechniken abklärbar sind. Meier weist darauf hin, dass eine frühzeitige exakte Diagnosestellung bei frischen Verletzungen notwendig ist, um unfallnah eine Versorgung durchzuführen. Resümierend sagt Meyer, dass durch eine gute Anamnese, gezielter körperlicher Untersuchung und damit verbundener exakte Fragestellung an den Radiologen unter Berücksichtigung der Untersuchungsrisiken die Diagnostik und Therapie kostengünstig beeinflusst werden können. Diese Aussage bestätigt die vorliegenden Untersuchungsergebnisse.

Beyermann [36] empfiehlt in seinem Artikel über die Diagnostik und Therapie von TFCC-Läsionen zunächst eine Nativröntgenaufnahme. Hier sollte eine Bestimmung der Längenverhältnisse von Ulna und Radius zueinander erfolgen, da Ulna + Varianten seiner Meinung nach eher auf eine Verletzung des TFCCs hindeuten. Beyermann weist darauf hin, dabei auf eine traumatisch- bedingte Veränderung des distalen Radio- Ulnargelenkes oder der Radiokonsole im Seitenvergleich zu achten. Eine Instabilität des distalen Radio- Ulnargelenkes sei insbesondere anhand einer Luxationsstellung des Ulnakopfes in der seitlichen Aufnahme zu erkennen und durch ein CT-Untersuchung verifizierbar. Dies zeige sich indirekt oft durch eine knöcherne Absprengung des Processus styloideus ulnae, sofern der distale ulnare Anteil des TFCCs betroffen ist. Ist keine Instabilität vorhanden, kann zunächst ein konservativer Behandlungsversuch vorgeschaltet werden. Hat man den Verdacht auf eine TFCC- Läsion, empfiehlt er frühzeitig eine Arthroskopie des betroffenen

Handgelenks durchzuführen. Die Arthrographie und die MRT-Untersuchung sollten seiner Meinung nach Ausnahmefällen vorbehalten sein. Er begründet dies wie folgt:

1. Sowohl Arthrographie als auch MRT erreichen hinsichtlich Sensitivität und Spezifität nur eine eingeschränkte Treffsicherheit, die je nach Autor zwischen 80 und 90% liegt.
2. Bei anhaltenden typischen klinischen Beschwerden ist, trotz negativem radiologischen Befund eine Arthroskopie erforderlich.
3. Verletzungen des lunotriquetralen Bandapparates, die als Differentialdiagnose in Betracht kommen, da sie ähnliche Beschwerden verursachen, können arthroskopisch mit hoher Sicherheit diagnostiziert werden, während sie im MRT nicht sicher zu erfassen sind.
4. Die Arthroskopie bietet neben der sicheren Diagnostik die Möglichkeit zu therapeutischen Eingriffen am TFC mit der Aussicht auf dauerhaften Erfolg.

Im Vergleich zu der eigenen Studie lässt sich sagen, dass Beyermann übereinstimmend beschreibt, dass die CT- Untersuchung Bandverletzung nur indirekt durch Darstellung von knöchernen Strukturen wie Fehlstellungen oder (Ausriss-)Frakturen anzeigt. Hingegen ist das CT nicht geeignet ligamentäre Pathologien direkt zu diagnostizieren. In der eigenen Arbeit hat sich im Gegensatz zu der Aussage von Beyermann gezeigt, dass dorsal oder zentral gelegene ligamentäre Strukturen, wie der TFC im MRT und der diagnostischen Arthroskopie gleichermaßen gut einsehbar waren, wobei von 20 beurteilten TFC- Läsionen 19 in der MRT und 18 in der Arthroskopie beschrieben wurden. Von den zwei in der eigenen Studie als pathologisch- beschriebenen Veränderungen des Lig. lunotriquetrum (LTq) waren allerdings keine in der MRT zu finden. In diesen Fällen war die diagnostische Arthroskopie der MRT überlegen, wie es auch von Beyermann beschrieben wird. Ein Grund für die von Beyermann kritisierte eingeschränkte Treffsicherheit der MRT in der Diagnostik von ligamentären Läsionen und den eigenen Ergebnissen, könnte darin zu begründen sein, dass der von ihm verfasste Artikel von 1999 stammt und sich bis zum heutigen Datum die Empfindlichkeit und damit die Genauigkeit der Darstellung der Gelenkstrukturen durch Verbesserung der Handgelenkspulen deutlich erhöht hat.

Vergleichend lässt sich feststellen, dass die Meinung über die Aussagefähigkeit und damit einhergehende Notwendigkeit der diagnostischen Handgelenksuntersuchung unterschiedlich von den verschiedenen Autoren bewertet wird. So sind einige Autoren [37] der Meinung, dass eine präoperative Diagnostik mittels Magnetresonanztomographie zu wenig Aussagefähigkeit

hat und überflüssig in Bezug auf die auch therapeutisch einsetzbare diagnostische Arthroskopie ist. Andere Autoren [38] bemerken hingegen, dass sofern nur eine alleinige diagnostische Arthroskopie ohne vorhergehende Untersuchungen durchgeführt wird bei fehlender Pathologie chirurgische Konsequenzen oft ausbleiben. Damit seien alleinige diagnostische Arthroskopien ohne bildgebende Verfahren, auch aufgrund der operativen Risiken und Komplikationen [39] nicht sinnvoll.

Bezüglich der Gabe von Kontrastmittel bei der MRT bevorzugen manche Verfasser [40] die direkte Arthrographie als einzige aussagekräftige präoperative Untersuchungsmethode bei ligamentären Verletzungen und bezeichnen die MRT als nicht aussagekräftig. Andere hingegen diskutieren kontrovers und bezeichnen die indirekte (i.v.) MR-Arthrographie als sinnvolle Screeningmethode [41], da so ligamentäre Pathologien besser als in der konventionellen MRT zu Darstellung kommen würden [38]. Aber auch hier widersprechen sich einzelne Autoren [42].

Für einige Verfasser ist die alleinige klinische Untersuchung des Handgelenkes gemeinsam mit einer ausführlichen Anamnese durch geübte Ärzte präoperativ ausreichend. Auf jegliche apparative Diagnostik wie Röntgen, Arthrographie oder MRT könnte verzichtet werden [43].

Zusammenfassend findet sich keine allgemein- übereinstimmende Meinung für eine sinnvolle Routinediagnostik von Handgelenksbeschwerden in der Literatur.

7.4 Ausblick

Um offen gebliebene Fragen zu klären, wäre die Durchführung einer weiteren prospektiven Arbeit “diagnostische Handgelenksuntersuchung: Arthroskopie versus MRT“ nötig. So könnten die Fragen erläutert werden, in wieweit die intravenöse Gabe von Kontrastmittel die Aussagefähigkeit der MRT- Untersuchung bei der Beurteilung von Handgelenkspathologien verbessert, welche Einstellung der Sequenzen für welche Strukturbeurteilung optimal ist (Entwicklung allgemeiner Richtlinien), welche technischen Anforderungen an das Gerät zu stellen sind, um optimale Aufnahmen zu erhalten und in welchem Maße der Wissensstand und die Erfahrung des Radiologen die Befundung der Bilder beeinflusst. Um aussagefähige prozentuale Angaben machen zu können, wäre ein größeres Patientenkollektiv als das in dieser Studie wichtig. Die Erstellung eines standardisierten Befundbogens wäre sinnvoll. Dieser sollte sowohl von mehr als zwei unabhängigen Radiologen mit unterschiedlichem Wissen- und Ausbildungsstand, wie auch Operateuren die die diagnostische Arthroskopie durchführen, ausgefüllt werden. Die Durchführung einer solchen Studie wäre in Anbetracht der zunehmend notwendigen Einsparungen im Gesundheitswesen sinnvoll, um kostensparende Richtlinien in der Diagnostik bei Handgelenksbeschwerden zu entwickeln. Da die Ergebnisse der CT- Untersuchungen im Vergleich zu anderer Literatur keine wesentlichen Unterschiede aufgewiesen haben, kann auf die Einbeziehen dieser Untersuchung in einer weiteren Studie verzichtet werden.

8 Zusammenfassung

Bei akuten oder chronischen Handgelenksbeschwerden stellt sich nach Anfertigung einer Röntgenaufnahme oft die Frage, welche diagnostische Maßnahme zur Ursachenklärung angeschlossen werden sollte. Übliche Untersuchungsmethoden sind das CT bei Verdacht auf ossäre Läsionen, die MRT bei Hinweise auf ligamentäre Störungen oder die diagnostische Handgelenksarthroskopie.

Diese retrospektive Studie hat diese drei diagnostischen Maßnahmen gegenübergestellt und die CT und die MRT mit der diagnostischen Arthroskopie verglichen. Zu diesem Zweck wurden die Untersuchungsdaten von 34 Patienten, die im Zeitraum von 2001 bis 2006 in der Universitätsklinik Frankfurt am Main untersucht wurden ausgewertet.

Dabei hat sich bestätigt, dass bei Verdacht auf knöcherne Läsionen, Knochenfehlstellungen oder Knochenanomalien ein Untersuchung mittels CT am sinnvollsten zur sichern Diagnosestellung ist. Im Vergleich von der CT und der diagnostischen Arthroskopie konnten alle 5 gesehenen ossären Schäden in beiden Verfahren erkannt werden. Die diagnostische Arthroskopie scheint also abhängig von der Lokalisation der Pathologie und dem gewählten arthroskopischen Zugang gleichwertig in der Diagnostik knöcherner Schädigungen zu sein. Zur Beurteilung von ligamentären Störungen, Knorpeldestruktionen oder Synovialitis, ist die CT im Gegensatz zur diagnostischen Arthroskopie aufgrund der eigenen Ergebnisse ungeeignet.

Im Vergleich von MRT und diagnostischen Arthroskopie in der Bewertung von Knochenläsionen, können Bone bruise ausschließlich in der MRT, Frakturen der distalen Handwurzelreihe, aber in der MRT und der diagnostischen Arthroskopie erkannt werden. Störungen des Knorpels unterschiedlichen Ausmaßes, zeigten sich in der MRT doppelt so oft wie in der diagnostischen Arthroskopie, so dass die MRT in der eigenen Studie bei der Beurteilung des Knorpels der Arthroskopie überlegen war. Bei der Beurteilung von Ligamenten sind MRT und diagnostische Arthroskopie in der Lage gleichgut Schädigungen zu erkennen, sofern das Ligament im Zugangsbereich der Spiegelung liegt.

Die MRT bietet also eine sehr gute Übersicht über wichtige Strukturen des gesamten Handgelenkes und lässt Pathologien oft schon früher erkennen als die diagnostische Arthroskopie. Vorteil der diagnostischen Arthroskopie und gleichzeitig Nachteil der MRT ist die Möglichkeit der anschließenden Therapie in derselben Sitzung.

Nachteile der Arthroskopie sind die Invasivität, der Aufwand, die Kosten und dass je nach gewähltem Zugang nur ein Teil des Handgelenkes beurteilbar ist.

Wichtig erscheinen zusammengefasst eine gute Anamnese, eine gezielte körperliche Untersuchung und die damit verbundene möglich exakte Verdachtsdiagnose. Dadurch ist es möglich unter Berücksichtigung der Untersuchungsrisiken die Diagnostik und Therapie kostengünstig zu beeinflussen. Bei Verdacht auf ossäre Schäden wäre nach der Röntgenaufnahme ein CT sinnvoll. Finden sich auf dem Röntgenbild indirekte Anzeichen für Verletzungen anderer Genese und ist die Verdachtsdiagnose sehr wahrscheinlich und mittels Arthroskopie behandelbar, sollte sich direkt eine diagnostische Arthroskopie anschließen. Ist keine genaue Lokalisation der Handgelenksbeschwerden mit Erstellung einer Verdachtsdiagnose möglich, ist die Durchführung der MRT anzustreben. Zeigen sich hierbei verletzte Strukturen, die mittels Arthroskopie therapiert werden können, sollten beide Untersuchungen durchgeführt werden.

Für die Zukunft wäre die Durchführung weiterer Studien unter Beachtung der zunehmend notwendigen Einsparungen im Gesundheitswesen sinnvoll. So könnten kostensparende Richtlinien aufgestellt und die Durchführung der bildgebenden Verfahren optimiert werden.

Summary

Having acute or chronic wrist pain, usually common x-ray evaluation is performed. If further diagnostic methods are needed the question arises, which should be used. Usually the method is chosen according to the kind of disorder assumed. In a case of bone lesion computer tomography (CT) or assuming ligament disorders Magnetic resonance imaging (MRI) or diagnostic wrist arthroscopy is used.

In this retrospective study those three methods were evaluated; CT and MRI in comparison to diagnostic arthroscopy. Thirty-four patients at the Johann Wolfgang Goethe University Hospital in Frankfurt am Main were analyzed over a period of 6 years between 2001 and 2006.

It has been proven that in a case suspicious to bone lesions, disarranged bones or other kinds of bone anomalies, the use of the CT appears to be the most appropriate solution. The comparison of CT and diagnostic arthroscopy revealed, that both methods can be used to diagnose bone disorders. The diagnostic arthroscopy seems to be comparable to CT for detection of bone disorders, depending on the location of the pathology and the chosen arthroscopic portal. To evaluate disorders of ligaments, cartilage destructions or synovialitis the use of CT is not useful according to the results of this study.

The Comparison of MRI and diagnostic arthroscopy shows that bone bruises can only be found with MRI. Fractures of the carpal bones can be found with both methods. Concerning disorders of the cartilage to various extents, the detection rate using MRI was twice as high, compared to arthroscopy. Regarding the ligaments, both, MRI and diagnostic arthroscopy, could equally identify disorders, presuming that ligament and region of arthroscopy are close to each other.

Thus, MRI gives a very good and useful overview of the wrist structures and therefore disorders can often be identified early. The major advantage of the diagnostic arthroscopy is that diagnostic evaluation and therapy can be done at the same time. Whereas, the MRI is only useful for diagnostic means, the disadvantages of the diagnostic arthroscopy are invasiveness, complexity, high costs and that only the area around the chosen portal can be examined.

Summarizing, it seems to be crucial to have a good anamnesis, a well directed physical examination to achieve an exact initial diagnostic. Therefore the next diagnostic step can be chosen and expenses minimized. If bone disorders are suspected a CT should be done after routine X-ray evaluation. If the X-rays show signs of injuries, that most likely can be treated with an arthroscopy this should be the therapy of first choice. If there is no specific localization of the disorder identified, a MRI is most suitable. If defects were identified, they can be cured using arthroscopy.

Considering the urging pressure to reduce costs in healthcare, further studies seem to be desirable. Using these guidelines, as well as optimized procedures for imaging, costs and time until definitive treatment, will be reduced effectively.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomischer Aufbau des Handgelenkes mit distalem Radius, distaler Ulna und den Handwurzelknochen (vgl.[8],S.4).....	8
Abbildung 2 a: Blick von palmar auf den rechten TFCC; b: schematische Darstellung des rechten TFCC im Koronarschnitt (vgl.[4],S.114).	9
Abbildung 3: Blick von distal auf die radiokarpale Gelenkfläche und den TFCC (vgl.[4],S.114).	10
Abbildung 4: Schematische Darstellung der intrinsischen Ligamente des Handgelenkes (vgl.[8],S.7).	11
Abbildung 5: Schematische Darstellung der extrinsischen Ligamente des Handgelenkes (vgl.[8],S.6).	12
Abbildung 6: Aufbau mediale Säule (vgl.[9],S.149).....	13
Abbildung 7: med. Säule in Extension (re), Neutralnull (mittig), Flexion (li) (vgl.[9],S.149).	14
Abbildung 8: Bandinstabilität der med. Säule (vgl.[9],S.149).....	14
Abbildung 9: Aufbau der radialen Säule (vgl.[9],S.151).	14
Abbildung 10: radiale Säule in Extension (li), Neutralnull (mittig), Flexion (re.) (vgl.[9],S.151).	15
Abbildung 11: Verhalten der radiale (oben) und der medialen Säule (unten) bei Bewegung des Handgelenk in Dorsalextension (vgl.[9],S.151).	16
Abbildung 12: Das Os lunatum kann bei karpaler Instabilität nach dorsal (Extention) oder nach palmar (Flektion) ausweichen. a) DISI- Achsenfehlstellung b) PISI- Achsenfehlstellung (vgl.[4],S.263).....	18
Abbildung 13: Handgelenksarthroskopie. Die Hand wird in einer Extentionsvorrichtung fixiert (vgl.[15]).....	19
Abbildung 14: Zugangswege streckseitig für die Arthroskopie (vgl[4]S.29).	20
Abbildung 15: TFC Normalbefund; Der Testhaken verschwindet im Rezessus (vgl.[8] [15]).	22
Abbildung 16: Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[23]).....	24

Abbildung 17: Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[24],S.335).....	25
Abbildung 18: Vereinfachtes Modell eines Kernspins mit Eigendrehimpuls (vgl.[24],S.354).	26
Abbildung 19: Statistisch ungerichtete Verteilung der Kernspins.	26
Abbildung 20: Ausrichtung der Atomkerne im Magnetfeld.	27
Abbildung 21: Ausrichten der Kernspins nach Anlegen eines Magnetfeldes (vgl.[24],S.355).	27
Abbildung 22: mögliche Lagerung des Handgelenkes beim MRT; li: Lagerung in Bauchlage, Hand in Pronation; re: Lagerung in Rückenlage, Hand in Neutralnullstellung (vgl.[4]],S.82).	36
Abbildung 23: MRT Normalbefund des Handgelenks und der Handwurzeln (vgl[4]S.89). a) coronare PD- gewichtete FSE- Sequenz mit Fettsättigung: gut zu sehen sind die intrinsischen Ligamente, der TFCC, und der hyaline Gelenkknorpel b) axiale T2- gewichtete GRE- Sequenz im distalen Radioulnargelenk: man erkennt den hyalinen Knorpel mit einem kleine signalintensen Gelenkerguss c) sagittale T1- gewichtete SE- Sequenz in Höhe Os scaphoid mit Os trapezoideum d) sagittale T1-gewichtete SE- Sequenz auf Höhe des Os lunatum.	38
Abbildung 24: Spiral- CT (vgl.[29])	39
Abbildung 25: Schema von Aufnahmesystem mit drehender Röntgenstrahlung und feststehendem Detektorkranz; S= Röntgenstrahlung (vgl.[24],S.326).....	40
Abbildung 26: Schematische Darstellung des Spiral-CTs (vgl.[24],S.330).....	41
Abbildung 27: Gasdetektor Abb 7.5 Skript Seite 156.	42
Abbildung 28: Blockschaltbild der wesentlichen Komponente eines CT- Gerätes.Abb Skript S154 7.2.....	43
Abbildung 29: Lagerung für axiale Schichtaufnahmen (vgl.[4],S.64).	45
Abbildung 30: Lagerung für schräg-sagittale Schichten des Os scaphoideum (vgl.[4],S.64).	45
Abbildung 31: Anzahl der Studienpatienten aufgeteilt nach Geschlecht.	46
Abbildung 32: Lebensalter der Patienten in Jahren bei der diagnostischen Handgelenksarthroskopie (geschlechtsunabhängig).....	46

Abbildung 33: Programm „Beurteilung.NET“ zum direkten Vergleich der diagnostischen Ergebnisse der Hand von Arthroskopie und bildgebender Untersuchung individuell für jeden Patienten.....	48
Abbildung 34: Ablauf: Dateneingabe in „Beurteilung. NET“ mit Access, Verknüpfung über SQL in Excel zur Auswertung der Daten und Erstellung der Graphik.	49
Abbildung 35: Ursachen für die Handgelenksbeschwerden.	52
Abbildung 36: Anzahl der CT- und MRT-Untersuchungen ohne und mit Kontrastmittel.	52
Abbildung 37: Anzahl der Patienten, bei denen im Anschluss an die diagnostische Arthroskopie keine oder weitere therapeutische Maßnahmen durchgeführt wurden im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Patienten.....	53
Abbildung 38: Direkter Vergleich der Anzahl pathologischer Auffälligkeiten sortiert nach Struktur im MRT/ CT und der Handgelenksarthroskopie. Die bewerteten Strukturen sind abgekürzt und kodiert dargestellt auf der x-Achse zu sehen.	54
Abbildung 39: CT native: Fraktur Processus styloideus radii; koronare Schichtführung.....	55
Abbildung 40: CT nativ: Knochenfusion Os Lunatum und Os triquetrum; Fraktur des Processus styloideus ulnae; koronare Schichtführung.....	57
Abbildung 41: MRT: Fraktur des Radius; bone bruise des os scaphoideum; TFC- Teilruptur; Erguß; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).....	59
Abbildung 42: MRT: SL- Teilruptur; koronare Schichtführung, medic-Sequenz (Gradientenecho).	61
Abbildung 43: MRT: TFC- Abriss; STT- Abriss; SL- knöcherner Ausriss; Metallartefakte im Radius; koronare Schichtführung; T1-gewichtete Sequenz (Knochen, Anatomie).	61
Abbildung 44: MRT: SL- Teilruptur; Erguß; koronare Schichtführung; stir-Sequenz (Erguß, bone bruise).	62
Abbildung 45: SL-Band- Ruptur 1° (vgl.[15]).	62
Abbildung 46: SL-Band Ruptur 2° (vgl.[15]).	63
Abbildung 47: SL-Band Ruptur 3° (vgl.[15]).	63
Abbildung 48: MRT: TFC- Teilruptur mit Erguss; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho)	64

Abbildung 49: kleine TFC-Läsion (vgl.[15]).	65
Abbildung 50: MRT: TFC- Abriss; koronare Schichtführung, medic- Sequenz (Gradientenecho).	65
Abbildung 51: TFC-Ruptur Typ 1B nach Palmer (vgl.[15] [32]).	66
Abbildung 52: Naht TFC-Ruptur mit Inside-Out- Technik (vgl.[15] [32]).	66
Abbildung 53: MRT: Knorpelschädigung 3-4° vom Knorpel der Fossa lunata radii und der Fossa scaphoidea radii, sowie des Os lunatum und des Os scaphoideum; koronare Schichtführung; T1-gewichtete Sequenz.	68
Abbildung 54: Knorpelkontusion Fossa scaphoidea (vgl.[15]).	68
Abbildung 55: Knochenkontusion Os scaphoideum (vgl.[15]).	69
Abbildung 56: MRT: physiologische mediale Knochensäule mit Radius und Os lunatum als Mütze auf dem Os capitatum; sagitale Schichtführung; T1- gewichtete Sequenz in niedriger Auflösung.	71
Abbildung 57: MRT DISI; sagitale Schichtführung; T1- gewichtet Sequenz in hoher Auflösung.	71
Abbildung 58: MRT: TFC- Teilruptur; SL- Ruptur; Pannus/ Erguß; leichte Knorpelschädigung; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).	72
Abbildung 59: MRT Ganglion; koronare Schichtführung; medic-Sequenz (Gradientenecho).	72

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 1: Magnetisches Dipolmoment μ 25

Gleichung 2: Magnetisierung M 25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliches Bewegungsausmaß am Handgelenk ausgehend von der Neutralnullmethode.	12
Tabelle 2 Wassergehalt des menschlichen Gewebes.....	29
Tabelle 3: Signalintensität in verschiedenen Geweben bei T1- und T2- gewichteten Aufnahmen 0: kein Signal; 1: schwache Signalintensität (SI); 2: mittelstarke SI; 3: starke SI.....	29
Tabelle 4: Liste der wichtigsten zu beurteilenden Handgelenksstrukturen.....	50
Tabelle 5: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (Knochen, Ligamente, Knorpel).....	50
Tabelle 6: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (PISI / DISI, Erguß, Pannus/ Synovitis).	50
Tabelle 7: Codierung zur Beurteilung der Schädigungsausprägung einzelner Strukturen (Ulnarstellung, Ganglion, Knochenfusion).	51
Tabelle 8: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knochenstrukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.	56
Tabelle 9: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten ligamentären Strukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.	56
Tabelle 10: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knorpelstrukturen im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.	57
Tabelle 11: Anzahl von diagnostizierten verschiedenen Pathologien im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.	58
Tabelle 12: Anzahl von als pathologisch- diagnostizierten Knochenstrukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich MRT und diagnostische Arthroskopie.....	60
Tabelle 13: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten ligamentären Strukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich MRT und diagnostische Arthroskopie.....	67
Tabelle 14: Anzahl von pathologisch- diagnostizierten Knorpelstrukturen verschiedener Ausprägungsgrade im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie	70

Tabelle 15: Anzahl von diagnostizierten verschiedenen Pathologien im Vergleich CT und diagnostische Arthroskopie.	73
--	----

Abkürzungsverzeichnis

ASK	Arthroskopie
bzw.	beziehungsweise
CH	Lig. Capitohamatum
CO ₂	Kohlendioxid
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
diagn.	diagnostisch (er)
DIC	dorsale intercarpale Bänder
DISI	dorsoflexed intercalated segment instability
DRUG	distalem Radioulnargelenk
etc.	et cetera
f	folgende
ff	fortfolgende
i.v.	intravenös
kg	Kilogramm
KM	Kontrastmittel
Lig.	Ligament
Ligg.	Ligamenti
li.	links
LRL	langes Lig. radiolunatum
LTq	Lig. lunotriquetrum
MRT	Magnetresonanztomographie
M.	Musculus
Mm.	Musculi

ms	Millisekunden
mmol/kg	Millimol pro Kilogramm
n	Anzahl
N.	Nerv
OP	Operation
PISI	palmarflexed intercalated segment instability
R.	Ramus
RSC	Lig. radioscapnocapitatum
RSL	Lig. Radioscapholunatum
RTq	Lig. radiotriquetrum dorsale
re.	rechts
S.	Seite
sec.	Sekunden
SC	Lig. scaphocapitatum
SL	Lig. scapholunatum
SRL	kurzes Lig. radiolunatum
STT	Lig. scaphotrapeziotrapezoideum
TCS	Lig. triquetrocipitoscaphoideum / Lig. arcuatum
TFC	triangular fibro-cartilage complex; Discus ulnocarpalis; Dicusus tringularis
TFCC	triangular fibro-cartilage complex; ulnocarpaler Komplex
ther.	therapeutisch (-e, -en)
TqHC	Lig. triquetrohamatocapitatum
u.a.	unter anderem
UC	Lig. ulnocapitatum
UL	Lig. ulnolunatum
UTq	Lig. ulnotriquetrum

vgl.	vergleiche
VISI	volarflexed intercalated segment instability
vs	versus ⟨lat.⟩ gegen
zwi.	zwischen
z.B.	zum Beispiel

Literaturverzeichnis

- [1] Sennwald G, *The wrist* Berlin: Springer Verlag, 1987.
- [2] Baratz ME, Larsen CF, Gilula LA, Yin Y, and et all, "Wrist and hand measurements and classification schemas," *Imaging of the wrist and hand* Philadelphia: Saunders 1996, 2007, pp. 225-259.
- [3] Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH, McIntyre LW, and Whipple TL., "Intercarpal soft-tissue lesions associated with an intraarticular fracture of the distal end of the radius," *J Bone Jt Surg*, no. 78, pp. 357-365, 1996.
- [4] Schmitt, R. and Lanz U., *Bildgebende Diagnostik der Hand* Thieme Verlag Stuttgart, 2003.
- [5] Kahle W., Leonhardt H., and Platzer W., "Taschenatlas der Anatomie: Bewegungsapparat Band 1," Thieme Verlag Stuttgart- New York, 1991, pp. 122-131.
- [6] Müller M., *Chirurgie für Studium und Praxis 2004/ 2005* Medizinische Verlags- und Informationsdienste Breisach, 2003, pp. 358-365.
- [7] Putz R. and Papst R., *Sobotta- Atlas der Anatomie des Menschen Band I* Urban & Fischer Verlag München- Jena, 2000, pp. 199-224.
- [8] Frank J., Pralle H., and Marzi I., "Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und distalen Radioulnargelenkes," *OP- Journal*, no. 19, pp. 4-9, 2003.
- [9] Kapandji, *Funktionelle Anatomie der Gelenke Band 1: Obere Extremität* Thieme Verlag Stuttgart- New York, 1992, pp. 130-153.
- [10] Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, and Bryan RS, "Instability of the wrist. Diagnosis, classification and pathomechanics," *J Bone Jt Surg*, no. 54A, pp. 1612-1632, 1972.
- [11] Amadio PC, "Carpal cinematics and instability:A clinical and anatomic primer," *Clin Anatomy*, no. 4, pp. 1-12, 1991.
- [12] Gupta, R., Bozentka, D. J., and Osterman, A. L., "Wrist arthroscopy: principles and clinical applications," *J.Am.Acad.Orthop.Surg.*, vol. 9, no. 3, pp. 200-209, May2001.
- [13] Hempfling H, *Die Arthoskopie am Handgelenk. Indikation, Technik und therapeutische Konsequenzen* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 1992.
- [14] Whipple TL., *The wrist* Philadelphia: Lippincott, 1992, pp. 73-90.
- [15] Frank, J. Therapie von Handverletzungen- Handwurzel. 2006.
- [16] Osterman AL, "Basic wrist arthroscopy and endoscopy," *Hand Clin*, vol. 10 pp. 4-12, 1994.

-
- [17] Stanley J. and Saffar P., "Wrist arthroscopy," *Martin Dunitz*, 1994.
- [18] North ER and Thomas S., "An anatomic guide for arthroscopic visualization of the wrist capsular ligaments," *J Hand Surg*, no. 13A, pp. 815-822, 1988.
- [19] Fontes, D., "Wrist arthroscopy. Current indications and results," *Chir Main*, vol. 23, no. 6, pp. 270-283, Dec.2004.
- [20] Ewert, A. and Mittlmeier, T., "Indications and techniques for wrist arthroscopy," *Unfallchirurg*, Jan.2007.
- [21] Shampo, M. A. and Kyle, R. A., "Felix Bloch--developer of magnetic resonance imaging," *Mayo Clin.Proc.*, vol. 70, no. 9, pp. 889, Sept.1995.
- [22] Shampo, M. A. and Kyle, R. A., "Edward M. Purcell--Nobel Prize for magnetic resonance imaging," *Mayo Clin.Proc.*, vol. 72, no. 6, pp. 585, June1997.
- [23] Magnetresonanztomographie; Computertomographie. 10-10-2005.
- [24] Laubenberger Th. and Laubenberger J., *Technik der medizinischen Radiologie* Deutscher Ärzte- Verlag GmbH Köln, 1994, pp. 323-369.
- [25] NessAiver, "All about MRI Physics," *Simply Physics*, 1997.
- [26] Riederer SL. and Wood ML, "Categorical Course in Physics: The Basic Physicy of MR Imaging," Radiological Society of North America RSNA- Puplications, 1997.
- [27] Rinck P, *Magnetresonanz in der Medizin* ABW wissenschaftsverlag GmbH Berlin, 2003.
- [28] Bruhn H, Gyngell MI, Hänicke W, Merboldt P, and Hahn, K., "High-resolution fast low- angle shot magnetic resonance imaging of the normal hand," *Skeletal Radiology*, no. 20, pp. 259-265, 1991.
- [29] Magnetresonanztomographie; Computertomographie. 10-10-2005.
- [30] Kalender WA, *Computertomographie. Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendung* München: Wiley VCH Cerlag GmbH , 2000.
- [31] Hildebrandt, H., *Pschyrembel- klinisches Wörterbuch*, 258 ed. Berlin- New York: Walter de Gruyter Verlag, 1998, pp. 1192.
- [32] Rose, S., Frank, J., and Marzi I, "Diagnostische und therapeutische Bedeutung der Arthroskopie bei der distalen Radiusfraktur," *Zentralblatt Chirurgie*, vol. 124 pp. 984-992, 1999.
- [33] Schädel-Höpfner, M., Iwinska-Zelder, J., Bohringer, G., Braus, T., Klose, K. J., and Gotzen, L., "MRI or arthroscopy in the diagnosis of scapholunate ligament tears in fractures of the distal radius?," *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*, vol. 33, no. 4, pp. 234-238, July2001.

-
- [34] Katschnig, I. and Prosquill, E., "Arthroscopy of the wrist: compared results of MRT and arthrography and outcome in the arthroscopy -- an examination 1998 to 2003," *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*, vol. 38, no. 2, pp. 104-108, Apr.2006.
- [35] Meier, R., Krettek, C., and Krimmer, H., "Diagnostics at the wrist," *Unfallchirurg*, vol. 106, no. 12, pp. 999-1009, Dec.2003.
- [36] Beyermann, K., Krimmer, H., and Lanz, U., "TFCC (Triangular Fibrocartilage Complex) lesions. Diagnosis and therapy," *Orthopade*, vol. 28, no. 10, pp. 891-898, Oct.1999.
- [37] Beyermann, K., Krimmer, H., and Lanz, U., "TFCC (Triangular Fibrocartilage Complex) lesions. Diagnosis and therapy," *Orthopade*, vol. 28, no. 10, pp. 891-898, Oct.1999.
- [38] Meier, R., Schmitt, R., and Krimmer, H., "Handgelenksläsionen in der direkten MR-Arthrographie im Vergleich zur Arthroskopie des Handgelenks," *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir.*, vol. 37. pp. 85-89, 2005.
- [39] Beredjiklian, P. K., Bozentka, D. J., Leung, Y. L., and Monaghan, B. A., "Complications of wrist arthroscopy," *J.Hand Surg.[Am.]*, vol. 29, no. 3, pp. 406-411, May2004.
- [40] Gundry CR, Kursunoglu Brahme S., Schwaighofer B., and et al, "Is MRI better than arthrography for evaluating the ligaments of the wrist?," *Am.J.Roentgenol .*, vol. 154 pp. 337-341, 1990.
- [41] Herold T., Lenhart M., Held P.Babel M., and at al, "Die indirekte MR-Arthrographie des Handgelenks zur Diagnose von TFCC-Läsionen," *Röfo Fortschr Geb Röntgenstr 2001*, vol. 173 pp. 1006-1011, 2001.
- [42] Schädel-Höpfner, M., Iwinska-Zelder, J., Bohringer, G., Braus, T., Klose, K. J., and Gotzen, L., "MRI or arthroscopy in the diagnosis of scapholunate ligament tears in fractures of the distal radius?," *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*, vol. 33, no. 4, pp. 234-238, July2001.
- [43] De Smet, L., Dauwe, D., Fortems, Y., Zachee, B., and Fabry, G., "The value of the wrist arthroscopy," *J.Hand Surg.[Br.]*, vol. 21 pp. 210-212, 1996.

Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. med. M. Mack für die wissenschaftliche Betreuung und Hilfe bei der Auswertung der Daten und der Durchsicht der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt ebenfalls Herrn PD. Dr. med. J. Frank für die Anregungen und Verbesserungsvorschläge, sowie die zur Verfügung gestellten Materialien und Bilder, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Weiterhin möchte ich Frau Tlatlik, sowie den ärztlichen und medizinisch- technischen Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, sowie der Klinik für Chirurgie und Unfallchirurgie für Ihre Unterstützung und Hilfsbereitschaft bei der Datensuche danken.

Ich möchte nicht schließen, ohne auch mich auch bei meiner Familie und meine Freunden, speziell meinem Freund Axel, für die Hilfe und liebevolle und großartige Unterstützung bei der Erstellung und der Korrektur der Arbeit zu bedanken.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geburtstag/ -ort: 20.08.1977 in Limburg/ Lahn
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig

Akademische Ausbildung

11/2006 3.Staatsexamen
10/2005- 10/2006 Praktisches Jahr im St. Elisabethen- Krankenhaus Frankfurt/ Main
(Innere Medizin, Chirurgie, Anästhesie)
08/2005 2.Staatsexamen
02/2005- 03/2005 Famulatur Praxis für Allgemeinmedizin Dr. med. Nuber; Dornburg
08/2004- 09/2004 Famulatur Gemeinschaftspraxis Radiologie Halbsguth, Lochner;
Frankfurt
07/2004- 08/2004 Famulatur Kardiologie in der Kerckhoff- Klinik Bad Nauheim
08/2003 1.Staatsexamen
02/2003- 03/2003 Famulatur Orthopädische Uniklinik Frankfurt Stiftung
Friedrichsheim
08/2002 Physikum
10/2000 Beginn des Humanmedizinstudiums an der Johann W. Goethe-
Universität Frankfurt

Berufsausbildung

09/1997- 10/2000 Ausbildung zur Physiotherapeutin in Frankfurt/ Höchst

Schulbildung

09/1988- 07/1997 Gymnasium Philippinum Weilburg
Schulabschluss mit der allgemeinen Hochschulreife
09/1984- 07/1988 Karl- Schapper Grundschule Weinbach

Berufliche Tätigkeiten

seit 05/2007 Assistenzärztin Unfallchirurgie Hochtaunusklinik Bad Homburg
04/2001- 04/2007 Physiotherapeutin in einer Krankengymnastik Praxis
seit 03/2002 leitende Physiotherapeutin der Jugendfootball- Mannschaft der
Wiesbaden Phantoms

Fortbildungen

06/2007	Grundkurs Sonographie Extremitäten Borkum
02/2007	Sehnen untere Extremität BGU Frankfurt
02/2006	Workshop: medizinische Wundversorgung Dr. Carolus Frankfurt
03/2005	Leichenosteosynthese Unfallchirurgie Uniklinik Frankfurt
01/2005	Prävention und Rehabilitation bei rheumatischen Erkrankungen Bad Gastein/ Bad Hofgastein Österreich
09/2004	FISI 2004 Uniklinik Frankfurt
09/2004	Diagnostik der Lungenembolie Radiologie Städt. Kliniken Höchst
08/2004- 08/2004	Radiologisches Praktikum in der Kerckhoff- Klinik
07/2004- 12/2004	Osteosynthesetechnik Unfallchirurgie Uniklinik Frankfurt
SS 2004	Sportmedizin und Rehakardiologie Uniklinik Frankfurt
12/2003	ISG Diagnostik und Therapie für Physiotherapeuten
12/2003	Physikalische Maßnahmen bei Thrombose Städt. Kliniken Höchst
09/2003	Sportmedizin Symposium Uniklinik Frankfurt
WS 2003/2004	Auskultation des Herzens
11/2002	Praktikum der Humangenetik Uniklinik Frankfurt
12/1999	Physikalisch Therapie bei Sportverletzungen Städt. Klinik Höchst
08/1999	Dr.Brügger Theraband Grundkurs
12/1998	Seminar für Kurs BBP Düsseldorf
09/1996- 11/1996	Sanitätsausbildung beim DRK Weilburg

Praktika

seit 11/2004	regelmäßig „dritter Mann“ im Notarzwagen der Berufgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt (BGU)
02/2000	Kardiovaskularchirurgie in der Kerckhoff- Klinik Bad Nauheim
Krankenpflegepraktika:	03/1999- 04/1999 in der Parkinsonklinik Biskirchen 09/1997- 10/1997 in der neurologischen Klinik Braunfels 07/1996- 08/1996 im Kreiskrankenhaus Weilburg

Sonstiges

Sprachen:	Englisch (gut) Französisch (Grundkenntnisse)
EDV:	Word, PowerPoint, Excel (gut)
Hobbies:	Literatur, Sport, Reisen

Frankfurt am Main, im November 2007

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die im Fachbereich Medizin
zur Promotion eingereichte Arbeit mit dem Titel

Vergleich des hoch auflösenden MRT und CT mit der Arthroskopie bei Handgelenksverletzungen

im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie unter der Leitung von
Herrn Prof. Dr. med. Martin G. Mack und mit Unterstützung durch
Herrn PD Dr. med. Johannes Frank
(Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie)
ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als
die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um
Zulassung zur Promotion eingereicht.
Die vorliegende Dissertation wurde bisher nicht als
Dissertation eingereicht.