

Aus der Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie des
Unfallkrankenhauses Berlin, Lehrkrankenhaus der Medizinischen Fakultät Charité –
Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Die bildgebende Diagnostik der
skapholunären Dissoziation unter
besonderer Berücksichtigung der
Kinematographie**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité –
Universitätsmedizin Berlin

von

Jenny Pliefke
aus Warschau

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. A. Eisenschenk
2. Prof. Dr. med. B.-D. Partecke
3. Prof. Dr. med. M. Sparmann

Datum der Promotion: 22.02.2008

Meinen Eltern

Abkürzungsverzeichnis

AUC	area under the curve
CID	Carpal Instability dissociative
CIND	Carpal Instability non-dissociative
DIC	Ligamentum intercarpale dorsale
DISI	Dorsiflexed intercalated Segment Instability
d.p.	Dorsopalmar
DRUG	distales Radioulnargelenk
DSA	digitale Subtraktionsangiographie
DSI	Digital Spot Imaging
FCR	Musculus flexor carpi radialis
Lig.	Ligamentum
MRT	Magnetresonanztomographie
NSA	Numbers of Signal Averages
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
PACS	Picture Archiving and Communication System
PISI	Palmarflexed intercalated Segment Instability
RL	Radiolunar
RLTDL	Ligamentum radiolunotriquetrum dorsale
RLTPL	Ligamentum radiolunotriquetrum
ROC	Receiver Operating Characteristics
RSCL	Ligamentum radioscap hocapitatum
RSS	Rotationssubluxation des Os scaphoideum
SCL	Ligamentum scaphocapitatum
SE	Spin-Echo
SL	Skapholunar
SLAC	Scapholunate Advanced Collapse
SLD	Skapholunäre Dissoziation
SLL	Ligamentum Scapholunatum
SPIR	Spectral Inversion Recovery
TFCC	Triangulärer Fibrokartilaginärer Komplex
TSE	Turbo-Spin-Echo
WMC	Windows Medical Console

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	4
1 Hintergrund und Ziele.....	7
2 Einleitung.....	8
2.1. Anatomische Grundlagen.....	8
2.2. Die Mechanik des Karpus.....	9
2.3. Die karpale Instabilität.....	10
2.4. Die skapholunäre Dissoziation (SLD).....	11
2.4.1. Definition.....	11
2.4.2. Pathogenese.....	12
2.4.3. Pathomechanik und Verlauf.....	12
2.4.4. Stadieneinteilung.....	14
2.4.5. Klinische und bildgebende Diagnostik.....	14
3 Material und Methoden.....	17
3.1. Patienten.....	17
3.1.1. Patientenidentifikation und Einschlusskriterien.....	17
3.1.2. Ausschlusskriterien.....	17
3.2. Beurteilungskriterien.....	18
3.3. Bildgebende Diagnostik.....	18
3.3.1. Konventionelle Röntgenbilder.....	18
3.3.2. Kinematographie.....	21
3.3.3. Arthrographie.....	23
3.3.4. MRT.....	24
3.3.5. MR-Arthrographie.....	26
3.4. Arthroskopie.....	26
3.5. Statistische Auswertung.....	28
4 Ergebnisse.....	29
4.1. Altersverteilung.....	30
4.2. Ipsilaterale Begleitverletzungen.....	30
4.3. Radiologische Ergebnisse.....	30
4.3.1. Genauigkeit der bildgebenden Diagnostik.....	30
4.3.2. Genauigkeit der Kombination radiologischer Verfahren.....	31
4.3.3. Genauigkeit der Kinematographie in Abhängigkeit vom Stadium.....	32
4.3.4. Genauigkeit einzelner radiologischer Kriterien.....	34

4.3.4.1.	Weite der SL-Diastase / Terry Thomas Zeichen	35
4.3.4.2.	Größe des SL-Winkels	37
4.3.4.3.	Größe des RL-Winkel / DISI-Konfiguration	39
4.3.5.	Sequenzielle Diagnostik und unerklärte Restvarianz	42
5	Diskussion	43
6	Zusammenfassung	57
	Anhang	69
	Teilpublikationen.....	70
	Danksagung	71
	Lebenslauf.....	72
	Eidesstattliche Erklärung	73

1 Hintergrund und Ziele

Die Ruptur des Ligamentum scapholunatum und die skapholunäre Dissoziation (SLD) gehören zu den häufigsten Bandverletzungen der Hand. Sie führen unbehandelt zu schmerzhaften Arthrosen, die oft in einer Teil- oder Panarthrodese der Handwurzel enden. Ihre frühzeitige Diagnostik bleibt eine interdisziplinäre Herausforderung.

Unter den bildgebenden Methoden haben sich konventionelle Röntgenaufnahmen, die Kinematografie, die Magnetresonanztomographie und –arthrographie und die Dreikompartiment-Arthrographie klinisch etabliert. Daten zur diagnostischen Genauigkeit sind jedoch entweder nicht vorhanden, nur eingeschränkt valide, oder aber stark heterogen. Derzeit muss daher die Arthroskopie weiterhin als Referenzstandard angesehen werden.

Ziel dieser retrospektiven Arbeit war es, die diagnostische Genauigkeit der unterschiedlichen Diagnoseverfahren im Vergleich zum Goldstandard Arthroskopie zu ermitteln und neben der kritischen Evaluation des bisherigen klinischen Vorgehens Handlungsempfehlungen für die Praxis zu erarbeiten.

Ein Schwerpunkt wurde auf die Basisdiagnostik, d.h., die Röntgenaufnahme in zwei Ebenen und die Kinematografie gelegt, deren diagnostische Genauigkeit bisher nur unzureichend beschrieben wurde.

2 Einleitung

2.1. Anatomische Grundlagen

Das Ligamentum scapholunatum (SLL) gehört zur intrinsischen Bandgruppe und bildet eine halbmondförmige interossäre Verbindung zwischen dem proximalen Os scaphoideum und dem Os lunatum. Nach Tottermann gilt es als wichtigster Stabilisator der gesamten Hand [1]. Neben seiner stabilisierenden Funktion ermöglicht es Bewegungen durch seine elastisch dämpfende Wirkung [2,3]. Das schmale, hufeisenförmige Band, mit einer durchschnittlichen Gesamtlänge von 18 mm [4,5], gliedert sich in einen dorsalen, proximalen und palmaren anatomischen Anteil [6,7,8], die jeweils verschiedene biomechanische Funktionen aufweisen [7].

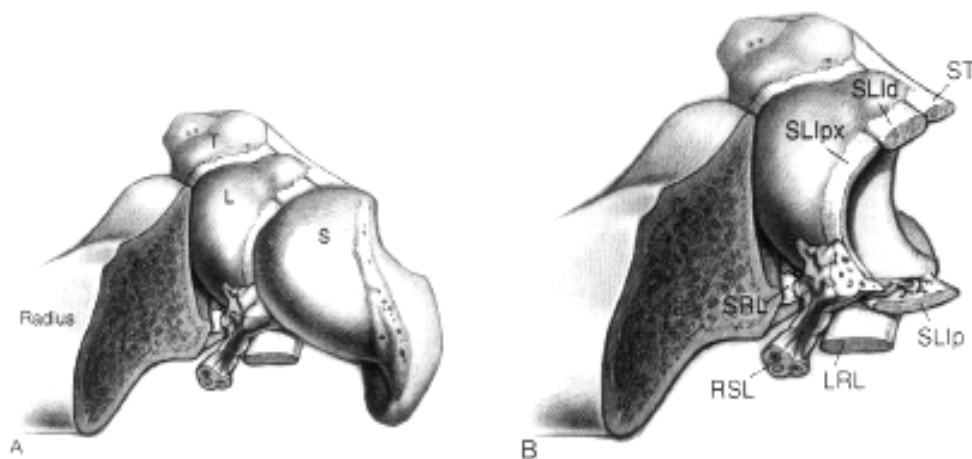


Abbildung 1:

Darstellung der Beziehung zwischen Radius und Lig. scapholunatum aus einer radial-proximalen Perspektive. (S = Os scaphoideum, L = Os lunatum, T = Os triquetrum, RSL = Lig. Radioscapholunatum, LRL = Lig. radiolunatum longum, SRL = Lig. radiolunatum breve, SLI = Lig. Scapholunatum; px = proximal, d = dorsal, p = palmar [6])

Die aus kräftigen Kollagenfasern bestehenden palmaren und dorsalen Drittel liegen intrakapsulär und stellen die stärksten Bündel des SLL dar. Am palmaren Anteil inseriert auch das Ligamentum radioscapholunatum (RSL). Nach einer Untersuchung von Berger bildet es mit oft nicht mehr als 1 mm Dicke eine sehr dünne Region des SLL [6]. Durch die mehr schräg verlaufenden Fasern werden sagittale Rotationsbewegungen des Os scaphoideum in Bezug auf das Os lunatum möglich [9]. An der skaphoidalen Insertion besteht eine geringere Faserdichte [8]. Dieses Segment ist auch aufgrund

seiner durchschnittlichen Dicke von 2 bis 4 mm für die eigentliche Stabilität des Zusammenhalts von Os scaphoideum und Os lunatum verantwortlich [6,10] und funktionell am wichtigsten [8]. Erst bei Zugkräften von mehr als 300 N muss mit einer Ruptur gerechnet werden [7].

Das proximale mittlere Drittel des skapholunären Bandes ist eine von dorsal nach palmar ziehende fibrocartilaginäre Membran [6], die zwischen den proximalen knorpelüberzogenen Flächen der beiden Knochen liegt. Es trennt dabei den mediokarpalen vom radiokarpalen Gelenkraum. Aufgrund seiner Beschaffenheit hat es geringen Einfluss auf die Stabilität [11,12,13] und ist der schwächste Abschnitt des SLL [4]. Dieser Teil ist ein Ort degenerativer Perforation, die bereits ab dem 30. Lebensjahr einsetzen kann, aber meist symptomlos bleibt [14].

Das skapholunäre Kompartiment wird zusätzlich durch sekundäre Stabilisatoren gefestigt, die in die Gelenkkapsel einstrahlen [10,15,16,17]. Bedeutend für die Stabilität sind insbesondere die extrinsischen Ligamente [15,16]. Der nach palmar gerichteten Flexionstendenz des Os scaphoideum wird insbesondere durch das Ligamentum scaphotrapezium (ST) und durch das kräftige Ligamentum radioscaphocapitatum (RSCL) entgegengewirkt [10]. Gleichsam wirkt die Sehne des M. flexor carpi radialis (FCR), die durch ihren Verlauf um das Tuberculum ossis scaphoidei die Flexionsneigung des Os scaphoideum antagonisiert [18]. Eine weitere Stabilisation an die distale Handwurzelreihe wird durch das Ligamentum scaphocapitatum (SCL) erreicht [19]. Das Os lunatum wird durch das Ligamentum radiolunotriquetrum (RLTPL) in seiner Lage gehalten. Dorsal wirken sowohl das Ligamentum radiolunotriquetrum dorsale (RLTDL), als auch das Ligamentum intercarpale dorsale (DIC) festigend auf das skapholunäre Kompartiment [10,16,17,20,21,22].

2.2. Die Mechanik des Karpus

Die verschiedenen Bewegungen der Hand bestehen aus drehenden, kippenden und gleitenden Komponenten. Durch das Zusammenspiel aller Elemente der Handwurzel werden Bewegungen in zwei Hauptebenen ermöglicht. Als Funktionsstellung des Handgelenks wird die Extension von 10° und Ulnarabduktion von 15° der Hand gegenüber dem Unterarm bezeichnet. In der Sagittalebene kann über eine transversal verlaufende Achse eine aktive Dorsalextension von etwa 85° sowie eine Palmarflexion von circa 80° erreicht werden. Die passive Beweglichkeit ist individuell unterschiedlich

ausgeprägt. Bewegungen werden jeweils zur Hälfte durch das Radiokarpalgelenk und das Mediokarpalgelenk ermöglicht. Allerdings führt das Os scaphoideum aufgrund des kleineren Krümmungsradius seines proximalen Gelenkpols, im Gegensatz zum Os lunatum, ein größeres Bewegungsausmaß im Radiokarpalgelenk aus. Die skapholunäre Bewegung wird dabei entscheidend durch das SLL limitiert. In der Koronarebene kann eine Radialduktion von 20° und eine Ulnarduktion von 40° über eine sagittal verlaufende Achse durchgeführt werden. Die beiden Achsen bilden im Kopf des Os capitatum einen mobilen Drehpunkt, der sich auf einer Ellipse gemäß den Bewegungen dieses Knochens bewegt [23]. Während der Seitwärtsbewegungen gleiten die beiden Handwurzelreihen gegenläufig zueinander, wobei es zu einer Höhenminderung des Karpus kommt. Während der Radialduktion bewegt sich die distale Reihe nach radial und die proximale nach ulnar. Das Os scaphoideum rotiert in Flexion, sodass sein proximaler Pol leicht nach dorsal gerichtet ist. Aufgrund seiner ligamentären Anbindung zum Os scaphoideum bewegt sich das Os lunatum mit. Während der Ulnarduktion gleitet die proximale Handwurzelreihe nach ulnar, die distale verhält sich gegenläufig. Infolgedessen dreht der proximale Pol des Os scaphoideum nach palmar und der gesamte Knochen richtet sich in einer Extensionsstellung auf.

Die Zirkumduktion wird durch die Kombination dieser vier Bewegungsmöglichkeiten gewährleistet. Durch die radioulnaren Gelenke werden Pronation und Supination ermöglicht. Für den vollen Rotationsumfang von etwa 80° Pronation und durchschnittlich 90° Supination ist die Neutral-Null-Stellung erforderlich.

2.3. Die karpale Instabilität

Der von Rudolf Fisk 1970 eingeführte Begriff der karpalen Instabilität beschreibt eine Unterbrechung im physiologischen Zusammenspiel der Handwurzelknochen untereinander und zum Radius, in Folge von Frakturen, Bandläsionen oder entzündlichen Veränderungen [24].

Die Stabilität der Handwurzel hängt von den ligamentären Strukturen, von der Gelenkkapsel, von der Form der Knochen und von den über das Handgelenk verlaufenden Sehnen ab [25].

Aus Verletzungen dieses Gefüges resultieren verschiedene Formen der karpalen Instabilität. Die frühere Einteilung in die beiden Hauptgruppen der dorsalen (Dorsiflexed intercalated Segment Instability; DISI) und der palmararen Instabilität (Palmarflexed

intercalated Segment Instability; PISI) [2] wurde mittlerweile verlassen. Schmitt und Lanz favorisieren die Klassifikation nach Amadio, die zwischen einer dissoziativen (CID = Carpal Instability dissociative) und nicht-dissoziativen (CIND = Carpal Instability non-dissociative) Störung unterscheidet und sich auf die Kontinuität der proximalen Handwurzelreihe bezieht. Als dissoziativ wird die ligamentäre Unterbrechung der proximalen Reihe bezeichnet. So kann es durch eine Bandläsion zur Verschiebung des Os lunatum gegenüber dem Os scaphoideum, oder des Os lunatum gegen das Os triquetrum kommen. Die CID kann aber auch bei einer Skaphoidfraktur oder –pseudarthrose durch die beiden Fragmente hervorgerufen werden.

Bei nicht-dissoziativen Störungen ist die proximale Handwurzelreihe intakt, führt aber in ihrer Gesamtheit zu einer gestörten Artikulation gegenüber der distalen Reihe. Ursächlich hierfür sind Schäden an den extrinsischen Bändern oder auch eine veränderte Radiusgelenkfläche, beispielsweise nach dislozierter Fraktur.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch die weitere Einteilung in komplexe (CIC = Carpal Instability Complex) und axiale Gefügestörungen erwähnt. Sie kommen bei Handwurzelluxationen und –frakturen zur Anwendung [26].

2.4. Die skapholunäre Dissoziation (SLD)

2.4.1. Definition

Die skapholunäre Instabilität gehört zu den dissoziativen Gefügestörungen der proximalen Handwurzelreihe [27]. In der Literatur wird sie auch als skapholunäre Instabilität oder als Rotationssubluxation des Os scaphoideum bezeichnet [28]. Sie wird durch eine Teil- oder Kompletttraktur des SLL verursacht [2] und stellt die häufigste [16,29,30] und klinisch bedeutsamste karpale Instabilität dar [19]. Nur durch Begleitverletzungen der sekundären Stabilisatoren [10,15,16,31] wird aber das volle Krankheitsbild manifest [19].

Insbesondere bei isoliertem Auftreten (prä-dynamisch oder dynamisch) oder durch andere, offensichtlichere Verletzungen verdeckt, kann die SLD initial oftmals nicht erkannt werden [27,29,30,32,33]. Demgemäß lässt sich eine genaue Inzidenz (das Neuauftreten einer Erkrankung oder Verletzung) bis zum heutigen Zeitpunkt nicht bestimmen [28].

Jones wies fünf skapholunäre Dissoziationen, zwei davon assoziiert mit distalen Radiusfrakturen, bei 100 karpal symptomatischen Patienten nach [33]. In einer Kadaver-Studie von Viegas et al. lag bei 28% der 393 untersuchten Handgelenke eine skapholunäre Dissoziation vor [13].

2.4.2. Pathogenese

Der häufigste Unfallmechanismus ist eine forcierte Hyperextension der Hand [34]. Bei zusätzlicher Ulnardeviation ist der einwirkende Kraftvektor am größten [19]. In dieser Extremstellung werden die dorsalen Strukturen komprimiert, die palmaren demzufolge auf maximale Spannung gebracht. Durch den Druck des Os capitatum, welches das Os lunatum und das Os scaphoideum auseinanderdrückt, kann das SLL elongiert werden oder sogar in seinem Verlauf oder Ansatz reißen. Entsprechend der Zugbelastbarkeit ist zunächst der palmare Anteil des SLL betroffen [35]. Erst bei einem massiven Trauma kommt es vorwiegend zu einer Ruptur des dorsalen SLL-Abschnitts und der sekundären Strukturen [7,36].

Ein hoher Anteil der ligamentären Bandverletzungen tritt demgemäß auch im Rahmen von perilunären Verrenkungen, durch Anpralltraumata beim Ballsport oder als Begleitverletzung der distalen Radiusfraktur auf [37]. Insbesondere Patienten mit einer intraartikulären Radiusfraktur sind davon betroffen. In der Literatur variiert die Angabe der Inzidenz von unterschiedlich ausgeprägten Verletzungen des skapholunären Bandapparats als Begleitverletzung von distalen Radiusfrakturen von 14% bis 75% [36,38,39,40]. Da sie in diesem Zusammenhang lediglich als Sekundärverletzung auftritt, bleibt die SLD oft unerkannt, obwohl eine erhebliche Schädigung der Handwurzel vorliegt [29]. Daher muss eine Bandverletzung bei Frakturverläufen in Richtung auf das skapholunäre Kompartiment immer ausgeschlossen werden [36]. Gelegentlich sind aber auch degenerative Prozesse, kongenitale Gegebenheiten [41] oder Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises [42] für eine SLD ursächlich. Diese müssen vor allem bei chronischen Beschwerden, die nicht auf einen primäres Unfalltrauma zurückzuführen sind, in Betracht gezogen werden.

2.4.3. Pathomechanik und Verlauf

Liegt eine Instabilität des skapholunären Kompartiments vor, gehen Os scaphoideum und Os lunatum ihren natürlichen Eigenbewegungen nach. Gegensätzliche Translations- und Rotationsbewegungen sind die Folge. Einerseits besteht eine

natürliche Flexionstendenz des Os scaphoideum [43], die sich, durch den fehlenden Widerstand der sekundären Stabilisatoren, insbesondere des RSCL, auf die Stellung der Karpalia auswirkt [18,44]. Zum anderen kommt es zu einer Dorsalverschiebung des nicht-stabilisierten Os scaphoideum. Dabei wird durch den Einfluss der FCR-Sehne, die als Hypomochlion wirkt, der proximale Pol des Os scaphoideum auf die Hinterkante des Radius verschoben [2,31,43,45], der dann auf dieser reitet [26]. Gemeinsam werden diese Bewegungsabläufe aus Palmarflexion und dorsaler Translation als „Rotationssubluxation des Skaphoids“ (RSS) bezeichnet [31,46].

Das entkoppelte Os lunatum gleitet, durch seine keilförmige und zum Radius hin konvexe Gelenkfläche [47] und durch die palmare Inklinaton der Radiusgelenke, leicht nach palmar aus dem Verbund der Karpalia [48]. Daraufhin kommt es zu einer zusätzlichen Krafteinwirkung des Os capitatum auf das Hinterhorn des Os lunatum, wodurch das Os lunatum in Bezug auf die longitudinale Achse nach dorsal flektiert. In lateraler Projektion ist es zwischen Radius und Os capitatum geschaltet (intercalated segment) und befindet sich damit in einer DISI-Konfiguration [2]. Dadurch erhöht sich der radiolunäre Winkel auf mehr als 15° [2].

Radius, Os lunatum und Os capitatum sind nun ineinander verschoben und befinden sich nicht mehr in einer Ebene. Die Handwurzel erscheint dadurch verkürzt, ein Zustand, der in der Literatur als „Knittereffekt“ (engl. crumpling) [49] oder auch als „Zieharmonikaeffekt“ (engl. Concertina deformity) bezeichnet wird [24].

Aus der Achsenfehlstellung von Os lunatum und Os scaphoideum resultiert eine unphysiologische Belastung der Gelenkflächen. Diese verursacht zunächst eine Arthrose zwischen Os scaphoideum und Processus styloideus radii, beziehungsweise zur proximalen Gelenkfläche des Radius [43]. Im Verlauf kommt eine vermehrte Abnutzung im mediokarpalen Bereich, insbesondere zwischen Os lunatum und Os capitatum, hinzu. Infolge der Flexionsstellung des Os scaphoideum tritt das Os capitatum nach proximal und gleitet nach radial [50]. Nicht nur die distale Handwurzelreihe wird frühzeitig beeinflusst, vielmehr wird das gesamte karpale Gewölbe vollständig aufgehoben. Unter Höhenverlust der Handwurzel entsteht das Bild eines karpalen Kollaps` (SLAC-Wrist = scapholunate advanced collapse) [51].

2.4.4. Stadieneinteilung

In der handchirurgischen Literatur [26,29,52,53,54,55] und nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie [56] werden drei SLD-Stadien unterschieden: Im präodynamischen Stadium I liegt eine partielle Ruptur des palmaren oder mittleren Bandabschnitts des SLL vor. Diese führt weder zu einer Dissoziation noch zu Symptomen. Im Röntgenbild zeigt sich ein Normalbefund. Dabei liegen noch intakte Bandstrukturen vor und die Breite des SL-Spalts bleibt im Normbereich von $\leq 2\text{mm}$. Der sichere Nachweis gelingt nur arthroskopisch [57]. Bei Grad II besteht eine komplette Ruptur mit dynamischer Instabilität des Os scaphoideum. Grad III ist durch eine komplette Ruptur des SLL mit statischer Instabilität entsprechend dem Vollbild der SLD charakterisiert. Es kommt dabei zu der bereits vorher beschriebenen DISI-Konfiguration, einem vergrößerten SL-Winkel und zu einer Zunahme des skapholunären Gelenkspalts. Damit ist die statische Dissoziation auf konventionellen Röntgenaufnahmen erkennbar [53]. Die Stadien II und III unterscheiden sich durch die zusätzliche Verletzung der sekundären Stabilisatoren, also der extrinsischen Ligamente [16]. Im dynamischen Stadium II sind diese intakt, im statischen Stadium III dagegen rupturiert [10,31]. Fehlt sowohl die intrinsische als auch die extrinsische Bandführung, rotieren das Os scaphoideum und das Os lunatum in statische Fehlstellungen [19]. Der in Abschnitt 2.3.3. erwähnte karpale Kollaps wird in der deutschsprachigen Literatur auch als 4. Stadium der Klassifikation der SLD hinzugefügt [19,26].

2.4.5. Klinische und bildgebende Diagnostik

Die klinischen Symptome nach einem Hyperextensionstrauma sind der dorsale Druckschmerz über dem skapholunären Kompartiment und der Tabatiere und die einhergehende Schwellung in diesen Regionen. Bei gleichzeitigen Frakturen kann eine entsprechende Fehlstellung vorliegen. Ein Instabilitätsgefühl, Kraftlosigkeit, eine deutliche endgradige Bewegungsminderung und Schmerzhaftigkeit in alle Richtungen können besonders bei verspäteter Vorstellung beobachtet werden. Gelegentlich wird auch ein Knacken bei Ulnarduktion beschrieben [29]. Die Ausprägung der klinischen Symptomatik bei SLD ist ausgesprochen unterschiedlich [29]. Sie ist sowohl abhängig vom Ausmaß der verletzten Strukturen, als auch vom zeitlichen Abstand zum erlittenen Trauma [58]. Der Skaphoid-Verschiebetest nach Watson ist in der Regel positiv [59]. Diese Untersuchung sollte im Seitenvergleich durchgeführt werden, da bei positivem

Ergebnis auch an eine vorliegende Bandlaxizität gedacht werden muss [60,61]. Durch die Schwellung der Hand ist die klinische Beurteilung oftmals nur eingeschränkt möglich [29].

Qualitativ hochwertige Röntgenaufnahmen des Handgelenkes in zwei Ebenen, ggf. ergänzt um Belastungs-, Funktions- und Schrägaufnahmen, eine Kahnbeinquantettserie oder die Ulnarduktionsaufnahme nach Stecher sind klinisch etabliert. Ihre diagnostische Genauigkeit wurde bisher nicht systematisch untersucht, bestimmte Grenzwerte (wie z.B. eine Weite des SL-Spaltes >3 mm) gelten als starke Indikatoren für das Vorliegen einer SLD.

Die Kinematographie, also die dynamische Funktionsuntersuchung unter Durchleuchtung, ermöglicht eine reproduzierbare Analyse der aktiven Bewegungssequenzen der Handwurzel und den Nachweis dynamischer ligamentärer Läsionen im dorsopalmaren und seitlichen Strahlengang [28,62,63].

Die diagnostische Wertigkeit der Kinematographie wurde von zahlreichen Autoren untersucht, die Ergebnisse sind jedoch inkonsistent [64,65,66,67,68]. Bond bezeichnete die Fluoroskopie als Schlüssel zur Diagnose der dynamischen Instabilität [69]. Empfohlen wird die kinematographische Untersuchung zur Beurteilung von Klick- und Schnappphänomenen, die nicht ausreichend in konventionellen Ruhe- und Belastungsrontgenaufnahmen geklärt werden können [66,67,70,71,72].

Die Dreikompartiment-Arthrographie [12,73] erlaubt bei pathologischem Kontrastmittelübertritt indirekte Schlüsse über das Verletzungsmuster. Die Wertung der Befunde ist jedoch schwierig, da die mittleren, membranösen Bandanteile des SLL, denen keine Stabilitätsfunktion zukommt, nicht gegenüber den palmaren und dorsalen Bandanteilen, die für den eigentlichen Zusammenhalt verantwortlich sind, abgegrenzt werden können [74]. Auch die breite Normvarianz des SLL erschwert die Beurteilung der Arthrographie [75].

Die MRT hat als nicht-strahlenbelastende, nicht-invasive Methode einen überragenden Stellenwert in der Diagnostik von Erkrankungen und Verletzungen des Bewegungsapparates erlangt.

Die MRT ermöglicht als einziges bildgebendes Verfahren die direkte Darstellung der intrinsischen Bänder. Empfohlen werden Schichtungen in koronaler Ebene und eine axiale T2-gewichtete Sequenz zur Beurteilung von dorsalen und palmaren SLL-Segmenten [19]. Zur Vermeidung von Teilvolumeneffekten der intrinsischen Bänder

sollten die Schichtdicken nicht mehr als 2 mm betragen [71]. Eine verbesserte Diagnostik wird durch die Nutzung von speziellen Oberflächenspulen erreicht [76,77]. Für die diagnostische Genauigkeit der MRT in Bezug auf die SLD schwanken die Angaben für Sensitivität und Spezifität in der Literatur zwischen 50% und 95% [76,77,78,79].

Bei der indirekten MR-Arthrographie wird ein gadoliniumhaltiges Kontrastmittel intravenös verabreicht, und durch aktive Bewegungen über synoviale Diffusion in die Kompartimente abgegeben [80]. Die Akkumulation von KM fällt im Vergleich zur direkten MR-Arthrographie geringer aus [81] und bei ligamentären Verletzungen ist die Treffsicherheit der indirekten MR-Arthrographie unzureichend [76,78].

Die direkte MR-Arthrographie ist ein semi-invasives Verfahren. Das verdünnte gadoliniumhaltige Kontrastmittel-Gemisch wird, wie in der konventionellen Arthrographie, direkt in ein oder mehrere Gelenkräume injiziert. Im Anschluss werden Datensätze in der MRT akquiriert. Durch den verbesserten Umgebungskontrast und die kontrastmittelinduzierte Dehnung wird eine gute Differenzierung der intraartikulären Strukturen ermöglicht [71] und damit die Vorteile der MRT und der Arthrographie vereint [15]. Ferner können mit dieser Methode einzelne SLL-Segmente anatomisch abgegrenzt werden. Im Vergleich zur Arthroskopie als Referenzstandard wurden in der diagnostischen Genauigkeit Übereinstimmungen von bis zu 95% erreicht [74,82].

3 Material und Methoden

3.1. Patienten

3.1.1. Patientenidentifikation und Einschlusskriterien

Alle Patienten, bei denen zwischen dem 1. Juni 2000 und 1. Februar 2006 aufgrund posttraumatischer Handgelenkbeschwerden Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen und eine Kinematographie des Handgelenkes angefertigt wurde, wurden im Picture Archiving and Communication System (PACS, Easy Access, Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) identifiziert. Hierbei handelte es sich um 198 Patienten.

Nachfolgend wurden diejenigen Patienten, bei denen unabhängig vom radiologischen Befund und aufgrund einer klinisch vermuteten SLD die Indikation zur Handgelenksarthroskopie gestellt wurde, über die Operationen- und Prozedurenschlüssel-Kodierung (OPS) im Siemens Windows Medical Console Programm (WMC) ermittelt.

Dies führte zu einer Gesamtstichprobe von 102 Patienten, für die sowohl die Ergebnisse der Röntgenaufnahmen und der Kinematografie als auch der diagnostischen Referenzmethode der Arthroskopie vorlagen.

Die neben diesen drei Verfahren im Einzelfall zusätzlich angewendeten Untersuchungen wurden ebenfalls im PACS abgefragt. MRT, Arthrographie, und MR-Arthrographie wurden bei 36, 30 und 16 Patienten durchgeführt.

Die Auswertung erfolgte ausschließlich auf der Basis der elektronischen Patientenakte; auf eine nochmalige Einbestellung zur klinischen Untersuchung oder eine telefonische Befragung wurde aufgrund der Zielstellung der Untersuchung verzichtet. Alle medizinischen Daten wurden unter strenger Berücksichtigung des Datenschutzes pseudonymisiert; das demografische Profil beschränkte sich auf Alter und Geschlecht.

3.1.2. Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien waren das Vorliegen einer Skaphoidpseudarthrose, eines karpalen Kollaps` (SLAC-Wrist) oder einer rheumatoiden Arthritis. Weiterhin wurden Patienten, die an der gleichen Hand voroperiert waren, nicht mit einbezogen. Ebenso wurden Patienten mit unvollständigen radiologischen Untersuchungen und Aufnahmen aus

externen Röntgeninstituten, die nicht den Qualitätsanforderungen entsprachen, nicht berücksichtigt.

3.2. Beurteilungskriterien

Alle digital archivierten Röntgenaufnahmen und Kinematografien wurden von zwei unabhängigen, muskuloskelettal erfahrenen Radiologen ohne Kenntnis des Arthroskopiebefundes nochmals evaluiert. Im informalen Konsensus wurde eine skapholunäre Bandverletzung bestätigt oder ausgeschlossen. Pathologische Befunde wurden entsprechend der Unterteilung der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie klassifiziert (siehe Anhang). Die arthroskopische Beurteilung erfolgte jeweils durch einen von vier erfahrenen Handchirurgen des Unfallkrankenhauses Berlin.

3.3. Bildgebende Diagnostik

3.3.1. Konventionelle Röntgenbilder

Röntgenaufnahmen wurden in Neutralstellung der Hand im dorsopalmaren und seitlichen Strahlengang angefertigt. Bei der Bildbeurteilung wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

Terry Thomas Zeichen

Die Erweiterung skapholunären Gelenkspalts wird auch als Terry Thomas Zeichen, nach der Zahnlücke eines englischen Komödianten [83] benannt. Der Abstand zwischen Os scaphoideum und Os lunatum wird an den mittleren Facetten der beiden Knochen gemessen [29,84,85]. Eine Diastase von mehr als 3 mm gilt als deutlicher Hinweis auf eine SLD [86] (Abbildung 2, links).



Abbildung 2:

Wegweisende radiologische Befunde in der dorsopalmaren Aufnahme. Links: Messung des skapholunären Gelenkspalts zur Bestimmung der SL-Diastase, hier mit einer Weite von 3,04 mm deutlich pathologischer Befund. Rechts: Ringzeichen des Os scaphoideum mit Pfeilen gekennzeichnet.

Ringzeichen des Os scaphoideum

Durch die Rotations-Subluxations-Stellung des Os scaphoideum wird das Tuberculum ossis scaphoidei in der koronalen Ebene orthograd abgebildet. Dadurch wird ein Ring über den distalen zwei Dritteln des Knochens sichtbar [87] (Abbildung 2, rechts).

Veränderung des skapholunären Winkels

Mittels der Tangentialmethode wird der Winkel zwischen der palmaren Verbindungslinie vom proximalen zum distalen Pol des Os scaphoideum und der Senkrechten auf die Verbindungslinie der beiden Hörner des Os lunatum, gemessen (Abbildung 3). Normwerte liegen zwischen 30° und 60°, bei einem Durchschnitt von 47° [2].

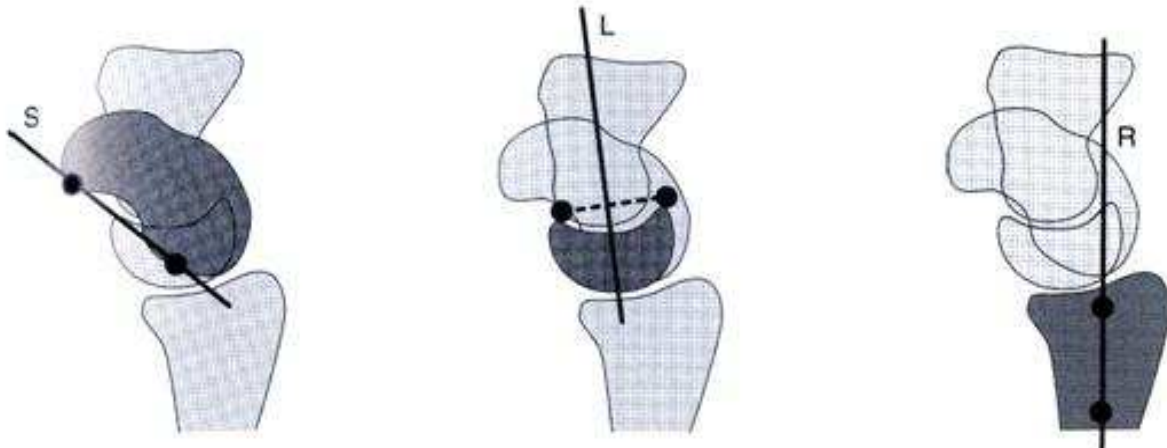


Abbildung 3:

Darstellung der karpalen Achsen: S = Tangente entlang der palmaren Facette des Os scaphoideum, L = Senkrechte auf die Verbindungslinie der Hörner des Os lunatum, R = Achse des Radius [29]

Veränderung des radiolunären Winkels und DISI-Konfiguration

Mit Hilfe der Axialmethode wird der Winkel zwischen den Verbindungslinien durch die Mitten der proximalen und distalen Gelenkflächen von Os lunatum und Radius bestimmt (Abbildung 3). Normwerte liegen zwischen -15° und 15° , bei einem Durchschnitt von 0° . Ein Wert größer als 15° gilt in Bezug auf eine SLD als pathologisch [2]. Der Winkel gibt die Dorsal-Kippung des Os lunatum wieder und ist am besten zur Bestätigung einer DISI- Konfiguration geeignet [88].

3.3.2. Kinematographie

Die Kinematographie wurde an einer Digitalen Subtraktions- Anlage (Integris V 3000, Fa. Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) mit einer Bildfrequenz von 8 Bildern pro Sekunde durchgeführt. Vor der Untersuchung wurde der Patient ausführlich durch den zuständigen Radiologen und durch das medizinisch-technische Personal auf die Untersuchungsablauf vorbereitet und angeleitet. Auf die Einhaltung der Strahlenschutzmaßnahmen wurde geachtet.



Abbildung 4:
Durchführung der Kinematographie im seitlichen Strahlengang

Für dieses Verfahren befand sich der Patient in sitzender Position am Durchleuchtungstisch. Der Unterarm wurde dabei in Neutralstellung auf den Tisch gelegt und mit Hilfe eines Sandsacks fixiert. Sowohl Radial- und Ulnarduktion, als auch Dorsalextension und Palmarflexion wurden mehrmals in mittlerer Geschwindigkeit ohne Durchleuchtung geübt, um den Patienten gegebenenfalls noch zu korrigieren und einen geregelten Bewegungsablauf zur Gewährung einer minimalen Strahlenexposition zu erhalten. Unter Durchleuchtung erfolgte die exakte Einstellung der Handwurzel in Analogie zur Moneimprojektion [54].

Standardisiert erfolgten Aufnahmen im dorsopalmareren Strahlengang von der maximalen Radialduktion zur maximalen Ulnarduktion, anschließend in streng seitlicher Einstellung

von der Dorsalextension zur Palmarflexion. Es wurden mindestens zwei Serien, mit einer durchschnittlichen Serienzeit von jeweils 25 Sekunden, eine im dorsopalmaren und eine im seitlichen Strahlengang, aufgenommen. Ergänzend wurden bei unklarem Befund zusätzliche Aufnahmen im Faustschluss durchgeführt. Bei klinisch bekannten Klick- und Schnappphänomenen wurde der Patient aufgefordert, die betreffende Bewegung in der Untersuchung zu provozieren, um diese meist kombinierte Bewegungssequenz extra zu dokumentieren. Des Weiteren wurden bei Verdacht auf eine vorliegende Bandlaxizität gezielte Stressaufnahmen der Gegenseite dokumentiert. Der Untersucher befand sich während des gesamten Verfahrens mit dem Patienten in Sichtkontakt in einem Raum.

Zur Darstellung wurde das DSI-Verfahren (Digital Spot Imaging) verwendet. Die digitale Archivierung erfolgte in einem PACS (Picture Archiving and Communication System, Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande).

Die Auswertung fand an speziellen Workstations mit Monitoren mit einer Bildauflösung von 5 Megapixeln im so genannten Cine-Mode statt.

Im dorsopalmaren Strahlengang erfolgte die Bewegungsanalyse während der Radial- und Ulnar duktion nach folgenden Kriterien:

1. Maximale Erweiterung des skapholunären Gelenkspalts im Vergleich zur gemessenen Distanz im statischen Bild
2. Weite des skapholunären Gelenkspalts in maximaler Radial- und Ulnar duktion
3. Weite des skapholunären Gelenkspalts nach Faustschluss
4. Unterbrechung der karpalen Bögen I und II nach Gilula im Bereich des skapholunären Gelenkspalts [89]
5. Fehlende Parallelität der gegenüberstehenden Gelenkflächen von Os scaphoideum und Os lunatum
6. Vorhandensein von Klick- oder Schnappphänomenen
7. Entkoppelter bzw. asynchroner Bewegungsablauf

Im seitlichen Strahlengang erfolgte die Bewegungsanalyse während der Palmarflexion und Dorsalextension nach folgenden Kriterien:

1. Entkoppelter bzw. asynchroner Bewegungsablauf
2. Vorhandensein von Klick- oder Schnappphänomenen

Von einer dynamisch instabilen Ruptur wurde ausgegangen, wenn in der Bewegungsanalyse eine deutliche Aufweitung des skapholunären Gelenkspalts im Vergleich zum statischen Bild, eine Unterbrechung der karpalen Bögen I oder II nach Gilula und ein deutlich entkoppelter Bewegungsablauf von Os scaphoideum und Os lunatum sichtbar wurde.

3.3.3. Arthrographie

Die Dreikompartiment-Arthrographie wurde unter standardisierten Bedingungen an einer DSA-Anlage (Integris V 3000, Fa. Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte in Bauchlage in Pronationsstellung des Handgelenks. Nach Lokalanästhesie wurde unter sterilen Bedingungen mit einer 25 Gauge-Nadel ein Gemisch aus Röntgenkontrastmittel (Isovist-300®) und Lokalanästhetikum (Xylonest®, 1%) injiziert. War im Anschluss eine MR-Arthrographie geplant, wurde noch ein Anteil eines MR-Kontrastmittels (Magnevist®) hinzugefügt, sodass ein Mischungsverhältnis von jodhaltigem Kontrastmittel zu Lokalanästhetikum zu Gadoliniumchelate von 20:10:0,1 resultierte. Zunächst wurde das mediokarpale Kompartiment punktiert. Im Anschluss erfolgte die Punktion des radiokarpalen Gelenks und abschließend die des distalen Radioulnargelenks (DRUG). Die Dokumentation erfolgte in digitaler Subtraktionstechnik in unmittelbar aufeinander folgenden Abbildungen der drei Kompartimente. Gegebenenfalls erfolgten nach Entfernen der Punktionsnadel zusätzliche Stressaufnahmen, um mögliche Verklebungen zu lösen und falsch-negative Befunde zu verhindern.

In der Arthrographie können sich Defekte der Ligamente kommunizierend durch eine interkompartimentelle Verbindung oder nicht-kommunizierend (keine interkompartimentelle Verbindung) darstellen. Sie können ohne oder mit einer Gelenkspalterweiterung einhergehen. Es wird zwischen bidirektionalen und unidirektionalen Defekten unterschieden.

Die Auswertung berücksichtigte folgende Kriterien:

1. den bidirektionalen Kontrastmittelübertritt im Bereich des SLL zwischen dem radiokarpalen zum mediokarpalen Gelenkkompartiment als Nachweis einer SLD
2. das Vorliegen eines „pin-hole“-Defekts im membranösen Segment des SLL im Sinne einer chronischen Degeneration ohne Läsion des SLL
3. einen unidirektionalen Kontrastmittelübertritt im Bereich des SLL nur vom mediokarpalen oder radiokarpalen Kompartiment im Sinne einer „flap-like lesion“ als Nachweis einer partiellen SLD

3.3.4. MRT

Die MRT-Untersuchung erfolgte an einem MR-Tomographen (Gyrosan NT, Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) mit einer magnetischen Feldstärke von 1,5 Tesla. Zur Untersuchung der Hand wurde der Patient in Bauchlage positioniert. Der betroffene Arm wurde über den Kopf in Pronation mit Extension im Ellenbogengelenk gelagert. Über die Handwurzel wurde eine Oberflächenringspule (Coil C4, Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) mit einem Durchmesser von 8 cm positioniert und fixiert. Das routinemäßig durchgeführte Untersuchungsprotokoll ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: MRT-Protokoll

	1. Sequenz	2. Sequenz	3. Sequenz	4. Sequenz
Gewichtung	T2-w	T1-w	PD-w	T1-w
Kontrastmittel	nein	nein	nein	ja
Orientierung	axial	koronal	koronal, sagittal	axial
Schichtdicke (mm)	2,50	1,50	2,00	1,50
Matrix scan	240	240	256	240
Matrix Rekonstruktion	512	512	512	512
Field of View (mm)	100,0	100,0	100,0	100,0
Scan-Technik	SE	SE	SE	SE
Sequenztyp	TSE	TSE	TSE	TSE
Echozeit TE (ms)	100,0	9,2	17,0	9,2
Repetitionszeit TR (ms)	3737,0	600,0	1301,0	600,0
SPIR	nein	nein	fettsaturiert	fettsaturiert
NSA	3	2	3	2
Akquisitionszeit (min)	02:59	02:58	03:46	02:58

SE = Spin-Echo, TSE = Turbo-Spin-Echo, SPIR = Spectral Inversion Recovery, NSA = Numbers of Signal Averages

Zur Darstellung der Stabilität-gebenden Bandsegmente sind insbesondere T2-gewichtete axiale Schichten günstig. Erst wenn diese, d.h. die dorsalen und palmaren Bandsegmente, in der MRT auffällig werden, muss von einer SLD ausgegangen werden. Die Beurteilung der Bilder wurde nach folgenden Kriterien vorgenommen:

1. abnorme Bandlänge als Ausdruck einer Elongation ohne Riss
2. erhöhtes ligamentäres Binnensignal als Hinweis für eine mukoide Degeneration in der T2-w Sequenz
3. fokale Banddehiszenz
4. fokale Kontrastmittelanreicherung des intravenös applizierten gadoliniumhaltigen Kontrastmittels als Nachweis von lokalisierten fibrovaskulären Reparationsprozessen
5. fokale Verdickung des SLL als Folge der Retraktion
6. fehlende Darstellbarkeit des SLL als Folge chronischer Degeneration

3.3.5. MR-Arthrographie

Bei einem Patientenkollekt (n = 16) wurde im unmittelbaren Anschluss an die Arthrographie an einem Hochfeld-Tomographen (Intera, Fa. Philips Medical Systems, Eindhoven, Niederlande) mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla, die direkte MR-Arthrographie durchgeführt. Wie bei der MR-Untersuchung befand sich der Patient in Bauchlage mit Lagerung des betroffenen Arms über den Kopf. Nach Anfertigung von Planungsbildern erfolgte die Untersuchung mit folgenden Sequenzen: TSE- T1-w-, PD-w-, SE- und PD-w- gewichteten Sequenzen mit spektraler Fettsättigung. Das Basisprotokoll entspricht dem in der MRT verwendeten und ist in Tabelle 1 aufgeführt. Es wurden Aufnahmen in koronaler, sagittaler und axialer Schnittrichtung durchgeführt. Die Auswertung und Beurteilung der MR-Arthrographie erfolgte analog zu den Kriterien der MRT-Untersuchung:

1. abnorme Bandlänge als Ausdruck einer Elongation ohne Riss
2. erhöhtes ligamentäres Binnensignal als Hinweis für eine mukoide Degeneration
3. fokale Banddehiszens mit Kontrastmittelübertritt in den SL-Gelenkspalt
4. fokale Verdickung des SLL als Folge der Retraktion mit oder ohne Kontrastmittelübertritt
5. fehlende Darstellbarkeit des SLL als Folge chronischer Degeneration mit Kontrastmittelübertritt

3.4. Arthroskopie

Die Patienten wurden unter Vollnarkose oder unter Plexus-Brachialis-Anästhesie in Rückenlage und Aufhängung der Hand in einem Mädchenfänger arthroskopiert. Hierbei war der Arm des Patienten circa 80° - 90° abduziert und im Ellenbogengelenk um 90° gebeugt. Die Hand stand in neutraler Rotationsstellung. Außerdem wurde auf das Handgelenk durch ein Extensionsgewicht von fünf bis sechs Kilogramm ein axialer Zug ausgeübt. Anschließend erfolgte die Desinfektion und das sterile Abdecken des Operationsgebietes. Für bessere Sichtverhältnisse wurde mit einer Oberarmblutsperre bei Werten von 80 mmHg zusätzlich zum systolischen Blutdruck gearbeitet.



Abbildung 5:

Handgelenksarthroskopie mit vertikalem Zug und Markierung der anatomischen Landmarken

Als standardisierter Zugang der Optik wurde in der Regel das 3/4-Portal zwischen III. und IV. Strecksehnenfach gewählt, da von dort ein Großteil des Handgelenks eingesehen und sich ein guter erster Überblick verschafft werden konnte. Der instrumentelle Zugang erfolgte in der Regel über 6 R, also zwischen den Sehnen des M. extensor carpi ulnaris und M. extensor digiti minimi. In einzelnen Fällen wurde auch das 4/5-Portal (ulnarseitig der Sehne des M. extensor digitorum communis) genutzt. Im Anschluss daran wurde das Mediokarpalgelenk gespiegelt. Neben den Bandstrukturen wurden auch die Gelenkflächen der proximalen Handwurzelknochen zunächst mit einer 2,4 mm Optik (Fa. Storz, Tuttlingen, Deutschland) dargestellt und mit Hilfe eines Tasthakens überprüft.

Die Optik war dabei an eine Videokette mit der Möglichkeit einer digitalen Bildspeicherung angeschlossen. Die interossären Bänder wurden über ihre gesamte Länge mit einem stumpfen Haken palpatorisch untersucht. Vom Operateur oder Assistenten wurden Stellungsänderungen wie Flexion, Radial- und Ulnardeviation, sowie Pro- und Supination durchgeführt. Zum Abschluss der Spiegelung erfolgte eine ausgiebige Gelenkspülung und eine intraartikuläre Applikation einer Ampulle Triamcinolon. Nach Öffnen der Blutsperre erfolgte Hämostase mit anschließender Hautnaht und Anlegen eines sterilen Wundverbands.

Die arthroskopische Beurteilung wurde jeweils durch einen von vier erfahrenen Handchirurgen des Unfallkrankenhauses Berlin vorgenommen. Die Operateure teilten die Verletzungen des skapholunären Bandes in Anlehnung an die Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie ein (siehe Anhang).

Eine skapholunäre Läsion wurde angenommen, wenn mit der Tasthakenpalpation eine komplette Unterbrechung des Bandes nachweisbar war. Konnte eine noch teilweise erhaltene Kontinuität dargestellt werden, wurde diese als partielle Läsion gewertet. Die Operateure teilten die Verletzungen des skapholunären Bandes in Anlehnung an die Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie ein (siehe Anhang) ein. Alle radiologischen Befunde wurden im Anschluss mit den Befunden der Arthroskopie korreliert.

3.5. Statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte unter explorativer Intention. Die diagnostischen Kenngrößen Sensitivität und Spezifität der einzelnen radiologischen Verfahren wurden nach Erstellung von Vierfeldertafeln und im Vergleich zum diagnostischen Referenzstandard Arthroskopie berechnet. Unabhängig vom Schweregrad wurden zunächst alle positiven Befunde in binärer Weise mit 1, alle negativen mit 0 kodiert. Die Schätzpräzision wurde mit 95% Konfidenzintervallen beschrieben. Die Genauigkeit der dynamischen Prüfung zur Differenzierung einzelner Schweregrade wurde rein deskriptiv in einer r x c Tabelle betrachtet.

Bei stetigen Messwerten (z.B. Weite des SL-Spaltes) wurden Receiver Operating Characteristics (ROC) und ihre Flächen (AUC) unter den Kurven bestimmt.

Bei entsprechenden Verteilungsvoraussetzungen wurden unabhängige Variablen mittels logistischer Regressionsanalyse getestet. Die Anpassungsgüte der Modelle wurde mit dem log-likelihood Kriterium und dem Hosmer-Lemeshow-Test überprüft [90]. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Software-Paket STATA 8.0 für Windows (Stata Corporation, Texas, USA).

4 Ergebnisse

Innerhalb des Rekrutierungszeitraums erfüllten von den 198 Patienten 102 die Eingangskriterien dieser Untersuchung. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über das Patientenprofil. Die Prävalenz skapholunärer Dissoziationen betrug in der hier untersuchten Stichprobe 42 / 102 (41%).

Tabelle 2: Patientenkollektiv

Merkmal	SLD n = 42	keine SLD n = 60	gesamt n = 102
<i>Geschlecht</i>			
männlich	34	38	72
weiblich	8	22	30
Mittleres Alter	43	36	39
<i>Seite</i>			
rechts	18	29	47
links	24	31	55
<i>Unfallmechanismus</i>			
Verkehrsunfall	7	17	24
Sturz	24	29	53
Anpralltrauma	9	12	21
unbekannt	2	2	4
<i>Begleitverletzungen</i>			
Distale Radiusfraktur	7	8	15
TFCC-Läsion	14	31	45
LT-Läsion	1	7	8
Skaphoidfraktur	2	3	5
<i>Versicherungsstatus</i>			
Berufsgenossenschaft	36	49	85
Private Krankenversicherung	3	7	10
Gesetzliche Krankenversicherung	1	6	7

n = Patientenzahl

4.1. Altersverteilung

Die Altersverteilung des Patientenkollektivs lag zwischen 15 und 63 Jahren (Median 39 Jahre). Die Gruppe der 41- bis 50-Jährigen ist mit 31 Patienten am stärksten vertreten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Altersverteilung des Patientenkollektivs

Alter in Jahren	SLD (n = 42)	keine SLD (n = 60)	gesamt (n = 102)
15 - 20	1	6	7
21 - 30	5	19	24
31 - 40	10	11	21
41 - 50	14	17	31
51 - 60	11	6	17
61 - 63	1	1	2

n = Patientenzahl

4.2. Ipsilaterale Begleitverletzungen

Ipsilaterale Begleitverletzungen fanden sich bei 23 der 42 arthroskopisch nachgewiesenen skapholunären Bandverletzungen. Am häufigsten war dabei die Läsion des triangulären fibrokarilaginären Komplexes (TFCC) mit 14 Fällen. Neben der SLD wiesen sieben Patienten eine distale Radiusfraktur auf. Eine Kombination aus mindestens zwei Verletzungen wurde bei fünf Patienten beobachtet.

4.3. Radiologische Ergebnisse

4.3.1. Genauigkeit der bildgebenden Diagnostik

Für die konventionelle Röntgendiagnostik konnten 23 richtig-positive und 46 richtig-negative Fälle ermittelt werden (Tabelle 4). Für die Kinematographie ergaben sich 36 richtig-positive und 57 richtig-negative Fälle. Bei den zusätzlich durchgeführten Verfahren entfielen auf die MRT bei 36 Patienten acht richtig-positive und 20 richtig-negative Befunde. Für die Arthrographie an 30 Patienten ergaben sich acht richtig-positive und 14 richtig-negative Befunden und bei den 16 durchgeführten MR-Arthrographie wurden 7 richtig-positive und sechs richtig-negative Befunde ermittelt.

Dabei lieferte sowohl die MRT, als auch die MR-Arthrographie je zwei falsch-positive, die Arthrographie vier falsch-positive Befunde.

Tabelle 4: Diagnostische Genauigkeit der radiologischen Verfahren

Radiologisches Verfahren	n	Sensitivität (95% KI)			Spezifität (95% KI)		
Röntgen	102	57,1%	41,0%	72,3%	98,3%	91,1%	100,0%
Kinematographie	102	85,7%	71,5%	94,6%	95,0%	86,1%	99,0%
MRT	36	53,3%	26,6%	78,7%	90,9%	70,8%	98,9%
Arthrographie	30	66,7%	34,9%	90,1%	77,8%	52,4%	93,6%
MR-Arthrographie	16	87,5%	47,4%	99,7%	75,0%	34,9%	96,8%

KI = Konfidenzintervall, n = Patientenzahl

4.3.2. Genauigkeit der Kombination radiologischer Verfahren

Die diagnostische Genauigkeit der Kombination mehrerer radiologischer Verfahren ist in den Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Diagnostische Genauigkeiten für Kombinationen radiologischer Verfahren

Radiologisches Verfahren	n	Sensitivität (95% KI)			Spezifität (95% KI)		
Röntgen + Kinematographie	102	85,7%	71,5%	94,6%	95,0%	86,1%	99,0%
Röntgen + Kinematographie + MRT	36	100%	78,2%	100,0%	90,5%	69,6%	98,8%

KI = Konfidenzintervall, n = Patientenzahl

Durch eine Kombination von konventionellem Röntgen und der Kinematographie wird eine höhere Gesamtsensitivität im Vergleich zur alleinigen Röntgenuntersuchung erreicht; die Spezifität ändert sich jedoch nicht (Tabelle 5).

Die Synopsis aus konventioneller Röntgen-Untersuchung, Kinematographie und MRT (n = 36) erreicht eine Sensitivität von 100%.

4.3.3. Genauigkeit der Kinematographie in Abhängigkeit vom Stadium



Abbildung 6:

Röntgenaufnahmen eines 27-jährigen Patienten in Neutralstellung des Handgelenks. Regelrechte Darstellung der karpalen Bögen und des skapholunären Gelenkspalts in der dorsopalmaren (A) Aufnahme. Im seitlichen Strahlengang sowohl skapholunärer Winkel mit $49,3^\circ$ (B), als auch radiolunärer Winkel mit $9,2^\circ$ im Normbereich (C)

In B: S = Tangente entlang der palmaren Facette des Os scaphoideum, L = Senkrechte zur Verbindungslinie der Hörner des Os lunatum, in C: L = Verbindungslinie durch die Mitten der proximalen und distalen Gelenkfläche des Os lunatum, R = Achse des Radius

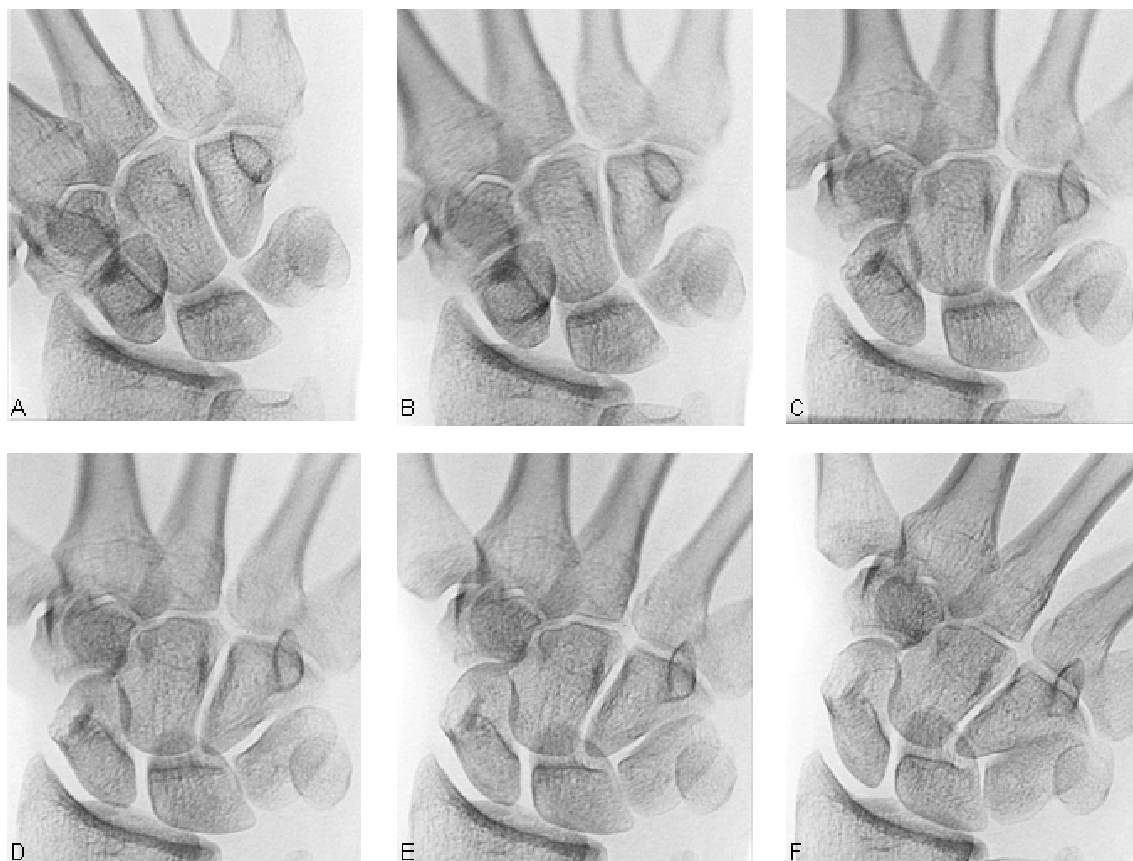


Abbildung 7:

Kinematographie bei einer SLD II. Selber 27-jähriger Patient, wie in Abbildung 6. Darstellung der Karpalia im Bewegungsablauf von der maximalen Radialduktion (A) zur maximalen Ulnarduktion (F), bzw. andersherum. Deutliche sprunghafte Erweiterung der SL-Diastase ausgehend von D nach C. Asymmetrische Erweiterung der SL-Diastase in A, keine Veränderung der SL-Diastase in F.

Tabelle 6: Genauigkeit der Kinematographie in Abhängigkeit vom SLD-Stadium

	Kinematographie (n = 102)				
Arthroskopie (n = 102)	unauffällig	St. I	St. II	St. III	Summe
unauffällig	57	0	2	1	60
St. I	4	0	7	2	13
St. II	1	0	4	5	10
St. III	1	0	1	17	19
Summe	63	0	14	25	102

n = Patientenzahl

Die Genauigkeit der Kinematographie in Abhängigkeit vom SLD-Stadium ist in Tabelle 6 dargestellt. In 57 der insgesamt 60 Fälle kamen sowohl Kinematographie, als auch die Arthroskopie zu einem unauffälligen Befund. Das entspricht einer Sensitivität von 95%. Bei drei Patienten wurde in der Kinematographie falsch-positiv eine SLD diagnostiziert. Die Kinematografie gelangt sowohl bei Partialdefekten (Stadium I) als auch bei dynamischer SLD an ihre Grenzen. Für das Stadium I ergab sich eine Sensitivität von 0%. Vier wurden als falsch-negativ (unauffällig) gewertet, sieben als Stadium II und zwei als Stadium III.

Bei der Einschätzung der dynamischen SLD (Stadium II) wurden von zehn Fällen vier als solche erkannt (Abbildungen 6 und 7). Fünf Fälle wurden als Stadium III gewertet und einer übersehen. Insgesamt wurde eine Sensitivität von 40% ermittelt. In 17 von 19 Fällen lag ein übereinstimmendes Ergebnis bezüglich des SLD Stadiums III vor. Das entspricht einer Sensitivität von 89%. Ein Fall wurde in der Kinematographie als falsch-negativ bewertet, und ein Fall als Stadium II beurteilt.

Von den insgesamt sechs falsch-negativ bewerteten Fällen wurden arthroskopisch vier als Stadium I, einer als Stadium II und einer als Stadium III diagnostiziert.

4.3.4. Genauigkeit einzelner radiologischer Kriterien

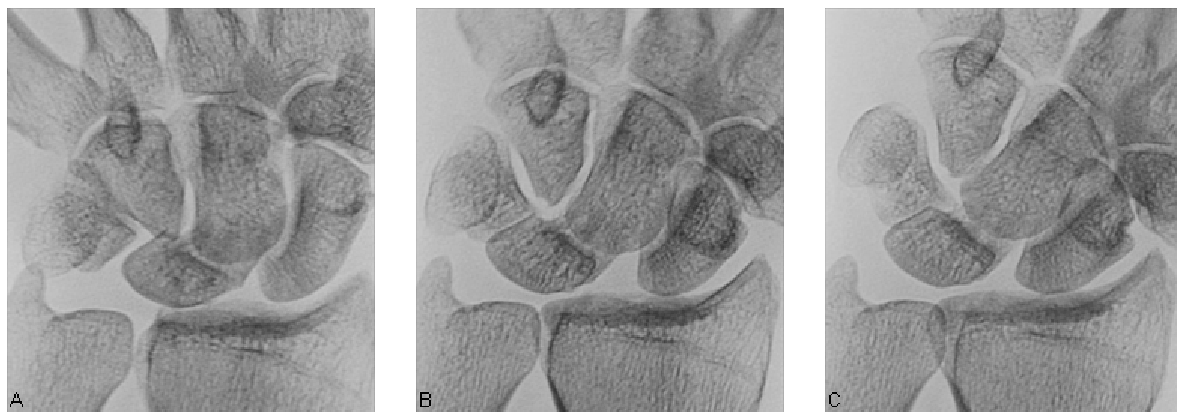


Abbildung 8:

Kinematographie im dorsopalmaren Strahlengang. Darstellung des SL-Gelenkspalts bei SLD im Bewegungsverlauf von maximaler Ulnardeviation (A) zur maximalen Radialdeviation (C). Die maximale Erweiterung des SL-Gelenkspalts wird bereits bei beginnender Radialdeviation (B) sichtbar.

Die Auswertung einzelner radiologischer Kriterien ist in der Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Diagnostische Genauigkeit einzelner radiologischer Kriterien

Radiologisches Kriterium	n	Sensitivität (95% KI)			Spezifität (95% KI)		
Ringzeichen des Os scaphoideum	102	69,1%	52,9%	82,9%	71,2%	58,6%	82,6%
Entkoppelter Bewegungsablauf	102	71,4%	55,4%	84,3%	93,3%	83,8%	98,2%
SL-Diastase in maximaler Radialduktion	42	47,2%	30,4%	64,5%	-	-	-
SL-Diastase in maximaler Ulnarduktion	42	61,1%	43,5%	76,9%	-	-	-

KI = Konfidenzintervall, n = Patientenzahl

Weder für die Radialduktion noch für die Ulnarduktion wird, für sich betrachtet, bei den arthroskopisch bestätigten SLD in der Kinematographie eine Sensitivität von mehr als 61,1% erreicht. Auch weitere einzelne Kriterien, wie das Ringzeichen des Os scaphoideum und ein entkoppelter und asynchroner Bewegungsablauf der proximalen Karpalia lassen, mit angegebenen Sensitivitäten (Tabelle 7), auf eine SLD schließen. Der positive prädiktive Wert beschränkt sich für das Ringzeichen des Os scaphoideums auf 63,0%. Für den entkoppelten Bewegungsablauf während der Kinematographie ergab sich ein positiver prädiktiver Wert von 88,2%.

4.3.4.1. Weite der SL-Diastase / Terry Thomas Zeichen

Im untersuchten Patientenkollektiv lag bei SLD eine durchschnittliche SL-Diastase von 2,9 mm (0,9 mm Standardabweichung) vor, bei einem Normalbefund betrug diese durchschnittlich 2,2 mm (0,4 mm Standardabweichung).

Die Abbildung 9 stellt die Aussagekraft der SL-Diastase in der konventionellen Röntgenaufnahme dar. Die Fläche unter der Kurve beträgt 0.7820 (se(area) = 0.0525). Damit können 78,2 Prozent der Fälle allein durch die Weite der SL-Diastase richtig bestimmt werden.

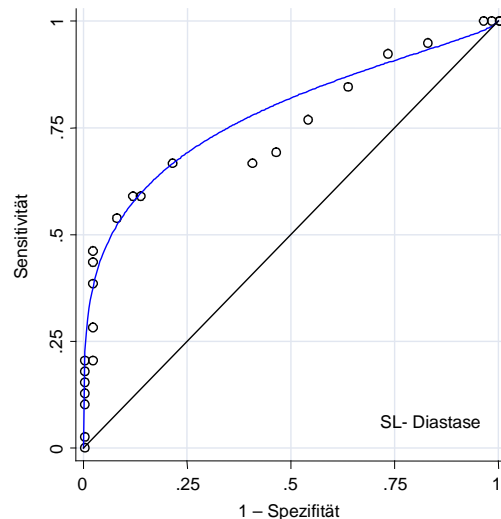


Abbildung 9:

Receiving Operating Characteristics (ROC) der SL-Diastase

Aus Abbildung 10 geht die Abhängigkeit der Sensitivität und Spezifität der SL-Diastase von deren gemessenen Weite hervor. Eine SL-Diastase von 3,0 mm hat eine Spezifität von 98,0% und eine Sensitivität von 46,2%. Das bedeutet, dass eine SLD ab diesem Wert mit hoher Wahrscheinlichkeit diagnostiziert werden kann. Im Gegensatz dazu ergibt sich bei einem SL-Spalt von 1,9 mm eine Sensitivität von 94,9% und eine Spezifität von 17,3%. Unterhalb dieser Weite kann durch die hohe Sensitivität eine SLD mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Anhand der Ergebnisse resultiert eine weite Überlappung von pathologischen und physiologischen Befunden im Bereich von 2,4 mm bis 2,8 mm.

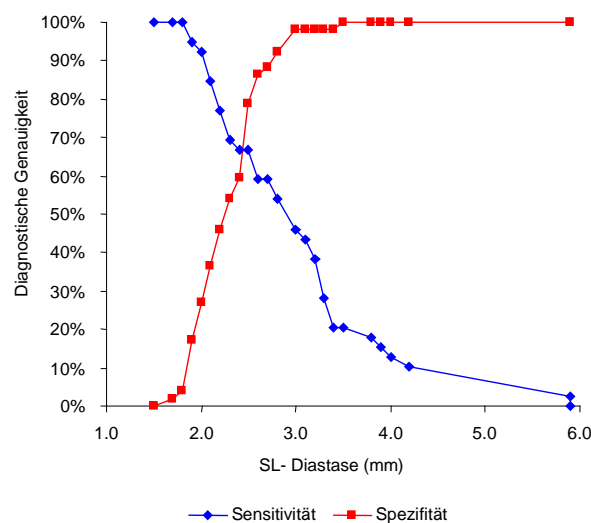


Abbildung 10:

Diagnostische Genauigkeit der SL-Diastase

4.3.4.2. Größe des SL-Winkels



Abbildung 11:

Pathologischer SL-Winkel ($83,0^\circ$) bei SLD, S = Tangente entlang der palmaren Facette des Os scaphoideum, L = Senkrechte zur Verbindungslinie der Hörner des Os lunatum

Bei SLD lag der durchschnittliche SL-Winkel bei $68,2^\circ$ ($17,6^\circ$ Standardabweichung), bei einem Normalbefund betrug der Winkel durchschnittlich $54,9^\circ$ ($9,6^\circ$ Standardabweichung). Ein Beispiel für einen pathologischen SL-Winkel gibt Abbildung 11.

Die Abbildung 12 stellt die Aussagekraft des SL-Winkels dar. Die Fläche unter der Kurve beträgt 0.7457 $se(\text{area}) = 0.0523$. Damit können $74,6\%$ der Fälle allein durch die Größe des SL-Winkels richtig bestimmt werden. Für sich gesehen betrug für den SL-Winkel die Sensitivität $64,3\%$ und die Spezifität $75,0\%$.

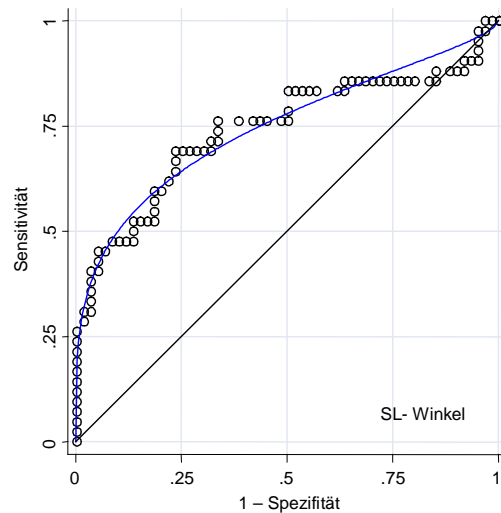


Abbildung 12:

Receiving Operating Characteristics (ROC) des SL-Winkels

Aus Abbildung 13 geht die Abhängigkeit der diagnostischen Genauigkeit von der Sensitivität und Spezifität des SL-Winkels hervor. Eine diagnostische Genauigkeit von 70% wird bei einem SL-Winkel von $59,4^\circ$ erreicht. Eine höhere diagnostische Genauigkeit wird nur mit einer hohen Sensitivität und zu Lasten einer gleichzeitig geringen Spezifität bzw. umgekehrt, erhalten.

Bei einem SL-Winkel von $70,0^\circ$ erreicht die Spezifität 93,3% und die Sensitivität 45,2%, demgegenüber bei einem SL-Winkel von $40,5^\circ$ eine Sensitivität von 95,2% und eine Spezifität von 5,0%. Eine SLD kann bei einem SL-Winkel von 70° mit hoher Wahrscheinlichkeit diagnostiziert und unterhalb $40,5^\circ$ mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden (Abbildung 12).

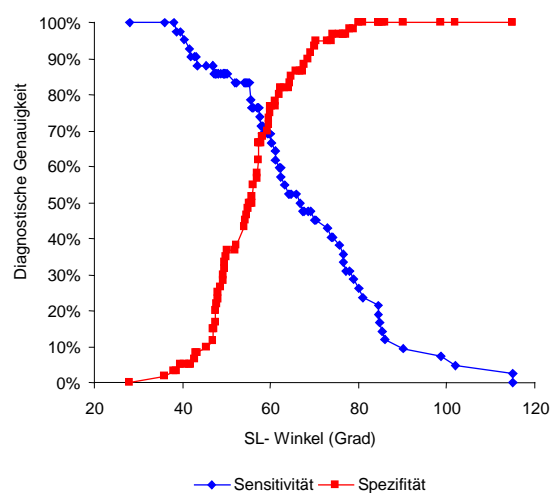


Abbildung 13:

Diagnostische Genauigkeit des SL-Winkels

4.3.4.3. Größe des RL-Winkel / DISI-Konfiguration



Abbildung 14:

Deutlich pathologischer RL-Winkel (42,4°) und DISI-Konfiguration bei SLD, L = Verbindungslinie durch die Mitten der proximalen und distalen Gelenkfläche des Os lunatum, R = Achse des Radius

Bei SLD betrug der durchschnittliche RL-Winkel 20,3° (14,8° Standardabweichung) und bei einem Normalbefund 8,0° (12,7° Standardabweichung). Ein Beispiel für einen pathologischen RL-Winkel und der DISI-Konfiguration gibt Abbildung 15.

Die Abbildung 15 stellt die Aussagekraft des RL-Winkels dar. Die Fläche unter der Kurve beträgt $0.7905 \text{ se}(\text{area}) = 0.0475$. Damit können 79,1% der Fälle allein durch die Größe des RL-Winkels richtig ermittelt werden.

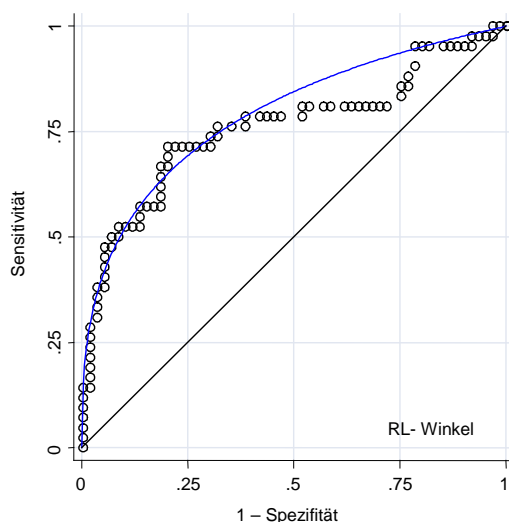


Abbildung 15:
Receiving Operating Characteristics (ROC) des RL-Winkels

Aus Abbildung 16 geht die Abhängigkeit der diagnostischen Genauigkeit von der Sensitivität und Spezifität des RL-Winkels hervor. Eine diagnostische Genauigkeit von 75% wird bei einem RL-Winkel von $13,7^\circ$ erreicht. Eine höhere diagnostische Genauigkeit wird nur mit einer hohen Sensitivität zu Lasten einer gleichzeitig geringen Spezifität bzw. umgekehrt erreicht.

Bei einem RL-Winkel von $22,1^\circ$ zeigt sich eine Spezifität von 95,0% und eine Sensitivität von 47,6%. Ab diesem Wert kann eine SLD mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden. Demgegenüber liegt bei einem RL-Winkel von $4,5^\circ$ die Sensitivität bei 95,2% und die Spezifität bei 21,7%. Unterhalb dieses Wertes kann mit hoher Wahrscheinlichkeit von einem Normalbefund ausgegangen werden.

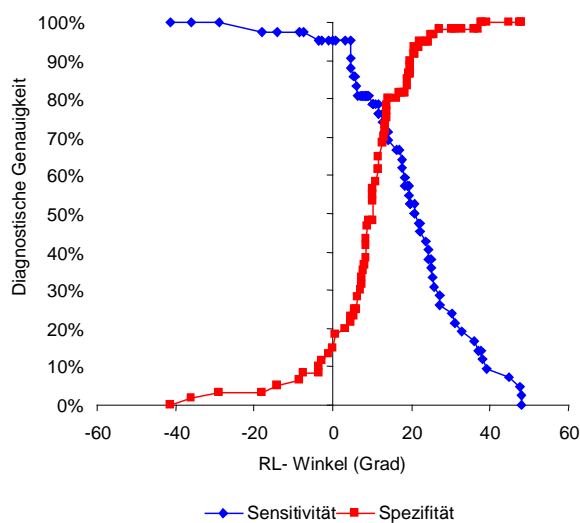


Abbildung 16:
Diagnostische Genauigkeit des RL-Winkels

Die Abbildung 17 stellt die gemeinsame Aussagekraft der SL-Diastase und des SL-Winkels dar. Die Fläche unter der Kurve beträgt 0.85650. Damit kann, durch die gemeinsame Betrachtung dieser beider Kriterien, in 85,65% der Fälle die richtige Diagnose gestellt werden.

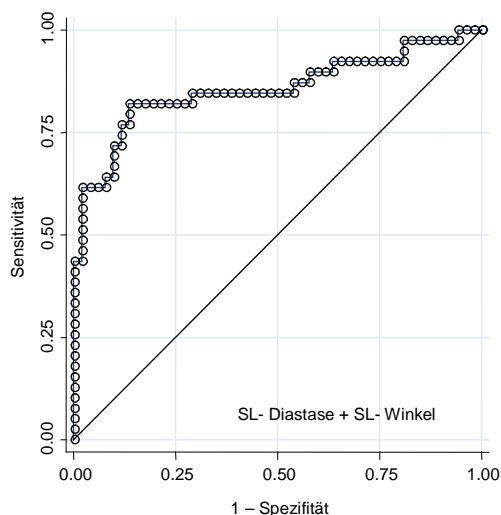


Abbildung 17:

Zusammengefasste Receiving Operating Characteristics (ROC) der SL-Diastase und des SL-Winkels

Für die gemeinsame Betrachtung der SL-Diastase und des SL-Winkels lassen sich die angegebenen Odds Ratios bestimmen (Tabelle 8). Pro 1 mm Zunahme der Weite der SL-Diastase steigt das Risiko einer SLD um den Faktor 11,14. Dementsprechend steigt das Risiko einer SLD pro Winkelgrad des SL-Winkels um den Faktor 1,11 (log likelihood -38,77, HL-Test for goodness of fit p 0,337).

Tabelle 8: Odds Ratios der SL-Diastase und des SL-Winkels

Unabhängige Variable	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		P – Wert
SL-Diastase	11,14	3,02	41,14	<0,001
SL-Winkel	1,11	1,05	1,17	<0,001

Für die gemeinsame Betrachtung der SL-Diastase, des SL-Winkels und des RL-Winkels sind die Odds Ratios in Tabelle 9 dargestellt. Zur Überprüfung der logistischen Regression wurde der Hosmer-Lemeshow-Test (HL) verwendet (log-likelihood -38,47, HL-Test for goodness of fit p 0,248). Die Zunahme des RL-Winkels verbessert nicht die

gemeinsame Aussagekraft der anderen beiden Kriterien (Tabelle 9). Das heißt, die Fläche unter der ROC-Kurve würde sich nicht weiter vergrößern.

Tabelle 9: Odds Ratios der SL-Diastase, des SL-Winkels und des RL-Winkels

Unabhängige Variable	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		P – Wert
SL-Diastase	10,12	2,76	37,06	<0,001
SL-Winkel	1,09	1,02	1,16	<0,009
RL-Winkel	1,02	0,96	1,09	<0,448

4.3.5. Sequenzielle Diagnostik und unerklärte Restvarianz

Im Idealfall lassen sich durch die stufenweise Anwendung diagnostischer Verfahren falsch-positive und falsch-negative Befunde erheblich reduzieren (Abbildung 18).

In der hier untersuchten Stichprobe wurden 12 von 18 falsch-negativen Röntgenbefunden durch die Kinematografie als richtig-positive Ergebnisse erkannt. Die Rate falsch-negativer Befunde ließ sich auch unter Ausschöpfung aller zur Verfügung stehenden bildgebenden Methoden nicht auf null reduzieren; zwei SLD wurden erst bei der Arthroskopie erkannt (beide Stadium I). Ein falsch-positiver Röntgen- und Kinematografie-Befund konnte auch durch MRT-Verfahren nicht endgültig korrekt klassifiziert werden.

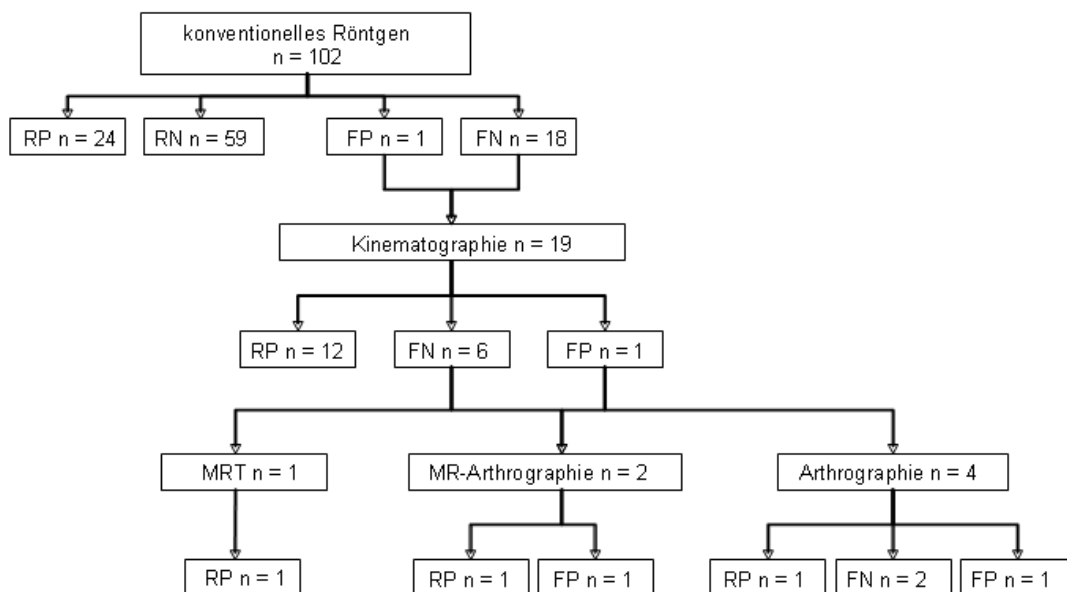


Abbildung 18:

Artifizielle Darstellung der durchgeführten Diagnostik, n = Patientenzahl, RP = richtig-positiv, RN = richtig-negativ, FP = falsch-positiv, FN = falsch-negativ

5 Diskussion

In dieser retrospektiven Studie zur Abklärung von Verletzungen des SLL erwies sich die Basisdiagnostik aus klinischer Untersuchung, Röntgen-Untersuchung und Kinematografie als erstaunlich genau. Eine Kombination der radiologischen Methoden, unter Berücksichtigung quantitativer Messungen, weist im positiven Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Vorliegen einer SLD hin. Wird aufgrund der Befundkonstellation die Indikation zur Arthroskopie gestellt, ist das Risiko für den Betroffenen, sich einem negativen und damit überflüssigen Eingriff zu unterziehen, sehr gering - vorausgesetzt, es ergeben sich auch unmittelbare therapeutische Konsequenzen.

Ein negativer Befund (selbst unter Ausschöpfung aller "state-of-the-art" Methoden) reduziert zwar die Nachtestwahrscheinlichkeit - derzeit muss aber von einer unvermeidbaren Rate falsch-negativer Befunde um 15% ausgegangen werden. Im Zweifelsfall sollte daher bei persistierenden Beschwerden die Diagnose invasiv erzwungen werden. Es existieren keine Entscheidungsregeln, die bei negativer Röntgendiagnostik richtig-negative von falsch-negativen Befunden sicher trennen würden.

Die Prävalenz einer Verletzung mit SLD lag im hier untersuchten Patientengut bei 41,2%, dies deckt sich weitgehend mit den wenigen verfügbaren Angaben in der Literatur [13,91].

Die SLD ist eine Domäne des Erwachsenenalters [29], was sich auch in der Verteilung im untersuchten Patientenkollektiv widerspiegelt. Mehr als die Hälfte der arthroskopisch bestätigten SLD wurden in der Gruppe der 30- bis 50-Jährigen nachgewiesen (Tabelle 3). Der Vergleich mit der Literatur zeigt unterschiedliche Verteilungen. In einer Untersuchung von Schädel-Höpfner belief sich das durchschnittliche Alter der Patienten (n = 27) auf 42 Jahre [92]. Im Gegensatz dazu war in der Kadaver-Studie um Viegas et al. die SLD in der Gruppe der 70- bis 79-jährigen Patienten am häufigsten (n = 41). Allerdings legte er in seiner Untersuchung einen Schwerpunkt auf degenerative Veränderungen und das durchschnittliche Alter des Patientenkollektivs betrug 67 Jahre [13] und lässt keinen direkten Vergleich mit den erhaltenen Ergebnissen zu.

Auffällig ist, dass die SLD im Kindesalter nur sehr selten vorkommt [93,94,95]. Im prämaturen Skelett wird der Großteil der einwirkenden Kraft durch die Epi- und Metaphyse und die knorpeligen Karpalia absorbiert [93,96]. Daraus ist erkennbar, dass im Kindesalter größere Kräfte notwendig sind, um eine SLD hervorzurufen.

In der durchgeführten Studie waren deutlich mehr Männer als Frauen betroffen (Tabelle 2). Diese Beobachtungen wurden in der Literatur bereits beschrieben [74,76]. Als Pathomechanismus kann die stärkere Exposition des männlichen Geschlechtes gegenüber Stürzen auf die hyperextendierte Hand und die direkte axiale Krafteinwirkung, genannt werden. Zudem üben Frauen in Beruf und Freizeit meist weniger körperlich belastende Tätigkeiten aus als Männer, und auch Risikosportarten werden von Männern häufiger betrieben. Im Gegensatz dazu zeigt sich im untersuchten Patientengut keine eindeutig dominierende Seitenverteilung bei SLD. Die rechte Hand war mit 42,9% und die linke Hand mit 57,1% betroffen (Tabelle 2). Mit 63% betroffenen linken Händen in einer Untersuchung von Schädel-Höpfner zeigte sich eine ähnliche Verteilung [92].

In der Literatur wurde vielfältig über die Kinematographie bzw. die Fluoroskopie der Handwurzel berichtet [63,65,66,67,68,97]. Ihre erste Erwähnung in Bezug auf karpale Symptomatiken wurde 1966 von Arkless verfasst. Er stellte die Wertigkeit und Unterstützung der Kinematographie in der Diagnostik und Therapieplanung bei dynamischen Handwurzelalterationen dar. In einer vergleichenden Studie an 38 Patienten untersuchte er 76 Handgelenke auf Klick- und Schnappphänome, Skaphoidsubluxationen und Skaphoidpseudarthrosen. Gerade bei normal erscheinenden konventionellen Röntgenaufnahmen konnten der pathologische Bewegungsablauf bei einer Skaphoidsubluxation mittels der Kinematographie gut dargestellt werden [64].

Nielsen zeigte in seiner Untersuchung, dass eine abnorme Lücke und Stufe einer Gelenkluxation bei Patienten mit Klick- oder Schnappphänomenen nur unter bestimmten Bedingungen sichtbar werden, wobei die konventionellen Aufnahmen auch hier ohne pathologischen Befund bleiben [66]. In derartigen Fällen würde sich eine Kinematographie empfehlen [29,67].

Schwarz wandte die Kinematographie an 126 Händen bei 63 Patienten an, die sich klinisch durch Klick- oder Schnappphänomene, unauffälligen Standard- oder Stressröntgenaufnahmen, sowie ggf. auch durch ein pathologisches Szintigramm

auszeichneten. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die Szintigraphie eine begrenzte Sensitivität und Spezifität in Bezug auf die ligamentäre Diagnostik aufweist [98,99]. Schwarz betrachtete grundsätzlich auch den Bewegungsablauf der gesunden Gegenseite. Dynamische Störungen des Karpus wurden von ihm als Hauptindikation einer kinematographischen Untersuchung herausgearbeitet [63].

In der durchgeführten Studie wurde für die Kinematographie eine Sensitivität von 85,7% und eine Spezifität von 95,0% ermittelt (Tabelle 4). Die genaue Stadienverteilung ist aus Tabelle 6 zu entnehmen. Es zeigte sich, dass die Einteilung der SLD in das Stadium II durch die Kinematographie im Vergleich zur Arthroskopie Diskrepanzen aufweist. Von insgesamt zehn arthroskopisch als Stadium II bewerteten Fällen wurden vier als solche erkannt, fünf als Stadium III diagnostiziert und ein Fall nicht erkannt. Entsprechend lag die Tendenz zur Überschätzung dieses Stadiums in der dynamischen Bewegungsanalyse vor. Letztendlich konnten, wie aus Abbildung 18 ersichtlich, insgesamt 12 der 18 in den statischen Röntgenbildern falsch-negativ klassifizierten Fälle durch die Kinematographie richtig als SLD diagnostiziert werden. Somit konnte retrospektiv ein deutlicher diagnostischer Zugewinn durch die Kinematographie verzeichnet werden. Auch die Gruppe um Schmitt und Mitarbeiter kommt zu einer ähnlichen Erkenntnis, mit der Feststellung: "dass ein Instabilitätsnachweis des Stadium II der SLD (...) radiologisch nur in der Kinematographie und weniger zuverlässig mittels Stressaufnahmen zur Abbildung gebracht wird" [19]. Indessen widersprechen sie sich im selben Artikel mit der Aussage „die Diagnostik der dynamischen SLD auf die dorsopalmar Aufnahme während des festen Faustschlusses und Umgreifen eines Tennisballs [100] beschränken“ zu können [19].

Durch den Einfluss der Unterarmflexoren und -extensoren kommt es zu einer axialen Krafteinwirkung, wobei sich der skapholunäre Gelenkspalt aufweitet. In seiner Untersuchung gilt eine Dehiszenz von mehr als 3 mm als Hinweis auf eine SLD [19]. Der zusätzliche Informationsgewinn der Faustschlussaufnahme gegenüber der Kinematographie bleibt in der Literatur unklar. Metz und Gilula sehen in ihrer Untersuchung einen deutlichen Nachteil der Faustschlussaufnahme. Ihrer Meinung nach wird der größte Nutzen dieser Aufnahme in der statischen Untersuchung erreicht. Eine exakte Einstellung des skapholunären Kompartiments kann aber nur unter Durchleuchtung erfolgen, da sich projektionsbedingte Einflüsse durch Supination und Pronation der Hand auf die Darstellung des skapholunären Kompartiments auswirken. In Pronation ist die Handwurzel extendiert und der skapholunäre Gelenkspalt erscheint

erweitert [75]. Demgegenüber sehen viele Autoren sowohl die Aufnahme im Faustschluss, als auch Bewegungsanalysen mittels Kinematographie als ergänzende Diagnostik bei anhaltenden Beschwerden und normalen statischen Aufnahmen für sinnvoll an [86,89,101]. Im untersuchten Patientengut wurde in 35 Fällen im Rahmen der kinematographischen Untersuchung eine Faustschlussaufnahme angefertigt. In zehn Fällen zeigte sich eine vorübergehende Aufweitung des skapholunären Gelenkspalts, wobei zwei davon arthroskopisch bestätigt werden konnten. Demgegenüber ergab die Faustschlussaufnahme fünf falsch-negative Befunde, von denen vier in der Kinematographie als richtig-positiv erkannt wurden. Insbesondere der entkoppelte und asynchrone Bewegungsablauf sowohl im dorsopalmaren, als auch im lateralen Strahlengang, war für die Diagnose ausschlaggebend (Tabelle 7). Folglich hat sich in der vorliegenden Studie kein diagnostischer Zugewinn durch die Faustschlussaufnahme ergeben. Im Unterschied zur Studie von Schmitt et al. wurde in der durchgeführten Untersuchung kein Ball verwendet. Eine vergleichende Einschätzung kann nicht vorgenommen werden. In Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse und der vorhandenen Gegebenheiten wird im Unfallkrankenhaus Berlin bei Verdacht auf SLD weiterhin eine vollständige kinematographische Untersuchung vorgenommen werden. Mit Bedacht auf die Strahlenhygiene wird für eine zusätzliche Aufnahme im Faustschluss keine Indikation gesehen.

Die radiologisch messbare physiologische Distanz von Os scaphoideum und Os lunatum wird in der Literatur mit Werten bis 2 mm [2,89], aber auch bis 3 mm [86] angegeben. Sie ist abhängig vom Alter und auch vom Vorliegen kongenitaler Normvarianten [29,102]. So erscheinen nach Schernberg bei einer generalisierten Bandlaxizität die Ligamente verlängert und verursachen in der dorsopalmaren Aufnahme einen vergrößerten Gelenkspalt. Die betroffenen Patienten sind in der Regel symptomlos und ein Trauma kann als Ursache ausgeschlossen werden. Radiologische Untersuchungen zeigen bei einer Bandlaxizität stets seitengleiche Verhältnisse [103]. Als pathologisch werden in der Literatur Werte zwischen 2 und 5 mm diskutiert [83,89,104,105,106]. Ursachen für die variierenden Angaben sind vielfältig. Metz und Gilula weisen in ihrer Arbeit auf die generelle Problematik der genauen Beurteilung der skapholunäre Diastase hin [75]. Neben dem Vergleich zur Gegenseite [28,107] ist die exakte Einstellung des skapholunären Gelenkspalts mittels Fluoroskopie immer eine gute Möglichkeit zur anschließenden korrekten Evaluation

[64,67,75,85,108,109]. Da eine beidseitige symptomlose skapholunäre Pathologie nicht ausgeschlossen werden kann [43,75,102,110], wird zum Vergleich auch die Weite des normalen, symmetrischen Gelenkabstandes zwischen Os capitatum und Os lunatum der gleichseitigen Hand empfohlen [75]. Ist der mittlere skapholunäre Gelenkspalt deutlich weiter, deutet dies auf eine Pathologie hin [85]. Ein weiteres Problem einer akkuraten Messung besteht in ungenauen konventionellen Röntgenaufnahmen. Bereits eine geringe Flexionsstellung der Handwurzel bewirkt projektionsbedingt einen scheinbar erweiterten skapholunären Gelenkspalt [85]. Maßgebend für die Weiten-Varianz in der Literatur sind ferner die uneinheitlichen Messtechniken der erwähnten Arbeitsgruppen. Cautilli et al. schlagen eine Messung zwischen dem am meisten proximal gelegenen Pol des Os scaphoideum ulnarseitig und des Os lunatum radiallyseitig vor. Diesbezüglich sehen sie eine Weite bis 5 mm als normal an, vorausgesetzt, das Ringzeichen des Os scaphoideum liegt nicht vor [105]. Andere Autoren favorisieren die Messung in der mittleren Portion der beiden Gelenkfacetten der Karpalia [29,84], da dort die geringste biologische Varianz zu erwarten ist [85].

Analog zu Schimmerl-Metz und Mitarbeiter wurde in der vorliegenden Untersuchung die Messung in der mittleren Portion des skapholunären Kompartiments vorgenommen. Um die entstehenden Messfehler klein zu halten, wurde die Messung im digitalen PACS stets in achtfacher Vergrößerung durchgeführt. Im untersuchten Patientengut wurde eine skapholunäre Diastase größer als 3 mm als pathologisch gewertet, da ab dieser Weite, wie aus den Abbildungen 9 und 10 hervorgeht, eine SLD mit einer Spezifität von 98% nahezu bewiesen werden konnte. Durchschnittlich wurde bei den arthroskopisch nachgewiesenen SLD (n = 42) in der dorsopalmar Aufnahme, in Neutralstellung der Handwurzel, eine Diastase von 2,9 mm (0,9 mm Standardabweichung) gemessen. Bei den Normalbefunden lag der durchschnittliche Wert bei 2,2 mm (0,4 mm Standardabweichung).

Weiterhin kommen zur Diagnostik der karpalen Instabilität seit der Einführung von Linscheid et al. die Bestimmung der karpalen Winkel zur Anwendung [2]. In der durchgeführten Untersuchung wurde der SL-Winkel mit der Tangentialmethode und der RL-Winkel mit der Axialmethode bestimmt. Für den SL-Winkel ergab sich eine Sensitivität von 64,3% und eine Spezifität von 75,0% bezogen auf alle 102 Patienten. Für den RL-Winkel, der am besten zur Bestimmung einer DISI- oder PISI-Konfiguration geeignet ist [88], konnte eine Sensitivität von 66,6% und eine Spezifität von 80,0% ermittelt werden. In die Berechnung sind stets alle Stadien der SLD eingegangen.

Entsprechend der Klassifikation der SLD sind in den konventionellen Röntgenbildern bei den Stadien I und II keine Pathologien sichtbar, und höhere Spezifitäten und Sensitivitäten nicht zu erwarten. Weiterhin ging aus den erstellten Arthroskopieberichten hervor, dass eine akute SLD eine hämatombedingte Fixation des Os lunatum verursachen kann. Das kann als Ursache für eine fehlende DISI-Konfiguration SLD und ein falsch-negatives Ergebnis diskutiert werden.

Die vorliegenden Ergebnisse (Abbildungen 12,13,15 und 16) bestätigen den hohen Stellenwert des pathologischen SL-Winkels und der DISI-Konfiguration in der Diagnostik der SLD [2,89,101].

Auch das Vorhandensein des Ringzeichens des Os scaphoideum im dorsopalmaren Strahlengang kann einen Hinweis auf eine SLD darstellen [28,111]. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass es lediglich durch die Flexionsstellung des Os scaphoideum ohne Rücksicht auf die eigentliche Ursache sichtbar wird [29,105]. Zudem kann das Ringzeichen auch projektionsbedingt, d.h. bei einer Stellung der Hand in Radialduktion im Röntgenbild erscheinen [87]. Bei Werten für die Sensitivität von 69,1% und für die Spezifität von 71,2%, die sich aus der vorliegenden Untersuchung errechnen ließen (Tabelle 7), kann davon ausgegangen werden, dass das Ringzeichen des Os scaphoideum als Prädiktor für eine SLD sehr kritisch bewertet werden muss.

Betrachtet man nun insgesamt die Aussagekraft des statischen Röntgenbildes, bleibt diese zumindest durch die Sensitivität beschränkt (Tabelle 4). Doch die Prüfung nach bestimmten Kriterien zur Diagnostik der SLD zeigt, dass eine gezielte Kombination sinnvoll ist. Durch die Erstellung gemeinsamer Werte aus den erwähnten Winkeln und der SL-Diastase (Abbildung 17, Tabellen 8 und 9) wird deutlich, dass bereits durch zwei (SL-Diastase und SL-Winkel) dieser drei Kriterien die nahezu größtmögliche Aussagekraft des statischen Röntgenbildes erreicht wird, und durch Hinzunahme eines dritten oder sogar vierten kaum noch gesteigert werden kann.

Einer Untersuchung von Metz und Gilula zufolge ist eine maximale Aufweitung des skapholunären Gelenkspalts nicht immer in maximaler Radial- oder in maximaler Ulnarduktion zu erwarten. Stattdessen weitet sich das skapholunäre Kompartiment oftmals im Verlauf dieser beiden Bewegungsausmaße [75,111]. Im Gegensatz dazu beobachteten Braunstein und Louis in ihrer Studie bei der fluoroskopischen Analyse an 68 Händen eine Weitenzunahme des skapholunären Kompartiments in Ulnarduktion und eine -abnahme in Radialduktion [109]. Auch andere Autoren sehen diese beiden

Bewegungen zur Diagnostik der SLD für sinnvoll an [89]. Dies hätte einen enormen Praxiswert, da Anlagen, die eine Kinematographie ermöglichen, nur in wenigen Zentren vorhanden sind. In der vorgelegten Studie war der skapholunäre Gelenkspalt bei lediglich 40,5% (n = 17) in der maximalen Radialduktion und bei 52,4% (n = 22) in maximaler Ulnarduktion bei den arthroskopisch bestätigten SLD deutlich erweitert (Tabelle 9). In 21,4% (n = 9) war eine deutliche Aufweitung, sowohl in maximaler Ulnarduktion, als auch in maximaler Radialduktion, sichtbar. Dies entsprach einer Sensitivität für die maximale Radialduktion von 47,2% und für die maximale Ulnarduktion von 61,1% (Tabelle 9). In der durchgeführten Untersuchung zeigte sich eine maximale Erweiterung sehr individuell während des gesamten Bewegungsablaufs (Abbildungen 7 und 8) und deckt sich damit mit den Erkenntnissen von Metz und Gilula [75]. Eine Empfehlung zu alleinigen statischen Aufnahmen in diesen beiden maximalen Bewegungsausmaßen, zusätzlich zur dorsopalmaren und seitlichen Aufnahme und anstelle der durchgehenden Bewegungsaufzeichnung mittels Kinematographie, kann aufgrund der erhaltenen Ergebnisse nicht erfolgen.

Weiterhin wird die kinematographische Untersuchung bei der Beurteilung von Klick- und Schnappphänomenen, die nicht ausreichend in konventionellen Ruhe- und Belastungsrontgenaufnahmen geklärt werden können, empfohlen [66,67,71,89,112]. Da der Patient erfahrungsgemäß selbst am besten weiß, welche Bewegung ein dynamisches Schnappen produziert, sollte er angehalten werden, diese Manöver während der Dokumentation durchzuführen [71]. Im untersuchten Patientengut befanden sich insgesamt 13 Patienten mit Klick- oder Schnappphänomen. Drei davon erhielten zur weiteren Diagnostik eine Arthroskopie, die nur in einem Fall eine SLD bestätigt hat. Bei den neun restlichen Fällen konnte zumindest kinematographisch keine SLD nachgewiesen werden. Weiss et al. kommt in seiner Studie zu einem ähnlichen Ergebnis. Von 50 arthrographisch und kinematographisch untersuchten Handgelenken wurde in zwei Fällen ein plötzliches Schnappen beobachtet. In einem Fall wurde arthroskopisch eine SLD bestätigt, im zweiten Fall ergab sich in der Arthroskopie ein Normalbefund [91]. Sowohl im untersuchten Patientengut, als auch in dem von Weiss et al. wurden die diagnostizierten Klick- und Schnappphänomene mehrheitlich nicht durch eine SLD hervorgerufen. Folglich war in unserem Patientengut ein Klick- oder Schnappphänomen nicht mit einer SLD assoziiert, was allerdings durch die geringen Fallzahlen kritisch betrachtet werden muss.

Durch die Reproduzierbarkeit mittels digitaler Aufzeichnung und PACS-Speicherung, der damit einhergehenden sehr guten Dokumentierbarkeit, und dem nicht invasiven Vorgehen, sind die Vorzüge der Kinematographie offensichtlich. Die Möglichkeit der Zeitlupendarstellung gestattet das Erkennen von minimalen dynamischen Handwurzelalterationen, kann aber Ursache für falsch-positive Befunde sein. Durch die Kinematographie werden Komplexbewegungen der Handwurzel erfasst, und so die Auswirkung einzelner Läsionen auf das Gesamtgefüge aufgezeigt [63].

Die aufwendige apparative Technik und die Strahlenexposition müssen vor der Indikationsstellung bedacht werden. Durch die geringe Zeitphase, in der der pathologische Bewegungsablauf evident wird, empfiehlt sich eine Wiederholungsfrequenz von mindestens 15 Bildern/s, z.B. als gepulste Durchleuchtung [19]. Die im Unfallkrankenhaus Berlin durchgeführten Kinematographien sind bei einer Wiederholungsfrequenz von 8 Bildern/s vorgenommen worden. Dies hat eine geringere Strahlenexposition, aber natürlich auch ein geringere zeitliche Auflösung zur Folge.

Weiterhin stellt die Diagnostik von isolierten Bandrupturen, die oft nur durch ihre indirekten Auswirkungen sichtbar werden [29], eine Herausforderung dar, die stark untersucherabhängig ist. Ebenso erfordert die Interpretation sowohl Kenntnisse der Biomechanik, als auch große klinische Erfahrung [62,104] in der Handchirurgie und Radiologie. Der im Vergleich zu Arthrographie, MR-Arthrographie, MRT und vor allem Arthroskopie kleinere Zeitaufwand, die geringeren Kosten und auch das nicht- invasive Vorgehen einer kinematographischen Untersuchung ist ein weiterer klarer Vorteil dieses Verfahrens.

Bei einem ausgewählten Patientenkollektiv ($n = 30$) wurde die Arthrographie angewandt. Mit diesem Verfahren können, zusätzlich zur Aufweitung eines Gelenkspaltes, Verletzungen der intrinsischen Ligamente indirekt durch eine Kommunikation von Kontrastmittel, zwischen normalerweise getrennten Gelenkräumen, dargestellt werden [12]. Der Defekt ist zwar lokalisierbar, eine genaue Beurteilung über eine Ausdehnung oder eine Stabilität der Perforation ist arthrographisch allerdings nicht möglich [91,113,114,115]. Weiterhin unklar bleiben die zahlreichen verschiedenen Varianten des SLL. Metz und Gilula demonstrierten in ihrer Studie sechs Erscheinungsformen, die sowohl bei normalen, also auch bei erweitertem skapholunären Kompartiment in der mediokarpalen Arthrographie differenziert werden konnten [75]. Erschwerend zur genauen Beurteilung kommt hinzu, dass bereits ab dem

3. Lebensjahrzehnt degenerative Prozesse einsetzen [12,26], die als so genannte „pin-hole“-Defekte sichtbar werden. Diese sind vor allem im Bereich des proximalen fibrocartilaginären Segments nachweisbar [4,116]. Daraus folgt die Beobachtung einer zunehmenden interkompartimentellen Kommunikation zwischen Medio- und Radiokarpalgelenk mit steigendem Alter [4,14]. Die Differenzierung zwischen asymptomatischen degenerativen Läsionen und symptomatischen akuten oder chronischen Läsionen stellt dementsprechend eine Herausforderung dar [117,118,119]. Herbert zeigte in seiner prospektiven Studie (n = 60), in 46 symptomatischen Händen ein positives Arthrogramm. Als Kontrolle untersuchte er die asymptomatische kontralaterale Seite, die in 74% der Fälle ebenso positive arthrographische Befunde aufwies. Dabei waren in seinem Patientenkollektiv 45% zwischen 16 und 29, und 28% zwischen 30 und 39 Jahre alt [118]. In der vorliegenden Untersuchung wurde bei einer einbezogenen Patientenzahl von n = 30 eine Sensitivität 66,7%, eine Spezifität von 77,8% und eine diagnostische Genauigkeit von 73,3% in Bezug zum Referenzstandard Arthroskopie ermittelt (Tabelle 4). Fünf der untersuchten Patienten waren unter 30 Jahre alt, 13 waren zwischen 31 und 40 und die restlichen 12 waren zwischen 41 und 61 Jahre alt. Die geringe Spezifität ist auf die je vier falsch-positiven und falsch-negativen Befunde zurückzuführen. Eine fehlende interkompartimentelle Kontrastmittelkommunikation kann durch die entstandenen ligamentären Reparations- und Entzündungsprozesse nach SLD und die nachfolgende Adhäsion und Vernarbung der Recessus hervorgerufen werden [120]. Betrachtet man die Literatur, liegt eine große Variation der Werte für die Sensitivität und Spezifität vor. Weiss et al. erhielten in ihrer Untersuchung, bei einem Patientenkollektiv von n = 50, eine Sensibilität von 60%, eine Spezifität von 100% und eine diagnostische Genauigkeit von 84%. Im Gegensatz dazu konnte Cooney nur 12 von 20 arthrographischen Befunden mit der Arthroskopie bestätigen [117]. Durch die multiplen angesprochenen Faktoren sehen wir eine sehr eingeschränkte Indikation der Arthrographie in Bezug auf die Diagnostik der SLD. Insgesamt werden arthrographische Ergebnisse nur eingeschränkt mit der klinischen Symptomatik korreliert [71,73,75]. Eine interkompartimentelle Kontrastmittelkommunikation ist daher nach dem 30. Lebensjahr nur im Seitenvergleich und in genauem Zusammenhang mit der Beschwerdesymptomatik aussagekräftig und als einzelner Prädiktor für die SLD ungeeignet [26].

Während für die Arthrographie eine Gelenkpunktion erforderlich ist, gestattet die MRT eine differenzierte nicht-invasive Untersuchung der ligamentären Strukturen [78]. Mit der Einführung der nativen MR-Bildgebung der Hand gelang erstmalig eine direkte Darstellung intrinsischer Bänder und des triangulären fibrokarilaginären Komplexes (TFCC). Viele Arbeiten über die native Magnetresonanztomographie des Handgelenks beschäftigen sich mit der Darstellung von Bandstrukturen der Hand, vorwiegend wurde aber nur der TFCC untersucht. Für diese Struktur, vor allem ihrem zentralen Anteil, konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden [78,79,121,122,123,124].

Betrachtet man die Literatur schwankt die diagnostische Leistung der MRT bezüglich der Darstellung der intrinsischen Bänder erheblich [125,126]. Im Vergleich zur Arthroskopie wies die MRT in der Erkennung von Verletzungen intrinsischer Bänder sowie vor allem geringe Sensitivitäten auf [1,127]. Zudem treten Signalveränderungen häufig auch bei asymptomatischen Probanden auf, sodass die Untersuchungsmethode außerdem auch eine geringe Spezifität aufweist [1,119]. In einer Studie von 1998 ist Berger bezüglich der MRT sogar der Meinung, dass „es nahezu unmöglich ist, einzig durch die Visualisierung der dorsalen und palmaren Segmente des SLL, eine Beurteilung im Sinne einer Intaktheit oder einer Komprimierung desselben vorzunehmen“, und kommt letztlich zu dem Schluss, dass „die MRT zum jetzigen Zeitpunkt keinen größeren Nutzen, als eine standardisierte Arthrographie bringt“ [50].

In der vorliegenden Studie konnte für die MRT eine Sensitivität von 53,3% und eine Spezifität von 90,9% ermittelt werden (Tabelle 4). Eine ähnliche Verteilung erhielt auch die Arbeitsgruppe um Schädel-Höpfner in ihrer prospektiven Untersuchung (n = 103), bei einer Sensitivität von 63% und einer Spezifität von 86% [76]. In einer vergleichenden Studie an 54 Patienten zeigten Morley et al., dass für die native MRT mit der Arthroskopie als GOLD-Standard eine Sensitivität für Verletzungen des TFCC von nur 44% und für das SLL von lediglich 11% erreicht wurden [128].

In Übereinstimmung mit Schädel-Höpfner lassen die erhaltenen Ergebnisse den Schluss zu, dass die MRT zur alleinigen Diagnostik der SLD zur Zeit nicht empfohlen werden kann [76].

Im Unterschied zu den anderen Untersuchungsverfahren wird der direkten MR-Arthrographie das Potenzial zugeschrieben, die exakte Größe, das Ausmaß und die genaue Lokalisation einer ligamentären Verletzung der Hand erfassen zu können [82,129,130]. Sie vereint die Vorteile der Arthrographie mit der guten Darstellung der

Anatomie von Handgelenksstrukturen in der Magnetresonanztomographie. Die Durchführung kann als Ein-, Zwei- oder Dreikompartiment-Injektion erfolgen [131]. Kommunizierende Defekte, die in der T1-gewichteten SE-Sequenz durch den intraartikulären Gadoliniumgehalt signalreich zur Darstellung kommen, können exakt gegen die direkt darstellbaren, typischerweise signalarmen, intrinsischen Ligamente abgegrenzt werden [78]. Die intraartikuläre Instillation von Kontrastmittel bewirkt eine Aufdehnung der Gelenkräume, wodurch der Kapsel-Bandapparat extendiert und besser darstellbar ist. Das Einhalten eines angemessenen Zeitintervalls (höchstens 20 bis 30 Minuten) zwischen Kontrastmittelinjektion und Tomographie bei der Durchführung der direkten MR-Arthrographie ist Voraussetzung für eine optimale Verteilung des Kontrastmittels. Eine zeitliche Verzögerung bewirkt einen vermehrten „wash-out-effect“ durch Kontrastmittel-Absorption mit Signalverlust der Strukturen [132,133]. Einer Untersuchung Drapes zufolge, ist ein Mobilisieren des zu untersuchenden Gelenkes für 10 bis 15 Minuten nach der Gabe von Gadolinium vor der Bildgebung sinnvoll, da so ein deutlicher Anstieg der Signalintensität ermöglicht wird [134]. Allerdings hat Mäurer in seiner Untersuchung festgestellt, dass diese Zeit auch gleichzeitig die maximale Steigerung der Signalintensität gewährleistet [132].

Komplikationen im Rahmen der MRT oder der MR-Arthrographie sind als Reaktionen auf das intraartikulär verabreichte Kontrastmittel denkbar, z. B. als Gelenkinfektion, paraartikuläre Fehlinjektion oder allergische Reaktion. Weiterhin kann eine fehlerhafte Injektion des Kontrastmittels eine inkorrekte Interpretation des Befundes nach sich ziehen [131]. Dies ist bei sorgfältiger Durchführung der MR-Arthrographie vermeidbar. Während bei der MRT, der MR-Arthrographie und der Arthroskopie die Weichteilstrukturen direkt visualisiert werden, kann mittels der Kinematographie nur indirekt auf eine Bandläsion geschlossen werden [135].

Whipple gibt drei Indikationen der Arthroskopie an. Erstens zur Beurteilung der Größe von Verletzungen der Weichteile, des Knorpels, des Kapselbandapparates und der interossären Bänder und bei Verletzungen des TFCC. Zweitens bei intraartikulären Frakturen und drittens bei unklarer Diagnose [136]. Der entscheidende Vorteil der Arthroskopie ist die Möglichkeit, die zusätzlich gewonnenen Befunde bei Notwendigkeit sofort therapeutisch behandeln zu können. Durch die direkte Einsicht in das Handgelenk können bessere Informationen über die Lokalisation und das Ausmaß einer

Läsion gewonnen werden. In einer Untersuchung von De Smet et al. wurden allein 40% der durchgeführten Handgelenksspiegelungen rein diagnostisch vorgenommen [137]. Nicht vergessen werden darf, dass die Arthroskopie als minimal-invasives Verfahren mit den Gefahren, Risiken, Kosten und Unannehmlichkeiten eines chirurgischen Gelenkeingriffs einhergeht. Nach Small muss jedoch bei Arthroskopien insgesamt mit einer Komplikationsrate von etwa 1% gerechnet werden [138]. Bedacht werden muss weiterhin, dass die Arthroskopie zwar den Goldstandard in der Handgelenksdiagnostik darstellt, aber wie auch die bildgebenden Verfahren untersucherabhängig ist [127]. Eine Limitierung dieses Verfahrens kann sowohl auf Unerfahrenheit des Handchirurgen, als auch auf das begrenzte Sichtfeld der verwendeten Optik zurückzuführen sein [117,127]. Folglich ist die Arthroskopie ebenso nicht zu 100% treffsicher [139].

Zusammenfassend kann die Kinematographie zur Diagnostik der SLD als sinnvoll eingeschätzt werden. Da sie weder eine 100%ige Sensitivität noch Spezifität erreicht, kann sie die diagnostische Arthroskopie jedoch nicht ersetzen. Ihre Vorteile sind die eindeutige Reproduzierbarkeit, die geringen Kosten, das nicht invasive Vorgehen und die schnelle Durchführbarkeit im Vergleich zu den übrigen angewendeten bildgebenden Verfahren und der Arthroskopie. Insbesondere im Vergleich zu Arthrographie und MRT zeigt sie einen klaren Vorzug. Konventionelle Aufnahmen im Faustschluss oder in maximaler Radial- und Ulnaruktion stehen in den Trefferquoten der Kinematographie nach und können diese nicht ersetzen. Aus den erhaltenen Ergebnissen wird die hohe Aussagekraft von konventionellen Röntgenbildern in 2 Ebenen und der Kinematographie deutlich. Die Notwendigkeit zur Effizienz, unter anderem in Anbetracht auf Kosten, Zeit und Patientenkomfort, sollten in der Diagnostik Berücksichtigung finden. Die Tendenz jegliche diagnostische Möglichkeiten auszuschöpfen, kann durch sinnvolle Kombinationen oftmals reduziert werden.

Abbildung 19 zeigt einen denkbaren Vorschlag einer rationellen Abfolge der Diagnostik.

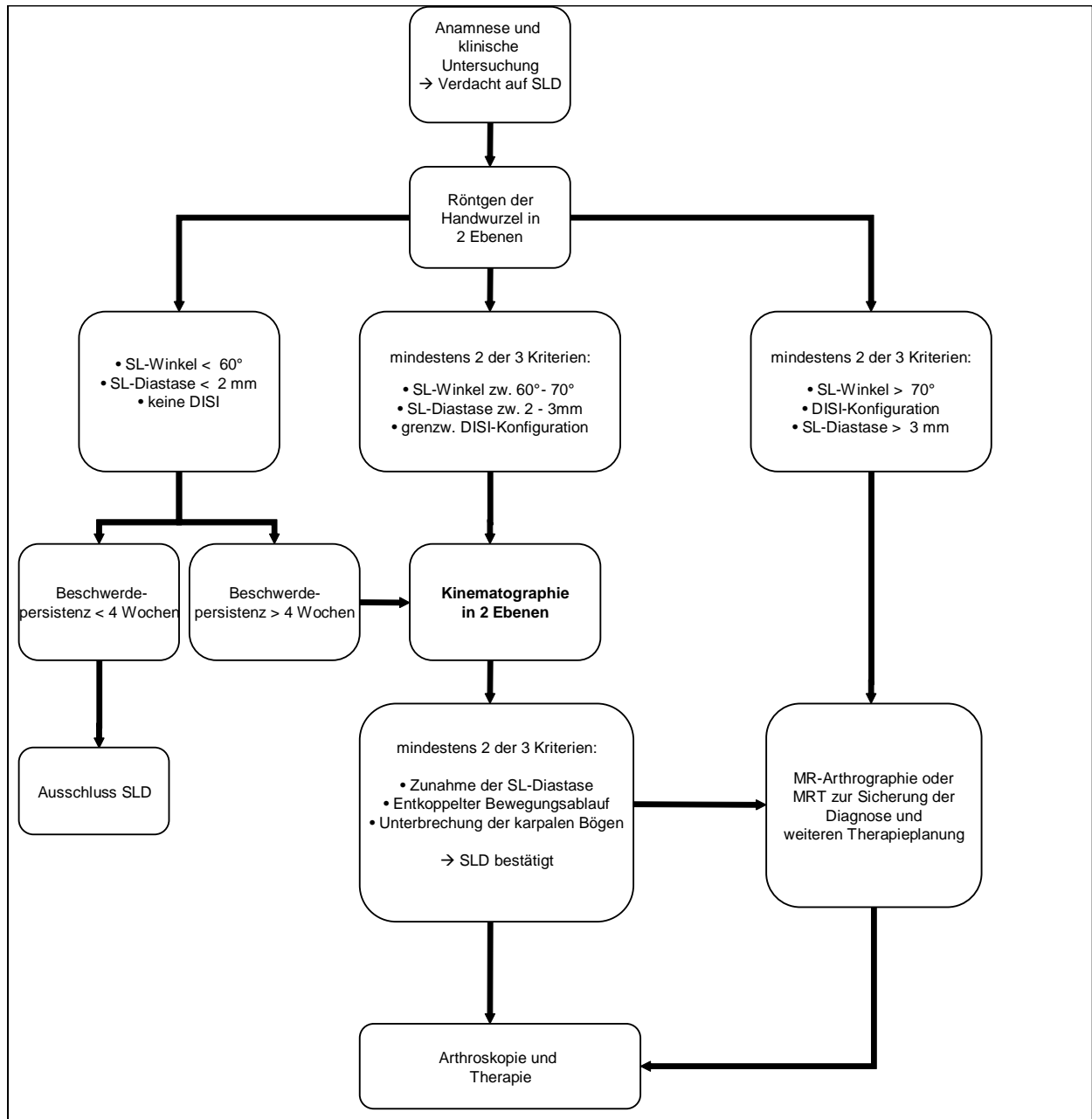


Abbildung 19:

möglicher Untersuchungsablauf bei Verdacht auf SLD

Eine mögliche Einschränkung der vorliegenden Studie liegt in der retrospektiven Datenerfassung. In der Rückschau lässt sich nicht sicher bestimmen, ob und welche Konsequenzen aus den bildgebenden Befunden gezogen wurden.

Auch kann ein Selektions-Bias nicht ausgeschlossen werden, der die Sensitivität bestimmter Methoden artifiziell erhöhen kann.

Des Weiteren fehlt eine durchgehende Anwendung der erwähnten bildgebenden Diagnostik im untersuchten Patientenkollektiv. Die Fallzahlen der durchgeführten

Arthrographien, MRT und MR-Arthrographien waren gering. Damit muss der direkte Vergleich der verschiedenen Verfahren untereinander kritisch betrachtet werden.

Zusätzlich limitierend ist die in diesem Zusammenhang hohe interindividuelle Variabilität bei Beurteilungen radiologischer Untersuchungen zu erwähnen [140].

Aufgrund dieser Tatsachen und auch zur weiteren Überprüfung des vorgestellten Untersuchungsablaufs bei Verdacht auf SLD (Abbildung 19) sind weitere prospektive Untersuchungen zur Diagnostik skapholunärer Bandverletzungen notwendig und bereits in Vorbereitung.

6 Zusammenfassung

Die Ruptur des Ligamentum scapholunatum (SLL) und die skapholunäre Dissoziation (SLD) gehören zu den häufigsten Bandverletzungen der Hand. Sie führen unbehandelt zu schmerzhaften Arthrosen, die oft in einer Teil- oder Panarthrodese der Handwurzel enden. Ihre frühzeitige Diagnostik bleibt eine interdisziplinäre Herausforderung.

Unter den bildgebenden Methoden haben sich konventionelle Röntgenaufnahmen, die Kinematografie, die Magnetresonanztomographie und –arthrographie und die Dreikompartiment-Arthrographie klinisch etabliert. Daten zur diagnostischen Genauigkeit sind jedoch entweder nicht vorhanden, nur eingeschränkt valide, oder aber stark heterogen.

Ziel dieser retrospektiven Arbeit war es, die diagnostische Genauigkeit der unterschiedlichen Diagnoseverfahren im Vergleich zum Goldstandard Arthroskopie zu ermitteln und neben der kritischen Evaluation des bisherigen klinischen Vorgehens Handlungsempfehlungen für die Praxis zu erarbeiten.

Für diese Untersuchung wurden 198 Patienten, bei denen zwischen dem 1. Juni 2000 und 1. Februar 2006 aufgrund posttraumatischer Handgelenkbeschwerden Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen und eine Kinematografie des Handgelenkes angefertigt wurden, erfasst. Von dieser Stichprobe erhielten 102 Patienten eine diagnostische Arthroskopie. Im Einzelfall zusätzlich angewendete bildgebende Verfahren wurden ebenfalls berücksichtigt. Darunter fielen die MRT (n = 36), die Arthrographie (n = 30) und die MR-Arthrographie (n = 16).

Alle digital archivierte Aufnahmen wurden von zwei unabhängigen, muskuloskelettal erfahrenen Radiologen ohne Kenntnis des Arthroskopiebefundes nochmals evaluiert. Im informellen Konsensus wurde eine skapholunäre Bandverletzung bestätigt oder ausgeschlossen. Pathologische Befunde wurden entsprechend der Unterteilung der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie klassifiziert. Die arthroskopische Beurteilung erfolgte jeweils durch einen von vier erfahrenen Handchirurgen des Unfallkrankenhauses Berlin.

Die diagnostischen Kenngrößen Sensitivität und Spezifität der einzelnen radiologischen Verfahren wurden im Vergleich zum diagnostischen Referenzstandard Arthroskopie berechnet. Die Schätzpräzision wurde mit 95% Konfidenzintervallen beschrieben. Bei stetigen Messwerten wurden Receiver Operating Characteristics (ROC) und ihre Flächen (AUC) unter den Kurven bestimmt.

Bei entsprechenden Verteilungsvoraussetzungen wurden unabhängige Variablen mittels logistischer Regressionsanalyse getestet. Die Anpassungsgüte der Modelle wurde mit dem log-likelihood Kriterium und dem Hosmer-Lemeshow-Test überprüft.

In dieser retrospektiven Studie zur Abklärung von Verletzungen des SLL erwies sich die Basisdiagnostik aus klinischer Untersuchung, Röntgen-Untersuchung und Kinematografie als erstaunlich genau. Arthroskopisch konnten 42 SLD diagnostiziert werden. Konventionelle Röntgenbilder identifizierten 24 Verletzungen korrekt (Sensitivität 57,1%, 95% Konfidenzintervall 41,0% – 72,3%) und produzierten einen falsch-positiven Befund (Spezifität 98,3%, 95% Konfidenzintervall 91,1% – 100,0%). Für die SL-Diastase und den SL-Winkel resultierten AUC/ROC von 85,7% (95% Konfidenzintervall 76,8% – 92,2%).

Die Kinematographie ermittelte 36 SLD als richtig-positiv (Sensitivität 85,7%, 95% Konfidenzintervall 71,5% – 94,6%), und 57 von 60 Normalbefunden als richtig-negativ (Spezifität 95,0%, 95% Konfidenzintervall 86,1% – 99,0%).

Neben den konventionellen Aufnahmen ist die fluoroskopische Bewegungsanalyse daher ein wichtiger Eckpfeiler der radiologischen Diagnostik der SLD. Eine Kombination der radiologischen Methoden, unter Berücksichtigung quantitativer Messungen, weist im positiven Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Vorliegen einer SLD hin. Insbesondere die Synopsis aus konventionellem Röntgen und der Kinematographie stellt, durch die gezeigten hohen Trefferquoten, eine gute Kombination aus bildgebenden Verfahren dar. Wird aufgrund der Befundkonstellation die Indikation zur Arthroskopie gestellt, ist das Risiko für den Betroffenen, sich einem negativen und damit überflüssigen Eingriff zu unterziehen, sehr gering - vorausgesetzt, dass sich auch unmittelbare therapeutische Konsequenzen ergeben.

Selbst unter Ausschöpfung aller "state-of-the-art" Methoden muss von einer unvermeidbaren Rate falsch-negativer Befunde um 15% ausgegangen werden. Im Zweifelsfall sollte daher bei persistierenden Beschwerden die Diagnose invasiv erzwungen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Totterman, S. M. und Miller, R. J. (1996): Scapholunate ligament: normal MR appearance on three-dimensional gradient-recalled-echo images, *Radiology*. 200 [1], Seite 237-241.
- [2] Linscheid, R. L.; Dobyns, J. H.; Beabout, J. W. und Bryan, R. S. (1972): Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics, *J.Bone Joint Surg.Am.* 54 [8], Seite 1612-1632.
- [3] Mayfield, J. K.; Johnson, R. P. und Kilcoyne, R. F. (1976): The ligaments of the human wrist and their functional significance, *Anat.Rec.* 186 [3], Seite 417-428.
- [4] Daunt, N. (2002): Magnetic resonance imaging of the wrist: anatomy and pathology of interosseous ligaments and the triangular fibrocartilage complex, *Curr.Probl.Diagn.Radiol.* 31 [4], Seite 158-176.
- [5] Schmitt, R. (2004): Karpale Ligamente, Schmitt, R. und Lanz, U., *Bildgebende Diagnostik der Hand*, 2. Auflage, Seite 96-112, Thieme, Stuttgart, New York.
- [6] Berger, R. A. (1996): The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament, *J.Hand Surg.[Am.]*. 21 [2], Seite 170-178.
- [7] Berger, R. A.; Imeada, T.; Berglund, L. und An, K. N. (1999): Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament, *J.Hand Surg.[Am.]*. 24 [5], Seite 953-962.
- [8] Sokolow, C. und Saffar, P. (2001): Anatomy and histology of the scapholunate ligament, *Hand Clin.* 17 [1], Seite 77-81.
- [9] Kauer, J. M. (1986): The mechanism of the carpal joint, *Clin.Orthop.Relat Res.* [202], Seite 16-26.
- [10] Short, W. H.; Werner, F. W.; Green, J. K. und Masaoka, S. (2002): Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate, *J.Hand Surg.[Am.]*. 27 [6], Seite 991-1002.
- [11] Berger, R. A. (1997): The ligaments of the wrist. A current overview of anatomy with considerations of their potential functions, *Hand Clin.* 13 [1], Seite 63-82.
- [12] Levinsohn, E. M.; Rosen, I. D. und Palmer, A. K. (1991): Wrist arthrography: value of the three-compartment injection method, *Radiology*. 179 [1], Seite 231-239.
- [13] Viegas, S. F.; Patterson, R. M.; Hokanson, J. A. und Davis, J. (1993): Wrist anatomy: incidence, distribution, and correlation of anatomic variations, tears, and arthrosis, *J.Hand Surg.[Am.]*. 18 [3], Seite 463-475.

- [14] Metz, V. M.; Blum, A.; Bresler, F.; Voche, P.; Merle, M. und Regent, D. (1996): Arthrography and CT-Arthrography of the Wrist and Hand, Gilula, L. A. und Yin, Y., Imaging of the Wrist and Hand , Seite 367-400, W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- [15] Theumann, N. H.; Etechami, G.; Duvoisin, B.; Wintermark, M.; Schnyder, P.; Favarger, N. und Gilula, L. A. (2006): Association between extrinsic and intrinsic carpal ligament injuries at MR arthrography and carpal instability at radiography: initial observations, Radiology. 238 [3], Seite 950-957.
- [16] Mitsuyasu, H.; Patterson, R. M.; Shah, M. A.; Buford, W. L.; Iwamoto, Y. und Viegas, S. F. (2004): The role of the dorsal intercarpal ligament in dynamic and static scapholunate instability, J.Hand Surg.[Am.]. 29 [2], Seite 279-288.
- [17] Short, W. H.; Werner, F. W.; Green, J. K.; Sutton, L. G. und Brutus, J. P. (2007): Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part III, J.Hand Surg.[Am.]. 32 [3], Seite 297-309.
- [18] Dobyns, J. H. und Linscheid, R. L. (2004): A Fifty-Year Overview of Wrist Instability, Berger, R. A. und Weiss, A. P. C., Hand Surgery 1, Seite 461-479, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- [19] Schmitt, R.; Frohner, S.; Fodor, S.; Christopoulos, G. und Kalb, K. H. (2006): [Early radiological diagnostics for scapholunate dissociation (SLD)], Radiologe. 46 [8], Seite 654-663.
- [20] Drewniany, J. J.; Palmer, A. K. und Flatt, A. E. (1985): The scaphotrapezial ligament complex: an anatomic and biomechanical study, J.Hand Surg.[Am.]. 10 [4], Seite 492-498.
- [21] Short, W. H.; Werner, F. W.; Green, J. K.; Weiner, M. M. und Masaoka, S. (2002): The effect of sectioning the dorsal radiocarpal ligament and insertion of a pressure sensor into the radiocarpal joint on scaphoid and lunate kinematics, J.Hand Surg.[Am.]. 27 [1], Seite 68-76.
- [22] Viegas, S. F.; Yamaguchi, S.; Boyd, N. L. und Patterson, R. M. (1999): The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function, J.Hand Surg.[Am.]. 24 [3], Seite 456-468.
- [23] Youm, Y. und Flatt, A. E. (1980): Kinematics of the wrist, Clin.Orthop.Relat Res. [149], Seite 21-32.
- [24] Fisk, G. R. (1970): Carpal instability and the fractured scaphoid, Ann.R.Coll.Surg.Engl. 46 [2], Seite 63-76.
- [25] Fisk, G. R. (1984): The wrist, J.Bone Joint Surg.Br. 66 [3], Seite 396-407.
- [26] Schmitt, R.; Stäbler, A. und Krimmer, H. (2004): Karpale Instabilitäten, Schmitt, R. und Lanz, U., Bildgebende Diagnostik der Hand , 2. Auflage, Seite 261-284, Thieme, Stuttgart, New York.

- [27] Taleisnik, J. (1988): Current concepts review. Carpal instability, *J.Bone Joint Surg.Am.* 70 [8], Seite 1262-1268.
- [28] Baratz, M. E. und Dunn, M. J. (2004): Ligament Injuries and Instability of the Carpus: Scapholunate Joint, Berger, R. A. und Weiss, A. P. C., *Hand Surgery* 1, Seite 481-494, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- [29] Garcia-Elias, M. und Geissler, W. B. (2005): Carpal Instability, Green, D. P.; Hotchkiss, R. N.; Pederson, W. C. und Wolfe, S. W., *Green's Operative Hand Surgery* 1, 5. Auflage, Seite 535-604, Elsevier Churchill Livingstone, Philadelphia.
- [30] Taleisnik, J. und Linscheid, R. L. (1998): Scapholunate Instability, Cooney, W. P.; Linscheid, R. L. und Dobyns, J. H., *The Wrist: Diagnosis and Operative Treatment* 1, Seite 501-526, Mosby, St.Louis.
- [31] Ruby, L. K.; An, K. N.; Linscheid, R. L.; Cooney, W. P., III und Chao, E. Y. (1987): The effect of scapholunate ligament section on scapholunate motion, *J.Hand Surg.[Am.]*. 12 [5 Pt 1], Seite 767-771.
- [32] Chidgey, L. K. (1992): Chronic wrist pain, *Orthop.Clin.North Am.* 23 [1], Seite 49-64.
- [33] Jones, W. A. (1988): Beware the sprained wrist. The incidence and diagnosis of scapholunate instability, *J.Bone Joint Surg.Br.* 70 [2], Seite 293-297.
- [34] Buck-Gramcko, D. (1985): [Scapholunate dissociation], *Handchir.Mikrochir.Plust.Chir.* 17 [4], Seite 194-199.
- [35] Mayfield, J. K. (1984): Patterns of injury to carpal ligaments. A spectrum, *Clin.Orthop.Relat Res.* [187], Seite 36-42.
- [36] Geissler, W. B.; Freeland, A. E.; Savoie, F. H.; McIntyre, L. W. und Whipple, T. L. (1996): Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius, *J.Bone Joint Surg.Am.* 78 [3], Seite 357-365.
- [37] Fontes, D.; Lenoble, E.; de Somer, B. und Benoit, J. (1992): [Lesions of the ligaments associated with distal fractures of the radius. 58 intraoperative arthrographies], *Ann.Chir Main Memb.Super.* 11 [2], Seite 119-125.
- [38] Rappold, G.; Leixnering, M. und Pezzei, C. (2001): [Carpal injuries associated with distal radius fractures. Diagnosis and therapy], *Handchir.Mikrochir.Plust.Chir.* 33 [4], Seite 221-228.
- [39] Hanker, G. J. (1991): Diagnostic and operative arthroscopy of the wrist, *Clin.Orthop.Relat Res.* [263], Seite 165-174.
- [40] Stoffelen, D.; De Mulder, K. und Broos, P. (1998): The clinical importance of carpal instabilities following distal radial fractures, *J.Hand Surg.[Br.]*. 23 [4], Seite 512-516.

- [41] Pennes, D. R.; Braunstein, E. M. und Shirazi, K. K. (1985): Carpal ligamentous laxity with bilateral perilunate dislocation in Marfan syndrome, *Skeletal Radiol.* 13 [1], Seite 62-64.
- [42] Resnick, D. und Niwayama, G. (1977): Carpal instability in rheumatoid arthritis and calcium pyrophosphate deposition disease. Pathogenesis and roentgen appearance, *Ann.Rheum.Dis.* 36 [4], Seite 311-318.
- [43] Gharbaoui, I. S.; Netscher, D. T. und Kessler, F. B. (2005): Chronic asymptomatic contralateral wrist scapholunate dissociation, *Plast.Reconstr.Surg.* 116 [6], Seite 1672-1678.
- [44] Taleisnik, J. (1976): The ligaments of the wrist, *J.Hand Surg.[Am.]*. 1 [2], Seite 110-118.
- [45] Wolfe, S. W.; Neu, C. und Crisco, J. J. (2000): In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension, *J.Hand Surg.[Am.]*. 25 [5], Seite 860-869.
- [46] Howard, F. M.; Fahey, T. und Wojcik, E. (1974): Rotatory subluxation of the navicular, *Clin.Orthop.Relat Res.* [104], Seite 134-139.
- [47] Kauer, J. M. (1974): The interdependence of carpal articulation chains, *Acta Anat.(Basel)*. 88 [4], Seite 481-501.
- [48] Krimmer, H. und Lanz, U. (2000): [Post-traumatic carpal collapse. Follow-up and therapeutic concept], *Unfallchirurg.* 103 [4], Seite 260-266.
- [49] Gilford, W. W.; Bolton, R. H.; Lambrinudi, B. M. und Lambrinudi, C. (1943): The Mechanism of the Wrist Joint, *Guy's Hospital Reports* [92], Seite 52-59.
- [50] Berger, R. A. (1998): Radial-sided carpal instability, *Instr.Course Lect.* 47:219-28., Seite 219-228.
- [51] Watson, H. K. und Ballet, F. L. (1984): The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis, *J.Hand Surg.[Am.]*. 9 [3], Seite 358-365.
- [52] Meier, R.; Krettek, C. und Krimmer, H. (2003): [Diagnostics at the wrist], *Unfallchirurg.* 106 [12], Seite 999-1009.
- [53] Ewert, A. und Mittlmeier, T. (2007): [Indications and techniques for wrist arthroscopy.], *Unfallchirurg.* 110 [1], Seite 49-62.
- [54] Moneim, M. S. (1981): The tangential posteroanterior radiograph to demonstrate scapholunate dissociation, *J.Bone Joint Surg.Am.* 63 [8], Seite 1324-1326.
- [55] Watson, H.; Ottoni, L.; Pitts, E. C. und Handal, A. G. (1993): Rotary subluxation of the scaphoid: a spectrum of instability, *J.Hand Surg.[Br.]*. 18 [1], Seite 62-64.
- [56] Wüstner-Hofmann, M. C. (2001): Leitlinien scapholunärer Bandverletzungen. Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie. URL: <http://www.DG-H.de>

- [57] Schneiders, W.; Amlang, M.; Rammelt, S. und Zwipp, H. (2005): [Frequency of acute and chronic scapholunate dissociation in distal radius fractures. Different treatment plans], *Unfallchirurg*. 108 [9], Seite 715-720.
- [58] Linscheid, R. L. (1984): Scapholunate ligamentous instabilities (dissociations, subdislocations, dislocations), *Ann.Chir Main*. 3 [4], Seite 323-330.
- [59] Watson, H. K.; Ashmead, D. und Makhlof, M. V. (1988): Examination of the scaphoid, *J.Hand Surg.[Am.]*. 13 [5], Seite 657-660.
- [60] Easterling, K. J. und Wolfe, S. W. (1994): Scaphoid shift in the uninjured wrist, *J.Hand Surg.[Am.]*. 19 [4], Seite 604-606.
- [61] Wolfe, S. W. und Crisco, J. J. (1994): Mechanical evaluation of the scaphoid shift test, *J.Hand Surg.[Am.]*. 19 [5], Seite 762-768.
- [62] Bottcher, R.; Mutze, S.; Lautenbach, M. und Eisenschenk, A. (2005): [Diagnosis of lunotriquetral instability], *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*. 37 [2], Seite 131-136.
- [63] Schwarz, M.; Lowka, K. und Geishauser, M. R. (1992): [Indications for and value of kinematography of the wrist joint], *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*. 24 [4], Seite 199-201.
- [64] Arkless, R. (1966): Cineradiography in normal and abnormal wrists, *Am.J.Roentgenol.Radium.Ther.Nucl.Med*. 96 [4], Seite 837-844.
- [65] Daschner, H.; Werber, K. und Gerhardt, P. (1991): [Cinematography of the wrist], *Rontgenpraxis*. 44 [6], Seite 169-173.
- [66] Nielsen, P. T. und Hedeboe, J. (1984): Posttraumatic scapholunate dissociation detected by wrist cineradiography, *J.Hand Surg.[Am.]*. 9A [1], Seite 135-138.
- [67] Protas, J. M. und Jackson, W. T. (1980): Evaluating carpal instabilities with fluoroscopy, *AJR Am.J.Roentgenol*. 135 [1], Seite 137-140.
- [68] Werber, K. D.; Wuttge-Hannig, A. und Hannig, C. (1990): [Cinematography, a new diagnostic procedure in evaluation of the injured painful wrist joint], *Langenbecks Arch.Chir Suppl II Verh.Dtsch.Ges.Chir.* :727-9., Seite 727-729.
- [69] Bond, J. R. und Berquist, T. H. (1991): Radiologic evaluation of hand and wrist motion, *Hand Clin*. 7 [1], Seite 113-123.
- [70] Jackson, W. T. und Protas, J. M. (1981): Snapping scapholunate subluxation, *J.Hand Surg.[Am.]*. 6 [6], Seite 590-594.
- [71] Schmitt, R.; Froehner, S.; Coblenz, G. und Christopoulos, G. (2006): Carpal instability, *Eur.Radiol*. 16 [10], Seite 2161-2178.
- [72] Wright, T. W.; Dobyns, J. H.; Linscheid, R. L.; Macksoud, W. und Siegert, J. (1994): Carpal instability non-dissociative, *J.Hand Surg.[Br.]*. 19 [6], Seite 763-773.

- [73] Linkous, M. D.; Pierce, S. D. und Gilula, L. A. (2000): Scapholunate ligamentous communicating defects in symptomatic and asymptomatic wrists: characteristics, *Radiology*. 216 [3], Seite 846-850.
- [74] Schmitt, R.; Christopoulos, G.; Meier, R.; Coblenz, G.; Frohner, S.; Lanz, U. und Krimmer, H. (2003): [Direct MR arthrography of the wrist in comparison with arthroscopy: a prospective study on 125 patients], *Rofo*. 175 [7], Seite 911-919.
- [75] Metz, V. M. und Gilula, L. A. (1993): Is this scapholunate joint and its ligament abnormal?, *J.Hand Surg.[Am.]*. 18 [4], Seite 746-755.
- [76] Schadel-Hopfner, M.; Iwinska-Zelder, J.; Braus, T.; Bohringer, G.; Klose, K. J. und Gotzen, L. (2001): MRI versus arthroscopy in the diagnosis of scapholunate ligament injury, *J.Hand Surg.[Br.]*. 26 [1], Seite 17-21.
- [77] Scheck, R. J.; Kubitzek, C.; Hierner, R.; Szeimies, U.; Pfluger, T.; Wilhelm, K. und Hahn, K. (1997): The scapholunate interosseous ligament in MR arthrography of the wrist: correlation with non-enhanced MRI and wrist arthroscopy, *Skeletal Radiol*. 26 [5], Seite 263-271.
- [78] Schweitzer, M. E.; Brahme, S. K.; Hodler, J.; Hanker, G. J.; Lynch, T. P.; Flannigan, B. D.; Godzik, C. A. und Resnick, D. (1992): Chronic wrist pain: spin-echo and short tau inversion recovery MR imaging and conventional and MR arthrography, *Radiology*. 182 [1], Seite 205-211.
- [79] Zlatkin, M. B. und Greenan, T. (1992): Magnetic resonance imaging of the wrist, *Magn Reson.Q.* 8 [2], Seite 65-96.
- [80] Vahlensieck, M.; Peterfy, C. G.; Wischer, T.; Sommer, T.; Lang, P.; Schlippert, U.; Genant, H. K. und Schild, H. H. (1996): Indirect MR arthrography: optimization and clinical applications, *Radiology*. 200 [1], Seite 249-254.
- [81] Haims, A. H.; Schweitzer, M. E.; Morrison, W. B.; Deely, D.; Lange, R. C.; Osterman, A. L.; Bednar, J. M.; Taras, J. S. und Culp, R. W. (2003): Internal derangement of the wrist: indirect MR arthrography versus unenhanced MR imaging, *Radiology*. 227 [3], Seite 701-707.
- [82] Scheck, R. J.; Romagnolo, A.; Hierner, R.; Pfluger, T.; Wilhelm, K. und Hahn, K. (1999): The carpal ligaments in MR arthrography of the wrist: correlation with standard MRI and wrist arthroscopy, *J.Magn Reson.Imaging*. 9 [3], Seite 468-474.
- [83] Frankel, V. H. (1977): The Terry-Thomas sign, *Clin.Orthop.Relat Res.* [129], Seite 321-322.
- [84] Kindynis, P.; Resnick, D.; Kang, H. S.; Haller, J. und Sartoris, D. J. (1990): Demonstration of the scapholunate space with radiography, *Radiology*. 175 [1], Seite 278-280.
- [85] Schimmerl-Metz, S. M.; Metz, V. M.; Totterman, S. M.; Mann, F. A. und Gilula, L. A. (1999): Radiologic measurement of the scapholunate joint: implications of biologic variation in scapholunate joint morphology, *J.Hand Surg.[Am.]*. 24 [6], Seite 1237-1244.

- [86] Schernberg, F.; Truong, N. P.; Mann, F. A. und Gilula, L. A. (1996): Wrist Instability Series: An Overview, Gilula, L. A. und Yin, Y., *Imaging of the Wrist and Hand*, Seite 169-202, W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- [87] Yin, Y.; Mann, F. A.; Hodge, J. C. und Gilula, L. A. (1996): Roentgenographic Interpretation of Ligamentous Instabilities: Static and Dynamic Instabilities, Gilula, L. A. und Yin, Y., *Imaging of the Wrist and Hand*, Seite 203-224, W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- [88] Nakamura, R.; Hori, M.; Imamura, T.; Horii, E. und Miura, T. (1989): Method for measurement and evaluation of carpal bone angles, *J.Hand Surg.[Am.]*. 14 [2 Pt 2], Seite 412-416.
- [89] Gilula, L. A. und Weeks, P. M. (1978): Post-traumatic ligamentous instabilities of the wrist, *Radiology*. 129 [3], Seite 641-651.
- [90] Hosmer, D. L. und Lemeshow, S. (2000): *Applied logistic regression.*, Wiley, New York.
- [91] Weiss, A. P.; Akelman, E. und Lambiase, R. (1996): Comparison of the findings of triple-injection cinearthrography of the wrist with those of arthroscopy, *J.Bone Joint Surg.Am.* 78 [3], Seite 348-356.
- [92] Schadel-Hopfner, M.; Bohringer, G. und Gotzen, L. (2000): [Results after minimally invasive therapy of acute scapholunate dissociation], *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir.* 32 [5], Seite 333-338.
- [93] Cook, P. A.; Kobus, R. J.; Wiand, W. und Yu, J. S. (1997): Scapholunate ligament disruption in a skeletally immature patient: a case report, *J.Hand Surg.[Am.]*. 22 [1], Seite 83-85.
- [94] Dautel, G. und Merle, M. (1997): Scapholunate dissociation in the skeletally immature carpus, *J.Hand Surg.[Br.]*. 22 [2], Seite 173-174.
- [95] Zimmerman, N. B. und Weiland, A. J. (1990): Scapholunate dissociation in the skeletally immature carpus, *J.Hand Surg.[Am.]*. 15 [5], Seite 701-705.
- [96] Light, T. R. (1988): Injury to the immature carpus, *Hand Clin.* 4 [3], Seite 415-424.
- [97] Rademacher, G. und Mutze, S. (2005): Bildgebende Diagnostik des Handgelenks und der Handwurzel, *CME Radiologie*.
- [98] Pin, P. G.; Semenkovich, J. W.; Young, V. L.; Bartell, T.; Crandall, R. E.; Gilula, L. A.; Reed, K.; Weeks, P. M. und Siegel, B. A. (1988): Role of radionuclide imaging in the evaluation of wrist pain, *J.Hand Surg.[Am.]*. 13 [6], Seite 810-814.
- [99] Linn, M. R.; Mann, F. A. und Gilula, L. A. (1990): Imaging the symptomatic wrist, *Orthop.Clin.North Am.* 21 [3], Seite 515-543.
- [100] Dobyns, J. H.; Linscheid, R. L.; Chao, E. Y. S.; Weber, E. R. und Swanson, G. E. (1975): Traumatic Instability of the Wrist., *Instr.Course Lect.* 24, Seite 189-199.

- [101] Sebald, J. R.; Dobyns, J. H. und Linscheid, R. L. (1974): The natural history of collapse deformities of the wrist, *Clin.Orthop.Relat Res.* [104], Seite 140-148.
- [102] Vance, R. M.; Gelberman, R. H. und Braun, R. M. (1979): Chronic bilateral scapholunate dissociation without symptoms, *J.Hand Surg.[Am.]*. 4 [2], Seite 178-180.
- [103] Schernberg, F. (1990): Roentgenographic examination of the wrist: a systematic study of the normal, lax and injured wrist. Part 1: The standard and positional views, *J.Hand Surg.[Br.]*. 15 [2], Seite 210-219.
- [104] Belsole, R. J. (1986): Radiography of the wrist, *Clin.Orthop.Relat Res.* [202], Seite 50-56.
- [105] Cautilli, G. P. und Wehbe, M. A. (1991): Scapho-lunate distance and cortical ring sign, *J.Hand Surg.[Am.]*. 16 [3], Seite 501-503.
- [106] Gilula, L. A. (1979): Carpal injuries: analytic approach and case exercises, *AJR Am.J.Roentgenol.* 133 [3], Seite 503-517.
- [107] Taleisnik, J. (1985): *The Wrist*, Churchill Livingstone, New York.
- [108] Arkless, R. (1967): Rheumatoid wrists: cineradiography, *Radiology*. 88 [3], Seite 543-549.
- [109] Braunstein, E. M.; Louis, D. S.; Greene, T. L. und Hankin, F. M. (1985): Fluoroscopic and arthrographic evaluation of carpal instability, *AJR Am.J.Roentgenol.* 144 [6], Seite 1259-1262.
- [110] Cope, R. und Salmon, A. P. (1987): Bilateral scapholunate diastasis, *Ann.Radiol.(Paris)*. 30 [3], Seite 218-221.
- [111] Taleisnik, J. (1980): Post-traumatic carpal instability, *Clin.Orthop.Relat Res.* [149], Seite 73-82.
- [112] Hodge, J. C.; Gilula, L. A.; Larsen, C. F. und Amadio, P. C. (1995): Analysis of carpal instability: II. Clinical applications, *J.Hand Surg.[Am.]*. 20 [5], Seite 765-776.
- [113] Westkaemper, J. G.; Mitsionis, G.; Giannakopoulos, P. N. und Sotereanos, D. G. (1998): Wrist arthroscopy for the treatment of ligament and triangular fibrocartilage complex injuries, *Arthroscopy*. 14 [5], Seite 479-483.
- [114] Chung, K. C.; Zimmerman, N. B. und Travis, M. T. (1996): Wrist arthrography versus arthroscopy: a comparative study of 150 cases, *J.Hand Surg.[Am.]*. 21 [4], Seite 591-594.
- [115] Cantor, R. M.; Stern, P. J.; Wyrick, J. D. und Michaels, S. E. (1994): The relevance of ligament tears or perforations in the diagnosis of wrist pain: an arthrographic study, *J.Hand Surg.[Am.]*. 19 [6], Seite 945-953.
- [116] Viegas, S. F. und Ballantyne, G. (1987): Attritional lesions of the wrist joint, *J.Hand Surg.[Am.]*. 12 [6], Seite 1025-1029.

- [117] Cooney, W. P. (1993): Evaluation of chronic wrist pain by arthrography, arthroscopy, and arthrotomy, *J.Hand Surg.[Am.]*. 18 [5], Seite 815-822.
- [118] Herbert, T. J.; Faithfull, R. G.; McCann, D. J. und Ireland, J. (1990): Bilateral arthrography of the wrist, *J.Hand Surg.[Br.]*. 15 [2], Seite 233-235.
- [119] Smith, D. K. (1994): Scapholunate interosseous ligament of the wrist: MR appearances in asymptomatic volunteers and arthrographically normal wrists, *Radiology*. 192 [1], Seite 217-221.
- [120] Hanson, E. C.; Wood, V. E.; Thiel, A. E.; Maloney, M. D. und Sauser, D. D. (1988): Adhesive capsulitis of the wrist. Diagnosis and treatment, *Clin.Orthop.Relat Res.* [234], Seite 51-55.
- [121] Gundry, C. R.; Kursunoglu-Brahme, S.; Schwaighofer, B.; Kang, H. S.; Sartoris, D. J. und Resnick, D. (1990): Is MR better than arthrography for evaluating the ligaments of the wrist? In vitro study, *AJR Am.J.Roentgenol.* 154 [2], Seite 337-341.
- [122] Totterman, S. M. und Miller, R. J. (1995): MR imaging of the triangular fibrocartilage complex, *Magn Reson.Imaging Clin.N.Am.* 3 [2], Seite 213-228.
- [123] Kang, H. S.; Kindynis, P.; Brahme, S. K.; Resnick, D.; Haghighi, P.; Haller, J. und Sartoris, D. J. (1991): Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: MR imaging. Cadaveric study with gross pathologic and histologic correlation, *Radiology*. 181 [2], Seite 401-404.
- [124] Potter, H. G.; Asnis-Ernberg, L.; Weiland, A. J.; Hotchkiss, R. N.; Peterson, M. G. und McCormack, R. R., Jr. (1997): The utility of high-resolution magnetic resonance imaging in the evaluation of the triangular fibrocartilage complex of the wrist, *J.Bone Joint Surg.Am.* 79 [11], Seite 1675-1684.
- [125] Zanetti, M.; Saupe, N. und Nagy, L. (2007): Role of MR imaging in chronic wrist pain, *Eur.Radiol.* 17 [4], Seite 927-938.
- [126] Hobby, J. L.; Tom, B. D.; Bearcroft, P. W. und Dixon, A. K. (2001): Magnetic resonance imaging of the wrist: diagnostic performance statistics, *Clin.Radiol.* 56 [1], Seite 50-57.
- [127] Zanetti, M.; Bram, J. und Hodler, J. (1997): Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: does MR arthrography improve standard MRI?, *J.Magn Reson.Imaging*. 7 [3], Seite 590-594.
- [128] Morley, J.; Bidwell, J. und Bransby-Zachary, M. (2001): A comparison of the findings of wrist arthroscopy and magnetic resonance imaging in the investigation of wrist pain, *J.Hand Surg.[Br.]*. 26 [6], Seite 544-546.
- [129] Kovanlikaya, I.; Camli, D.; Cakmakci, H.; Goktay, Y.; Kovanlikaya, A.; Ozaksoy, D.; Akseki, D. und Ekin, A. (1997): Diagnostic value of MR arthrography in detection of intrinsic carpal ligament lesions: use of cine-MR arthrography as a new approach, *Eur.Radiol.* 7 [9], Seite 1441-1445.

- [130] Manaster, B. J. (1991): The clinical efficacy of triple-injection wrist arthrography, *Radiology*. 178 [1], Seite 267-270.
- [131] Steinbach, L. S.; Palmer, W. E. und Schweitzer, M. E. (2002): Special focus session. MR arthrography, *Radiographics*. 22 [5], Seite 1223-1246.
- [132] Maurer, J.; Rudolph, J.; Lorenz, M.; Hidajat, N.; Schroder, R.; Sudkamp, N. P. und Felix, R. (1999): [A prospective study on the detection of lesions of the labrum glenoidale by indirect MR arthrography of the shoulder], *Rofo*. 171 [4], Seite 307-312.
- [133] Yamato, M.; Tamai, K.; Yamaguchi, T. und Ohno, W. (1993): MRI of the knee in rheumatoid arthritis: Gd-DTPA perfusion dynamics, *J.Comput.Assist.Tomogr*. 17 [5], Seite 781-785.
- [134] Drape, J. L.; Thelen, P.; Gay-Depassier, P.; Silbermann, O. und Benacerraf, R. (1993): Intraarticular diffusion of Gd-DOTA after intravenous injection in the knee: MR imaging evaluation, *Radiology*. 188 [1], Seite 227-234.
- [135] Schmitt, R. und Froehner, S. (2004): Spezielle Röntgenverfahren, Schmitt, R. und Lanz, U., *Bildgebende Diagnostik der Hand*, 2. Auflage, Seite 12-20, Thieme, Stuttgart.
- [136] Whipple, T. L.; Marotta, J. J. und Powell, J. H., III (1986): Techniques of wrist arthroscopy, *Arthroscopy*. 2 [4], Seite 244-252.
- [137] De Smet, L. (2002): Pitfalls in wrist arthroscopy, *Acta Orthop.Belg*. 68 [4], Seite 325-329.
- [138] Small, N. C. (1988): Complications in arthroscopic surgery performed by experienced arthroscopists, *Arthroscopy*. 4 [3], Seite 215-221.
- [139] Meier, R.; Schmitt, R.; Christopoulos, G. und Krimmer, H. (2002): [Scapholunate ligament tears in MR arthrography compared with wrist arthroscopy], *Handchir.Mikrochir.Plast.Chir*. 34 [6], Seite 381-385.
- [140] Lev, M. H.; Rhea, J. T. und Bramson, R. T. (1999): Avoidance of variability and error in radiology, *The Lancet* 354, Seite 272.

Anhang

Einteilung der skapholunären Dissoziation nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie [56].

Grad I	Teilruptur im mittleren, membranösen Anteil des skapholunären Bandes ohne Achsenfehlstellung von Os scaphoideum und Os lunatum.
Grad II	Komplette Ruptur des skapholunären Bandes mit dynamischer Rotationsinstabilität des Os lunatum.
Grad III	Komplette Ruptur des skapholunären Bandes mit statischer Instabilität entsprechend dem Vollbild der skapholunären Dissoziation mit flektiertem Os scaphoideum und extendierten Os lunatum (DISI-Konfiguration).

Teilpublikationen

Diagnostische Genauigkeit von konventionellen Röntgenbildern und der Kinematographie in der Diagnostik der skapholunären Dissoziation.

Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, Eisenschenk A
Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie, 48. Kongress, Berlin, 04.10.2007

Diagnostic Accuracy of Plain Radiographs and Cineradiography in Diagnosing Traumatic Scapholunate Dissociation.

Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, Eisenschenk A
Skel. Radiol. (in press)

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. Andreas Eisenschenk für die Überlassung des Themas, die ausgezeichneten Betreuung dieser Dissertation und vor allem auch für die stets vorhandene Diskussionsbereitschaft.

Herrn Professor Dr. med. Sven Mutze und Frau Dr. med. Grit Rademacher danke ich für die hervorragende Beratung und die immer nützlichen Hinweise in allen radiologischen Fragen.

Herrn Privatdozent, MSc (Epi) Dr. med. Dirk Stengel danke ich für die Geduld und die optimale Betreuung und Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Ich danke Herrn Professor Dr. med. Axel Ekkernkamp für die Möglichkeit diese Arbeit am Unfallkrankenhaus Berlin durchführen zu können.

Weiterhin danke ich Dr. med. Pascal Dehl, Michael Fliß, Gabriele Krause, Normen Lück, Jörg Waigel und Katrin Wulfert.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Volker Wedler für die enorme Motivation zur schnellen Umsetzung dieser Arbeit und für alle persönlichen Diskussionen, Hinweise und neue Ideen.

Natürlich bedanke ich mich auf diesem Wege bei meiner Familie und bei Frank Dornberger, die mir in den vergangenen Monaten jederzeit zur Seite standen.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Jenny Pliefke, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Die Diagnostik der skapholunären Dissoziation unter besonderer Berücksichtigung der Kinematographie“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

17. Juli 2007

Jenny Pliefke