

**Konventionelle MRT und direkte MR-Arthrographie
zur Darstellung
pathologisch traumatischer und degenerativer
Veränderungen des Schultergelenks**

**Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

**vorgelegt von
Bschleipfer, Katy Isabell (geb. Klinkow)
aus Zwenkau**

Gießen 2015

**Aus dem medizinischen Zentrum für Radiologie
Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
des Fachbereichs Medizin
Justus-Liebig-Universität Gießen
Direktorin: Prof. Dr. med. G. A. Krombach**

**Gutachter: Prof. Dr. G. A. Krombach
Gutachter: PD Dr. B. A. Ishaque
Tag der Disputation: 09.12.2015**

gewidmet

meinem Ehemann Thomas

Inhaltverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Anatomie	1
1.2.	Epidemiologie, Ätiopathogenese und Einteilung traumatisch-degenerativer Läsionen des Schultergelenks	4
1.3.	Bildgebende Diagnostik	13
1.3.1.	Konventionelles Röntgen	13
1.3.2.	Sonographie des Schultergelenks	13
1.3.3.	Computertomographie (CT)	14
1.3.4.	Magnetresonanztomographie (MRT)	15
1.3.4.1.	Natives MRT	15
1.3.4.2.	MR-Arthrographie	20
1.4.	Arthroskopie	21
1.5.	Therapie	22
2.	Fragestellung	24
3.	Material und Methode	26
3.1.	Patientenkollektiv	26
3.2.	Diagnostisches Verfahren	28
3.2.1.	Native Magnetresonanztomographie (MRT)	28
3.2.2.	Direkte Magnetresonanarthrographie (MRA)	29
3.3.	Radiologische Befundung und Datenakquise	30
4.	Statistische Auswertung	32
5.	Ergebnisse	33
5.1.	Patientenkollektiv	33
5.2.	Läsionen	35
5.2.1.	Läsionsnachweis	35
5.2.2.	Läsionslokalisation	42
5.2.3.	Läsionstypen	45
5.2.4.	Läsionsgraduierung	47
5.2.5.	Zusatzbefunde	53
5.3.	Diagnostische Sicherheit von MRT und MRA	55

6.	Diskussion	58
6.1.	Patientenkollektiv	58
6.2.	Läsionen	61
6.2.1.	Läsionshäufigkeit und -darstellbarkeit	61
6.2.2.	Läsionslokalisation	69
6.2.3.	Läsionstypen	71
6.2.4.	Läsionsgraduierung	73
6.3.	Zusatzbefunde	75
6.4.	Diagnostische Sicherheit von MRT und MRA	78
6.5.	Ausblick	79
7.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	81
8.	Summary and Conclusions	83
9.	Verzeichnis der Abkürzungen	85
10.	Verzeichnis der Abbildungen	87
11.	Verzeichnis der Tabellen	88
12.	Literaturverzeichnis	90
13.	Anhang	106
14.	Publikationen	108
15.	Erklärung zur Dissertation	109
16.	Danksagung	110

1. Einleitung

1.1. Anatomie

Das Schultergelenk (*Articulatio humeri* oder *Articulatio glenohumeralis*; Abb. 1 und 2) ist das beweglichste Kugelgelenk des Körpers [36, 43, 83, 126]. Es bildet die Verbindung der oberen Extremität mit dem Schultergürtel. Schulter und Schultergürtel stellen eine funktionelle Einheit des Bewegungsapparates dar, welche dem Arm größtmögliche Beweglichkeit gewährt [83].

Im Schultergelenk artikulieren Humerus und Scapula. Dabei bildet der Humeruskopf (*Caput humeri*) den Gelenkkopf und die Scapula die Gelenkpfanne (*Cavitas glenoidalis*). Die Schulterpfanne gleicht einer flachen, birnenförmigen Grube, deren sagittaler Durchmesser nur zwei Drittel des vertikalen Durchmessers beträgt [36, 41]. Ihre Fläche beträgt nur etwa ein Drittel bis ein Viertel der Fläche des halbkugeligen Humeruskopfes [41]. Sie wird jedoch durch eine 5 mm breite, faserknorpelige Pfannenlippe (*Labrum glenoidale*) vergrößert. Im Querschnitt besitzt die Pfannenlippe eine trianguläre Form [19]. Diese ist ringsum am Pfannenrand befestigt und mit dem Gelenkknorpel verwachsen [36, 41]. Zudem liegt die Lippe dem Pfannenrand ventrokaudal meist meniskusartig auf. Kaudal strahlen in das *Labrum glenoidale* die Sehnenfasern des langen Trizepskopfes ein, kranial ist es die Sehne des langen Bizepskopfes, welche intraartikulär verläuft [36, 41].

Die Gelenkflächen von *Caput humeri* und *Cavitas glenoidalis* sind mit hyalinem Gelenkknorpel überzogen. Charakteristisch ist der arkadenförmige Verlauf der Kollagenfibrillen, welcher eine Unterteilung des Gelenkknorpels in vier Schichten zulässt: 1) oberflächliche Tangentialfaserschicht oder Tangentialzone, 2) Übergangszone, 3) Radiärzone und 4) Zone des mineralisierten Knorpels, welcher dem Knochen aufliegt [183]. Im Zentrum der Gelenkpfanne ist der Knorpel oft verdünnt [36]. Der Gelenkknorpel wird von Synovialflüssigkeit bedeckt, welche neben Schmier- und Stoßdämpferfunktion auch die Ernährung des Knorpels übernimmt. Die Synovialflüssigkeit besteht aus Dialysat des Blutplasmas und Sekretionsprodukten der *Membrana synovialis*, welche an der Gelenkklippe der Pfanne entspringt [36, 183].

Die *Articulatio glenohumeralis* wird von einer weiten und dünnen Gelenkkapsel umgeben, welche proximal am *Collum scapulae* bzw. am *Labrum glenoidale* und distal am *Collum anatomicum humeri* befestigt ist [83]. Bei hängendem Arm legen sich die kaudalen Kapselanteile in Falten und bilden den *Recessus axillaris* [36].

Ventral wird die Gelenkkapsel durch drei Ligamente, den Ligg. glenohumeralia superius, mediale und inferior verstärkt [83, 165]. Das superiore glenohumerale Ligament ist häufig das schwächste Band. Es entspringt am anterosuperioren Labrum ventral des Bizepssehnenursprungs und verläuft schräg deszendierend. Das Ligament glenohumeralia mediale entspringt ebenfalls am anterosuperioren Labrum und setzt ventralseitig am Humeruskopf im Bereich des Collum chirurgicum an. Dieses Band fehlt in 30% der Fälle. Das Ligamentum glenohumeralia inferius, das stärkste der drei Ligamente, besteht aus zwei Anteilen, dem anterioren und dem posterioren Abschnitt. Diese Anteile entspringen am ventralen und dorsalen Rand des inferioren Labrums und setzen am Humeruskopf an [19, 36]. Labrum glenoidale, Gelenkkapsel und glenohumerale Ligamente, gehören zu den wichtigsten statischen Stabilisatoren des Schultergelenks [52, 60, 101]. Zusätzlich strahlt vom Processus coracoideus ausgehend das Lig. coracohumerale bogenförmig in die Gelenkkapsel ein [36]. Es verstärkt die vordere obere Kapselwand [41]. Unten und hinten ist die Gelenkkapsel nicht wesentlich durch Bandstrukturen verstärkt [36]. Insgesamt ist die Sicherung der Gelenkkapsel durch die Bänder gering [83]. Zusätzlich erfolgt daher die Sicherung des Schultergelenks über Muskeln, welche als sogenannte Rotatorenmanschette zusammengefasst werden. Zu ihr zählen der M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor und M. subscapularis. Sie stellen die dynamischen Stabilisatoren der Articulatio glenohumeralis dar [17, 37, 101].

Das Schultergelenk wird von drei Schleimbeuteln umgeben. Die Bursa subacromialis befindet sich zwischen Schulterdach und der Sehne des M. supraspinatus. Die Bursa subdeltoidea ist zwischen Gelenkkapsel und dem M. deltoideus lokalisiert und die Bursa subtendinea musculi subscapularis liegt zwischen Gelenkkapsel und der Ansatzsehne des M. subscapularis [83]. Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea bilden die Gelenkhöhle des sogenannten subakromialen Nebengelenks. Die Bursae sorgen für ein reibungsloses Gleiten des Humeruskopfes sowie der Ansatzsehnen der Rotatorenmanschette unterhalb des Schulterdaches [147].

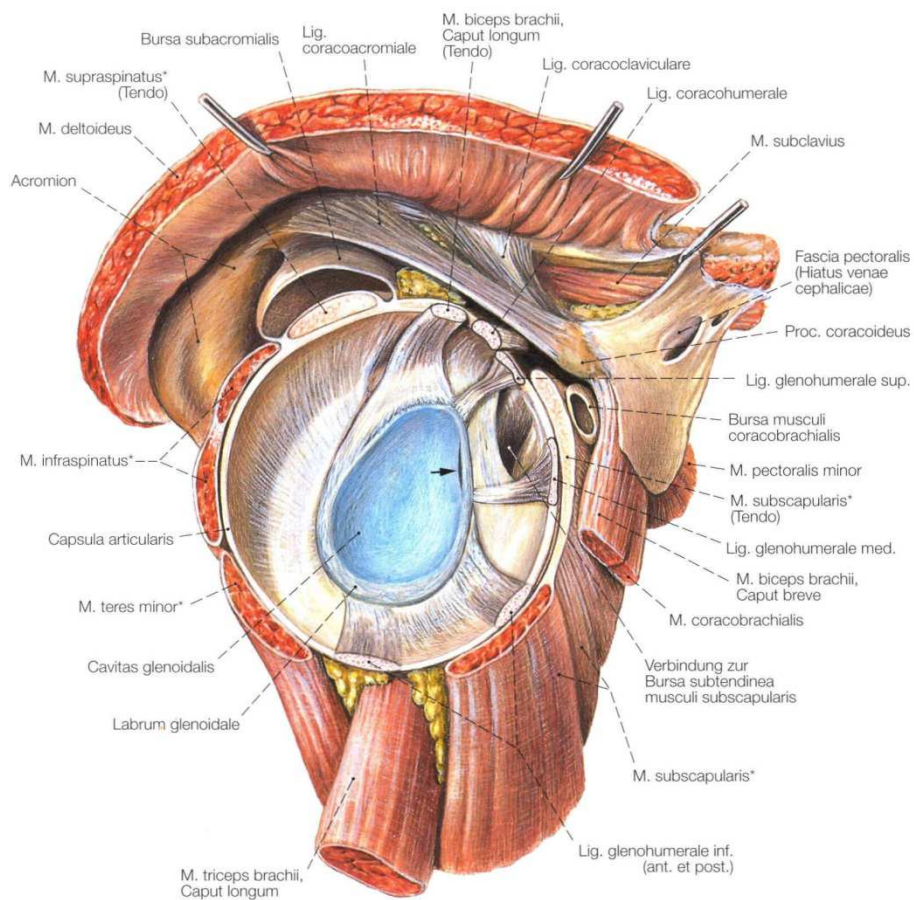


Abb. 1: Eröffnetes rechtes Schultergelenk mit Rotatorenmanschette [36]

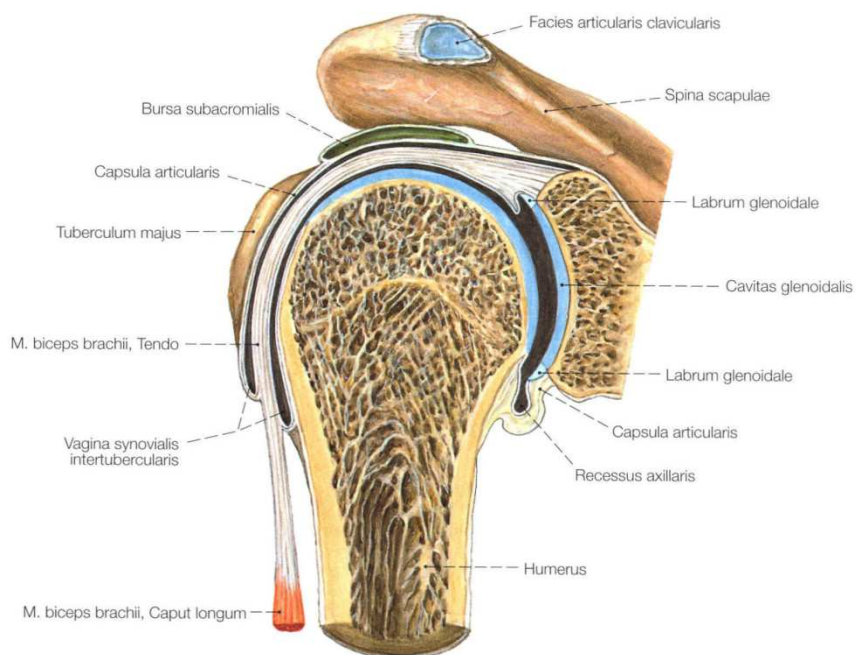


Abb. 2: Schnitt durch das rechte Schultergelenk (Schulterblattebene bei Außenrotation des Humerus) [36]

1.2. Epidemiologie, Ätiopathogenese und Einteilung traumatisch-degenerativer Läsionen des Schultergelenks

Läsionen der Schulter sind meist traumatisch bedingt [165] und umfassen Verletzungen der Klavikula, des Akromioklavikulargelenks, der Skapula, der Rotatorenmanschette und des Schultergelenks [88]. Bei Beteiligung des Schultergelenks liegt in der Regel eine Schultergelenksluxation vor, welche mehr als ein Drittel aller Schulterverletzungen ausmacht. Ihre Inzidenz wird je nach regionalen Differenzen und Altersverteilung mit 0,1-1,7% angegeben [101]. Für die Bundesrepublik Deutschland würde dies 339200 Fälle pro Jahr bedeuten [59]. Dabei sind Männer etwa dreimal so häufig betroffen wie Frauen [37, 186].

Traumatischen Luxationen des Schultergelenks, welche beispielsweise im Rahmen von Unfällen, Sport oder körperlichen Auseinandersetzungen auftreten, liegt als Traumamechanismus meist eine hebelnde oder bruske Bewegung bei außenrotiertem und abduziertem Oberarm oder ein Sturz auf den ausgestreckten Arm zugrunde [88]. Auch „repetitive Minortraumen“ durch wiederholte Überlastungsverletzung der statischen Stabilisatoren, z.B. bei Bodybuildern, Werfern oder Schwimmern, können zu Schultergelenksluxationen führen [186].

Durch Verletzung des Kapsel-Labrum-Band-Apparates im Rahmen des Erstereignisses entstehen in Folge oftmals posttraumatisch-rezidivierende Luxationen oder Instabilitäten [19]. Von rezidivierenden Schulterluxationen spricht man bei mehrfachen Ereignissen pro Jahr [43], welche durch Bagateltraumata ausgelöst werden können [88]. Eine Instabilität liegt vor, wenn der Humeruskopf bei normaler Schulteraktivität nicht mehr in der Gelenkpfanne zentriert gehalten werden kann [38]. Tritt die Schulterluxation im Alter zwischen 15 und 35 Jahren auf, so zeigt sich in 80 bis 90% der Fälle eine rezidivierende Schulterluxation. Diese tritt innerhalb der nächsten zwei Jahre auf. Findet das Erstereignis ab einem Lebensalter von 40 Jahren statt, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit für eine wiederkehrende Luxation auf $\leq 15\%$ [19].

Von den traumatischen und posttraumatisch-rezidivierenden Schulterluxationen sind die atraumatischen, habituellen Luxationen abzugrenzen, welche erstmalig ohne adäquates Trauma auftreten. Als Prädisposition für eine habituelle Schulterluxation kommen eine Schwäche des Muskel-Kapsel-Band-Apparates mit konstitutionell vermehrter Bindegewebslaxizität bzw. muskulärer Dysbalance („positional instability“) oder dysplastische Veränderungen bzw. Fehlstellungen der Gelenkpfanne in Frage [10, 88, 185].

Folge von Schultergelenksluxationen können Läsionen des Labrum glenoidale, der Gelenkkapsel mit glenohumeralen Ligamenten, der Cartilagine glenoidalis und humeralis sowie der knöchernen Strukturen mit Periost sein. Ferner können im Rahmen eines Luxationstraumas die Rotatorenmanschette und die lange Bizepssehne mitbetroffen sein. Da junge Patienten eine straffe Gelenkkapsel und einen ausgeprägten Muskelmantel aufweisen, sind Schulterluxationen im jungen Alter häufig mit einem ausgedehnten Weichteilschaden verbunden. Patienten unter 40 Jahren erleiden dabei häufig Labrum-, Kapsel- und Bandverletzungen, während Patienten über 40 Jahre Rotatorenmanschettenläsionen aufweisen [19, 88]. Eine traumatische Zerreißung der Rotatorenmanschette kommt bei 30-80% der über 40-Jährigen nach Erstluxation vor [101]. Begleitende Verletzungen des Nervus axillaris finden sich in 5 bis 21% [159, 186] bei älteren Patienten und weisen eine gute Prognose auf [55]. Begleitende Gefäßschädigungen hingegen, welche die Arteria axillaris oder die Arteria brachialis betreffen, können eine Notfallindikation zur sofortigen Intervention darstellen [101].

Schultergelenksluxationen führen darüber hinaus häufig zu Begleiterkrankungen wie Bursopathien, Schwellungen, Gelenkergüsse, Zysten und Omarthrose. Labrumzysten sind meist mit einer Ruptur des Labrums verbunden. Sie entstehen durch posttraumatische Mechanismen [165]. Die Omarthrose ist eine degenerative Schultergelenkserkrankung und entsteht im Wesentlichen sekundär posttraumatisch, nach rezidivierenden Luxationen (Instabilitätsarthrose), Rotatorenmanschettenrupturen (Defektarthropathie), nach operativen Eingriffen sowie postinfektiös. Ihre Prävalenz liegt bei ca. 3%. Frauen ab dem 6. Lebensjahrzehnt sind gleichhäufig von primärer und sekundärer Omarthrose betroffen [58, 109].

Die Läsionsmuster, welche im Rahmen einer Schultergelenksluxation / -instabilität auftreten, hängen wesentlich von der Luxationsrichtung und nicht von Anzahl oder Schwere der Luxation ab [71]. In 95 - 98% der Fälle finden sich unidirektionale anteriore bzw. nach vorne unten gerichtete Schulterluxationen. In 2% der Fälle tritt eine hintere und in den restlichen Fällen eine multidirektionale Schulterluxation auf [101, 186, 192].

Anteriore Schulterluxationen sind somit vorrangig. Ihnen geht als Unfallmechanismus eine Abduktions-Außenrotations-Bewegung voraus [101]. Hierbei können Verletzungen des Labrum-Kapsel-Komplexes an drei verschiedenen Stellen auftreten: dem vorderen, unteren Pfannenrand (70-75%), im Verlauf der Kapsel bzw. der glenohumeralen Bänder (15-20%) und am Ansatz im Bereich des Humeruskopfes (5-10%) [19, 186]. Traumatische Verletzungen des Labrum glenoidale umfassen Teilrupturen, Avulsionen und vollständige Rupturen, welche mit Labrumdislokationen einhergehen können [165]. Eine vollständige

Ablösung des Labrum-Kapsel-Komplexes vom vorderen, unteren Pfannenrand wird als **Bankart-Läsion** bezeichnet (Abb. 3). Sie stellt die häufigste Verletzungsform dar [167]. Mitbetroffen sind hierbei das mittlere und inferiore glenohumerale Ligament, welche ihren Ursprung verlieren. Das Periost ist zwischen Labrum und medialem Skapulahals zerrissen [19, 165, 186]. Wird zusätzlich ein knöchernes Fragment aus dem anterioren Pfannenrand herausgerissen, so spricht man von einer **ossären Bankart-Läsion** (Abb. 3). Zu unterscheiden ist sie von der **Bankart-Fraktur**, welche bis zu einem Drittel der Gelenkpfanne umfassen kann [101, 186]. Eine Mitbeteiligung des anterioren Pfannenrandes bei Luxationen wird mit 3-10% angegeben [3, 122]. In einer Studie von Taylor wird ihre Häufigkeit sogar mit 22% angegeben [158]. Besteht eine Kombination aus Bankart-Läsion, Rotatorenmanschetzenschaden und einer Schädigung des Nervus axillaris bzw. des Plexus', so spricht man von einer **terrible triad** [101, 186]. Anstelle eines knöchernen Ausrisses kann sich auch eine Ablösung des (intakt gebliebenen) Periosts ereignen. Das Labrum ist nur inkomplett abgerissen, das antero-inferiore glenohumerale Ligament ist subperiostal abgelöst. Dies bezeichnet man als **Perthes-Läsion** (Abb. 3) [52, 186]. Vernarbt in der Folge dieser Läsion das Labrum und der Kapselursprung medial am Scapulahals, entsteht eine relative Verkürzung der Kapsel und wird als **ALPSA-Läsion** (anterior labroligamentous periosteal sleeve avulsion) bezeichnet (Abb. 3) [52, 186]. Eine Kombinationsverletzung des anterior-inferiorem Labrums mit dem artikulären Gelenkknorpel am knöchernen Labrumrand heißt **GLAD-Läsion** (glenolabral articular disruption) (Abb. 3). Sie entsteht meist durch Sturz auf den gestreckten, abduzierten und außenrotierten Arm. Der Humeruskopf prallt auf die Cartilago glenoidalis und dies führt zu einem Knorpeldefekt in der Übergangszone des Glenoids zum Labrum [52, 60]. Diese Knorpelschäden beeinträchtigen meist nicht die Schulterstabilität, können aber zur Ausbildung einer Instabilitätsarthrose beitragen [186]. Der Kapsel- Band-Apparat ist dabei intakt [19]. Schultergelenksluxationen können auch zu Abrissen der Kapsel und des inferioren glenohumeralen Ligaments von ihrem Ansatz am Humeruskopf führen. Dies bezeichnet man als **HAGL-Läsion** (humeral avulsion of glenohumeral ligaments) (Abb. 3). Bei gleichzeitigem Ausriss eines knöchernen Fragments aus dem Humeruskopf wird von **bony HAGL (BHAGL)** gesprochen. Die HAGL-Läsion ist oftmals mit einem Riss der Subscapularissehne vergesellschaftet [19, 52, 186].

Die Einteilung vorderer Schulterluxationen erfolgt nach drei gängigen Klassifikationen. Gut geeignet für den klinischen Alltag scheint die Klassifikation nach Gerber, welche in Tabelle 1 dargestellt ist. Daneben findet sich die Klassifikation nach Matsen, welche 2 große Gruppen (TUBS und AMBRII) unterscheidet und eine Entscheidungshilfe für den weiteren

therapeutischen Ablauf darstellt (Tab. 2). Eine sehr gute Einteilung ist nach Aussagen von Lichtenberg et al. die Klassifikation von Bailey, welche die Symptome und das weitere therapeutische Vorgehen bestimmt (Tab. 3) [60, 61, 101].

Typ	Ausprägung
I	chronische verhakte Luxation
II	unidirektionale Instabilität ohne Hyperlaxität
III	unidirektionale Instabilität mit Hyperlaxität
IV	multidirektionale Instabilität ohne Hyperlaxität
V	multidirektionale Instabilität mit Hyperlaxität
VI	willkürliche Instabilität

Tab. 1: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Gerber [60, 101]

Typ	Ausprägung
TUBS	- Traumatisch - Unidirektional - Bankart-Läsion - „Surgical repair“
AMBRII	- Atraumatisch - Multidirektional - Bilateral - Rehabilitation - Inferiorer Kapsel-Shift - Intervall-Verschluss

Tab. 2: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Matsen [61, 101]

Typ	Ausprägung
Polar Group I	- traumatisch strukturell - signifikantes Trauma - oft Bankart-Läsion - gewöhnlich unilateral - keine muskuläre Dysbalance
Polar Group II	- atraumatisch - kein Trauma - struktureller Schaden des Gelenks - kapsuläre Dysfunktion - keine muskuläre Dysbalance - nicht selten bilateral
Polar Group III	- habituell-nichtstrukturell - kein Trauma - keine strukturellen Schäden des Gelenks - kapsuläre Dysfunktion - muskuläre Dysplasie - oft bilateral

Tab. 3: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Bailey [61, 101]

Verletzungen, die nicht im anterior-inferioren Bereich lokalisiert sind, sind deutlich seltener. Hierzu zählen inferiore, posteriore, komplett anteriore und anterior-superiore Läsionen (Abb. 4). Letztere werden auch als **Andrews-Läsionen** bezeichnet [165]. Eine hintere Schulterluxation kommt in nur 2-3% der Fälle vor. Sie entsteht durch direkte Gewalteinwirkung gegen die Schultervorderfläche oder durch indirekte Krafteinwirkung. Zum Beispiel bei einem Stromunfall oder Krampfanfall (Adduktion, Beugung und Innenrotation) [52]. Isolierte, posteriore Labrumverletzungen sind daher mit etwa 5% der Schulterinstabilitäten selten und stellen sich spiegelbildlich zur vorderen Läsion dar. Sie werden daher auch als invers oder revers bezeichnet. Beispiele können **Reverse-(R-) Bankart-Läsionen** oder **Reverse-Hill-Sachs-Läsionen** sein [19]. Unter **POLPSA-Läsionen** (posterior labrocapsular periostal sleeve avulsion) versteht man einen Abriss der Schulterkapsel an ihrem Ansatz mit periostalen Abhebungen mit gleichzeitiger Verlagerung des Labrums nach außen. Dabei bleibt, im Gegensatz zur Bankart-Läsion, das hintere Labrum intakt [19, 52]. Die **Bennet-Läsion** ist eine spezielle Schädigung des hinteren Labrums. Sie tritt häufig bei professionellen (Überkopf-)Wurfsportlern auf. Durch chronisch wiederkehrenden Zug auf das hintere Labrum entstehen Labrumrisse bzw. Traktionsosteophyten an der dorsalen Cavitas glenoidalis. Darüber hinaus finden sich Verkalkungen und Ver-

knöcherungen an den Weichteilen [19, 165]. Verletzungen des superioren Labrumabschnittes nennt man **SLAP-Läsionen** (superior labral tear with anterior and posterior extension). Sie befinden sich beidseits des Sehnenursprungs des Caput longum m. bicipitis brachii am Tuberculum supraglenoidale. Der Traumamechanismus ist hier meist eine plötzliche, heftige Armabduktion. Sie tritt häufig beim Tennis, Volleyball oder Baseball auf [52]. Des Weiteren kann ein Sturz auf den ausgestreckten Arm, das Auffangen von schweren, fallenden Gegenständen oder generell eine Überlastung bei Überkopfbewegungen zur SLAP-Läsion führen [19]. Die Unterteilung der SLAP-Läsionen soll in folgender Tabelle (Tab. 4) kurz zusammengefasst sein [4, 37, 52, 153, 165]:

Typ	Häufigkeit	Ausprägung
I	10%	degenerativ, fransige Läsion; auf Insertionsstelle der langen Bizepssehne beschränkt
II	40%	Abtrennung des Labrums bis zur Höhe des Lig. glenohumerales; Sehnenabriss des Caput longum m. bicipitis brachii vom Glenoidrand.
III	30%	Korbhenkelriss
IV	15%	Korbhenkelriss mit Einstrahlung bis in die Bizepssehne (Längsriss)

Tab. 4: SLAP-Läsionstypen nach Snyder (aus [52])

Die Typen I-IV nach Snyder wurden durch die Typen V-VII nach Maffet ergänzt [4]. Typ V: Rissausdehnung bis anterior-inferior, im Sinne einer kombinierten Bankart-SLAP-II-Läsion; Typ VI: Typ II Läsion mit Teildislokation eines Labrumanteils nach intraartikulär; Typ VII: Rissausdehnung bis zum mittleren glenohumeralen Ligament [165]. Einige Autoren beschreiben darüber hinaus weitere Läsionstypen, die an dieser Stelle nicht aufgeführt werden sollen.

Knöcherne Beteiligungen bei Schultergelenksverletzungen fanden bereits bei der ossären Bankart-Läsion und der bony HAGL-Läsion Erwähnung. Häufigste Knochenverletzungen sind Hill-Sachs-Läsionen und die Fraktur am vorderen unteren Rand der Cavitas glenoidalis [19]. Die **Hill-Sachs-Läsion** ist eine typische Folge von anterior-inferioren Schultergelenksluxationen. Während der Luxation schlägt der Humeruskopf gegen den vorderen Unterrand des Glenoids und erhält eine axthiebartige Impression im postero-kranialen Bereich [52, 60]. Dieser Hill-Sachs-Defekt ist pathognomonisch für eine traumatische Schulterluxation und gibt Hinweis für eine hohe Rezidivneigung [101]. Biomechanisch relevant wird die Hill-Sachs-Läsion nur bei einer eher untypisch zentralen Lage bzw. ab

einer Größe, die mehr als 1/3 der Zirkumferenz des Humeruskopfes einnimmt [60, 101]. Hill-Sachs-Läsionen werden nach Calandra (1989) in einfache Knorpelläsionen (Grad I), osteochondrale Läsionen (Grad II) bis hin zu ausgedehnten Frakturen (Grad III) eingeteilt. Diese können die Hälfte des Humeruskopfes umfassen [186]. **Knöcherne Schädigungen des Glenoids** werden nach Bigliani in 3 Typen unterteilt (Tab. 5) [12, 186]:

Typ	Ausprägung
I	das abgesprengte Fragment hängt am Labrum-Ligament-Komplex
II	das Fragment ist in Fehlstellung am Skapulahals angewachsen
III	Erosion des knöchernen Pfannenrands: - Typ III A: Defektgröße < 25% - Typ III B: Defektgröße > 25%.

Tab. 5: Einteilung knöcherner Läsionen des Glenoids nach Bigliani [12]

Eine andere Unterteilung nach Sugaya unterscheidet lediglich, ob das abgesprengte knöcherne Fragment noch vorhanden ist oder fehlt [186].

Zuletzt sei als knöcherne Beteiligung bei Schultergelenksluxationen die **Tuberculum-majus-Fraktur** erwähnt. Sie findet sich eher bei älteren Patienten. Der Abriss des Tuberculum majus hat eine eher positive Prognose mit Rezidivraten von 0-3% [101].

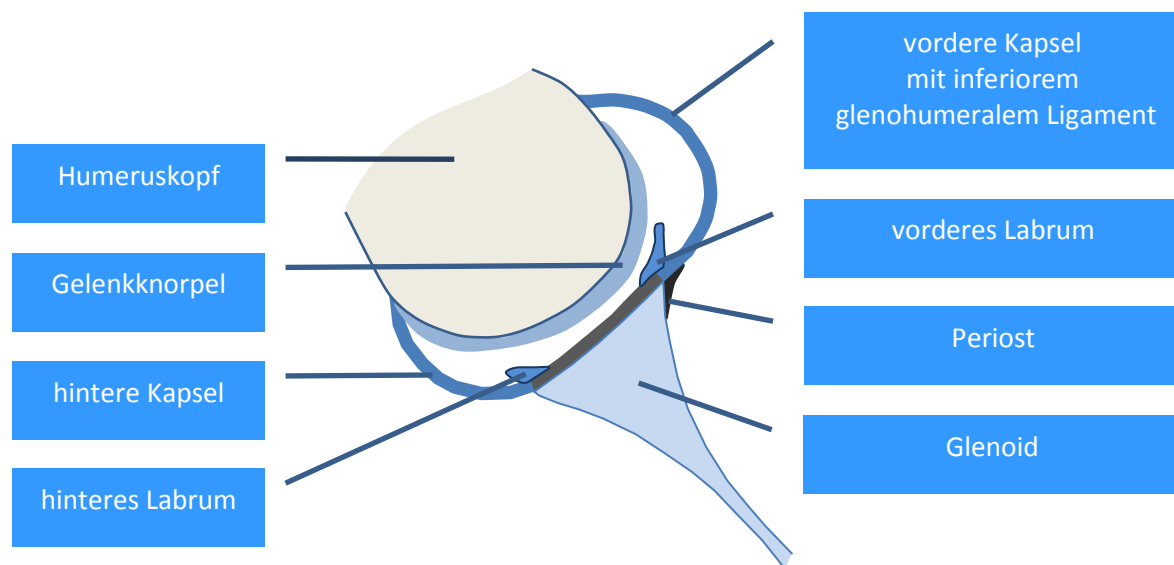
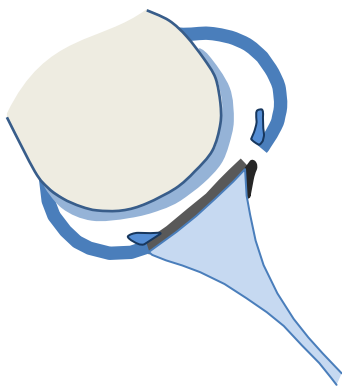
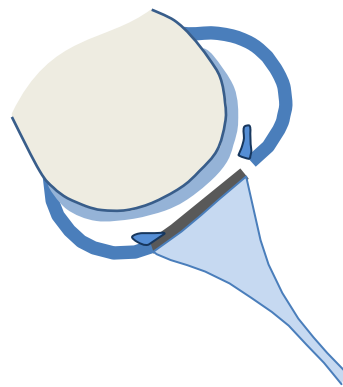


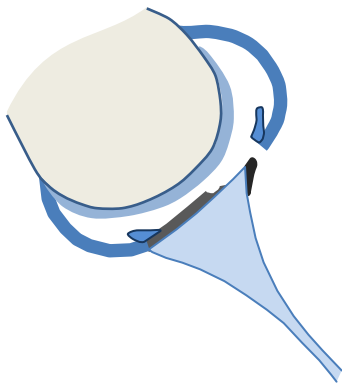
Abb. 3a: Schematische Darstellung des Schultergelenks (Normalbefund), modifiziert nach Hodler [16]



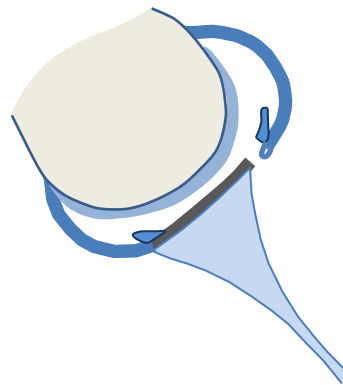
Bankart



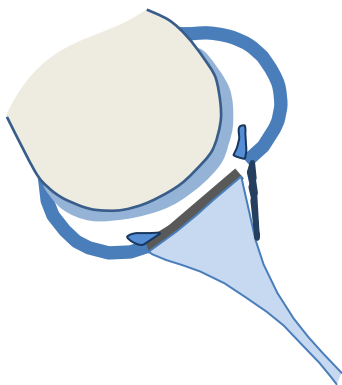
Perthes



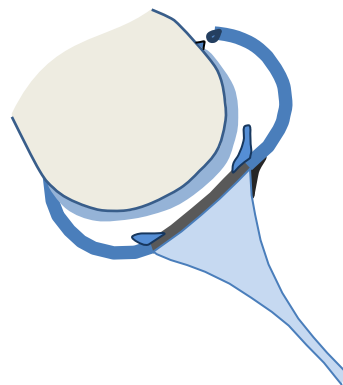
GLAD



ossärer Bankart



ALPSA



HAGL

Abb. 3b: Schematische Darstellung des Schultergelenks mit strukturellen Schäden am vorderen Labrum, modifiziert nach Hodler [16]

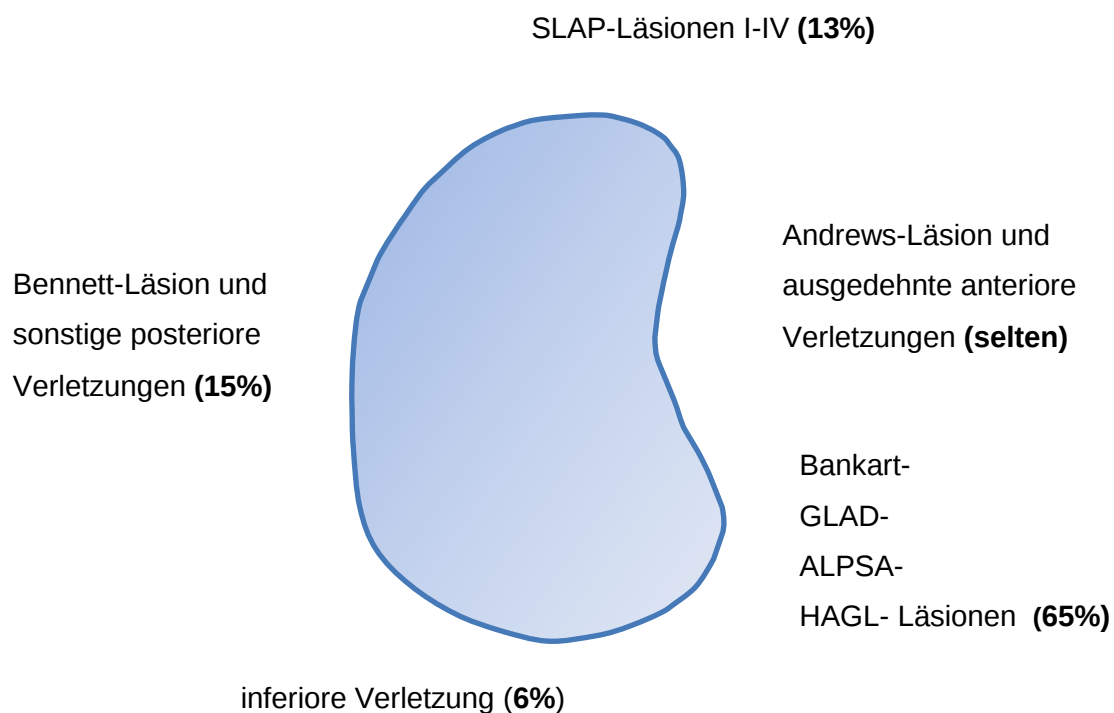


Abb. 4: Aufsicht auf die Cavitas glenoidalis und das Labrum glenoidale, modifiziert nach Vahlensieck und Hodler [165]

		Beschreibung
Kurzform	SLAP	Superior Labrum Tear with Anterior Posterior Extension
	GLAD	Glenolabral Articular Disruption
	ALPSA	Anterior Labroligamentous Periosteal Sleeve Avulsion
	HAGL	Humeral Avulsion Glenohumeral Ligament

Tab. 6: Legende zu Abb. 4

1.3. Bildgebende Diagnostik

Anamnese und klinische Untersuchung, welche Inspektion, Funktionstests, Instabilitäts- und Laxitätstests umfasst, stellen die obligate Grundlage einer Schulterdiagnostik dar. Diese wird durch die bildgebende Diagnostik der Schulter ergänzt. Hierzu zählen konventionelles Röntgen, Sonographie, Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) [60, 197]. Welche Technik im Einzelfall zur Anwendung kommt, entscheidet sich danach, ob primär Knochen-, Gelenk- oder Weichteilerkrankungen beurteilt werden sollen [51].

1.3.1. Konventionelles Röntgen

Die Röntgennativdiagnostik ist die meistverwendete Bildgebung zur Beurteilung von Knochen- und Gelenkkrankheiten bzw. Verletzungszuständen [51]. Das konventionelle Röntgen hat daher einen hohen Stellenwert in der Darstellung und Abklärung von Pathologien des Schultergelenks [177]. Die Anfertigung der Aufnahmen erfolgt in mindestens zwei bzw. drei Ebenen. In antero-posterior, in Supraspinatus-outlet- oder Y-Aufnahme und in axialer Aufnahme [93, 197]. Bei der antero-posterioren Aufnahme steht der Patient und wird um 40° zur Röntgenkassette gedreht. Der Arm des Patienten liegt dabei in Außenrotation. Bei der Y-Aufnahme wird die Scapula tangential getroffen. Der Patient steht während dieser Aufnahme und wird um 50° vom Röntgenfilm weggedreht. Axiale Aufnahmen werden im Sitzen durchgeführt. Der Patient abduziert seinen Arm um 70° und legt diesen über die Röntgenkassette. Weitere spezielle Aufnahmen sind West-Point-Aufnahme, Lawrence-Aufnahme und Transthorakale-Aufnahme [51]. Das konventionelle Röntgen gibt eine erste Orientierung bei der Befundung von knöchernen Strukturen der Schulter. Im Anschluss sollte eine CT oder MRT erfolgen.

1.3.2. Sonographie des Schultergelenks

Die Sonographie ist ein bildgebendes Verfahren, welches die radiologische und klinische Untersuchung des Schultergelenks ergänzt [70]. Ultraschallwellen werden mittels piezoelektrischer Kristalle und Keramiken erzeugt, welche durch elektrische Wechselspannung zum Schwingen angeregt werden (piezoelektrischer Effekt) [32, 92]. Sie werden ins betreffende Gewebe ausgesandt und dort reflektiert [184]. Die zurückkommenden Ultra-

schallwellen sind in der Lage, die piezoelektrischen Kristalle zu verformen. Es wird eine elektrische Spannung erzeugt, die dann zur Darstellung gebracht werden kann [32, 92].

Bei der Sonographie gibt es unterschiedliche Verfahren, die als A-, B- und M-Mode bezeichnet werden. Beim A-Mode-Verfahren werden die von einem einzelnen Schallelement ausgesandten Schallwellen durch Echoamplituden und Laufzeiten registriert. Zweidimensionale, grauwertskalierte Bilder oder auch dreidimensionale Bilder können Mithilfe des B-Mode-Verfahren erzeugt werden. Mit der M-Mode-Technik ist eine hohe zeitliche Auflösung der Lageveränderung von Zielstrukturen bei konstanter Schallkopfposition möglich [92].

Bei der speziellen Sonographie des Schultergelenks wird ein Linearschallkopf mit einer Frequenz von 7,5 MHz oder 10 MHz verwendet. Während der Untersuchung werden Rotationsbewegungen im Schultergelenk durchgeführt und sechs Standardschnittebenen eingestellt. Die Schnittebenen betreffen die dorsale, lateral-superiore und die ventrale Region. Die untersuchende Extremität wird dabei frei hängen gelassen oder in 90° Beugstellung des Ellenbogengelenks positioniert [54].

Das Ultraschall-Verfahren weist vielfältige Vorteile auf. Hierzu zählen die hohe Kontrastauflösung für Weichteilläsionen und hohe räumliche Auflösung bei entsprechender technischer Ausrüstung [46]. Zudem ermöglicht die Sonographie dynamische Untersuchungen, bedingt durch ihr zeitliches Auflösungsvermögen [16]. Sie ist breit verfügbar, erzeugt keine Strahlenbelastung und verursacht geringe Kosten [86].

Indikation für eine Sonographie am Schultergelenk ist im Wesentlichen die Beurteilung von posttraumatischen und degenerativen Veränderungen der Rotatorenmanschette, der langen Bizepssehne und der Bursa subacromialis [66]. Die Sonographie zeigt jedoch Nachteile beim Erkennen von ossären und intraartikulären Läsionen [70]. Ferner ist die sonographische Darstellung von Labrumverletzungen sehr Artefakt anfällig und unsicher. Die Abbildung der Kapsel ist oft nur eingeschränkt möglich [60, 197]. Die Sonographie hat daher bei der Instabilitätsdiagnostik des Schultergelenks einen nur eingeschränkten Stellenwert [197].

1.3.3. Computertomographie (CT)

Die Computertomographie (CT) war das erste digitale Schnittbildverfahren. Das Grundprinzip besteht aus einem dünnen Röntgenstrahl, der den Patienten aus verschiedenen Richtungen durchdringt. Die Strahlung wird dabei von Detektoren erfasst. Anschließend werden Röntgenschwächungswerte in Hounsfield-Einheiten (HE-Werte) umgerechnet, in

Graustufen kodiert und als Bild dargestellt [44]. Die CT hat gegenüber der konventionellen Röntgenaufnahme einen sehr viel größeren Kontrastumfang [90]. Bei der Anwendung der Computertomographie steht allgemein die Beurteilung des Knochens im Vordergrund. Die CT dient speziell bei Schulterverletzungen zur Darstellung und dem Nachweis von Lagebeziehung zwischen Humeruskopf und Gelenkpfanne. Auch komplexe Frakturen mit multiplen Fragmenten lassen sich in der CT darstellen [51, 52, 197]. Die CT ist hierbei das wichtigste Verfahren zur überlagerungsfreien Darstellung von Frakturen. Sie erlaubt die Möglichkeit zur 3D-Rekonstruktion und somit der Abbildung von Frakturen im Raum [138]. Für die Beurteilung des Labrum glenoidale und/oder des Kapsel-Ligament-Apparates ist sie jedoch ungeeignet [15]. Die CT-Diagnostik der Schulter kann mit einer intraartikulären Kontrastmittelapplikation kombiniert werden, was die Aussagekraft des Verfahrens insbesondere für knorpelige Gelenkstrukturen erhöht [90]. Beim Monokontrast-Verfahren wird entweder positives oder negatives Kontrastmittel injiziert. Als negatives Kontrastmittel dient Raumluf (Pneumarthro-CT bis mit bis zu 30 ml Raumluf) [103, 187]. Daneben werden heute vorwiegend Doppelkontrastdarstellungen favorisiert. Hierbei werden beide Kontrastmittel kombiniert. Das Schultergelenk wird streng aseptisch unter Lokalanästhesie punktiert. Unter Durchleuchtung erfolgt die Instillation von 2-3 ml nicht-ionischem, isoosmolarem, jodhaltigem Kontrastmittel (z.B. Isovist 300®; positives Kontrastmittel) danach von 10 bis 20 ml Raumluf (negatives Kontrastmittel) [43, 65]. Durch diese Methode können neben Humeruskopfimpressionen und knöchernen Bankart-Defekten insbesondere Veränderungen am Labrum glenoidale und an der Kapsel mitbeurteilt werden [60, 65]. Nachteile der CT sind jedoch die damit verbundene Strahlenbelastung [60] und der nur mäßige Weichteilkontrast [16].

1.3.4. Magnetresonanztomographie (MRT)

1.3.4.1. Natives MRT

Die Magnetresonanztomographie/ Kernspintomographie hat einen sehr hohen Stellenwert bei der Schultergelenksdiagnostik [53, 96]. Hauptindikationen sind die Diagnostik des akuten Gelenktraumas sowie die Abklärung komplexer posttraumatischer Zustände [16]. Seit Einführung der MRT in die Medizin unterliegt dieses Verfahren einer rasanten Weiterentwicklung [50]. 1946 entdeckten Ploch und Purcell nuklearmagnetische Resonanz [115]. Im Jahr 1967 wurde durch J. Johns die erste MRT an lebenden Tieren durchgeführt. Bereits 1973 entstand die erste MRT-Schnittbildaufnahme mittels Projektionsrekon-

struktionsmethode ähnlich der Computertomographie durch P. Lauterbur [50]. Die erste MRT entstand am Menschen im Jahr 1976. Bereits ein Jahr später war die erste Ganzkörperaufnahme möglich. Die erste kommerzielle Magnetresonanztomographie wurde von der Firma Picker Limited Company und der Firma FONAR im Jahr 1980 eingeführt. 1999 entstand die 3Tesla Gehirn-MRT und im Jahr 2000 die 3Tesla Ganzkörper MRT. Im Jahr 2004 folgte die erste 7 Tesla MRT und 2008 kam bereits die 9,4 Tesla MRT für das Gehirn [148].

Ein Magnetresonanztomograph besteht im Wesentlichen aus vier technischen Elementen. Dazu gehört der Hauptmagnet, welcher ein homogenes Magnetfeld im gesamten Untersuchungsbereich ermöglicht. Der Kernspintomograph bzw. Magnetresonanztomograph sollte im Inneren eine ausreichende Öffnung von ca. 50 cm besitzen und ein sehr homogenes Magnetfeld von hoher Stärke aufweisen. Für die technische Umsetzung können drei verschiedenen Systeme in Anwendung kommen. Zum einen durch einen Permanentmagneten (0,5 Tesla), durch einen herkömmlichen Elektromagneten (0,3 Tesla) oder durch einen supraleitenden Magneten (bis 18 Tesla). Die heute verbreitetsten Anlagen (95%) sind supraleitende Magnete, bedingt durch ihre überlegene Untersuchungsqualität [50, 179]. Des Weiteren bestimmt das Gradientensystem die Erzeugung von drei senkrecht zueinander angeordneten Magnetfeldern. Diese können sich örtlich linear verändern und dienen der Ortskodierung. Für jede der drei Richtungen x, y, z wird eine separate Gradientenspule benötigt. Die Gradienten bzw. Magnetfelder besitzen zusätzlich einen eigenen Verstärker und können einzeln oder in Kombination geschaltet werden. Gradientenspulen sind im Vergleich zum Hauptmagneten klein und verursachen beim Ein- und Ausschalten das typische Hämmern, das während der Messungen hörbar ist. Gradientenfelder müssen außerdem extrem stabil sein, um Bildverzerrungen zu vermeiden. Zur Anregung der Kernspins und zum Empfang der Resonanzsignale dient das Hochfrequenzsystem. Es besteht aus einem leistungsstarken Hochfrequenzsender und aus einem hochempfindlichen Empfänger. Zudem wird eine gute Hochfrequenzabschirmung benötigt, da das MR-Signal sehr schwach ist. Sie wird im Untersuchungsraum mit eingebaut um Störeinstrahlungen von außen zu vermeiden. Zusätzlich gehören zum System Send- und Empfangsspulen. Zum Beispiel eine im Gerät integrierte Körperspule. Sie besteht aus einem „Käfig“ mit Kupferdrähten und umgibt den Patienten [179]. Zur Steuerung des Untersuchungsablaufes und zur Auswertung der Signale wird ein Rechnersystem benötigt. Die Hauptebene für die Schulter ist die coronale Ebene, da sie sich zu den meisten anatomischen Details senkrecht verhält. Das Schultergelenk richtet sich jedoch häufig nicht nach den Hauptebenen aus. Daher ist eine standardisierte Anpassung notwendig. Diese sind z.B. die paracoronale oder parasagittale Schulterebene. Standard ist ferner die re-

gelmäßige Verwendung einer zweiten Ebene [19]. Die transversale Schichtführung ist am besten geeignet, Erkrankungen des Labrum glenoidale und der langen Bizepssehne zu erkennen [165]. Die MRT-Schnitte werden deshalb im Schultergelenk in einer para-koronaren (parallel zur Längsachse des Muskelbauchs des M. supraspinatus), para-sagittalen (senkrecht zum Verlauf des M. supraspinatus) und in einer axialen Ebene durchgeführt. Bei der Durchführung liegt der Patient in Rückenlage, die Arme werden am Rumpf gehalten und der erkrankte Arm liegt parallel zum Körper. Die para-koronare Ebene und die para-sagittale Ebene können zur Beurteilung aller Strukturen der Rotatoren-manschette verwendet werden. Die axiale Ebene ist für die Befundung von Labrum glenoidale, Sulcus bicipitalis sowie Bizeps- und Subscapularissehne geeignet [51]. Für die optimale Darstellung traumatischer Veränderungen im MRT sind Puls, Sequenzen und Bildkontrast von großer Bedeutung.

T1 gewichtete Pulssequenzen (T1w) sind Bilder, deren Kontrast hauptsächlich von T1 bestimmt wird. T1 stellt eine Zeitkonstante der T1 Relaxation dar. Sie ist abhängig von der Magnetfeldstärke und liegt bei 1,5 T im Bereich von einer bis mehreren Sekunden. Die T1 Relaxation auch Spin-Gitter-Relaxation genannt beschreibt ein Zurückkippen der Spins in die Längs-Richtung des äußeren Magnetfeldes unter Energieabgabe. Um ein MR-Bild zu erhalten muss eine Schicht jedoch mehrmals nacheinander angeregt werden. Die Zeit, zwischen den Anregungen derselben Schicht nennt man Repetitionszeit (TR). Sie bestimmt entscheidend den T1 Kontrast. Hier wird eine kurze Repetitionszeit mit einer kurzen Echozeit (TE) kombiniert. Sie ist die Zeitspanne, die man nach der Anregung bis zur Messung des MR-Signals vergehen lässt. Gewebe mit einem kurzen T1 erscheinen auf den MR Bildern hell, während mit einem langen T1 das Gewebe dunkel erscheint (Tab. 7).

Kurze TR	Starke T1 Gewichtung
Lange TR	Geringe T1 Gewichtung
Gewebe: kurze T1-Zeit	Helles Bild
Gewebe: lange T1-Zeit	Dunkles Bild

Tab. 7: Zusammenhang zwischen TR und T1, modifiziert nach Weishaupt et al. [180]

Diese Sequenz dient als Referenz für die spätere Kontrastmittelgabe. Die parasagittal T2 gewichtete Pulssequenz (T2w) ermöglicht die Darstellung der Fossa supra- und infraspinata. Die T2 gewichtete axiale Ebene dient zur Beurteilung von Labrum und Gelenkkapsel der Schulter [197]. T2 gewichtete MR Bilder werden von T2 beeinflusst. T2 beschreibt auch eine Zeitkonstante der T2-Relaxation. Sie ist eine Spin-Spin-Relaxation und führt eine Dephasierung der Spins durch Energieaustausch untereinander aus. Gleichzeitig kommt es zu Magnetfeldinhomogenitäten, jedoch ohne Energieabgabe an die Umgebung. Den Einfluss von T2 Sequenzen auf den Bildkontrast bestimmt die Echozeit (TE). Durch die Auswahl der Echozeit kann die T2 Gewichtung bestimmt werden. Es werden Bilder mit einer langen Repetitionszeit und mit einer langen Echozeit kombiniert (Tab. 8).

Kurze TE	Starke T2 Gewichtung
Lange TE	Geringe T2 Gewichtung
Gewebe: kurze T2-Zeit	Dunkles Bild
Gewebe: lange T2-Zeit	Helles Bild

Tab. 8: Zusammenhang zwischen TE und T2, modifiziert nach Weishaupt et al. [180]

Bilder welche T1 und T2 Kontraste beinhalten werden auch als protonengewichtete (PDw) MR Bilder bezeichnet. Sie besitzen ein langes TR und ein kurzes TE. Protonengewichtete MR Bilder werden von anderen Autoren auch als intermediär gewichtete Bilder bezeichnet. Sie eignen sich besonders zur Darstellung von Strukturen mit geringer Signalintensität wie Knochen und bindegewebige Strukturen, z.B. Ligamente und Sehnen [19, 180]. Tabelle 9 zeigt die Signalintensität verschiedener Gewebe in T1- und T2-gewichteten Bildern im Überblick. Tabelle 10 listet die relative Protonendichte sowie die absoluten Werte von T1 und T2 (in msec) für verschiedene Gewebe.

Gewebe	T1 gewichtetes Bild	T2 gewichtetes Bild mittels TSE
Fett	Hell	Hell (mit FS dunkel)
Wässrige Flüssigkeit	Dunkel	Hell
Tumor	Dunkel	Hell
Entzündung	Dunkel	Hell
Muskel	Dunkel	Dunkel
Bindegewebe	Dunkel	Dunkel
Hämatom akut	Dunkel	Dunkel
Hämatom subakut	Hell	Hell
Fibröser Knorpel	Dunkel	Dunkel
Hyaliner Knorpel	Hell	Hell
Kompakta d. Knochens	Dunkel	Dunkel
Luft	Kein Signal	Kein Signal

Tab. 9: Signalintensität verschiedener Gewebe in T1- und T2-gewichteten Bildern, modifiziert nach Weishaupt et al. [180]

Gewebe	Protonendichte (%)	T1 (1,5T)	T2 (1,5T)
Liquor	100	>4000	>2000
Weißer Hirnschicht	70	780	90
Graue Hirnschicht	85	920	100
Meningeom	90	400	80
Metastase	85	1800	85
Fettgewebe	100	260	80

Tab. 10: Relative Protonendichte sowie absolute Werte von T1 und T2 (in msec) für verschiedene Gewebe, nach Weishaupt et al. [180]

Bei der Aufnahme von MR Bildern ist das Risiko für Nebenwirkungen sehr gering, wenn die Sicherheitsmaßnahmen eingehalten werden und ein geschultes Personal vorhanden ist [182]. Kontraindikationen können lediglich Klaustrophobie, Adipositas permagna, Herzschrittmacher sowie cochleare Implantate sein [53]. Klassische MR Sequenzen sind langsam und reagieren auf jegliche Bewegung empfindlich. Es können also Bewegungs- und Flussartefakte („Ghosting“) bei der Aufnahme der MR Bilder entstehen. Es werden zwei Arten unterschieden:

- Atem- und Herzartefakte (durch Atmung, Peristaltik oder das schlagende Herz bedingt)
- Flussartefakte (durch einen pulsatilen Fluss von Blutgefäßen oder Liquorzirkulation bedingt)

Im Gegensatz zur CT besteht keine Strahlenbelastung. Die MRT ermöglicht darüber hinaus eine multiplanare Schnittführung, d.h. dass neben der Verwendung der drei Hauptebenen sowohl jede Kippung aus diesen Ebenen heraus möglich ist [19, 145]. Weitere Vorteile der MRT sind höchster Weichteilkontrast und höchste Kontrastmittelempfindlichkeit. Die MRT ist somit Goldstandard zur Beurteilung von Weichteilveränderungen der Schulter, wie Läsionen der Rotatorenmanschette, der langen Bizepssehne oder sonstiger Läsionen von Kapsel, Labrum oder Knorpel [90, 197].

1.3.4.2. MR-Arthrographie

Die MR-Arthrographie (MRA) fand 1990 erstmals in der Diagnostik von Schultergelenkerkrankungen Anwendung [102]. Bei der MR-Arthrographie kommen Kontrastmittel zum Einsatz, welche entweder intravenös (indirekte MRA) oder intraartikulär (direkte MRA) injiziert werden. MR-Kontrastmittel können allgemein in vier verschiedene Substanzklassen unterteilt werden. Hierzu zählen niedermolekulare Gadoliniumchelate, höherkonzentrierte Gadoliniumchelate, superparamagnetische Eisenoxidpartikel und hepatobiliäre Kontrastmittel [136]. Die Nebenwirkungen von Kontrastmitteln sind sehr gering. Eine Kontraindikation besteht jedoch bei systemischer nephrogener Fibrose mit vorhandener Niereninsuffizienz. Im Vergleich zu jodhaltigen Röntgenkontrastmitteln sind sie um das 10-fache besser verträglich und weisen eine um den Faktor 2–3 niedrigere Nebenwirkungsrate auf [136, 148]. Allergische Unverträglichkeitsreaktionen sind selten [92]. MR-Kontrastmittel eignen sich für Patienten, bei denen eine Jodallergie oder Hyperthyreose vorliegt bzw. eine Radio-Jod-Therapie bei Schilddrüsen-Karzinom geplant ist [148]. Die Infektionsrate liegt mit 0,003% sehr gering [181].

Bei der indirekten MRA werden 10 - 20 ml Gadoliniumchelat (0,1mmol/kg KG, z.B. Magnevist®) intravenös injiziert. Der Patient wird aufgefordert, die Schulter für 10 - 15 Minuten bzw. 30 Minuten zu bewegen, wobei das Kontrastmittel in die Gelenkflüssigkeit diffundiert [67, 148, 166]. Im Gegensatz zur intraartikulären Injektion von Kontrastmittel führt das indirekte Verfahren jedoch zu keiner Distension des Gelenkspalts [16]. Zudem ist bei T1 gewichteter Sequenz der Signalanstieg der Gelenkflüssigkeit geringer als bei der direkten Arthrographie. Die auftretende Kompartimentabgrenzung ist schlechter da wie oben erwähnt kaum bzw. keine Distension des Gelenkraumes stattfindet. Vorteil der indirekten Methode ist jedoch eine geringere Invasivität [181].

Das betroffene Schultergelenk wird letztlich unter Lokalanästhesie und unter Durchleuchtung punktiert. Danach werden 10 - 20 ml Gadoliniumchelat stark verdünnt (1:100, 1:125, 1:250, 1:500) und unter sterilen Bedingungen intraartikulär appliziert [39, 72, 148]. Dies bewirkt nicht nur eine Erhöhung des intraartikulären Kontrastes, sondern auch durch Entfalten der Kapsel eine verbesserte Beurteilung von Labrum, Ligamenten und Kapselstrukturen [15, 71]. Nach Kontrolle der intraartikulären Position und des mit gadoliniumgefüllten Gelenks werden vorwiegend T1-, T1-fettgesättigte und protonengewichtete Sequenzen untersucht. Zur besseren Knorpeldarstellung können Spezialsequenzen eingesetzt werden. Das verabreichte Gadolinium weist eine ca. 30-45 min. konstante Kontrastierung auf, danach erfolgt ein synovialer Abtransport. Dieser tritt bei älteren Patienten verzögert und bei Entzündungen rasch auf. Die Eliminierung des Kontrastmittels erfolgt renal [181]. Laut Habermeyer sollte die Kernspintomographie als direkte MRA zum Standardverfahren dazugehören [60].

1.4. Arthroskopie

Die Arthroskopie gilt heute als Goldstandard bei der Diagnostik von Schultergelenksläsionen [87, 146, 173, 174]. Sie wurde erstmals im Jahr 1931 von Burman beschrieben, welcher die Schultern von Leichen arthroskopierte [20]. Ein klinisch einsatzfähiges Arthroskop wurde jedoch erst 1958 entwickelt, woraufhin zahlreiche Techniken und Verbesserungen des Instrumentariums entwickelt wurden [31]. Die Untersuchung erfolgt in halbsitzender Lagerung („Beach-chair position“) bei 60° Hüftbeugung, in sitzender Position mit 90° Hüftbeugung oder in Seitenlagerung [112, 131]. Zahlreiche Zugangswege wurden bislang beschrieben. Der dorsale Zugangsweg wird am häufigsten eingesetzt, da hierdurch der Großteil des Schultergelenks eingesehen werden kann [31]. Zur vollständigen Beurteilung der Schulter sollte die Durchführung nach einem standardisierten Algorithmus

erfolgen [163]. Tischer et al. beschreiben beispielsweise folgendes Vorgehen: Zunächst Beurteilung des M. subscapularis, dann der langen Bizepssehne inklusive Verankerung, anschließend Inspektion der kapsulären Ligamente, des Labrum glenoidale, der Sehnenansätze der Mm. supra- und infraspinatus und des M. teres minor, des axillaren Rezessus sowie des glenoidalen und humeralen Gelenkknorpels.

Aufgrund der guten Sicht auf die intraartikulären Strukturen bietet die diagnostische Gelenkspiegelung durch die Möglichkeit einer genauen Befundung Vorteile [62]. Die Komplikationsrate bei der Arthroskopie ist gering und korreliert stark mit der Erfahrung des Operateurs [112]. Sie liegt zwischen 2,0 und 9,5% [18, 178]. Zu diesen Komplikationen zählen im Wesentlichen Infektion, Blutung, Heilungsstörung und Lagerungsschäden [112]. Neben dem rein diagnostischen Aspekt hat die Arthroskopie auch bei der operativen Therapie von Schultergelenkläsionen einen hohen Stellenwert.

1.5. Therapie

Grundsätzlich können **akute Therapiemaßnahmen** von konservativen, arthroskopischen oder offenen Behandlungen unterschieden werden. Im Falle einer akut eingetretenen Schultergelenksluxation muss der betroffene Arm zunächst schmerzfrei gelagert werden. Dies geschieht am zweckmäßigsten in einem Dreiecktuch. Nur ein erfahrener Helfer oder Arzt sollte vor Ort einen Repositionsversuch unternehmen [61]. Für die Reposition stehen verschiedene Techniken zur Auswahl. So existieren Techniken nach Hippokrates, Arlt, Matsen, Stimson und White/Milch. Daneben werden auch Repositionstechniken für hintere Luxationen und die offene Reposition eingesetzt. Für alle Verfahren gilt, dass die Reposition langsam und schonend zu erfolgen hat, um mögliche Nervenläsionen zu vermeiden [61, 88].

Die Festlegung der weiteren Behandlung hängt wesentlich vom Typus der Läsion und der Schwere der geschädigten Strukturen ab. Daneben spielen bei der Therapieentscheidung aber auch wesentlich das Alter, die Funktionsansprüche und die Compliance des Patienten eine Rolle [61, 101, 161].

Wenn möglich sollten **konservative Behandlungen** favorisiert werden. Hierzu zählen die Ruhigstellung der Schulter und eine anschließende Rehabilitationsphase mit aktiv-assistierter Physiotherapie [61].

Habermeyer [61] nennt folgende Indikationen für ein **arthroskopisches Vorgehen**:

- traumatischer Erstluxation bei Patienten mit hohem sportlichen Anspruch, Bankart-Läsion, Hill-Sachs-Läsion, ohne Hyperlaxität
- chronischer posttraumatischer Instabilität <5 Rezidive
- chronischer anteriorer/antero-inferiorer Instabilität mit Hyperlaxität und guter Kompetenz des inferioren glenohumeralen Ligaments (IGHL) und medialen glenohumeralen Ligaments (MGHL)
- symptomatischer Subluxation

Arthroskopische Stabilisierungsverfahren zielen stets auf die Refixation des Kapsel-Labrum-Komplexes ab, wobei verschiedene Verankerungstechniken zur Auswahl stehen.

Ein **offen operatives Verfahren** ist nach Habermeyer [61] bei Vorliegen folgender Schädigungen indiziert (absolute Operationsindikationen):

- nicht reponierbaren oder retinierbaren Luxationen, bei denen Weichteile wie Kapselgewebe, lange Bizepssehne oder Teile der rupturierten Rotatorenmanschette interponieren
- knöchernen Bankart-Läsionen mit einer kritischen Größe über 15 mm Länge und 5 mm Breite
- nach Reposition um 5 mm nach kranial und/oder dorsal dislozierten Tuberculum-majus-Frakturen
- begleitender Ruptur der Sehne des M. subscapularis, da diese eine zentrale Bedeutung für die dynamische Stabilisierung besitzt
- bei begleitender Ruptur von Supraspinatus und/oder Infraspinatus beim älteren Patienten

Offen operative Therapieverfahren finden Anwendung zur Refixation des kapsulolabralen Komplexes am Glenoidrand, zur Kapselraffung bzw. Labrumaugmentationen, zur Faszien- und Sehnenrekonstruktion, bei der Rotationsosteotomie des proximalen Humerus und bei Knochenspanoperationen [61, 88].

Zur Behandlung einer Schultergelenksluxation / -instabilität stehen zusammenfassend zahlreiche Therapieoptionen unterschiedlicher Invasivität zur Verfügung. Die Festlegung des therapeutischen Vorgehens und somit die Indikationsstellung zur Arthroskopie oder offen operativen Therapie hängt wesentlich von einer detaillierten und exakten Diagnostik ab. Wissenschaftliche Studien müssen daher klären, welche diagnostischen Verfahren überlegen und somit zu favorisieren sind.

2. Fragestellung

Das Schultergelenk kennzeichnet eine außergewöhnliche Beweglichkeit. Diese macht es aber auch zum gefährdetsten Kugelgelenk des menschlichen Körpers [41, 43, 63, 193]. Dislokationen finden sich bei diesem Gelenk am häufigsten [79, 134, 155] und können knöcherne Läsionen, Labrumverletzungen, ligamentäre Läsionen und Verletzungen der Rotatorenmanschette nach sich ziehen [5, 79, 169, 192]. Eine präzise Diagnostik ist unabdingbar vor Festlegung und Durchführung einer weiteren Intervention [40, 151, 189]. Es konnte gezeigt werden, dass in fast der Hälfte der Fälle nach Durchführung einer kernspintomographischen Untersuchung das therapeutische Vorgehen abgeändert wurde [160, 194].

Die MRT und direkte MRA gelten als entscheidende Untersuchungsmethoden in der Diagnosefindung, gerade vor arthroskopischen Eingriffen [79, 100]. Der direkten MRA wird dabei eine „marginale Überlegenheit“ gegenüber der konventionellen MRT zugeschrieben [152]. Die Untersuchung wird als ‚gut toleriert‘ beschrieben und die Komplikationsrate als gering bewertet [6, 64, 193]. Die direkte MRA ist jedoch mit Risiken für den Patienten verbunden [80]. Hierzu zählen unter anderem postinterventioneller Schmerz, die Möglichkeit von Verletzungen und Blutungen, welche insbesondere dann auftreten, wenn das Gelenk mehrfach punktiert werden muss, und die Gefahr der Infektion durch die intraartikuläre Injektion von Kontrastmittel bis hin zum Sepsisgeschehen [15, 21, 37, 109, 143, 170].

Die Metaanalyse von Smith et al. [152] konnte nur für den Nachweis der selteneren inferioren Labrumläsionen einen Vorteil aufzeigen. Für den Nachweis anteriorer Labrumläsionen war die MRT besser geeignet. Eine klare Überlegenheit der MRA gegenüber der MRT ist somit entsprechend der aktuellen Literatur nicht gegeben. Zudem beruhen die Ergebnisse dieser Metaanalyse zumeist auf Studien, welche entweder nur die MRT oder MRA durchführten. Bisherige Studien vergleichen zumeist auch nur die Anzahl erkrankter Personen und betrachten nur selten das Auftreten von Einzelläsionen.

Diese Arbeit hatte zum Ziel, MRT- und MRA-Befunde ein und desselben Patienten zu vergleichen und die entsprechend detektierten Einzelläsionen gegenüberzustellen. Dabei sollten nicht nur Labrumläsionen, sondern auch Läsionen des glenoidalen und humeralen Gelenkknorpels verglichen werden, was bislang in der Literatur noch nicht erfolgte. Hierdurch sollte es möglich sein, Aussagen zu Kombinationsverletzungen treffen zu können. Über die bloße Nachweisbarkeit der Läsionen hinaus sollte geklärt werden, ob MRT und MRA die Läsionen auch an derselben Lokalisation beschreiben, denselben Läsionstypus detektieren und den Schweregrad der Läsion vergleichbar einschätzen lassen. Zudem

sollte der Nachweis von Zusatzbefunden, wie z.B. knöchernen Läsionen, in MRT und MRA gegenübergestellt werden. Schließlich sollten auch die Qualität des Bildmaterials und dessen Beurteilbarkeit für die MRT- und MRA-Untersuchung verglichen werden.

3. Material und Methode

3.1. Patientenkollektiv

Diese Studie wurde in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Direktorin Frau Prof. Dr. G. A. Krombach, des Universitätsklinikums Gießen durchgeführt.

Eingeschlossen wurden Patienten, welche im Zeitraum 01/2001 bis 06/2012 aufgrund von Schulterbeschwerden am Universitätsklinikum Gießen sowohl eine native MRT als auch eine direkte MRA erhalten haben. Geschlecht, Alter und Körperseite spielten keine Rolle. Ein positives Votum der Gießener Ethikkommission für diese monozentrische, retrospektive Studie lag vor (Nr 86/11).

Die Patientensuche erfolgte durch eine Volltextrecherche über das Programm Medos Client / Medos RIS Client. Hierbei wurden alle radiologischen Befundberichte auf folgende Schlüsselworte durchsucht: schult*, arthrogr*, mr*. Hierbei konnten insgesamt 283 Patienten ausfindig gemacht werden. Von allen Patienten wurden die Befundberichte eingesehen. Bei 200 dieser Patienten erfolgte ausschließlich eine native MRT, bei weiteren 9 Patienten eine native MRT gefolgt von einer indirekten MRA. Diese Patienten konnten nicht in die Studie aufgenommen werden. Das Bildmaterial der verbliebenen 74 Patienten wurde der Befundung zugeführt. 3 Patienten mussten ausgeschlossen werden, da das Bildmaterial im digitalen Archiv nur noch unvollständig vorhanden war. Bei einem Patienten eignete sich das Bildmaterial nicht zu einer detaillierten Auswertung und bei zwei weiteren Patienten fand sich keine Beteiligung der Articulatio glenohumeralis. Somit konnten abschließend 68 Patienten in die Studie aufgenommen werden (Abb. 5).

Die Patientendaten wurden einer Pseudonymisierung unterzogen. Hierbei wurden die Anfangsbuchstaben von Vor- und Nachnamen verwendet und durch eine fortlaufende dreistellige Zahl ergänzt.

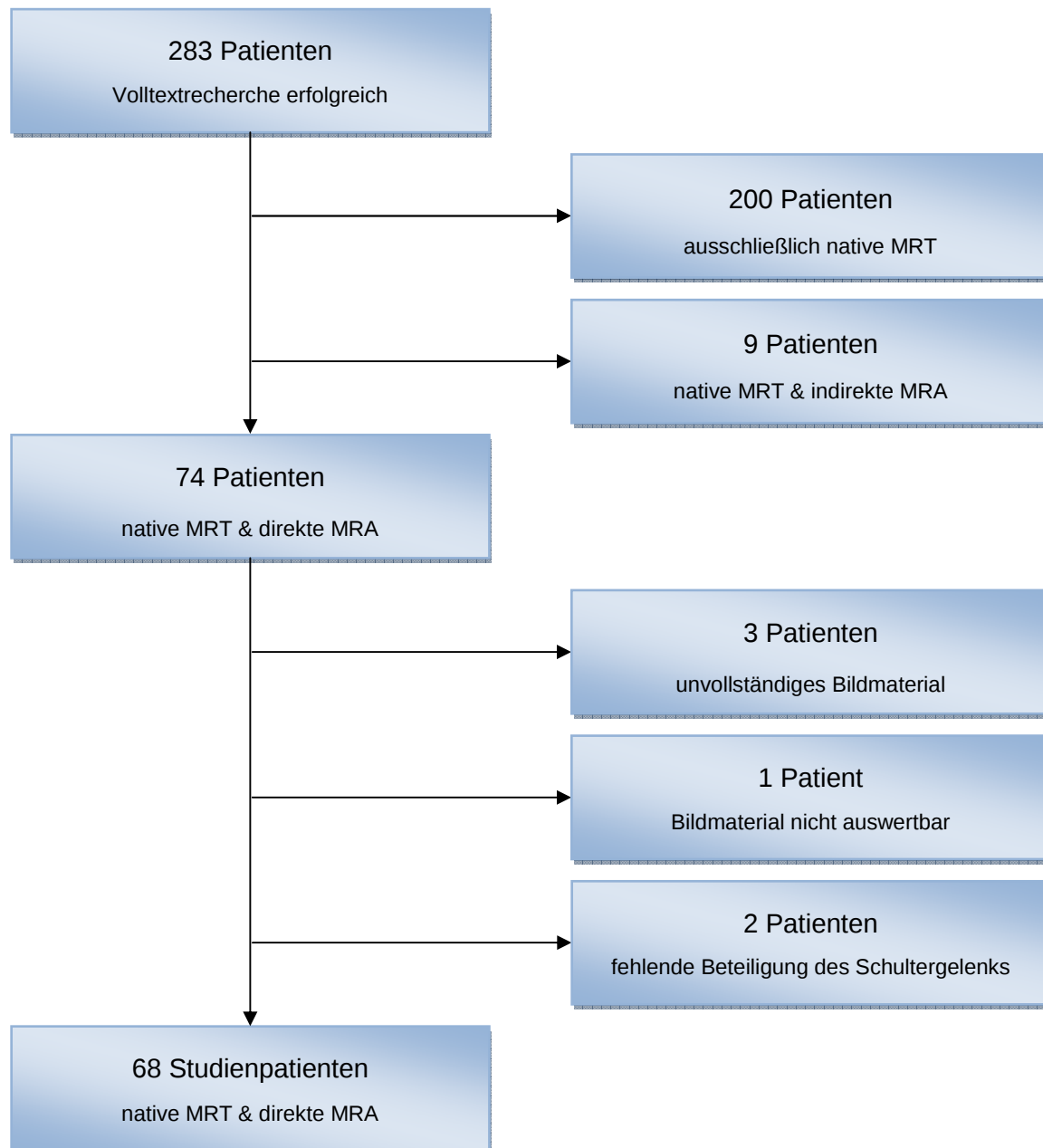


Abb. 5: Patientenakquise

3.2. Diagnostische Verfahren

3.2.1. Native Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Anfertigung von Magnetresonanzaufnahmen am Universitätsklinikum Gießen erfolgte im Zeitraum 01/2001 bis 04/2005 mit einem 1,5 Tesla Ganzkörpermagnetresonanztomographen (Gyrosan Intera 1.5 T[®], Philips Medizin Systeme GmbH, Best, Niederlande). Ab Mai 2005 bis Juni 2012 kamen andere Geräte zum Einsatz, die sich in der Feldstärke nicht unterschieden (MAGNETOM Avanto 1,5 T[®] und MAGNETOM Espree 1,5 T[®] (Abb. 6), Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland).



Abb. 6: MAGNETOM Espree 1,5 T[®] der Firma Siemens Healthcare, Erlangen
Aus dem medizinischen Zentrum für Radiologie, Klinik für Diagnostische
und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Gießen

25 der eingeschlossenen Patienten wurden mit dem Gyroscan Intera 1.5T[®] der Firma Philips, 43 Patienten wurden mit den Geräten Magnetom Avanto 1,5 T[®] oder Espree 1,5T[®] der Firma Siemens untersucht.

Vor Untersuchung der Patienten wurden mögliche Kontraindikationen ausgeschlossen. Als absolute Kontraindikation gelten Herzschrittmacher, aber auch ferromagnetische Fremdkörper, insbesondere Metallsplitter, welche sich hinter dem Auge befinden. Außerdem zählen zu den Kontraindikationen implantierte Defibrillatoren / Pumpen, Herzklappen und Cochleaimplantate. Intravaskuläre Stents oder cerebrale Gefäßclips stellen nur innerhalb der ersten 6-8 Wochen nach der Implantation eine Kontraindikation zur Durchführung einer MRT dar [50, 52].

Die Aufnahme des Schultergelenks erfolgte in Rückenlage und der zu untersuchende Arm wurde parallel zum Körper gelagert. Eine Innenrotation sollte vermieden werden, da hierdurch unerwünschte Anschnitteffekte von Sehnen der Rotatorenmanschette mit dem umgebenden Weichteilgewebe resultieren, welche fehlinterpretiert werden können [30].

Das Protokoll sah folgende Untersuchungen vor:

- T1-gewichtete (T1w) Turbo-Spin-Echo (TSE) Aufnahmen in transversaler und paracoronaler Ebene (TR/TE=550/11; $\alpha=180$)
- T2-gewichtete (T2w) Turbo-Spin-Echo Aufnahmen (TSE) in paracoronaler Schichtführung (TR/TE=4000/73, $\alpha=150$)
- Protonengewichtete fettsupprimierte Sequenz (PD SPIR) in transversaler und parasagittaler Ebene (TR/TE=1600/26; $\alpha=90$)

Die Schichtdicke wurde mit 3 mm gewählt.

3.2.2. Direkte Magnetresonanarthrographie (dMRA)

Das betroffene Schultergelenk wurde in Lokalanästhesie (5ml Xylocain) und mittels Durchleuchtung punktiert. Danach wurden 20 ml eines paramagnetischen Kontrastmittels intraartikulär injiziert. Hierzu wurde 0,5 molares Gadolinium (0,5 M Gd-DTPA; Magnevist[®], Bayer HealthCare / Bayer Schering Pharma, Leverkusen, Deutschland) verwendet, welches mit physiologischer Kochsalzlösung (0,9% NaCl) auf ein Verhältnis von 1:125 verdünnt wurde. Das verabreichte Gadolinium weist eine ca. 30-45 min. konstante Kontrastierung auf.

Hierauf folgt unmittelbar:

- T1-gewichtete (T1w) Turbo-Spin-Echo (TSE) Aufnahme mit Fettsuppression in transversaler, paracoroner und parasagittaler Ebene. Die Schichtdicke wurde entsprechend der nativen MRT mit 3 mm gewählt.

Die wichtigsten Sequenzparameter sind in Tabelle 11 aufgeführt.

	Beschreibung
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
T1w	MR-Bilder, deren Kontrast von T1 bestimmt wird.
T2w	MR-Bilder, deren Kontrast von T2 bestimmt wird.
FSE	Fast-Spinecho (beschleunigte Variante von Spinecho)
TSE	Turbo-Spin-Echo
SPIR	„Spectral presaturation with inversion recovery“
STIR	„Short timeinversion recovery“
Spinecho-Sequenz	Häufigste MR-Sequenz, Pulswinkel ist 90°
Flipwinkel (α)	Auslenkungswinkel bei Anregung des Spinsystems

Tab. 11: wichtige Sequenzparameter

3.3. Radiologische Befundung und Datenakquise

Die radiologische Befundung erfolgte verblindet. MRT- und MRA-Bilder eines Patienten wurden dabei in unterschiedlichen Sitzungen evaluiert. MRT- und MRA-Befundung wurden somit unabhängig voneinander durchgeführt. Ein Rückschluss von MRT- auf MRA-Befunde oder umgekehrt sollte in jedem Falle vermieden werden.

In dieser Studie sollten das Labrum glenoidale, die Cartilago glenoidalis und die Cartilago humeralis in MRT und MRA beurteilt werden. Die Studie hatte das Ziel, Läsionen hinsichtlich Lokalisation und Ausdehnung so genau wie möglich zu beschreiben. Einteilungen, welche bislang Labrum- oder Knorpelläsionen des Schultergelenks beschreiben, finden

sich kaum und sind, wenn vorhanden, nur gering differenziert. Dies begründete die Entscheidung, ein detailliertes Befundungsschema für die Beurteilung der Aufnahmen zu erstellen:

Läsionen des Labrum glenoidale wurden entsprechend ihrer Lokalisation in anterior-superior, anterior-inferior, posterior-superior und posterior-inferior unterteilt. Für die Klassifikation der Läsionsgrade wurden die Einteilungen nach Vahlensieck und Hodler [165] und die nach Neumann [120] zu Grunde gelegt. Die Klassifikation von Neumann bezieht sich dabei auf Labrumläsionen der Hüfte. Eine Übertragung auf Labrumläsionen der Schulter ist jedoch gut möglich. Im Anhang ist der für die Beurteilung der Untersuchungen erstellten Auswertungsbogen dargestellt. Die entsprechenden Literaturstellen, welche die unterschiedlichen Typen von Läsionen an Schulter oder Hüfte beschreiben, sind als Quellen in der Spalte „Bemerkungen“ angeführt.

Läsionen der Cartilagines glenoidalis und humeralis werden ebenfalls entsprechend ihrer Lokalisation in anterior-superior, anterior-inferior, posterior-superior und posterior-inferior unterteilt. Zusätzlich werden hier auch zentrale Läsionen des Knorpels berücksichtigt. Die Einteilung der Läsionen reicht von Signalheterogenität, unregelmäßiger Oberfläche, Verletzungen mit einer Beteiligung des Knorpels von $<50\%$ bzw. $\geq 50\%$ der Knorpeldicke bis hin zur Beteiligung der kompletten Knorpeldicke. Für dieses Befundungsschema wurde die Einteilung von Lecouve [95] und die von Neumann [120] zu Grunde gelegt.

Bei allen Befunden wurde die Beurteilbarkeit des Bildmaterials bewertet und in die Grade 1 bis 3 unterschieden. Grad 1 kennzeichnet eine schlechte, Grad 3 eine hervorragende Beurteilbarkeit. Einschränkungen der Beurteilbarkeit waren maßgeblich durch Bewegungsartefakte bedingt.

Zusätzlich auffällige Pathologien des Schultergelenks wurden gesondert festgehalten. Hierzu zählen beispielsweise ein Gelenkerguss, eine Hill-Sachs-Delle, die Beteiligung der Gelenkkapsel, Läsionen der Rotatorenmanschette, Tendinopathien und Sehnenrupturen, die Beteiligung des Acromioclaviculargelenkes bzw. der Bursae, ein Ödem oder extralabrale Zysten.

4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe der Softwarepakete SPSS® Version 22 (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0; Armonk, NY; IBM Corp.). Statistische Signifikanz wird bei p-Werten $\leq 0,05$ angenommen.

Die Auswahl der statistischen Testverfahren wurde dezidiert mit Prof. Ligges (Statistisches Beratungs- und Analysezentrum, Fakultät Statistik, Technische Universität Dortmund) besprochen:

Exakter Test nach Fisher (Fisher-Yates-Test, exakter Chi-Quadrat-Test)

Der Exakte Fisher-Test überprüft die Unabhängigkeit in einer Kontingenztafel auf Signifikanz. Mithilfe dieses Testes soll geprüft werden, ob die Seitenverteilung der Läsionen zwischen männlichen und weiblichen Patienten des Studienkollektivs differiert.

McNemar Chi-Quadrat-Test mit Kontinuitätskorrektur

Der McNemar-Test gehört zur Gruppe der Chi-Quadrat-Tests und kann bei verbundenen Stichproben angewendet werden. Bei Vorliegen einer Stichprobe, welche mit 2 unterschiedlichen Methoden untersucht wird, kann die Signifikanz für den Wechsel der Prognose (hier: Läsion nachweisbar/Läsion nicht nachweisbar) berechnet werden. Anwendung findet dieser Test bei der Fragestellung, ob mittels MRT oder MRA signifikant mehr/weniger Läsionen detektiert werden können.

Wilcoxon-Test unter Berücksichtigung von Bindung und verbundenen Stichproben

Der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben ist ein nichtparametrischer Test und vergleicht gepaarte Beobachtungen. Wird eine Stichprobe mit zwei unterschiedlichen Methoden untersucht, so kann mit seiner Hilfe der Unterschied zwischen den Messungen auf Signifikanz geprüft werden. Anwendung findet dieser Test bei der Beurteilung der Bildqualität. Es soll geprüft werden, ob die Bildqualität von MRT und MRA signifikant differiert [152].

5. Ergebnisse

In dieser Studie wurden Verletzungen und Degenerationen des Schultergelenks untersucht. Besonderes Augenmerk galt der Beteiligung des Labrum glenoidale (L_G), der Cartilago fossae glenoidalis (C_{FG}) und der Cartilago humeralis (C_H). MRT und MRA wurden als bildgebende Verfahren gegenübergestellt. Die Erkennbarkeit von Verletzungen, die Beurteilung des Läsionstypus, die Läsionslokalisation und die Läsionsgraduierung mittels beider Verfahren sollten analysiert werden. Insgesamt wurden hierfür 14382 MRT- und MRA-Schnittbilder ausgewertet. MRT und MRA fanden bei 77% der Patienten am selben Untersuchungstag statt.

5.1. Patientenkollektiv

Von denen im Zeitraum 01/2001 bis 06/2012 untersuchten 283 Patienten erfüllten 68 Patienten die Einschlusskriterien und konnten der Studie zugeführt werden. Hierbei handelte es sich um 52 Männer und 16 Frauen. Das Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Bildgebung im Minimum 14 Jahre und im Maximum 63 Jahre. Abbildung 7 stellt die Altersverteilung aller Patienten grafisch dar, Abbildung 8 zeigt die Altersverteilung getrennt für Männer und Frauen. Der Altersgipfel männlicher Patienten liegt bei 20 bis 30 Jahren und in geringerem Maße zwischen 40 und 60 Jahren, der der weiblichen Patienten bei 45 bis 55 Jahren.

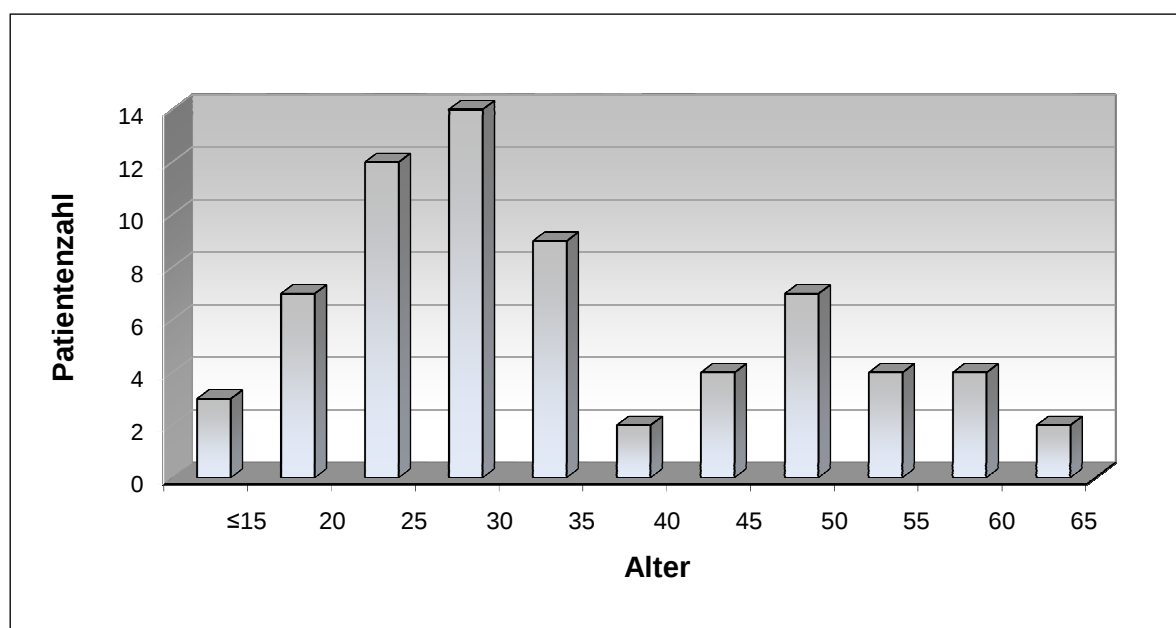


Abb. 7: Altersverteilung aller Patienten

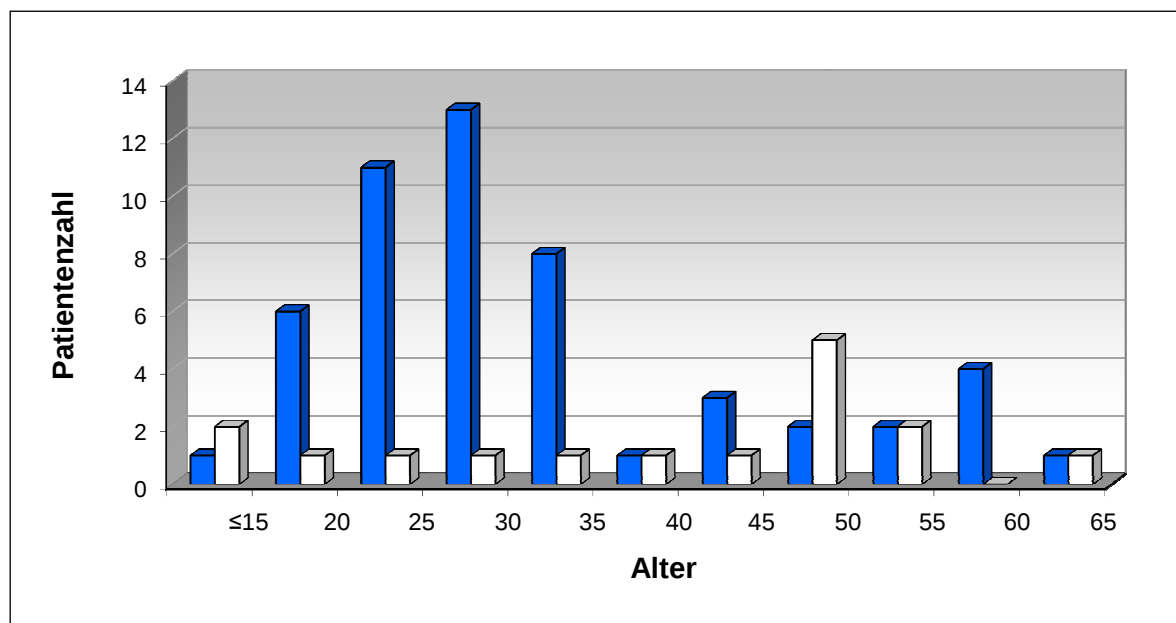


Abb. 8: Altersverteilung männlicher (blau) und weiblicher (weiß) Patienten

37 Patienten zeigten eine Beteiligung der rechten Schulter, bei 31 Patienten war die linke Schulter betroffen. Männliche Patienten wiesen in 26 Fällen eine Schulterverletzung der rechten Seite und in 26 Fällen eine Läsion der linken Schulter auf. Weibliche Patienten zeigten in 11 Fällen eine Beteiligung der rechten und in 5 Fällen eine Läsion der linken Schulter (Tab. 12). Die Seitenverteilung zwischen männlichen und weiblichen Patienten wurde mittels Exaktem Fisher-Test (exaktem Chi-Quadrat-Test) analysiert. Ein signifikanter Unterschied ließ sich hierbei nicht errechnen ($p=0,254$).

		Patientenzahl		
		Männer	Frauen	Σ
Schulterseite	Rechts	26	11	37
	Links	26	5	31
	Σ	48	16	68

Tab. 12: Patientenzahl bzw. Anzahl der Schulterverletzungen:
Gegenüberstellung von Geschlecht und Körperseite

5.2. Läsionen

5.2.1. Läsionsnachweis

Läsionen des Labrum glenoidale (L_G), der Cartilago fossae glenoidalis (C_{FG}) oder der Cartilago humeralis (C_H) fanden sich bei insgesamt 65 der eingeschlossenen 68 Patienten. Bei 48 Patienten (73,8%) konnten Labrum- und/oder Knorpelverletzungen sowohl in der MRT als auch in der MRA nachgewiesen werden (Tab. 13a). Mittels McNemar Chi-Quadrat-Test mit Kontinuitätskorrektur¹ wurde analysiert, ob eines der beiden bildgebenden Verfahren dem anderen überlegen ist und mehr Patienten mit Läsionen erkennen kann. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden diagnostischen Methoden ließ sich nicht errechnen ($p=1,000$).

Da hierbei auch alle Verdachtsbefunde als Läsionen gewertet wurden, schlüsselt Tabelle 13b die Patientenzahl weiter auf und differenziert zwischen sicherem Läsionsnachweis, Verdachtsbefund und fehlendem Nachweis einer Läsion. Es zeigt sich, dass Patienten, bei welchen ausschließlich in der MRT eine Läsion befundet wurde, zum größten Teil nur Verdachtsbefunde zeigten, welche sich in der MRA nicht bestätigen ließen (Tab. 13b).

		MRA		Σ
		Ø Läsion	Läsion	
MRT	Ø Läsion		8	8
	Läsion	9	48	57
	Σ	9	56	65

Tab. 13 (a): **Patientenzahl** mit und ohne Läsionsnachweis in MRT und MRA

		MRA		
		0	9	1
MRT	0		0	8
	9	6	0	17
	1	3	0	31

Tab. 13 (b): **Patientenzahl** mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für L_G -, C_{FG} - oder C_H -Läsionen in MRT und MRA

¹ in der Folge nur McNemar Chi-Quadrat-Test genannt

Insgesamt konnten 103 Einzelläsionen an Labrum und/oder Knorpel detektiert werden. Das MRT zeigte 75 und die direkte MRA 82 Läsionen. 54 von 103 Läsionen (52,4%) wurden dabei gleichzeitig durch beide Verfahren erkannt (Tab. 14a). Mittels McNemar Chi-Quadrat-Test konnte zwischen MRT und MRA kein signifikanter Unterschied berechnet werden ($p=0,392$). Tabelle 14b schlüsselt wiederum zwischen sicherem Läsionsnachweis, Verdachtsbefund und fehlendem Nachweis einer Läsion (Tab. 14b).

		MRA		Σ
		Ø Läsion	Läsion	
MRT	Ø Läsion		28	28
	Läsion	21	54	75
	Σ	21	82	103

Tab. 14 (a): **Gesamtzahl der Einzelläsionen** von Labrum glenoidale, Cartilago fossae glenoidalis und Cartilago humeralis mit Nachweis in MRT und/oder MRA

		MRA		
		0	9	1
MRT	0		0	28
	9	7	0	24
	1	14	0	30

Tab. 14 (b): **Anzahl an Einzelläsionen** mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für **L_G-**, **C_{FG}-** oder **C_H-Läsionen** in MRT und MRA

Die Zahl der Einzelläsionen des Labrum glenoidale betrug 68. 66,2% (45/68) der Labrumverletzungen wurden von beiden diagnostischen Verfahren erkannt (Tab. 15a). Ein statistisch signifikanter Unterschied ließ sich auch hier nicht nachweisen (McNemar Chi-Quadrat-Test; $p=0,678$).

Unter ‚Läsionen‘ wurden hierbei auch Verdachtsdiagnosen subsummiert. Daher schlüsselt Tabelle 15b zwischen sicherem Läsionsnachweis, Verdachtsbefund und fehlendem Nachweis einer Läsion auf. Es zeigt sich, dass Einzelläsionen des Labrum glenoidale,

welche ausschließlich in der MRT befundet wurden, zum größten Teil nur Verdachtsbefunde waren, welche sich in der MRA nicht bestätigen ließen (Tab. 15b).

In der direkten MRA wurden keine Verdachtsdiagnosen ermittelt. Durch die direkte MRA war somit eine Festlegung für oder gegen eine Läsion in jedem Falle möglich. Die 31 MRT-Verdachtsdiagnosen konnten mittels MRA zu 77% (24/31) als Läsion und zu 23% (7/31) als Fehlen einer Läsion gewertet werden. Bei insgesamt 23 Patienten (35,4%) konnte somit durch alleinige Durchführung der MRT nicht geklärt werden, ob eine Läsion vorliegt oder nicht (Abb. 9).

		MRA		Σ
		Ø Läsion	Läsion	
MRT	Ø Läsion		13	13
	Läsion	10	45	55
	Σ	10	58	68

Tab. 15 (a): Einzelläsionen des Labrum glenoidale mit Nachweis in MRT und/oder MRA

		MRA		
		0	9	1
MRT	0		0	13
	9	7	0	24
	1	3	0	21

Tab. 15 (b): **Anzahl an Einzelläsionen** mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für **L_G-Läsionen** in MRT und MRA

Würde man die **MRA als Goldstandard** [1, 45, 81, 193] für die Beurteilung von Läsionen des Labrum glenoidale betrachten, so ergäben sich für die MRT diagnostische Maßzahlen, wie sie in Tabelle 15c dargestellt sind. Zur Berechnung wurden *alle* eingeschlossenen Patienten (n=68) berücksichtigt, somit auch diejenigen, bei welchen weder in der MRT noch in der MRA eine Labrumläsion nachweisbar war (n=5).

diagnostische Maßzahlen		
	mit Verdachtsbefunden	ohne Verdachtsbefunde
Sensitivität	0,7759	0,6176
Spezifität	0,3333	0,6250
positiv prädiktiver Wert	0,8182	0,8750
negativ prädiktiver Wert	0,2778	0,2778
Rate falsch negativer Befunde	0,2241	0,3824
Rate falsch positiver Befunde	0,6667	0,3750

Tab. 15 (c): diagnostische Maßzahlen mit und ohne Berücksichtigung von Verdachtsbefunden

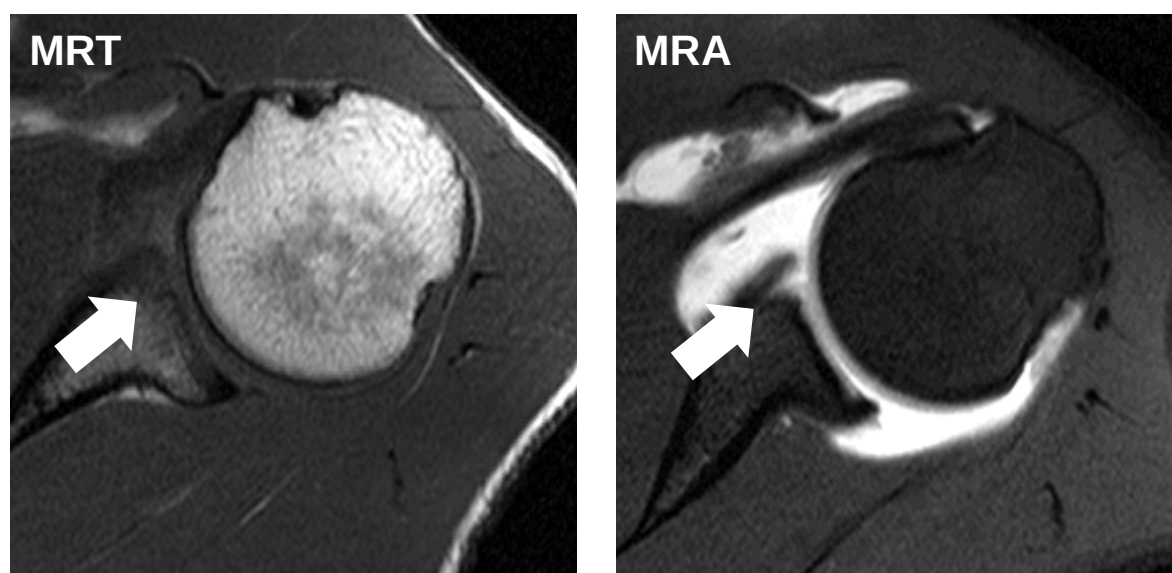


Abb. 9: Komplexer Riss des Labrum glenoidale anterior-inferior. Verdachtsbefund in der MRT, Befundbestätigung in der MRA

Von den 35 detektierten Knorpelverletzungen betrafen 29 Läsionen die Cartilago fossae glenoidalis und 6 Läsionen die Cartilago humeralis. 7 Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis wurden sowohl von der MRT als auch der MRA detektiert. 9 Läsionen konnten nur mittels MRT und 13 Läsionen mittels MRA zur Darstellung gebracht werden (Tab. 16a). Ein statistisch signifikanter Unterschied ließ sich nicht nachweisen (McNemar Chi-Quadrat-Test; $p=0,523$).

Von den 6 Läsionen der Cartilago humeralis wurden jeweils 2 Läsionen ausschließlich mittels MRT, 2 Läsionen ausschließlich mittels MRA und 2 Läsionen mit beiden bildgebenden Verfahren detektiert (Tab.17a). Auch hier zeigte sich nach Anwendung des McNemar Chi-Quadrat-Test kein signifikanter Unterschied zwischen MRT und MRA ($p=1,000$).

Verdachtsdiagnosen wurden weder bei Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis noch bei Läsionen der Cartilago humeralis gestellt (Tab. 16b, 17b).

Zusammenfassend wurden von MRT und MRA gemeinsam zwei Drittel der Labrumverletzungen (45/68; 66,2%), jedoch nur ein Viertel der Knorpelverletzungen (9/35; 25,7%) detektiert.

		MRA		Σ
		Ø Läsion	Läsion	
MRT	Ø Läsion		13	13
	Läsion	9	7	16
	Σ	9	20	29

Tab. 16 (a): **Einzelläsionen** der Cartilago fossae glenoidalis mit Nachweis in MRT und/oder MRA

		MRA		
		0	9	1
MRT	0		0	13
	9	0	0	0
	1	9	0	7

Tab. 16 (b): **Anzahl an Einzelläsionen** mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für **C_{FG}- Läsionen** in MRT und MRA

		MRA		Σ
		Ø Läsion	Läsion	
MRT	Ø Läsion		2	2
	Läsion	2	2	4
	Σ	2	4	6

Tab. 17 (a): **Einzelläsionen** der Cartilago humeralis mit Nachweis in MRT und/oder MRA

		MRA		
		0	9	1
MRT	0		0	2
	9	0	0	0
	1	2	0	2

Tab. 17 (b): **Anzahl an Einzelläsionen** mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für **C_H-Läsionen** in MRT und MRA

Tabelle 18 zeigt, bei wie vielen Patienten Labrum- und Knorpelverletzungen einzeln oder als Kombinationsverletzungen auftreten und von MRT bzw. MRA detektiert wurden. Mehrfachnennungen sind hierbei möglich. Am häufigsten erleiden Patienten demnach Labrumläsionen gefolgt von Verletzungen der Cartilago fossae glenoidalis und schließlich der Cartilago humeralis ($L_G \gg C_{FG} > C_H$). In Kombination treten vorwiegend Verletzungen der beiden Cartilagine bzw. Labrumverletzungen mit Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis auf. Während die Kombination aus Labrumläsion und Affektion der Cartilago humeralis eher selten ist. Eine Kombinationsverletzung aller 3 Bereiche gleichzeitig ist äußerst selten.

		Patientenzahl	
		MRT	MRA
Läsionen	L _G	53	53
	C _{FG}	14	17
	C _H	4	4
	C _{FG} oder C _H	16	20
	C _{FG} und C _H	2	1
	L _G und C _{FG}	11	14
	L _G und C _H	3	4
	L _G und (C _{FG} oder C _H)	12	17
	L _G und C _{FG} und C _H	2	1

Tab. 18: Patientenzahl mit Einzel- oder Kombinationsverletzungen von L_G, C_{FG} und/oder C_H

Verletzungen des Labrum glenoidale können mit einer Beteiligung direkt (läsions-)angrenzender Strukturen assoziiert sein. Hierzu gehören die Gelenkkapsel, Sehnen und ossäre Strukturen. Ferner können sich im Labrum Zysten finden. In der MRA zeigten insgesamt 11 Patienten derartige direkt assoziierte BegleitleSIONen. 4 Patienten wiesen eine Beteiligung der Gelenkkapsel, 7 Patienten eine Beteiligung des angrenzenden Knochens auf. Sie konnten nur mittels MRA nachgewiesen werden. Bei einem Patienten wurde eine Labrumzyste mittels MRT detektiert, welche jedoch in der MRA nicht nachgewiesen wurde. Tabelle 19 listet die Anzahl der Patienten, welche in der MRT und MRA Labrumläsionen mit direkt assoziierten BegleitleSIONen aufwiesen.

		Patientenzahl	
		MRT	MRA
Läsionen	Gelenkkapsel	0	4
	Sehnen	0	0
	ossäre Strukturen	0	7
	Labrumzyste(n)	1	0

Tab. 19: Anzahl an Patienten mit Labrumläsionen und Nachweis von Begleitverletzungen direkt angrenzender Strukturen

5.2.2. Läsionslokalisation

Im vorliegenden Studienkollektiv zeigten 65 von 68 Patienten Läsionen des Labrum glenoidale, der Cartilago fossae glenoidalis und der Cartilago humeralis. Von den 103 Einzelläsionen entfielen 68 Läsionen (66,0%) auf das Labrum glenoidale, 29 Läsionen (28,2%) auf die Cartilago fossae glenoidalis und 6 Läsionen (5,8%) auf die Cartilago humeralis.

Die Läsionen des Labrum glenoidale fanden sich nahezu ausschließlich im anterioren Bereich. Nur eine einzige Läsion konnte posterior-inferior nachgewiesen werden. 13,2% der Labrumläsionen waren anterior-superior lokalisiert, während sich 85,3% der Labrumläsionen anterior-inferior fanden. Der anterior-inferiore Bereich des Labrum glenoidale ist somit das am häufigsten betroffene Areal (Abb. 10). Verletzungen in mehreren Regionen des Labrum glenoidale fanden sich bei 4 Patienten. Die Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis waren vorwiegend zentral (41,4%) und anterior-inferior (41,4%) lokalisiert. Lediglich 5 Läsionen (17,2%) fanden sich im oberen, d.h. superioren Anteil des Knorpels (Abb. 11). Die 6 Läsionen der Cartilago humeralis war nahezu gleichmäßig verteilt, lediglich posterior-inferior fanden sich keine Verletzungen (Abb. 12). Verletzungen in mehreren Regionen der Cartilago fossae glenoidalis traten bei 5 Patienten auf. Kein Patient zeigte Läsionen der Cartilago humeralis in mehreren Arealen gleichzeitig.

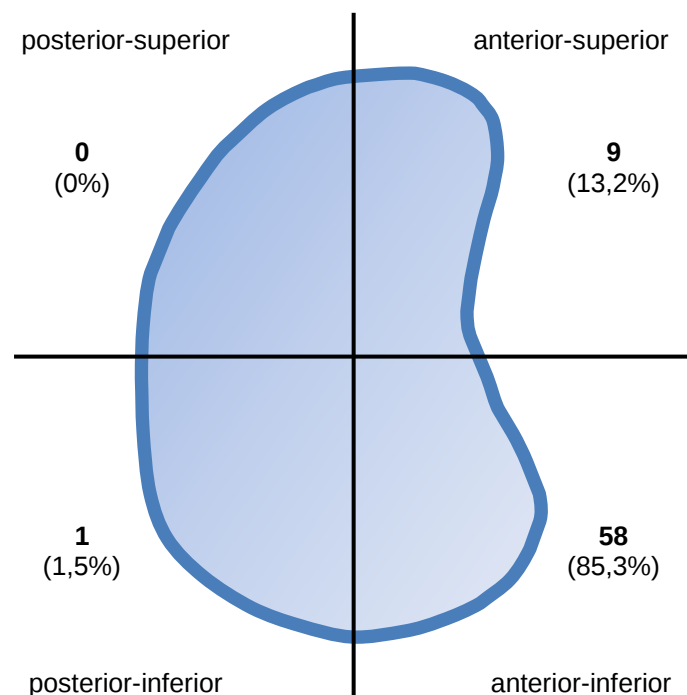


Abb. 10: Anzahl und Lokalisation von Labrumläsionen

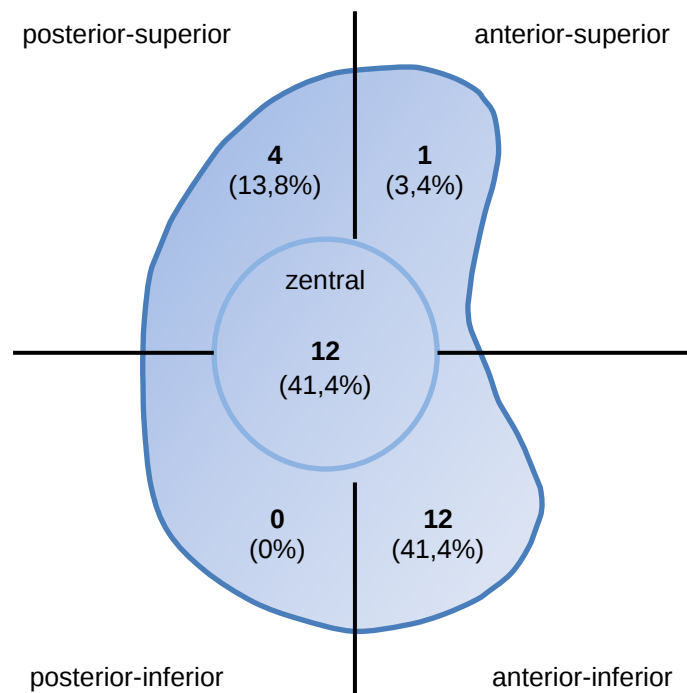


Abb. 11: Anzahl und Lokalisation von Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis

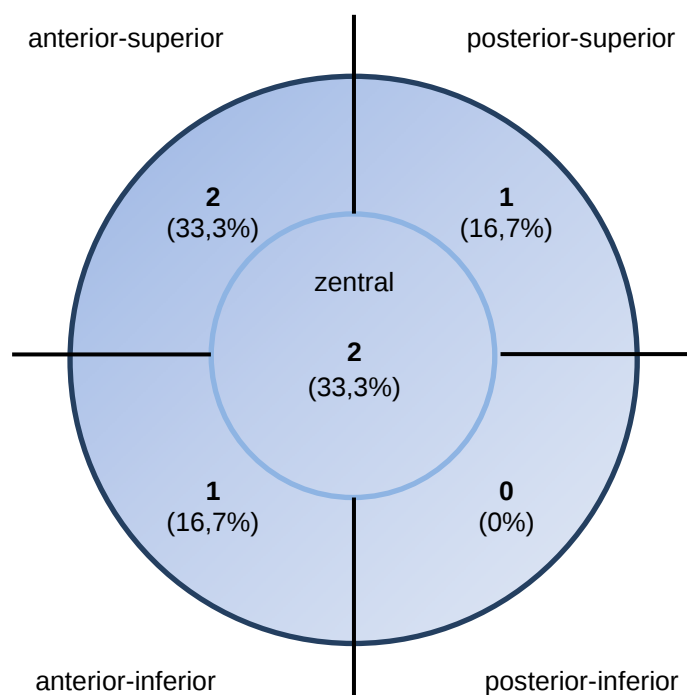


Abb. 12: Anzahl und Lokalisation von Läsionen der Cartilago humeralis

Tabelle 20 listet die 103 Einzelläsionen entsprechend ihrer Lokalisation auf und stellt dar, mit welchem bildgebenden Verfahren diese erkannt werden konnten. Nur 54 der 103 Läsionen (52,4%) konnten gleichzeitig mittels MRT und MRA detektiert werden.

		Anzahl detektierter Läsionen			
		MRT ✓; MRA -	MRT ✓; MRA ✓	MRT - ; MRA ✓	Σ
Labrum (L_G)	anterior-superior	0	6	3	9
	anterior-inferior	10	39	9	58
	posterior-superior	0	0	0	0
	posterior-inferior	0	0	1	1
Knorpel (C_{FG})	anterior-superior	0	0	1	1
	anterior-inferior	3	5	4	12
	zentral	5	2	5	12
	posterior-superior	1	0	3	4
	posterior-inferior	0	0	0	0
Knorpel (C_H)	anterior-superior	0	1	1	2
	anterior-inferior	0	0	1	1
	zentral	1	1	0	2
	posterior-superior	1	0	0	1
	posterior-inferior	0	0	0	0

Tab. 20: Erkennbarkeit von Einzelläsionen mittels MRT und MRA entsprechend ihrer Lokalisation

5.2.3. Läsionstypen

Verletzungen des Labrum glenoidale wurden in folgende Läsionstypen klassifiziert: Degeneration innerhalb des Labrums (D), Riss des Labrums (R), diffuse Signalverstärkung innerhalb des Labrums (SV), Labrumverkleinerung (LV) und Avulsion/Einriss an der Labrumbasis (B). Tabelle 21 listet die Anzahl der detektierten Labrumverletzungen in der MRT und MRA auf. Ein Vergleich derjenigen Verletzungen, welche gleichzeitig in der MRT und MRA zu erkennen waren, lässt eine Analyse zu. Es konnte der Läsionstypus ein und derselben Läsion in beiden diagnostischen Verfahren interpretiert werden (Tab. 22).

In der MRT konnten insgesamt 55 Labrumläsionen detektiert werden, während in der MRA insgesamt 60 Läsionen nachweislich waren. Degenerationen des Labrum glenoidale fanden sich weder in der MRT noch in der MRA. Labrumrisse zeigten sich in 52 Fällen in der MRT und in 54 Fällen in der MRA. Diffuse Signalverstärkungen innerhalb des Labrums konnten einmalig in der MRT und der MRA aufgezeigt werden. Labrumverkleinerungen ließen sich in einem Fall in der MRT, jedoch in 3 Fällen in der MRA detektieren. Avulsionen/Einrisse der Labrumbasis fanden sich in der MRT einmalig und in der MRA zweimalig (Tab. 21).

Wurden Läsionen verglichen, welche gleichzeitig in der MRT und der MRA detektiert werden konnten, so zeigte sich, dass 41 Labrumverletzungen in beiden Untersuchungen gleichermaßen als Risse interpretiert wurden (Tab. 22, Abb. 13). Zusätzlich konnte ein Riss in der MRT als LV in der MRA interpretiert werden. Eine SV in der MRT wurde als Riss mit Basislazeration in der MRA erkannt. Des Weiteren zeigte sich eine LV in der MRT als Riss mit Basislazeration in der MRA und eine Basislazeration in der MRT wurde als Riss in der MRA interpretiert.

Knorpelverletzungen zeigten nur *einen* Läsionstypus und wurden daher ausschließlich in Ausdehnung und Lokalisation unterschieden. Die Ergebnisse der Knorpelverletzungen werden daher in Kapitel 5.2.2. und 5.2.4. angeführt.

		Anzahl an Läsionen	
		MRT	MRA
Läsionen	D	0	0
	R	52	54
	SV	1	1
	LV	1	3
	B	1	2

Tab. 21: Anzahl an unterschiedlichen Typen von Labrumläsionen in MRT und MRA

			Anzahl an Läsionen				
			MRA				
			D	R	SV	LV	B
Läsionen	MRT	D	0	0	0	0	0
		R	0	41	0	1	0
		SV	0	1*	0	0	0
		LV	0	1*	0	0	0
		B	0	1	0	0	0

Tab. 22: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Typen von Labrumläsionen in MRT und MRA

* in der MRA zeigt sich zusätzlich zum Riss eine Basislaxation

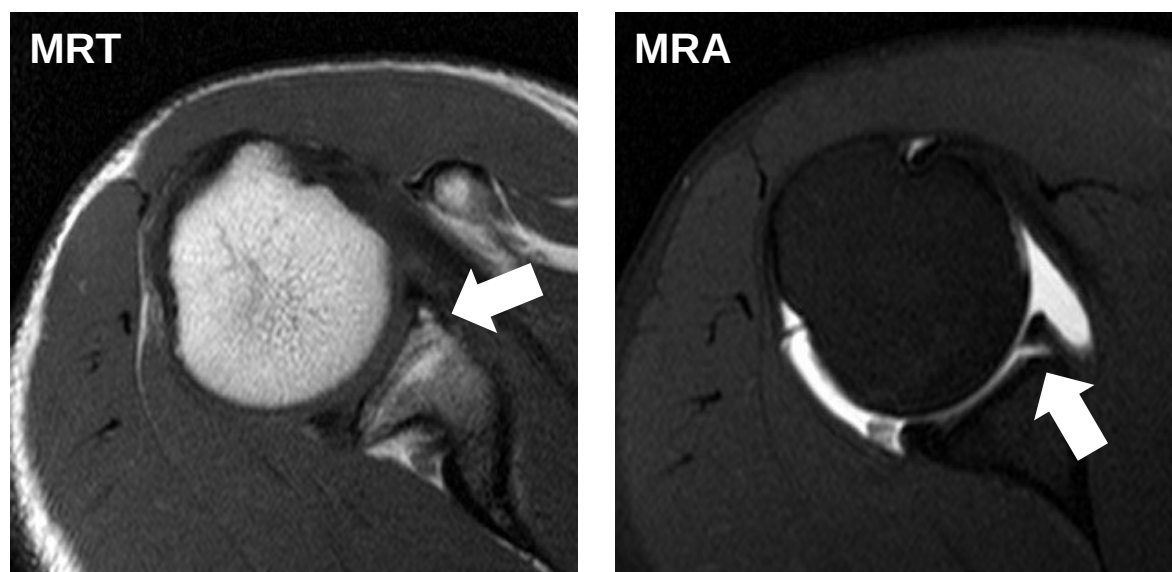


Abb. 13: Einfacher Riss des Labrum glenoidale in MRT und MRA

5.2.4. Läsionsgraduierung

Läsionsgraduierungen konnten für Labrumeinrisse und Verletzungen der Cartilago fossae glenoidalis bzw. humeralis vorgenommen werden. Die Tabellen 23-25 listen die einzelnen Läsionen mit Angabe des in der MRT bzw. MRT befundeten Läsionsgrades.

Insgesamt wurden 41 Labrumeinrisse durch die MRT und MRA gemeinsam detektiert (vgl. Tab. 22, Seite 46). 13 Labrumeinrisse wurden ausschließlich mittels MRT und 11 Labrumeinrisse nur mittels MRA nachgewiesen. Die Gesamtzahl beurteilbarer Labrumeinrisse betrug somit 65 Läsionen. Bei 31 Einrissen des Labrums wurde bei der Beurteilung der MRT-Schnittbilder lediglich eine Verdachtsdiagnose gestellt, welche in 8 Fällen (25,8%) nach Beurteilung der MRA-Bilder keine Läsion und in 23 Fällen (74,2%) einen Läsionsnachweis ergaben. Diese 23 Läsionen schlüsseln sich wie folgt auf: in 9 Fällen zeigte sich ein einfacher, inkompletter Riss (Läsionsgrad 1; 29,0%), in 13 Fällen ein einfacher, kompletter Riss (Läsionsgrad 2; 41,9%) und in einem Fall ein komplexer, inkompletter Riss (Läsionsgrad 3; 3,2%). Verdachtsdiagnosen wurden bei der Interpretation der MRA-Bildgebung nicht gestellt (Tab. 23).

Bei eindeutigem Befund eines Labrumeinrisses in der MRT (18 Läsionen) wurden diese Läsionen in der MRA auch mit identischer Läsionsgraduierung befundet. Hierbei handelte es sich um 9 einfache/inkomplette Risse, 6 einfache/komplette Risse, einen komplexen/inkompletten Riss und 2 komplexe/komplette Risse.

Tabelle 24 zeigt insgesamt 29 Läsionen in der Cartilago der Fossa glenoidalis auf. Davon konnten 9 Läsionen ausschließlich in der MRT (31,0%) und 13 Läsionen ausschließlich in der MRA (44,8%) detektiert werden. 7 der insgesamt 29 Knorpelläsionen im Bereich der Fossa glenoidalis konnten in der MRT und in der MRA gleichzeitig detektiert werden (24,1%) (Abb. 14, 15). 4 Fälle wurden in der MRT und in der MRA identisch in ihrem Läsionsgrad beurteilt. In 3 von 7 Fällen zeigte die MRA einen höheren Läsionsgrad.

In der Cartilago humeralis wurden insgesamt 6 Läsionen detektiert. Zwei Läsionen konnten in der MRT und in der MRA gleichzeitig detektiert und hinsichtlich ihres Läsionsgrades identisch befundet werden. 2 Läsionen konnten nur von der MRT und weitere 2 Läsionen nur von der MRA erfasst werden (Tab. 25).

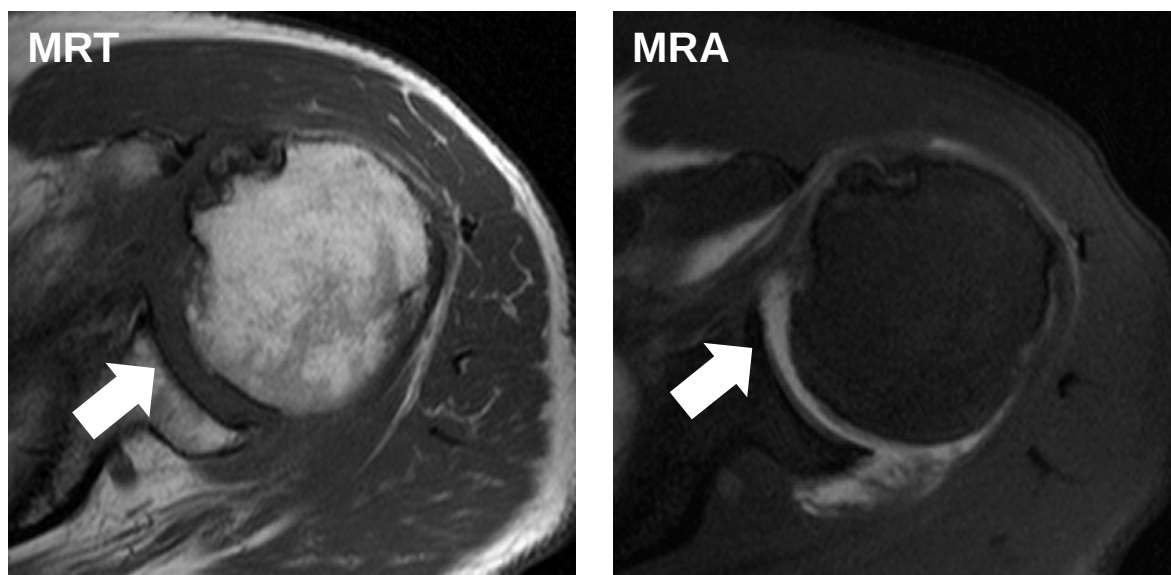


Abb. 14: Unregelmäßige Oberfläche der Cartilago glenoidalis (Fissuren) in MRT und MRA

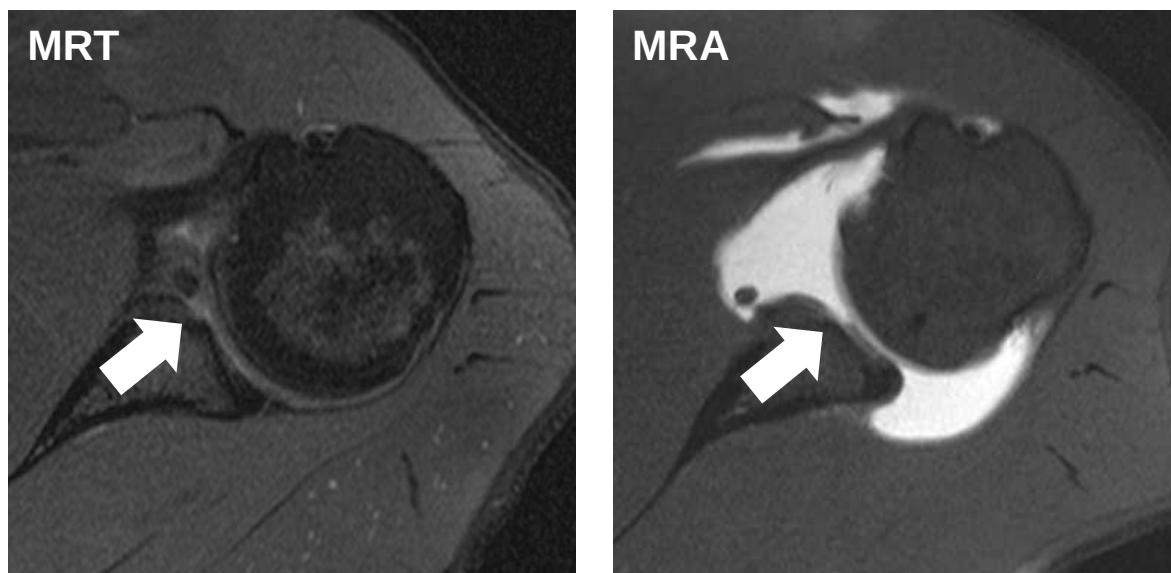


Abb. 15: Verletzung der Cartilago glenoidalis von <50% der Knorpeldicke in MRT und MRA

			MRA					
			Läsionsgrade Labrumrisse					
			0	9	1	2	3	4
MRT	Läsionsgrade Labrumrisse	0	.	0	10	2	1	0
		9	8	0	9	13	1	0
		1	2	0	9	0	0	0
		2	1	0	0	6	0	0
		3	0	0	0	0	1	0
		4	0	0	0	0	0	2

Tab. 23: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Labrumrisse in MRT und MRA

Legende:

		Beschreibung
Läsionsgrade Labrum (L _G)	0	nicht vorhanden / Normalbefund
	9	Verdacht auf
	1	einfacher Riss (inkomplett)
	2	einfacher Riss (komplett)
	3	komplexer Riss (inkomplett)
	4	komplexer Riss (komplett)

			MRA							
			Läsionsgrade Cartilago fossae glenoidalis							
			0	9	1	2	3	4	5	
MRT	Läsionsgrade Cartilago fossae glen.	0	.	.	0	2	4	2	2	3
		9	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	1	0	0	0	0	0	0	0
		2	2	0	0	4	2	0	1	
		3	3	0	0	0	0	0	0	
		4	2	0	0	0	0	0	0	
		5	1	0	0	0	0	0	0	

Tab. 24: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Verletzungen der Cartilago fossae glenoidalis in MRT und MRA

Legende:

		Beschreibung
Läsionsgrade Cartilago fossae glenoidalis	0	nicht vorhanden / Normalbefund
	9	Verdacht auf
	1	Signalheterogenität
	2	Oberfläche unregelmäßig (fissuring)
	3	Verletzung <50% der Knorpeldicke
	4	Verletzung ≥50% der Knorpeldicke
	5	Verletzung komplett bis zum Knochen

			MRA						
			Läsionsgrade Cartilago humeralis						
			0	9	1	2	3	4	5
MRT	Läsionsgrade Cartilago humeralis	0	. / .	0	0	1	0	0	1
		9	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	1	0	0	0	0
		2	1	0	0	0	0	0	0
		3	1	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	1	0
		5	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 25: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Verletzungen der Cartilago humeralis in MRT und MRA

Legende:

		Beschreibung
Läsionsgrade Cartilago humeralis	0	nicht vorhanden / Normalbefund
	9	Verdacht auf
	1	Signalheterogenität
	2	Oberfläche unregelmäßig (fissuring)
	3	Verletzung <50% der Knorpeldicke
	4	Verletzung ≥50% der Knorpeldicke
	5	Verletzung komplett bis zum Knochen

5.2.5. Zusatzbefunde

Während der Befundung traumatischer und degenerativer Läsionen des Labrum glenoidale und der beiden Cartilagine traten zahlreiche Zusatzbefunde in MRT und MRA auf. Zu ihnen zählten der Nachweis eines Gelenkerguss (nur in der MRT sichtbar; bei ausgeprägtem Gelenkerguss kann auf eine zusätzliche Injektion in das Gelenk verzichtet werden), einer Läsion der Gelenkkapsel oder der knöchernen Strukturen des glenohumeralen Gelenkes. Zudem fanden sich Veränderungen der Rotatorenmanschette, der umliegenden Sehnen, des Acromioclaviculargelenkes und der Bursa. Auch ließen sich Gelenködeme und -zysten nachweisen. Alle Zusatzbefunde wurden registriert und die Zahl der Läsionen, welche gleichzeitig der Zahl der betroffenen Patienten entspricht, in Tabelle 26 gelistet.

		Anzahl an Läsionen ($\pm$ Patienten)				p-Wert
		Σ	nur MRT	MRT&MRA	nur MRA	
Zusatzbefunde	Gelenkerguss	7	7	0	0	./.
	Hill-Sachs-Delle	37	20	15	2	<0,001
	Knochenfragment caput humeri	2	0	0	2	./.
	Ruptur der Gelenkkapsel	5	0	0	5	./.
	Riss der Rotatorenmanschette	8	3	2	3	1,000
	Partialruptur der Supraspinatusehne	8	5	1	2	0,453
	Ausdünnung der Supraspinatussehne	8	1	0	7	0,070
	Tendinopathie	8	4	3	1	0,375
	Ruptur des Acromioclaviculargelenkes	1	1	0	0	./.
	Gelenkarthrose des Acromioclaviculargelenkes	6	3	2	1	0,625
	Bursitis subdeltoidea	2	2	0	0	./.
	Ödem	11	9	2	0	./.
	Zyste	8	3	3	2	1,000

Tab. 26: Anzahl an Zusatzbefunden in MRT und MRA (./ Testverfahren nicht möglich)

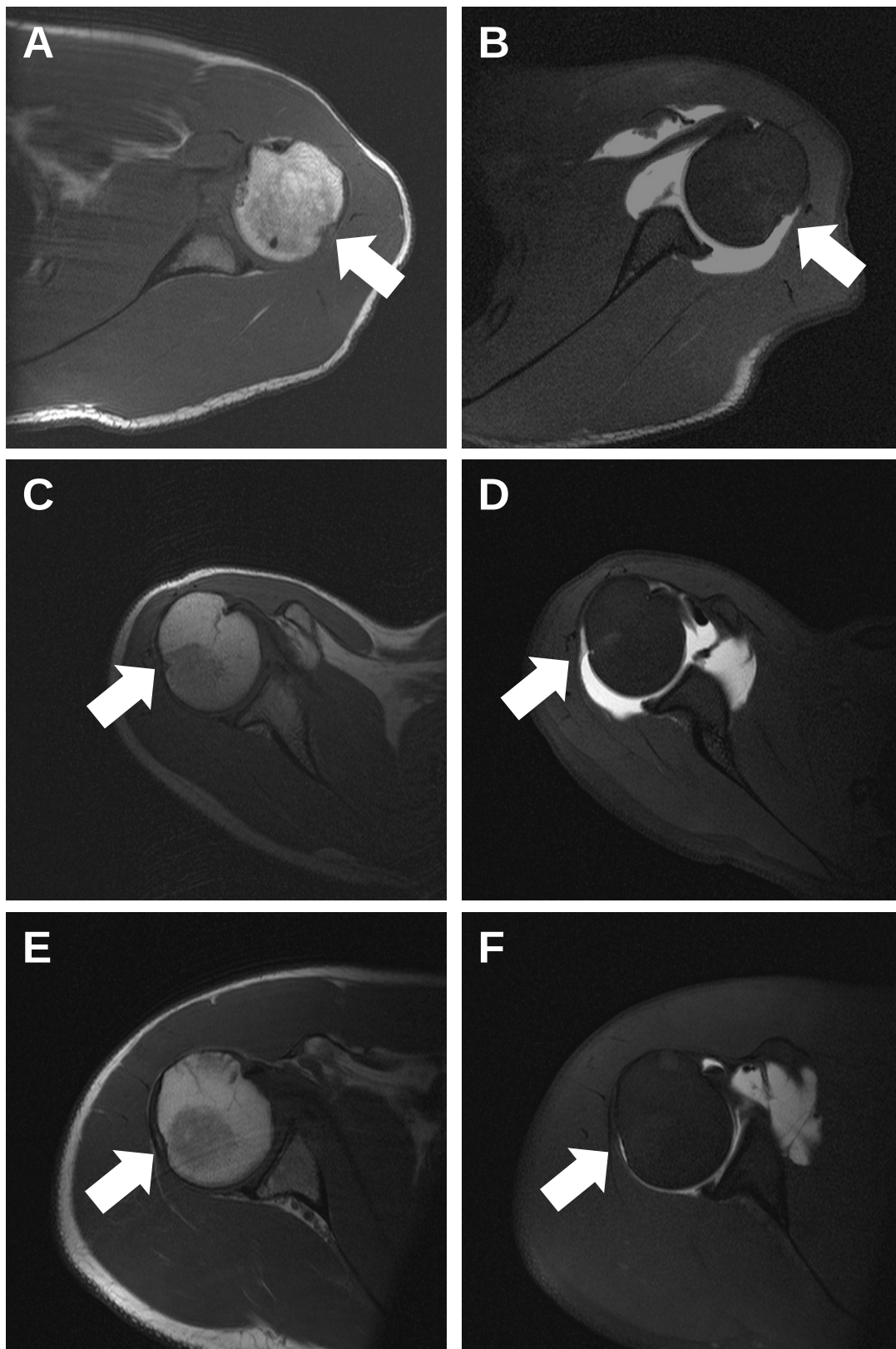


Abb. 16: 3 Patienten mit Hill-Sachs-Delle (Pfeil).
Vergleich von MRT (A, C, E) und MRA (B, D, F)

MRT und MRA konnten diese Zusatzbefunde nicht in gleicher Weise detektieren. Mittels McNemar Chi-Quadrat-Test sollte geklärt werden, ob hierbei ein signifikanter Unterschied vorlag. Der Test konnte jedoch nur dann durchgeführt werden, wenn beide diagnostische Verfahren die Läsion erkennen konnten. Das Auftreten eines Gelenkergusses, eine Ruptur des Acromioclaviculargelenkes und das Vorliegen einer Bursitis subdeltoidea ließ sich nur mittels MRT darstellen. Ein Knochenfragment des Caput humeri und die Ruptur der Gelenkkapsel war ausschließlich mittels MRA darstellbar. Ein Gelenködem konnte in 9 Fällen nur mittels MRT und in 2 Fällen mit beiden Schnittbildverfahren nachgewiesen werden. Bei der Darstellbarkeit einer Hill-Sachs-Delle zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen MRT und MRA. Die Hill-Sachs-Delle war mittels MRT deutlich häufiger nachzuweisen als durch die MRA (Abb. 16).

5.3. Diagnostische Sicherheit von MRT und MRA

Die Schnittbilder der MRT und MRA wurden während der Läsionsbefundung zusätzlich bezüglich ihrer diagnostischen Sicherheit interpretiert. Die Analyse erfolgte gesondert für das Labrum, die Cartilago fossae glenoidalis und die Cartilago humeralis. Die Bewertung der diagnostischen Sicherheit wurde anhand der Lickert Skala mittels Graduierung von 0 bis 3 quantifiziert (Tab. 27).

		Beschreibung
Diagnostische Sicherheit	0	keine Beurteilung möglich
	1	schlecht
	2	gut
	3	sehr gut

Tab. 27: Graduierung der diagnostischen Sicherheit von MRT und MRA anhand der Lickert Skala

Die Abbildungen 17-19 stellen die Zahl der MRT- und MRA-Untersuchungen hinsichtlich ihrer diagnostischen Sicherheit für die Befundung des Labrum glenoidale, der Cartilago fossae glenoidalis und der Cartilago humeralis gegenüber.

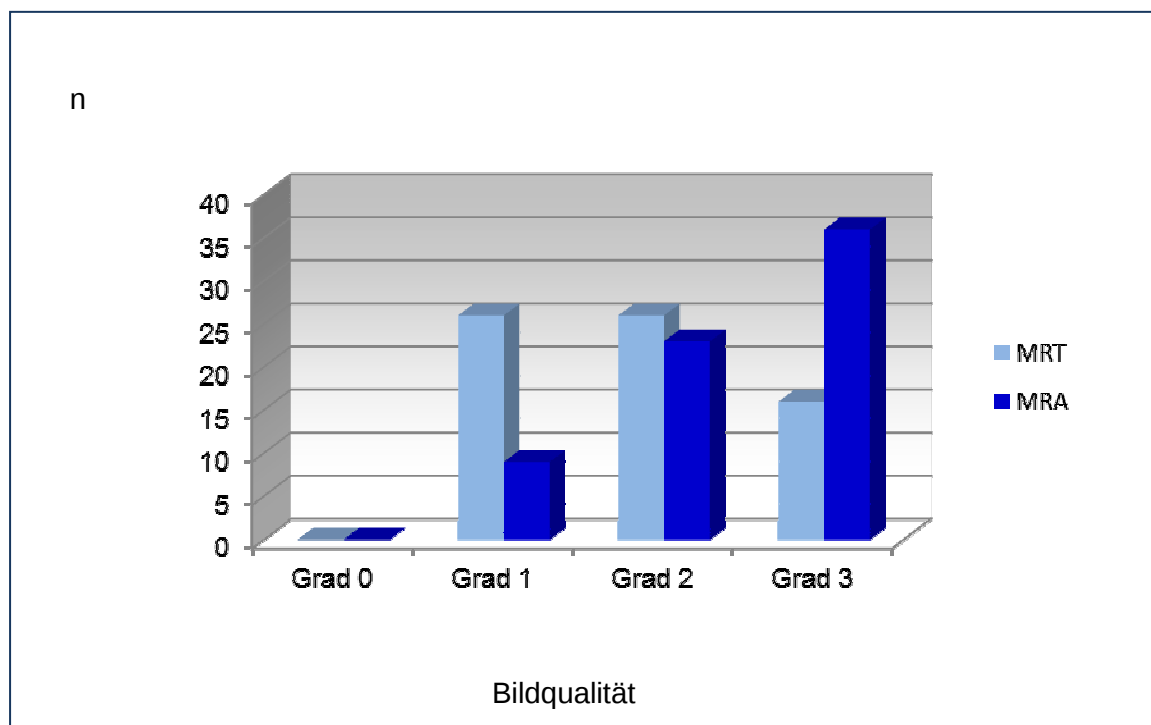


Abb. 17: diagnostische Sicherheit von Läsionen des Labrum glenoidale

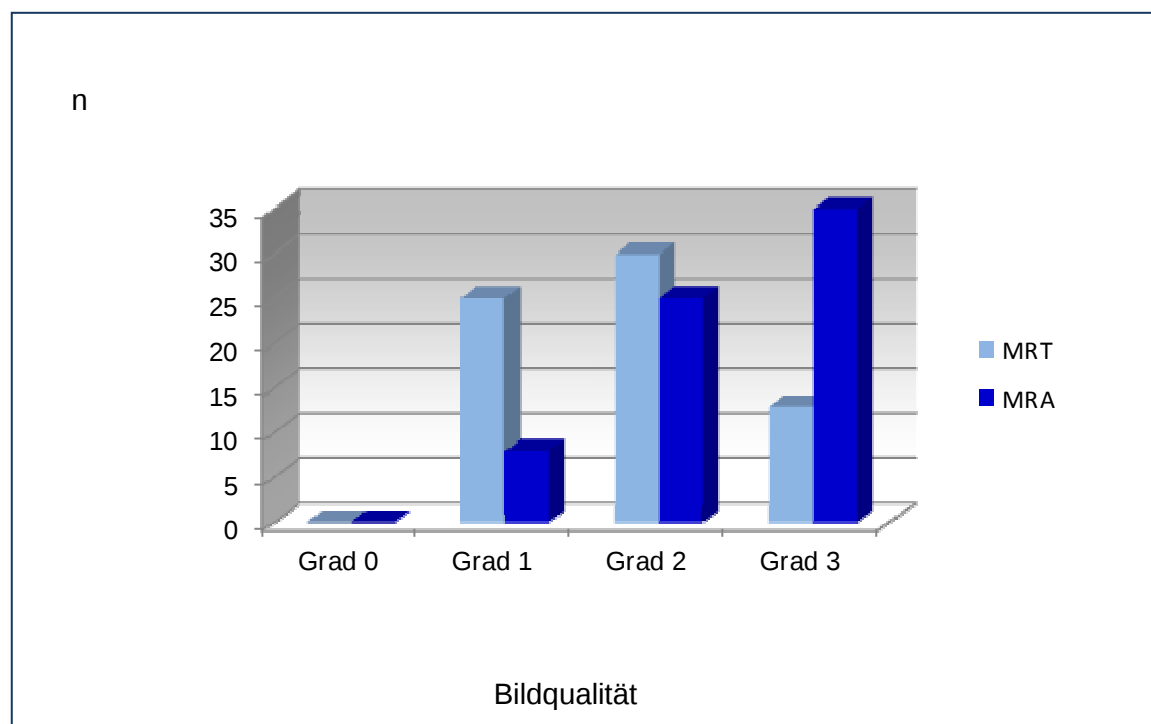


Abb. 18: diagnostische Sicherheit von Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis

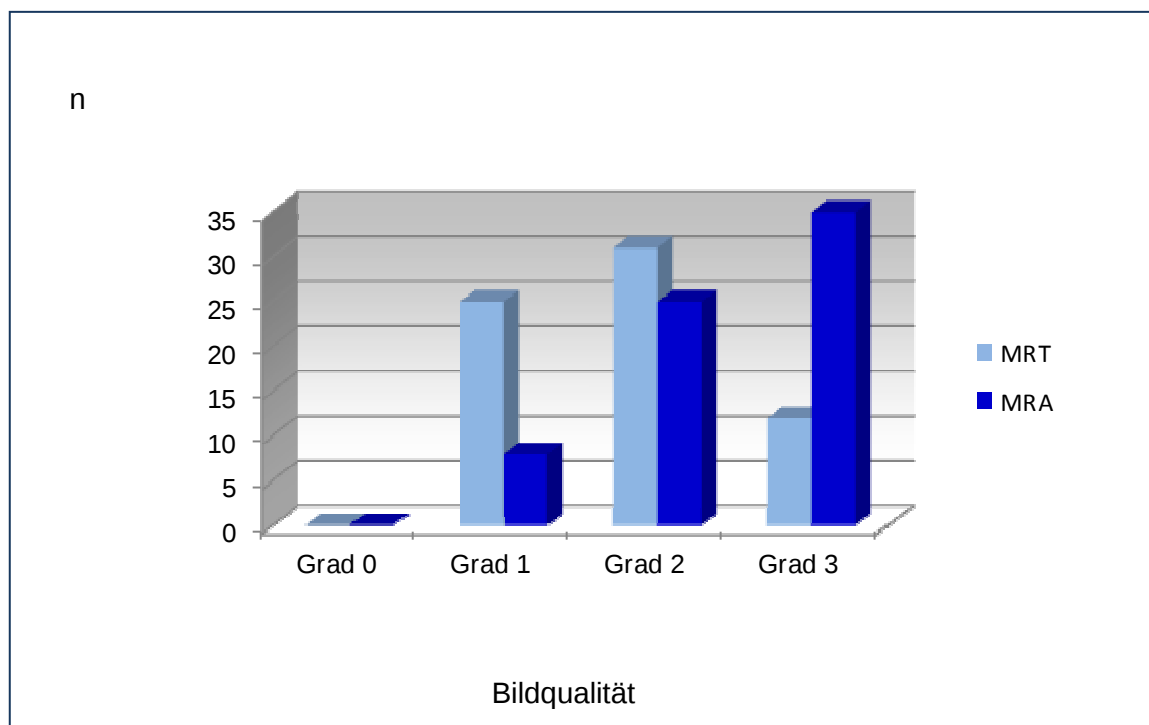


Abb. 19: diagnostische Sicherheit von Läsionen der Cartilago humeralis

Bei der Interpretation der diagnostischen Sicherheit von Labrum als auch der beiden Cartilagines zeigte sich, dass im Falle der MRT-Untersuchung zumeist ein Grad 1 oder 2 vorlag. Nur in 20,1% der Fälle konnte ein sehr gut (Grad 3) beschrieben werden. Für die MRA hingegen zeigte sich in 60,0% der Fälle eine sehr gute diagnostische Sicherheit. Diese Diskrepanz zwischen MRT und MRA hinsichtlich ihrer diagnostischen Sicherheit wurde mittels Wilcoxon-Test unter Berücksichtigung von Bindung und verbundenen Stichproben analysiert. Sowohl für die diagnostische Sicherheit des Labrum als auch der beiden Cartilagines ließ sich jeweils ein höchst signifikanter Unterschied zu Gunsten der MRA berechnen ($p < 0,001$).

6. Diskussion

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, Läsionen des Labrum glenoidale bzw. der beiden Cartilagines des Schultergelenks hinsichtlich ihrer Darstellung in MRT und MRA zu vergleichen und die Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden für jede Einzelläsion eines jeden Patienten gegenüberzustellen.

6.1. Patientenkollektiv

Insgesamt erfüllten von 283 untersuchten Patienten 68 Patienten die Einschlusskriterien und konnten einer weiteren Analyse zugeführt werden. Die Geschlechterverteilung zwischen Männern und Frauen lag bei 52:16. Dies entspricht einem Verhältnis von 3,25:1. Dementsprechend scheinen deutlich mehr Männer von Schulterverletzungen betroffen zu sein als Frauen. In einer Studie von Tas et al. aus dem Jahr 2013 wurden demographische und klinische Merkmale von traumatischen Schulterluxationen in der Türkei untersucht. Insgesamt wurden 208 Patienten in diese Studie eingeschlossen. Die Verteilung zwischen Männern und Frauen lag hier bei 163:45 [157]. Dies entspricht einem Verhältnis von 3,62:1. In einer anderen Studie erfolgte eine Befragung von 2092 Personen. Dabei war das männliche Geschlecht dreimal häufiger von Schulterverletzungen betroffen als das weibliche [76]. In einer schwedischen Studie, welche 257 Patienten mit Schulterluxationen untersuchte betrug die Inzidenz für das weibliche Geschlecht sogar nur 20% (52/257), während 80% (205/257) männliche Patienten betroffen waren [77]. Es scheint sich zu bestätigen, dass Männer deutlich mehr von Schulterverletzungen betroffen sind als Frauen.

Das Studienkollektiv zeigte eine zweigipflige Altersverteilung. Dies lässt sich auf einen Altersgipfel bei Männern zwischen 20 und 30 Jahren und einen zweiten, kleineren Altersgipfel bei Frauen und Männern zwischen 45 und 55 Jahren respektive 40 und 60 Jahren zurückführen. Auch in der Studie von Tas et al. wurde der Altersgipfel bei Männern zwischen 21 und 30 Jahren beschrieben [157]. In einer Studie von Norlin fand sich ebenfalls die höchste Inzidenz für Schulterdislokationen im Alter von 15 bis 30 Jahren (18-20 pro 100.000 Einwohner). Männliche Patienten waren dabei zu 85% und weibliche zu 15% betroffen [122].

Junge Männer betreiben vorwiegend Sportarten wie Motorcross-, Quad-, Ski- und Snowboardfahren, welche aufgrund erhöhter Sturzgefahr zu Schulterverletzungen führen können [89, 94, 164]. Die Erfahrung des einzelnen in diesen Sportarten korreliert dabei mit

der Verletzungshäufigkeit [89]. Die Inzidenz von traumatischen Schulterverletzungen liegt bei 1,7% und betrifft häufig männliche Sportler und Soldaten [40]. Im Jahr 2009 veröffentlichten Owens et al. eine Studie über die Inzidenz von Schulterdislokationen beim US Militär. Auch hier waren überdurchschnittlich häufig junge Männer unter 30 Jahren betroffen, die zudem vermehrt sportlichen Aktivitäten nachgingen [128]. Schulterverletzungen treten insbesondere bei Wurfspielern und Überkopfsportarten, wie Tennis, Handball, Schwimmen, Volleyball oder auch Baseball, auf. Verantwortlich sind wesentlich wiederholende Mikrotraumen auf der Basis einer chronischen Überbeanspruchung der Bänder und der Kapsel-Ligament-Strukturen. In der Folge können traumatische, atraumatische und mikrotraumatische Instabilitäten auftreten. Bei Kontaktsportarten wie Football, Eishockey und Rugby entstehen die Verletzungen durch den Zusammenprall mit anderen Sportlern meist während des Wettbewerbs [7-9, 96, 107, 116, 127, 132, 155, 191]. Hinzu kommt bei Männern die erhöhte Risiko- und Aggressionsbereitschaft in ihrer Freizeitbeschäftigung. In einer amerikanischen Studie von Keeler wurde das Verhalten von Männern speziell bei sportlichen Aktivitäten im Unterschied zu Frauen untersucht. Das männliche Geschlecht verhielt sich im Vergleich zu Frauen dominanter und aggressiver beim Ausführen sportlicher Aktivitäten [84]. Die Inzidenz von Schulterverletzungen kann daher bei männlichen Sportlern bis zu 8% betragen [75].

Ein weiterer Grund dafür, dass vorwiegend männliche Patienten betroffen sind, könnte eine erhöhte Schulterbelastung in Berufen sein, welche vorwiegend von Männern ausgeübt werden. In einer Studie von Svendsen et al. wurden Männer untersucht, die in ihrer beruflichen Tätigkeit Überkopfarbeiten ausführen bzw. den Arm in einer hohen gestreckten Position über einen längeren Zeitraum halten müssen. Dazu gehören Berufe wie Maschinisten, Automechaniker, Bauarbeiter und Maler. Es konnte gezeigt werden, dass häufiges Überkopfarbeiten zu einem erhöhten Auftreten von Veränderungen des Schultergelenks führt [105, 156].

Der zweite Altersgipfel betrifft beide Geschlechter und liegt zwischen 40 und 60 Jahren bei Männern und zwischen 45 und 55 Jahren bei Frauen. Dieser Altersgipfel kann hauptsächlich durch Degenerationen und Abnutzungserscheinungen von ossären und Weichteilstrukturen des Schultergelenks bedingt sein [14, 49, 144, 175]. In einer Studie von Plate et al. wurden an nicht humanen Primaten altersabhängige Veränderungen der Schulter untersucht. Ältere Tiere zeigten degenerative Veränderungen am Glenoid, einen verringerten Gelenkspalt und muskuläre Rückbildung der Rotatorenmanschette [133]. Diese Veränderungen können zu einer verringerten Schulterstabilität und weiterführend zu Schulterdislokationen führen. Wiederkehrende anteriore Schulterdislokationen insbesondere nach Einrissen der Rotatorenmanschette sind daher bei älteren Patienten keine Sel-

tenheit [98]. Neben degenerativ bedingten Schulterdislokationen spielen im mittleren bis höheren Alter auch traumatisch bedingte Schulterverletzungen eine gewisse Rolle. Hierzu zählen die Folgen von Krampfanfällen, welche nahezu ausschließlich zu einer posterioren Schulterdislokation führen [11, 28], aber auch Stürze alkoholabhängiger Männern und Frauen [121].

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass die rechte und linke Schulter annähernd gleich häufig betroffen waren. Auch zwischen den Geschlechtern ließ sich keine statistisch signifikante Differenz hinsichtlich der Seitenverteilung nachweisen. Dies scheint zunächst im Widerspruch zu anderen Studien der Literatur zu stehen. Milano et al. untersuchten die Risikofaktoren für glenoidale Knochendefekte bei vorderer Schulterinstabilität. Die Autoren konnten zeigen, dass der dominante Arm mehr als doppelt so häufig von Schulterläsionen betroffen war als die kontralaterale Seite [113]. Ebenso zeigte sich im Patientenkollektiv von Phillips et al., dass die Schulter des dominanten Arms überdurchschnittlich häufig verletzt war [132]. Gerade im Sport scheint die dominante Seite deutlich häufiger betroffen zu sein als die Gegenseite. Maquirriain et al. untersuchten professionelle Tennisspieler und konnten zeigen, dass Schulterdegenerationen der dominanten Schulter signifikant häufiger auftraten als solche der nicht-dominanten Seite [111]. Connor et al. untersuchten die Schultern asymptomatischer „Überkopf-Athleten“ mittels MRT und fanden Schulterveränderungen ausschließlich auf der dominanten Seite. Die nicht-dominante Seite war bei keinem der Sportler betroffen [27]. Mit dem Wissen, dass Linkshändigkeit in allen Kulturen in nur ca. 5-25,9% auftritt (Männer häufiger als Frauen) [57], müssten rechtsseitige Schulterverletzungen auch im hier vorliegenden Patientenkollektiv deutlich häufiger auftreten als linksseitige. Doch auch in einigen Sportarten spielt die Händigkeit hinsichtlich der Seitenverteilung von Schulterverletzungen eine eher untergeordnete Rolle. Ogawa et al. untersuchten das Vorkommen glenohumeraler Dislokationen bei Snowboardern. Die Verletzungen waren nicht von der Händigkeit, sondern einerseits von der Art des Sturzes und andererseits von der Standposition abhängig. Bevorzugt der Sportler eine Standposition mit linkem Bein in Fahrtrichtung („regular“) so ist signifikant häufiger die linke Schulter betroffen. Wird die umgekehrte Standposition („goofy“) bevorzugt, ist signifikant häufiger die rechte Schulter betroffen [123]. Auch bei Kontaktsportarten spielt die Händigkeit keine Rolle. Eine Seitenpräferenz findet sich kaum. Im Rugby treten beispielsweise Schulterverletzungen unabhängig von der dominanten / nicht-dominanten Seite auf [25, 117]. Grund für eine relativ ausgeglichene, statistisch nicht-signifikant unterschiedliche Seitenverteilung in dieser Arbeit mag daher das nicht-selektionierte Patientenkollektiv sein. In die Studie wurden Patienten eingeschlossen, welche sich in einem Zeit-

raum von 11 ½ Jahren am Universitätsklinikum Gießen aufgrund von Schulterbeschwerden ungeachtet ihrer Ursache vorstellten. Hierbei handelte es sich nicht um Sportler oder exponierte Überkopfarbeiter.

6.2. Läsionen

6.2.1. Läsionshäufigkeit und -darstellbarkeit

Während noch in den 1990er Jahren die CT-Arthrographie (CTA) Methode der Wahl zur Darstellung des Schultergelenks war [24, 78] und die Magnetresonanztomographie aufgrund ihrer hohen Kosten nicht als Routineverfahren angesehen werden konnte [192], sind heute kernspintomographische Verfahren, wie MRT und MRA, aufgrund ihrer Überlegenheit gegenüber der CTA zu Standardverfahren für die Beurteilung der Schulter geworden [22, 24, 96]. Bereits 1988 wurden erste Vergleiche zwischen MRT und CTA unternommen. Kieft et al. konnten zeigen, dass von 8 operativ nachgewiesenen Labrumläsionen mittels MRT alle 8 erkannt wurden, während mittels CTA nur 7 diagnostiziert werden konnten [85]. Auch Neumann et al. konnten 1991 zeigen, dass die MRT der CTA bei der Beurteilung von anterioren und posterioren Labrumläsionen bei gleicher Spezifität (0,90) hinsichtlich Sensitivität (0,85 vs. 0,66) und Genauigkeit (0,88 vs. 0,78) statistisch signifikant überlegen ist [119]. Die CTA ist unzureichend in der Darstellung von Weichteilpathologien, wie Degenerationen und Läsionen von Sehnen, Ligamenten, Knorpel und Labrum [40, 155]. Die Kernspintomographie bietet einen sehr guten Weichteilkontrast [23] und ermöglicht die Detektion degenerativer und posttraumatischer Veränderungen des Schultergelenks [97]. Die Computertomographie zeigt nur bei der Abbildung von knöchernen Frakturen Vorteile, insbesondere wenn präoperativ detaillierte Darstellungen bis hin zu multiplanaren Rekonstruktionen notwendig sind [149]. Die Kernspintomographie weist hier einige Limitationen auf [1].

Zahlreiche Studien untersuchten die Sensitivität und Spezifität für die MRT und die MRA. Läsionen des Labrums fanden dabei besondere Beachtung. Shellock et al. und Cvitanic et al. beschrieben beispielsweise eine identische Sensitivität (0,89) und Spezifität (0,95) für beide Verfahren [29, 150]. Auch Magee et al. postulierten, dass sowohl die MRT als auch die MRA eine hohe Sensitivität und Spezifität bei der Beurteilung von Veränderungen des Labrums und der Rotatorenmanschette aufweisen [106].

Heute gilt jedoch die MRA vor der MRT als die beste Darstellungsmethode des Schultergelenks [45]. Sie wurde als Methode der Wahl und Referenzstandard für die Bildgebung der Schulter [1, 81] und als Goldstandard bei der radiologischen Beurteilung von Schulterinstabilitäten bezeichnet [193]. Rowan et al. postulierten, dass die MRT eine hohe Sensitivität und Spezifität bei der Detektion von Läsionen der Rotatorenmanschette hat. Bei der Detektion von Labrumpathologien ist die MRA zwingend notwendig für das Erreichen einer hohen Sensitivität und Spezifität [139]. Auch Zanetti und Mamisch-Saupe bemerkten, dass die MRA für die Darstellung von kleinen Rotatorenmanschettenläsionen, Labrumkapselläsionen und Läsionen der langen Bizepssehne am genauesten sei [195]. Das native MRT soll insbesondere dann in der Beurteilung von Kapsel-Labrum-Läsionen bzw. intraartikulären Strukturen limitiert sein, wenn kein oder nur ein geringer Gelenkerguss vorliegt [102, 192]. Bitzer et al. [13] begründen die im Vergleich zur MRA geringere Sensitivität der MRT dadurch, dass gerade Labrumablösungen mittels nativer MRT nur sehr unzuverlässig detektiert werden können. Die Sensitivität für derartige Labrumablösungen liegt bei nur 46% [24]. Einige Studien konnten eine Überlegenheit der MRA über die MRT hinsichtlich der Beurteilung und Detektion von Labrumläsionen aufzeigen. Eine Metaanalyse von Smith et al. aus dem Jahr 2012 konnte jedoch nur eine „marginale Überlegenheit“ bestätigen [152]. Die Daten zur Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit von MRT und MRA beruhen wesentlich auf einem Vergleich mit den Befunden der Arthroskopie. Die Zuverlässigkeit der Arthroskopie für die Detektion von Schulterläsionen, insbesondere von Labrumläsionen, ist bei einer hohen inter- und intraobserver Variabilität in der Literatur nicht unbestritten [47, 142, 152]. Zudem finden sich nur wenige Studien, welche die Darstellung von MRT und MRA an ein und demselben Patienten - und damit identische Läsionen - gegen die Arthroskopie verglichen haben.

In der vorliegenden Studie untersuchten wir jeden Patienten sowohl mittels MRT als auch MRA. Wir beurteilten nicht nur Labrumverletzungen sondern analysierten auch vorhandene Läsionen des glenoidalen und humeralen Gelenkknorpels. Gerade Knorpelverletzungen wurden in bisherigen Studien kaum berücksichtigt [95, 96]. So finden sich in der aktuellen Literatur nur 8 Publikationen, welche die Darstellbarkeit von Knorpelverletzungen des Schultergelenks mittels Kernspintomographie untersuchten. Hierbei analysierte nur eine Studie die MRT [82], während 5 Studien ausschließlich die MRA gegen die Arthroskopie bzw. offene Operation verglichen [1, 33, 56, 102, 135]. Ein Vergleich zwischen MRT und MRA ist daher anhand der existierenden Literatur kaum möglich. Zanetti und Mamisch-Saupe behaupten, dass bei der Detektion von Knorpelläsionen der Schulter die MR-Arthrographie treffsicherer sei als die Standard MRT [195]. Nach Überprüfung der

zitierten Literaturstellen [110, 137, 152] wurde in keiner der Arbeiten die Darstellbarkeit von Läsionen des humeralen oder glenoidalen Knorpels thematisiert oder analysiert.

In der hier vorliegenden Studie stellten wir die MRT und die MRA hinsichtlich ihrer Nachweisbarkeit von Läsionen des Labrum glenoidale (L_G), der Cartilago fossae glenoidalis (C_{FG}) und der Cartilago humeralis (C_H) gegenüber. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Verfahren konnte zunächst nicht aufgezeigt werden. Differenziert man die Befunde jedoch in ‚eindeutigen Läsionsnachweis‘, ‚Verdachtsbefund‘ und ‚Fehlen einer Läsion‘, so unterschieden sich MRT und MRA statistisch signifikant. Bei ca. 1/3 der Patienten (35,4%) bzw. Einzelläsionen (30,1%) konnte die MRT nicht eindeutig zwischen Vorhandensein oder Fehlen einer Läsion differenzieren (Verdachtsbefund). Es handelte sich hierbei ausschließlich um Labrumverletzungen. Mittels MRA hingegen war eine Entscheidung für oder wider das Vorhandensein einer Läsion möglich. Die MRA ist der MRT diesbezüglich deutlich überlegen.

Insgesamt wurden in dieser Studie drei Viertel (73,8%) der Patienten mit Labrum- und/oder Knorpelläsionen durch die MRT und MRA gleichermaßen erkannt. 13,8% der Patienten wurden nur mittels MRT und 12,3% nur mittels MRA erkannt. Betrachtet man nicht Patienten, sondern jede Einzelläsion von Labrum und Knorpel für sich, so werden nur 52,4% aller Läsionen von beiden bildgebenden Verfahren zugleich erkannt (66,2% der Labrumverletzungen und 25,7% der Knorpelverletzungen). Die MRT konnte 27,2% und die MRA 20,4% Einzelläsionen nicht detektieren. Kommt nur die MRT zur Anwendung, so werden 19,1% der Labrumläsionen und 42,9% der Knorpelverletzungen übersehen. Wird allein die MRA durchgeführt, so werden 14,7% der Labrumläsionen und 31,4% der Knorpelläsionen nicht detektiert. Mittels MRA konnten geringfügig mehr Läsionen detektiert werden, was jedoch ohne statistische Signifikanz blieb.

Vergleicht man die hier dargestellten Ergebnisse mit der Literatur, so wurden in keiner bisherigen Studie Verdachtsbefunde benannt. Ferner werden in der Literatur nur Patienten und keine Einzelläsionen gezählt, weshalb Mehrfachverletzungen eines Patienten nur in dieser Studie Berücksichtigung fanden. Limitierend für die hier vorliegende Studie ist, dass ein Vergleich der bildgebenden Befunde mit einer Arthroskopie oder offenen Operation retrospektiv nicht möglich war. Es wurde entweder ein solcher Eingriff nicht durchgeführt oder die Befundbeschreibung war für einen detaillierten Vergleich mit der Bildgebung unvollständig.

Smith et al. [152] errechneten in ihrer Metaanalyse zur Detektion von Labrumläsionen an insgesamt 4667 Schultern für die MRT eine Sensitivität von 76% und eine Spezifität von 87%. Für die MRA errechneten sie eine Sensitivität von 88% und eine Spezifität von 93%. Mittels MRA werden somit mehr Läsionen (richtig und falsch positiv) beschrieben als mittels MRT. Selbst wenn alle MRT-Verdachtsdiagnosen als Läsionen gezählt werden, so wurden mittels MRA mehr Labrumläsionen erkannt als mittels MRT.

In der Literatur finden sich insgesamt nur 14 Publikationen, die die MRT mit der MRA am selben Patienten vergleichen. In zwei Arbeiten wurde jedoch anstelle der direkten MRA die indirekte MRA durchgeführt [34, 68], was mit der hier vorliegenden Arbeit nicht zu vergleichen ist. In einer Arbeit von Hodler et al. wurde ausschließlich die Rotatorenmanschette untersucht [73]. Hottya et al. untersuchten nur Verletzungen der Gelenkkapsel und des Musculus teres minor [74]. Wischer et al. beschränkten sich auf die Analyse von Perthes-Läsionen [188]. Amin et al. untersuchten nur SLAP-Läsionen und führten die MRA nur durch, wenn die MRT keine Läsionen zeigte [4]. Pavic et al. fokussierten sich nur auf SLAP-, ALPSA-, GLAD-, Bankart- und Perthes-Läsionen. Labrumrisse wurden nicht berücksichtigt. Die Autoren beschreiben zwar die Analyse von degenerativen Veränderungen, beschreiben jedoch nicht, was sie hierunter verstehen [130]. Applegate et al. untersuchten 36 Patienten mit chronischen Labrumverletzungen und führten zunächst eine MRT gefolgt von einer MRA und Arthroskopie durch. Die Autoren verglichen in der Studie jedoch nicht die MRT mit der MRA, sondern fokussierten sich ausschließlich auf die Beurteilung der MRA vs. der Arthroskopie als Referenzstandard. Die Autoren interpretierten die Abfolge von MRT und MRA in ihrer Studie als Limitation, da die MRT eine Bias für die Beurteilung der MRA darstellt [6]. Von den verbleibenden sechs Studien ist eine Arbeit in Polnisch verfasst, so dass für die Beurteilung nur das Abstract zur Verfügung steht [104]. Die Autoren untersuchten 26 Patienten und beurteilten mittels MRT und MRA sowohl das Labrum als auch SLAP- und Kapselläsionen. Ein Vergleich mit einem operativen Verfahren fand nicht statt. Ohne Zahlen im Abstract zu nennen, beschreiben die Autoren, dass mittels MRA im Vergleich zur MRT mehr Labrum-, SLAP- und Kapselläsionen dargestellt werden konnten. Eine statistische Analyse, ob es sich hierbei um einen signifikanten Unterschied handelt, fehlt.

Die verbleibenden fünf Literaturstellen [24, 39, 106, 107, 172] untersuchten ebenfalls Schulterverletzungen mittels MRT gefolgt von der direkten MRA. Es wurden bei ein und demselben Patienten Läsionen des Labrums beurteilt, jedoch wurden keine Knorpelverletzungen beschrieben.

Die ersten Publikationen stammen aus den frühen 1990er Jahren. Flannigan et al. untersuchten bei 23 Patienten das Vorhandensein von Labrumeinrissen und freien Gelenkkörpern. Nach Durchführung der MRT und MRA wurden die detektierten Läsionen operativ mittels Arthroskopie verifiziert. Alle Ergebnisse wurden von den Autoren rein deskriptiv dargestellt. Insgesamt wurden operativ 9 Labrumanomalien diagnostiziert, zu welchen Abnutzungen, Diskontinuität und Labrumablösung zählten. Drei dieser Veränderungen konnten mittels MRT und neun mittels MRA zur Darstellung gebracht werden. Die Autoren begründen die Überlegenheit der MRA gegenüber der MRT dadurch, dass bei 6 der 9 Patienten nicht genügend native Gelenkflüssigkeit vorhanden war. Die Autoren beschreiben jedoch nicht, welcher Läsionstypus bei der MRT übersehen wurde. Über die Labrumläsionen hinaus wurden bei zwei Patienten freie Gelenkkörper diagnostiziert. Diese wurden ausschließlich mittels MRA und keiner der beiden mittels MRT diagnostiziert [39].

Chandnani et al. untersuchten 30 Patienten mit Schulterschmerzen und/oder -instabilität und führten nach MRT und direkter MRA entweder eine Arthroskopie oder eine offene Operation durch. Sie beurteilten sowohl Labrumrisse als auch -ablösungen und -degenerationen [24]. Labrumeinrisse fanden sich bei 28 Patienten, Labrumablösungen bei 26 Patienten und Labrumdegenerationen bei 18 Patienten. Die MRT konnte 26 der 28 Labrumeinrisse, 12 der 26 Labrumablösungen und 2 der 18 Labrumdegenerationen detektieren. Die MRA konnte 27 der 28 Labrumeinrisse, 25 der 26 Labrumablösungen und 10 der 18 Labrumdegenerationen nachweisen. Ein statistisch signifikanter Unterschied mit Überlegenheit der MRA gegenüber der MRT ließ sich nur bei Labrumablösungen ($p=0,0002$) und Labrumdegenerationen ($p=0,0048$) berechnen. Labrumdegenerationen konnten mit beiden Methoden generell schlecht dargestellt werden. Hinsichtlich der Beurteilung der Labrumeinrisse werden von den Autoren keine Aussagen zu einem statistisch signifikanten Unterschied beider Methoden getroffen. Im Nebenfund wurden bei zwei Patienten freie Gelenkkörper gefunden. Einer der beiden, welcher als groß beschrieben wurde, konnte mittels MRT und MRA, ein zweiter, kleiner freier Gelenkkörper konnte nur mittels MRA nachgewiesen werden.

Volpi et al. untersuchten 58 Patienten mit Schulterinstabilität mittels Kernspintomographie vor und nach intraartikulärer Kontrastmittelinjektion. 27 Patienten wurden in Folge entweder einer Arthroskopie oder Arthrotomie zugeführt [172]. Die MRA diagnostizierte bei 52 Patienten Labrumeinrisse, während die MRT diese nur bei 41 Patienten nachweisen konnte. Im Vergleich zum intraoperativen Ergebnis wurden bei 27 Patienten ein Labrumriss und eine SLAP-Läsion mittels MRA nicht erkannt.

Magee et al. untersuchten 20 Profi-Baseballspieler und 50 Amateursportler mittels MRT und MRA, welche an Schulterbeschwerden litten. Eine operative Intervention als Refe-

renzstandard wurde nicht regelhaft durchgeführt. Die Autoren fanden bei den 20 Profisportlern insgesamt 13 Labrumläsionen, von welchen nur 4 mit beiden bildgebenden Verfahren zur Darstellung gebracht werden konnten. 9 der 13 Läsionen konnten nur mittels MRA detektiert werden. Bei den 50 Amateursportlern mit Schulterschmerzen fanden sich insgesamt 17 Labrumläsionen. Diese wurde in 13 Fällen von beiden Verfahren nachgewiesen. 4 Läsionen konnten nur mittels MRA dargestellt werden. In beiden Patientengruppen konnte die MRA demnach mehr Läsionen nachweisen als die MRT [107].

In einer weiteren Arbeit untersuchte Magee [106] 150 Patienten mittels 3Tesla-MRT und -MRA. Bei allen Patienten mit Läsionsnachweis in der MRT und/oder MRA wurde anschließend eine Arthroskopie durchgeführt. Mittels MRT konnten 34/41 und mittels MRA 40/41 anteriorer Labrumläsionen nachgewiesen werden. Die MRT detektierte 16/19, die MRA 18/19 posteriore Labrumläsionen. 39/47 SLAP-Läsionen wurden mittels MRT und 46/47 SLAP-Läsionen mittels MRA nachgewiesen. Obwohl diese Studie bereits ein 3Tesla-Gerät verwendet, fanden die Autoren eine signifikant bessere Detektierbarkeit von anterioren Labrumläsionen und SLAP-Läsionen in der MRA verglichen mit der MRT. Es wurden jedoch nur Patienten arthroskopierte, welche in der Bildgebung eine Läsion aufwiesen. Somit wurden all diejenigen Patienten dem Referenzverfahren Arthroskopie nicht zugeführt, bei welchen eine Läsion in MRT oder MRA nicht zur Darstellung kam. Dies bedeutet, dass falsch-negative Befunde wahrscheinlich nicht vollständig erfasst wurden, weshalb alle Angaben zur Sensitivität in dieser Arbeit kritisch bewertet werden müssen.

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit sind in Einklang mit den Ergebnissen dieser Studien. Die MRA konnte zumindest in absoluten Zahlen mehr Labrumläsionen detektieren als die MRT. Die Analyse der hier dargestellten Daten zeigt jedoch erstmalig auch, dass es nicht nur Läsionen gibt, welche nur von der MRA und nicht von der MRT detektiert werden. Es fanden sich auch Läsionen, welche nur von der MRT, nicht aber von der MRA zur Darstellung gebracht wurden. Dies betrifft insbesondere die Fälle, in denen die MRT nicht eindeutig zwischen Vorhandensein oder Fehlen einer Labrumläsion differenzieren konnte (Verdachtsdiagnosen). Diese Problematik wurde in der bisherigen Literatur an keiner Stelle diskutiert. Möglicherweise wurden hier alle Verdachtsfälle auch als Läsionen gezählt.

Die vorliegende Studie untersuchte über Labrumläsionen hinaus auch Läsionen des glenoidalen und humeralen Gelenkknorpels. Es zeigte sich ein deutlich selteneres Vorkommen von Knorpelverletzungen im Vergleich zu Labrumläsionen. Dabei sind wiederum Läsionen des humeralen Knorpels seltener als die des glenoidalen Knorpels. Betrachtet

man Läsionskombinationen, so ist ein gemeinsames Auftreten von Labrumverletzungen und Läsionen der Cartilago glenoidalis am häufigsten, während eine „Tripelverletzung“ von Labrum und beiden Gelenkknorpeln äußerst selten auftritt. Eine derartige Kombination ließ sich in nur 2 von 68 Patienten nachweisen.

Das Auftreten von Knorpelläsionen im Rahmen von Schulterdislokationen ist in der Literatur gut beschrieben [35]. Diese Läsion wurde von Page und Bhatia als eine eher untypische Verletzung beschrieben. Die Autoren berücksichtigten für diese Aussage insbesondere akute anteriore Schulterdislokationen [129]. Die Häufigkeit von Knorpelläsionen scheint bei rezidivierenden Schulterinstabilitäten deutlich höher zu sein. Probyn et al. konnten bei 15 von 39 Patienten mit rezidivierenden Instabilitäten Knorpelverletzungen nachweisen [135]. Acid et al. untersuchten 40 Patienten mit anteriorer Schulterinstabilität und fanden glenoidale Knorpelläsionen bei insgesamt 22 Patienten [1]. Lill et al. untersuchten in einer prospektiven Studie 34 Patienten mit Schulterinstabilitäten sowie 5 Patienten mit chronischen unklaren Schulterbeschwerden. Die Autoren fanden intraoperativ bei 9 dieser Patienten einen pathologischen Befund des Knorpels [102]. Die hier vorliegende Arbeit belegt daher in Zusammenschau mit der Literatur, dass insbesondere im Falle chronischer Schulterbeschwerden und -instabilitäten Knorpelläsionen als wichtige Verletzungsentität berücksichtigt werden müssen.

Ein Vergleich der Häufigkeit von Läsionen im Labrum und im Knorpel wurde bislang nur in der Studie von Probyn et al. beschrieben [135]. Die Autoren detektierten 26/40 Labrumläsionen, wohingegen nur 15/39 Knorpelläsionen gefunden wurden. In der vorliegenden Studie konnten 68 Läsionen des Labrum glenoidale, 9 Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis und 6 Läsionen der Cartilago humeralis detektiert werden. Probyn et al. zählten Patienten, während wir Einzelläsionen analysierten. Dennoch unterstreicht die Studie von Probyn et al. das Ergebnis eines deutlich häufigeren Vorkommens von Labrumläsionen im Vergleich zu Knorpelverletzungen. Schlussfolgernd scheint das Labrum die Struktur zu sein, die bei Schultergelenksverletzungen am häufigsten von Läsionen betroffen ist.

Die Detektierbarkeit von Knorpelverletzungen mittels kernspintomographischen Verfahren wurde bislang in nur wenigen Studien untersucht. In einer retrospektiven Studie untersuchten Kaplan et al. die Darstellbarkeit von glenoidalen und humeralen Knorpelläsionen mittels MRT bei 9 Wurfathleten [82]. Insgesamt konnten fünf glenoidale und eine humerale Läsion detektiert werden. Die humerale Läsion fand sich auch in der Arthroskopie. Jedoch nur eine der fünf glenoidalen Knorpelverletzungen war auch im arthroskopischen Befund beschrieben. Da es sich um eine retrospektive Studie handelt kann nicht nachvollzogen werden, ob diese Knorpelverletzungen tatsächlich fehlten oder lediglich nicht be-

schrieben wurden. Über die Studie von Kaplan et al. hinaus findet sich jedoch in der Literatur keine Untersuchung, welche die Darstellung von Knorpelläsionen in der MRT mit einem Referenzstandard, wie der Arthroskopie oder der offenen Operation, verglich. Angaben zur Sensitivität und Spezifität waren daher nicht vorhanden.

Zur Darstellung von Knorpelverletzungen mittels MRA finden sich in der Literatur insgesamt 5 Studien. Lill et al. konnten zeigen, dass von 9 Patienten mit intraoperativem, pathologischem Knorpelbefund bei 7 Patienten Knorpelveränderungen auch in der MRA beschrieben werden konnten [102]. Acid et al. konnten an 22 Patienten mit anteriorer Schulterinstabilität und glenoidalen Knorpelläsionen zeigen, dass die MRA für die Detektion von cartilaginösen Verletzungen eine Sensitivität von 73% (16/22) und eine Spezifität von 94% (17/18) aufweist [1]. Probyn et al. berechneten bei 15 Patienten mit glenoidalen und humeralen Knorpelveränderungen im Rahmen rezidivierender Schulterinstabilität eine Genauigkeit der MRA von 76,2%, eine Sensitivität von 73,3% und eine Spezifität von 83,3% [135]. Guntern et al. [56] verglichen darüber hinaus die Detektierbarkeit von humeralen und glenoidalen Läsionen und stellten dabei die Ergebnisse von zwei unabhängigen Radiologen gegenüber. Die Autoren berechneten für die Genauigkeit, Sensitivität und Spezifität folgende Werte: humeraler Knorpel 77%, 87% und 53% (Radiologe 1); 65%, 51% und 100% (Radiologe 2); glenoidaler Knorpel 67%, 66%, 75% (Radiologe 1); 65%, 63% und 75% (Radiologe 2). Zuletzt sei die Studie von Dietrich et al. erwähnt, in welchen ebenfalls humerale und glenoidale Knorpelverletzungen unterschieden wurden und eine Beurteilung durch zwei Radiologen erfolgte. In dieser Untersuchung wurden die folgenden zwei Techniken gegenüber gestellt: „3D water-excitation true fast imaging with steady-state precession (FISP) sequence“ und „coronal intermediate-weighted (IW) fast spin-echo images with fat saturation“. In dieser Studie wurden Werte für die Sensitivität von bis zu 93% für den humeralen und 80% für den glenoidalen Knorpel erreicht. Die Spezifität erreichte maximal 89% beziehungsweise 88%. Zusammenfassend wird die MRA für die Detektion von Knorpelverletzungen als nur mäßig geeignet beschrieben [33, 56, 196].

Studien zur Analyse von Sensitivität und Spezifität für die Detektierbarkeit von humeralen und glenoidalen Knorpelläsionen mittels MRT fehlen und keine der bisherigen Studien verglich die Darstellung von Knorpelverletzungen in MRT und MRA.

Diesen Vergleich der beiden Verfahren strebte die vorliegende Studie an. In der hier durchgeführten Untersuchung wurden von MRT und MRA zusammen insgesamt 35 Knorpelläsionen erfasst werden. Die MRA konnte dabei 24 von 35 Verletzungen (68,6%) und die MRT 20 von 35 Läsionen (57,1%) zur Darstellung bringen. Sowohl MRA als auch MRT scheinen dabei einen großen Anteil der Läsionen nicht detektieren zu können.

Ein Grund scheint zu sein, dass in dieser Arbeit zum größten Teil Knorpelläsionen beschrieben werden, welche eine Tiefe von weniger als 50% der Gesamtknorpeldicke aufweist. Es ist bekannt, dass Gelenkknorpelläsionen zwar häufig auftreten, jedoch gerade bei oberflächlichen Verletzungen schwierig zu diagnostizieren sind [135]. Guntern et al. analysierten in ihrer Studie die falsch-negativen Befunde von humeralen und glenoidalen Knorpelverletzungen. Nach der Bildgebung wurde eine Arthroskopie durchgeführt. Mit dem Wissen um den arthroskopischen Befund erfolgte erneut eine Beurteilung der kernspintomographischen Bilder. Die Autoren konnten zeigen, dass ein Großteil der Läsionen in der Bildgebung zur Darstellung kam, jedoch nicht genügend auffällig war [56]. Durch die Durchführung beider Verfahren, MRT und MRA, in der vorliegenden Studie konnten in der Gesamtzahl deutlich mehr Läsionen detektiert werden als mit einem Verfahren allein. Dies kann möglicherweise daran liegen, dass der Gelenkknorpel zweimalig einem Beurteilungsverfahren unterzogen wurde.

6.2.2. Läsionslokalisation

In dieser Studie wurden nicht nur die Häufigkeit und Darstellbarkeit von Labrum- und Knorpelläsionen mittels MRT und MRA untersucht, sondern auch Unterschiede hinsichtlich der Läsionslokalisation.

Von den 103 Einzelläsionen, welche detektiert werden konnten, betrafen 68 Läsionen das Labrum glenoidale und 35 Verletzungen den Gelenkknorpel. Dabei wies die Cartilago fossae glenoidalis 29 Läsionen und die Cartilago humeralis 6 Läsionen auf. Wie bereits oben dargestellt, ist dass das Labrum deutlich häufiger von Schulterverletzungen betroffen, als der Gelenkknorpel. Die Studie konnte aber auch darlegen, dass der glenoidale Knorpel um ein Vielfaches häufiger Läsionen aufweist als der humerale Gelenkknorpel. Kaplan et al. konnten an 9 Wurfathleten zeigen, dass 5 Sportler eine Verletzung am glenoidalen und nur 1 Athlet Läsionen am humeralen Knorpel aufwies [82]. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit stehen jedoch im Widerspruch zu den Ergebnissen von Guntern et al. [56]. Die Autoren fanden bei 15 von 52 Patienten eine Läsion des humeralen und bei 8 von 52 Patienten eine Verletzung des glenoidalen Knorpels. Diese Daten können jedoch nur bedingt mit vorliegender Studie verglichen werden, da Guntern et al. Patienten mit subacromialem Impingement und nicht mit Schulterdislokation bzw. -instabilität untersuchten. Die Studie zeigt jedoch, dass sich die Lokalisationsverteilung der

Läsionen je nach Ätiopathogenese und Primärdiagnose der Schultererkrankung stark voneinander unterscheiden kann.

Über die Differenzierung in glenoidalen und humeralen Knorpel hinaus, wurden für beide Knorpel die Bereiche anterior-superior, anterior-inferior, posterior-superior, posterior-inferior und zentral unterschieden. Die Läsionen des glenoidalen Knorpels fanden sich dabei vorwiegend zentral und anterior-inferior (zusammen 82,8%), während die Läsionen des humeralen Knorpels nahezu gleich verteilt waren. Im posterior-inferioren Bereich des humeralen Knorpels konnten keine Läsionen gefunden werden. Jedoch kann aufgrund der geringen Läsionszahl am humeralen Knorpel hieraus nicht geschlossen werden, dass dieser Bereich deutlich weniger betroffen ist. Studien, die diese Ergebnisse bestätigen bzw. diese Läsionen in ihrer Lokalisation verglichen haben sind nicht vorhanden. Stellt man die Befunde von MRT und MRA gegenüber, so findet sich kein Bereich, in welchem eines der beiden bildgebenden Verfahren deutlich mehr Läsionen detektieren konnte und damit überlegen war.

Für die Beurteilung der Lokalisation von Labrumläsionen wurde ein anterior-superiorer, anterior-inferiorer, posterior-superiorer und ein posterior-inferiorer Quadrant unterschieden. Labrumverletzungen wurden dabei nahezu ausschließlich im anterioren Bereich detektiert (98,5%). Chandnai et al. [24] unterschieden in ihrer Studie einen superioren, anterioren, inferioren und posterioren Quadranten. Bei 26 von 28 Patienten konnte eine anteriore Labrumläsion nachgewiesen werden. 17 Patienten zeigten eine superiore und 19 Patienten eine inferiore Verletzung. Mehrfachverletzungen pro Patient waren möglich. In einer Studie von Rowan et al. zeigten 39% der Patienten (95/243) Labrumläsionen, wovon 61 Patienten anteriore Labrumläsionen aufwiesen (64,2%) [139]. Auch in den Studien von Drescher et al. und Volpi et al. wurden Labrumläsionen im anterioren Bereich am häufigsten detektiert [37, 172]. Es scheint sich zu bestätigen, dass die anterioren Quadranten die am häufigsten betroffenen Lokalisationen bei Labrumverletzungen sind. Bei genauerer Differenzierung der Quadranten konnten wir feststellen, dass das am häufigsten betroffene Areal in der hier vorliegenden Studie mit 85,3% der Labrumläsionen anterior-inferior zu finden ist. Dies entspricht den Aussagen von Zanetti und Saupe, Beltran et al., Waldt et al., Funke et al. und Steinbach [7, 43, 155, 174, 196]. Die Ursache ist im Traumageschehen zu finden. 98% aller akuten Schulterluxationen sind nach ventral bzw. ventro-kaudal gerichtet [192]. Ihnen geht als Unfallmechanismus eine Abduktions-Außenrotations-Bewegung voraus [101]. Norlin konnte an 24 Patienten mit akuter, anteriorer Erstluxation der Schulter anterior-inferiore Labrumläsionen nachweisen [122]. Nur 2% der Luxationen haben eine posteriore Luxationsrichtung [192]. Isolierte superiore oder inferiore Luxatio-

nen sind äußerst selten [43]. Dies unterstreicht die Aussage von Waldt et al., dass die anterior-inferiore Luxationsrichtung die häufigste bei Schulterdislokationen darstellt [174]. Die Gegenüberstellung von MRT und MRA konnte zeigen, dass anterior-inferior mit keinem der beiden kernspintomographischen Verfahren deutlich mehr Läsionen zur Darstellung gebracht werden konnten. Lediglich anterior-superior und posterior-inferior konnte die MRA im Vergleich zur MRT 3 beziehungsweise 1 zusätzliche Läsion beschreiben. Aufgrund der geringen Anzahl von Läsionen in diesem Quadranten kann jedoch in vorliegender Studie nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass diese Bereiche von der MRA deutlich besser zur Darstellung gebracht werden können. Smith et al. analysierten die Detektierbarkeit von Labrumläsionen in einer Metaanalyse [152] und unterschieden dabei einen superioren, anterioren, inferioren und posterioren Quadranten. Die Autoren fanden eine vergleichbare Testgenauigkeit für MRT und MRA im superioren und posterioren Bereich. Im inferioren Quadranten errechneten die Autoren jedoch eine höhere Testgenauigkeit für die MRA und im anterioren Quadranten eine höhere Genauigkeit für die MRT. Dies steht im Gegensatz zu einzelnen Studien, die von einer Überlegenheit der MRA auch im anterioren Areal ausgehen [99, 110]. Entsprechend der Daten aus der Metaanalyse von Smith et al. scheint es so, dass mit der Kombination beider Methoden bessere Befundungsergebnisse erreicht werden können als mit einem der beiden kernspintomographischen Verfahren alleine.

6.2.3. Läsionstypen

Labrumläsionen konnten in unterschiedliche Typen differenziert werden. Wir unterschieden Degenerationen innerhalb des Labrums, Risse des Labrums, diffuse Signalverstärkungen innerhalb des Labrums, Labrumverkleinerungen und Avulsionen/Einrisse an der Labrumbasis. Die Einteilung basiert zum einen Teil auf einer Klassifikation von Vahlen-sieck [165] und zum anderen Teil auf der von Neumann [120]. Letztere wurde zur Beurteilung der Prävalenz von Labrumläsionen der Hüfte mittels MRA entworfen. Aufgrund der Parallelität zwischen Labrum acetabulare und Labrum glenoidale entschlossen wir uns, diese Klassifikation in unserer Einteilung mit zu berücksichtigen. Auch Steinbach unterstützt die Wahl, Labrumläsionen vorrangig nach morphologischen Kriterien zu unterscheiden [155]. Diese gewählte Einteilung sollte das Spektrum möglicher Labrumläsionstypen in möglichst großem Umfang berücksichtigen.

Die Analyse der unterschiedlichen Läsionstypen zeigte, dass die in der vorliegenden Studie untersuchten Patienten am häufigsten einen Einriss des Labrums aufwiesen. Degene-

rationen innerhalb des Labrums konnten nicht nachgewiesen werden. Signalverstärkungen, Labrumverkleinerungen und Avulsionen / Einrisse an der Labrumbasis fanden sich nur sehr selten. Dieses Ergebnis widerspricht in Teilen der Studie von Chandnani et al. Es wurden 30 Patienten mit Schulterinstabilität oder Schulterschmerzen arthroskopisch untersucht. In 28 der Fälle konnte ein Einriss des Labrums nachgewiesen werden und bei 26 Patienten ein abgelöstes Labrumfragment und in 18 Fällen eine Labrumdegeneration [24]. Drescher et al. untersuchten prospektiv 38 Patienten mit anteriorer oder bidirektionaler Schulterinstabilität. In der MRA fanden sie bei 16 der Patienten eine Ruptur und bei 9 der Patienten eine Degeneration des Labrums. 15 der 38 Patienten unterzogen sich einer Arthroskopie mit anschließender Stabilisierungsoperation. Es liegt bei diesen Patienten ein intraoperativer Befund als Referenz vor. Von 8 in der MRT befundeten Labrumeinrissen konnten 7 auch intraoperativ bestätigt werden. Ein zusätzlicher Riss wurde in der MRA nicht diagnostiziert. Im Rahmen der Operation war dieser nachweisbar. Drei Labrumdegenerationen wurden korrekt in der MRA beschrieben, drei weitere fanden sich intraoperativ, welche bildgebend nicht zur Darstellung kamen [37]. Labrumdegenerationen scheinen daher nicht so selten aufzutreten, wie dies in der hier vorliegenden Studie erscheinen mag. Möglicherweise wurden von Chandnani aber auch die hier beschriebenen Signalverstärkungen und Labrumverkleinerungen als Degenerationen gewertet.

Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Auswertung von MRT- und MRA-Bildern stellt die große Bandbreite anatomischer Varianten mit der Möglichkeit zu Verwechslungen dar. Hiervon ist insbesondere das superiore Labrum betroffen [34]. Das superiore Labrum befindet sich normalerweise fest am Glenoidrand. Es können aber sublabrale Recessus unterschiedlicher Größe auftreten, das anterior-supere Labrum nicht befestigt sein oder komplett fehlen [176]. Dieser sublabrale Recessus scheint bei 12 bis 17% der der Bevölkerung vorzukommen [97] [195]. Bencardino et al. beschreiben, dass die MRA zum Auffinden eines solchen sublabralen Recessus besser geeignet ist als die MRT [8]. Im MRT, aber auch in der Arthroskopie, können sublabrale Recessus nur schwer von einer SLAP Type II-Läsion unterschieden werden, was zu Fehlinterpretationen führt [175] [7]. Aber auch in der MRA kann es zu falsch positiven Befunden kommen, da injiziertes Kontrastmittel im sublabralen Recessus oder Sulcus eine SLAP-Läsion vortäuschen kann [45]. Es kommt hier zu einem Flüssigkeits- bzw. Kontrastmitteldurchtritt zwischen superiorem Labrum und Glenoidrand [195].

Vergleicht man die Befunde von MRT und MRA in vorliegender Studie, so zeigt sich, dass in 91% der Fälle beide Verfahren denselben Läsionstypus beschrieben. Vier Befunde

wurden unterschiedlich interpretiert. Ein Riss in der MRT erschien in der MRA als Labrumverkleinerung, eine Basislazeration in der MRT wurde als Riss in der MRA gewertet und eine Signalverstärkung bzw. eine Labrumverkleinerung in der MRT wurde mittels MRA als Riss mit Basislazeration interpretiert. Bei einer über 90%-igen Übereinstimmung der Befunde zwischen MRT und MRA müssen beide Verfahren als gleichwertig in der Beurteilung von Labrumläsionstypen beschrieben werden.

Ein Vergleich mit der Literatur ist für diese Fragestellung schwierig, da kaum publizierte Studien existieren, die a) eine Klassifizierung von Labrumläsionen vornehmen und b) MRT und MRA am selben Patienten gegenüberstellen. Lediglich Chandnani et al. [24] dokumentieren in ihrer Studie die Detektion von Labrumrissen, Labrumdegenerationen und Avulsionen. Mittels MRT konnten 26 und mittels MRA 27 der 28 Labrumrisse detektiert werden. Labrumdegenerationen wurden mittels MRT in 2 und mittels MRA in 10 von 18 Fällen nachgewiesen. Ein abgehobenes Labrum (Avulsion) konnte durch die MRT in 12 und durch die MRA in 25 von 26 Fällen aufgezeigt werden. Die Autoren beschreiben in ihrer Studie jedoch nicht, in wieweit Einzelläsionen durch die beiden kernspintomographischen Verfahren unterschiedlich bewertet wurden. Ein Vergleich mit den hier aufgeführten Daten ist daher nicht möglich.

In der Literatur wird beschrieben, dass Labrumeinrisse schwierig in der konventionellen MRT darzustellen sind, insbesondere wenn der Riss nicht durch Flüssigkeit auseinandergedrängt wird. Sollten die Rissenden aneinander liegen, so könnte das Labrum als intakt interpretiert werden [107]. Die hier vorliegenden Ergebnisse, aber auch die von Chandnani et al. konnten zeigen, dass sowohl die MRT als auch die MRA Labrumrisse identisch und in hohem Maße identifizieren. Dies widerspiegelt die Ergebnisse von Smith et al., welche in ihrer Metaanalyse eine nur marginale Überlegenheit der MRA gegenüber der MRT in der Detektion von Labrumrissen fanden [152].

6.2.4. Läsionsgraduierung

Läsionsgraduierungen wurden für Labrumeinrisse und Knorpelverletzungen beider Cartilagine vorgenommen. Labrumeinrisse wurden eingeteilt in Normalbefund, Verdachtsdiagnose, inkompletter und kompletter einfacher Riss sowie inkompletter und kompletter komplexer Riss. Knorpelläsionen wurden eingeteilt in Normalbefund, Verdachtsdiagnose, Signalheterogenität, unregelmäßige Oberfläche, Läsion <50% und $\geq$ 50% der Knorpeldicke sowie Verletzung komplett bis zum Knochen.

Eine derartig detaillierte Einteilung von Labrum- und Knorpelverletzungen der Schulter findet sich in der Literatur bislang nicht. Für die Graduierung der Labrumläsionen legten wir ebenso die Klassifikationen von Vahlensieck et al. [165] und die von Neumann et al. [120] zugrunde. Die Graduierung von Knorpelläsionen stützt sich im Wesentlichen auf die Publikation von Lecouvet et al. [95]. Lecouvet eruierte die diagnostische Effektivität der Multidetektor-Spiral-CT-Arthrographie und verglich die Bildgebung mit den Befunden der Schulterarthroskopie. Lediglich die Signalheterogenität findet sich bei Lecouvet et al. nicht und wurde aus der Publikation von Neumann et al. [120] übernommen.

Die hier vorliegende Studie zeigte für Labrumläsionen, welche sowohl in der MRT als auch in der MRA eindeutig als Risse befundet wurden, dass beide bildgebenden Verfahren in allen Fällen (n=18) den identischen Läsionsgrad zur Darstellung brachten. Dies bedeutet: diagnostizieren MRT und MRA gleichermaßen einen Labrumriss, so wird dieser von beiden Verfahren identisch graduiert. Zusätzlich wurden bei der Befundung der MRT 31 Verdachtsdiagnosen für einen Labrumriss gestellt. Bei der MRA waren die Befunde hingegen immer eindeutig. Diese Verdachtsdiagnosen in der MRT wurden in der MRA zu 26% als fehlende Läsion und in 74% als Labrumeinriss gewertet. Letztere wurden in der MRA wie folgt befundet: in 9 Fällen zeigte sich ein einfacher, inkompletter Riss (29%), in 13 Fällen ein einfacher, kompletter Riss (42%) und in einem Fall ein komplexer, inkompletter Riss (3%). Aus diesen Daten und dem gleichzeitigen Wissen um eine hohe Sensitivität und Spezifität der MRA in der Befundung von Labrumläsionen [152] lässt sich schließen, dass Verdachtsdiagnosen in der MRT zumeist als Läsionen gewertet werden müssen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um einfache Risse. Komplexe Läsionen dürften nur selten vorliegen. Dies unterstützt die These, dass durch die intraartikuläre Injektion von Kontrastmittel die Rissenden eher disloziert werden und die Läsionen dadurch eindeutiger erkennbar werden. Die MRT dürfte insbesondere dann bessere Ergebnisse liefern, wenn gleichzeitig ein Gelenkerguss vorliegt, was insbesondere bei akuten Traumata zu erwarten ist [39, 102, 161, 192].

Durch die Integration der Graduierung „Verdachtsdiagnose“ betrachtet diese Arbeit die Bildgebung von Labrumläsionen detaillierter als bislang in der Literatur. Nur in einer Publikation [26] wurden Verdachtsdiagnosen geäußert. Choi et al. untersuchten, ob Unterschiede in der Detektion von anterior-inferioren Labrumläsionen zwischen konventioneller MRA und einer MRA mit Abduktion und Außenrotation des Armes (ABER Position) bestehen. Sie unterschieden Normalbefund, Verdacht auf einen Labrumeinriss und definitiver Labrumriss /-defekt. Ein konventionelles MRT wurde nicht durchgeführt. Ein Vergleich zwischen MRT und MRA ist demnach nicht möglich. Verdachtsdiagnosen wurden von den Autoren in der konventionellen MRA in 7 von 26 Fällen (27%) gestellt. Dies steht im Kon-

trast zu vorliegenden Ergebnissen, da wir Verdachtsdiagnosen ausschließlich in der konventionellen MRT und nicht in der MRA registrierten. Die hier vorliegende Studie und die Studie von Choi et al. belegen, dass Verdachtsdiagnosen nicht selten sind. Dies wurde aber in keiner anderen der bisherigen Analysen von Labrumläsionen geäußert. Es bleibt somit unklar, wie in anderen Publikationen mit unklaren oder zweifelhaften Befunden umgegangen wurde.

Insgesamt wurden in vorliegender Studie 9 Knorpelläsionen gleichzeitig von MRT und MRA diagnostiziert. 6 Läsionen (67%) wurden dabei von beiden Verfahren mit identischem Verletzungsgrad dargestellt. Bei 3 Läsionen (33%) wurde in der MRA eine höhergradige Verletzung befundet. Verdachtsbefunde wurden weder in der MRT noch in der MRA beschrieben. Wenn auch die Ergebnisse darauf hindeuten, dass die MRA in einem nicht unerheblichen Anteil der Fälle (ein Drittel) zu einer höheren Graduierung von Knorpelläsionen führt, so sind diese doch kritisch zu werten. Zum einen wurden von beiden Verfahren gleichzeitig nur 27% der Knorpelläsionen detektiert und zum anderen handelt es sich um eine sehr kleine Zahl von Läsionen, die hier zur Beurteilung stehen. Die Beurteilung von Knorpelläsionen dürfte insgesamt in der Bildgebung schwieriger sein als die von Labrumläsionen. Guntern et al. untersuchten die Effektivität der MRA in der Diagnostikstellung von glenoidalen und humeralen Knorpelläsionen bei Patienten mit subakromialem Impingementsyndrom. Die Autoren fanden arthroskopisch bei 4 Patienten „subtile“ und bei 11 Patienten „deutliche“ Knorpelläsionen. Eine weitere Differenzierung der Läsionsgrade erfolgte in dieser Studie nicht. Es konnte gezeigt werden, dass die MRA in Sensitivität und Spezifität nicht die Werte erreichte, wie bei der Beurteilung von Labrumläsionen. Insgesamt zeigte sich eine Testgenauigkeit von 65-77% für alle Knorpelläsionen und von 77-89% für „deutliche“ Knorpelläsionen. Insgesamt wurde die Übereinstimmung als (nur) „ausreichend“ beschrieben. Die MRA wurde insgesamt als (nur) „mäßig“ für die Detektion und Beurteilung von Knorpelläsionen gewertet.

6.3. Zusatzbefunde

Schulterdislokationen ziehen nicht nur Labrum- und Knorpelverletzungen nach sich. Mittels MRT und MRA konnten wir zahlreiche Zusatzbefunde erheben. Die Analyse zeigte, dass einige Befunde ausschließlich mittels MRT andere ausschließlich mittels MRA dargestellt werden konnten. Ein Gelenkerguss zeigte sich beispielsweise ausschließlich in der MRT. Dies verwundert nicht, da in der MRA das intraartikulär injizierte Kontrastmittel nicht mehr von einem vorbestehenden Erguss unterschieden werden kann. Die Detektion

eines Gelenkergusses ist in der MRA somit allein schon aus technischen Gründen nicht möglich. Demgegenüber konnten Knochenfragmente des Caput humeri nur mittels MRA nachgewiesen werden ($n=2$). Dies kann damit begründet sein, dass sich das Knochenfragment erst nach Umspülen mit Kontrastmittel demarkierte. 5 Patienten zeigten eine Ruptur der Gelenkkapsel, welche ebenfalls ausschließlich mittels MRA nachgewiesen werden konnte. Die Verletzungen der Gelenkkapsel konnten somit erst durch den Austritt von intraartikulärem Kontrastmittel nachgewiesen werden.

Anders verhält es sich beispielsweise mit dem Nachweis einer Hill-Sachs-Delle. Hill-Sachs-Läsionen sind Kompressionsfrakturen des posterior-superioren Humeruskopfes und sind bedingt durch eine vordere Schulterluxation mit Impression des inferioren Glenoids. Sie gelten als häufigste Begleitverletzung. Bei einer posterioren Luxation ist die Impression anterior-medial zu finden und wird als Malgaigne-Impression oder "Reversed Hill-Sachs-Läsion" bezeichnet [42, 61, 79, 192]. Wir konnten zeigen, dass eine Hill-Sachs-Läsion signifikant häufiger ($p<0,001$) mittels MRT als mittels MRA nachweisbar war.

Bereits Workman et al. berechneten 1992 für die MRT zum Nachweis von Hill-Sachs-Läsionen eine Sensitivität von 97%, eine Spezifität von 91% und eine Testgenauigkeit von 94% [190]. Die Autoren konnten zudem eine Überlegenheit der MRT gegenüber der Arthroskopie aufzeigen. Diese Überlegenheit bestätigt sich auch für die MRA. Van der Veen et al. konnten zeigen, dass bei 18 Patienten die MRA 13 und die Arthroskopie nur 9 Hill-Sachs-Läsionen detektieren konnte [167]. Van Grinsven et al. zeigten, dass mittels MRA 16 (Radiologe 1) bzw. 15 (Radiologe 2) Hill-Sachs-Läsionen nachgewiesen werden konnten. In den entsprechenden OP-Berichten wurden lediglich 10 Läsionen beschrieben [168].

Somit sind Studien, die die Arthroskopie als Referenzstandard heranziehen, äußerst kritisch zu werten. Acid et al. konnte alle arthroskopisch nachgewiesenen Hill-Sachs-Läsionen auch mittels MRA aufzeigen [1]. Oh et al. berechneten für den Nachweis einer Hill-Sachs-Läsion mittels MRA eine Sensitivität von 75%, eine Spezifität von 98% und eine Testgenauigkeit von 96% [125]. Sensitivität, Spezifität und Testgenauigkeit für MRT und MRA aus unterschiedlichen Studien, wie beispielsweise von Workman et al. und Oh et al., können nicht verglichen werden. Eine direkte Gegenüberstellung von MRT und MRA erfolgte somit bislang nur in der hier vorliegenden Studie. Vorteil dieser Studie ist es zudem, dass beide bildgebenden Verfahren am selben Patientenkollektiv verglichen werden können. Die statistische Analyse konnte zeigen, dass die MRT signifikant mehr Hill-Sachs-Läsionen beschreibt als die MRA. Dies kann zwei Gründe haben: Entweder werden von der MRT zu viele falsch positive Befunde erhoben oder aber die Rate der falsch negativen Befunde der MRA ist im Vergleich zur MRT deutlich erhöht. Es können auch

beide Faktoren gleichzeitig zum Ergebnis beitragen. Eine erhöhte Rate falsch positiver Befunde in der MRT scheint wenig wahrscheinlich, da die Hill-Sachs-Delle mit einem Defekt der knöchernen Strukturen einhergeht, was meist eindeutig zu diagnostizieren ist. Allein Heuck et al. weisen darauf hin, dass sie in einer Serie von 30 Schultern bei 2 Patienten postero-laterale Konturunregelmäßigkeiten des Humeruskopfes fanden, welche als Hill-Sachs-Läsionen hätten interpretiert werden können [69]. Grund für das statistisch höchst signifikant schlechtere Abschneiden der MRA bei der Detektion der Hill-Sachs-Delle scheint eine hohe Rate an falsch negativen MRA-Befunden zu sein. Die Ergebnisse von Oh et al. weisen bereits darauf hin. Die Autoren fanden eine Sensitivität von nur 75%, was bedeutet, dass selbst die arthroskopisch nachweisbaren Läsionen in nur drei Viertel der Fälle mittels MRA detektiert werden konnten.

In der retrospektiven Betrachtung der Bilder zeigte sich, dass eine Hill-Sachs-Delle tatsächlich deutlich offensichtlicher in der MRT als in der MRA zur Darstellung kam. Die Hill-Sachs-Delle wurde von der MRA in ihrem Ausmaß deutlich geringer dargestellt (Abb. 16 A/B und C/D). Das intraartikuläre Kontrastmittel führte eher zu einer Maskierung der Läsion als zu einer Verbesserung der Diagnostik, weshalb kleinere Hill-Sachs-Dellen von der MRA nicht zur Darstellung gebracht werden konnten (Abb. 16 E/F).

Das Vorliegen einer Hill-Sachs-Delle scheint prognostische Aussagekraft zu haben. Rowe et al. [140] und Hovelius et al. [77] konnten nachweisen, dass mit dem Vorliegen einer Hill-Sachs-Delle eine erhöhte Rezidivneigung einhergeht. Auch das Vorliegen einer Malgaigne-Impression scheint mit einer höheren Rezidivrate verbunden zu sein [61]. Darüber hinaus ist das Vorliegen einer Hill-Sachs-Delle ein Kriterium, welches über das weitere Vorgehen, d.h. ein konservatives oder operatives Vorgehen, entscheidet. Da Hill-Sachs-Dellen ab einer Beteiligung von 30% der Humeruskopfkumferenz zudem biomechanisch relevant sind, wird bei großen Läsionen die Defektauffüllung oder Rotationsosteotomie empfohlen [61]. Der Nachweis einer Hill-Sachs-Delle ist somit diagnostisch entscheidend, weshalb entsprechend vorliegender Ergebnisse auf die konventionelle MRT nicht verzichtet werden kann. Vestring et al. halten zwar die Sonographie zur Detektion von Hill-Sachs-Läsionen gleichwertig im Vergleich zur MRT, was diese native Untersuchung unnötig machen würde. Die Autoren bemerkten auch, dass die meisten Hill-Sachs-Defekte mittels MRT nachgewiesen werden und insbesondere kleine Läsionen in der Sonographie nicht detektiert werden können [171]. Zusammenfassend scheint daher die MRT sowohl im Vergleich zur Sonographie als auch zur MRA Hill-Sachs-Dellen am besten zu detektieren. Dies begründet die Notwendigkeit dieses bildgebenden Verfahrens in der Abklärung von Schulterdislokationen.

6.4. Diagnostische Sicherheit von MRT und MRA

MRT- und MRA-Schnittbilder wurden zusätzlich hinsichtlich ihrer diagnostischen Sicherheit bewertet. Anhand der Lickert Skala unterschieden wir 4 Stufen: nicht beurteilbar, schlecht, gut und sehr gut. Die diagnostische Sicherheit wurde für die Befundung von Labrum glenoidale, Cartilago glenoidalis und Cartilago humeralis getrennt vorgenommen. Bislang findet sich in der Literatur keine Studie, die MRT und MRA der Schulter hinsichtlich ihrer diagnostischen Sicherheit analysierte. In einer einzigen Arbeit wurde von Bitzer et al. [13] eine Bewertung des intraartikulären Kontrastes vorgenommen. Die Autoren unterschieden eine schlechte, mäßige und gute Kontrastierung. Sie stellten jedoch in ihrer Studie die MRA der CTA gegenüber. Somit ist die vorliegende Arbeit die erste, welche die diagnostische Sicherheit von MRT und MRA vergleichend untersuchte.

Keine der Bildsequenzen wurde mit „nicht beurteilbar“ bewertet. Nur Aufnahmen von vier Patienten wiesen eine schlechte diagnostische Sicherheit auf. Diese war insbesondere durch Bewegungsartefakte des Patienten in der MRT bzw. durch eine nicht ausreichende intraartikuläre Kontrastierung post injektionem begründet. Letzteres kann durch eine zu lange Wartezeit zwischen Injektion und MRA oder durch eine unzureichende Kontrastmittelinjektion bedingt sein. Sowohl bei der Interpretation der diagnostischen Sicherheit von Labrum als auch der beiden Cartilagines zeigte sich, dass die MRA eine deutlich bessere diagnostische Sicherheit lieferte als die MRT. Dieser Unterschied konnte als statistisch höchst signifikant gewertet werden. 60% der MRA-Schnittbildserien und nur 20% der MRT-Schnittbildserien wurden mit „sehr gut“ bewertet.

Der Grad der diagnostischen Sicherheit ist sicherlich ein subjektiver Parameter. Da jedoch MRT und MRA von ein und derselben Radiologin beurteilt wurden, sind Differenzen, welche bei zwei verschiedenen Befundern möglich wären, ausgeschlossen. Die MRT- und MRA-Serien eines Patienten wurde der Radiologin verblindet, zeitlich versetzt und in unterschiedlicher Reihenfolge (MRT-MRA vs. MRA-MRT) vorgelegt. Hiermit kann ferner eine gegenseitige Abhängigkeit in der Beurteilung der Bilder ausgeschlossen werden. Eine technische Ursache für die bessere diagnostische Sicherheit der MRA lässt sich nicht eruieren. Möglicherweise erlaubt das intraartikuläre Kontrastmittel eine gezieltere Bewertung der diagnostischen Sicherheit von Labrum und Gelenkknorpeln. Somit wird die Gesamtbeurteilbarkeit der diagnostischen Sicherheit der Schnittbilder als besser empfunden und bewertet.

6.5. Ausblick

In der vorliegenden Studie wurden Patienten, welche sich mit Schultergelenksbeschwerden vorstellten, mit einem 1,5 Tesla Kernspintomographen vor und nach intraartikulärer Injektion von Kontrastmittel untersucht. Die Untersuchung erfolgte in Rückenlage mit angelegtem Arm.

Cvitanic et al. [29] untersuchte 256 Patienten in Rückenlage mit abduziertem und außenrotiertem Arm (ABER-Position) und wählten eine schräg-axiale Schnittführung für die MRA. Die Autoren verglichen dieses Verfahren mit der konventionellen MRA bei angelegtem Arm in Neutralposition und axialer Schnittführung. Die Ergebnisse wurden den intraoperativen Befunden gegenübergestellt. Die Autoren konnten zeigen, dass durch die schräg-axiale Schnittführung bei ABER-Position signifikant mehr Labrumläsionen detektiert werden konnten als in konventioneller Position. Choi et al. [26] untersuchten 30 Patienten und verglichen ebenfalls die schräg-axiale Schnittbildführung bei Patienten in ABER-Position mit der konventionelle axialen Schnittbildführung bei angelegtem Arm in Neutralposition. Die Autoren konnten feststellen, dass die Labrumläsionen auch in ihrer Ausdehnung besser und effektiver durch die ABER-Position beurteilt werden können. Es scheint, dass die veränderte Position des Patientenarms mit schräg-axialer Schnittführung eine Verbesserung in der Detektion und im Grading von Labrumläsionen hat. Saleem et al. [141] schlussfolgern, dass die MRA in ABER-Position ein nützliches, zusätzliches Hilfsmittel sein kann, wenn es sich um die Beurteilung von unklaren Befunden oder Normvarianten handelt. Darüber hinaus kann die Testgenauigkeit nicht nur für die Detektion von Labrumläsionen inkl. SLAP-Läsionen, sondern auch für Läsionen des knöchernen Glenoids, von Perthes-Läsionen und von Rotatorenmanschettenläsionen verbessert werden [114, 118, 162]. In einer Studie wurden bislang auch Patienten mit abduziertem und innenrotiertem Arm (ADIR-Position) untersucht [154]. Die Autoren konnten zeigen, dass in dieser Armposition insbesondere ALPSA-Läsionen signifikant besser zur Darstellung gebracht werden konnten als in Neutralposition oder ABER-Position des Armes.

Eine weitere Verbesserung in der Durchführung der MRA könnte im Zugangsweg für die intraartikuläre Kontrastmittelanwendung liegen. Bei anteriorem Zugangsweg ist es möglich, dass etwas Kontrastmittel bereits extrakapsulär eingebracht wird oder aber Kontrastmittel durch den Zugangsweg wieder nach ventral austritt. Um eine Missinterpretation als Kapselläsion zu vermeiden, schlagen Adriaensen et al. den posterioren Zugangsweg vor [2]. Es konnte gezeigt werden dass auch dieser Zugangsweg erfolgreich durchgeführt werden kann und von den Patienten gut toleriert wird [124].

Einen weiteren Vorteil dürften Kernspintomographen mit größerer Feldstärke bieten. 3 Tesla-Geräte werden bereits in der klinischen Routinediagnostik eingesetzt. 7 Tesla-Geräte sind bereits in der Entwicklung [91]. Studien, welche 3 Tesla-Geräte verwendeten, zeigten eine höhere Sensitivität in der Detektion von Labrumläsionen als bei Verwendung von 1,5 Tesla-Geräten [106, 108]. Diese Tendenz konnten auch Smith et al. feststellen, als sie in ihrer Metaanalyse Studien mit 3 Tesla-Geräten denen mit 1,5 Tesla-Geräten gegenüberstellten. Sowohl für anteriore und posteriore Labrumläsionen als auch für SLAP-Läsionen konnten die Autoren eine höhere Sensitivität und Spezifität aufzeigen [152]. Darüber hinaus bieten Geräte mit größerer Feldstärke den Vorteil eines erhöhten und damit verbesserten Signal-Rausch-Verhältnisses. Die Bildgebung ist höher auflösend und kann schneller erfolgen, was wiederum zu einer Reduktion von Bewegungsartefakten führt [48].

Auch weitere Entwicklungen dürften zu einer Verbesserung der Bildgebung bei Schulterdislokationen und -instabilitäten führen. Hierzu gehören Techniken zur Reduktion von Metallartefakten und das biochemische Imaging von Knorpel [91].

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Schultergelenk zählt zu den gefährdetsten Gelenken des menschlichen Körpers. Es zeigt die häufigste Dislokationsneigung mit daraus entstehenden Verletzungen. Eine Festlegung des therapeutischen Vorgehens setzt eine detaillierte und genaue Diagnostik voraus. Kernspintomographische Untersuchungen sind hierbei die Methode der Wahl. Hierzu zählen die konventionelle MRT und die direkte MRA. Eine Gegenüberstellung beider Verfahren mit detaillierter Analyse von Einzelläsionen des Labrums und des Gelenkknorpels fehlte bislang weitgehend. Ziel dieser Arbeit war es daher, MRT- und MRA-Befunde, die an jeweils demselben Patienten erhoben wurden, zu vergleichen. Über die Nachweisbarkeit der Läsionen hinaus sollte geklärt werden, ob MRT und MRA dieselbe Läsionslokalisation, denselben Läsionstypus und Läsionsgrad beschreiben. Zudem sollten Kombinationsverletzungen und der Nachweis von Zusatzbefunden, wie z.B. knöcherne Läsionen, analysiert werden.

Insgesamt wurden im Zeitraum 01/2001 bis 6/2012 283 Patienten mittels MRT und MRA untersucht. 68 Patienten konnten in die Studie aufgenommen werden. MRT und MRA wurden jeweils mit einem 1,5 Tesla-Gerät durchgeführt. Insgesamt standen 14382 Schnittbilder für die Befundung zur Verfügung. Die Beurteilung von Labrum und Knorpel erfolgte nach einem eigens entwickelten Auswertungsbogen. Der statistische Vergleich beider Verfahren erfolgte mit dem genauen Test nach Fisher, dem McNemar Chi-Quadrat-Test mit Kontinuitätskorrektur und dem Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben. Statistische Signifikanz wurde bei p-Werten $\leq 0,05$ angenommen.

Das Patientenkollektiv der hier vorliegenden Studie entspricht hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung der in der Literatur veröffentlichten Alters- und Geschlechtsverteilung von Patienten mit Schulterverletzungen. Männer waren dreimal häufiger betroffen als Frauen. Die Altersverteilung war zweigipflig mit dem höchsten Wert für Männer zwischen 20 und 30 Jahren.

Durch Gegenüberstellung der MRT- und MRA-Befunde von jeweils ein und demselben Patienten konnten wir zeigen, dass mittels MRT in ca. einem Drittel der Fälle nicht eindeutig zwischen Vorhandensein oder Fehlen einer Labrumläsion differenziert werden konnte (Verdachtsbefunde). Durch die MRA hingegen war eine Entscheidung für oder wider das Vorhandensein einer Läsion in jedem Falle möglich. In der MRA konnten somit alle Labrumläsionen sicher beurteilt werden. Die MRA war gegenüber der MRT für das Labrum signifikant von höherer diagnostischer Sicherheit.

Bei der Detektion von Knorpelverletzungen zeigte sich, dass nur ein Viertel der Läsionen von beiden Verfahren gleichzeitig erkannt wurde. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass Knorpelverletzungen deutlich seltener auftreten als Labrumläsionen. Der glenoidale Knorpel scheint gegenüber dem humeralen Knorpel verletzungsanfälliger zu sein. Kombinationsverletzungen von Labrum glenoidale und Cartilago glenoidalis finden sich daher am häufigsten.

Die vorliegende Studie verglich zum ersten Mal umfangreich die Darstellbarkeit von Läsionslokalisation, Läsionstypus und Läsionsgraduierung der Labrum- und Knorpelverletzungen in MRT und MRA. Wurde eine Läsion sowohl von der MRT als auch von der MRA erkannt, so wurden Lokalisation, Typus und Graduierung bis auf wenige Ausnahmen identisch befundet. Deutliche Unterschiede zeigten sich jedoch in der Erhebung von Zusatzbefunden. Knochenfragmente des Caput humeri und Läsionen der Gelenkkapsel konnten nur mittels der MRA detektiert werden. Unterschiede bestanden auch beim Nachweis einer Hill-Sachs-Läsion. Diese konnte signifikant häufiger mittels MRT als durch die MRA nachgewiesen werden.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass ein Maximum an Labrum- / Knorpelläsionen und Zusatzbefunden nur in einer kombinierten Diagnostik von MRT und MRA in Folge zur Darstellung gebracht werden kann.

8. Summary and Conclusions

The shoulder joint is one of the most vulnerable joints in the human body. It is especially prone to dislocation and associated injuries. Detailed and accurate diagnostics are required to determine the best therapeutic procedure. In this connection, magnetic resonance imaging (MRI) is the method of choice. This comprises conventional MRT and direct MRA. Up to now, there has been no broad-based comparison of these two detection methods (including detailed analysis) with regard to single lesions of the labrum and the articular cartilages. The aim of this study was, therefore, to compare MRT and MRA findings derived from one and the same patient. Besides detecting the actual presence of lesions in general, it was important to determine whether MRT and MRA produce the same results with regard to the location, type and degree of the individual lesion itself. Finally, it was planned to analyse any combined injuries and additional findings (e.g. bony lesion).

In the period between 01/2001 and 6/2012, a total of 283 patients were examined by means of MRT and MRA, of whom 68 were included in the study. In each case, MRT and MRA were performed using a 1.5 Tesla system. Altogether, 14,382 images were obtained for analysis. Assessment of the labrum and cartilages was based on a specially designed assessment sheet. Statistical comparison of the two procedures was performed with the help of Fisher's exact test, McNemar's chi-square test with continuity correction and the Wilcoxon signed-rank test with paired samples. A value of $p \leq 0.05$ was assumed to be statistically significant.

The patient population of the present study corresponds to those in the literature regarding age and gender distribution. Men were affected three times more often than women. Age distribution was bimodal; the highest value for males was between 20 and 30 years. By comparing MRT and MRA findings for one and the same patient, we could show that in approximately one third of the cases it is not possible to differentiate clearly between the presence or absence of a labrum lesion by means of MRT (suspected findings). On the other hand, when using MRA, we were able to determine the presence or absence of a lesion in every case. In other words, MRA provided a reliable assessment of all labrum lesions. With regard to the labrum, the diagnostic certainty of MRA was significantly greater (compared to MRT). Concerning cartilage injuries, only a quarter of the lesions were detected by both procedures at the same time. In addition, we were able to show that cartilage injuries appear far less frequently than labrum lesions. Glenoid cartilage

seems to be more prone to injury than humeral cartilage. Thus it can be said that combined injuries of the glenoid labrum and the cartilago glenoidalis reveal the highest incidence.

The present study contains a first-time broad-based comparison of the representation of lesion localisation, lesion type and lesion degree with respect to labrum and cartilage injuries using MRT and MRA. In cases where a lesion was detected by both MRT and MRA, localisation, type and degree were recorded identically (with just a few exceptions). Clear differences appeared, however, in connection with additional findings. Bone fragments of the caput humeri and lesions of the articular capsule were only detected by means of MRA. There were also different findings regarding Hill-Sachs lesions, which were detected significantly more often by MRT than by MRA.

It can be concluded from the results of this study that, in terms of diagnostics, the most effective representation of labrum and cartilage lesions together with additional findings can only be achieved using a combination of both MRT and MRA.

The shoulder joint is the most mobile joint in the body and yet at the same time is very easily injured.

9. Verzeichnis der Abkürzungen

α	Flipwinkel
Abb.	Abbildung
AMBRIL	Atraumatisch Multidirektional Bilateral Rehabilitation Inferiorer Kapsel-Shift Intervall-Verschluss
B	Einriss an der Labrumbasis
BHAGL	Bony Humeral Avulsion of Glenohumeralligaments
bzw.	beispielsweise
CT	Computertomographie
CTA	Computertomographische Arthrographie
C _{FG}	Cartilago fossae glenoidalis
C _H	Cartilago humeralis
D	Degeneration innerhalb des Labrums
3 D	Dreidimensional
dMRA	Direkte Magnetresonanz-Arthrographie
FS	Fettsuppression
FSE	Fast-Spin-Echo
Gd	Gadolinium
GLAD	Glenolabral Articular Disruption
HAGL	Humeral avulsion of glenohumeralligaments
HE-Werte	Hounsfield-Einheiten
IGHL	inferiores glenohumerales Ligament
L _g	Labrum glenoidale
LV	Labrumverkleinerung
MRA	Magnetresonanz-Arthrographie
MGHL	mediales glenohumerales Ligament
MRT	Magnetresonanztomographie
msec	Millisekunden
NaCl	Kochsalzlösung
PDw	protonengewichtet
PDSPiR	protonengewichtete fettsupprimierte Sequenz
POLPSA	Posterior labrocapsular periosteal sleeve avulsion
R	Riss des Labrums
SLAP	Superior labral tear with anterior and posterior extension
STIR	Short Timeinversion Recovery

SV	Signalverstärkung innerhalb des Labrums
T	Tesla
Tab.	Tabelle
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
TUBS	Traumatisch Unidirectional Bankart Läsion Surgical repair
T1w	T1 gewichtete Pulssequenzen
T2w	T2 gewichtete Pulssequenzen

10. Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Eröffnetes rechtes Schultergelenk mit Rotatorenmanschette [36]
- Abb. 2: Schnitt durch das rechte Schultergelenk (Schulterblattebene bei Außenrotation des Humerus) [36]
- Abb. 3: Schematische Darstellung des Schultergelenks, modifiziert nach Hodler [16]
a) Normalbefund
b) strukturelle Schäden am vorderen Labrum
- Abb. 4: Aufsicht auf die Cavitas glenoidalis und das Labrum glenoidale, modifiziert nach Vahlensieck und Hodler [165]
- Abb. 5: Patientenakquise
- Abb. 6: MAGNETOM Espree 1,5 T® der Firma Siemens Healthcare, Erlangen
Aus dem medizinischen Zentrum für Radiologie, Klinik für Diagnostische Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Gießen
- Abb. 7: Altersverteilung aller Patienten
- Abb. 8: Altersverteilung männlicher (blau) und weiblicher (weiß) Patienten
- Abb. 9: Komplexer Riss des Labrum glenoidale anterior-inferior. Verdachtsbefund in der MRT, Befundbestätigung in der MRA
- Abb. 10: Anzahl und Lokalisation von Labrumläsionen
- Abb. 11: Anzahl und Lokalisation von Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis
- Abb. 12: Anzahl und Lokalisation von Läsionen der Cartilago humeralis
- Abb. 13: Einfacher Riss des Labrum glenoidale in MRT und MRA
- Abb. 14: Unregelmäßige Oberfläche der Cartilago glenoidalis („fissuring“) in MRT und MRA
- Abb. 15: Verletzung der Cartilago glenoidalis von <50% der Knorpeldicke in MRT und MRA
- Abb. 16: 3 Patienten mit Hill-Sachs-Delle (Pfeil). Vergleich von MRT (A, C, E) und MRA (B, D, F)
- Abb. 17: diagnostische Sicherheit von Läsionen des Labrum glenoidale
- Abb. 18: diagnostische Sicherheit von Läsionen der Cartilago fossae glenoidalis
- Abb. 19: diagnostische Sicherheit von Läsionen der Cartilago humeralis

11. Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Gerber [60, 101]
- Tab. 2: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Matsen [61, 101]
- Tab. 3: Klassifikation vorderer Schultergelenksluxationen nach Bailey [61, 101]
- Tab. 4: SLAP-Läsionstypen nach Snyder (aus [52])
- Tab. 5: Einteilung knöcherner Läsionen des Glenoids nach Bigliani [12]
- Tab. 6: Legende zu Abb. 4
- Tab. 7: Zusammenhang zwischen TR und T1, modifiziert nach Weishaupt et al. [180]
- Tab. 8: Zusammenhang zwischen TE und T2, modifiziert nach Weishaupt et al. [180]
- Tab. 9: Signalintensität verschiedener Gewebe in T1- und T2-gewichteten Bildern , modifiziert nach Weishaupt et al. [180]
- Tab. 10: Relative Protonendichte sowie absolute Werte von T1 und T2 (in msec) für verschiedene Gewebe, nach Weishaupt et al. [180]
- Tab. 11: wichtige Sequenzparameter
- Tab. 12: Patientenzahl bzw. Anzahl der Schulterverletzungen:
Gegenüberstellung von Geschlecht und Körperseite
- Tab. 13a: Patientenzahl mit und ohne Läsionsnachweis in MRT und MRA
- Tab. 13b: Patientenzahl mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für L_G-, C_{FG}- oder C_H-Läsionen in MRT und MRA
- Tab. 14a: Gesamtzahl der Einzelläsionen von Labrum glenoidale, Cartilago fossae glenoidalis und Cartilago humeralis mit Nachweis in MRT und/oder MRA
- Tab. 14b: Anzahl an Einzelläsionen mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für L_G-, C_{FG}- oder C_H-Läsionen in MRT und MRA
- Tab. 15a: Einzelläsionen des Labrum glenoidale mit Nachweis in MRT und/oder MRA
- Tab. 15b: Anzahl an Einzelläsionen mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für L_G-Läsionen in MRT und MRA
- Tab. 15c: diagnostische Maßzahlen mit und ohne Berücksichtigung von Verdachtsbefunden
- Tab. 16a: Einzelläsionen der Cartilago fossae glenoidalis mit Nachweis in MRT und/oder MRA
- Tab. 16b: Anzahl an Einzelläsionen mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für C_{FG}- Läsionen in MRT und MRA

-
- Tab. 17a: Einzelläsionen der Cartilago humeralis mit Nachweis in MRT und/oder MRA
- Tab. 17b: Anzahl an Einzelläsionen mit sicherem Nachweis (1), Verdachtsbefund (9) und fehlendem Nachweis (0) für C_H-Läsionen in MRT und MRA
- Tab. 18: Patientenzahl mit Einzel- oder Kombinationsverletzungen von L_G, C_{FG} und/oder C_H
- Tab. 19: Anzahl an Patienten mit Labrumläsionen und Nachweis von Begleitverletzungen direkt angrenzender Strukturen
- Tab. 20: Erkennbarkeit von Einzelläsionen mittels MRT und MRA entsprechend ihrer Lokalisation
- Tab. 21: Anzahl an Patienten mit unterschiedlichen Typen von Labrumläsionen in MRT und MRA
- Tab. 22: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Typen von Labrumläsionen in MRT und MRA
- Tab. 23: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Labrumeinrissen in MRT und MRA
- Tab. 24: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Verletzungen der Cartilago fossae glenoidalis in MRT und MRA
- Tab. 25: Anzahl und Interpretation unterschiedlicher Läsionsgrade von Verletzungen der Cartilago humeralis in MRT und MRA
- Tab. 26: Anzahl an Zusatzbefunden in MRT und MRA
- Tab. 27: Graduierung der diagnostischen Sicherheit von MRT und MRA anhand der Lickert Skala

12. Literaturverzeichnis

1. Acid S, Le Corroller T, Aswad R, Pauly V, Champsaur P. Preoperative imaging of anterior shoulder instability: diagnostic effectiveness of MDCT arthrography and comparison with MR arthrography and arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 2012; 198: 661-667
2. Adriaensen ME, Ertl OT, Laar PJ, Nix M, Vanhoenacker FM. A motive for the use of a posterior approach in shoulder arthrography: ventral leakage of contrast medium. *Acta Radiol* 2013;
3. Ahovuo J, Paavolainen P, Jaaskinen J. Arthrotomography of the unstable shoulder. *Acta Orthop Scand* 1988; 59: 681-683
4. Amin MF, Youssef AO. The diagnostic value of magnetic resonance arthrography of the shoulder in detection and grading of SLAP lesions: comparison with arthroscopic findings. *Eur J Radiol* 2012; 81: 2343-2347
5. Antonio GE, Griffith JF, Yu AB, Yung PS, Chan KM, Ahuja AT. First-time shoulder dislocation: High prevalence of labral injury and age-related differences revealed by MR arthrography. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26: 983-991
6. Applegate GR, Hewitt M, Snyder SJ, Watson E, Kwak S, Resnick D. Chronic labral tears: value of magnetic resonance arthrography in evaluating the glenoid labrum and labral-bicipital complex. *Arthroscopy* 2004; 20: 959-963
7. Beltran J, Jbara M, Maimon R. Shoulder: labrum and bicipital tendon. *Top Magn Reson Imaging* 2003; 14: 35-49
8. Bencardino JT, Beltran J, Rosenberg ZS, Rokito A, Schmehmann S, Mota J, Mellado JM, Zuckerman J, Cuomo F, Rose D. Superior labrum anterior-posterior lesions: diagnosis with MR arthrography of the shoulder. *Radiology* 2000; 214: 267-271
9. Bergin D. Imaging shoulder instability in the athlete. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2009; 17: 595-615, v
10. Betthäuser A, Binder C, Gaulrapp H, Szeimies U. Schulter. In: Gaulrapp H, Szeimies U (Hrsg) *Diagnostik der Gelenke und Weichteile, Sonografie oder MRT*. Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2008, pp 23-55
11. Betz ME, Traub SJ. Bilateral posterior shoulder dislocations following seizure. *Intern Emerg Med* 2007; 2: 63-65
12. Bigliani LU, Newton PM, Steinmann SP, Connor PM, McIlveen SJ. Glenoid rim lesions associated with recurrent anterior dislocation of the shoulder. *Am J Sports Med* 1998; 26: 41-45

13. Bitzer M, Nasko M, Krackhardt T, Schick F, Schober W, Wiskirchen J, Morgalla M, Weise K, Claussen C. [Direct CT-arthrography versus direct MR-arthrography in chronic shoulder instability: comparison of modalities after the introduction of multidetector-CT technology]. *Rofo* 2004; 176: 1770-1775
14. Blanche DW. Injuries of the musculotendinous cuff of the shoulder. *Calif Med* 1953; 79: 20-24
15. Blum A, Coudane H, Mole D. Gleno-humeral instabilities. *Eur Radiol* 2000; 10: 63-82
16. Bohndorf K. Bildgebende Verfahren in der Traumatologie. In: Bohndorf K, Imhof H, Fischer W (Hrsg) *Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke*. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2006, pp 1-9
17. Bommas U, Teubner P, Voß R. Obere Extremität. In: Bommas U, Teubner P, Voß R (Hrsg) *Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, pp 180-220
18. Borgeat A, Bird P, Ekatothramis G, Dumont C. Tracheal compression caused by periarticular fluid accumulation: a rare complication of shoulder surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 2000; 9: 443-445
19. Breitenseher M. Schulter. In: Breitenseher M (Hrsg) *Der MR-Trainer, Obere Extremität*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2005, pp 173-248
20. Burman MS. Arthroscopy or direct visualisation of joints. An experimental cadaver study. *J Bone Joint Surg* 1931; 13: 669-695
21. Busfield BT. Glenohumeral joint sepsis after magnetic resonance imaging arthrogram. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2012; 41: 277-278
22. Carroll KW, Helms CA. Magnetic resonance imaging of the shoulder: a review of potential sources of diagnostic errors. *Skeletal Radiol* 2002; 31: 373-383
23. Chaipat L, Palmer WE. Shoulder magnetic resonance imaging. *Clin Sports Med* 2006; 25: 371-386, v
24. Chandnani VP, Yeager TD, DeBerardino T, Christensen K, Gagliardi JA, Heitz DR, Baird DE, Hansen MF. Glenoid labral tears: prospective evaluation with MRI imaging, MR arthrography, and CT arthrography. *AJR Am J Roentgenol* 1993; 161: 1229-1235
25. Cheng SC, Sivardeen ZK, Wallace WA, Buchanan D, Hulse D, Fairbairn KJ, Kemp SP, Brooks JH. Shoulder instability in professional rugby players-the significance of shoulder laxity. *Clin J Sport Med* 2012; 22: 397-402
26. Choi JA, Suh SI, Kim BH, Cha SH, Kim MG, Lee KY, Lee CH. Comparison between conventional MR arthrography and abduction and external rotation MR

- arthrography in revealing tears of the antero-inferior glenoid labrum. *Korean J Radiol* 2001; 2: 216-221
27. Connor PM, Banks DM, Tyson AB, Coumas JS, D'Alessandro DF. Magnetic resonance imaging of the asymptomatic shoulder of overhead athletes: a 5-year follow-up study. *Am J Sports Med* 2003; 31: 724-727
28. Copuroglu C, Aykac B, Tuncer B, Ozcan M, Yalniz E. Simultaneous occurrence of acute posterior shoulder dislocation and posterior shoulder-fracture dislocation after epileptic seizure. *Int J Shoulder Surg* 2009; 3: 49-51
29. Cvitanic O, Tirman PF, Feller JF, Bost FW, Minter J, Carroll KW. Using abduction and external rotation of the shoulder to increase the sensitivity of MR arthrography in revealing tears of the anterior glenoid labrum. *AJR Am J Roentgenol* 1997; 169: 837-844
30. Davis SJ, Teresi LM, Bradley WG, Ressler JA, Eto RT. Effect of arm rotation on MR imaging of the rotator cuff. *Radiology* 1991; 181: 265-268
31. De Mulder K, Petre D, Declercq G. Arthroscopy of the shoulder. Current concepts review. *Acta Orthop Belg* 1999; 65: 447-457
32. Delorme S, Debus J. Physiklische und technische Grundlagen. In: Delorme S, Deburns J (Hrsg) *Duale Reihe Ultraschalldiagnostik*. Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 1998, pp 35-88
33. Dietrich TJ, Zanetti M, Saupe N, Pfirrmann CW, Fucentese SF, Hodler J. Articular cartilage and labral lesions of the glenohumeral joint: diagnostic performance of 3D water-excitation true FISP MR arthrography. *Skeletal Radiol* 2010; 39: 473-480
34. Dinauer PA, Flemming DJ, Murphy KP, Doukas WC. Diagnosis of superior labral lesions: comparison of noncontrast MRI with indirect MR arthrography in unexercised shoulders. *Skeletal Radiol* 2007; 36: 195-202
35. Dinnes J, Loveman E, McIntyre L, Waugh N. The effectiveness of diagnostic tests for the assessment of shoulder pain due to soft tissue disorders: a systematic review. *Health Technol Assess* 2003; 7: iii, 1-166
36. Drenckhahn D, Koebke J. Obere Extremität. In: Benninghoff A, Drenckhahn D (Hrsg) *Anatomie - Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*. Band 1, Urban & Fischer, München, Jena, 2003, pp 278-340
37. Drescher R, Rothenburg TV, Ludwig J, Koster O, Schmid G. [Direct MR-arthrography of the shoulder with maximum capsular distension for surgical planning]. *Rofo* 2004; 176: 1469-1474
38. Echtermeyer V, Bartsch ST. Luxationen und Instabilitäten. In: Echtermeyer V, Bartsch ST (Hrsg) *Praxisbuch Schulter, Verletzungen und Erkrankungen*

- systemisch diagnostizieren, therapieren, begutachten. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1996, pp 95-135
39. Flannigan B, Kursunoglu-Brahme S, Snyder S, Karzel R, Del Pizzo W, Resnick D. MR arthrography of the shoulder: comparison with conventional MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1990; 155: 829-832
 40. Fotiadou A, Drevelegas A, Nasuto M, Guglielmi G. Diagnostic performance of magnetic resonance arthrography of the shoulder in the evaluation of anteroinferior labrum abnormalities: a prospective study. *Insights Imaging* 2013; 4: 157-162
 41. Frick H. Obere Extremität. In: Frick H, Leonhardt H, Starck D (Hrsg) *Allgemeine Anatomie, Spezielle Anatomie I - Extremitäten, Rumpfwand, Kopf, Hals*. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1992, pp 182 - 305
 42. Fritts HM, Craig EV. MRI of the shoulder. *Semin Ultrasound CT MR* 1994; 15: 341-365
 43. Funke M, Leibl T, Grabbe E. Diagnostic imaging of instability of the shoulder joint. *Radiologe* 1996; 36: 951-959
 44. Galanski M, Prokop M. Grundlagen. In: Galanski M, Prokop M (Hrsg) *Ganzkörper-Computertomographie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998, pp 3-34
 45. Genovese E, Spano E, Castagna A, Leonardi A, Angeretti MG, Callegari L, Fugazzola C. MR-arthrography in superior instability of the shoulder: correlation with arthroscopy. *Radiol Med* 2013; 118: 1022-1033
 46. Gerber T, Prim J, Michel BA. Schulter. In: Gerber T, Prim J, Michel BA (Hrsg) *Sonographie des Bewegungsapparats*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2000, pp 50-96
 47. Gobeze R, Zurakowski D, Lavery K, Millett PJ, Cole BJ, Warner JJ. Analysis of interobserver and intraobserver variability in the diagnosis and treatment of SLAP tears using the Snyder classification. *Am J Sports Med* 2008; 36: 1373-1379
 48. Gold GE, Suh B, Sawyer-Glover A, Beaulieu C. Musculoskeletal MRI at 3.0 T: initial clinical experience. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 183: 1479-1486
 49. Gomberawalla MM, Sekiya JK. Rotator Cuff Tear and Glenohumeral Instability : A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res* 2013;
 50. Goretzki G. Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT). In: Goretzki G (Hrsg) *Medizinische Strahlenkunde, Physikalisch-technische Grundlagen*. Urban & Fischer München, Jena, 2004, pp 387-414

51. Greenspan A. Bildgebende Verfahren in der Skelettradiologie. In: Greenspan A (Hrsg) Skelettradiologie, Orthopädie, Traumatologie, Rheumatologie, Onkologie. 4. Auflage, Urban & Fischer, München, Jena, 2007, pp 19-47
52. Greenspan A. Obere Extremität I: Schultergürtel In: Greenspan A (Hrsg) Skelettradiologie, Orthopädie, Traumatologie, Rheumatologie, Onkologie. 4. Auflage, Urban & Fischer München, Jena, 2007, pp 113-163
53. Griffka J, Beckmann J, Tingart M, Kessler MA, Dobler T, Kuster M. Erkrankungen und Verletzungen von Schultergürtel und Schultergelenk. In: Griffka J, Kuster M (Hrsg) Orthopädie und Unfallchirurgie. Springer Verlag, Berlin/ Heidelberg, 2011, pp 477-554
54. Gruber G, Konermann W. Ultraschalluntersuchung der Schulter. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) Schulterchirurgie. 4. Auflage, Urban & Fischer, München, 2010, pp 165-183
55. Gumina S, Postacchini F. Anterior dislocation of the shoulder in elderly patients. J Bone Joint Surg Br 1997; 79: 540-543
56. Guntern DV, Pfirrmann CW, Schmid MR, Zanetti M, Binkert CA, Schneeberger AG, Hodler J. Articular cartilage lesions of the glenohumeral joint: diagnostic effectiveness of MR arthrography and prevalence in patients with subacromial impingement syndrome. Radiology 2003; 226: 165-170
57. Gutwinski S, Loscher A, Mahler L, Kalbitzer J, Heinz A, Bermpohl F. Understanding left-handedness. Dtsch Arztebl Int 2011; 108: 849-853
58. Habermeyer P, Ebert T. Aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven der Schulterendoprothetik. Unfallchirurg 1999; 102: 668-683
59. Habermeyer P, Ebert T, Kessler M. Traumatische Erstluxation der Schulter. Deutsches Ärzteblatt 2000; 97: 620-624
60. Habermeyer P, Lichtenberg S. Diagnosis and treatment of anterior and posterior shoulder dislocation. I. Diagnosis. Chirurg 2003; 74: 1078-1088
61. Habermeyer P, Lichtenberg S. Diagnosis and treatment of anterior and posterior shoulder dislocation. II. Treatment. Chirurg 2003; 74: 1178-1194
62. Habermeyer P, Lichtenberg S. Therapie der Rotatorenmanschettenruptur-arthroskopische und offen chirurgische Techniken. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) Schulterchirurgie. 4. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, 2010, pp 352-427
63. Habibian A, Stauffer A, Resnick D, Reicher MA, Rafii M, Kellerhouse L, Zlatkin MB, Newman C, Sartoris DJ. Comparison of conventional and computed

- arthrotomography with MR imaging in the evaluation of the shoulder. *J Comput Assist Tomogr* 1989; 13: 968-975
64. Hall FM, Rosenthal DI, Goldberg RP, Wyshak G. Morbidity from shoulder arthrography: etiology, incidence, and prevention. *AJR Am J Roentgenol* 1981; 136: 59-62
65. Hartwig CH, Braunschweig R, Bohm P, Cormann PL. Double-contrast arthro-CT in diagnosis of shoulder instability. *Sportverletz Sportschaden* 1995; 9: 9-13
66. Hedtmann A, Fett H. Atlas und Lehrbuch der Schultersonografie. 2. Aufl., Enke, Stuttgart, 1991
67. Herold T, Bachthaler M, Hamer OW, Hente R, Feuerbach S, Fellner C, Strotzer M, Lenhart M, Paetzel C. Indirect MR arthrography of the shoulder: use of abduction and external rotation to detect full- and partial-thickness tears of the supraspinatus tendon. *Radiology* 2006; 240: 152-160
68. Herold T, Hente R, Zorger N, Finkenzeller T, Feuerbach S, Lenhart M, Paetzel C. [Indirect MR-arthrography of the shoulder-value in the detection of SLAP-lesions]. *Rofo* 2003; 175: 1508-1514
69. Heuck A, Appel M, Kaiser E, Lehner K, Luttke G. Magnetic resonance tomography of the shoulder. Possibilities of over interpretation of normal findings. *Rofo* 1990; 152: 587-594
70. Hodler J. Vorwort. In: Gerber T, Prim J, Michel BA (Hrsg) Sonographie des Bewegungsapparats. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2000, pp V
71. Hodler J. Spezielle Traumatologie - Schultergürtel. In: Bohndorf K, Imhof H, Fischer W (Hrsg) Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2006, pp 68-80
72. Hodler J, Kursunoglu-Brahme S, Flannigan B, Snyder SJ, Karzel RP, Resnick D. Injuries of the superior portion of the glenoid labrum involving the insertion of the biceps tendon: MR imaging findings in nine cases. *AJR Am J Roentgenol* 1992; 159: 565-568
73. Hodler J, Kursunoglu-Brahme S, Snyder SJ, Cervilla V, Karzel RP, Schweitzer ME, Flannigan BD, Resnick D. Rotator cuff disease: assessment with MR arthrography versus standard MR imaging in 36 patients with arthroscopic confirmation. *Radiology* 1992; 182: 431-436
74. Hottya GA, Tirman PF, Bost FW, Montgomery WH, Wolf EM, Genant HK. Tear of the posterior shoulder stabilizers after posterior dislocation: MR imaging and MR arthrographic findings with arthroscopic correlation. *AJR Am J Roentgenol* 1998; 171: 763-768

75. Hovelius L. Shoulder dislocation in Swedish ice hockey players. *Am J Sports Med* 1978; 6: 373-377
76. Hovelius L. Incidence of shoulder dislocation in Sweden. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 127-131
77. Hovelius L, Augustini BG, Fredin H, Johansson O, Norlin R, Thorling J. Primary anterior dislocation of the shoulder in young patients. A ten-year prospective study. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78: 1677-1684
78. Imhoff AB, Hodler J. Correlation of MR imaging, CT arthrography, and arthroscopy of the shoulder. *Bull Hosp Jt Dis* 1996; 54: 146-152
79. Jana M, Gamanagatti S. Magnetic resonance imaging in glenohumeral instability. *World J Radiol* 2011; 3: 224-232
80. Jonas SC, Walton MJ, Sarangi PP. Is MRA an unnecessary expense in the management of a clinically unstable shoulder? A comparison of MRA and arthroscopic findings in 90 patients. *Acta Orthop* 2012; 83: 267-270
81. Jung JY, Jee WH, Park MY, Lee SY, Kim YS. SLAP tears: diagnosis using 3-T shoulder MR arthrography with the 3D isotropic turbo spin-echo space sequence versus conventional 2D sequences. *Eur Radiol* 2013; 23: 487-495
82. Kaplan LD, McMahon PJ, Towers J, Irrgang JJ, Rodosky MW. Internal impingement: findings on magnetic resonance imaging and arthroscopic evaluation. *Arthroscopy* 2004; 20: 701-704
83. Kaufmann P. Bewegungsapparat. In: Schiebler TH (Hrsg) *Anatomie*. 9. Aufl., Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005, pp 167-374
84. Keeler LA. The Differences in Sport Aggression, Life Aggression, and Life Assertion Among Adult Male and Female Collision, Contact, and Non-Contact Sport Athletes. *Journal of Sport Behavior* 2007; 30: 57
85. Kieft GJ, Bloem JL, Rozing PM, Obermann WR. MR imaging of recurrent anterior dislocation of the shoulder: comparison with CT arthrography. *AJR Am J Roentgenol* 1988; 150: 1083-1087
86. King L, Healy JC. Imaging of the painful shoulder. *Manual Therapy* 1999; 4: 11-18
87. Kirchhoff SM. Isolated direct MR arthrography in ABER position or conventional MR arthrography for identification of partial ruptures of the supraspinatus tendon. *Radiologe* 2011; 51: 6-7
88. Kloeters O, Müller M. Obere Extremität. In: Kloeters O, Müller M (Hrsg) *Crashkurs Chirurgie*. Urban & Fischer Verlag, München, 2007, pp 289-311
89. Kocher MS, Dupre MM, Feagin JA, Jr. Shoulder injuries from alpine skiing and snowboarding. Aetiology, treatment and prevention. *Sports Med* 1998; 25: 201-211

90. Kreitner KF. Diagnostische Radiologie von Knochen, Gelenken und Weichteilen. In: Thurn P, Bücheler E, Lackner K-J, Thelen M (Hrsg) Einführung in die radiologische Diagnostik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1998, pp 61-224
91. La Rocca Vieira R, Rybak LD, Recht M. Technical update on magnetic resonance imaging of the shoulder. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2012; 20: 149-161, ix
92. Lackner K-J. Geschichte und technisch-physikalische Grundlagen. In: Thurn P, Bücheler E, Lackner K-J, Thelen M (Hrsg) Einführung in die radiologische Diagnostik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998, pp 1-55
93. Lang K. Röntgendiagnostik. In: Echtermeyer V, Bartsch S (Hrsg) Praxisbuch Schulter, Verletzungen und Erkrankungen systemisch diagnostizieren, therapieren, begutachten. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1996, pp 56-69
94. Larson AN, McIntosh AL. The epidemiology of injury in ATV and motocross sports. *Med Sport Sci* 2012; 58: 158-172
95. Lecouvet FE, Dorzee B, Dubuc JE, Vande Berg BC, Jamart J, Malghem J. Cartilage lesions of the glenohumeral joint: diagnostic effectiveness of multidetector spiral CT arthrography and comparison with arthroscopy. *Eur Radiol* 2007; 17: 1763-1771
96. Lecouvet FE, Simoni P, Koutaissoff S, Vande Berg BC, Malghem J, Dubuc JE. Multidetector spiral CT arthrography of the shoulder. Clinical applications and limits, with MR arthrography and arthroscopic correlations. *Eur J Radiol* 2008; 68: 120-136
97. Lee SU, Lang P. MR and MR arthrography to identify degenerative and posttraumatic diseases in the shoulder joint. *Eur J Radiol* 2000; 35: 126-135
98. Levy O, Pritsch M, Rath E. An operative technique for recurrent shoulder dislocations in older patients. *J Shoulder Elbow Surg* 1999; 8: 452-457
99. Li HF, Liu YJ, Cheng LQ, Li ZL, Wang JL, Qi W, Wang N, Zhu JL, Liu Y. [Diagnostic value of MRI and MR arthrography in the detection of injuries of anterior labrum in shoulder]. *Zhongguo Gu Shang* 2012; 25: 413-417
100. Li X, Lin TJ, Jager M, Price MD, Deangelis NA, Busconi BD, Brown MA. Management of type II superior labrum anterior posterior lesions: a review of the literature. *Orthop Rev (Pavia)* 2010; 2: e6
101. Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. Traumatic anterior shoulder dislocation. *Unfallchirurg* 2005; 108: 299-313
102. Lill H, Lange K, Reinbold WD, Echtermeyer V. [MRI arthrography--improved diagnosis of shoulder joint instability]. *Unfallchirurg* 1997; 100: 186-192

103. Link J, Benecke P. The value of pneumo-arthro-CT in diagnosis after traumatic shoulder dislocation. *Rofo* 1994; 160: 555-558
104. Lubiatowski P, Splawski R, Manikowski W, Dabrowska A, Romanowski L. Magnetic resonance artrography of the shoulder. *Ortop Traumatol Rehabil* 2003; 5: 426-432
105. Ludewig PM, Borstad JD. Effects of a home exercise programme on shoulder pain and functional status in construction workers. *Occup Environ Med* 2003; 60: 841-849
106. Magee T. 3-T MRI of the shoulder: is MR arthrography necessary? *AJR Am J Roentgenol* 2009; 192: 86-92
107. Magee T, Williams D, Mani N. Shoulder MR arthrography: which patient group benefits most? *AJR Am J Roentgenol* 2004; 183: 969-974
108. Magee TH, Williams D. Sensitivity and specificity in detection of labral tears with 3.0-T MRI of the shoulder. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 187: 1448-1452
109. Magosch P. Differenzialdiagnose der Schultererkrankungen. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) *Schulterchirurgie*. 4. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, 2010, pp 186-226
110. Major NM, Browne J, Domzalski T, Cothran RL, Helms CA. Evaluation of the glenoid labrum with 3-T MRI: is intraarticular contrast necessary? *AJR Am J Roentgenol* 2011; 196: 1139-1144
111. Maquirriain J, Ghisi JP, Amato S. Is tennis a predisposing factor for degenerative shoulder disease? A controlled study in former elite players. *Br J Sports Med* 2006; 40: 447-450
112. Meyer S, Lobenhoffer P. Knee and shoulder arthroscopy. Positioning and thermal injuries. *Orthopade* 2008; 37: 1056, 1058-1060, 1062-1054
113. Milano G, Grasso A, Russo A, Magarelli N, Santagada DA, Deriu L, Baudi P, Bonomo L, Fabbriciani C. Analysis of risk factors for glenoid bone defect in anterior shoulder instability. *Am J Sports Med* 2011; 39: 1870-1876
114. Modi CS, Karthikeyan S, Marks A, Saithna A, Smith CD, Rai SB, Drew SJ. Accuracy of abduction-external rotation MRA versus standard MRA in the diagnosis of intra-articular shoulder pathology. *Orthopedics* 2013; 36: e337-342
115. Möller HE. Grundlagen der MRT. In: Rummeny EJ, Reimer P, Heindel W (Hrsg) *Ganzkörper- MR-Tomographie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2002, pp 2-23
116. Murray IR, Ahmed I, White NJ, Robinson CM. Traumatic anterior shoulder instability in the athlete. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23: 387-405

117. Murray IR, Goudie EB, Petrigliano FA, Robinson CM. Functional anatomy and biomechanics of shoulder stability in the athlete. *Clin Sports Med* 2013; 32: 607-624
118. Murray PJ, Shaffer BS. Clinical update: MR imaging of the shoulder. *Sports Med Arthrosc* 2009; 17: 40-48
119. Neumann CH, Petersen SA, Jahnke AH, Jr., Steinbach LS, Morgan FW, Helms C, Genant HK, Farley TE. MRI in the evaluation of patients with suspected instability of the shoulder joint including a comparison with CT-arthrography. *Rofo* 1991; 154: 593-600
120. Neumann G, Mendicuti AD, Zou KH, Minas T, Coblyn J, Winalski CS, Lang P. Prevalence of labral tears and cartilage loss in patients with mechanical symptoms of the hip: evaluation using MR arthrography. *Osteoarthritis Cartilage* 2007; 15: 909-917
121. Nordqvist A, Petersson CJ. Shoulder injuries common in alcoholics. An analysis of 413 injuries. *Acta Orthop Scand* 1996; 67: 364-366
122. Norlin R. Intraarticular pathology in acute, first-time anterior shoulder dislocation: an arthroscopic study. *Arthroscopy* 1993; 9: 546-549
123. Ogawa H, Sumi H, Sumi Y, Shimizu K. Glenohumeral dislocations in snowboarding and skiing. *Injury* 2011; 42: 1241-1247
124. Ogul H, Bayraktutan U, Ozgokce M, Tuncer K, Yuce I, Yalcin A, Pirimoglu B, Sagsoz E, Kantarci M. Ultrasound-guided shoulder MR arthrography: comparison of rotator interval and posterior approach. *Clin Imaging* 2014; 38: 11-17
125. Oh JH, Kim JY, Choi JA, Kim WS. Effectiveness of multidetector computed tomography arthrography for the diagnosis of shoulder pathology: comparison with magnetic resonance imaging with arthroscopic correlation. *J Shoulder Elbow Surg* 2010; 19: 14-20
126. Omoumi P, Teixeira P, Lecouvet F, Chung CB. Glenohumeral joint instability. *J Magn Reson Imaging* 2011; 33: 2-16
127. Ouellette H, Labis J, Bredella M, Palmer WE, Sheah K, Torriani M. Spectrum of shoulder injuries in the baseball pitcher. *Skeletal Radiol* 2008; 37: 491-498
128. Owens BD, Dawson L, Burks R, Cameron KL. Incidence of shoulder dislocation in the United States military: demographic considerations from a high-risk population. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91: 791-796
129. Page R, Bhatia DN. Arthroscopic repair of a chondrolabral lesion associated with anterior glenohumeral dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 1748-1751

130. Pavic R, Margetic P, Bensic M, Brnadac RL. Diagnostic value of US, MR and MR arthrography in shoulder instability. *Injury* 2013; 44 Suppl 3: S26-32
131. Peruto CM, Ciccotti MG, Cohen SB. Shoulder arthroscopy positioning: lateral decubitus versus beach chair. *Arthroscopy* 2009; 25: 891-896
132. Phillips JC, Cook C, Beaty S, Kissenberth MJ, Siffri P, Hawkins RJ. Validity of noncontrast magnetic resonance imaging in diagnosing superior labrum anterior-posterior tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2013; 22: 3-8
133. Plate JF, Bates CM, Mannava S, Smith TL, Jorgensen MJ, Register TC, Stehle JR, High KP, Shively CA, Kaplan JR, Saul KR, Tuohy CJ. Age-related degenerative functional, radiographic, and histological changes of the shoulder in nonhuman primates. *J Shoulder Elbow Surg* 2013; 22: 1019-1029
134. Pope EJ, Ward JP, Rokito AS. Anterior shoulder instability - a history of arthroscopic treatment. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2011; 69: 44-49
135. Probyn LJ, White LM, Salonen DC, Tomlinson G, Boynton EL. Recurrent symptoms after shoulder instability repair: direct MR arthrographic assessment--correlation with second-look surgical evaluation. *Radiology* 2007; 245: 814-823
136. Reimer P, Vosschenrich R. Kontrastmittel in der MRT Substanzen, Wirkungen, Pharmakologie und Zulassung. *Radiologe* 2004; 44: 273-283
137. Ricchetti ET, Ciccotti MC, Ciccotti MG, Williams GR, Jr., Lazarus MD. Sensitivity of preoperative magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography in detection of panlabral tears of the glenohumeral joint. *Arthroscopy* 2013; 29: 274-279
138. Rieker O, Mildenerberger P, Rudig L, Schweden F, Thelen M. 3D CT of fractures: comparison of volume and surface reconstruction. *Rofo* 1998; 169: 490-494
139. Rowan KR, Andrews G, Spielmann A, Leith J, Forster BB. MR shoulder arthrography in patients younger than 40 years of age: frequency of rotator cuff tear versus labroligamentous pathology. *Australas Radiol* 2007; 51: 257-259
140. Rowe CR, Sakellarides HT. Factors related to recurrences of anterior dislocations of the shoulder. *Clin Orthop* 1961; 20: 40-48
141. Saleem AM, Lee JK, Novak LM. Usefulness of the abduction and external rotation views in shoulder MR arthrography. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 191: 1024-1030
142. Sasyniuk TM, Mohtadi NG, Hollinshead RM, Russell ML, Fick GH. The inter-rater reliability of shoulder arthroscopy. *Arthroscopy* 2007; 23: 971-977
143. Saupe N, Zanetti M, Pfirrmann CW, Wels T, Schwenke C, Hodler J. Pain and other side effects after MR arthrography: prospective evaluation in 1085 patients. *Radiology* 2009; 250: 830-838

144. Scheuer I, Lies A. [Traumatic lesions of the capsula and tendons of the shoulder joint, rupture of the rotator cuff, strain fractures (author's transl)]. Unfallchirurgie 1980; 6: 219-224
145. Schmid MR, Hodler J. MRT und MR-Arthrographie. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) Schulterchirurgie. 4. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, 2010, pp 142-162
146. Schulte-Altedorneburg G, Gebhard M, Wohlgemuth WA, Fischer W, Zentner J, Wegener R, Balzer T, Bohndorf K. MR arthrography: pharmacology, efficacy and safety in clinical trials. Skeletal Radiol 2003; 32: 1-12
147. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Obere Extremität. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U (Hrsg) Prometheus - Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, pp 208-357
148. Schwarzmüller-Erber G, Silberstein E. Kontrastmittel in der MRT. In: Schwarzmüller-Erber G, Silberstein E (Hrsg) Angewandte Magnetresonanztomographie, Grundlagen und Anwendungen. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien, 2010, pp 78-87
149. Shahabpour M, Kichouh M, Laridon E, Gielen JL, De Mey J. The effectiveness of diagnostic imaging methods for the assessment of soft tissue and articular disorders of the shoulder and elbow. Eur J Radiol 2008; 65: 194-200
150. Shellock FG, Bert JM, Fritts HM, Gundry CR, Easton R, Crues JV, 3rd. Evaluation of the rotator cuff and glenoid labrum using a 0.2-Tesla extremity magnetic resonance (MR) system: MR results compared to surgical findings. J Magn Reson Imaging 2001; 14: 763-770
151. Shin SJ, Yun YH, Kim DJ, Yoo JD. Treatment of traumatic anterior shoulder dislocation in patients older than 60 years. Am J Sports Med 2012; 40: 822-827
152. Smith TO, Drew BT, Toms AP. A meta-analysis of the diagnostic test accuracy of MRA and MRI for the detection of glenoid labral injury. Arch Orthop Trauma Surg 2012; 132: 905-919
153. Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of the shoulder. Arthroscopy 1990; 6: 274-279
154. Song HT, Huh YM, Kim S, Lee SA, Kim SJ, Shin KH, Suh JS. Anterior-inferior labral lesions of recurrent shoulder dislocation evaluated by MR arthrography in an adduction internal rotation (ADIR) position. J Magn Reson Imaging 2006; 23: 29-35
155. Steinbach LS. MRI of shoulder instability. Eur J Radiol 2008; 68: 57-71

156. Svendsen SW, Gelineck J, Mathiassen SE, Bonde JP, Frich LH, Stengaard-Pedersen K, Egund N. Work above shoulder level and degenerative alterations of the rotator cuff tendons: a magnetic resonance imaging study. *Arthritis Rheum* 2004; 50: 3314-3322
157. Tas M, Canbora MK, Kose O, Egerci OF, Gem M. Demographic and clinical characteristics of traumatic shoulder dislocations in an urban city of Turkey: a retrospective analysis of 208 cases. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2013; 47: 147-152
158. Taylor DC, Arciero RA. Pathologic changes associated with shoulder dislocations. Arthroscopic and physical examination findings in first-time, traumatic anterior dislocations. *Am J Sports Med* 1997; 25: 306-311
159. te Slaa RL, Wijffels MP, Brand R, Marti RK. The prognosis following acute primary glenohumeral dislocation. *J Bone Joint Surg Br* 2004; 86: 58-64
160. Theodoropoulos JS, Andreisek G, Harvey EJ, Wolin P. Magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography of the shoulder: dependence on the level of training of the performing radiologist for diagnostic accuracy. *Skeletal Radiol* 2010; 39: 661-667
161. Thomas M, Busse M. SLAP-Läsion der Schulter: Ätiologie, Klassifikation, Diagnostik und Therapie. *KCS* 2005; 6: 9-18
162. Tian CY, Cui GQ, Zheng ZZ, Ren AH. The added value of ABER position for the detection and classification of anteroinferior labroligamentous lesions in MR arthrography of the shoulder. *Eur J Radiol* 2013; 82: 651-657
163. Tischer T, Anetzberger H, Müller-Gerbl M, Imhoff AB. Arthroskopisch relevante Anatomie der Schulterinstabilität. *Arthroskopie* 2004; 17: 133-138
164. Vaeckenstedt J, Friederich NF. [Shoulder problems in leisure athletes: physical examination, diagnosis and therapy. Sensible procedures in daily practice]. *Schweiz Med Wochenschr* 1996; 126: 447-456
165. Vahlensieck M, Hodler J. Schulter. In: Vahlensieck M, Reiser M (Hrsg) *MRT des Bewegungsapparats*. 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2006, pp 85-139
166. Vahlensieck M, Peterfy CG, Wischer T, Sommer T, Lang P, Schlippert U, Genant HK, Schild HH. Indirect MR arthrography: optimization and clinical applications. *Radiology* 1996; 200: 249-254
167. van der Veen HC, Collins JP, Rijk PC. Value of magnetic resonance arthrography in post-traumatic anterior shoulder instability prior to arthroscopy: a prospective

- evaluation of MRA versus arthroscopy. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012; 132: 371-375
168. van Grinsven S, Kesselring FO, van Wassenaeer-van Hall HN, Lindeboom R, Lucas C, van Loon CJ. MR arthrography of traumatic anterior shoulder lesions showed modest reproducibility and accuracy when evaluated under clinical circumstances. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007; 127: 11-17
169. Van Tongel A, Tung T, Stranges G, MacDonald P. Double Hill-Sachs lesion: a report of two cases. *Acta Orthop Belg* 2011; 77: 552-554
170. Vandevenne JE, Vanhoenacker F, Beaulieu CF, Bergman AG, Butts Pauly K, Dillingham MF, Lang PK. All-in-one magnetic resonance arthrography of the shoulder in a vertically open magnetic resonance unit. *Acta Radiol* 2008; 49: 918-927
171. Vestring T, Bongartz G, Konermann W, Erlemann R, Reuther G, Krings W, Saathoff J, Drescher H, Peters PE. [The place of magnetic resonance tomography in the diagnosis of diseases of the shoulder joint]. *Rofo* 1991; 154: 143-149
172. Volpi D, Olivetti L, Budassi P, Genovese E. Capsulo-labro-ligamentous lesions of the shoulder: evaluation with MR arthrography. *Radiol Med* 2003; 105: 162-170
173. Waldt S, Bruegel M, Mueller D, Holzapfel K, Imhoff AB, Rummeny EJ, Woertler K. Rotator cuff tears: assessment with MR arthrography in 275 patients with arthroscopic correlation. *Eur Radiol* 2007; 17: 491-498
174. Waldt S, Burkart A, Imhoff AB, Bruegel M, Rummeny EJ, Woertler K. Anterior shoulder instability: accuracy of MR arthrography in the classification of anteroinferior labroligamentous injuries. *Radiology* 2005; 237: 578-583
175. Waldt S, Burkart A, Lange P, Imhoff AB, Rummeny EJ, Woertler K. Diagnostic performance of MR arthrography in the assessment of superior labral anteroposterior lesions of the shoulder. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 182: 1271-1278
176. Waldt S, Metz S, Burkart A, Mueller D, Bruegel M, Rummeny EJ, Woertler K. Variants of the superior labrum and labro-bicipital complex: a comparative study of shoulder specimens using MR arthrography, multi-slice CT arthrography and anatomical dissection. *Eur Radiol* 2006; 16: 451-458
177. Wambacher M, Oberladstätter J, Rieger M. Konventionelle Radiologie und Computertomographie der Schulter. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) *Schulterchirurgie*. 4. Auflage, Urban & Fischer München, 2010, pp 99-139
178. Weber SC, Abrams JS, Nottage WM. Complications associated with arthroscopic shoulder surgery. *Arthroscopy* 2002; 18: 88-95

179. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. Aufbau eines MR-Tomographen. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (Hrsg) Wie funktioniert MRI? 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2009, pp 37-40
180. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. Bildkontrast. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (Hrsg) Wie funktioniert MRI? 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2009, pp 9-16
181. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. MR-Kontrastmittel. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (Hrsg) Wie funktioniert MRI? 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2009, pp 89-120
182. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. Sicherheit und Risiken. In: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (Hrsg) Wie funktioniert MRI? 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2009, pp 137-142
183. Welsch U. Bewegungsapparat. In: Welsch U (Hrsg) Lehrbuch Histologie - Zytologie, Histologie, Mikroskopische Anatomie. 1. Auflage, Elsevier GmbH, München, 2003, pp 259-270
184. Wetzke M, Happle C. Grundlagen der bildgebenden Diagnostik. In: Wetzke M (Hrsg) Bildgebende Verfahren, Basics. Urban & Fischer München, 2009, pp 1-17
185. Wiedemann E. Offene Stabilisierungsverfahren bei der Schulterinstabilität. In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) Schulterchirurgie. Urban & Fischer München, 2010, pp 438-466
186. Wiedemann E. Pathologie und Pathomechanik der Schulterinstabilität In: Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (Hrsg) Schulterchirurgie. 4. Auflage, Urban & Fischer, München, 2010, pp 22-34
187. Will CH, Zander H, Chmielewski W, Koop H. A combination of conventional single contrast arthrography with arthro-CT of the shoulder--an evaluation of 78 cases. Aktuelle Radiol 1993; 3: 309-312
188. Wischer TK, Bredella MA, Genant HK, Stoller DW, Bost FW, Tirman PF. Perthes lesion (a variant of the Bankart lesion): MR imaging and MR arthrographic findings with surgical correlation. AJR Am J Roentgenol 2002; 178: 233-237
189. Wood VJ, Sabick MB, Pfeiffer RP, Kuhlman SM, Christensen JH, Curtin MJ. Glenohumeral muscle activation during provocative tests designed to diagnose superior labrum anterior-posterior lesions. Am J Sports Med 2011; 39: 2670-2678
190. Workman TL, Burkhard TK, Resnick D, Goff WB, 2nd, Balsara ZN, Davis DJ, Lapoint JM. Hill-Sachs lesion: comparison of detection with MR imaging, radiography, and arthroscopy. Radiology 1992; 185: 847-852
191. Wörtler K. [Shoulder injuries in overhead sports]. Radiologe 2010; 50: 453-459

192. Wülker N, Ruhmann O. [MRI in dislocation and instability of the shoulder joint]. *Orthopade* 2001; 30: 492-501
193. Yu D, Turmezei TD, Kerslake RW. FIESTA: an MR arthrography celebration of shoulder joint anatomy, variants, and their mimics. *Clin Anat* 2013; 26: 213-227
194. Zanetti M, Jost B, Lustenberger A, Hodler J. Clinical impact of MR arthrography of the shoulder. *Acta Radiol* 1999; 40: 296-302
195. Zanetti M, Mamisch-Saupe N. [Magnetic resonance imaging of the shoulder: impingement and instability related abnormalities--update 2013]. *Radiologe* 2013; 53: 917-934
196. Zanetti M, Saupe N. [MR imaging of the shoulder. Impingement and instability-related abnormalities]. *Radiologe* 2006; 46: 79-89; quiz 90-71
197. Zeiler C, Wiedemann E, Brunner U, Mutschler W. Schulterdiagnostik. *Trauma Berufskrankh* 2003; 5: S108-S113

13. Anhang

Auswertungsbogen

Datum		MRT/MRA	
Patientennummer		Untersuchungsdatum	
Codierung		Seite	
Vorgangsnummer		Radiologe	

Labrum glenoidale

anterior-superior	anterior-inferior		posterior-superior	posterior-inferior	Befund	Beurteilbarkeit	Bemerkung
						[0 - 3]	
☐	☐		☐	☐	= Normalbefund		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= Degeneration innerhalb des Labrums		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= einfacher Riss (inkomplett)		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= einfacher Riss (komplett)		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= Komplexer Riss (inkomplett)		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= Komplexer Riss (komplett)		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= diffuse Signalverstärkung		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= Labrumverkleinerung		nach Neumann; Hüfte (2007)[120]
☐	☐		☐	☐	= Avulsion / Einriss an Labrumbasis		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= Dislokation des Labrums		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= Beteiligung der Gelenkkapsel		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= Sehnenbeteiligung		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= knöcherne Beteiligung		nach Vahlensieck, Hodler; Schulter (2006) [165]
☐	☐		☐	☐	= Labrumzyste(n)		

Knorpel (Fossa glenoidalis)

anterior-superior	anterior-inferior	central	posterior-superior	posterior-inferior	Befund	Bemerkung
☐	☐	☐	☐	☐	= Oberfläche glatt (Normalbefund)	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Signalheterogenität	<i>nach Neumann; Hüfte (2007)[120]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Oberfläche unregelmäßig (fissuring)	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung <50% der Knorpeldicke	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung ≥50% der Knorpeldicke	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung komplett bis zum Knochen	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>

Knorpel (Humerus)

anterior-superior	anterior-inferior	central	posterior-superior	posterior-inferior	Befund	Bemerkung
☐	☐	☐	☐	☐	= Oberfläche glatt (Normalbefund)	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Signalheterogenität	<i>nach Neumann; Hüfte (2007)[120]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Oberfläche unregelmäßig	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung <50% der Knorpeldicke	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung ≥50% der Knorpeldicke	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>
☐	☐	☐	☐	☐	= Verletzung komplett bis zum Knochen	<i>nach Lecouvet; Schulter (2007)[95]</i>

Sonstige pathologische Veränderungen:

Läsion	Lokalisation	Bemerkung
☐		
☐		
☐		
☐		
☐		

14. Publikationen

Die vorliegende Arbeit ist zur Publikation im Journal *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren (Fortschr Röntgenstr)* vorgesehen.

15. Erklärung zur Dissertation

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tier-schutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

Ort, Datum

Unterschrift

16. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei all denen bedanken, die an der Fertigstellung meiner Promotionsarbeit mitwirkten.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. Gabriele A. Krombach, Direktorin der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Gießen, für die Überlassung des Themas sowie für die umfangreiche Unterstützung und sehr gute Betreuung bei dieser Promotionsarbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Oberarzt Dr. med. Christian Schneider für seine Unterstützung bzw. Hilfestellung und Beantwortung von Fragen zum Thema MRT und MRA bedanken.

Außerdem möchte ich der gesamten radiologischen Abteilung für ihre freundliche Unterstützung danken. Besonders danken möchte ich Frau Schmieder für die Koordination zahlreicher Termine und Frau Weber, welche eine Vielzahl von archivierten Patientenbildern verfügbar machen konnte.

Für die statistische Auswertung bedanke ich mich bei Herrn Prof. Uwe Ligges von der Technischen Universität Dortmund.

Für die Überarbeitung und Korrektur der englischen Übersetzung bedanke ich mich bei Herrn Peter Ottway.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei meiner Familie, bei meinen Freunden und besonders bei meinem Ehemann Thomas, der mir während meines Studiums und meiner Promotionszeit immer zur Seite stand.