



Technische Universität München
Fakultät für Medizin



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar
Direktor: Prof. Dr. Andreas B. Imhoff

Pathomorphologische Veränderungen der asymptomatischen Sportlerschulter des jugendlichen Athleten

Christopher Joachim Reuß

Vollständiger Abdruck der von der
Fakultät für Medizin der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin (Dr. med.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. Peter U. Brucker
2. Prof. Dr. Andreas B. Imhoff

Die Dissertation wurde am 20.02.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 04.07.2018 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Anatomie des Schultergürtels	1
1.1.1 Klavikula	1
1.1.2 Skapula	2
1.1.3 Humerus	3
1.1.4 Glenohumeralgelenk.....	4
1.2 Biomechanik des Schultergürtels.....	6
1.3 Ätiologie und Epidemiologie der Werferschulter.....	9
1.3.1 Die Werferschulter	9
1.3.2 Ursächliche Faktoren und pathologische Konzepte der Werferschulter	12
1.3.3 Sportartspezifische Unterschiede der Werferschulter	20
1.3.4 Prinzipien in der Therapie der Werferschulter	23
1.3.5 Literaturüberblick und offene Fragen.....	28
2 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit.....	29
3 Material und Methodik	30
3.1 Probandengut	30
3.2 Fragebogen und klinische Scores	32
3.2.1 Visuelle Analogskala.....	32
3.2.2 WOSI Index.....	32
3.2.3 Rowe Scale	33
3.2.4 ASES Score	33
3.2.5 Constant-Murley Score.....	34
3.2.6 ASOR Scale.....	35
3.3 Klinische Untersuchung.....	36
3.4 Magnetresonanztomographie.....	40
3.5 Statistische Methoden	41
4 Ergebnisse.....	42
4.1 Klinische Scores	42
4.2 Klinische Untersuchung.....	43
4.3 Magnetresonanztomographie.....	49

5 Diskussion	53
5.1 Fragebogen und klinische Scores	54
5.2 Klinische Untersuchung.....	58
5.3 Magnetresonanztomographie.....	65
5.4 Limitationen.....	71
6 Zusammenfassung	75
Abbildungsverzeichnis	77
Tabellenverzeichnis	79
Literaturverzeichnis	80
Anhang A: Frage- und Untersuchungsbogen.....	91
Anhang B: Frage- und Untersuchungsbogen.....	92
Danksagung	107

Abkürzungsverzeichnis

ABER:	<i>Abduction and External Rotation</i> , 90° Abduktion und Außenrotation im Glenohumeralgelenk
AC-Gelenk:	Akromioklavikulargelenk
ADL:	<i>Activities of Daily Life</i> , Aktivitäten des täglichen Lebens
ASES Score:	<i>American Shoulder and Elbow Surgeons Score</i>
ASOR Scale:	<i>Athletic Shoulder Outcome Rating Scale</i>
BLV:	Bayerischer Leichtathletik Verband
BMI:	<i>Body Mass Index</i>
BVV:	Bayerischer Volleyball Verband
CKC-UE:	<i>Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test</i>
CMS:	<i>Constant Murley Score</i>
DLV:	Deutscher Leichtathletik Verband
ERG:	<i>External Rotation Gain</i> , Zugewinn von Außenrotation
FTPI:	<i>Functional Throwing Performance Index</i>
GIRD:	Glenohumerales Innenrotationsdefizit
LBS:	Lange Bizepssehne
LMU:	Ludwig Maximilians Universität München
LSST:	<i>Lateral Scapular Slide Test</i>
MCID:	<i>Minimal Clinically Important Difference</i>
NSAR:	Nicht Steroidale Antirheumatika
MRT:	Magnetresonanztomographie
PD:	Protonendichte
RM:	Rotatorenmanschette
ROWE:	Rowe Scale

SLAP:	<i>Superior Labrum Anterior and Posterior</i>
SOS:	<i>Sum of Scores</i> , Summe der Scores
TRM:	<i>Total Range of Motion</i> , Gesamtbewegungsausmaß
TUM:	Technische Universität München
VAS:	Visuelle Analogskala
WOSI Index:	<i>Western Ontario Shoulder Instability Index</i>

1 Einleitung

So begeisternd Überkopfsportarten wie Speerwurf, Volleyball, Baseball, Handball usw. für den Zuschauer sind, so tragisch und weitreichend sind die Konsequenzen für den Athleten, die aus Verletzungen der Schulter resultieren können. Durch die hohe Belastung der Weichteile und Knochen bei Wurf- und Schlagbewegungen über Schulterniveau resultieren häufig Verletzungen des Bewegungsapparates, bei denen nicht selten die Karriere des Überkopfsportlers auf dem Spiel steht. Die enorme Präzision und Kraft, welche Sportler mit dem Ball, Speer oder anderen Wurfgeräten erzielen können, werden erst durch die außerordentliche Mobilität des Schultergelenkes ermöglicht (Prescher 2000). Dieses besitzt das größte Bewegungsausmaß aller Gelenke des menschlichen Körpers. Die Bewegungsfreiheit wird allerdings durch eine hohe Anfälligkeit für Verletzungen und Schädigungen durch Überbelastungen erkaufte (Prescher 2000).

1.1 Anatomie des Schultergürtels

Der knöcherne Schultergürtel wird von Skapula und Klavikula gebildet und stellt die Verbindung zwischen oberer Extremität und Rumpf dar. Drei Einzelgelenke, die Articulatio sternoclavicularis, die Articulatio acromioclavicularis und das eigentliche Schultergelenk, die Articulatio glenohumeralis sorgen für die knöcherne Verbindung des Humerus mit dem Thorax (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). Von Bedeutung für die physiologische Schulterbewegung ist zudem das subakromiale Nebengelenk und die skapulothorakale Verbindung (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008)

1.1.1 Klavikula

Der Klavikula, dem einzigen knöchernen Verbindungsstück von Schultergelenk und Thorax, kommt die Aufgabe der Stabilisierung des Glenohumeralgelenkes in der parasagittalen Ebene zu (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). So werden, insbesondere bei abduziertem Oberarm, Kraft- und Bewegungsausmaß im Schultergelenk verbessert und somit die Voraussetzungen für die Wurffleistung optimiert (Rasmussen *et al.* 2011). Das Sternoklavikulargelenk ist ein Kugelgelenk,

besitzt also drei Freiheitsgrade, um die sich das Schlüsselbein wie in einem Kegelmantel bewegen kann (Abbildung 1.1) (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008).

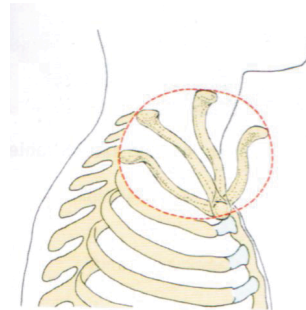


Abbildung 1.1: Bewegungsausmaß des akromialen Endes der Klavikula (Benninghoff und Drenckhahn 2008)

1.1.2 Skapula

Die Skapula hingegen ist lediglich in Muskelschlingen am Rumpf aufgehängt und nur über das Akromioklavikulargelenk (AC-Gelenk) knöchern und unterstützt durch Bandverbindungen (Lig. acromioclaviculare, Ligg. coracoclaviculare), mit dem Schlüsselbein verbunden (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). Sie besitzt also keine direkte ossäre Verbindung zum Thorax, kann jedoch entlang der Thoraxwand gleiten und Position sowie Rotations-, Flexions- und Abduktionswinkel ändern. Das Schulterblatt ist somit essenziell für die Bewegungen im Schultergelenk und bildet durch seine Mobilität die stabilisierende, flexible Basis für die enormen Bewegungsausmaße und die Kraftentwicklung des Armes (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). Auch das Akromioklavikulargelenk entspricht ebenso wie das Sternoklavikulargelenk in seinem Bewegungsumfang einem Kugelgelenk. Die Position und räumliche Orientierung der Skapula wird durch Bewegungen dieser beider Gelenke, die fast ausschließlich kombiniert vorkommen, bestimmt (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). Anschaulich wird die physiologische Bedeutung der Mobilität von Klavikula und Skapula bei Patienten mit Zustand nach Schultergelenksarthrodese oder dem Krankheitsbild der Periarthropathia humeroscapularis ankylosans, bei denen trotz einer Versteifung des Glenohumeralgelenkes noch immer ca. 1/3 der normalen Abduktion des Oberarmes erreicht wird (Schünke *et al.* 2011).

1.1.3 Humerus

Der Oberarm ist das ausführende Organ der Bewegungen im Schultergelenk, hier befinden sich die Ansätze der meisten Schultermuskeln. Die sagittale Abflachung des Thorax während der Ontogenese bewirkt im Verlauf der Entwicklung zum Erwachsenen eine Drehung der Schulterblattebene nach außen (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008). Um den physiologischen Arbeitsraum des Unterarmes vor dem Körper und somit im Blickfeld zu halten, vergrößert sich der Torsionswinkel des Humerus (Abbildung 1.2).

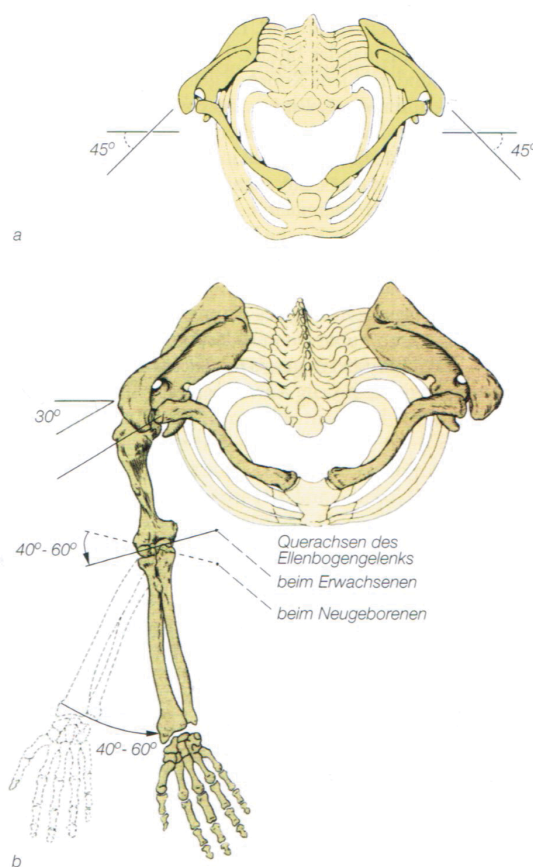


Abbildung 1.2: Schulterblatt- und Humerustorsionswinkel des Neugeborenen (a) und Erwachsenen (b) (Benninghoff und Drenckhahn 2008)

Der Torsionswinkel bezeichnet die Abweichung der transversalen Achse des Ellenbogengelenkes von der Gelenkfläche des Humeruskopfes, also die Verdrehung des Humerus in sich. Eine Veränderung dieses Winkels findet noch bis in das frühe Erwachsenenalter statt, da die proximale Epiphysenfuge des Humerus eine der letzten ist, die sich verschließt. Sie ist bei lediglich 20% der 18-jährigen vollständig

verknöchert (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Cowgill 2007; Roach *et al.* 2012), kann sich also gerade in der Adoleszenz noch leicht unterschiedlichen Anforderungen und Belastungen anpassen (Hibberd *et al.* 2014).

1.1.4 Glenohumeralgelenk

Die Art. glenohumeralis, das eigentliche Schultergelenk, ist das Kugelgelenk des menschlichen Körpers mit dem größten Bewegungsausmaß. Dieses wird neben der Mobilität der Skapula durch ein Flächenungleichgewicht zwischen Gelenkkopf und Gelenkpfanne ermöglicht. So artikuliert nur ein kleiner Teil der Fläche des Humeruskopfes mit dem Glenoid (Lippitt und Matsen 1993), die Oberfläche der Cavitas glenoidale trägt nur etwa ein Viertel bis ein Drittel derer, des Caput humeri (Tischer und Putz 2003). Außerdem ist die Gelenkkapsel weit und die Bänder relativ schwach. Die hieraus resultierende Mobilität bringt jedoch auch eine gewisse Instabilität des Gelenkes mit sich, welche jedoch durch dynamische und statische Stabilisatoren kompensiert wird (Braun *et al.* 2009). Zu den dynamischen Stabilisatoren zählen sowohl die Mm. supraspinatus, infraspinatus, subscapularis und teres minor, die als Rotatorenmanschette funktionell zusammengefasst werden, als auch die Sehne des langen Kopfes des M. biceps brachii, zudem weitere skapulothorakale Muskeln (Lippitt und Matsen 1993). Gemeinsam mit den statischen Stabilisatoren, also dem Labrum glenoidale und der Gelenkkapsel, umhüllen sie das Gelenk vollständig und zentrieren und pressen den Humeruskopf zur Stabilisierung in die konkav geformte Pfanne (Lippitt und Matsen 1993). Die knöchernen Strukturen unterstützend führen und stabilisieren sie die Bewegungen des Oberarmes (Braun *et al.* 2009). Das zirkuläre, faserknorpelige und fibröse Labrum glenoidale vergrößert den Pfannendurchmesser um ca. ein Drittel, dies verbessert die Stabilität des Schultergelenkes zusätzlich (Tischer und Putz 2003). Die relativ weite Kapsel ist durch zahlreiche Bänder verstärkt. Neben dem Lig. coracohumerale, welches sowohl die Translation des Schultergelenks nach unten bei angelegtem, wie auch die Außenrotation bei abduziertem Arm begrenzt (Basmajian und Bazant 1959; Kuhn *et al.* 2000), spielen hierbei vor allem die Ligg. glenohumeralia eine entscheidende Rolle. Besonders das Lig. glenohumerale inferior ist in Bezug auf Wurfsporler von besonderer Bedeutung. Es besteht aus jeweils einem verstärkten Band anterior und posterior, zwischen denen sich eine axilläre Tasche ausbildet (O'Brien *et al.* 1990). Bei Abduktion im Glenohumeralgelenk wirken diese beiden verstärkten Bänder wie eine Hängematte, in welcher der Humeruskopf aufgehängt ist und nach

vorne und hinten stabilisiert wird (Abbildung 1.3). Bei Außenrotation des abduzierten Armes wirkt das anteriore Band limitierend und stabilisierend, bei Innenrotation entsprechend das posteriore (O'Brien *et al.* 1990).

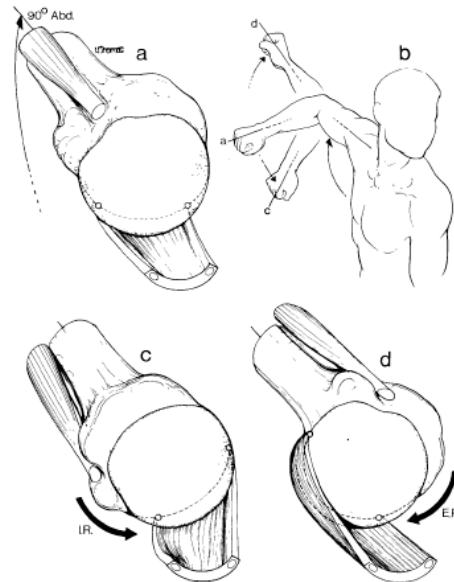


Abbildung 1.3: Schemazeichnung von anteriorem und posteriorem Band des inferioren glenohumeralen Ligaments und seiner Funktion bei abduziertem Arm in Neutralstellung (a,b), Innenrotation (b,c) und Außenrotation (b,d). (O'Brien *et al.* 1990 (S. 455))

Ist das Gleichgewicht dieser beiden Strukturen aufgrund einer bei Wurfspielern häufig vorkommenden verkürzten posteroinferioren Kapsel gestört, verschiebt sich der Kontaktpunkt der Gelenkflächen im Schultergelenk und Pathologien und Instabilitäten können entstehen (Burkhart *et al.* 2003a).

Die Sehnen der Rotatorenmanschette strahlen ebenfalls in die Gelenkkapsel ein, wirken somit stabilisierend und verhindern deren Einklemmen. Besonders im ansatznahen Teil sind die Sehnen jedoch schlecht vaskularisiert und somit anfällig für degenerative Veränderungen (Prescher 2000; Rathbun und Macnab 1970). Im oberen Teil der Kapsel befindet sich ein nicht von Sehnen oder Muskeln unterstützter Teil, der jedoch intrakapsulär durch die lange Bizepssehne (LBS) geschützt wird. Diese inseriert nach intraartikulärem Verlauf mit formgebenden Fasern am Labrum, die stabilisierenden Elemente setzen überwiegend am Tuberculum glenoidale an (Barthel *et al.* 2003).

Das Schulterdach schließlich wird vom Lig. coracoacromiale gebildet, welches das Akromion mit dem Proc. coracoideus verbindet. Der Raum zwischen Schulterdach und

Humeruskopf bildet durch die Bursae subacromialis und subdeltoidea ein Gleitlager für den M. supraspinatus und wird als subakromiales Nebengelenk bezeichnet. Dies ist häufig der Ort, an dem Impingementbeschwerden entstehen (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008; Schünke *et al.* 2011). Zur Druckverteilung, Unterstützung der Gleitfähigkeit und Minderung von Reibungsvorgängen der Muskelsehnen befinden sich um das Schultergelenk zahlreiche weitere Schleimbeutel. Sind diese entzündet oder anderweitig beeinträchtigt, kann es zu Schmerzen und Bewegungseinschränkungen im Schultergelenk kommen (Benninghoff und Drenckhahn 2008; Drenckhahn 2008).

1.2 Biomechanik des Schultergürtels

Die Aufgabe des Schultergürtels besteht neben der Befestigung des Armes am Rumpf aus der optimalen Ermöglichung von Bewegungen des Humerus. Diese Mobilität ist in vollem Maße nur durch ein Zusammenspiel und die volle Funktionsfähigkeit aller Gelenke und gelenkartigen Verbindungen des Schultergürtels möglich (Benninghoff 2008; Drenckhahn 2008). Besonders die Skapula ist als direkter Artikulationspartner des Humerus von Bedeutung, da sie die Basis des Glenohumeralgelenks bildet. Bei guter Funktionalität der Skapula sind weniger mobilitätsmindernde Stabilisatoren zwischen Pfanne und Kopf nötig, die zu einer Einschränkung des Bewegungsausmaßes des Gelenkes führen würden (Lippitt und Matsen 1993).

Die Unterstützung der Skapula bei Bewegungen des Armes wird als skapulothorakaler Rhythmus bezeichnet. Ist dieser gestört, können Impingementbeschwerden, Läsionen der Muskeln der Rotatorenmanschette, glenohumerale Instabilitäten sowie Kapselbeschwerden entstehen (Ludewig und Reynolds 2009). Bei Flexionsbewegungen und Elevation des Armes in der Schulterblattebene kann eine Abduktion, Außenrotation und Retraktion der Skapula beobachtet werden. Zur Verdeutlichung der Bewegungsrichtung der Skapula siehe Abbildung 1.4.

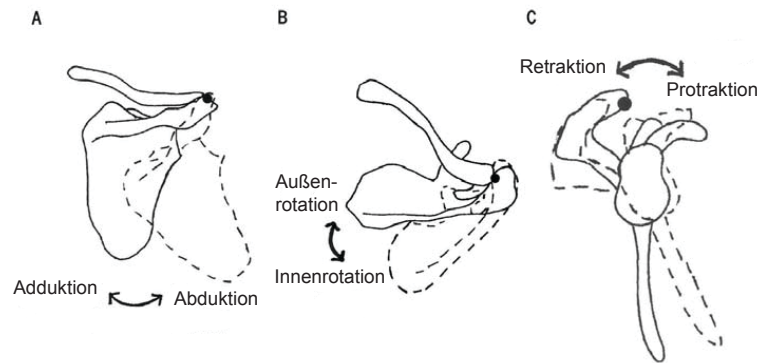


Abbildung 1.4: Skapulakinematik in der Ansicht von posterior (A), superior (B) und lateral (C). Die Rotationsachsen sind durch schwarze Punkte gekennzeichnet. (modifiziert nach Borich et al. 2006 (S. 927))

Die kombinierte Bewegung von Sternoklavikulargelenk und Akromioklavikulargelenk führt außerdem zu einer Elevation und Retraktion der Klavikula, welche in einer Translation des Schulterblattes nach hinten-oben resultiert. Die Bewegungsausmaße von Klavikula und Skapula verhalten sich hierbei relativ linear zu denen, des Humerus (Abbildung 1.5) (McClure et al. 2001).

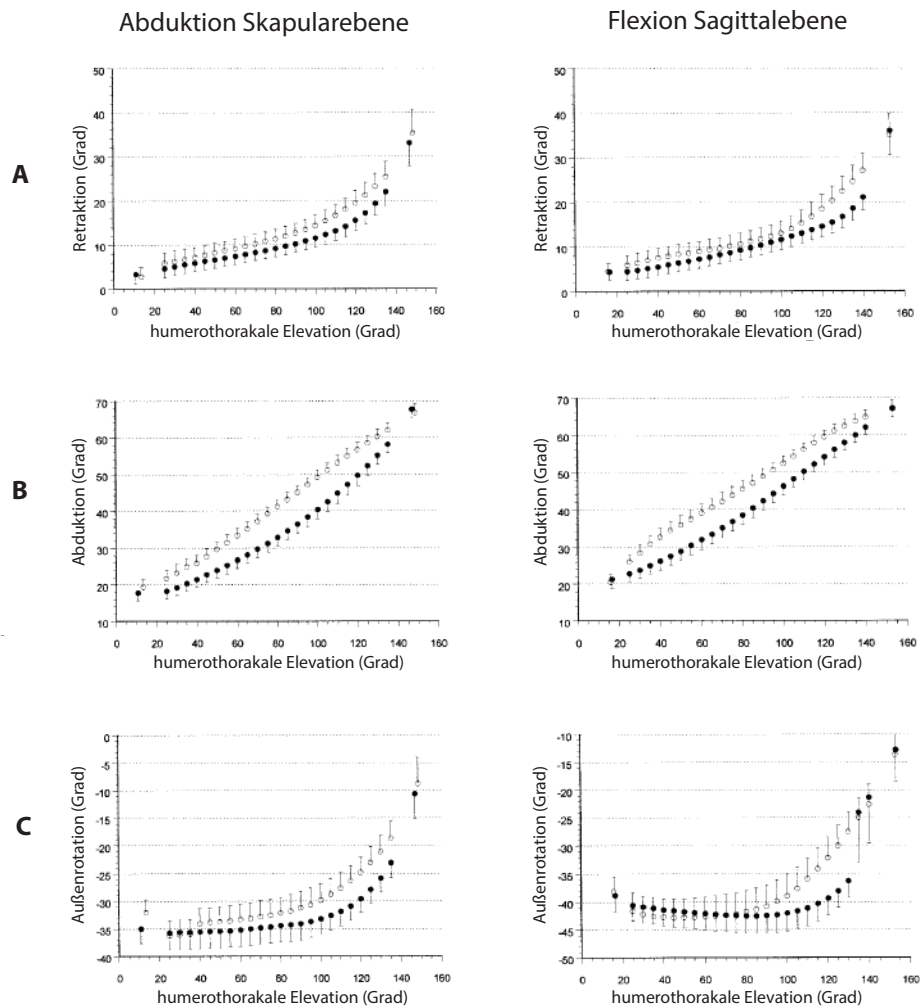


Abbildung 1.5: Retraktion (A), Abduktion (B) und Außenrotation (C) der Skapula bei Abduktion des Humerus in der Skapularebene (links) und Flexion in der Sagittalebene (rechts). Schwarzer Punkt = Aufwärtsbewegung, Weißer Punkt = Abwärtsbewegung des Armes. (modifiziert nach McClure et al. 2001 (S. 271, 272))

Es kann somit ein Verhältnis des Abduktionswinkels der Skapula zu dem des Humerus beschrieben werden, der skapulohumerale Rhythmus. Dieser wird in der Literatur mit 1:2 angegeben (McClure et al. 2001), abhängig von der Messmethode werden Varianten von 1:1,25 bis 1:3,2 beschrieben (Ludewig et al. 1996; Poppen und Walker 1976). Die Retraktion und Außenrotation des Schulterblattes setzen hingegen erst bei höheren Abduktionswinkeln ein, der Beginn des Hauptausmaßes dieser Bewegungen wird ab etwa 90° Abduktion beschrieben (McClure et al. 2001).

1.3 Ätiologie und Epidemiologie der Werferschulter

1.3.1 Die Werferschulter

Die Werferschulter oder Sportlerschulter ist definiert als eine Leistungseinschränkung, hervorgerufen durch Schmerzen in der Schulter bei wiederholter, sportartspezifischer Belastung (Burkhart *et al.* 2003a). Prädestinierend sind alle Sportarten, denen eine repetitive Überkopfbelastung zugrunde liegt, insbesondere Wurf- und Schlagsportarten wie Baseball, Speerwurf und Volleyball. Aber auch Racket- und Kraftsportarten weisen diese Belastung auf und bergen die Gefahr einer chronischen, belastungsabhängigen oder durch traumatische Ereignisse verursachten Schädigung von Weichteilstrukturen im Schultergelenk (Seil *et al.* 2005). Die Problematik wird als *Dead-Arm-Syndrom* beschrieben und ist charakterisiert durch einen stechenden Schmerz, der vorwiegend im Moment der maximalen Ausholbewegung oder beim Beginn der Beschleunigungsphase des Wurfes auftritt. Der Sportler wird dadurch daran gehindert, die volle Wurfgeschwindigkeit und -präzision zu entwickeln (Burkhart *et al.* 2003a). Da sich in bestimmten Phasen der Wurfbewegung aber auch andere Beeinträchtigungen manifestieren können, ist es wichtig, diese Phasen zu unterscheiden, um Schmerzen oder Einschränkungen besser zuordnen zu können.

Insgesamt unterscheidet man sechs Teilabschnitte der Wurfbewegung (Abbildung 1.6).

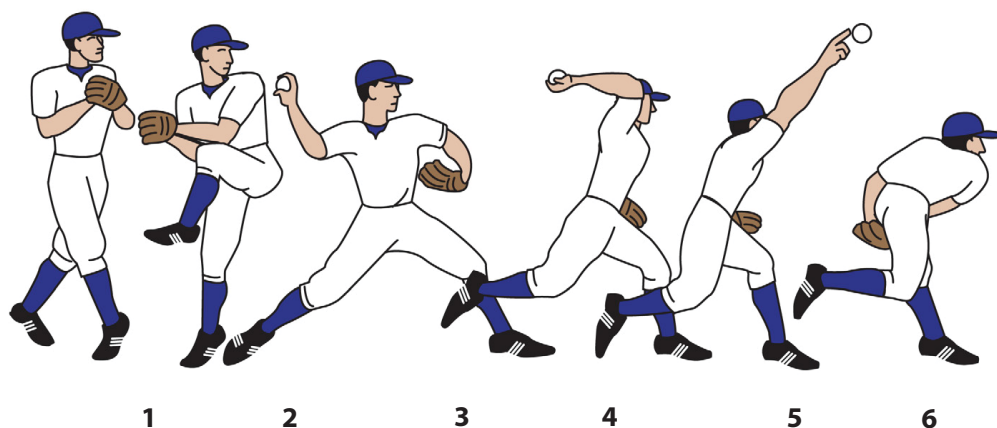


Abbildung 1.6: Phasen der Wurfbewegung, (1) Wind-Up Phase, (2) Early Cocking Phase, (3) Late Cocking Phase, (4) Acceleration Phase, (5) Deceleration Phase, (6) Follow Through Phase. (modifiziert nach Braun *et al.* 2009 (S. 967))

Die Ausholbewegung umfasst die ersten drei Phasen des Wurfes, die in der englischsprachigen Literatur mit *Wind-Up Phase*, *Early Cocking Phase* und *Late Cocking Phase* beschrieben werden (Braun *et al.* 2009; Dillman *et al.* 1993; Fleisig *et al.* 2009; Werner *et al.* 1993). Sie ist charakterisiert durch eine maximale Außenrotations- / Abduktionsbewegung im Schultergelenk. Diese wird durch die gleichgerichtete Bewegung der Skapula und eine Hyperextension des Rumpfes besonders am Ende der Ausholbewegung maximiert (Jancosko und Kazanjian 2012). Speziell die Muskeln der Rotatorenmanschette und der M. deltoideus sind in der *Wind-Up* und *Early Cocking Phase* aktiv, die Aktivität der Außenrotatoren M. infraspinatus und M. teres minor ist hauptsächlich in der *Late Cocking Phase* relevant, genauso wie die Aktivität des M. subscapularis, der durch das Auslösen der Innenrotation den Übergang in die Beschleunigungsphase auslöst (Jobe *et al.* 1983). Auf die ventrale Kapsel wird in der Ausholphase der größte Dehnungsstress ausgeübt, 310 N wirken dabei in der Schulter nach anterior. Zudem wurde am Bizepssehnenanker eine Torsionskraft von 67 Nm gemessen (Fleisig *et al.* 1995). Der Bizepssehnenanker und das Labrum glenoidale sind daher in dieser Phase besonders anfällig für Schädigungen, mehr als in jeder anderen Phase des Wurfes (Kuhn *et al.* 2003).

Auf die Aushol- folgt die Beschleunigungsphase (*Acceleration Phase*), in der eine sehr schnelle Innenrotationsbewegung mit bis zu 7000°/sec bei abduziertem Arm durchgeführt wird (Fleisig *et al.* 2009). Dabei sind die Beschleunigungskräfte in der Schulter besonders groß, obwohl die Belastung der Schultermuskulatur in dieser Phase erstaunlich gering ist (Jobe *et al.* 1984; Jobe *et al.* 1983).

Die abschließende Abbremsbewegung umfasst wiederum zwei Wurfphasen, die *Deceleration Phase* und die *Follow Through Phase*, vom Verlassen des Wurfgerätes der Hand des Werfers bis zum Ende der Wurfbewegung (Braun *et al.* 2009). Hierbei treten insgesamt die größten Kräfte im Schultergelenk auf. Durch exzentrische Kontraktion der Schultermuskeln, besonders der Rotatorenmanschette, des M. deltoideus und der Rumpfmuskulatur, stehen diese unter enormem Dehnungsstress und es werden Kompressionskräfte am Humeruskopf um 1090 N erreicht (Abbildung 1.7) (Fleisig *et al.* 1995).

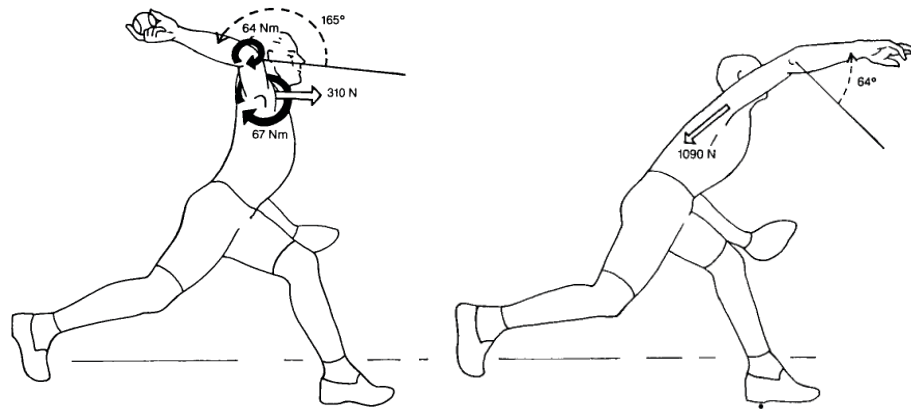


Abbildung 1.7: Kräfte im Schultergelenk in Aushol- und Abbremsphase (modifiziert nach Fleisig et al. 1995 (S. 238))

Leistungssportler sind durch hohe Trainingsumfänge und -intensitäten regelmäßig Überbelastungen ausgesetzt. Durch die hohen Kräfte in der späten Phase der Ausholbewegung und der Abbremsphase sind vor allem die Weichteilstrukturen des Schultergelenkes anfällig für Verletzungen und Verschleißerscheinungen (Braun et al. 2009; Kuhn et al. 2003; Tischer et al. 2007).

Die für eine bestmögliche Performance nötige, optimale Kraftübertragung auf das Wurfgerät ist aber nicht nur vom Schultergürtel, sondern vom komplexen Zusammenspiel aller Körperteile abhängig. Die kinetische Kette transferiert die Kraft von den Füßen über die untere Extremität, Hüfte und Rumpf bis zum ausführenden Körperteil, den Arm (Kibler 1998). Die Skapula dient hierbei als direktes Verbindungsstück. Beim Tennisaufschlag sind beispielsweise untere Extremität, Hüfte und Rumpf für die Entstehung von bis zu 51% der kinetischen Energie verantwortlich (Kibler 1998). Es ist also sowohl für die optimale Ausführung des Wurfes als auch zur Verletzungsprävention essenziell, dass über das Schulterblatt eine stabile und sichere Verbindung für die Bewegungen des Armes besteht. Dadurch wird gewährleistet, dass bei allen Bewegungen des Armes die physiologische Verbindung der Gelenkteile und somit das Rotationszentrum des Humeruskopfes stabil gehalten wird (Kibler 1998). Hierfür ist es notwendig, dass das Schulterblatt entlang der Brustwand pro- und retrahieren kann und so die Belastung der Weichteilstrukturen des Schultergelenkes durch die großen Winkel und Kräfte, die in den einzelnen Wurfphasen erreicht werden, möglichst gering gehalten wird. Zur Vermeidung von Impingementbeschwerden im subakromialen Raum ist eine Neigung und Drehung nach außen-oben notwendig (Kibler 1998). Diese unterstützenden Bewegungen werden durch das Zusammenspiel

diverser Muskeln, sog. Kräftepaare, gewährleistet. Von besonderer Bedeutung hierfür sind die Mm. trapezius, rhomboidei und serratus anterior, die maßgeblich an der Positionierung und Ausrichtung der Skapula beteiligt sind (Kibler 1998).

1.3.2 Ursächliche Faktoren und pathologische Konzepte der Werferschulter

Durch die wiederholten, hohen Belastungen des Schultergelenkes bei Überkopfsportlern finden sowohl in den knöchernen als auch den Weichteilstrukturen der dominanten Schulter zahlreiche Anpassungsvorgänge statt. So kann eine Veränderung des Bewegungsausmaßes der hohen Innen- und Außenrotation (Rotation des Armes bei um 90° abduzierter, oberer Extremität) im Sinne einer Verschiebung nach posterior festgestellt werden (Abbildung 1.8) (Braun *et al.* 2009; Brucker und Proier 2016; Wilk *et al.* 2012). Durch eine damit verbundene Verlängerung des Beschleunigungsweges ist diese Verschiebung als Anpassungserscheinung durchaus für die Performance des Überkopfsportlers notwendig. Bei stark ausgeprägter Verringerung der Innenrotation und Vergrößerung der Außenrotation besteht jedoch die Gefahr, dass die anterioren Weichteile der Schulter in der Ausholphase großen Dehnungsbeanspruchungen ausgesetzt werden und dass der Bremsweg in der Abbremsphase nicht ausreicht, um die posterioren Schulterstrukturen vor einer Überbelastung zu schützen (Fleisig *et al.* 1995). Verringert sich zudem das Gesamtbewegungsausmaß (TRM) der dominanten gegenüber der nicht-dominanten Seite über 5°, ist die Anfälligkeit für Verletzungen nochmals erhöht, da dies meist auf Kosten der Innenrotation geschieht (Brucker und Proier 2016; Wilk *et al.* 2011).

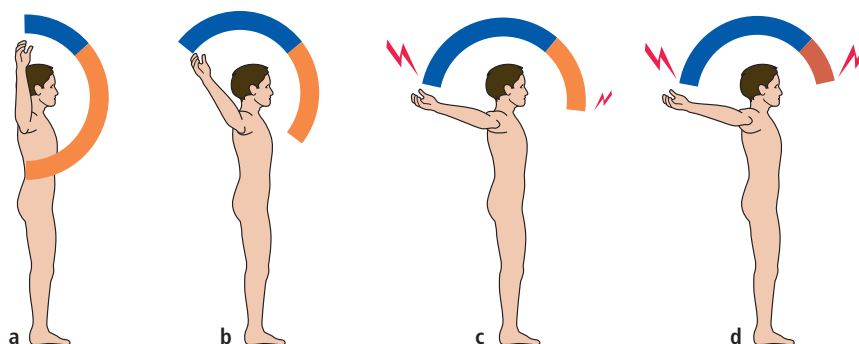
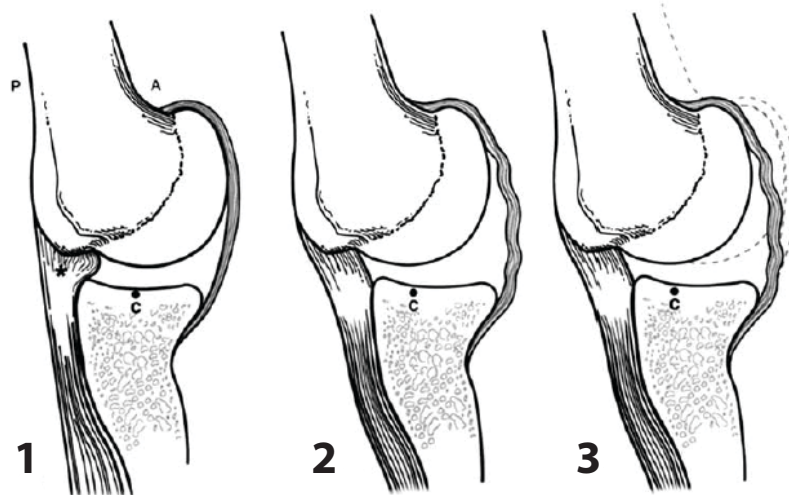


Abbildung 1.8: Posteriore Verschiebung und Reduktion des Gesamtbewegungsausmaßes des abduzierten Schultergelenkes. Bewegungsausmaß einer Normalperson (a), nach Adaptation (b), bei exzessiver Ausprägung (c), bei exzessiver Ausprägung und Verminderung des Gesamtbewegungsausmaßes und somit Verkürzung des Bremsweges. (blau: Beschleunigungsweg, orange: Bremsweg, rot: kritisch verkürzter Bremsweg (Brucker und Proier 2016), mit freundlicher Genehmigung aus: Grim C, Engelhardt M. Die Sportlerschulter. 1. Aufl. Stuttgart: Schattauer 2016, S. 70.

Diese Verschiebung kann in manchen Fällen durch Verkürzungen der posterioren Schultermuskulatur bedingt sein (Reinold *et al.* 2008), welche gut mit einem regelmäßigen Dehnprogramm behandelt werden kann (Burkhart *et al.* 2003a). Meist sind allerdings nicht nur muskuläre Strukturen betroffen. Durch die in der Abbremsphase des Wurfes auftretenden Kräfte, kommt es im Laufe der Zeit zu einer Kontraktur von Anteilen der hinteren Kapsel und des posterioren Bandes des Lig. glenohumerales inferior, welches die Innenrotation des abduzierten Humeruskopfes limitiert (Burkhart *et al.* 2003a). Hieraus resultiert das glenohumerale Innenrotationsdefizit (GIRD) der dominanten, im Vergleich mit der nicht dominanten Schulter (Braun *et al.* 2009; Thomas *et al.* 2009). Bei Werten größer 15° bis 25° wird ein GIRD als pathologisch bezeichnet (Hibberd *et al.* 2014), Kibler *et al.* (2013a) haben beispielsweise 18° als Grenzwert definiert. Auf Grund der Kapselkontraktur verschiebt sich zudem das Rotationszentrum des abduzierten Humeruskopfes nach postero-superior. Durch diese Verschiebung setzt die außenrotationslimitierende Spannung des anterioren Bandes des Lig. glenohumerales inferior erst bei größeren Außenrotationswinkeln ein (Burkhart *et al.* 2003a). Des Weiteren mindert der geringere Nockenwelleneffekt des Humeruskopfes die Spannung der vorderen Kapsel (Abbildung 1.9) (Burkhart *et al.* 2003a; Mauch und Bauer 2007). Dieser Nockenwelleneffekt

kommt physiologisch durch das enge Umhüllen der unteren Gelenkfläche des Humeruskopfes durch die vordere Gelenkkapsel in der ABER-Position (*Abduction and External Rotation*) zustande. Durch die Translation des Humeruskopfes wird diese Spannung reduziert und die Kapsel somit funktionell verlängert (Burkhart *et al.* 2003a).



*Abbildung 1.9 Nockenwelleneffekt an der anteroinferioren Kapsel in ABER-Position (1). Reduzierte Spannung bei posterosuperiorem Shift des glenohumeralen Kontaktpunktes (2), Vergleich beider Positionen (3). A: Anterior, P: Posterior, C: Kontaktpunkt (modifiziert nach Burkhart *et al.* 2003a (S. 412))*

Auch tritt der physiologische Kontakt von Tuberculum majus und posterosuperiorem Glenoidrand (Walch *et al.* 1992), das innere Impingement, durch die Translation des Humeruskopfes erst bei höheren Außenrotationswinkeln auf (Burkhart *et al.* 2003a). All diese adaptiven Reaktionen ermöglichen dem Überkopfsportler, den Wurfarm in der Ausholphase in eine vermehrte Außenrotationsstellung zu bringen.

Doch nicht nur die Weichteile unterliegen Anpassungsvorgängen. Durch eine über Jahre bestehende, häufige und hohe Überkopfbelastung ist auch eine knöcherne Veränderung im Sinne einer vermehrten Retroversion des Humeruskopfes um 10 – 20° gegenüber dem nicht-dominanten Arm zu beobachten (Chant *et al.* 2007; Crockett *et al.* 2002; Reagan *et al.* 2002; Warden *et al.* 2009). Die Torsion ist definiert als der Winkel zwischen Gelenkfläche des Humeruskopfes und der Ellenbogenachse, als Retroversion wird der entsprechende Nebenwinkel bezeichnet (Abbildung 1.10) (Hernigou *et al.* 2002; Roach *et al.* 2012).

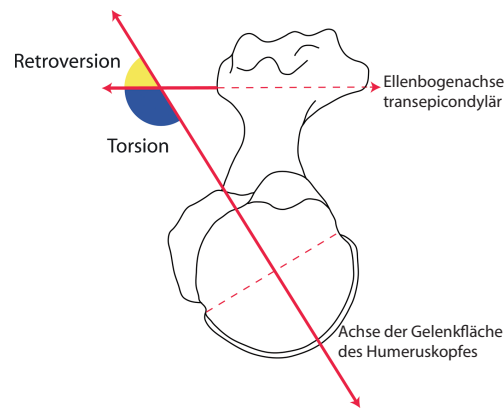


Abbildung 1.10: Torsions-/Retroversionswinkel des Humerus (modifiziert nach Roach *et al.* 2012 (S. 294))

Die späte Fusion der Epiphysenfuge des proximalen Humerus ermöglicht besonders bei jugendlichen Athleten noch erhebliche Anpassungen des Torsionswinkels (Hibberd *et al.* 2014; Roach *et al.* 2012). Durch erhöhte Retroversion wird der Wurfarm bei Abduktion in eine per se vermehrte Außenrotationsposition bei gleichem glenohumeralen Kontaktmuster gebracht. Gleichzeitig wird dadurch natürlich auch die Innenrotationskapazität eingeschränkt, der Gesamtrationswinkel ändert sich nicht (Chant *et al.* 2007; Crockett *et al.* 2002; Reagan *et al.* 2002). Ob sich diese Anpassung positiv oder negativ auf die Verletzungsanfälligkeit auswirkt, wird kontrovers diskutiert. Einige Autoren postulieren, dass die Rotatorenmanschette weniger gut in der Lage ist, das Gelenk zu stabilisieren und es so zur Migration des Humeruskopfes und Schmerzen kommt (Crockett *et al.* 2002; Ellenbecker *et al.* 2002). Dementgegen steht die Hypothese, dass die Kapsel durch die knöchernen Anpassung vor Überdehnung geschützt und so die Stabilität erhalten wird (Borsa *et al.* 2008).

Zudem sind noch einige weitere Veränderungen des Weichgewebes, die zu einer erhöhten Beweglichkeit im Gelenk beitragen, bei Überkopfsportlern zu beobachten. So findet sich häufig ein manifestes Sulcus sign, ein klinischer Test, der die Laxizität der Weichteilstrukturen des Schultergelenks und der Rotatorenmanschette prüft (Braun *et al.* 2009; Imhoff *et al.* 2006). Besonders eine erhöhte Laxizität des Lig. coracohumerale kann damit erkannt werden, welches, neben der Translation des adduzierten Armes nach inferior, die Außenrotation des abduzierten Armes limitiert (Kuhn *et al.* 2000).

Des Weiteren unterliegt auch die Schultermuskulatur diversen Anpassungsvorgängen. Zu beobachten ist häufig eine globale Hypertrophie des dominanten Schultergürtels. Den hohen Anforderungen der Kraftgenerierung durch die Innenrotatoren der Schulter

werden diese durch signifikante Kraftzunahme im Vergleich zur nicht-dominanten Schulter gerecht (Noffal 2003). Gleichzeitig ist allerdings keine Adaptation der Außenrotatoren zu beobachten, die besonders bei den Abbremsbewegungen eine wichtige Rolle erfüllen, weil sie die hier auftretenden hohen Kräfte kompensieren (Noffal 2003). Es wurden hier sogar Kraftverluste im Vergleich mit Kontrollgruppen festgestellt (Magnusson *et al.* 1994). Dies wiederum erhöht die Gefahr von Weichteilschäden durch die fehlende Kompensation der hohen Distorsionskräfte, die während der Abbremsbewegung entstehen.

Aus den oben genannten Anpassungen der Weichteil- und knöchernen Strukturen des Schultergelenks können bei wiederholtem Überschreiten der Belastungsgrenzen bei Wurf- oder Schlagsportarten zahlreiche Pathologien entstehen. Dennoch ist ein gewisses Maß an Laxizität des Schultergelenks erforderlich, um bestmögliche Leistungen zu erzielen. So hängt die maximale Geschwindigkeit des Wurfgerätes bei Überkopfsportlern zu einem großen Teil vom Beschleunigungsweg und somit u.a. von der Außenrotationsfähigkeit des abduzierten Schultergelenkes ab (Burkhart *et al.* 2003a). Definiert ist Laxizität als das erhöhte passive Bewegungsausmaß eines Gelenkes in eine bestimmte Richtung und kann dabei sowohl angeboren oder adaptiert als auch physiologisch oder pathologisch verändert sein (Braun *et al.* 2009). Mit dem Begriff Schulterinstabilität wird hingegen eine vermehrte Beweglichkeit des Humeruskopfes in Bezug zum Glenoid beschrieben, die meist mit Schmerzen oder Missempfindungen einhergeht (Braun *et al.* 2009; Ryu *et al.* 2002).

Die meisten Überkopfsportler verspüren subjektiv keine Instabilitätsbeschwerden. Der Auslöser der bei diesen Patienten häufigen Pathologien, wie artikulärseitiger Rotatorenmanschettenläsionen und Auffaserungen am Labrum glenoidale (Braun *et al.* 2009), ist jedoch häufig die vermehrte Beweglichkeit im Schultergelenk. Diese wird demnach auch als „pathologische Laxizität“ bezeichnet (Ryu *et al.* 2002).

Snyder *et al.* (1990) beschrieben 1990 die o.g. Verletzungen des Labrums als Superior Labrum Anterior and Posterior (SLAP) Läsionen und klassifizierten vier Typen.

- Typ-I Läsion: degenerative Veränderung des superioren Labrums
- Typ-II Läsion: Abriss des Bizepsankers vom superioren Glenoid
- Typ-III Läsion: Korbhenkelläsion des superioren Labrums, bei ansonsten intaktem Bizepssehnenanker
- Typ-IV Läsion: Riss des superioren Labrums mit Beteiligung der Bizepssehne

Mittlerweile wurden diese bis auf zehn verschiedene Typen erweitert (Maffet *et al.* 1995; Powell *et al.* 2004; Snyder *et al.* 1990). Morgan *et al.* (1998) unterteilten die Typ-II SLAP Läsionen wiederum in anteriore und die bei Wurfsporlern am häufigsten zu beobachtenden posterioren und kombiniert anterior-posterioren Typ-II Läsionen (Abbildung 1.11).

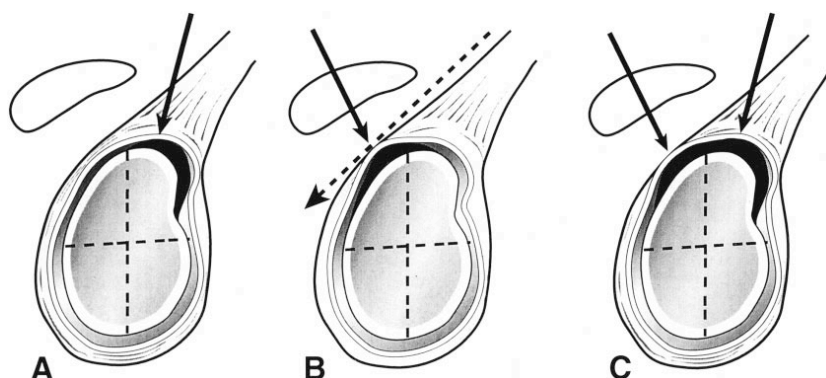


Abbildung 1.11: Subtypen der Typ-II SLAP Läsionen (A) anterior, (B) posterior, (C) kombiniert anterior-posterior (Morgan *et al.* 1998 (S. 554))

Burkhart und Morgan postulierten einen Peel-back Mechanismus als auslösenden Faktor: Bei Abduktion und Außenrotation in der Ausholphase des Wurfes entwickelt sich am Bizepssehnenanker eine Torsionskraft, die sich auf das superior-posteriore Labrum überträgt, dieses vom Knochen löst und dadurch zum typischen Bild der SLAP Läsion führt (Burkhart und Morgan 1998). Die erworbene erhöhte Außenrotationsfähigkeit trägt folglich zu deren Entstehung bei. Zudem stellt die Abbremsphase für die Bizepssehne die Phase der quantitativ höchsten Kraftbelastung dar und kann daher ebenso der Auslöser von Verletzungen im Bereich des Labrum glenoidale sein (Yeh *et al.* 2005).

Eine weitere Beeinträchtigung, die sich bei den meisten pathologischen Überkopfsportlern und bei solchen mit SLAP Läsionen in 31% der Fälle finden lässt, sind Rotatorenmanschetteneinrisse (Morgan *et al.* 1998). Nur selten werden komplette Rupturen beobachtet, zumeist sind diese partiell (Braun *et al.* 2009). Entstehen können sie durch eine akute Überlastung oder repetitive Mikrotraumata durch hohe exzentrische Zugkräfte in der Abbremsphase der Wurfbewegung (Burkhart *et al.* 2003a). Sie sind häufig postero-superior an der Verbindung der Supra- und Infraspinatussehneninsertion zu finden (Miniaci *et al.* 2002). Auch die Sehne des M. subscapularis kann beeinträchtigt sein und zieht dann eine minimale Destabilisierung der langen

Bizepssehne in deren Rinne nach sich. Dies wiederum führt zu Schmerzen im anterioren Schulterbereich und zu Symptomen wie Schnappen oder Blockierungen (Braun *et al.* 2009). Gekennzeichnet sind Rotatorenmanschettenläsionen typischerweise durch Schmerzen in der Nacht (Jancosko und Kazanjian 2012).

Auch Impingementbeschwerden lassen sich häufig feststellen. Sie sind eng mit den bereits erwähnten Pathologien korreliert und stellen einen möglichen Faktor bei deren Entstehung dar. Es wird zumeist zwischen dem klassischen subakromialen, dem sekundären und dem inneren Impingement unterschieden:

Das klassische Impingement beschreibt eine Kompression der Sehne des M. suprapinatus zwischen Schulterdach und Humeruskopf (Neer 1983). Prädisponierend für eine solche Erkrankung sind anatomische Varianten, die den subakromialen Raum verengen. Kommen durch Ermüdung der Rotatorenmanschette und unsaubere Wurftechnik eine Translation des Humeruskopfes nach superior hinzu, können sich die Impingementbeschwerden verschlimmern oder erst manifest werden. Meist sind ältere Sportler mit stabilem Schultergelenk betroffen, bei denen ein isoliertes Innenrotationsdefizit ohne erweiterte Außenrotation vorliegt (Braun *et al.* 2009).

Beim sekundären Impingement liegen normale anatomische Verhältnisse vor, die Sehnen der Rotatorenmanschette werden sekundär durch eine funktionelle Verengung des subakromialen Raumes komprimiert. Ausschlaggebend hierfür kann eine Migration des Humeruskopfes nach antero-superior sein, die häufig bei verkürzter posteriorer Kapsel auftritt (Ticker *et al.* 2000). Auch beim Vorliegen eines veränderten skapulothorakalen Rhythmus ist durch unzureichende Rotation und Retraktion der Skapula bei Abduktion im Schultergelenk die Wahrscheinlichkeit für Impingementbeschwerden erhöht (Kibler 1998). Hierzu trägt zudem ein bei Überkopfsportlern häufig zu beobachtender Schulterblatttiefstand bei. Skapuladyskinesie und Asymmetrien der Skapulae, ausgelöst durch muskuläre Dysbalancen der Schulterblattmuskeln führen zu unphysiologischen Bewegungsabläufen bei der Wurfbewegung. Ist die Funktion, besonders der Mm. serratus anterior, trapezius und rhomboidei beeinträchtigt, kommt es zu einer Hyperangulation des Humeruskopfes in der Ausholphase. Diese zieht eine Aufdehnung der vorderen Kapsel durch erhöhte Scherkräfte nach sich. Malfunktion der Skapula kann folglich zu anteriorer Instabilität und sekundärem Impingement führen (McMahon *et al.* 1996; Warner *et al.* 1992). Auch wurde bei Wurfspielern durch Überbelastung

ein skapulothorakales Impingement beschrieben, welches in der späten Ausholphase die Bursa des inferioren Angulus der Skapula beeinträchtigt (Lehtinen *et al.* 2003; Sisto und Jobe 1986).

Das innere Impingement hingegen ist eine an sich physiologische Erscheinung, die auch bei asymptomatischen und nicht werfenden Probanden vorliegt (Burkhart *et al.* 2003a; Halbrecht *et al.* 1999). Die Sehnen der Rotatorenmanschette werden am Ende der Ausholphase, also bei maximaler Abduktion und Außenrotation, zwischen posterosuperiorem Labrum und Tuberculum majus eingeklemmt (Abbildung 1.12) (Jobe 1995). Symptomatisch können sich die hierbei entstandenen Mikrotraumata bei Überbelastung als SLAP Läsionen oder Rotatorenmanschettendefekte manifestieren (Braun *et al.* 2009).

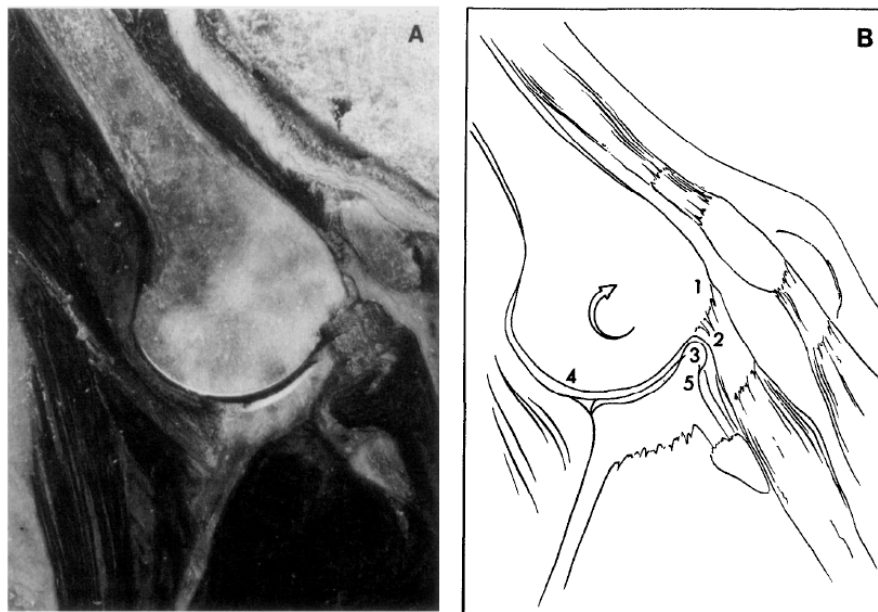


Abbildung 1.12: Foto (A) und Schemazeichnung (B) des Schultergelenkes bei eleviertem Arm.

Durch Kompression oder Distension gefährdete Strukturen: (1) Tuberculum majus, (2) Rotatorenmanschettensehne, (3) superiores Labrum, (4) inferiores glenohumerales Ligament, (5) superiorer Glenoidrand (Jobe 1995 (S. 532))

Als einer der auslösenden Faktoren des inneren Impingement werden eine Elongation des vorderen glenohumeralen Ligaments, sowie posteriore Kapselkontrakturen und das damit einhergehende Innenrotationsdefizit der betroffenen Schulter diskutiert. Diese Beobachtungen lassen sich gehäuft bei Patienten mit innerem Impingement machen (Myers *et al.* 2006). Bei Ermüdung der kompensierenden Muskulatur weicht die Achse

des Humerus in der Beschleunigungsphase von derer der Skapula nach hinten ab und es entsteht ebenfalls eine Hyperangulation des Humerus. Dies hat zur Folge, dass der Kopf im Gelenk nach anterior wandert und trägt damit zum Entstehen eines Kontaktes zwischen Rotatorenmanschette und Labrum bei (Braun *et al.* 2009). Des Weiteren ist das physiologische Bewegungsmuster im skapulothorakalen Gelenk von entscheidender Bedeutung für das Entstehen des inneren Impingement. Vergrößert sich die Innenrotation oder vermindert sich die Abduktion der Skapula bei Abduktionsbewegungen des Humerus, ist sowohl der glenohumerale Kontaktdruck erhöht, als auch die Belastung der Sehnen der Rotatorenmanschette durch inneres Impingement vermehrt (Mihata *et al.* 2012).

Zusammenfassend lässt sich also an den Beginn der Kaskade der Entwicklung von Schulterproblemen bei Überkopfsportlern eine eingeschränkte Innenrotationsfähigkeit des dominanten Armes durch Kontrakturen der posterioren Kapsel- und Bandstrukturen und knöcherne Anpassungsvorgänge stellen. So lassen sich Sportler mit erhöhtem Risiko für die Manifestation von Schulterproblemen identifizieren. Über 15 bis 25° Innenrotationsdefizit ist die Gefahr von Folgeschäden wie SLAP-Läsionen und Rotatorenmanschetteneinrissen erhöht (Burkhart *et al.* 2003a; Hibberd *et al.* 2014; Kibler *et al.* 2013a). Es konnte bereits gezeigt werden, dass sowohl Sportler mit Innenrotationsdefizit ein höheres Risiko für das Auftreten von Schulterproblemen aufweisen, als auch dass Sportler, die ein Dehnungsprogramm zur Rückbildung eines GIRD absolvierten, weniger Schulterprobleme entwickeln, als solche einer Kontrollgruppe (Braun *et al.* 2009). In der Folge entwickeln sich dann - unterstützt durch muskuläre Ermüdung, Skapuladyskinesie, Retroversion des Humeruskopfes und repetitive Mikrotraumata - Läsionen, die das Labrum, die lange Bizepssehne und die Rotatorenmanschette betreffen können.

1.3.3 Sportartspezifische Unterschiede der Werferschulter

Der gezeigte Pathomechanismus der Werferschulter lässt sich prinzipiell auf alle genannten Überkopfsportarten anwenden, jedoch bestehen zwischen den einzelnen Disziplinen gewisse Unterschiede in Entstehung und Ausprägung des Krankheitsbildes. Die Werferschulter ist in der Literatur hauptsächlich aufgrund von Beobachtungen bei Baseballspielern, im Besonderen bei Werfern, beschrieben worden (Bigliani *et al.* 1997; Braun *et al.* 2009; Burkhart *et al.* 2003a; Burkhart *et al.* 2003b; Burkhart *et al.* 2003c; Fleisig *et al.* 1995; Halbrecht *et al.* 1999; Myers *et al.* 2006; Wilk *et al.* 2011). Dies

sicherlich zu Recht, da es die Hauptaufgabe dieser Spieler ist, die Ausführung von Würfeln mit möglichst hoher Geschwindigkeit und Zielgenauigkeit auszuführen und sie sowohl im Training als auch während des Wettkampf große Wurfumfänge aufweisen. So können Pathologien, die durch die hohen Geschwindigkeiten und damit verbundenen hohen Kräfte im Schultergelenk gehäuft auftreten, gut beschrieben werden und gleichzeitig der Verlust an Kraft und Präzision bei Veränderungen der Integrität des Schultergelenks beobachtet werden. Da in dieser Studie Speerwerfer und Volleyballspieler untersucht wurden, soll kurz auf die Besonderheiten dieser Sportarten in Bezug auf Entstehung und Ausprägung des Krankheitsbildes der Werferschulter eingegangen werden.

1.3.3.1 Speerwurf

Das Ziel beim Speerwurf ist, das Wurfgerät möglichst weit zu werfen. Den größten Einfluss hierauf hat die Abwurfgeschwindigkeit (Kunz und Kaufmann 1983), die sich zu 70% in den letzten 0,1 sec der Wurfbewegung entwickelt (Morriss und Bartlett 1996) und maßgeblich von der Kraftentwicklung im Schultergelenk, aber auch der unteren Extremität und dem Rumpf abhängt (Bartlett *et al.* 1989). Es müssen also möglichst hohe Kräfte in einer sehr kurzen Zeit generiert werden, um Bestleistungen zu erzielen. Hinzu kommt noch der Anlauf, der das Schultergelenk als Verbindung und Kraftüberträger zwischen Körperstamm und Arm zusätzlich belastet. Da ein Trainingsumfang von bis zu 1500 Würfeln pro Woche mit dem bis zu 800 Gramm schweren Speer oder mitunter noch schwereren (Trainings-)Wurfgeräten die Regel ist (Schmitt *et al.* 2001), lässt sich aufgrund der hohen Kräfte und Geschwindigkeiten beim Speerwurf das Auftreten der für die Werferschulter typischen Pathologien leicht nachvollziehen. Von besonderer Bedeutung für die Wurfweite ist neben der Abwurfgeschwindigkeit noch der Abwurfwinkel bzw. dessen Abweichung vom Anstellwinkel. Je kleiner diese Differenz ist, desto weiter kann der Speer geworfen werden, es ist also neben Kraft v.a. Präzision von besonderer Bedeutung für die Ausführung des Speerwurfes (Kunz und Kaufmann 1983). Die Ausführung des Speerwurfes unterscheidet sich vom „klassischen“ Wurf neben der Anlaufbewegung v.a. dadurch, dass in der Ausholphase der Ellenbogen gestreckt bleibt und der Arm möglichst nahe am Körper gehalten werden soll (Abbildung 1.13) (Schmitt *et al.* 2001). Der Abwurf des Speeres soll wiederum mit einer maximalen Streckung im

Ellenbogengelenk und in einem optimalen Winkel von 32 – 36° erfolgen (Kunz und Kaufmann 1983).

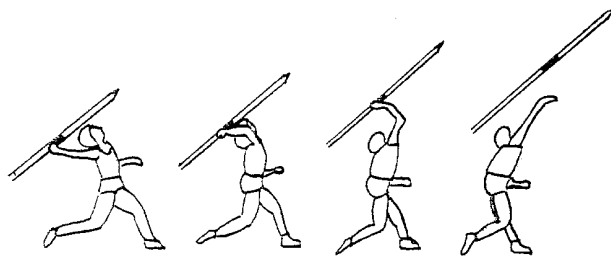


Abbildung 1.13: Endphase des Speerwurfes (Schmitt *et al.* 2001 (S. 275))

Die bei Speerwerfern sowohl akut wie auch im Langzeitverlauf zu beobachtenden Pathologien unterscheiden sich nicht von den Beschwerden der klassischen Werferschulter (Schmitt *et al.* 2001). Auch das am Anfang der Entwicklungskaskade der Werferschulter stehende GIRD und die erweiterte Außenrotation wird klassischerweise bei Speerwerfern beobachtet (Herrington 1998).

1.3.3.2 Volleyball

Auch bei Volleyballspielern wurden die typischen Veränderungen im Bewegungsausmaß der Schulter und die vermehrte Retroversion des dominanten Humeruskopfes bereits beschrieben (Schwab und Blanch 2009; Thomas *et al.* 2009; Wang *et al.* 2000). Ebenso konnte die bei Wurfsporlern typische und im Zusammenhang mit der Entstehung der Schulterpathologien stehende verminderte exzentrische Außenrotationskraft beobachtet werden (Wang *et al.* 2000), die das Schultergelenk anfälliger für Überbelastungen werden lässt. Dass die typische Pathologiekaskade der Werferschulter vorliegt, lässt sich zudem daraus schließen, dass der Großteil der Schulterverletzungen auch bei Volleyballspielern durch repetitive Überlastung verursacht ist und zu den typischen Beschwerdebildern der Werferschulter führt. Besonders häufig sind Rotatorenmanschettenläsionen zu finden (Aagaard und Jørgensen 1996; Wang und Cochrane 2001a).

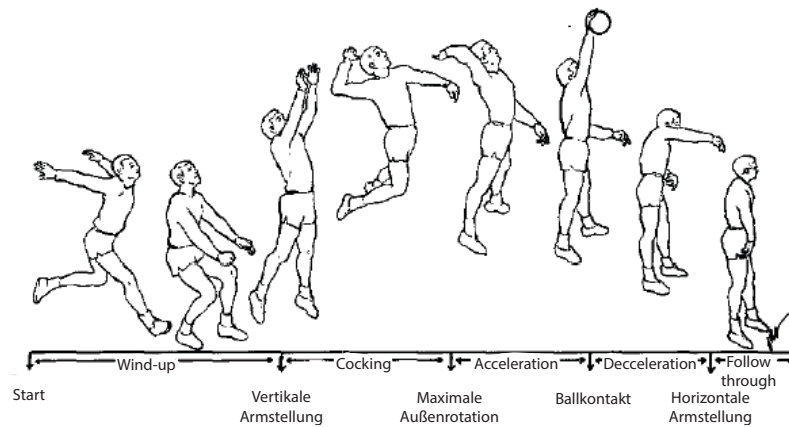


Abbildung 1.14: Angriffsschlag im Volleyball (modifiziert nach Rokito et al. 1998 (S. 257))

Doch auch einige für klassische Wurfsporler untypische Befunde konnten bei Volleyballspielern erhoben werden. In Untersuchungen von Schwab und Blanch (Schwab und Blanch 2009) konnte trotz einer erhöhten Retroversion des dominanten Humerus keine Veränderung des Bewegungsausmaßes festgestellt werden. Die Autoren erklärten sich das Nichtvorhandensein der erweiterten Außenrotation durch den fehlenden Impuls des Wurfgerätes in der Ausholphase, welches den Arm sonst durch seine Masse in eine weitere Außenrotation zwingt. Auch das Ausbleiben des Innenrotationsdefizits wird durch die Masse des Wurfgerätes erklärt. Da beim Schlag die Energie des Armes auf den Ball übertragen wird, beim Wurf allerdings die Energie des Wurfgerätes auf den Arm, sind die dorsale Kapsel und die bremsenden Muskeln des Schultergelenkes beim Volleyball geringeren Kräften ausgesetzt (Abbildung 1.14) (Schwab und Blanch 2009). Unterstützt wird diese Hypothese durch die Beobachtung, dass Muskeln der Rotatorenmanschette in der Abbremsphase deutlich niedrigere Aktivität als beim „klassischen“ Wurf zeigen (Escamilla und Andrews 2009; Rokito et al. 1998). Zudem stellten Reeser et al. (2010b) zwar fest, dass bei Angreifern ein erhöhtes Risiko für Schulterbeschwerden vorliegt und Volleyballspieler ein GIRD aufweisen, konnten dieses allerdings nicht in Bezug zur Entwicklung von Schulterpathologien setzen (Reeser et al. 2010b).

1.3.4 Prinzipien in der Therapie der Werferschulter

Im Allgemeinen sollte aufgrund des Entstehungsmechanismus der Werferschulter durch Überbelastung und Mikrotraumata, sowie aufgrund des Auftretens von Beschwerden bei hohen mechanischen Anforderungen primär konservativ behandelt werden. Eine

Ausnahme stellen akute Traumata und schwerwiegende Schäden der Kapsel oder Rotatorenmanschette, sowie SLAP-Läsionen dar, die je nach Indikation möglicherweise auch primär einer operativen Behandlung bedürfen (Braun *et al.* 2009). Gerade zur Verletzungsprävention ist es wichtig, auf die Anpassungserscheinungen des Bewegungsapparates des Überkopfsportlers einzugehen und diese durch Kräftigungs- und Dehnungsübungen zu vermindern (Braun *et al.* 2009).

Bezüglich der Prinzipien von Therapie und Prävention sollte besonderes Augenmerk auf die kinetische Kette gelegt werden, welche für den reibungslosen Ablauf der Schulterbewegungen von elementarer Bedeutung ist. Ein Trainingsprogramm, welches alle Elemente derer anspricht und diese funktionell verbindet ist deshalb besonders wichtig. Es sollten sowohl Agonisten als auch Antagonisten der oberen und unteren Extremität, sowie des Rumpfes angesprochen werden (Burkhart *et al.* 2003b; Kibler und Livingston 2001; McMullen und Uhl 2000; Wilk *et al.* 2002). Die Rehabilitation der manifesten Werferschulter sollte generell in 4 Phasen ablaufen, zu Beginn der Rehabilitation sollte mit Sportler und Trainer das Konzept und der Zeitplan besprochen werden (Gokeler *et al.* 2003; Wilk *et al.* 2002). Besonders wichtig ist es, zu Beginn auf die Rehabilitationsdauer von drei bis sechs Monaten hinzuweisen und auf den kompletten Verzicht von Sportarten mit Überkopfbelastung für 6 Wochen (Gokeler *et al.* 2003).

Die Ziele der akuten Phase I sind die Wiederherstellung der schmerzfreien Beweglichkeit und der muskulären Balance, das Verhindern von Muskelatrophien und der Erhalt von aerober und anaerober Ausdauer durch geeignetes kardiovaskuläres Training. Die Maßnahmen beinhalten Hochvolt-, Eis- und Wärmetherapie, nicht-steroidale Antirheumatika (NSAR) und Kortikoidinjektionen bei Bedarf, sowie physiotherapeutische Maßnahmen (Gokeler *et al.* 2003; Wilk *et al.* 2002). Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Stretching der posterioren Schultermuskeln und Weichteile, um dem Innenrotationsdefizit entgegen zu wirken, des Weiteren Kräftigungsübungen der Rotatorenmanschette und der Muskeln des Schulterblattes (Mm. trapezius, serratus anterior, rhomboidei). Zur Anwendung kommen sollten vor allem Übungen mit geschlossener kinetischer Kette sowie propriozeptives Training (Gokeler *et al.* 2003; Wilk *et al.* 2002).

Sind die klinische Untersuchung und Alltagsbelastungen schmerzfrei möglich und liegt volle Beweglichkeit im Schultergelenk vor, findet der Übergang in Phase II, die

Zwischenphase der Rehabilitation, statt. Durch weiterführendes Stretchingprogramm zur Unterstützung von Innenrotation und Adduktion und intensivere Kräftigungsübungen vor allem der Außenrotatoren soll die Rehabilitation des Schultergelenks vorangetrieben werden (Gokeler *et al.* 2003; Wilk *et al.* 2002). Übungen zur neuromuskulären Kontrolle von Skapulamuskeln tragen zum Ausbalancieren einer skapulothorakalen Dyskinesie bei. Zusätzliche Rumpf- und Beinübungen werden dem ganzheitlichen Anspruch der Wurfbewegung durchgehend auch in allen weiteren Phasen des Rehabilitationsschemas gerecht (Gokeler *et al.* 2003; Wilk *et al.* 2002).

Die fortgeschrittene Kräftigungsphase, Phase III, soll die neuromuskuläre Kontrolle weiter ausbauen, die Kraft verstärken und den Weg zurück zu leichten Wurfübungen ebnen. Anspruchsvolle, plyometrische und stabilisierende Übungen, weiterhin ein ausgedehntes Stretching- und Kräftigungsprogramm und erste Würfe über kurze Distanzen, tragen zum Erreichen dieser Ziele bei (Wilk *et al.* 2002). Von besonderer Bedeutung sind hier auch Übungen zur Verbesserung der Kraftausdauer, da viele der Beschwerden der Werferschulter durch Ermüdung der Rotatorenmanschette und der umgebenden Schultermuskulatur entstehen (Wilk *et al.* 2002).

Die finale Phase IV der konservativen Rehabilitation zielt auf das Wiedererreichen von Wettkampfleistungen ab. Ferner sollen weiterhin Kräftigungs- und Dehnungsübungen zur Rückbildung der Adaptationen des Überkopfsportlers beitragen. Plyometrische Übungen sowie die Ausweitung des Wurfprogrammes bis hin zu Wettkampfniveau stehen in dieser Phase im Vordergrund (Wilk *et al.* 2002).

Dieses allgemeine Rehabilitationsprogramm soll richtungweisend sein, muss aber individuell modifiziert werden. Liegen bestimmte Pathologien vor, sollte die Therapie erweitert bzw. angepasst werden:

Steht bei einem Sportler beispielweise das innere, posterosuperiore Impingement im Vordergrund, muss vermehrt dessen Entstehungsmechanismus bei der Rehabilitation berücksichtigt werden. Durch Ermüdung der Muskulatur des Schultergürtels und eine durch repetitive Mikrotraumata verursachte anteriore Instabilität kommt es zu einer Hyperangulation des Humerus in der späten Aushol- und frühen Beschleunigungsphase und somit zu erhöhter Kompression der Rotatorenmanschette und Schmerzen besonders in dieser Wurfphase (Braun *et al.* 2009; Wilk *et al.* 2002). Therapeutisch sollte deshalb mit Phase I der Rehabilitation begonnen werden und besonderes Augenmerk gelegt

werden auf eine Verbesserung des skapulothorakalen Rhythmus und der dynamischen Stabilisatoren, der Wurftechnik mit Vermeidung der Hyperangulation; ein Kräftigungsprogramm welches die gesamte kinetische Kette einschließt und ein gezieltes Dehnungs- und Kräftigungsprogramm von schwachen und verkürzten Muskeln, auch um dem GIRD entgegen zu wirken. Stretching der anterioren und inferioren Kapselanteile sollte vermieden werden (Braun *et al.* 2009; Wilk *et al.* 2002). Sind die Rehabilitationsziele der Phase I erreicht, können Wurfübungen unter besonderer Beobachtung der Technik durchgeführt werden, eine operative Raffung der anterioren Kapsel sollte erst nach erfolglosem konservativem Therapieversuch in Erwägung gezogen werden (Braun *et al.* 2009; Wilk *et al.* 2002). Liegt den Beschwerden also ein sekundäres Impingement zugrunde, muss die auslösende Ursache behoben werden. Beim primären Impingement hingegen ist das Augenmerk besonders auf die Zentrierung des Humeruskopfes durch Training der Muskeln der Rotatorenmanschette zu legen, des Weiteren ist eine Einstellung des skapulothorakalen Rhythmus und die Aufdehnung des mitursächlichen Innenrotationsdefizits von Bedeutung (Braun *et al.* 2009). Natürlich muss auch hier eine ca. zweiwöchige Wurfpause eingelegt werden, um die akute Entzündungsaktivität abklingen zu lassen. Eine operative Dekompression des Subakromialraumes sollte erst nach erfolgloser konservativer Behandlung in Betracht gezogen werden, da dies nur in den seltensten Fällen alleinige Ursache der Beschwerden ist (Braun *et al.* 2009).

Stehen Anpassungsvorgänge des Schulterblattes im Vordergrund der Pathologieentstehung, müssen diese natürlich spezifisch angesprochen werden. Die enorm wichtige Rolle des Schulterblattes als Kraftüberträger vom Rumpf auf den Arm setzt eine optimale Positionierung der Skapula voraus. Die Skapulastabilisatoren müssen physiologisch arbeiten und über genügend Ausdauer verfügen, um den hohen Anforderungen des Trainings- und Wettkampfprogramms von Überkopfsportlern gerecht werden zu können. Dieses Ziel ist meist mit physiotherapeutischer Beübung gut zu erreichen (Braun *et al.* 2009).

Eine Tendinitis entwickelt sich häufig aufgrund von Ermüdungszuständen oder wenn ein den Belastungen entsprechender Trainingszustand noch nicht erreicht ist (Wilk *et al.* 2002). Betroffen können sowohl die Muskeln der Rotatorenmanschette als auch die lange Bizepssehne sein. Hier sollte auf jeden Fall die Ursache der Beschwerden und nicht nur deren Symptome behandelt werden. So muss häufig eine kurze Wurfpause von

ca. zwei bis vier Wochen eingelegt werden um die Entzündung abklingen zu lassen und die relevanten Muskeln sollen gedehnt bzw. gekräftigt werden, da bei der hier häufig zugrunde liegenden Instabilität die dynamischen Stabilisatoren erhöhte kompensatorische Arbeit leisten müssen (Wilk *et al.* 2002). Sind die posterioren Muskeln der Rotatorenmanschette betroffen, ist es zunächst relevant, die Tendinitis vom inneren Impingement abzugrenzen. Dies kann trotz ähnlicher Schmerzlokalisierung im posterioren Schultergelenk aufgrund der Zuordnung der Beschwerden zu den einzelnen Phasen des Wurfes gelingen (Wilk *et al.* 2002). Im Gegensatz zum Impingement treten die Beschwerden bei einer Tendinitis überwiegend in der Abbremsphase auf. Von besonderer Bedeutung in dieser Phase sind die Mm. teres minor und trapezius inferior (DiGiovine *et al.* 1992). Es sollte ebenfalls eine Wurfpause eingelegt werden, bis die hinteren Anteile der Rotatorenmanschette und die Skapulastabilisatoren entsprechend gekräftigt sind. Sind diese Voraussetzungen geschaffen, kann auch hier im Anschluss wieder mit Wurftraining ansteigender Intensität begonnen werden, besonderes Augenmerk muss dann auch auf die technisch korrekte Durchführung der Abbremsphase gelegt werden (Wilk *et al.* 2002).

Wird bei einem Patienten eine SLAP-Läsion diagnostiziert, gestaltet sich die Wahl des Therapieverfahrens meist weniger eindeutig. Abhängig von Alter, Begleitverletzungen und funktionellem Anspruch ist nach erfolglosem konservativen Therapieversuch häufig eine operative Behandlung indiziert, besonders bei Überkopfsportlern, die auf ihr ursprüngliches Leistungsniveau zurückkehren wollen (Edwards *et al.* 2010; Knesek *et al.* 2013; Lehmann *et al.* 2012). Die konservative Therapie beinhaltet Schonung und antientzündliche Therapie, Dehnübungen der postero-inferioren Kapsel und physiotherapeutische Übungen mit geschlossener und offener kinetischer Kette zur Optimierung des skapulothorakalen Rhythmus (Knesek *et al.* 2013). Im Rahmen der operativen Therapie gibt es die Möglichkeit der arthroskopischen Refixation der SLAP-Läsion, möglich ist aber auch die arthroskopische oder offene Tenodese der langen Bizepssehne (Boileau *et al.* 2009). Es existieren durchaus unterschiedliche Meinungen, welche der Methoden durchzuführen ist, da aufgrund der aktuellen Studienlage keineswegs eindeutige Empfehlungen gegeben werden können. Die Behandlung der SLAP-Läsion bei Überkopfsportlern muss immer individuell auf den Patienten, seine Begleitverletzungen und seinen funktionellen Anspruch abgestimmt werden (Knesek *et al.* 2013; Lehmann *et al.* 2012). Liegen gleichzeitig Begleitverletzungen, wie

Rotatorenmanschettendefekte vor, können diese aber häufig simultan zur SLAP-Läsion operativ therapiert werden (Forsythe *et al.* 2010; Voos *et al.* 2007).

1.3.5 Literaturüberblick und offene Fragen

Die physiologischen Anpassungserscheinungen und pathologischen Entwicklungen der Schulter von Überkopfsportlern sind gut untersucht und beschrieben. Die Kaskade der Entstehung von Beschwerden im Schultergelenk, ausgehend von Anpassungen des Bewegungsausmaßes im Glenohumeralgelenk, aber auch von Mobilität und Funktionalität der Skapula, die zum Entstehen vielseitiger pathologischer Zustände beitragen können, sind hinreichend belegt (Anderson und Alford 2010; Borsa *et al.* 2008; Braun *et al.* 2009; Burkhart *et al.* 2003a; Crockett *et al.* 2002; Ellenbecker *et al.* 2002; Jancosko und Kazanjian 2012; Kibler 1998; Kibler *et al.* 2013b; Myers *et al.* 2006; Wilk *et al.* 2011). In der Regel folgen die Veränderungen einem zeitlichen Ablauf, an dessen Beginn die Manifestation des glenohumeralen Innenrotationsdefizits steht (Burkhart *et al.* 2003a). Häufig ist zudem bereits in asymptomatischen Stadien der Bewegungsrhythmus der Skapula gestört, es werden bei Überkopfsportlern Dyskinesien in Stadien der Beschwerdefreiheit beobachtet (Kibler 1998). Diese können aufgrund von Muskeldysbalancen oder Weichteilanpassungen im Schultergelenk entstehen und beeinträchtigen die normale Funktion des Schulterblattes als Basis und Kraftüberträger für Bewegungen im Schultergelenk. Auch magnetresonanztomographische (MRT) Befunde sind für Überkopfsportler dokumentiert, meist aber an Kollektiven erwachsener und/oder symptomatischer Probanden (Connor *et al.* 2003; Jost *et al.* 2005).

Es fehlt in der Literatur die Beschreibung von Anpassungserscheinungen jugendlicher Athleten, besonders asymptomatischer Hochleistungssportler, von denen bekannt ist, dass sie im Laufe ihrer Karriere einem hohen Verletzungsrisiko ausgesetzt sind. Die Beschreibung von Frühzeichen dieser Adaptationsvorgänge, die sich in der klinischen Untersuchung, der Befragung der Sportler und in bildgebenden Verfahren zeigen können, kann einen erheblichen Beitrag dazu leisten, Über- und Fehlbelastungen im Stadium der Asymptomatik zu erkennen und eine Manifestation des Krankheitsbildes der Werferschulter mit all ihren Konsequenzen zu verhindern.

2 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich also mit der Fragestellung, inwiefern sich repetitive Überkopfbelastungen von hohem Niveau und Intensität schon bei jugendlichen, symptomfreien Athleten auf Strukturen und Bewegungsmuster im Schultergelenk auswirken.

Ziel der Untersuchung war es, die pathomorphologischen Veränderungen der asymptomatischen, dominanten Schulter bei jugendlichen Athleten zu beschreiben. Besonderes Augenmerk soll auf die Ausprägung des GIRD und den skapulothorakalen Rhythmus als Risikofaktoren für die Entwicklung schwerwiegender Läsionen der Schulter, besonders von Rotatorenmanschette und Labrum glenoidale, gelegt werden. Zusätzlich soll durch eine MRT-Untersuchung von beiden Schultergelenken evaluiert werden, ob bereits morphologische, strukturelle Veränderungen vorliegen. Allgemeine und athletenspezifische Schulderscores sollen dabei die Symptomfreiheit der Probanden belegen, die als Mitglieder des nationalen Jugendkaders bzw. der Junioren-Nationalmannschaft hohen Trainings- und Wettkampftensitäten ihrer jeweiligen Sportart ausgesetzt sind.

Es wurde hierbei untersucht, ob bei einem Kollektiv asymptomatischer jugendlicher Hochleistungsathleten

- Veränderungen des Bewegungsausmaßes (GIRD)
- Veränderungen des skapulothorakalen Bewegungsverhaltens (Dyskinesie nach Kibler)
- Magnetresonanztomographisch relevante morphologische Veränderungen

vorliegen.

3 Material und Methodik

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Querschnittserhebung von Schulterbefunden asymptomatischer, junger Überkopfsportler. Die Studie wurde in der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München (TUM) in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet für Biomechanik im Sport der Fakultät für Sportwissenschaft der Technischen Universität München, dem Institut für klinische Radiologie des Klinikum Großhadern der Ludwig Maximilians Universität München (LMU) sowie dem Deutschen Leichtathletik Verband, (DLV) dem Bayerischen Leichtathletik Verband (BLV) und dem Bayerischen Volleyball Verband (BVV) durchgeführt. In die Studie eingeschlossen wurden 31 jugendliche Hochleistungsathleten. Die Probanden beantworteten einen standardisierten Fragebogen zu allgemeinem und schulterpezifischem Befinden und Beschwerden und wurden einer klinischen Untersuchung sowie einer Magnetresonanztomographieaufnahme unterzogen. Es wurde keine Kontrollgruppe untersucht, stattdessen fanden die körperliche Untersuchung und die magnetresonanztomographische Untersuchung jeweils auf beiden Seiten (dominanter und nicht-dominanter Arm) statt.

3.1 Probandengut

31 männliche Probanden (n=15 Speerwerfer, Alter bei Studienteilnahme: $17,7 \pm 0,8$ Jahre; n=16 Volleyballspieler, Alter bei Studienteilnahme: $16,9 \pm 1,0$ Jahre ($P = .25$)) erklärten sich mit der Teilnahme an der Studie einverstanden. Alle Athleten waren in ihrer speziellen Überkopfsportart seit mindestens zwei Jahren aktiv und nahmen regelmäßig an nationalen und internationalen Wettkämpfen teil. Zudem waren sowohl Gewichtheben als auch intensiviertes Krafttraining Teil des regelmäßigen Trainingsprogramms der Athleten.

In der Gruppe der Speerwerfer fanden sich zum Zeitpunkt der Datenerhebung alle Teilnehmer unter den Top 30 der nationalen Bestenliste ihrer Altersklasse wieder und waren Teil des deutschen Jugendnationalkaders. Die Athleten übten speerwurfsspezifisches Training seit im Mittel $6,5 \pm 2,2$ Jahren aus und absolvierten durchschnittlich $4,0 \pm 1,4$ Stunden spezielles Wurftraining (ausgenommen allgemeines Kraft-, Ausdauer- und Konditionstraining) pro Woche. Nebenbei wurden

Stabhochsprung (1 Sportler), Turnen (1) und Volleyball (2) auf Freizeitniveau betrieben. 2 der Athleten waren in der Vorgeschichte als Handballspieler, ebenfalls auf Freizeitniveau, aktiv.

Die 16 Volleyballspieler wurden in einem Sportinternat des Deutschen Volleyballverbandes betreut und nahmen regelmäßig an Spielen auf nationaler und internationaler Ebene in der 2. Bundesliga Süd sowie der Jugendnationalmannschaft teil. Sie absolvierten ihr spezifisches Volleyball-Training seit $5,0 \pm 2,1$ Jahren und trainierten $9,8 \pm 1,4$ Stunden pro Woche volleyballspezifisch. In dieser Gruppe spielten 2 Sportler nebenbei Tennis auf Freizeitniveau.

Die Untersuchungen fanden in der Erholungsphase im Zeitraum der Nachsaison statt. Bei keinem der Probanden lagen eine positive Traumaanamnese oder Voroperationen der Schulter vor. Athleten, die in den letzten 6 Monaten mindestens 2-wöchige Trainingspausen aufgrund von Schulterbeschwerden einlegen mussten, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Aufgrund der strengen Einschlusskriterien von Probanden einer bestimmten Altersgruppe mit hohem sportartspezifischen Niveau war die Zahl der verfügbaren Athleten begrenzt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Studienteilnehmer:

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer

	Gruppe 1	Gruppe 2
Sport	Speerwurf	Volleyball
n =	15	16
Alter (a)	17,7 ($\pm 0,8$)	16,9 ($\pm 1,0$)
Gewicht (kg)	87,5 ($\pm 9,0$)	83,8 ($\pm 8,5$)
Größe (cm)	186,4 ($\pm 6,3$)	192,5 ($\pm 7,0$)
BMI (kg/m²)	25,2 ($\pm 2,0$)	22,6 ($\pm 1,6$)
Dominanter Arm	13 rechts / 2 links	14 rechts / 2 links
Spezialisiertes Training seit (a)	6,5 ($\pm 2,2$)	5,0 ($\pm 2,1$)
Spezifisches Training pro Woche (h)	4,0 ($\pm 1,4$)	9,7 ($\pm 1,4$)

BMI: Body Mass Index

3.2 Fragebogen und klinische Scores

Zu Beginn der Untersuchung wurde von jedem Studienteilnehmer eine Einverständniserklärung zur Studie unterschrieben und ein einheitlicher Fragebogen ausgefüllt. Dieser enthielt allgemeine Kontaktdaten, Angaben zu Größe und Gewicht sowie Art, Umfang und Niveau der ausgeführten Hauptsportart sowie eventuell zusätzlich ausgeführter Sportarten. Besonderes Augenmerk wurde auf die verschiedenen Trainingsarten und deren Umfänge gelegt, um die sportartspezifische Belastung zu beurteilen. Zudem wurden aktuelle Schmerzen und sonstige Beschwerden in der Schulter und angrenzender Strukturen dokumentiert und Schulterprobleme in der Vergangenheit erfasst. Um Beeinträchtigungen und Zustand der Schulter detailliert zu erfassen, bedienten wir uns diverser standardisierter, im Folgenden aufgeführter, klinischer Scores.

3.2.1 Visuelle Analogskala

Die Visuelle Analogskala (VAS) (Hayes und Patterson 1921) ist ein weit verbreiteter, subjektiver Test zur Quantifizierung von Schmerzen, im Falle unserer Studie bezogen auf die dominante Schulter. Sie ist leicht verständlich und ohne großen Aufwand durchzuführen. Aus einer horizontal angeordneten, unipolaren Skala ohne Abstufungen mit den Endpunkten „kein Schmerz“ und „unerträglicher Schmerz“ lässt sich durch Messung des Abstandes der vom Probanden zwischen diesen beiden Randpunkten gesetzten Markierung vom Nullpunkt der Linie ein quantitativer Wert ablesen (Wewers und Lowe 1990). Der Minimalwert beträgt 0 Punkte, der Maximalwert wurde mit 10 Punkten festgelegt. Unterschieden wurden bei der Auswertung Schritte von 0,5 Punkten Unterschied.

3.2.2 WOSI Index

Der *Western Ontario Shoulder Instability Index* (WOSI Index) (Kirkley *et al.* 1998) ist ebenfalls ein rein subjektiver Score, der die Lebensqualität in Abhängigkeit von Beschwerden in der Schulter abbildet und hierbei insbesondere Bezug auf Instabilität nimmt. Der Score ist als Fragebogen, bestehend aus 21 Fragen zu vier verschiedenen Themenbereichen konzipiert. Die Bewertung der einzelnen Fragen erfolgt nach demselben Prinzip wie bei der Visuellen Analogskala. Eine unipolare, nicht skalierte Linie wird nach Ausfüllen durch den Probanden in 100 Punkte aufgeteilt, der beste

Wert beträgt 0 Punkte, der schlechteste Wert 100 Punkte, wobei bei der Auswertung in 5 Punkt-Schritten unterschieden wird (Kirkley *et al.* 1998).

Die vier Teilbereiche des Fragebogens umfassen:

- Körperliche Symptome (10 Fragen)
- Beeinträchtigung bei Sport/Freizeit/Arbeit (4 Fragen)
- Beeinträchtigung von Lebensstil/sozialen Interaktionen (4 Fragen)
- Empfindungen/Emotionen (3 Fragen)

Zur Auswertung werden die Werte aller Fragen addiert, vom Maximalwert abgezogen und dieses Zwischenergebnis durch die Anzahl der Fragen dividiert. So entsteht ein Score, der im günstigsten Fall 100 Punkte, bei schlechtestem Ergebnis 0 Punkte abbildet (Kirkley *et al.* 1998).

$$\frac{\text{Maximalwert}(2100) - \text{Gemessener Wert}(0 - 2100)}{\text{Anzahl der Fragen}(21)} = \text{Score}(0 - 100)$$

3.2.3 Rowe Scale

Die Rowe Scale ist ein von Rowe *et al.* (1978) entwickelter, semiquantitativer Fragebogen, der ebenfalls das Hauptaugenmerk auf Schulterstabilität legt. Er besteht aus lediglich drei Fragen aus drei Teilbereichen und es können bei Beschwerdefreiheit im Ganzen maximal 100 Punkte erreicht werden. Stabilität fließt mit 50 Punkten, Funktion der Schulter mit 30 Punkten und Beweglichkeit im Schultergelenk mit 20 Punkten in den Score-Wert ein. Es kann bei jeder Frage aus vier, nach Maß der Beeinträchtigung abgestuften, Antwortmöglichkeiten gewählt werden, die entsprechenden Punktwerten zugeordnet sind (Rowe *et al.* 1978).

3.2.4 ASES Score

Die von den „*American Shoulder and Elbow Surgeons*“ (ASES) (King *et al.* 1999) entwickelte Methodik zur Evaluation der Schulter basiert auf einem subjektiven Fragebogen, körperlicher Untersuchung und funktionellen Tests. Es werden Bewegungsausmaße, Druckschmerzen, Impingementzeichen, Kraft und Instabilität getestet, außerdem Krepitationen und sonstige sichtbare Auffälligkeiten des Schultergelenkes notiert. Im Fragebogen werden die Teilbereiche Schmerz, Instabilität und Aktivitäten des täglichen Lebens abgefragt. Schmerz wird durch die visuelle

Analogskala und spezielle Fragen zur Schmerzanamnese dokumentiert. Instabilität wird ebenfalls durch eine subjektiv bewertete, unipolare visuelle Analogskala quantifiziert, mit den beiden Endpunkten „sehr stabil“ und „sehr instabil“. Im letzten Teil des Fragebogens werden Aktivitäten des täglichen Lebens und die Möglichkeit deren Ausführung in Form von 10 Fragen zu je 0-3 Punkten geprüft (King *et al.* 1999).

Der Wert des Scores setzt sich schließlich lediglich aus dem subjektiven Patiententeil zusammen. Hierbei fließen die VAS für Schmerz und die Aktivitäten des täglichen Lebens zu gleichen Teilen mit jeweils 50 Punkten in die Bewertung ein (King *et al.* 1999):

$$\left((10 - VAS) * 5 \right) + \left(5 / 3 * \text{Summe der ADL (Maximal 30)} \right) = \text{Score (0 - 100)}$$

3.2.5 Constant-Murley Score

Der Constant-Murley Score (CMS) (Constant und Murley 1987) besteht ebenfalls aus einem subjektiven Fragebogen und einer von einem Untersucher durchgeführten körperlichen Untersuchung. Der Score ist sowohl zur Verlaufskontrolle für Patienten nach Verletzungen oder Operationen geeignet, als auch zum Erkennen bereits kleinerer Veränderungen der Funktion bei beschwerdefreien Probanden (Constant und Murley 1987).

Der Score umfasst insgesamt 100 Punkte, von denen durch die subjektive Einschätzung des Patienten maximal 35 erreicht werden können, durch die objektive Bewertung des Untersuchers maximal 65. Die einzelnen Teilbereiche des Scores sind:

- Subjektiv:
 - Schmerz (15 Punkte)
 - Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) (20 Punkte)
- Objektiv:
 - Bewegungsausmaß (40 Punkte)
 - Kraft (25 Punkte)

Schmerzen werden durch die visuelle Analogskala erfasst, die für den Constant-Murley-Score in 15 Punkte unterteilt wird.

Die ADL werden durch einen semiquantitativen Fragebogen erfasst, es wird die Beeinträchtigung von Arbeit, Sport/Freizeit, Schlaf und Heben des Armes durch Schulterprobleme abgefragt.

Das von einem Untersucher evaluierte Bewegungsausmaß umfasst die schmerzfreie und aktive Flexion, Abduktion, Außenrotation und Innenrotation im Schultergelenk, die erreichten Winkel bei Flexion und Abduktion bzw. Referenzbewegungen zur Evaluation von Außen- und Innenrotation werden in Punktwerte von 0 bis 10 pro Bewegung überführt. Zur Messung der Außen- und Innenrotationsfähigkeit sind jeweils 5 Positionen des Armes durch kombinierte Außenrotations-/ Abduktions-/ Flexionsbewegungen bzw. Innenrotations-/ Extensions-/ Adduktionsbewegungen durchzuführen, um besser auf die Funktionalität einzugehen, als dies bei isolierten Rotationsmessungen möglich wäre (Constant und Murley 1987).

Die Kraft wurde in der vorliegenden Studie mithilfe des Isobex-Muskelkraft-Analysegerätes (MDS Medical Device Solutions AG, Oberburg, Schweiz) gemessen. Im Sitzen wurde bei aufrechtem Oberkörper und 90° abduziertem, gestreckten und innenrotierten Arm in der Skapularebene die Abduktionskraft gemessen. Der Mittelwert aus jeweils drei Messungen an jedem Arm wird in der Maßeinheit Pfund als Punktwert angegeben. So wurde der Maximalwert von 25 Punkten, erreicht, wenn die Abduktionskraft 25 Pfund (11,25 kg) beträgt.

Durch Addition der in den 4 Bereichen erreichten Punkte ergibt sich der Gesamtwert des Constant-Murley Scores (Constant und Murley 1987).

3.2.6 ASOR Scale

Die *Athletic Shoulder Outcome Rating Scale* (ASOR Scale) ist eine von Tibone und Bradley (Tibone 1993) entwickelte Methodik zur Evaluation des Schulterstatus speziell von Sportlern, da gute Resultate in den konventionellen Schultertests für Sportler auf hohem Niveau häufig von geringer Aussagekraft sind. Die ASOR Scale beinhaltet deshalb neben der subjektiven Beurteilung von Schmerz und Stabilität auch das Assessment von Kraft, Ausdauer, Intensität und Performance. Des Weiteren werden objektiv von einem Untersucher die Flexion und das Bewegungsausmaß der Außenrotation beurteilt (Tibone 1993).

Die maximal erreichbare Punktzahl der ASOR Scale beträgt wiederum 100 Punkte, es gehen 90 Punkte durch die subjektive Beurteilung von Schmerzen (10 Punkte), Kraft und Ausdauer (10 Punkte), Stabilität (10 Punkte) und Instabilität (10 Punkte), sowie die Wettkampfperformance mit 50 Punkten in den Score ein. Zusätzliche 10 Punkte werden

für die von einem Untersucher gemessene Außenrotationsfähigkeit im 90° abduzierten Schultergelenk und die Elevation vergeben (Hauser-Bischof 2003; Tibone 1993).

3.3 Klinische Untersuchung

Im Rahmen der Erhebung der funktionellen Scores und zur kompletten Evaluation beider Schultern wurde bei jedem Probanden eine klinische Untersuchung nach standardisiertem Schema durchgeführt. Die durchgeführten Tests umfassten eine komplette Erfassung des aktiven Bewegungsausmaßes des Schultergelenkes in Flexion und Abduktion sowie der Außenrotation bei jeweils 0° und 90° Abduktion. Zur Erfassung des bei Überkopfsportlern typischen glenohumeralen Innenrotationsdefizits wurde in Rückenlage bei durch den Untersucher mithilfe des Codman-Griffes (Codman 1934) fixierter Skapula die passive Außenrotation und Innenrotation bei 90° Abduktion im Schultergelenk erfasst (Abbildung 3.1). Bei gebeugtem Ellenbogen wurde von einem zweiten Untersucher mit einem Goniometer der Winkel in Grad zwischen dem Unterarm des Probanden und einer vertikalen Lotachse abgelesen, bei dem der erste Untersucher bemerkt, dass das Schulterblatt beginnt, sich über den hinteren Brustkorb zu bewegen (Burkhart *et al.* 2003a).

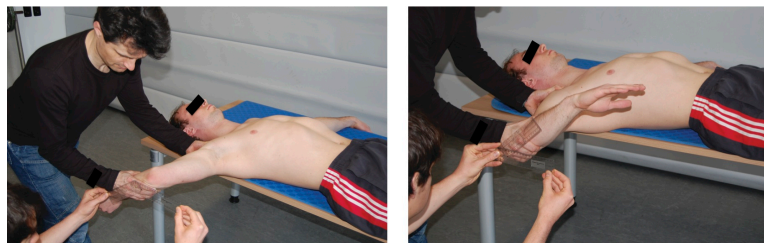


Abbildung 3.1: Untersuchung des passiven glenohumeralen Rotationsausmaß bei 90° abduziertem Arm

Im Rahmen des ASES Scores (King *et al.* 1999) wurden Druckschmerzen über dem Tuberculum majus, dem Acromioclaviculargelenk, der LBS und sonstige Druckschmerzen im Bereich des Schultergelenkes mit einer Intensität von 0 – 3 bewertet und dokumentiert. Des Weiteren wurden Krepitationen bei passiver Bewegung des Schultergelenkes, Narben, Atrophien oder Deformitäten, soweit bestehend, notiert. Zur Erfassung von Impingementbeschwerden wurden der Hawkins-Kennedy- und Jobe-Test durchgeführt, sowie ein schmerzhafter Bogen bei Abduktion zwischen 60° und 120° („painful arc“) getestet. Die Kraft der Probanden bei Flexion, Abduktion,

Außenrotation und Innenrotation wurde vom Untersucher getestet und semiquantitativ mit 0 = „keine Kraft“ bis 5 = „volle Kraft“ bewertet. Zusätzlich wurde vermerkt, wenn Schmerzen die Kraftmessung beeinträchtigten.

Im Rahmen der Instabilitätstestung wurden die anteriore und posteriore Translation des Humeruskopfes sowie ein evtl. bestehendes Sulcus-Sign und der Apprehension-Test ebenfalls semiquantitativ mit den Abstufungen 0 bis 3 bewertet. Das Vorliegen eines reproduzierbaren Instabilitätsgefühls, willkürlicher Instabilität durch den Patienten sowie der Relocation-Test und allgemeine Hyperlaxizitätszeichen wurden qualitativ mit „ja“ oder „nein“ bewertet. Die allgemeine Hyperlaxizität wurde anhand der Beighton-Skala bewertet (Beighton und Horan 1969).

Um eine möglichst komplette Evaluation der Schulter zu garantieren und bestehende Pathologien aufzudecken wurden zudem noch einige spezifische, funktionelle Tests durchgeführt. Zur Bewertung der langen Bizepssehne der Palm-up-Test, der Biceps-Stretch-Test und der Speed-Test. Letzterer gibt zudem Hinweise auf eine anteriore Typ-II SLAP Läsion (Morgan *et al.* 1998). Auch der Werfer-Test zeigt Pathologien der LBS an, weist aber gleichzeitig auf eine vordere bzw. vordere-untere Instabilität und das bei Überkopfsportlern gehäuft auftretende posterosuperiore Impingement hin. Die hintere Instabilität wurde mit dem Jerk-Test, eine multidirektionale Instabilität mit dem Gagey-Test bewertet. Dieser wird bei einer passiven isoliert glenohumeralen Abduktion $> 105^\circ$ als positiv gewertet (Gagey und Gagey 2001). Das Vorliegen einer SLAP Läsion wurde durch den O'Brien-Test (Morgan *et al.* 1998; O'Brien *et al.* 1998) und die bereits erwähnten Relocation- und Speed-Tests beurteilt (Burkhart *et al.* 2003c; Morgan *et al.* 1998).

Eine Inspektion der Skapula und des relativen Schulterstandes in Neutralstellung im Vergleich zur Gegenseite sollten Hinweise auf bestehende Hypertrophien oder Stellungsunterschiede der Schulterblätter liefern. Zur Bewertung einer skapulothorakalen Dyskinesie wurde die dynamische Methode nach Kibler verwendet, bei welcher der stehende Proband gebeten wurde, drei mal beide Arme in der Skapularebene zu heben und langsam wieder abzusenken, da beim Absenken der Arme eine bestehende Dyskinesie oft erst sichtbar wird (Kibler 1998; Kibler *et al.* 2002; Uhl *et al.* 2009). Eine Prominenz des inferioren Teils der Margo medialis wird als Dyskinesie Typ I bezeichnet und deutet auf eine vermehrte Protraktion des Schulterblattes hin. Dyskinesie Typ II liegt vor, wenn eine Prominenz des kompletten

Margo medialis zu beobachten ist, es liegt hier eine vermehrte Innenrotation der Skapula vor. Typ III Dyskinesie schließlich beschreibt ein Hervortreten des superioren Randes der Margo medialis und zeigt ein Höherentreten des gesamten Schulterblattes. Die symmetrische Bewegung beider Schulterblätter ohne Erkennbare Asymmetrie oder Prominenzen wird als Bewegungsmuster Typ IV bezeichnet (Kibler *et al.* 2002).

Zur Bewertung der die Skapula stabilisierenden Muskeln wurde außerdem der Lateral Scapular Slide Test (LSST) durchgeführt, eine semidynamische Bewertung der Stellung des Schulterblattes (Abbildung 3.2) (Kibler 1998). In drei Positionen wird beim stehenden Probanden der Abstand des Angulus inferior zur Wirbelsäule gemessen. Bei der ersten Position lässt der Proband die Arme locker an der Seite des Körpers hängen. Hier wird der lotrechte Abstand von der Wirbelsäule zu den beiden Anguli inferiores gemessen und der entsprechende Dornfortsatz der Wirbelsäule markiert. Von diesem Dornfortsatz aus wird im Folgenden auch bei den beiden anderen Positionen der Abstand zum rechten und linken Angulus inferior bestimmt. Bei der zweiten Position sind die Hände in die Hüften gestemmt, die dritte Position erfordert 90° Abduktion und maximale Innenrotation im Glenohumeralgelenk. Asymmetrien ab 1,5 cm geben Hinweise auf vorliegende Pathologien in der Schulter und werden als „nicht normal“ bezeichnet (Kibler 1998).



Abbildung 3.2: Lateral Scapular Slide Test bei einem Speerwerfer: Die Linie zeigt den Messabstand der Wirbelsäule zum Angulus inferior an.

Zur Evaluation der motorischen Funktionalität der Schulter führten die Probanden zudem zwei Performance-Tests durch. Beim *Closed Kinetic Chain Upper-Extremity Stability Test* (CKC-UE) werden am Boden zwei parallele Linien von 30 cm Länge im Abstand von 90 cm markiert (Abbildung 3.3) (Goldbeck und Davies 2000). Aus der Liegestützposition mit den Händen auf den beiden Linien müssen in drei Durchläufen à

15 s so oft wie möglich beide Linien mit beiden Händen berührt werden. Als Eingewöhnung wird ein zusätzlicher Durchgang bei submaximaler Belastung durchgeführt, der nicht gezählt wird. Der Durchschnittswert ergibt genormt auf die Körpergröße einen Scorewert, der Auskunft über Stabilität und Funktionalität der kinetischen Kette gibt (Ellenbecker 2006; Goldbeck und Davies 2000).

$$\text{Score} = \frac{\text{Durchschnittliche Anzahl an Kontakten}}{\text{Körpergröße (m)}}$$

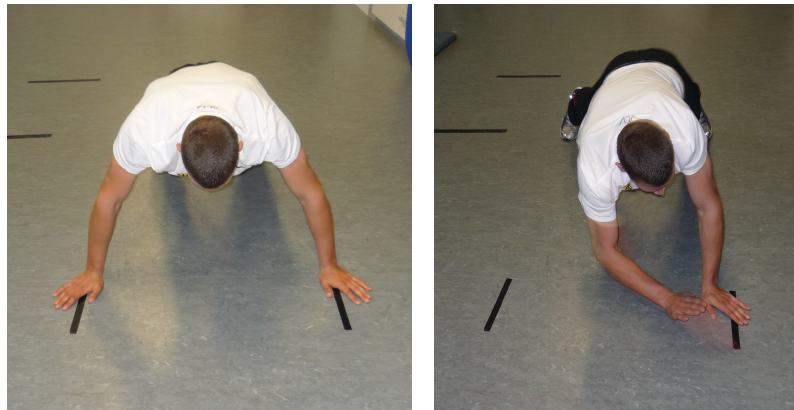


Abbildung 3.3: Closed Kinetic Chain Upper-Extremity Stability Test eines Speerwerfers

Der *Functional Throwing Performance Index* (FTPI) liefert einen Überblick über die Genauigkeit der Ausführung repetitiver Wurfbewegungen (Abbildung 3.4) (Davies und Dickoff-Hoffman 1993). Der Proband steht hinter einer, 4,57 m von einer Wand entfernten Markierung und muss von dort aus versuchen, einen Gymnastikball in 30 s so oft wie möglich in ein 30 cm x 30 cm messendes Quadrat, 1,20 m über dem Boden, zu werfen. Aus wiederum drei Durchgängen wird die Summe der Versuche und der Treffer gebildet und hieraus die Trefferquote in % berechnet. Zur Vorbereitung absolvierte jeder Proband 4 Probewürfe (Davies und Dickoff-Hoffman 1993; Ellenbecker 2006).



Abbildung 3.4: Functional Throwing Performance Index eines Volleyballspielers

3.4 Magnetresonanztomographie

Alle Probanden wurden einer bilateralen Magnetresonanztomographieuntersuchung der dominanten und nicht-dominanten Schulter unterzogen. Verwendet wurde ein 3.0 Tesla MRT-Gerät (Verio, Siemens AG, Medical Solutions Magnetic Resonance, Erlangen, Deutschland). Das native Sequenzprotokoll beinhaltete eine coronare T1-gewichtete, eine sagittale T2-gewichtete, eine axiale T2-gewichtete 3D-DESS-Aufnahme sowie eine axiale und eine coronare Protonendichte (PD)-gewichtete Aufnahme unter Verwendung einer dedizierten Schulterspule. Die Untersuchungszeit pro Schulter lag bei etwa 50 Minuten. Die Probanden befanden sich in Rückenlage mit dem Arm in Neutralstellung neben dem Körper liegend.

Nach Connor *et al.* (2003) und Jost *et al.* (2005) wurden folgende Parameter analysiert:

- Rotatorenmanschettenläsionen unter Angabe der betroffenen Sehne klassifiziert nach:
 - Tendinose
 - Partialruptur
 - Komplettruptur
- knöcherne Veränderungen des Humeruskopf in räumlichem Bezug zur Wachstumsfuge und klassifiziert nach:
 - Ödem
 - Ossäre zystische Läsionen < 3mm
 - Ossäre zystische Läsionen > 3mm

- (okkulte) Frakturen/Defekte
- degenerative Veränderungen oder Luxationszeichen des AC-Gelenks
- Form des Akromions (Nicholson *et al.* 1996)
- Läsionen des Gelenkknorpels des Humeruskopfes und der Glenoidpfanne
- Läsionen des Labrum glenoidale unter Angabe der Lokalisation:
 - antero-inferior
 - postero-inferior
 - antero-superior
 - postero-superior
- SLAP-Läsionen klassifiziert nach Snyder *et al.* (1990)
- Ganglionzysten skaliert und die Lokalisation beschrieben
- Erguss und Flüssigkeit im Subakromialraum.

3.5 Statistische Methoden

Alle erhobenen Daten wurden im Statistikprogramm SPSS (Version 20.0) der Firma IBM dokumentiert, mit diesem bearbeitet und die deskriptive Analyse aller Variablen und die statistischen Tests auf Signifikanz durchgeführt.

Zur Überprüfung der Normalverteilung aller Daten diente der Shapiro-Wilk Test. Dieser ist besonders für kleinere Stichprobenzahlen unter 50 geeignet.

Um die Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Gruppen bzw. im Seitenvergleich zu validieren, bedienen wir uns bei normalverteilten Daten der einfaktoriellen ANOVA und bei nicht-normalverteilten Datensätzen dem Chi-Quadrat Test.

Das Konfidenzintervall wurde vor der Untersuchung der Daten mit 95% festgelegt. Dementsprechend liegt die Sicherheitswahrscheinlichkeit bei 95%, die Irrtumswahrscheinlichkeit (p) bei 5%.

Die ermittelten Signifikanzen wurden in Abhängigkeit der Irrtumswahrscheinlichkeit in den Abbildungen mit den folgenden Symbolen dargestellt:

- Nicht signifikant: $p > 0,05 \Rightarrow$ n.s.
- Signifikant: $p \leq 0,05 \Rightarrow$ *
- Sehr Signifikant: $p \leq 0,01 \Rightarrow$ **
- Hochsignifikant: $p \leq 0,001 \Rightarrow$ ***

4 Ergebnisse

4.1 Klinische Scores

Durch die Erhebung der klinischen Scores, die allesamt Beeinträchtigungen der Schulter oder deren Funktionalität beurteilen, konnten keine pathologischen Befunde detektiert werden und es wurde in der statistischen Auswertung bei keinem der Scores ein Unterschied zwischen den Gruppen gesehen.

Einen Überblick über die Ergebnisse liefern Tabelle 2 und Abbildung 4.1:

Tabelle 2: Ergebnisse der Scores

Scores (MW ± SD)	Speerwurf	Volleyball	Gesamt
VAS (0-10 Punkte)	0,9 (± 1,6)	0,6 (± 0,8)	0,7 (± 1,2)
WOSI (0-100 Punkte)	93,8 (± 7,4)	93,6 (± 5,1)	93,7 (± 6,2)
ROWE (0-100 Punkte)	97,0 (± 6,5)	98,4 (± 3,0)	97,7 (± 5,0)
ASES (0-100 Punkte)	95,4 (± 8,3)	95,8 (± 5,6)	95,6 (± 7,0)
ASOR (0-100 Punkte)	98,4 (± 3,7)	99,5 (± 1,5)	99,0 (± 2,8)
CMS (0-100 Punkte)	95,5 (± 3,6)	94,7 (± 4,6)	95,1 (± 4,1)

VAS: Visuelle Analogskala, WOSI: Western Ontario Shoulder Index, ROWE: Rowe Scale, ASES: American Shoulder and Elbow Surgeons Score, CMS: Constant Murley Score, ASOR: Athletic Shoulder Outcome Rating Scale, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

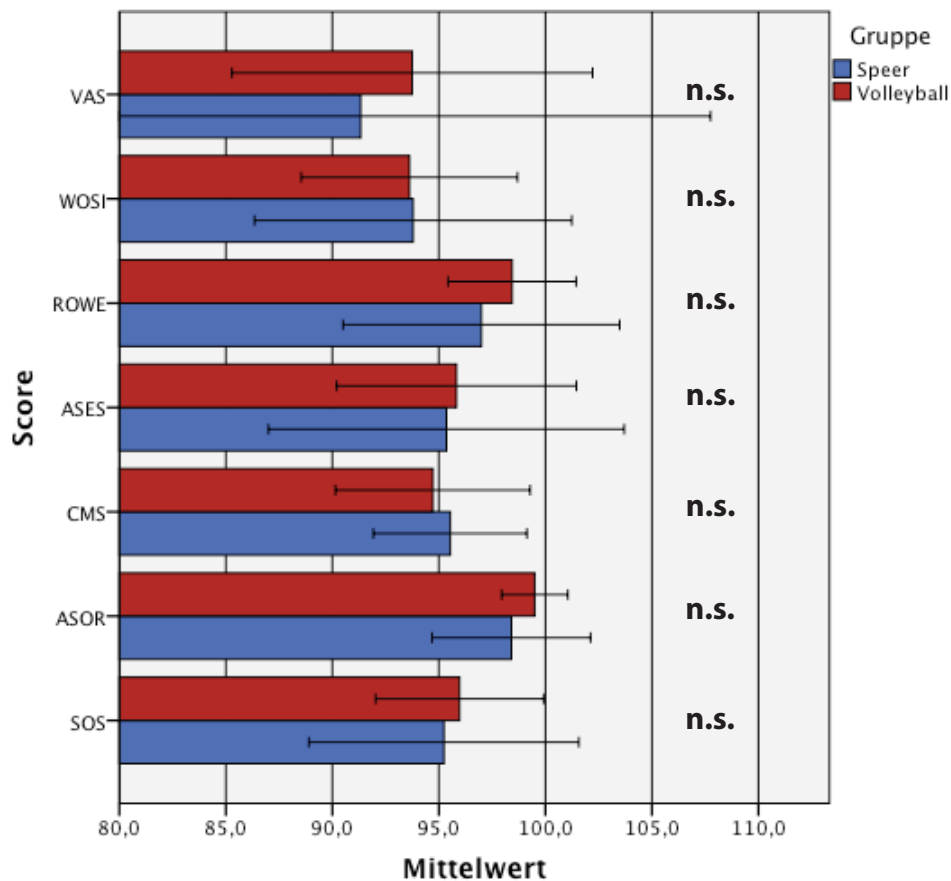


Abbildung 4.1: Scorewerte im Vergleich zwischen den Gruppen

VAS: Visuelle Analogskala, WOSI: Western Ontario Shoulder Index, ROWE: Rowe Scale, ASES: American Shoulder and Elbow Surgeons Score, CMS: Constant Murley Score, ASOR: Athletic Shoulder Outcome Rating Scale, SOS: Mittelwert aller Scorewerte. Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung.

4.2 Klinische Untersuchung

Zur klinischen Evaluation der Probanden wurden Bewegungsausmaße gemessen und schulterpezifische Tests zur Beurteilung der Funktion des Schultergelenkes sowie zum Ausschluss pathologischer Zustände, durchgeführt. Die aktiven Bewegungsausmaße von Flexion, Abduktion, Außenrotation bei 0° und bei 90° Abduktion beim stehenden Probanden lagen bei beiden Gruppen im Normbereich (Tabelle 3).

Tabelle 3: Aktive Bewegungsmaße

Bewegung (MW \pm SD)	Seite	Speerwurf	Volleyball	Gesamt
Flexion (°)	dominant	175,3 (\pm 5,2)	175,0 (\pm 5,2)	175,2 (\pm 5,1)
	nicht-dominant	175,3 (\pm 5,2)	175,0 (\pm 5,2)	175,2 (\pm 5,1)
Abduktion (°)	dominant	179,3 (\pm 2,6)	180,0 (\pm 0,0)	179,7 (\pm 1,8)
	nicht-dominant	179,3 (\pm 2,6)	180,0 (\pm 0,0)	179,7 (\pm 1,8)
Außenrotation bei 0°	dominant	77,3 (\pm 10,8)	75,3 (\pm 12,7)	76,3 (\pm 11,7)
Abduktion (°)	nicht-dominant	76,3 (\pm 13,9)	74,4 (\pm 11,8)	75,3 (\pm 12,7)
Außenrotation bei	dominant	115,7 (\pm 10,2)	114,1 (\pm 15,1)	114,8 (\pm 12,7)
90°Abduktion (°)	nicht-dominant	108,0 (\pm 9,8)	102,2 (\pm 9,8)	105,0 (\pm 10,1)

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Die Messung der passiven, glenohumeralen Außen- und Innenrotation bei 90° abduzierter Schulter in Rückenlage und manuell fixierter Skapula ergab folgende Werte (Abbildung 4.2, Abbildung 4.3, Abbildung 4.4):

Das Innenrotationsausmaß der dominanten Schulter betrug in Gruppe 1: 45,3 (\pm 20,1)°, das der nicht dominanten Schulter 54,7 (\pm 19,2)°, Gruppe 2 wies ein Innenrotationsausmaß von 40,6 (\pm 13,6°) der dominanten Schulter und 57,5 (\pm 12,2)° der nicht-dominanten Schulter auf. Der signifikante Unterschied des Bewegungsmaßes der hohen Innenrotation im Gesamtkollektiv (dominant: 42,9 (\pm 17,0)°, nicht-dominant 56,1 (\pm 15,8)° (P = .002)) bringt ein GIRD in der Gruppe der Speerwerfer von 9,3 (\pm 9,2)° und der Volleyballspieler von 16,9 (\pm 11,2)° (P = .051) mit sich (Gesamt: 13,2 (\pm 10,8)°). Neben dieser beobachteten Differenz im Seitenvergleich unterschied sich das Bewegungsmaß der Probanden bei keinem der weiteren untersuchten Werte statistisch signifikant.

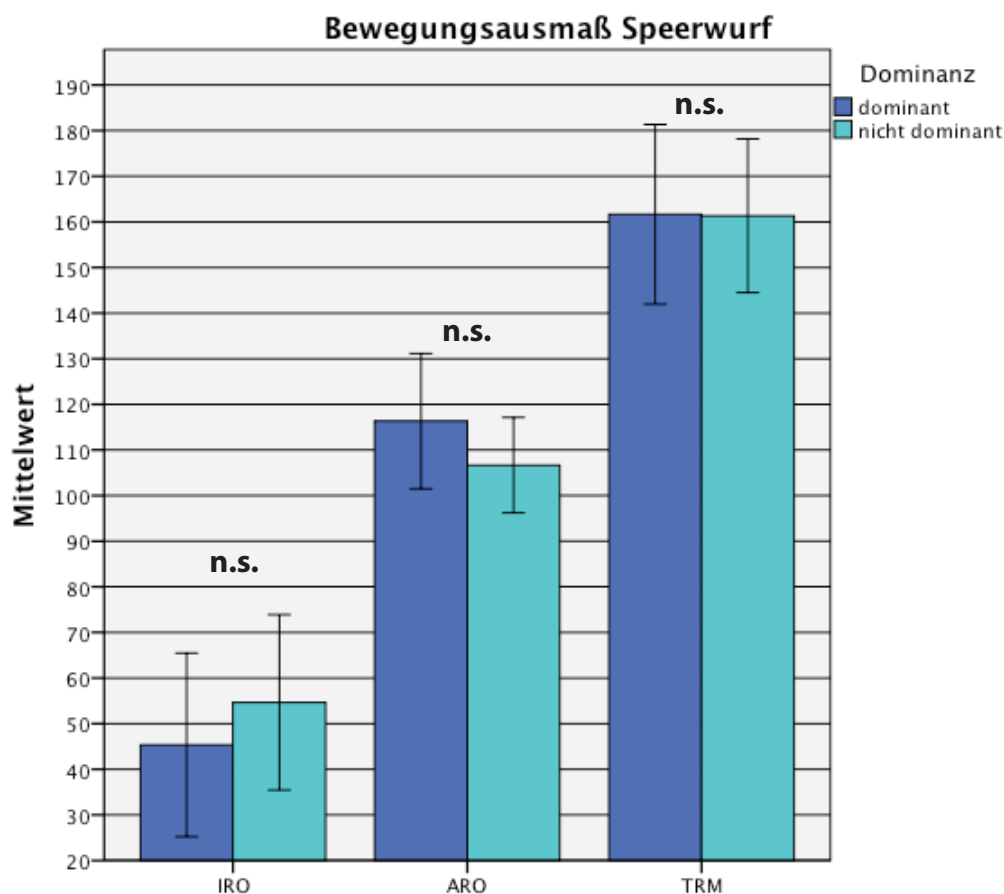


Abbildung 4.2: Passive Bewegungsausmaße der Speerwerfer

IRO: Innenrotation, ARO: Außenrotation, TRM: Gesamtbewegungsausmaß. Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung

Die Außenrotation zeigte in Gruppe 1 Werte von $116,3 (\pm 14,8)^\circ$ in der dominanten Schulter, in der nicht-dominanten hingegen $106,7 (\pm 10,5)^\circ$. Gruppe 2 erreichte in der dominanten Schulter $113,4 (\pm 15,5)^\circ$ gegenüber der nicht-dominanten mit $98,4 (\pm 6,8)^\circ$. Der sich hieraus ergebende ERG betrug in der Gruppe der Speerwerfer somit $9,7 (\pm 10,6)^\circ$, bei den Volleyballspielern $15,0 (\pm 12,5)^\circ$ (Gesamtkollektiv: dominant: $114,8 (\pm 15,0)^\circ$, nicht-dominant: $102,4 (\pm 9,6)^\circ$, ERG: $12,4 (\pm 11,8)^\circ$).

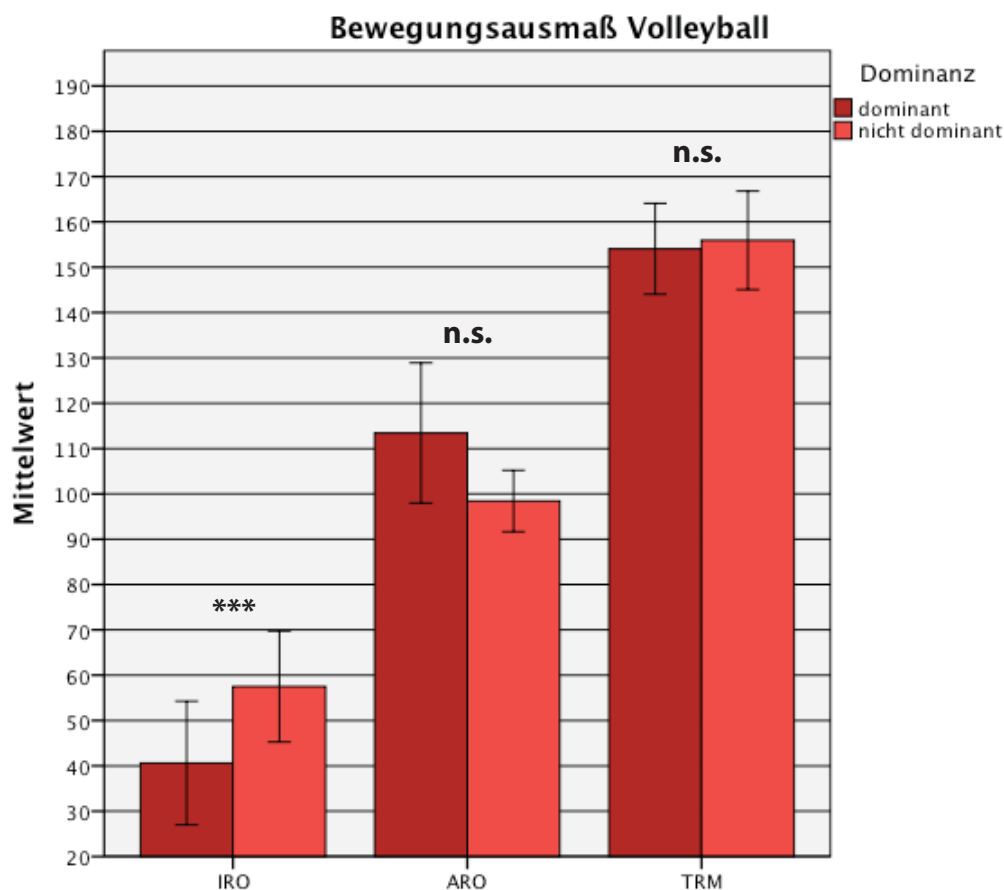


Abbildung 4.3: Passive Bewegungsausmaße der Volleyballspieler

IRO: Innenrotation, ARO: Außenrotation, TRM: Gesamtbewegungsausmaß. Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung

Das Gesamtbewegungsausmaß der glenohumeralen Rotation bei um 90° abduzierten Arm betrug somit in Gruppe 1 in der dominanten Schulter $161,7 (\pm 19,7)^\circ$, in der nicht-dominanten Schulter $161,3 (\pm 16,8)^\circ$ ($P = .96$). Gruppe 2 erreichte geringere Werte: $154,1 (\pm 10,0)^\circ$ (dominant) bzw. $155,9 (\pm 10,8)^\circ$ (nicht-dominant) ($P = .62$) (Gesamtkollektiv: dominant: $157,7 (\pm 15,7)^\circ$, nicht-dominant: $158,5 (\pm 14,1)^\circ$ ($P = .83$)). Die resultierende Seitendifferenz der TRM beträgt in Gruppe 1 $0,3 (\pm 9,9)^\circ$, in Gruppe 2 $1,9 (\pm 11,5)^\circ$ (Gesamtkollektiv: $0,8 (\pm 10,7)^\circ$).

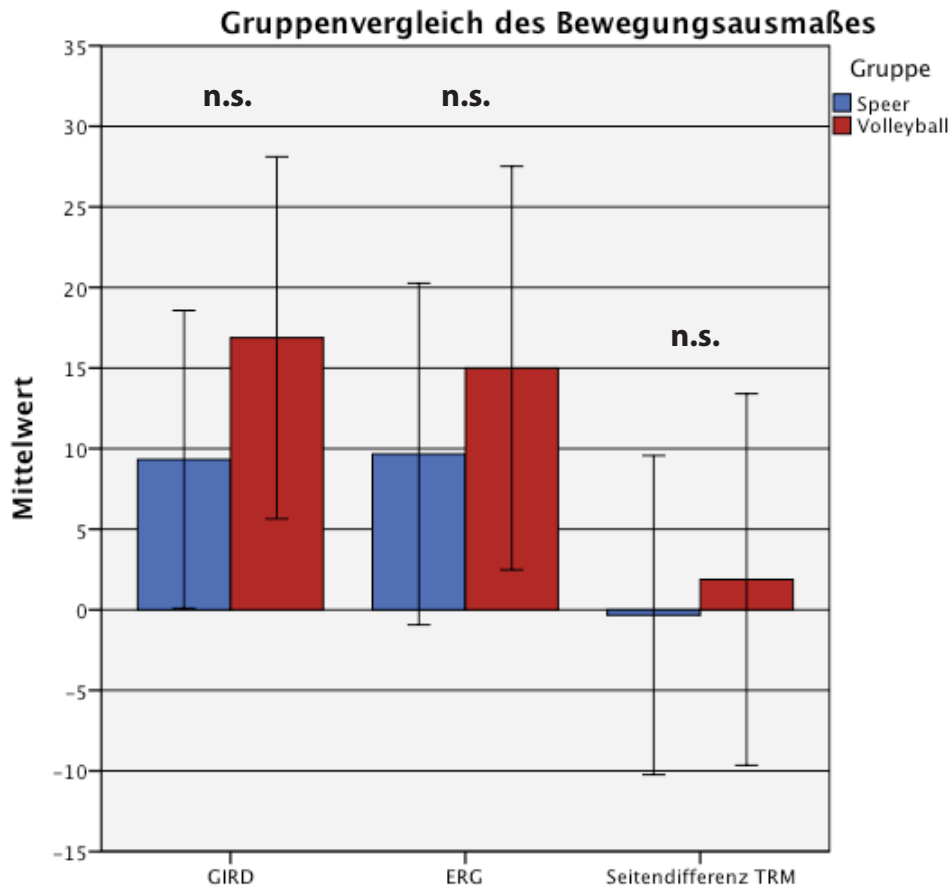


Abbildung 4.4: Seitendifferenz der passiven hohen Rotationsausmaße im Vergleich zwischen den Gruppen.

GIRD: Glenohumerales Innenrotationsdefizit, ERG: Zugewinn von Außenrotation, TRM: Gesamtbewegungsausmaß. Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung

Die Messung der Kraft zeigte keine Auffälligkeiten, bei jedem Probanden konnte auf beiden Seiten die volle Kraftentwicklung registriert werden. Es zeigten sich in der klinischen Untersuchung bei 1 Probanden aus Gruppe 1 (6,7%) und 1 Probanden aus Gruppe 2 (6,3%) jeweils bilateral dezente Zeichen von Impingementbeschwerden. Bei diesen beiden Probanden wurde mit Hilfe der Beighton Skala (Beighton und Horan 1969) zudem das Vorliegen von allgemeiner Hyperlaxizität festgestellt, die sich jedoch bei insgesamt 2 Probanden aus Gruppe 1 (13,3%) und 4 Probanden aus Gruppe 2 (25,0%) ergaben. Nur ein Volleyballspieler (6,3%) fiel auf der dominanten Seite durch ein positives Apprehension-Zeichen bei der Testung der anterioren Instabilität auf, sonst konnten bei keinem der Probanden Instabilitätszeichen nachgewiesen werden.

Auch die schulterspezifischen Tests konnten keine weiteren gravierenden Pathologien aufdecken (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ergebnis der schulterspezifischen klinischen Testung

Test	Seite	Speerwurf	Volleyball	Gesamt
Speed	dominant	0 (0%)	1 (6,3%)	1 (3,2%)
	nicht-dominant	0 (0%)	1 (6,3%)	1 (3,2%)
O´Brien	dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	nicht-dominant	0 (0%)	1 (6,3%)	1 (0,3%)
Werfer	dominant	1 (6,7%)	1 (6,3%)	2 (6,5%)
	nicht-dominant	1 (6,7%)	0 (0%)	1 (3,2%)
Jerk	dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	nicht-dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Gagey	dominant	10 (66,7%)	5 (31,3%)	15 (48,4%)
	nicht-dominant	10 (66,7%)	8 (50,0%)	18 (58,1%)
Palm-up	dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	nicht-dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Biceps-stretch	dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	nicht-dominant	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Dargestellt sind die Gesamtzahl der positiven Testergebnisse, sowie in Klammern der Anteil der positiven Testergebnisse am jeweiligen Gruppenkollektiv in %.

Die Beurteilung von Dyskinesien der Skapula nach Kibler (Kibler *et al.* 2002) ergab bei der Gruppe der Speerwerfer ein seitengleiches Verteilungsmuster und ließ jeweils bei 6,7% (n=1) Dyskinesien vom Typ I, bei 13,3% (n=2) vom Typ II, bei 6,7% (n=1) vom Typ III und bei 73,3% (n=11) das Bewegungsmuster Typ IV erkennen. Die Gruppe der Volleyballspieler schließlich zeigte auf der dominanten Seite in 43,8% (n=7) Typ II Dyskinesien und in 56,3% (n=9) Bewegungsmuster vom Typ IV. Typ I und Typ III Dyskinesien ließen sich auf dieser Seite nicht ausmachen. Die nicht-dominante Seite wies in 50,0% (n=8) der Probanden ein normales Bewegungsmuster Typ IV auf, 37,5% (n=6) zeigten Dyskinesie Typ II und 12,5% (n=2) Dyskinesie Typ III. Typ I Dyskinesien wiederum wurden nicht festgestellt.

Der zweite Test zur Beurteilung der Skapulakinematik, der LSST (Kibler 1998), zeigte bei 20% (n=3) der Speerwerfer und bei 25% (n=4) der Volleyballspieler

Seitenunterschiede des Abstandes der Skapula zur Wirbelsäule von $\geq 1,5\text{cm}$ zwischen dominanter und nicht-dominanter Seite in mindestens einer der drei gemessenen Positionen. Der Unterschied zwischen den Gruppen war in der statistischen Auswertung nicht signifikant ($P = .74$).

In der Testung der funktionellen Performance zeigten sich zwischen beiden Gruppen keine Unterschiede. Im CKC-UE für die Beurteilung der motorischen Funktionalität erreichten die Sportler aus Gruppe 1 Scorewerte von 15,8 ($\pm 1,6$) Punkten, Gruppe 2 kam auf 16,7 ($\pm 1,8$) Punkte ($P = .19$) (Gesamt: 16,3 ($\pm 1,7$) Punkte). Der FTPI zur Abschätzung der repetitiven Zielgenauigkeit fiel mit 50,8 ($\pm 16,2$)% in Gruppe 1 ähnlich dem Ergebnis von Gruppe 2 (49,3 ($\pm 16,3$)%) ($P = .81$) aus (Gesamt: 50,0 ($\pm 16,0$)%).

4.3 Magnetresonanztomographie

Einen Überblick über die Ergebnisse der MRT-Untersuchung gibt Tabelle 5.

Tabelle 5: Ergebnisse der MRT-Untersuchung

Lokalisation	Art der Läsion	Speerwurf		Volleyball	
		D (% (n))	d (% (n))	D (% (n))	d (% (n))
Intraossäre	Keine	13,3 (2)	53,3 (8)	56,3 (9)	56,3 (9)
Humeruskopfzysten (postero-superior)	1-3 mm	13,3 (2)	33,3 (5)	31,3 (5)	37,5 (6)
	>3 mm	73,3 (11)	13,3 (2)	12,5 (2)	6,3 (1)
Intraartikuläre	Keine	80,0 (12)	73,3 (11)	50,0 (8)	50,0 (8)
Ganglionzysten	<5 mm	0	20,0 (3)	0	0
	5-15 mm	6,7 (1)	6,7 (1)	31,3 (5)	31,3 (5)
	>15 mm	13,3 (2)	0	18,8 (3)	18,8 (3)
LBS	SLAP-Läsion	6,7 (1)	0	12,5 (2)	12,5 (2)
M. supraspinatus	Tendinopathie	0	0	0	6,3 (1)
M. infrapinatus	Tendinopathie	0	0	6,3 (1)	0
Labrum glenoidale	postero-superior	0	0	6,3 (1)	0
Fossa glenoidale	Knorpeldefekt	0	6,7 (1)	0	0
Akromioklavikulargelenk	Osteoarthrose	6,7 (1)	0	0	0

LBS: Lange Bizepssehne, SLAP: Superior Labrum Anterior and Posterior, D: dominante Seite, d: nicht-dominante Seite

Von besonderem Interesse ist die Tatsache, dass in der Gruppe der Speerwerfer 73,3% (n=11) der dominanten Schultern, jedoch nur 13,3% (n=2) der nicht-dominanten Schultern intraossäre Zysten des Humeruskopfes >3 mm aufwiesen (P = .001). Diese waren an der posterioren Insertionsstelle des M. supraspinatus und der anterioren Insertionsstelle des M. infraspinatus lokalisiert. Die Volleyballspieler hingegen zeigten diese Zystenformationen in lediglich 12,5% (n=2) der dominanten und 6,3% (n=1) der nicht-dominanten Schultern (P = .54). Dennoch ergibt sich auch bei Betrachtung der Prävalenz des Gesamtkollektivs ein signifikanter Unterschied zwischen dominanter (41,9%) und nicht-dominanter Seite (9,7%) (P = .004).

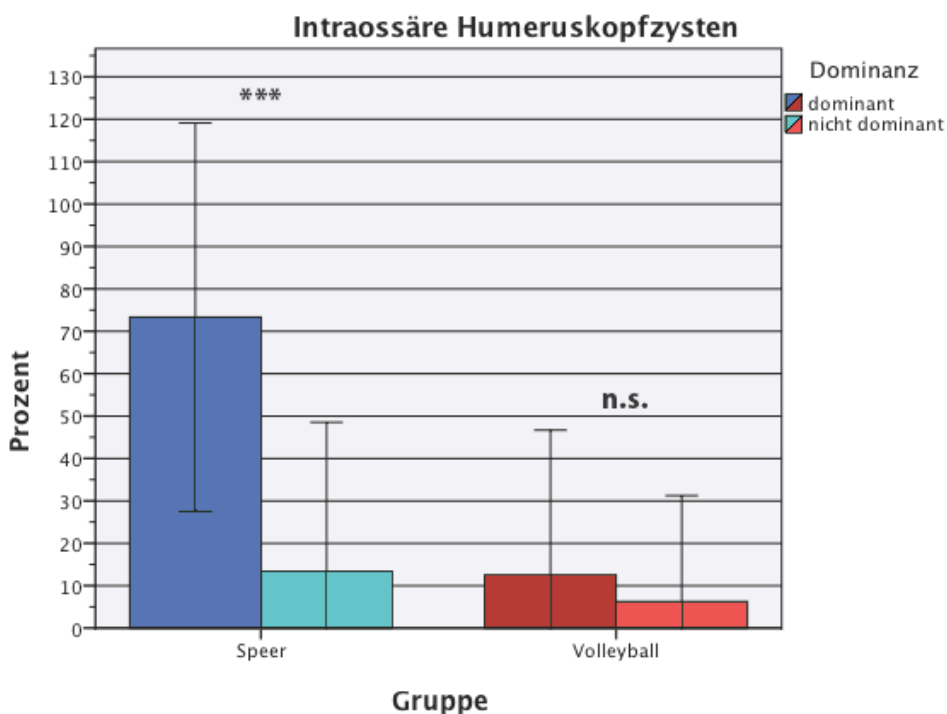


Abbildung 4.5: Prävalenz intraossärer Humeruskopfzysten >3 mm.

Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung

Bei den Volleyballspielern wiederum konnten Typ-I SLAP Läsionen in 12,5% sowohl der dominanten, als auch der nicht-dominanten Seite entdeckt werden, bei den Speerwerfern nur in einer (6,7%) dominanten Schulter.

Des Weiteren zeigten sich intraartikuläre Ganglionzysten in einer seitengleichen Verteilung, jedoch mit höherer Prävalenz bei Gruppe 2 (P = .03). Auf der dominanten

Seite waren diese geringfügig größer und sowohl anterior als auch posterior lokalisiert, gegenüber der nicht dominanten Seite, wo sie eher anterior zu finden sind.

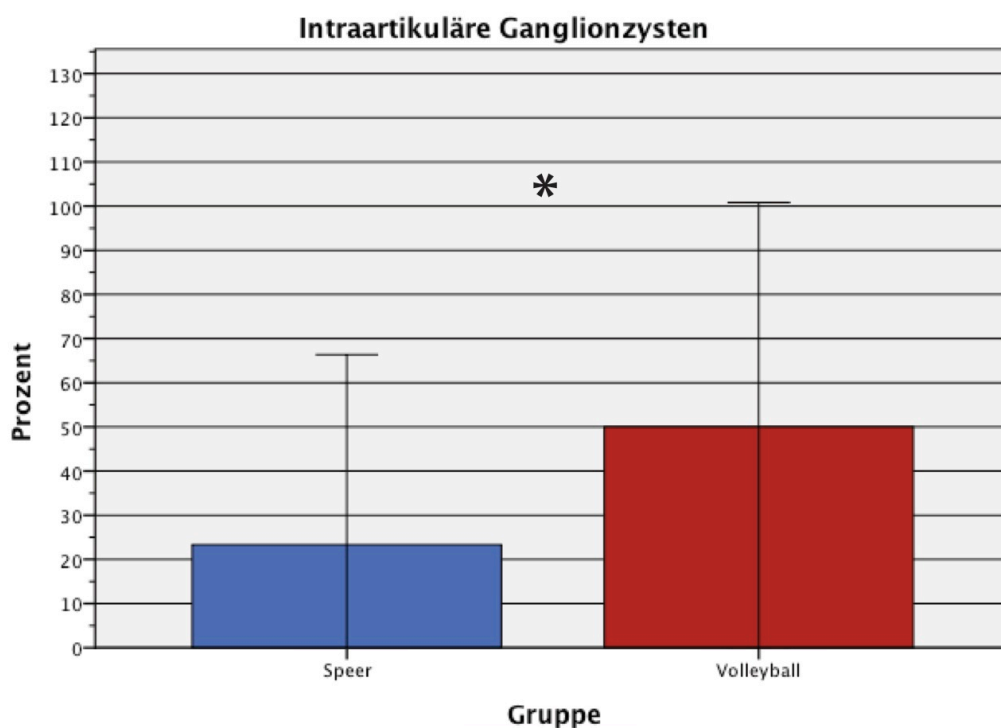


Abbildung 4.6: Prävalenz intraartikulärer Ganglionzysten.

Aufgetragen ist der Mittelwert \pm Standardabweichung

Manifeste Tendinopathien in Form von partiellen Rupturen zeigten sich in der Supraspinatussehne lediglich bei einem Volleyballspieler auf der nicht-dominanten Seite bursaseitig. Die Infrapinatussehne wies wiederum nur bei einem Volleyballspieler, jedoch auf der dominanten Seite, Zeichen einer Tendinopathie auf. Die Sehne des M. subscapularis und die lange Bizepssehne waren in keiner der untersuchten Schultern morphologisch beeinträchtigt, lediglich die Bizepssehne zeigte wie oben genannt, die am Labrum glenoidale in Form von SLAP-Läsionen manifestierten Beeinträchtigungen. Eine weitere Läsion des Labrum glenoidale zeigte sich in postero-superiorer Lokalisation bei einem der Volleyballspieler in der dominanten Schulter. Hinzu kommt in der Gruppe der Speerwerfer eine degenerative Veränderung des AC-Gelenks im Sinne einer Osteoarthrose der dominanten Seite, sowie ein Knorpeldefekt der Fossa glenoidalis bei einer der nicht-dominanten Schultern eines weiteren Probanden dieser Gruppe. Der Humeruskopf wies bei keinem der

Probanden beider Gruppen Knorpeldefekte auf. Ebenso blieben die weiteren durchgeführten Analysen der MRT-Aufnahmen ohne pathologische Befunde.

5 Diskussion

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es, bei klinisch a- bzw. oligosymptomatischen, jugendlichen Überkopf-Leistungssportlern potenziell frühe morphologische Veränderungen in der MRT-Bildgebung, sowie die Mobilität und Funktionalität von Schulterblatt und Glenohumeralgelenk des Wurf- bzw. Schlagarmes im Vergleich zum nicht-dominanten Arm zu evaluieren. Die MRT-Befunde erlaubten einen strukturellen Vergleich der dominanten, durch die Wurf-/Schlagbelastung betroffenen Schulter mit der nicht-dominanten Seite unter Beurteilung morphologischer Gesichtspunkte. In der klinischen Untersuchung wurden die Bewegungsausmaße im Glenohumeralgelenk und das Bewegungsmuster der Skapulae im Seitenvergleich beurteilt. Zudem sollte durch eine umfassende klinische Untersuchung und die Erhebung schulterspezifischer Scores die Beschwerdefreiheit der Athleten quantifiziert und objektiviert werden.

Die untersuchten Probanden waren allesamt asymptomatische Hochleistungssportler. Sie setzten sich aus zwei Gruppen von 15 Speerwerfern und 16 Volleyballspielern auf nationalem und internationalem Spitzenniveau zusammen. Alle rekrutierten Athleten waren männlichen Geschlechts und im Adoleszentenalter zwischen 15 und 19 Jahren.

Die beiden untersuchten Gruppen umfassten ein sehr spezifisches Kollektiv, so dass keine Rückschlüsse auf morphologische Befunde der Allgemeinbevölkerung gezogen werden können. Ein Vergleich mit Sportlern anderer Wurf- oder Schlagsportarten wie Baseball, Handball, Schwimmen, Tennis, usw. ist aufgrund der für die Überkopfsportarten im Allgemeinen ähnlichen Anpassungs- und Pathologiemechanismen in gewissem Maße möglich (Anderson und Alford 2010; Borsa *et al.* 2008; Schmitt *et al.* 2001; Schwab und Blanch 2009; Seil *et al.* 2005; Thomas *et al.* 2009; Wang *et al.* 2000). Doch muss auch hier besonderes Augenmerk auf das Alter der Sportler geworfen werden, da sich unsere Probanden im Adoleszentenalter in einem kritischen muskuloskelettalen Entwicklungsstadium befanden und aufgrund ihrer mehrjährigen intensiven Überkopfbelastung weder mit Kindern, allerdings durch den häufig noch unvollständigen Schluss der Epiphysenfugen und einem geringeren Zeitraum der Ausübung ihrer Sportart aber auch nicht mit Erwachsenen verglichen werden können (Borsa *et al.* 2008; Cowgill 2007; Crockett *et al.* 2002; Roach *et al.*

2012). Zudem bleibt anzumerken, dass es sich bei den von uns untersuchten Sportlern ausnahmslos um männliche Personen handelte, so dass sich Aussagen zum Einfluss des Geschlechts oder Befunden bei weiblichen Sportlern nicht treffen lassen.

Die von uns gewonnenen Erkenntnisse gelten somit für männliche, jugendliche, a-/oligosymptomatische Überkopfsportler, die in einem leistungssportlichen Umfeld tätig sind.

5.1 Fragebogen und klinische Scores

Mit Blick auf die Fragestellung der Studie schlossen wir junge Athleten in die Untersuchung ein, die über keine offenliegenden Schulterpathologien klagten. Diese Prämisse konnten wir neben der Befragung durch die klinische Untersuchung und die Erhebung der schulterpezifischen Scores bestätigen, welche die Asymptomatik der Probanden belegen konnten. Es zeigte sich in keinem dieser Bewertungssysteme ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen der Speerwerfer und Volleyballspieler.

Für die VAS existieren weder fest definierte Werte, welche die Schmerzintensität objektiv quantifizieren, noch ein Schwellenwert, der Schmerzfreiheit terminiert. Vielmehr erlaubt diese einen guten Vergleich zwischen Individuen oder Gruppen, da die VAS stark vom subjektiven Empfinden und der persönlichen Erfahrung und Interpretation durch die Probanden abhängt (Wewers und Lowe 1990). Nichtsdestotrotz lassen die sehr geringen Punktwerte (Gruppe 1: $0,9 \pm 1,6$ Punkte; Gruppe 2: $0,6 \pm 0,8$ Punkte) auf die Schmerzfreiheit beider Gruppen schließen und objektiv keine signifikanten Unterschiede zwischen Volleyballspielern und Speerwerfern erkennen. Betrachtet man die individuellen Ergebnisse der Probanden, ließen sich lediglich bei 2 Probanden (13%) aus der Gruppe der Speerwerfer und 3 der Volleyballspieler (19%) Werte über 1 feststellen. Ein Vergleich mit anderen Ergebnissen aus der Literatur ist schwer zu stellen, da keine Untersuchungen an Kollektiven vorliegen, die im Hinblick auf das Alter mit dem unseren vergleichbar wären. Eine Untersuchung von Mohseni-Bandpei *et al.* (2012) an 103 Volleyballspielern zeigte eine Schmerzprävalenz von 22,3% mit einem mittleren Wert der VAS von $52,0 (\pm 22,7)$ von maximal 100 Punkten in der Gruppe der symptomatischen Probanden. Allerdings wies diese Gruppe ein Alter von 20-25 Jahren auf, die Verletzungsprävalenz bei jüngeren Sportlern ist prinzipiell

geringer (Beneka *et al.* 2009). Keine der beiden von uns untersuchten Gruppen lag im Bereich dieses als pathologisch anzusehenden Wertes.

Die hohen Werte des WOSI Index belegten die Beschwerdefreiheit im Alltag in Bezug auf Instabilität (Angst *et al.* 2011). Da durch den WOSI Index bereits geringe Beeinträchtigungen der Lebensqualität registriert werden, die *Minimal Clinically Important Difference* (MCID) aber 10% beträgt, eine klinische Veränderung des Zustandes der Schulter von Patienten also erst ab einer Veränderung des Indexwertes um 10% feststellbar ist, kann auch das Ergebnis dieses Tests von deutlich über 90 bei beiden Gruppen als asymptomatisch interpretiert werden (Kemp *et al.* 2012). Unterstützt werden kann diese Aussage durch eine Untersuchung an 179 weiblichen Handballspielerinnen, die in einem älteren als dem unseren Kollektiv (22,0 (\pm 4,0) Jahre), bei symptomatischen Sportlerinnen (n=59) einen Mittelwert des WOSI Index von 68% ergab (Myklebust *et al.* 2013). In einer Untersuchung asymptomatischer Erwachsener konnte zudem ein den unseren Untersuchungen vergleichbarer Mittelwert des WOSI Index von 96,1% ermittelt werden (Clarke *et al.* 2009). Die Probanden waren aber keine Überkopfsportler, zudem lag deren Durchschnittsalter mit 28,8 (\pm 7,4) Jahren deutlich über dem unseres Studienkollektivs. Bei der Betrachtung der individuellen Ergebnisse unserer Untersuchung wurden bei 20% der Speerwerfer Werte unter 90 Punkten und bei einem Probanden sogar ein Wert von nur 75 Punkten festgestellt. In der Gruppe der Volleyballspieler zeigten sogar 31% der Probanden Werte unter 90 Punkten, jedoch lag hierbei keiner unter 85 Punkten. Da dieser Score ausschließlich eine subjektive Einschätzung des Zustandes der eigenen Schulter ist, lassen sich diese Abweichungen, zumal sie nur gering unter den Werten für absolute Beschwerdefreiheit lagen, durch die individuelle Interpretation der Intensitäten der VAS und der hohen MCID von 10% erklären. Zudem zeigte sich zwischen den Gruppen auch in der statistischen Auswertung kein Unterschied.

Auch die Rowe Scale (Rowe *et al.* 1978) unterstrich anhand ihrer Ergebnisse die Symptomfreiheit mit besonderem Augenmerk auf Instabilität. Da Werte der Rowe Scale bis 90 Punkte als „exzellentes“ Ergebnis angesehen werden, musste lediglich ein Proband (Speerwerfer) mit einem Wert unter 90 Punkten als nicht optimal klassifiziert werden. Doch auch dessen Ergebnis wurde mit 75 Punkten als „Gut“ und somit nicht eingeschränkt bewertet (Rowe *et al.* 1978). Auch hier war kein Unterschied zwischen

den Gruppen zu sehen. Referenzwerte asymptomatischer Athleten vergleichbarer Altersgruppen ließen sich für die Rowe Scale in der Literatur nicht finden.

Unter Verwendung des ASES Scores wurde von Soldatis *et al.* (1997) eine Gruppe „gesunder“ Athleten untersucht, von denen erstaunlicherweise nur 54% der dominanten und 77% der nicht-dominanten Schultern im ASES Score exzellente oder gute Werte lieferten. Leider ist in dieser Studie keine Angabe über das Alter der Probanden getroffen, untersucht wurden aber College-Athleten, die für gewöhnlich Anfang des 3. Lebensjahrzehntes und damit einige Jahre älter sind als die von uns untersuchten Sportler (Soldatis *et al.* 1997). Die Untersuchung eines eher vergleichbaren Kollektives lieferten Brinker *et al.* (2002). 30 asymptomatische Überkopfsportler im Altersbereich von 18-21 Jahren erreichten in dieser Untersuchung im ASES Score 98,7% (Brinker *et al.* 2002). Der ASES Score bekräftigt die durch die ADL ergänzte Aussage der VAS (King *et al.* 1999). Die MCID liegt bei diesem Test bei 6,4 Punkten (Michener *et al.* 2002), die Beeinträchtigung beider von uns untersuchten Gruppen war geringer. Die Speerwerfer erreichten $95,4 \pm 8,3$ Punkte, die Volleyballspieler $95,8 \pm 5,6$ Punkte. Somit waren auch durch diesen Score keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen den Gruppen festzustellen, der Unterschied zum asymptomatischen Kollektiv von Brinker *et al.* (2002) lag auch unterhalb der MCID. Bei Betrachtung der Einzelergebnisse fanden sich in beiden Gruppen bei jeweils 13% (n=2) Werte unter 90 Punkten. Bei näherer Begutachtung des Scores wird deutlich, dass die VAS bereits 50 Punkte, also auch 50% des Scorewertes, bestimmt. Die zusätzlichen Beeinträchtigungen der Sportler in den ADL waren somit gering, die Abweichung des errechneten Wertes vom Maximalwert von 100%, wird bereits zu einem großen Teil durch die VAS erklärt. Auch der ASES Score konnte somit im Vergleich mit der VAS keine zusätzlichen, bisher unentdeckten Pathologien, die besonders die ADL betreffen, aufdecken.

Der Constant-Murley Score (Constant und Murley 1987), welcher eine überblickende, klinisch funktionelle Bewertung des Schultergelenkes erlaubt und bereits geringe Beeinträchtigungen der Funktion detektiert, ergab im Mittel in Gruppe 1 $95,5 (\pm 3,6)$ % und in Gruppe 2 $94,7 (\pm 4,6)$ %. Beim Constant-Murley Score besteht eine Abhängigkeit des Ergebnisses zum Einen vom Geschlecht, zum Anderen ist auch das Alter ein Einflussfaktor, der bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss (Brinker *et al.* 2002). Untersuchungen zeigten, dass Werte von männlichen, gesunden Probanden signifikant höher waren, als die von weiblichen, ebenfalls gesunden

Probandinnen (Brinker *et al.* 2002; Yian *et al.* 2005). Des Weiteren konnten Yian *et al.* (2005) eine ähnliche, jedoch weniger dramatische Abnahme des Normwertes ab 40 Jahren feststellen als Constant und Murley, die im Altersverlauf eine initiale Zunahme der Schulterfunktion und deren Erhalt, gefolgt von einer Abnahme der Leistungsfähigkeit im Alter beschrieben (Constant und Murley 1987; Katolik *et al.* 2005; Yian *et al.* 2005). Constant und Murley (1987) definierten für die Altersgruppe der 18- bis 29-jährigen männlichen Probanden zwar Normwerte von 98%, diese Normkollektive wiesen in weiteren Untersuchungen aber deutlich geringere Werte auf. Bei gesunden, männlichen Probanden von 20 bis 40 bzw. 50 Jahren sind Normwerte von 90 bis 95% angegeben (Katolik *et al.* 2005; Yian *et al.* 2005). Die Werte unserer Gruppen lagen über diesen Vergleichswerten, dagegen waren unsere Speerwerfer bzw. Volleyballspieler mit einem Durchschnittsalter von 17,7 bzw. 16,9 Jahren sogar noch jünger und befanden sich somit im besten Fall auf dem „Plateau“, wahrscheinlich aber noch in der Phase der Zunahme der Schulterfunktion. Die in der o.g. Untersuchung von Brinker *et al.* (2002) ebenfalls ermittelten Werte des asymptomatischen Kollektives beim Constant-Murley Score von 92,0% waren sogar unter den von unseren Gruppen erreichten Mittelwerten. Relativierend muss hier angefügt werden, dass das Kollektiv von Brinker *et al.* (2002) gemischtgeschlechtlich war und in deren Gruppe der männlichen Probanden isoliert betrachtet wahrscheinlich etwas höhere Werte zu erwarten gewesen wären. Trotzdem ließ sich aber auch durch den Constant-Murley Score bei beiden von uns untersuchten Gruppen Beschwerdefreiheit feststellen, ohne dass ein Unterschied zwischen den Gruppen zu beobachten war.

Als Letztes der schulterspezifischen Scoresysteme konnte auch die ASOR Scale (Tibone 1993) mit Werten von nahezu 100 Punkten exzellente Ergebnisse liefern. Lediglich ein Sportler (Speerwerfer) blieb mit einem Wert von 86 unter 90 Punkten. Leider liegen in der Literatur wenige Referenzwerte für die ASOR Scale vor. Definiert wurde ein „exzellentes“ Ergebnis dieses für Athleten konzipierten Scores über einem Punktwert von 90, ab 70 Punkten gilt das Ergebnis aber noch als „Gut“ (Tibone 1993). Eine andere Untersuchung definierte durch retrospektive Befragungen Normwerte von 100 für asymptomatische Patientenkollektive (Meller *et al.* 2007), eine dritte interpretierte die Ergebnisse lediglich anhand des Wertes der parallel erhobenen Rowe Scale, unabhängig vom tatsächlichen Wert der ASOR Scale (Monteiro *et al.* 2008). Ein besser vergleichbares Kollektiv in Bezug auf Alter, Aktivität und Beschwerdefreiheit lies sich in der aktuellen Literatur nicht finden. Unsere Werte interpretieren wir somit

dahingehend, dass das Patientenkollektiv beider Gruppen asymptomatisch war und eine sehr gute Performance ohne Beschwerden auch im Laufe von Wettkämpfen mit maximaler Belastung ableisten konnte.

Berechnet man schließlich für jeden Sportler die Summe seiner Schultercores (SOS), bezogen auf 100% des jeweiligen Maximalwertes, erreichten die Probanden in Gruppe 1 95,2 ($\pm 6,3$)% und in Gruppe 2 96,0 ($\pm 3,9$)%. Individuell betrachtet blieben in Gruppe 1 13,3% (n=2) und in Gruppe 2 6,3% (n=1) der Sportler in der SOS unter 90%. Da sich in der klinischen Untersuchung durch Orthopäden keine relevanten Pathologien der Schulter detektieren ließen und die Probanden zudem subjektiv beschwerdefrei waren, ließ sich die Schulterfunktion aller teilnehmenden Sportler als asymptomatisch und gesund bewerten. Besonders die rein subjektiven Fragebögen, wie die VAS, der WOSI Index und der ASES Score bergen die Gefahr, durch jeden Probanden mit unterschiedlichen Referenzvorstellungen interpretiert zu werden. Die Ergebnisse des Constant-Murley Scores, der eine besonders breite Evaluation der Schulter ermöglicht, sowie die für das Patientenkollektiv der Athleten relevante ASOR Scale zeigten bei allen Probanden asymptotische Werte > 85 Punkte bzw. Prozent. Um Patienten mit einzelnen, abweichenden Werten in einzelnen Scores nicht aus der Studie auszuschließen, bewerteten wir die Probanden anhand einer großen Anzahl verschiedener Schultercores und konnten so anhand der Mittelwerte der Gruppen den asymptotischen Zustand aller Probanden belegen und keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Auch der Vergleich mit Erhebungen der Scores bei anderen Untersuchungen ähnlicher Kollektive ließ keine anderen Schlüsse zu, als unser Kollektiv als asymptotische Hochleistungssportler einzustufen (Brinker *et al.* 2002; Clarke *et al.* 2009; Mohseni-Bandpei *et al.* 2012; Myklebust *et al.* 2013; Soldatis *et al.* 1997; Tibone 1993; Yian *et al.* 2005).

5.2 Klinische Untersuchung

Die klinischen Untersuchungen der Probanden unterstrichen die asymptomatischen Befunde der Schultercores. So ließen die aktiven Bewegungs- und Kraftausmaße bei keinem der Sportler Einschränkungen bzw. Defizite erkennen, auch die spezielle klinische Untersuchung des Schultergelenks durch Orthopäden lieferte keine Hinweise auf vorliegende Pathologien. Lediglich bei einem Volleyballspieler ließ sich ein positives anteriores Apprehension-Zeichen nachweisen, dieser Sportler beklagte

allerdings weder eine symptomatische Instabilität, noch war er jemals bewusst von einer (Sub-)luxation betroffen. Das isolierte Vorliegen einer allgemeinen Hyperlaxizität bei 13,3% (Gruppe 1) bzw. 25,0% (Gruppe 2) ohne weitere Zeichen pathologischer Instabilität bei diesen Probanden besitzt ebenfalls keinen Krankheitswert. Im Gegenteil hat eine vermehrte Beweglichkeit des Schultergelenkes und die damit verbundene erhöhte Außenrotationsfähigkeit einen positiven Einfluss auf die Generierung hoher Wurf- bzw. Schlaggeschwindigkeiten durch eine Verlängerung des Beschleunigungsweges und kann somit sogar förderlich für die Performance der Überkopfsportler angesehen werden (Burkhart *et al.* 2003a). Diese Annahme unterstrich auch das Ergebnis des Gagey Tests (Gagey und Gagey 2001). Dieser wies eine hohe, bilaterale Prävalenz in beiden Gruppen der Überkopfsportler auf. Einen pathologischen oder physiologisch adaptiven Zusammenhang mit der einseitigen Wurfbelastung lässt sich durch das beidseitig homogen vorliegende Auftreten jedoch nicht herstellen. Vielmehr ist eine physiologisch vermehrte Beweglichkeit des inferioren, glenohumeralen Ligaments als positiver Faktor für das Erreichen des hohen Niveaus der Wurfperformance der Probanden zu werten. Bei Referenzuntersuchungen an Normkollektiven für die Erstpublikation des Gagey-Test erreichten nur 5% der Probanden eine glenohuemrale Abduktion von über 100° (Gagey und Gagey 2001), die von uns untersuchten Sportler konnten jedoch in 53% über 105° isoliert glenohumeral abduzieren. Das von Gagey und Gagey (2001) untersuchte Normkollektiv 100 gesunder Probanden wies allerdings ein Durchschnittsalter von 28 (24-38) Jahren auf. Da es sich bei deren untersuchten Probanden aber auch nicht um Sportler handelte, ist es möglich, dass das bei einem großen Teil unserer Probanden hypermobile inferiore glenohumerale Ligament einen förderlichen Effekt auf das Erreichen guter Wurfperformance hatte.

Die in beiden Gruppen jeweils bei einem Probanden klinisch bilateral gefundenen, dezenten Impingementzeichen ließen sich durch die ausführliche Evaluation der Schulter in keiner weiteren spezifischen Untersuchung verifizieren.

Es zeigte sich zwar bei einem der Volleyballspieler ein beidseitig positiver Speed Test, der Hinweise auf eine SLAP-Läsion geben kann, bei diesem Probanden waren jedoch die LBS und das Labrum glenoidale im MRT blande, auch wenn diese Untersuchung ohne Kontrastmittel und somit mit geringerer Sensitivität und Spezifität durchgeführt wurde (Waldt *et al.* 2004).

Einer der Speerwerfer fiel durch einen beidseits positiven Werfer Test und bilateral positive Befunde der klinischen Impingement-Tests auf. Hinzu kamen bei diesem Sportler Instabilitätszeichen auf der dominanten Seite, allerdings im Zusammenhang positiver Zeichen allgemeiner Hyperlaxizität. Die klinischen Befunde konnten durch die bildgebende Untersuchung aber relativiert werden, da sich Tendinopathien weder in der LBS noch in einer der Sehnen der Rotatorenmanschette, welche Hinweise auf ein inneres Impingement hätten geben können, zeigten. Allerdings wies die dominante Schulter im MRT einen kleinen Riss des Labrum glenoidale in Form einer SLAP Läsion auf. Da aber keiner der weiteren klinischen Test für die Bewertung der LBS oder einer SLAP-Läsion positiv war, durch den Probanden selbst keine Beeinträchtigungen der Performance geäußert wurden und die ASOR Scale 96 Punkte betrug, betrachteten wir den bildgebenden Befund differenziert und interpretieren die klinischen Befunde mit dem korrespondierenden, MRT-Befund bei diesem Sportler als Frühzeichen einer sich im weiteren Verlauf möglicherweise manifestierenden Schädigung.

Auch der unilateral dominant positive Werfer Test eines weiteren Volleyballspielers, der weder in einem der weiteren klinischen Tests, noch in der Bildgebung in irgendeiner Weise auffällig war, kann als isoliert positiver Befund nicht als Hinweis auf eine manifeste strukturelle Läsion gesehen werden.

Die zahlreichen weiteren spezifischen klinischen Untersuchungen und die blanden MRT-Befunde einer nicht-dominanten Schulter eines Volleyballspielers ließen den bei diesem Probanden positiven O'Brien Test ebenfalls nicht als manifesten Hinweis auf eine SLAP Läsion interpretieren.

Jerk-, Palm-up- und Biceps-Stretch Test waren bei allen Probanden bilateral negativ und somit besonders bei Probanden, die in anderen Untersuchungen Zeichen von hinterer Instabilität oder Auffälligkeiten der LBS zeigten, für die Bestätigung der Symptomfreiheit relevant.

Die Ergebnisse der Untersuchung des GIRD der dominanten Seite waren nicht groß genug, um es als symptomatisch bzw. klinisch relevant einzustufen. Jedoch zeigten die Speerwerfer Werte von $9,3 (\pm 9,2)^\circ$, die Volleyballspieler sogar $16,9 (\pm 11,2)^\circ$. Obwohl unsere Daten geringer waren als die von Myers *et al.* (2006), die ein durchschnittliches GIRD von 19° bei symptomatischen Baseballspielern beobachten konnten, lassen sich unsere Ergebnisse als beginnende physiologische Adaptation der asymptomatischen Nachwuchsthleten einordnen, die möglicherweise am Beginn der Pathologiekaskade

der Werferschulter steht. Ob die Anpassungen durch muskuläre Verkürzungen, Kapselkontrakturen oder knöchernen Adaptationen der Torsion des Humerus entstanden sind, lässt sich durch unsere Untersuchung nicht klären, da wir keine Messung des Torsionswinkels des Humerus vornahmen. Es lässt sich aber feststellen, dass auch bei asymptomatischen Überkopfsportlern das GIRD als Anpassungserscheinung ausgeprägt ist, bevor klinische Symptome auffällig werden und bietet so einen Ansatzpunkt in der Prävention von Über- und Fehlbelastungen bei Überkopfsportlern.

Parallel zur Entwicklung des GIRD beobachteten wir eine im Betrag ähnliche Erhöhung der hohen glenohumeralen Außenrotation (ERG) (Gruppe 1 $9,7 (\pm 10,6)^\circ$; Gruppe 2 $15,0 (\pm 12,5)^\circ$). Diese ist im besonderen von Bedeutung, um den Beschleunigungsweg zu maximieren, der von der Fähigkeit des Athleten, den abduzierten Arm möglichst weit nach außen rotieren zu können, abhängt. Die Kraftentwicklung und damit die Wurfweite bzw. Schlaggeschwindigkeit ist ganz entscheidend von dieser Variable abhängig und das beobachtete ERG somit förderlich, um die Performance der Hochleistungssportler zu optimieren (Burkhart *et al.* 2003a). Myers *et al.* (2006) konnten in ihrer Untersuchung bei symptomatischen Sportlern ein ERG von 8° feststellen, die von uns ermittelten Werte in den untersuchten Gruppen lagen jeweils darüber. Da in der Untersuchung von Myers *et al.* (2006) aber kein signifikanter Unterschied des ERG zwischen symptomatischen und asymptomatischen Sportlern gefunden werden konnte, ist es nicht möglich, das in unseren Untersuchungen festgestellte ERG als pathologischen Zustand zu interpretieren.

Die Unterschiede des GIRD und des ERG zwischen den beiden Gruppen lassen vermuten, dass sich die verschiedene Belastung durch die jeweilige Sportart unterschiedlich auf strukturelle Anpassungsvorgänge in der Schulter des Überkopfsportlers auswirkt. Zwar war dieser Unterschied zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant, aber es ließ sich eine Tendenz zu einer erhöhten Verschiebung des Rotationsausmaßes der dominanten Schulter nach posterior bei den Volleyballspielern im Vergleich zu den Speerwerfern beobachten.

Theoretischen Überlegungen zufolge würde man eine größere Auswirkung der Anpassung des Bewegungsausmaßes auf Seiten der Speerwerfer erwarten, da deren werfendes Schultergelenk mit dem Eigengewicht des Speeres von 800 Gramm und der erhöhten Geschwindigkeit durch den Anlauf einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt ist. Diese wirkt sich einerseits in der Ausholphase durch die in Außenrotationsrichtung

beschleunigte Masse in Form einer vermehrten Belastung der vorderen Kapsel- und Bandstrukturen aus. Das Gewicht des Speeres „zieht“ den in Außenrotation beschleunigten Oberarm in diese Richtung und dehnt somit die vordere Kapsel weiter auf, als dies ohne Eigengewicht der Fall wäre. Analog hierzu muss der Wurfarm die durch den Speer auf den Arm übertragene Kraft und Geschwindigkeit zusammen mit der Geschwindigkeit des Anlaufs in der Abbremsphase kompensieren (Schwab und Blanch 2009). Diese Abbremsbewegung soll gerade beim Speerwurf möglichst abrupt erfolgen, weil hierdurch im Moment des Abwurfes ein möglichst kleiner Abstand zum Abwurfbalken hergestellt werden kann, ohne dass dieser übertreten wird. Dieser Abstand zum Abwurfbalken wiederum wirkt sich direkt auf die gemessene Weite aus. Deshalb ist die posteriore Kapsel, wie auch die Sehnen von Rotatorenmanschette und die lange Bizepssehne erhöhten Dezelerationskräften ausgesetzt, wodurch in diesen Strukturen Mikrotraumata entstehen können. Diese wiederum können durch ihr repetitives Auftreten zu Kontrakturen und einer Verkürzung des posterioren Kapsel-Bandapparates führen (Burkhart *et al.* 2003a).

Der Angriffsschlag bzw. Aufschlag beim Volleyball ist dem insofern gegensätzlich, da die Anfangsphase, d.h. die Ausholbewegung, ohne zusätzliches Gewicht durchgeführt wird. Die Belastung der Kapsel- und Bandstrukturen des Schultergelenks ist bei diesem Bewegungsmuster im Vergleich zu dem von Baseball- oder Tennisspielern geringer (Reeser *et al.* 2010a), die Winkelgeschwindigkeit im Glenohumeralgelenk niedriger und die Rotationskräfte bleiben unter dem kritischen Schwellenwert von 50 Nm (Dillman *et al.* 1995; Reeser *et al.* 2010a). Auch sind die gemessenen Abduktionswinkel in der Ausholphase geringer als die der „klassischen“ Wurfart Baseball und das GIRD bleibt in anderen Untersuchungen mit ca. 10° deutlich unter dem bei Baseballspieler gemessenen Werten von 20-25°, aber auch unter den in unserer Untersuchung erhobenen (Reeser *et al.* 2010b; Schwab und Blanch 2009) (Borsa *et al.* 2008; Crockett *et al.* 2002; Reagan *et al.* 2002). Im Moment der maximalen Beschleunigung trifft der Arm dann auf das Sportgerät, den 260-280 Gramm schweren Volleyball, auf den die kinetische Energie übertragen wird und der somit die Abbremsarbeit, die aktiv durch die Muskulatur des Schultergelenks durchgeführt werden muss und damit auch die Belastung der posterioren Kapsel, verringert (Schwab und Blanch 2009).

Die von uns beobachteten Werte sind insofern erstaunlich, da sie entgegen diesen theoretischen Überlegungen standen. Doch war der Unterschied von GIRD und ERG

zwischen den Gruppen statistisch nicht signifikant und die geringe Fallzahl lässt die beobachteten Unterschiede nur mit Vorsicht genießen. Dennoch wären weitere Untersuchungen der Anpassung des Bewegungsmaßes beider Gruppen von Sportlern mit höherer Fallzahl und somit größerer statistischer Aussagekraft von Interesse, um mögliche Auswirkungen der Interaktion der anatomischen Strukturen mit dem Sportgerät zu verstehen, die bisher in dieser Form noch nicht durchgeführt wurden.

Die Tatsache, dass im Gesamtbewegungsausmaß bei beiden Gruppen keine Seitendifferenz vorlag, unterstreicht die Annahme, dass sich das Rotationsausmaß des Schultergelenkes gleichmäßig nach posterior verschiebt, eine Verminderung der Innenrotation also mit einer korrespondierenden Erhöhung der Außenrotation einhergeht. Zudem ist die Seitengleichheit des Gesamtbewegungsausmaßes der hohen Innen- und Außenrotation ein weiterer Hinweis dafür, dass die beobachteten Anpassungserscheinungen bei den Athleten noch zu keinen pathologischen Konsequenzen geführt haben. Liegt ein Unterschied der TRM zwischen dominanter und nicht-dominanter Seite von über 5° vor, ist die Verletzungsgefahr der Athleten gemäß Wilk *et al.* (2011) erhöht. Beide Untersuchungsgruppen lagen jedoch deutlich unter diesem Wert.

Die Beurteilung der Skapuladyskinesie nach Kibler (Kibler *et al.* 2002) konnte belegen, dass die Speerwerfer eine hohe Funktionalität der skapulastabilisierenden Muskeln und damit der kinetischen Kette besitzen. Die Tatsache, dass sich bei dieser Untersuchung keine Seitendifferenz ergab und jeweils 73,3% ein normales Bewegungsmuster demonstrierten, lässt darauf schließen, dass durch die Wurfbelastung in dieser Gruppe keine asymmetrischen, pathologischen Anpassungserscheinungen der kinetischen Kette stattfanden. Auch bei den Volleyballspielern konnte kein Seitenunterschied festgestellt werden. Hier wies mindestens die Hälfte der Sportler ein normales Bewegungsmuster vom Typ IV (Kibler *et al.* 2002) auf (dominant 56,3%, nicht-dominant 50,0%). Zwar ist ein beeinträchtigt Bewegungsmuster kein direkter Hinweis für eine konkrete Pathologie, doch sind diese Sportler durch unphysiologische Veränderungen und Bewegungen bzw. besonders durch eine hohe Belastung ihrer jeweiligen Sportart prädestiniert, Verletzungen zu entwickeln (Kibler *et al.* 2002). Bei beeinträchtigtem Skapulabewegungsmuster, wie z.B. einer bei Typ II-Dyskinesie (Kibler *et al.* 2002) vorliegenden vermehrten Innenrotation, sind die auf die Strukturen des Schultergelenks wirkenden Kräfte und damit die Anfälligkeit für Verletzungen nachweislich erhöht

(Mihata *et al.* 2012). Eine Untersuchung von Thomas *et al.* (2009) an 36 weiblichen Überkopfsportlerinnen (Volleyball-, Tennisspielerinnen, Schwimmerinnen) mit einem Durchschnittsalter von 15 Jahren ergab, dass bereits in einem Beobachtungszeitraum von 12 Wochen eine Anpassung der Skapulamobilität stattfinden und diese also durchaus mit Überkopfbelastung in Zusammenhang stehen kann. Thomas *et al.* (2009) beobachteten bei den Schwimmerinnen eine Zunahme der Abduktion der Skapula und bei allen Sportlerinnen eine verminderte Protraktion. Diese positiven Adaptationsvorgänge standen der bei den Volleyballspielerinnen vorliegenden Abnahme der Abduktion und somit Verminderung des subakromialen Raumes gegenüber, was die Anfälligkeit für Verletzungen erhöhen kann (Thomas *et al.* 2009). Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer frühzeitigen Erkennung beeinträchtigter Bewegungsmuster, da durch ein gezieltes Training der skapulastabilisierenden Muskeln diesen pathologischen Bewegungsmustern entgegen gewirkt werden kann und damit eventuell bestehende Schmerzen bzw. die Funktionalität verbessert werden können (De Mey *et al.* 2012). Es ist also gerade in einem jungen und damit potenziell anfälligen Sportlerkollektiv von besonderer Bedeutung, Veränderungen der Skapulakinematik frühzeitig zu erkennen und diese im Rahmen eines Präventionsprogrammes gezielt zu adressieren.

Auch der LSST (Kibler 1998), der in beiden Gruppen nur geringe Prävalenzen von Asymmetrien der Schulterblattbewegungen darstellte und sich auch zwischen den untersuchten Gruppen nicht in der Häufigkeit ihres Auftretens unterschied (Gruppe 1 20%, Gruppe 2 25%), ergab keine weiterführenden Hinweise auf Pathologien oder Beeinträchtigungen bei den untersuchten Nachwuchssportlern. Allerdings muss dieser Test ohnehin differenziert betrachtet werden, da sich ein Rückschluss auf pathologische Zustände durch das Vorliegen asymmetrischer Bewegungsmuster bisher nicht ohne Weiteres herstellen lässt (Odom *et al.* 2001; Ozunlu *et al.* 2011). Zwar wurden bei Sportlern mit Läsionen von Strukturen des Schultergelenks asymmetrische Bewegungsmuster beschrieben und diese somit mit der Anfälligkeit für die Entstehung von Verletzungen assoziiert, jedoch konnten in einer Untersuchung von 71 Überkopfsportlern im Alter von 18 bis 22 Jahren auch bei 73,6% gesunder Probanden Asymmetrien beschrieben werden (Kibler 1998; Koslow *et al.* 2003). Die Spezifität des LSST ist schlussendlich gering und dient eher als ein zusätzliches Evaluationstool im Zusammenhang mit der weiteren klinischen Untersuchung anstelle eines isolierten Instrumentes zur Identifikation von Schulterpathologien. Diese Aussage unterstreicht

auch eine Untersuchung an 16 Volleyballspielern der englischen nationalen Spitze (Wang und Cochrane 2001b). Hierbei zeigte sich bei 5 Probanden eine Asymmetrie der Skapulamobilität. Es handelte sich in der Studie von Wang und Cochrane (2001b) jedoch um erwachsene Probanden, von denen 7 im Laufe einer Saison Schmerzen oder Verletzungen der Schulter angaben. Eine Abhängigkeit vom LSST konnte nicht erkannt werden. Auch konnten Ozunlu et al. (2011) in ihrer Untersuchung an einem dem unseren ähnlichen Kollektiv von 31 Volleyballspielern im Alter von 18 Jahren keinen Zusammenhang zwischen dem LSST und Asymmetrien oder Pathologien der Skapulamobilität nachweisen. Auch Oyama et al. (2008) stellten bei einer Gruppe von 43 männlichen Überkopfsportlern im Durchschnittsalter von 20 Jahren trotz Beschwerdefreiheit Seitenunterschiede in der Innenrotation und Protraktion der Skapulae fest.

Die Ergebnisse in beiden Performance-Tests, der CKC-UE und der FTPI (Davies und Dickoff-Hoffman 1993; Goldbeck und Davies 2000) spiegelten das hohe funktionelle Niveau der untersuchten Athleten wider. Sowohl die Muskulatur von Rumpf und kinetischer Kette, als auch die Wurfpräzision lagen hierbei im Rahmen bzw. über den Referenzwerten der einzelnen Tests. Die Kontaktzahl beim CKC-UE von 29,5 bei Gruppe 1 und 32,1 bei Gruppe 2 war jeweils im Bereich bzw. über dem Normwert von 27,8 bzw. 30,4 Kontakten, welcher bei Messungen an asymptomatischen Wurfspielern ermittelt wurden, und deutlich über der ursprünglichen Referenzangabe der Autoren des Tests von 21 Kontakten (Ellenbecker 2006; Goldbeck und Davies 2000; Roush *et al.* 2007). Auch die Anforderungen des FTPI, dessen Normwert mit 47% (33-60%) für männliche, gesunde Probanden angegeben wird (Davies und Dickoff-Hoffman 1993), wurde in beiden Gruppen unseres Kollektivs mit 50,8% (Gruppe 1) und 49,3% (Gruppe 2) übertroffen. In keinem der beiden funktionellen Tests unterschieden sich die Werte der beiden Athletengruppen relevant. Somit konnte die in der vorhergehenden klinischen Untersuchung und durch die Scorewerte nachgewiesene Beschwerdefreiheit durch diese Tests auch unter funktionellen Gesichtspunkten objektiv bestätigt werden.

5.3 Magnetresonanztomographie

Der Hauptbefund der MRT-Untersuchung war eine signifikant erhöhte Anzahl posterosuperiorer, intraossärer Humeruszysten bei asymptomatischen Überkopfsportlern auf der dominanten Seite im Vergleich zur Gegenseite (Abbildung

5.1). Diese Läsionen waren an der Insertionsstelle der posterioren Supraspinatus- und der anterioren Infraspinatussehne lokalisiert und können als Frühzeichen von Schädigungen des artikulärseitigen Rotatorenanschettensehnenansatzes interpretiert werden. In der aktuellen Literatur wurden solche Befunde zwar bereits beschrieben, jedoch nur bei erwachsenen Hochleistungssportlern, die bereits seit mehreren Jahren auf hohem Leistungssportniveau aktiv waren (Connor *et al.* 2003; Jost *et al.* 2005).

Interessant ist die Tatsache, dass die von uns untersuchten Volleyballspieler eine geringere Prävalenz intraossärer Zysten aufwiesen als die Speerwerfer. Dieser Befund könnte in Zusammenhang mit der unterschiedlichen Belastung (Wurf- bzw. Schlagtechnik) des Schultergelenks in den beiden Sportarten stehen. Die Volleyballspieler präsentierten hingegen wiederum eine höhere Prävalenz intraartikulärer Ganglionzysten als die Speerwerfer.

Die >3mm messenden intraossären Zysten traten bei den Volleyballspielern in nahezu seitengleicher Verteilung auf, bei den Speerwerfer jedoch signifikant häufiger auf der dominanten Seite (Wurfarm).

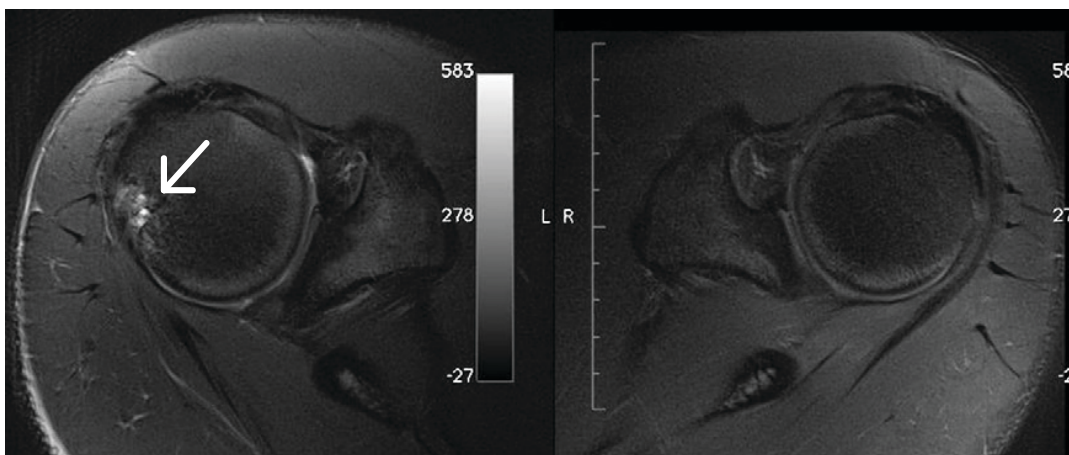


Abbildung 5.1: Axialer, PD-gewichteter Schnitt der dominanten rechten (linker Bildausschnitt) und nicht-dominanten linken (rechter Bildausschnitt) Schulter eines Speerwerfers: Auf der dominanten, nicht aber auf der nicht-dominanten Seite ist eine spezifische intraossäre Zyste am postero-superioren Humeruskopf zu sehen (weißer Pfeil)

Derartige Läsionen in der entsprechenden Lokalisation des Humeruskopfes wurden bereits in der Literatur bei der Untersuchung erwachsener Überkopfsportler beschrieben (Jost *et al.* 2005; Miniaci *et al.* 2002). So fanden Jost *et al.* (2005) in ihren Untersuchungen zystische Läsionen bei 60% und knöcherne Defekte bei 57% der

dominanten Schultern von Handballspielern mit einem Durchschnittsalter von 27 (20-39) Jahren. Demgegenüber standen in dieser Untersuchung die Befunde der nicht-dominanten Seite mit 33% zystischer und 13% ossärer Läsionen. Auch die Untersuchungen von Miniaci et al. (2002) lieferten ähnliche Ergebnisse. Die Untersuchung von Baseball-Pitchern ergab zystische Läsionen des Humeruskopfes in 36% der dominanten gegenüber 7% der nicht-dominanten Schultern bei einer Studienpopulation mit einem Durchschnittsalter von 20 (18-22) Jahren.

Zysten treten, sofern keine Osteoarthrose vorliegt, meist in Weichgeweben auf. Trotzdem gibt es Beschreibungen, wo diese auch im Knochen lokalisiert sind und dann intraossäre Ganglionzysten genannt werden (Chiou et al. 1999). In der Allgemeinbevölkerung ist es unklar, ob diese zystischen Veränderungen des Humeruskopfes nahe der Ansatzstelle der Rotatorenmanschettensehnen alters- oder entwicklungsbedingt, asymptomatisch oder in Zusammenhang mit Pathologien der Rotatorenmanschette auftreten (Williams et al. 2006). Zystische Veränderungen der Insertion von M. supraspinatus und M. infraspinatus wurden in einer Untersuchung von 238 Patienten mit Rotatorenmanschetteläsionen bei 56,7%, ohne statistisch signifikante Korrelation zu Alter oder Läsionen der Rotatorenmanschette, diagnostiziert (Fritz et al. 2007). Jedoch war die von Fritz et al. (2007) untersuchte Patientenpopulation keine mit erhöhter sportlicher Aktivität und auch das Durchschnittsalter der untersuchten Patienten unterschied sich mit 43 Jahren deutlich von dem unseres Studienkollektivs. Die ursächlichen Faktoren solcher intraossärer, zystischer Läsionen sind noch nicht komplett verstanden, könnten aber mit einem Kontakt des Humeruskopfes mit dem gegenüberliegenden Akromion oder Glenoid in Zusammenhang stehen (Williams et al. 2006). Eine andere Theorie besagt, dass Mikroläsionen der Rotatorenmanschette zu einem Einstrom von Synovialflüssigkeit in den Humeruskopf durch kleine kommunizierende Poren oder erweiterte Gefäßkanäle führen können (Fritz et al. 2007; Williams et al. 2006).

Bei Überkopfsportlern werden derzeit hauptsächlich zwei Theorien zur Entstehung dieser zystischen Läsionen diskutiert: Erstere beschreibt im Sinne des inneren Impingement den Einfluss repetitiver Mikrotraumata durch den Kontakt benachbarter Strukturen, wie dem posterosuperioren Humeruskopf mit dem posterosuperioren Glenoid oder einem Mechanismus, der dem der Hill-Sachs-Läsion bei anteroinferiorer Luxation des Schultergelenks, vergleichbar ist (Jost et al. 2005). Dieser Effekt könnte

verstärkt werden durch eine veränderte Position der Skapula in Form vermehrter Protraktion, wie Laundner *et al.* (2010) beschrieben. Die in unseren Untersuchungen fehlenden, korrespondierenden Läsionen von posterosuperiorem oder anteroinferiorem Glenoid oder Labrum, die zu erwarten gewesen wären, wenn die zystischen Läsionen durch ein derartiges mechanisches Impingement verursacht worden wären, stehen dem jedoch entgegen.

In der zweiten Theorie wird der besonders hohen exzentrischen Muskelbeanspruchung in der Abbremsbewegung der Wurfphase, nachdem Speer oder Volleyball die Hand des Werfers verlassen haben, Rechnung getragen. Diese exzentrischen Kräfte führen durch Mikrotraumata der posterioren Kapsel bzw. der Insertionsstelle der Supra- und Infraspinatussehne zu wiederholtem Einstrom von Gelenkflüssigkeit in den Knochen (Fritz *et al.* 2007). Man nimmt an, dass diese Zugkräfte oberflächliche Risse der Unterseite von distaler Supra- und Infraspinatussehne nach sich ziehen. Anderson und Alford (2010) beschrieben sogar zurückgezogene Fasern an der Unterseite der Sehnen im Bereich der Ansatzstelle. Wir konnten keine derartigen Läsionen der Rotatorenmanschette entdecken, jedoch ist die Sensitivität der nativen MRT-Untersuchung für die Detektion von Rotatorenmanschettenläsionen geringer, als wenn Kontrastmittel eingesetzt worden wäre (Major *et al.* 2011; Roy *et al.* 2015). Deshalb interpretieren wir die zystischen Läsionen als Hinweise auf Frühzeichen von Verletzungen der Unterseite der Rotatorenmanschettensehnen bei unseren Probanden, die zum Zeitpunkt der Untersuchung noch frei von klinischen Symptomen waren. Die Tatsache, dass diese Zysten bei den jugendlichen Speerwerfern häufiger beobachtet wurden als bei den Volleyballspielern, unterstützen diese Theorie zudem, da die mechanischen Belastungen des Schultergelenkes in der Abbremsphase durch den Schlag beim Volleyball geringer sind als diejenigen, die beim Wurf des Speeres generiert werden (Braun *et al.* 2009; Burkhart *et al.* 2003a; Schwab und Blanch 2009). Obwohl unser Studienaufbau es nicht ermöglichte, endgültig festzulegen, welche Faktoren ursächlich für die morphologischen Veränderungen sind, deuten die beobachteten Befunde darauf hin, dass sie mit den spezifischen Beanspruchungen durch das spezielle Bewegungsmuster beim Speerwurf in Zusammenhang stehen und daher bereits bei asymptomatischen Sportlern auftreten können.

Bei jeweils 12,5% der dominanten und nicht-dominanten Schultern von Volleyballspielern, jedoch nur bei einer dominanten Schulter eines Speerwerfers

wurden Zeichen einer Typ-I-SLAP Läsion gefunden. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund ethischer Gründe auf die Gabe von intraartikulärem Kontrastmittel, von welchem bekannt ist, dass es die Sensitivität und Spezifität für die Diagnostik von SLAP-Läsionen im MRT verbessert, verzichtet wurde (Waldt *et al.* 2004). Deshalb konnten wir die potentielle Koexistenz weiterer Läsionen des insbesondere superioren Labrums nicht komplett ausschließen, jedoch wurden keine weiteren, direkt oder indirekt erkennbaren Zeichen hierfür gefunden. Zwar unterscheiden sich unsere Ergebnisse damit von denen anderer Studien, in denen Läsionen des Labrums und der Rotatorenmanschette gängige Befunde bei asymptomatischen Überkopfsportlern waren. Jedoch wurden diese Befunde bei Populationen erwachsener Sportler mit längerer Wurfkarriere als sie die von uns untersuchten Athleten aufwiesen, erhoben (Connor *et al.* 2003; Miniaci *et al.* 2002).

In Folge dessen kann die leicht erhöhte Anzahl intraartikulärer Ganglionzysten (Abbildung 5.2) als mögliche Folgeerscheinung von Läsionen des Labrums, also als paralabrale Zysten, interpretiert werden, wie dies auch schon von anderen Autoren berichtet wurde (Steinbach 2005; Tung *et al.* 2000).

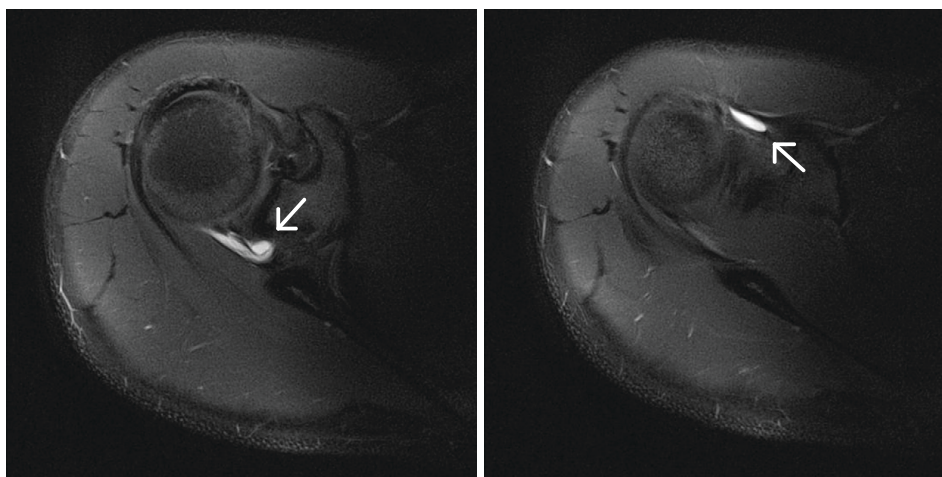


Abbildung 5.2: Axialer, PD-gewichteter Schnitt der dominanten (rechten) Schultern zweier Volleyballspieler: Intraartikuläre Ganglionzysten (weißer Pfeil) in posteriorer (linker Bildausschnitt) und anteriorer Lokalisation (rechter Bildausschnitt)

2 - 4% der Allgemeinbevölkerung weisen intraartikuläre paraglenoidale Ganglionzysten auf (Tung *et al.* 2000). Normalerweise sind diese Zysten am posterosuperioren Aspekt des Glenoids gelegen und haben einen Durchmesser von 10-20 mm (Ollat *et al.* 2006; Tung *et al.* 2000). Bei asymptomatischen Personen oder bei Patienten mit einer anderen

symptomatischen, koexistenten Diagnose am Schultergelenk, werden die Ganglionzysten als Zufallsbefund angesehen (Tung *et al.* 2000). Bei den meisten der dokumentierten symptomatischen Fälle verursachen sie dann jedoch eine Einengung oder Kompression des Nervus suprascapularis (Catalano und Fenlin 1994). Für gewöhnlich können sie mit einer glenohumeralen Instabilität oder Einrissen des Labrum in Verbindung gebracht werden und resultieren aus dem Austritt von Synovia und Flüssigkeit durch einen Riss des Labrums, z.B. im Rahmen einer SLAP-Läsion (Kessler *et al.* 2007). Insgesamt sind sie häufiger in der posterioren Schulterpartie lokalisiert als in der anterioren (Tung *et al.* 2000). Es existiert eine Fallbeschreibung einer symptomatischen, intraartikulären Ganglionzyste bei einem Volleyballspieler ohne Bezug zu einer Verletzung des Labrum glenoidale oder anderer Strukturen des Schultergürtels (Terabayashi *et al.* 2011). Die Ganglionzyste stand in diesem Fall mit der Bursa subacromialis in Verbindung, die Pathogenese der Zyste konnten die Autoren allerdings nicht erklären. Jedoch wurde die im Fallbeispiel von Terabayashi *et al.* (2011) durch Nadelaspiration der Zyste zunächst temporäre Beschwerdefreiheit, erst durch eine operative Bursektomie langfristig gesichert. Solche intraartikulären Ganglionzysten unter dem Lig. coracoacromiale ohne Zusammenhang mit Pathologien des Labrums sind selten. Es gibt nur wenige Daten über deren Prävalenz, welche mit 0,5% bei Patienten mit chronischen Schulterschmerzen beschrieben wurde (Chiou *et al.* 1999). In unseren Kollektiven lag die Prävalenz intraartikulärer Ganglionzysten zwischen 20 - 50%. Vergleichbare Angaben in der Literatur über die Prävalenz intraartikulärer Ganglionzysten bei asymptomatischen Sportlern ähnlicher Altersklasse existiert bisher nicht. Interessant ist die Tatsache, dass die Prävalenz der intraartikulären Ganglionzysten in der Gruppe der Volleyballspieler signifikant höher war als bei den Speerwerfern. Deren Entstehung könnte somit ursächlich in Zusammenhang zu den spezifischen Belastungen beim Volleyball stehen und mit der in dieser Gruppe auch bildgebend erhöhten Prävalenz von SLAP-Läsionen in Verbindung gebracht werden. Im Gegensatz zu den bei unseren Sportlern gefundenen Zysten verursachten diese aber bei allen von Chiou *et al.* (1999) und Terabayashi *et al.* (2011) beschriebenen Patienten relevante Beschwerden.

Es bleibt offen, welche Faktoren dazu beitragen, dass diese zystischen Veränderungen symptomatisch werden. In der Größe der Zysten gab es keinen relevanten Unterschied und auch deren Lokalisation war bei unseren Sportlern mit der in den Studien von Chiou *et al.* (1999) und Terabayashi *et al.* (2011) vergleichbar. Trotzdem waren in den

dort beschriebenen Fällen die Zysten ursächlich für die Schmerzen verantwortlich, da nach Aspiration bzw. Entfernung der Raumforderung die Beschwerden rückläufig waren oder gar ganz verschwanden (Chiou *et al.* 1999; Terabayashi *et al.* 2011). Somit ist die Existenz von intraartikulären Zysten und deren klinische Bedeutung im Rahmen der Bildgebung bei Asymptomatik unklar, ebenso, ob und inwieweit diese im zeitlichen Follow-up kontrolliert werden sollten.

5.4 Limitationen

Als Limitation unserer Untersuchung kann die Größe des Kollektives unserer untersuchten Sportler angesehen werden. Die relativ geringe Probandenzahl war jedoch auf die strengen Einschlusskriterien zurückzuführen, die ein hohes Leistungsniveau der teilnehmenden Sportler (im Sinne der Vorgabe eines nationalen Spitzenlevels innerhalb der Altersgruppe) voraussetzte. Hier wurden gezielt jugendliche Probanden eingeschlossen und untersucht, die ihre Sportart auf nationalem oder internationalem Spitzenniveau bereits seit einer genügend langen Zeit ausübten. Deshalb wurden beispielsweise bei den Speerwerfern in 2 aufeinanderfolgenden Jahren alle uns zugänglichen Athleten des kompletten Jugend-Nationalkaders berücksichtigt. Trotzdem ist es erstrebenswert, in der Zukunft ähnliche Analysen an größeren Kollektiven – soweit möglich, z.B. im internationalen Vergleich – durchzuführen, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu verbessern. Die Auswahl zweier unterschiedlicher Gruppen von Volleyballspielern und Speerwerfern wurde vorgenommen, um auch Unterschiede zwischen verschiedenen Überkopfsportarten zu analysieren, da sich die biomechanischen Aspekte des Speerwurfes und des Überkopfschlages beim Volleyball im Rahmen der Überkopfbewegungen signifikant unterscheiden.

Ob und inwieweit ein Kontrollkollektiv in Form einer nicht werfenden Referenzgruppe eine Verbesserung der Aussagekraft in der durchgeführten Untersuchung hätte erbringen können, ist unklar, da eine bilaterale Untersuchung erfolgt ist, durch welche die nicht-dominante Schulter als Referenz im Sinne eines nicht werfenden Kollektives durchaus eine Relevanz hat. Die Belastungen der kontralateralen Seite der Wurfsporler sind insbesondere in der Speerwurfgruppe sehr gering, da kaum bis gar kein Wurfpensum mit dem schwachen Arm erbracht wird. Auch wenn bei den Volleyballspielern der Einfluss durch bilaterale Überkopfbewegungen (Pritschen oder Blocken) möglicherweise eine signifikante Belastung darstellt, wird der im

Zusammenhang mit der Fragestellung stehende Bewegungsablauf des Angriffs-, Schmetter- bzw. Aufschlages beinahe ausschließlich mit dem dominanten Arm ausgeführt. In ähnlichen Studien zur Beschreibung von Anpassungseffekten des Wurfarmes von Überkopfsportlern wurde ebenso die kontralaterale Seite als Referenz verwendet (Burkhart *et al.* 2003a; Chant *et al.* 2007; Thomas *et al.* 2009; Wilk *et al.* 2012; Wilk *et al.* 2011)

Somit lag unter Berücksichtigung der hohen Anforderungen an das Leistungsniveau der Athleten und der bilateralen Untersuchung der fast ausschließlich mit dem dominanten Arm werfenden bzw. schlagenden Sportler ein qualitativ sehr exklusives Kollektiv vor, dessen nicht werfender Arm die Voraussetzungen als Referenz erfüllt und in der Literatur akzeptiert ist (Burkhart *et al.* 2003a; Chant *et al.* 2007; Thomas *et al.* 2009; Wilk *et al.* 2012; Wilk *et al.* 2011).

Um potenzielle Pathologien und oligosymptomatische Beschwerden im Schultergelenk bei dem untersuchten Studienkollektiv zu detektieren, wurde ein breites Repertoire an etablierten klinischen Schulderscores mit jeweils unterschiedlichem Fokus sowie eine umfassende Befragung der Probanden durchgeführt. Die von uns verwendeten Schulderscores wurden zu einem großen Teil für die Allgemeinbevölkerung oder Patienten mit Schulterbeschwerden entwickelt (VAS, WOSI, ASES Score, Rowe Scale, Constant-Murley Score) und besitzen teilweise einen relevanten subjektiven Bewertungsanteil (VAS, WOSI, ASES Score) (Constant und Murley 1987; King *et al.* 1999; Kirkley *et al.* 1998; Rowe *et al.* 1978; Tibone 1993; Wewers und Lowe 1990). Ein guter Wert in diesen Scores gibt zwar Hinweise auf Beschwerdefreiheit bzw. -armut der Probanden, kann jedoch nicht zwingend Aussagen über die Funktionalität der Schulter auf einem leistungssportlichen Level treffen, auf dem sich die Sportler unserer Untersuchungsgruppen bewegen. Dies konnte im Rahmen der klinischen Scores jedoch durch die athletenspezifische ASOR Scale abgebildet werden (Tibone 1993). Auch der Constant-Murley Score trifft durch die Berücksichtigung der Kraftmessung Aussagen zur Funktionalität der Schulter (Constant und Murley 1987). Durch die Verwendung sechs verschiedener Scoresysteme, die den Fokus auf Schmerz (VAS, ASES Score, Constant-Murley Score, ASOR Scale), Instabilität (WOSI, Rowe-Scale, ASOR Scale), Aktivitäten des täglichen Lebens (ASES Score, Constant-Murley Score), Bewegungsausmaße (Constant-Murley Score, ASOR Scale), Kraft (Constant-Murley

Score, ASOR Scale) und die Wettkampfperformance bei Überkopfsportlern (ASOR Scale) richtet, sahen wir eine umfassende Beurteilung der Schulter garantiert.

Auch die klinische Untersuchung stellt isoliert kein geeignetes Mittel dar, um Aussagen über die sportliche Leistungsfähigkeit erzielen zu können. Diese wird jedoch im Zusammenhang mit den klinischen Scores und durch die Kombination verschiedener Tests, die jeweils die gleichen anatomischen Strukturen untersuchen, umfangreich ergänzt. Besonders in Kombination mit der Magnetresonanztomographie stellen diese Tests Kernpunkte des Standarduntersuchungsverfahrens dar, welches auch bei Patienten mit Schulterbeschwerden zur Diagnostik und Therapieplanung angewandt wird (Anderson und Anderson 2013).

Die MRT-Untersuchung ist ein geeignetes Verfahren, um nichtinvasiv und ohne Strahlenbelastung verlässliche Informationen über die Morphologie von Weichgewebe und Knochenstruktur eines Gelenkes zu erhalten. Wir verzichteten in unserer Untersuchung auf die Verwendung von intraartikulärem bzw. intravenösem Kontrastmittel, welches insbesondere in Bezug auf kleine Läsionen, beispielsweise des Labrum glenoidale, zusätzliche Informationen hätte liefern können und nach wie vor den Standard der bildgebenden Gelenkdiagnostik darstellt (Major *et al.* 2011; Roy *et al.* 2015; Waldt *et al.* 2004). Dies erfolgte aufgrund der Abwägung zwischen einer erhöhten Sensitivität und Spezifität der Untersuchung unter Zugabe von Kontrastmittel einerseits und dem zwar geringen, aber doch vorhandenen Risiko eines invasiv durchgeführten diagnostischen Eingriffes, wie Infektion oder Blutung im Gelenkraum oder einer allergischen Reaktion bei gesunden Probanden andererseits. Unter medizinethischen Gesichtspunkten wäre eine invasive Kontrastmitteluntersuchung durch die Ethikkommission nicht genehmigt worden. Die geringere Spezifität und Sensitivität durch eine native Bildgebung wurde insofern optimiert, dass durch den Einsatz des 3.0 Tesla MRT auch ohne den Einsatz von Kontrastmittel die räumliche Auflösung gegenüber einem MRT mit geringerer Magnetfeldstärke deutlich verbessert wurde. Nichtsdestotrotz blieb hierbei die Dehnung des Gelenkraumes zur besseren Differenzierung der intra- und periartikulären Strukturen aus. Aufgrund dieser Limitation ist die Evaluation, im Besonderen von kleinen Schäden der Rotatorenmanschette, des Labrums oder dem inferioren glenohumeralen Ligament, wie in einem Fallbericht über 4 symptomatische Volleyballspielerinnen (Taljanovic *et al.* 2011), schwierig.

Eine weitere Limitation hinsichtlich des MRT-Protokolls war, dass die Untersuchung lediglich in anatomischer Neutralposition vorgenommen wurde. Die ABER-Position wäre hier eine zusätzliche und funktionellere Möglichkeit gewesen, um insbesondere die Aufdehnung der vorderen Kapsel zu beurteilen. Jedoch betrug die Untersuchungszeit der MRT-Evaluation bereits mehr als 45 Minuten pro Schulter und wurde bei jedem Sportler bilateral durchgeführt und konnte aus sicherheitstechnischen Aspekten zeitlich nicht weiter verlängert werden.

Insgesamt bleibt offen, ob und inwiefern die beobachteten morphologischen und funktionellen Veränderungen tatsächlich Vorstufen pathologischer Zustände darstellen und im weiteren Verlauf als klinisch manifeste Schäden symptomatisch werden. Die im MRT beschriebenen Veränderungen bei älteren Überkopfsportlern (Connor *et al.* 2003; Jost *et al.* 2005) werfen deshalb die Frage auf, ob deren Ursache bereits in frühen Jahren des Leistungssports liegt und den von uns beobachteten Befunden entsprechen. Sollte dies der Fall sein, dann wären aus prophylaktischer Sicht entsprechende Maßnahmen schon zu Beginn der leistungssportlichen Karriere umzusetzen. Zu beurteilen, ob diese jedoch auch möglicherweise asymptomatisch bleiben, erfordert eine Langzeitbeobachtung unseres oder eines vergleichbaren Kollektives jugendlicher Hochleistungsathleten in Überkopfsportarten.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen klinischen und bildmorphologischen Querschnittsbefund asymptomatischer, jugendlicher Hochleistungsathleten zu erheben. Da ein Großteil dieser Sportler im Verlauf ihrer Karriere einem hohen Risiko für Verletzungen und Verschleißerscheinungen ausgesetzt ist, wurden Nachwuchsathleten, die diesem Kollektiv angehören, zu einem Zeitpunkt untersucht, an dem sie frei von Beschwerden waren. So sollten Anpassungserscheinungen detektiert werden, die bereits frühzeitig Hinweise auf die Entstehung möglicher späterer Pathologien liefern können. Es wurden

- Veränderungen des Bewegungsausmaßes (Glenohumerales Innenrotationsdefizit)
- Veränderungen des skapulothorakalen Bewegungsverhaltens (Dyskinesie nach Kibler)
- magnetresonanztomographisch relevante morphologische Veränderungen

untersucht und beschrieben.

Als Probanden konnten 31 männliche, jugendliche Hochleistungsathleten aus deren jeweiligem Nationalkader gewonnen werden. Die Studienpopulation setzte sich aus zwei Gruppen zusammen, 15 Speerwerfer (durchschnittliches Alter: 17,7 Jahre) und 16 Volleyballspieler (durchschnittliches Alter: 16,9 Jahre), die ihren Sport auf internationalem Spitzenniveau und seit mehreren Jahren ausübten. Da die Überkopfbelastung dieser Sportarten einseitig ist, aber eine bilaterale Untersuchung durchgeführt wurde, konnte die nicht-dominante Seite als Referenzwert herangezogen werden.

Bei beiden Gruppen wurden während der Untersuchung eine Vielzahl von klinischen Scores erhoben (VAS, WOSI-Index, Rowe Scale, ASES Score, Constant-Murley Score, ASOR Scale), eine komplette, beidseitige, klinische Untersuchung der Schulter, eine Beurteilung des skapulothorakalen Rhythmus, funktionelle Tests sowie eine bilaterale Magnetresonanztomographie des Glenohumeralgelenkes durchgeführt.

Durch die Scores und die klinische Untersuchung ließ sich die Beschwerdefreiheit aller Athleten belegen. Es wurde jedoch eine Adaptation des Bewegungsausmaßes der

werfenden bzw. schlagenden Schulter in beiden Gruppen festgestellt. Das glenohumerale Innenrotationsdefizit der entsprechend dominanten Seite betrug $13,2 (\pm 10,8)^\circ$ (Speerwerfer: $9,3 (\pm 9,2)^\circ$, Volleyballspieler: $16,9 (\pm 11,2)^\circ$) gegenüber der Gegenseite. Das skapulothorakale Bewegungsmuster ließ hingegen weder relevante Unterschiede zwischen dominanter und nicht-dominanter Seite, noch zwischen den Gruppen erkennen. Die Magnetresonanztomographie zeigte dagegen bei den Speerwerfern eine auf der dominanten Seite signifikante Zunahme intraossärer Humeruskopfszysten >3 mm (dominant: 73,3%, nicht-dominant: 13,3%), bei den Volleyballspielern wiederum einen im Vergleich mit den Speerwerfern signifikanten Mehrbefund seitenunabhängiger, intraartikulärer Ganglionzysten (Volleyball: 50,0%; Speerwurf: 23,3%), diese waren allerdings bilateral gleichsam ausgeprägt.

Es konnte somit belegt werden, dass es sich bei dem in dieser Studie untersuchten Kollektiv um asymptotische Untersuchungsgruppen handelte. Die unauffällige klinische Untersuchung der Schulter und Skapula lässt darauf schließen, dass die Leistungssportler eine hohe Funktionalität des skapulothorakalen Komplexes aufweisen und sich hier bisher keine Pathologien manifestiert haben. Anhand der Veränderungen des Bewegungsausmaßes wurden die Ergebnisse zahlreicher anderer Untersuchungen an Überkopfsportlern bestätigt, die eine Anpassung des glenohumeralen Rotationsausmaßes hin zu einer verringerten Innenrotation des dominanten Armes beschreiben. Dieser Vorgang steht am Beginn einer Pathologiekaskade, die als Folge häufig Rotatorenmanschettenläsion sowie Alterationen des Labrum glenoidale nach sich zieht. Die erhobenen magnetresonanztomographischen Befunde in Form intraossärer Humeruskopf- und intraartikulärer Ganglionzysten lassen sich somit durchaus als Frühzeichen derartiger Läsionen interpretieren, die sich aufgrund der subjektiven Beschwerdefreiheit bereits vor dem Auftreten von Beschwerden oder Einschränkungen der Leistungsfähigkeit manifestieren. Die Ursachen der sportartspezifischen Unterschiede dieser Befunde und die weitere Entwicklung der vorliegenden Adaptationserscheinungen im Verlauf der Sportlerkarriere erfordert weitere Untersuchungen bei größeren Leistungssportkollektiven sowie im Langzeitverlauf.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Bewegungsausmaß des akromialen Endes der Klavikula (Benninghoff und Drenckhahn 2008)	2
Abbildung 1.2: Schulterblatt- und Humerustorsionswinkel des Neugeborenen (a) und Erwachsenen (b) (Benninghoff und Drenckhahn 2008)	3
Abbildung 1.3: Schemazeichnung von anteriorem und posteriorem Band des inferioren glenohumeralen Ligaments und seiner Funktion bei abduziertem Arm in Neutralstellung (a,b), Innenrotation (b,c) und Außenrotation (b,d). (O'Brien et al. 1990 (S. 455)).....	5
Abbildung 1.4: Skapulakinematik in der Ansicht von posterior (A), superior (B) und lateral (C). Die Rotationsachsen sind durch schwarze Punkte gekennzeichnet. (modifiziert nach Borich et al. 2006 (S. 927))	7
Abbildung 1.5:Retraktion (A), Abduktion (B) und Außenrotation (C) der Skapula bei Abduktion des Humerus in der Skapularebene (links) und Flexion in der Sagittalebene (rechts). Schwarzer Punkt = Aufwärtsbewegung, Weißer Punkt = Abwärtsbewegung des Armes. (modifiziert nach McClure et al. 2001 (S. 271, 272))	8
Abbildung 1.6: Phasen der Wurfbewegung, (1) Wind-Up Phase, (2) Early Cocking Phase, (3) Late Cocking Phase, (4) Acceleration Phase, (5) Deceleration Phase, (6) Follow Through Phase. (modifiziert nach Braun et al. 2009 (S. 967)).....	9
Abbildung 1.7: Kräfte im Schultergelenk in Aushol- und Abbremsphase (modifiziert nach Fleisig et al. 1995 (S. 238)).....	11
Abbildung 1.8: Posteriore Verschiebung und Reduktion des Gesamtbewegungsausmaßes des abduzierten Schultergelenkes. Bewegungsausmaß einer Normalperson (a), nach Adaptation (b), bei exzessiver Ausprägung (c), bei exzessiver Ausprägung und Verminderung des Gesamtbewegungsausmaßes und somit Verkürzung des Bremsweges. (blau: Beschleunigungsweg, orange: Bremsweg, rot: kritisch verkürzter Bremsweg (Brucker und Proier 2016), mit freundlicher Genehmigung aus: Grim C, Engelhardt M. Die Sportlerschulter. 1. Aufl. Stuttgart: Schattauer 2016, S. 70.	13
Abbildung 1.9 Nockenwelleneffekt an der anteroinferioren Kapsel in ABER-Position (1). Reduzierte Spannung bei posterosuperiorem Shift des glenohumeralen Kontaktpunktes (2), Vergleich beider Positionen (3). A: Anterior, P: Posterior, C: Kontaktpunkt (modifiziert nach Burkhart et al. 2003a (S. 412)).....	14
Abbildung 1.10: Torsions-/Retroversionswinkel des Humerus (modifiziert nach Roach et al. 2012 (S. 294))	15
Abbildung 1.11: Subtypen der Typ-II SLAP Läsionen (A) anterior, (B) posterior, (C) kombiniert anterior-posterior (Morgan et al. 1998 (S. 554)).....	17
Abbildung 1.12: Foto (A) und Schemazeichnung (B) des Schultergelenkes bei eleviertem Arm. Durch Kompression oder Distension gefährdete Strukturen: (1) Tuberculum majus, (2) Rotatorenmanschettensehne, (3) superiores	

Labrum, (4) inferiores glenohumerales Ligament, (5) superiorer Glenoidrand (Jobe 1995 (S. 532)).....	19
Abbildung 1.13: Endphase des Speerwurfes (Schmitt et al. 2001 (S. 275)).....	22
Abbildung 1.14: Angriffsschlag im Volleyball (modifiziert nach Rokito et al. 1998 (S. 257))	23
Abbildung 3.1: Untersuchung des passiven glenohumeralen Rotationsausmaß bei 90° abduziertem Arm.....	36
Abbildung 3.2: Lateral Scapular Slide Test bei einem Speerwerfer: Die Linie zeigt den Messabstand der Wirbelsäule zum Angulus inferior an.	38
Abbildung 3.3: Closed Kinetic Chain Upper-Extremity Stability Test eines Speerwerfers	39
Abbildung 3.4: Functional Throwing Performance Index eines Volleyballspielers	40
Abbildung 4.1: Scorewerte im Vergleich zwischen den Gruppen.....	43
Abbildung 4.2: Passive Bewegungsausmaße der Speerwerfer.....	45
Abbildung 4.3: Passive Bewegungsausmaße der Volleyballspieler.....	46
Abbildung 4.4: Seitendifferenz der passiven hohen Rotationsausmaße im Vergleich zwischen den Gruppen.....	47
Abbildung 4.5: Prävalenz intraossärer Humeruskopfszysten >3 mm.	50
Abbildung 4.6: Prävalenz intraartikulärer Ganglionzysten.	51
Abbildung 5.1: Axialer, PD-gewichteter Schnitt der dominanten rechten (linker Bildausschnitt) und nicht-dominanten linken (rechter Bildausschnitt) Schulter eines Speerwerfers: Auf der dominanten, nicht aber auf der nicht-dominanten Seite ist eine spezifische intraossäre Zyste am postero-superioren Humeruskopf zu sehen (weißer Pfeil).....	66
Abbildung 5.2: Axialer, PD-gewichteter Schnitt der dominanten (rechten) Schultern zweier Volleyballspieler: Intraartikuläre Ganglionzysten (weißer Pfeil) in posteriorer (linker Bildausschnitt) und anteriorer Lokalisation (rechter Bildausschnitt)	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer	31
Tabelle 2: Ergebnisse der Scores	42
Tabelle 3: Aktive Bewegungsausmaße	44
Tabelle 4: Ergebnis der schulterpezifischen klinischen Testung	48
Tabelle 5: Ergebnisse der MRT-Untersuchung	49

Literaturverzeichnis

- Aagaard, H. and Jørgensen, U. (1996). "Injuries in elite volleyball." *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 6(4): 228-232.
- Anderson, B. C. and Anderson, R. J. (2013). Evaluation of the patient with shoulder complaints. UpToDate. Basow, D. S. Waltham, MA, UpToDate.
- Anderson, M. W. and Alford, B. A. (2010). "Overhead throwing injuries of the shoulder and elbow." *Radiol Clin North Am* 48(6): 1137-1154.
- Angst, F., Schwyzer, H. K., Aeschlimann, A., Simmen, B. R. and Goldhahn, J. (2011). "Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and its short version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society standardized shoulder assessment form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI)." *Arthritis Care Res (Hoboken)* 63 Suppl 11: S174-188.
- Barthel, T., König, U., Böhm, D., Loehr, J. F. and Gohlke, F. (2003). "Die Anatomie des Labrum glenoidale." *Der Orthopäde* 32(7): 578-585.
- Bartlett, L. R., Storey, M. D. and Simons, B. D. (1989). "Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete." *The American Journal of Sports Medicine* 17(1): 89-91.
- Basmajian, J. V. and Bazant, F. J. (1959). "Factors Preventing Downward Dislocation of the Adducted Shoulder Joint: An Electromyographic and Morphological Study." *J Bone Joint Surg Am* 41(7): 1182-1186.
- Beighton, P. and Horan, F. (1969). "Orthopaedic aspects of the Ehlers-Danlos syndrome." *J Bone Joint Surg Br* 51(3): 444-453.
- Beneka, A., Malliou, P., Gioftsidou, A., Tsigganos, G., Zetou, H. and Godolias, G. (2009). "Injury incidence rate, severity and diagnosis in male volleyball players." *Sport Sciences for Health* 5(3): 93-99.
- Benninghoff, A. and Drenckhahn, D. (2008). *Anatomie: makroskopische Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen. Zellen- und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett- und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem*, Urban & Schwarzenberg.
- Bigliani, L. U., Codd, T. P., Connor, P. M., Levine, W. N., Littlefield, M. A. and Hershon, S. J. (1997). "Shoulder Motion and Laxity in the Professional Baseball Player." *The American Journal of Sports Medicine* 25(5): 609-613.
- Boileau, P., Parratte, S., Chuinard, C., Roussanne, Y., Shia, D. and Bicknell, R. (2009). "Arthroscopic Treatment of Isolated Type II SLAP Lesions: Biceps Tenodesis as an Alternative to Reinsertion." *The American Journal of Sports Medicine* 37(5): 929-936.

- Borich, M. R., Bright, J. M., Lorello, D. J., Cieminski, C. J., Buisman, T. and Ludewig, P. M. (2006). "Scapular angular positioning at end range internal rotation in cases of glenohumeral internal rotation deficit." *J Orthop Sports Phys Ther* 36(12): 926-934.
- Borsa, P. A., Laudner, K. G. and Sauers, E. L. (2008). "Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective." *Sports Med* 38(1): 17-36.
- Braun, S., Kokmeyer, D. and Millett, P. J. (2009). "Shoulder injuries in the throwing athlete." *J Bone Joint Surg Am* 91(4): 966-978.
- Brinker, M. R., Cuomo, J. S., Popham, G. J., O'Connor, D. P. and Barrack, R. L. (2002). "An examination of bias in shoulder scoring instruments among healthy collegiate and recreational athletes." *J Shoulder Elbow Surg* 11(5): 463-469.
- Brucker, P. U. and Proier, P. (2016). Physiologisch-strukturelle Adaptationen der Sportlerschulter und pathologische Ausprägungen. Die Sportlerschulter. 1. Aufl. Grim, C. and Engelhardt, M. Stuttgart, Schattauer: 354.
- Burkhart, S. S. and Morgan, C. D. (1998). "The peel-back mechanism: its role in producing and extending posterior type II SLAP lesions and its effect on SLAP repair rehabilitation." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 14(6): 637-640.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D. and Kibler, W. B. (2003a). "The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part I: pathoanatomy and biomechanics." *Arthroscopy* 19(4): 404-420.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D. and Kibler, W. B. (2003b). "The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation." *Arthroscopy* 19(6): 641-661.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D. and Kibler, W. B. (2003c). "The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology. Part II: evaluation and treatment of SLAP lesions in throwers." *Arthroscopy* 19(5): 531-539.
- Catalano, J. B. and Fenlin, J. M., Jr. (1994). "Ganglion cysts about the shoulder girdle in the absence of suprascapular nerve involvement." *J Shoulder Elbow Surg* 3(1): 34-41.
- Chant, C. B., Litchfield, R., Griffin, S. and Thain, L. M. (2007). "Humeral head retroversion in competitive baseball players and its relationship to glenohumeral rotation range of motion." *J Orthop Sports Phys Ther* 37(9): 514-520.
- Chiou, H. J., Chou, Y. H., Wu, J. J., Hsu, C. C., Tiu, C. M., Chang, C. Y. and Yu, C. (1999). "Alternative and effective treatment of shoulder ganglion cyst: ultrasonographically guided aspiration." *J Ultrasound Med* 18(8): 531-535.
- Clarke, M. G., Dewing, C. B., Schroder, D. T., Solomon, D. J. and Provencher, M. T. (2009). "Normal shoulder outcome score values in the young, active adult." *J Shoulder Elbow Surg* 18(3): 424-428.
- Codman, E. A. (1934). Rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. The Shoulder. Todd. Boston.

- Connor, P. M., Banks, D. M., Tyson, A. B., Coumas, J. S. and D'Alessandro, D. F. (2003). "Magnetic Resonance Imaging of the Asymptomatic Shoulder of Overhead Athletes." *The American Journal of Sports Medicine* 31(5): 724-727.
- Constant, C. R. and Murley, A. H. (1987). "A clinical method of functional assessment of the shoulder." *Clin Orthop Relat Res*(214): 160-164.
- Cowgill, L. W. (2007). "Humeral torsion revisited: a functional and ontogenetic model for populational variation." *Am J Phys Anthropol* 134(4): 472-480.
- Crockett, H. C., Gross, L. B., Wilk, K. E., Schwartz, M. L., Reed, J., O'Mara, J., Reilly, M. T., Dugas, J. R., Meister, K., Lyman, S. and Andrews, J. R. (2002). "Osseous Adaptation and Range of Motion at the Glenohumeral Joint in Professional Baseball Pitchers." *The American Journal of Sports Medicine* 30(1): 20-26.
- Davies, G. J. and Dickoff-Hoffman, S. (1993). "Neuromuscular testing and rehabilitation of the shoulder complex." *J Orthop Sports Phys Ther* 18(2): 449-458.
- De Mey, K., Danneels, L., Cagnie, B. and Cools, A. M. (2012). "Scapular muscle rehabilitation exercises in overhead athletes with impingement symptoms: effect of a 6-week training program on muscle recruitment and functional outcome." *Am J Sports Med* 40(8): 1906-1915.
- DiGiovine, N. M., Jobe, F. W., Pink, M. and Perry, J. (1992). "An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 1(1): 15-25.
- Dillman, C. J., Fleisig, G. S. and Andrews, J. R. (1993). "Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics." *J Orthop Sports Phys Ther* 18(2): 402-408.
- Dillman, C. J., Schultheis, J. M., Hintermeister, R. A. and Hawkins, R. J. (1995). What do we know about body mechanics involved in tennis skills? *Tennis: Sports Medicine and Science*. Krahl H, P. H., Kibler B, Renstrom P. San Francisco, CA, Society for Tennis Medicine and Science: 6-11.
- Drenckhahn, D., Koebke, J. (2008). *Obere Extremität. Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie, Band 1*. Drenckhahn, D. München, Drenckhahn, D. 17: 278-340.
- Edwards, S. L., Lee, J. A., Bell, J. E., Packer, J. D., Ahmad, C. S., Levine, W. N., Bigliani, L. U. and Blaine, T. A. (2010). "Nonoperative treatment of superior labrum anterior posterior tears: improvements in pain, function, and quality of life." *Am J Sports Med* 38(7): 1456-1461.
- Ellenbecker, T. S. (2006). *Shoulder rehabilitation : non-operative treatment*. New York, Thieme.
- Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., Bailie, D. S., Davies, G. J. and Brown, S. W. (2002). "Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers." *Med Sci Sports Exerc* 34(12): 2052-2056.
- Escamilla, R. F. and Andrews, J. R. (2009). "Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports." *Sports Med* 39(7): 569-590.
- Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Dillman, C. J. and Escamilla, R. F. (1995). "Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms." *Am J Sports Med* 23(2): 233-239.

- Fleisig, G. S., Dillman, C. J. and Andrews, J. R. (2009). Biomechanics of the Shoulder During Sports. *The Athlete's Shoulder*. Andrews, J. R., Wilk, K. E. and Reinold, M. M. Philadelphia, Churchill Livingstone. 2: 365-384.
- Forsythe, B., Guss, D., Anthony, S. G. and Martin, S. D. (2010). "Concomitant Arthroscopic SLAP and Rotator Cuff Repair." *The Journal of Bone & Joint Surgery* 92(6): 1362-1369.
- Fritz, L. B., Ouellette, H. A., O'Hanley, T. A., Kassarian, A. and Palmer, W. E. (2007). "Cystic Changes at Supraspinatus and Infraspinatus Tendon Insertion Sites: Association with Age and Rotator Cuff Disorders in 238 Patients1." *Radiology* 244(1): 239-248.
- Gagey, O. J. and Gagey, N. (2001). "The hyperabduction test." *J Bone Joint Surg Br* 83(1): 69-74.
- Gokeler, A., Lehmann, M., Knopf, E. and Freiwald, J. (2003). "[Current concepts in the diagnosis and rehabilitation of the shoulder in overhead athletes]." *Sportverletz Sportschaden* 17(1): 15-20.
- Goldbeck, T. G. and Davies, G. J. (2000). "Test-Retest Reliability of the Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test: A Clinical Field Test." *J Sport Rehabil* 9(1): 35-45.
- Halbrecht, J. L., Tirman, P. and Atkin, D. (1999). "Internal Impingement of the Shoulder: Comparison of Findings Between the Throwing and Nonthrowing Shoulders of College Baseball Players." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 15(3): 253-258.
- Hauser-Bischof, C. (2003). Die Möglichkeiten der Evaluation und Outcome-Messungen beim Schulterpatienten. *Schulterrehabilitation in der Orthopädie und Traumatologie*. Hauser-Bischof, C. Stuttgart, Georg Thieme Verlag: 105 - 106.
- Hayes, M. H. S. and Patterson, D. G. (1921). "Experimental Development of the Graphic Rating Method." *Psychological Bulletin* 18: 98-99.
- Hernigou, P., Duparc, F. and Hernigou, A. (2002). "Determining Humeral Retroversion with Computed Tomography." *The Journal of Bone & Joint Surgery* 84(10): 1753-1762.
- Herrington, L. (1998). "Glenohumeral joint: internal and external rotation range of motion in javelin throwers." *Br J Sports Med* 32(3): 226-228.
- Hibberd, E. E., Oyama, S. and Myers, J. B. (2014). "Increase in humeral retrotorsion accounts for age-related increase in glenohumeral internal rotation deficit in youth and adolescent baseball players." *Am J Sports Med* 42(4): 851-858.
- Imhoff, A. B., Baumgartner, R. and Linke, R. D. (2006). *Klinische Untersuchung der Schulter. Checkliste Orthopädie*. Imhoff, A. B., Baumgartner, R. and Linke, R. D. Stuttgart, Georg Thieme Verlag. 1: 19-23.
- Jancosko, J. J. and Kazanjian, J. E. (2012). "Shoulder injuries in the throwing athlete." *Phys Sportsmed* 40(1): 84-90.
- Jobe, C. M. (1995). "Posterior superior glenoid impingement: Expanded spectrum." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 11(5): 530-536.
- Jobe, F. W., Moynes, D. R., Tibone, J. E. and Perry, J. (1984). "An EMG analysis of the shoulder in pitching." *The American Journal of Sports Medicine* 12(3): 218-220.

- Jobe, F. W., Tibone, J. E., Perry, J. and Moynes, D. (1983). "An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching." *The American Journal of Sports Medicine* 11(1): 3-5.
- Jost, B., Zumstein, M., Pfirrmann, C. W., Zanetti, M. and Gerber, C. (2005). "MRI findings in throwing shoulders: abnormalities in professional handball players." *Clin Orthop Relat Res*(434): 130-137.
- Katolik, L. I., Romeo, A. A., Cole, B. J., Verma, N. N., Hayden, J. K. and Bach, B. R. (2005). "Normalization of the Constant score." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 14(3): 279-285.
- Kemp, K. A., Sheps, D. M., Beaupre, L. A., Styles-Tripp, F., Luciak-Corea, C. and Balyk, R. (2012). "An evaluation of the responsiveness and discriminant validity of shoulder questionnaires among patients receiving surgical correction of shoulder instability." *ScientificWorldJournal* 2012: 410125.
- Kessler, M. A., Stoffel, K., Oswald, A., Stutz, G. and Gaechter, A. (2007). "The SLAP lesion as a reason for glenolabral cysts: a report of five cases and review of the literature." *Arch Orthop Trauma Surg* 127(4): 287-292.
- Kibler, W. B. (1998). "The role of the scapula in athletic shoulder function." *Am J Sports Med* 26(2): 325-337.
- Kibler, W. B., Kuhn, J. E., Wilk, K., Sciascia, A., Moore, S., Laudner, K., Ellenbecker, T., Thigpen, C. and Uhl, T. (2013a). "The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology-10-year update." *Arthroscopy* 29(1): 141-161 e126.
- Kibler, W. B., Kuhn, J. E., Wilk, K., Sciascia, A., Moore, S., Laudner, K., Ellenbecker, T., Thigpen, C. and Uhl, T. (2013b). "The Disabled Throwing Shoulder: Spectrum of Pathology—10-Year Update." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 29(1): 141-161.e126.
- Kibler, W. B. and Livingston, B. (2001). "Closed-chain rehabilitation for upper and lower extremities." *J Am Acad Orthop Surg* 9(6): 412-421.
- Kibler, W. B., Uhl, T. L., Maddux, J. W., Brooks, P. V., Zeller, B. and McMullen, J. (2002). "Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction: a reliability study." *J Shoulder Elbow Surg* 11(6): 550-556.
- King, G. J., Richards, R. R., Zuckerman, J. D., Blasier, R., Dillman, C., Friedman, R. J., Gartsman, G. M., Iannotti, J. P., Murnahan, J. P., Mow, V. C. and Woo, S. L. (1999). "A standardized method for assessment of elbow function. Research Committee, American Shoulder and Elbow Surgeons." *J Shoulder Elbow Surg* 8(4): 351-354.
- Kirkley, A., Griffin, S., McLintock, H. and Ng, L. (1998). "The Development and Evaluation of a Disease-Specific Quality of Life Measurement Tool for Shoulder Instability." *The American Journal of Sports Medicine* 26(6): 764-772.
- Knesek, M., Skendzel, J. G., Dines, J. S., Altchek, D. W., Allen, A. A. and Bedi, A. (2013). "Diagnosis and Management of Superior Labral Anterior Posterior Tears in Throwing Athletes." *The American Journal of Sports Medicine* 41(2): 444-460.
- Koslow, P. A., Prosser, L. A., Strony, G. A., Suchecki, S. L. and Mattingly, G. E. (2003). "Specificity of the lateral scapular slide test in asymptomatic competitive athletes." *J Orthop Sports Phys Ther* 33(6): 331-336.

- Kuhn, J. E., Bey, M. J., Huston, L. J., Blasier, R. B. and Soslowsky, L. J. (2000). "Ligamentous Restraints to External Rotation of the Humerus in the Late-Cocking Phase of Throwing." *The American Journal of Sports Medicine* 28(2): 200-205.
- Kuhn, J. E., Lindholm, S. R., Huston, L. J., Soslowsky, L. J. and Blasier, R. B. (2003). "Failure of the biceps superior labral complex: a cadaveric biomechanical investigation comparing the late cocking and early deceleration positions of throwing." *Arthroscopy* 19(4): 373-379.
- Kunz, H. and Kaufmann, D. A. (1983). "Cinematographical analysis of javelin throwing techniques of decathletes." *Br J Sports Med* 17(3): 200-204.
- Laudner, K. G., Moline, M. T. and Meister, K. (2010). "The relationship between forward scapular posture and posterior shoulder tightness among baseball players." *Am J Sports Med* 38(10): 2106-2112.
- Lehmann, L. J., Moursy, M. and Lederer, C. (2012). "[Is the patient age a negative predictive factor in the reconstruction of SLAP lesions?]." *Sportverletz Sportschaden* 26(2): 109-113.
- Lehtinen, J. T., Tetreault, P. and Warner, J. J. P. (2003). "Arthroscopic management of painful and stiff scapulothoracic articulation." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 19(4): 28-28.
- Lippitt, S. M. D. and Matsen, F. M. D. (1993). "Mechanisms of Glenohumeral Joint Stability." *Clinical Orthopaedics & Related Research* June 291: 20-28.
- Ludewig, P. M., Cook, T. M. and Nawoczenski, D. A. (1996). "Three-dimensional scapular orientation and muscle activity at selected positions of humeral elevation." *J Orthop Sports Phys Ther* 24(2): 57-65.
- Ludewig, P. M. and Reynolds, J. F. (2009). "The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies." *J Orthop Sports Phys Ther* 39(2): 90-104.
- Maffet, M. W., Gartsman, G. M. and Moseley, B. (1995). "Superior labrum-biceps tendon complex lesions of the shoulder." *Am J Sports Med* 23(1): 93-98.
- Magnusson, S. P., Gleim, G. W. and Nicholas, J. A. (1994). "Shoulder weakness in professional baseball pitchers." *Med Sci Sports Exerc* 26(1): 5-9.
- Major, N. M., Browne, J., Domzalski, T., Cothran, R. L. and Helms, C. A. (2011). "Evaluation of the glenoid labrum with 3-T MRI: is intraarticular contrast necessary?" *AJR Am J Roentgenol* 196(5): 1139-1144.
- Mauch, F. and Bauer, G. J. (2007). "Die mikrotraumatische Instabilität beim Überkopfsportler." *Arthroskopie* 20(3): 203-210.
- McClure, P. W., Michener, L. A., Sennett, B. J. and Karduna, A. R. (2001). "Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo." *J Shoulder Elbow Surg* 10(3): 269-277.
- McMahon, P. J., Jobe, F. W., Pink, M. M., Brault, J. R. and Perry, J. (1996). "Comparative electromyographic analysis of shoulder muscles during planar motions: Anterior glenohumeral instability versus normal." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 5(2, Part 1): 118-123.
- McMullen, J. and Uhl, T. L. (2000). "A kinetic chain approach for shoulder rehabilitation." *J Athl Train* 35(3): 329-337.

- Meller, R., Krettek, C., Gösling, T., Wähling, K., Jagodzinski, M. and Zeichen, J. (2007). "Recurrent shoulder instability among athletes: changes in quality of life, sports activity, and muscle function following open repair." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 15(3): 295-304.
- Michener, L. A., McClure, P. W. and Sennett, B. J. (2002). "American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form, patient self-report section: reliability, validity, and responsiveness." *J Shoulder Elbow Surg* 11(6): 587-594.
- Mihata, T., Jun, B. J., Bui, C. N., Hwang, J., McGarry, M. H., Kinoshita, M. and Lee, T. Q. (2012). "Effect of scapular orientation on shoulder internal impingement in a cadaveric model of the cocking phase of throwing." *J Bone Joint Surg Am* 94(17): 1576-1583.
- Miniaci, A., Mascia, A. T., Salonen, D. C. and Becker, E. J. (2002). "Magnetic Resonance Imaging of the Shoulder in Asymptomatic Professional Baseball Pitchers." *The American Journal of Sports Medicine* 30(1): 66-73.
- Mohseni-Bandpei, M. A., Keshavarz, R., Minoonejhad, H., Mohsenifar, H. and Shakeri, H. (2012). "Shoulder pain in Iranian elite athletes: the prevalence and risk factors." *J Manipulative Physiol Ther* 35(7): 541-548.
- Monteiro, G. C., Ejnisman, B., Andreoli, C. V., Pochini, A. C. and Cohen, M. (2008). "Absorbable Versus Nonabsorbable Sutures for the Arthroscopic Treatment of Anterior Shoulder Instability in Athletes: A Prospective Randomized Study." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 24(6): 697-703.
- Morgan, C. D., Burkhart, S. S., Palmeri, M. and Gillespie, M. (1998). "Type II SLAP lesions: three subtypes and their relationships to superior instability and rotator cuff tears." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 14(6): 553-565.
- Morriss, C. and Bartlett, R. (1996). "Biomechanical Factors Critical for Performance in the Men's Javelin Throw." *Sports Medicine* 21(6): 438-446.
- Myers, J. B., Laudner, K. G., Pasquale, M. R., Bradley, J. P. and Lephart, S. M. (2006). "Glenohumeral Range of Motion Deficits and Posterior Shoulder Tightness in Throwers With Pathologic Internal Impingement." *The American Journal of Sports Medicine* 34(3): 385-391.
- Myklebust, G., Hasslan, L., Bahr, R. and Steffen, K. (2013). "High prevalence of shoulder pain among elite Norwegian female handball players." *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23(3): 288-294.
- Neer, C. S. I. M. D. (1983). "Impingement Lesions." *Clinical Orthopaedics & Related Research* March 173: 70-77.
- Nicholson, G. P., Goodman, D. A., Flatow, E. L. and Bigliani, L. U. (1996). "The acromion: Morphologic condition and age-related changes. A study of 420 scapulas." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 5(1): 1-11.
- Noffal, G. J. (2003). "Isokinetic Eccentric-to-Concentric Strength Ratios of the Shoulder Rotator Muscles in Throwers and Nonthrowers." *The American Journal of Sports Medicine* 31(4): 537-541.
- O'Brien, S. J., Neves, M. C., Arnoczky, S. P., Rozbruck, S. R., Dicarlo, E. F., Warren, R. F., Schwartz, R. and Wickiewicz, T. L. (1990). "The anatomy and histology



- of the inferior glenohumeral ligament complex of the shoulder." *The American Journal of Sports Medicine* 18(5): 449-456.
- O'Brien, S. J., Pagnani, M. J., Fealy, S., McGlynn, S. R. and Wilson, J. B. (1998). "The Active Compression Test: A New and Effective Test for Diagnosing Labral Tears and Acromioclavicular Joint Abnormality." *The American Journal of Sports Medicine* 26(5): 610-613.
- Odom, C. J., Taylor, A. B., Hurd, C. E. and Denegar, C. R. (2001). "Measurement of Scapular Asymmetry and Assessment of Shoulder Dysfunction Using the Lateral Scapular Slide Test: A Reliability and Validity Study." *Physical Therapy* 81(2): 799-809.
- Ollat, D., Martin, M., Desmoineaux, P., Beaufils, P. and Versier, G. (2006). "[Ganglion cyst of the shoulder: six cases and review of the literature]." *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 92(3): 214-222.
- Oyama, S., Myers, J. B., Wassinger, C. A., Daniel Ricci, R. and Lephart, S. M. (2008). "Asymmetric resting scapular posture in healthy overhead athletes." *J Athl Train* 43(6): 565-570.
- Ozunlu, N., Tekeli, H. and Baltaci, G. (2011). "Lateral scapular slide test and scapular mobility in volleyball players." *J Athl Train* 46(4): 438-444.
- Poppen, N. K. and Walker, P. S. (1976). "Normal and abnormal motion of the shoulder." *J Bone Joint Surg Am* 58(2): 195-201.
- Powell, S., Nord, K. and Ryu, R. (2004). "The diagnosis, classification and treatment of SLAP lesions." *Oper Tech Sports Med* 12: 99-110.
- Prescher, A. (2000). "Anatomical basics, variations, and degenerative changes of the shoulder joint and shoulder girdle." *Eur J Radiol* 35(2): 88-102.
- Rasmussen, J. V., Jensen, S. L., Petersen, J. B., Falstie-Jensen, T., Lausten, G. and Olsen, B. S. (2011). "A retrospective study of the association between shortening of the clavicle after fracture and the clinical outcome in 136 patients." *Injury* In Press, Corrected Proof.
- Rathbun, J. B. and Macnab, I. (1970). "The microvascular pattern of the rotator cuff." *J Bone Joint Surg Br* 52(3): 540-553.
- Reagan, K. M., Meister, K., Horodyski, M. B., Werner, D. W., Carruthers, C. and Wilk, K. (2002). "Humeral Retroversion and Its Relationship to Glenohumeral Rotation in the Shoulder of College Baseball Players." *The American Journal of Sports Medicine* 30(3): 354-360.
- Reeser, J. C., Fleisig, G. S., Bolt, B. and Ruan, M. (2010a). "Upper limb biomechanics during the volleyball serve and spike." *Sports Health* 2(5): 368-374.
- Reeser, J. C., Joy, E. A., Porucznik, C. A., Berg, R. L., Colliver, E. B. and Willick, S. E. (2010b). "Risk Factors for Volleyball-Related Shoulder Pain and Dysfunction." *PM&R* 2(1): 27-36.
- Reinold, M. M., Wilk, K. E., Macrina, L. C., Sheheane, C., Dun, S., Fleisig, G. S., Crenshaw, K. and Andrews, J. R. (2008). "Changes in Shoulder and Elbow Passive Range of Motion After Pitching in Professional Baseball Players." *The American Journal of Sports Medicine* 36(3): 523-527.

- Roach, N. T., Lieberman, D. E., Gill, T. J. t., Palmer, W. E. and Gill, T. J., 3rd (2012). "The effect of humeral torsion on rotational range of motion in the shoulder and throwing performance." *J Anat* 220(3): 293-301.
- Rokito, A. S., Jobe, F. W., Pink, M. M., Perry, J. and Brault, J. (1998). "Electromyographic analysis of shoulder function during the volleyball serve and spike." *J Shoulder Elbow Surg* 7(3): 256-263.
- Roush, J. R., Kitamura, J. and Waits, M. C. (2007). "Reference Values for the Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test (CKCUEST) for Collegiate Baseball Players." *North American journal of sports physical therapy : NAJSPT* 2(3): 159-163.
- Rowe, C., Patel, D. and Southmayd, W. (1978). "The Bankart procedure: a long-term end-result study." *J Bone Joint Surg Am* 60(1): 1-16.
- Roy, J. S., Braen, C., Leblond, J., Desmeules, F., Dionne, C. E., MacDermid, J. C., Bureau, N. J. and Fremont, P. (2015). "Diagnostic accuracy of ultrasonography, MRI and MR arthrography in the characterisation of rotator cuff disorders: a systematic review and meta-analysis." *Br J Sports Med* 49(20): 1316-1328.
- Ryu, R. K. N., Dunbar V, W. H., Kuhn, J. E., McFarland, E. G., Chronopoulos, E. and Kim, T. K. (2002). "Comprehensive evaluation and treatment of the shoulder in the throwing athlete." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 18(9, Supplement 2): 70-89.
- Schmitt, H., Hansmann, H. J., Brocai, D. R. and Loew, M. (2001). "Long term changes of the throwing arm of former elite javelin throwers." *Int J Sports Med* 22(4): 275-279.
- Schünke, M., Schulte, E. and Schumacher, U. (2011). *PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: LernAtlas der Anatomie*, Thieme Georg Verlag.
- Schwab, L. M. and Blanch, P. (2009). "Humeral torsion and passive shoulder range in elite volleyball players." *Phys Ther Sport* 10(2): 51-56.
- Seil, R., Kusma, M. and S., R. (2005). "Die Sportlerschulter Teil 1: Definition - Pathomechanismus - Schadensmuster." *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56(1): 26-27.
- Sisto, D. J. and Jobe, F. W. (1986). "The operative treatment of scapulothoracic bursitis in professional pitchers." *The American Journal of Sports Medicine* 14(3): 192-194.
- Snyder, S. J., Karzel, R. P., Pizzo, W. D., Ferkel, R. D. and Friedman, M. J. (1990). "SLAP lesions of the shoulder." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 6(4): 274-279.
- Soldatis, J. J., Moseley, J. B. and Etminan, M. (1997). "Shoulder symptoms in healthy athletes: a comparison of outcome scoring systems." *J Shoulder Elbow Surg* 6(3): 265-271.
- Steinbach, L. S. (2005). "Magnetic resonance imaging of glenohumeral joint instability." *Semin Musculoskelet Radiol* 9(1): 44-55.
- Taljanovic, M. S., Nisbet, J. K., Hunter, T. B., Cohen, R. P. and Rogers, L. F. (2011). "Humeral avulsion of the inferior glenohumeral ligament in college female

- volleyball players caused by repetitive microtrauma." *Am J Sports Med* 39(5): 1067-1076.
- Terabayashi, N., Fukuta, M., Ito, Y., Takigami, I., Nishimoto, Y. and Shimizu, K. (2011). "Shoulder impingement syndrome due to a ganglion cyst below the coracoacromial ligament: a case report." *J Bone Joint Surg Am* 93(8): e36.
- Thomas, S. J., Swanik, K. A., Swanik, C. and Huxel, K. C. (2009). "Glenohumeral rotation and scapular position adaptations after a single high school female sports season." *J Athl Train* 44(3): 230-237.
- Tibone, J., Bradley J. (1993). Evaluation of Treatment outcomes for the athlete's shoulder. *The shoulder: A balance of mobility and stability.* . Matsen, F., Fu FH, Hawkins RJ. Rosemont (IL), American Academy of Orthopaedic Surgeons: 526 - 527.
- Ticker, J. B., Beim, G. M. and Warner, J. J. P. (2000). "Recognition and treatment of refractory posterior capsular contracture of the shoulder." *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 16(1): 27-34.
- Tischer, T. and Putz, R. (2003). "Die Anatomie des oberen Labrumkomplexes im Schultergelenk." *Der Orthopäde* 32(7): 572-577.
- Tischer, T., Salzmann, G. M. and Imhoff, A. B. (2007). "Rotatorenmanschettendefekte und inneres Impingement beim Sportler." *Der Orthopäde* 36(10): 950-956.
- Tung, G. A., Entzian, D., Stern, J. B. and Green, A. (2000). "MR imaging and MR arthrography of paragenoid labral cysts." *AJR Am J Roentgenol* 174(6): 1707-1715.
- Uhl, T. L., Kibler, W. B., Gecewich, B. and Tripp, B. L. (2009). "Evaluation of clinical assessment methods for scapular dyskinesis." *Arthroscopy* 25(11): 1240-1248.
- Voos, J. E., Pearle, A. D., Mattern, C. J., Cordasco, F. A., Allen, A. A. and Warren, R. F. (2007). "Outcomes of Combined Arthroscopic Rotator Cuff and Labral Repair." *The American Journal of Sports Medicine* 35(7): 1174-1179.
- Walch, G., Boileau, P., Noel, E. and Donell, S. T. (1992). "Impingement of the deep surface of the supraspinatus tendon on the posterosuperior glenoid rim: An arthroscopic study." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 1(5): 238-245.
- Waldt, S., Burkart, A., Lange, P., Imhoff, A. B., Rummeny, E. J. and Woertler, K. (2004). "Diagnostic performance of MR arthrography in the assessment of superior labral anteroposterior lesions of the shoulder." *AJR Am J Roentgenol* 182(5): 1271-1278.
- Wang, H. K. and Cochrane, T. (2001a). "A descriptive epidemiological study of shoulder injury in top level English male volleyball players." *Int J Sports Med* 22(2): 159-163.
- Wang, H. K. and Cochrane, T. (2001b). "Mobility impairment, muscle imbalance, muscle weakness, scapular asymmetry and shoulder injury in elite volleyball athletes." *J Sports Med Phys Fitness* 41(3): 403-410.
- Wang, H. K., Macfarlane, A. and Cochrane, T. (2000). "Isokinetic performance and shoulder mobility in elite volleyball athletes from the United Kingdom." *Br J Sports Med* 34(1): 39-43.

- Warden, S. J., Bogenschutz, E. D., Smith, H. D. and Gutierrez, A. R. (2009). "Throwing induces substantial torsional adaptation within the midshaft humerus of male baseball players." *Bone* 45(5): 931-941.
- Warner, J. J., Micheli, L. J., Arslanian, L. E., Kennedy, J. and Kennedy, R. (1992). "Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrome. A study using Moire topographic analysis." *Clin Orthop Relat Res*(285): 191-199.
- Werner, S. L., Fleisig, G. S., Dillman, C. J. and Andrews, J. R. (1993). "Biomechanics of the elbow during baseball pitching." *J Orthop Sports Phys Ther* 17(6): 274-278.
- Wewers, M. E. and Lowe, N. K. (1990). "A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena." *Res Nurs Health* 13(4): 227-236.
- Wilk, K. E., Macrina, L. C. and Arrigo, C. (2012). "Passive range of motion characteristics in the overhead baseball pitcher and their implications for rehabilitation." *Clin Orthop Relat Res* 470(6): 1586-1594.
- Wilk, K. E., Macrina, L. C., Fleisig, G. S., Porterfield, R., Simpson, C. D., Harker, P., Paparesta, N. and Andrews, J. R. (2011). "Correlation of Glenohumeral Internal Rotation Deficit and Total Rotational Motion to Shoulder Injuries in Professional Baseball Pitchers." *The American Journal of Sports Medicine* 39(2): 329-335.
- Wilk, K. E., Meister, K. and Andrews, J. R. (2002). "Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete." *Am J Sports Med* 30(1): 136-151.
- Williams, M., Lambert, R. G., Jhangri, G. S., Grace, M., Zelazo, J., Wong, B. and Dhillon, S. S. (2006). "Humeral head cysts and rotator cuff tears: an MR arthrographic study." *Skeletal Radiol* 35(12): 909-914.
- Yeh, M. L., Lintner, D. and Luo, Z. P. (2005). "Stress distribution in the superior labrum during throwing motion." *Am J Sports Med* 33(3): 395-401.
- Yian, E. H., Ramappa, A. J., Arneberg, O. and Gerber, C. (2005). "The constant score in normal shoulders." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 14(2): 128-133.

Anhang A: Frage- und Untersuchungsbogen

 <p>TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN</p>	<p>Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar</p> <hr style="border: 0.5px solid #00a08a;"/> <p>Fachgebiet Biomechanik im Sport Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaft</p>	
<p>INTERVENTIONSSTUDIE</p> <p><i>DIE PROSPEKTIVE UNTERSUCHUNG EINES NEUARTIG KOMBINIERTEN DEFIZIT-AUSGLEICHS-PROGRAMMS ZUR PRÄVENTION VON SCHULTERBESCHWERDEN IM SPITZENSport BEIM ÜBERKOPF-WURF- UND SCHLAGSPORTLER.</i></p>		
<p>Sehr geehrte/r Studienteilnehmer/in,</p> <p>wir möchten uns herzlich bedanken, dass Sie an unserer Studie zur Beurteilung des Funktionszustandes beider Schultergelenke mittels ausführlicher diagnostischer Mittel und Methoden teilnehmen. Zu diesem Zweck werden verschiedene konservative Untersuchungsmethoden eingesetzt (Fragebogen, klinische Untersuchung, funktionelle Testung), als auch apparative Testverfahren (Videoanalyse und Elektromyographie, Isokinetik, Magnetresonanztomographie) angewandt. Für die Erhebung der Messdaten werden keine schädlichen Röntgenstrahlen oder invasive Methoden im Rahmen des Studienprotokolls verwendet.</p> <p>Die Studienteilnehmer werden vorab ausführlich über das Forschungsvorhaben, die Untersuchungsmethoden, das Interventionsprogramm sowie resultierende Vor- und Nachteile einer Teilnahme aufgeklärt. Die Teilnahme an dieser Studie ist völlig freiwillig und es entstehen dadurch für den Sportler keine zusätzlich zu den im Leistungssport ohnehin bestehenden Risiken im Sinne von Verletzungen oder Überlastungserscheinungen.</p> <p>Persönliche Daten, Ergebnisse der Befragung, erhobene Messdaten und -werte sind Inhalt einer klinischen prospektiven Interventionsstudie. Sollten diese Daten veröffentlicht werden, geschieht dieses ausschließlich in anonymisierter Form.</p> <p>Sie können jederzeit der Weiterverarbeitung Ihrer im Rahmen der o. g. Studie erhobenen Daten widersprechen und Ihre Löschung verlangen. Ebenso haben Sie das Recht, jederzeit ohne Angabe von Gründen oder persönliche Nachteile die Teilnahme an der Studie zu beenden.</p> <p>Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, dass Sie vor Studienbeginn durch die Studienleitung ausführlich über die Inhalte, Untersuchungsmethoden und Rahmenbedingungen aufgeklärt wurden und an der Teilnahme einverstanden sind. Wir bitten Sie mit Ort, Datum und Unterschrift Ihr Einverständnis schriftlich niederzulegen. Bei minderjährigen Studienteilnehmern ist zusätzlich die Einverständniserklärung eines Erziehungsberechtigten erforderlich.</p> <p>Die Studienleiter bedanken sich herzlichst für Ihre Kooperation!</p>		
Ort, Datum	Dr. med. K. Beitzel	Dipl. Sportwiss. J. Zandt
Ort, Datum	Unterschrift des/der Studienteilnehmers/in (zusätzlich eines Erziehungsberechtigten bei Minderjährigen)	

Anhang B: Frage- und Untersuchungsbogen



Fachgebiet Biomechanik im Sport
 Fakultät für Sportwissenschaft
 Technische Universität München
 &
 Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
 Klinikum rechts der Isar
 Technische Universität München



INTERVENTIONSSTUDIE

DIE PROSPEKTIVE UNTERSUCHUNG EINES NEUARTIG KOMBINIERTEN DEFIZIT-AUSGLEICHSPROGRAMMS ZUR PRÄVENTION VON SCHULTERBESCHWERDEN IM SPITZENSORT UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES ÜBERKOPF-WURFSPORTLERS.

Fragebogen und Scores

Der Fragebogen besteht aus zwei Teilen (A = Probandenteil und B = Untersucherteil). Wir bitten Sie, sich in Ruhe die folgenden Fragen des Teils A durchzulesen und zu beantworten. Teil B wird von einem sportwissenschaftlich oder medizinisch ausgebildeten Untersucher ausgefüllt.

Datum, Ort

Unterschrift des Studienteilnehmers

A = Probandenteil

Allgemeine Daten

Name:

Telefon (Festnetz / Handy):

Email:

Adresse:

Geb. Datum:

Alter / / Größe / / Gewicht

Heimtrainer:

Telefon (Festnetz / Handy):

Email:

A 1. Allgemeine Fragen

- **Hauptsportart:** _____
regelmäßig ausgeübt seit _____ und Spezialisierung im Jahr _____
- **Bestleistung (600 / 700 / 800 gr):** _____
- **Größte bisher erreichte Erfolge (Datum)?**

- **Kaderzugehörigkeit seit dem Jahr** _____
- **Nebensportarten (Niveau und Dauer):**

- **Trainingsintensität (Stunden pro Woche)?**
Sportartspezifisches Training:

Krafttraining:

Allgemeines Konditionstraining / Ausdauertraining / Ausgleichssport:

Verletzungsprävention allgemein und Schulter-spezifisch:

- **Dominante Schulter (Rechts- oder Linkshänder)?**
Rechts Links

- **Traten in Traten in der Vergangenheit schon einmal Probleme an der dominanten Schulter auf? Sind Verletzungen bekannt oder wurde bereits eine Operation durchgeführt (mit Zeitangabe)?**

- **Haben Sie aktuell Schulterschmerzen (mit Seitenangabe)?**

Ja, starke Schmerzen Ja, mäßige Schmerzen
 Ja, gelegentlich leichte Schmerzen Keine Schmerzen

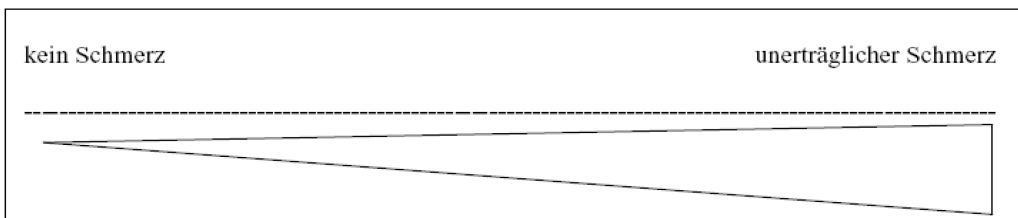
- **Traten in Traten in der Vergangenheit schon einmal Probleme an angrenzenden Gelenken auf (Arm, Schultergürtel, Wirbelsäule)? Sind Verletzungen bekannt oder liegen Operationen zurück (mit Zeitangabe)?**

A 2. VAS

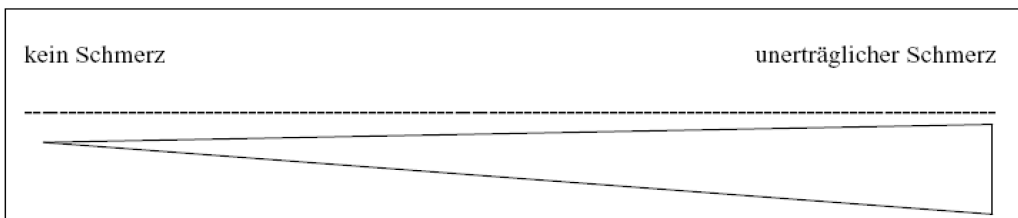
Visuelle Analogskala = subjektive Einschätzung Ihrer aktuellen Schmerzen

Wie beurteilen Sie den Schmerz Ihrer Schulter zurzeit? *Bitte auf der gestrichelten Linie ankreuzen!*

Rechte Schulter



Linke Schulter



A 3. WOSI Score*Bitte auf der gestrichelten Linie ankreuzen!***1. Haben Sie Beschwerden bei Überkopftätigkeiten?**

keine Schmerzen

extreme Schmerzen

**2. Wie stark sind die Schmerzen in der Schulter im Alltag?**

kein Ziehen oder Stechen

sehr schmerzhaftes Ziehen/Stechen

**3. Wie stark bewerten Sie den Kraftverlust Ihrer Schulter?**

kein Kraftverlust

ausgeprägter Kraftverlust

**4. Verspüren Sie eine Schwäche oder verminderte Ausdauerkraft der Schulter?**

normale Ausdauerkraft

stark verminderte Ausdauerkraft

**5. Wie stark ist das Klicken, Knacken oder Krachen in Ihrer Schulter?**

kein Klicken

häufiges starkes Klicken

**6. Wie stark ist Ihre Schulter eingesteift?**

keine Einsteifung

extreme Einsteifung



7. Wie stark sind Ihre muskulären Nackenprobleme aufgrund der Schulter?

keine Probleme

sehr schmerzhafte Verspannungen



8. Wie instabil bewerten Sie Ihre Schulter?

keine Instabilität

ausgeprägte Instabilität



9. Kompensieren sie Schulterbewegungen mit anderen Muskeln?

gar nicht

extrem



10. Fühlen sie sich in der Schulterbeweglichkeit aktiv eingeschränkt?

gar nicht

extrem



11. Wie stark sind Sie in Freizeit und Sport eingeschränkt?

gar nicht

extrem



12. Wie stark schränkt Sie Ihre Schulter in speziellen Sport oder Arbeitsbewegungen ein?

gar nicht

extrem



13. Versuchen Sie Ihren Arm im Alltag so gut wie möglich zu schützen und zu schonen?

gar nicht

extrem



14. Haben Sie Probleme schwere Gegenstände unter Schulterhöhe zu heben?

gar nicht

extrem



15. Haben Sie Angst auf Ihre Schulter zu stürzen?

gar nicht

sehr große Angst



16. Haben Sie Probleme Ihr altes Fitnesslevel zu halten?

gar nicht

sehr große Probleme



17. Haben Sie Probleme mit Kindern, Freunden, Familie herumzutollen, ausgelassen zu spielen?

keine Probleme

sehr große Probleme



18. Haben Sie Schlafprobleme auf Grund Ihrer Schulter?

gar keine

extrem



19. Ist Ihr Schulterproblem für Sie im Alltag allgegenwärtig?

gar nicht

andauernd



20. Wie groß ist Ihre Angst der Zustand der Schulter könnte schlechter werden?

gar keine

sehr groß



21. Wie groß ist Ihre Frustration auf Grund der Schulterproblematik?

keine Frustration

extrem



A 4. ROWE-Scale

Bitte immer einen Punkt ankreuzen!

Funktion

- Keine Einschränkungen in Wurf- und Überkopftätigkeiten; keine oder lediglich geringe Unsicherheit
- Geringe Einschränkungen in Wurf- und Überkopftätigkeiten; geringe Unsicherheit
- Mittelschwere Einschränkungen im Alltag; häufige Unsicherheit
- Ausgeprägte Einschränkungen im Alltag und Schmerzen der Schulter

Stabilität

- Kein Instabilitätsgefühl, kein beinahe Auskugeln der Schulter (Subluxationen)
- Instabilitätsgefühl, kein beinahe Auskugeln der Schulter (Subluxationen)
- Wiederholtes beinahe Auskugeln der Schulter (Subluxationen)
- Wiederholtes Auskugeln der Schulter (Luxationen)

Beweglichkeit

- keine Bewegungseinschränkung
- Einschränkung der Außendrehung des Armes, ansonsten frei beweglich
- Einschränkung der Außendrehung des Armes, zudem kann der Arm nicht mehr komplett angehoben werden
- komplette Einschränkung der Außendrehung des Armes, zudem kann der Arm nicht mehr über Schulterhöhe gehoben werden

A 5. ASES-Fragebogen

Selbstbeurteilung

1. Wo tritt Ihr Schulterschmerz exakt auf (Oberarm, vordere/seitliche/hintere Schulter, Schulterblatt, Schulter-/Halsbereich, Ausstrahlung)?

2. Haben Sie Nachtschmerzen in der Schulter? ja nein
3. Nehmen Sie Schmerzmedikamente ein (Voltaren, ASS, Ibuprofen)? ja nein
4. Nehmen Sie stärkere Schmerzmedikamente ein (Tramal, Opioide)? ja nein
5. Wie viele Tabletten nehmen sie durchschnittlich täglich ein? _____

Instabilität

Fühlt sich Ihre Schulter instabil an? Haben Sie Angst sie könnte auskugeln? ja nein

Wie instabil ist Ihre Schulter? *Bitte markieren!*



Tägliches Leben

Bitte bei folgenden Fragen ankreuzen wie Sie die genannten Aktivitäten im Alltag meistern können! 0 = nicht möglich; 1 = sehr schwierig; 2 = leichte Schwierigkeiten; 3 = problemlos

	Rechter Arm				Linker Arm			
1. Mantel/Jacke anziehen	0	1	2	3	0	1	2	3
2. Schlafen auf dem Arm	0	1	2	3	0	1	2	3
3. Rücken waschen/BH verschließen	0	1	2	3	0	1	2	3
4. Selbstständig waschen	0	1	2	3	0	1	2	3
5. Haare kämmen	0	1	2	3	0	1	2	3
6. Ein hohes Regal erreichen	0	1	2	3	0	1	2	3
7. 5 kg über Schulterhöhe heben	0	1	2	3	0	1	2	3
8. Ball Überkopf werfen	0	1	2	3	0	1	2	3
9. Alltägliche Arbeit	0	1	2	3	0	1	2	3
10. Sport	0	1	2	3	0	1	2	3

A 6. Constant Score**1. Wie stark sind Sie in Ihrem Beruf auf Grund der Schulter eingeschränkt?**

- a) keine Einschränkung
- b) weniger als 50 Prozent
- c) etwa 50 Prozent
- d) mehr als 50 Prozent
- e) Ausübung nicht mehr möglich

2. Wie stark sind Sie in Sport und Freizeit durch die Schulter eingeschränkt?

- a) keine Einschränkung
- b) weniger als 50 Prozent
- c) etwa 50 Prozent
- d) mehr als 50 Prozent
- e) Ausübung nicht mehr möglich

3. Wachen Sie nachts aufgrund der Schulterschmerzen auf?

- a) nie
- b) gelegentlich
- c) häufig

4. In welcher Arbeitshöhe können Sie im Alltag problemlos Tätigkeiten ausführen?

- a) über Kopf
- b) in Kopfhöhe
- c) in Höhe des Halses
- d) in Brusthöhe
- e) in Höhe der Gürtellinie

5. In welche der folgenden Positionen können Sie ihre Hand führen (max. 5 Kreuze)?

- a) Hand hinter den Kopf mit Ellbogen nach vorne
- b) Hand hinter den Kopf mit Ellbogen nach hinten gedrückt
- c) Hand auf den Kopf mit Ellbogen nach vorne
- d) Hand auf den Kopf mit Ellbogen nach hinten gedrückt
- e) Volle Beweglichkeit über Kopf

A 7. Athletic Shoulder Outcome Rating Scale**Subjektiver Befund****Schmerz**

- Keine Schmerzen beim Wettkampf
- Schmerzen nur nach dem Wettkampf
- Schmerzen während des Wettkampfs
- Schmerzen verhindern den Wettkampf
- Schmerzen bei alltäglichen Aktivitäten (ADLs)
- Schmerzen in Ruhe

Kraft/Ausdauer

- Keine Schwäche, normale Wettkampferschöpfung
- Schwäche nach dem Wettkampf, frühzeitige Wettkampferschöpfung
- Schwäche während des Wettkampfs, überdurchschnittliche Wettkampferschöpfung
- Schwäche oder Ermüdung verhindern den Wettkampf
- Schwäche oder Ermüdung bei alltäglichen Aktivitäten
- Schwäche oder Ermüdung verhindern alltägliche Aktivitäten

Stabilität

- Keine verminderte Stabilität während des Wettkampfs
- Wiederholte Subluxationen während des Wettkampfs
- Dead-Arm-Syndrom während des Wettkampfs
- Wiederholte Subluxationen verhindern den Wettkampf
- Wiederholte Subluxationen bei alltäglichen Aktivitäten
- Luxation

Instabilität

- Wettkampfdauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (100 %)
- Wettkampfdauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (< 75 %)
- Wettkampfdauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (< 50 %)
- Wettkampfdauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (< 25 %)
- ADL-Dauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (100 %)
- ADL-Dauer in Stunden prätraumatisch gegenüber posttraumatisch (< 50 %)

Leistung

- Gleiches Niveau, gleiche Ausführung
- Gleiches Niveau, schlechtere Ausführung
- Gleiches Niveau, inakzeptable Ausführung für den Sportler
- Vermindertes Niveau mit akzeptabler Leistung auf diesem Niveau
- Vermindertes Niveau, inakzeptable Leistung
- Nicht wettkampftauglich, muss Sportart wechseln

B = Untersucherteil**Vom Untersucher auszufüllen**

Untersuchungsdatum _____

Name des Untersuchers _____

Constant Score**Isobex Messung:**

Rechts: 1. _____ kg 2. _____ kg 3. _____ kg MW: _____ kg

Links: 1. _____ kg 2. _____ kg 3. _____ kg MW: _____ kg

Punkte: rechts: _____ links: _____

ROM (Constant/ASES/ASORS)**Untersuchung im Stand**

Flexion re: _____ (Pkt.: _____) li: _____ (Pkt.: _____)

Abduktion gesamt re: _____ (Pkt.: _____) li: _____ (Pkt.: _____)

(0-30° = 0 Pkt., 30-60° = 2 Pkt., 60-90° = 4 Pkt., 90-120° = 6 Pkt., 120-150° = 8 Pkt., 150-180° = 10 Pkt.)

ARO Arm angelegt re: _____ li: _____

ARO Arm 90° Abd re: _____ li: _____

IRO Arm 90° Abd re: _____ li: _____

(ASORS: 100% ARO 90/90, 100% Elevation 0 : = 10 Pkt.; < 5 % verminderte ARO, 100 % Elev = 8 Pkt. ; < 10 % verm. ARO, 100 % Elev = 6 Pkt. ; < 15 % verm. ARO, 100 % Elev = 4 Pkt.; < 20 % verm. ARO, 100 % Elev = 2 Pkt.; > 20 % verm. ARO, oder verm. Elev = 0)

IRO re: Trochanter (0) Gesäß (2) ĩSG (4) L3 (6) Th12 (8) ĩTh7 (10)

IRO li: Trochanter (0) Gesäß (2) ĩSG (4) L3 (6) Th12 (8) ĩTh7 (10)

Cross-Body Add. re: Hals Clavicula AC-Gelenk Acromion dors. Skapula

Cross-Body Add. li: Hals Clavicula AC-Gelenk Acromion dors. Skapula

Untersuchung in Rücklage

ARO Arm 90° Abd re: _____ li: _____

IRO Arm 90° Abd re: _____ li: _____

ASES**Klinische Zeichen:**

(0 = negativ, 1 = mild, 2 = mittel, 3 = schwer)

	Rechter Arm				Linker Arm			
	0	1	2	3	0	1	2	3
1. Druckschmerz SSP/Tub. majus	0	1	2	3	0	1	2	3
2. Druckschmerz AC-Gelenk	0	1	2	3	0	1	2	3
3. Druckschmerz oder Ruptur LBS	0	1	2	3	0	1	2	3
4. Weiterer Druckschmerz	0	1	2	3	0	1	2	3
5. Jobe Test	pos.		neg.		pos.		neg.	
6. Hawkins-Kennedy Test	pos.		neg.		pos.		neg.	
7. Painful Arc 60°-120°	pos.		neg.		pos.		neg.	
8. Krepitationen	pos.		neg.		pos.		neg.	
9. Narben - Lokalisation:	ja		nein		ja		nein	
10. Atrophie - Lokalisation:	ja		nein		ja		nein	
11. Deformität - Lokalisation:	ja		nein		ja		nein	

Spezifische Tests

	Rechter Arm		Linker Arm	
	pos.	neg.	pos.	neg.
1. Speed	pos.	neg.	pos.	neg.
2. O`Brian	pos.	neg.	pos.	neg.
3. Werfer	pos.	neg.	pos.	neg.
4. Jerk	pos.	neg.	pos.	neg.
5. Gagey	ja	nein	ja	nein
6. Palm up	ja	nein	ja	nein
7. Biceps Stretch	ja	nein	ja	nein
8. Starter	ja	nein	ja	nein

Kraft

(0/5 keine Kontraktion, 1/5 Fibrillationen, 2/5 Bewegung ohne Schwerkraft, 3/5 Bewegung gegen Schwerkraft, 4/5 Bewegung gegen Widerstand, 5/5 volle Kraft)

	Rechter Arm					Linker Arm						
1. Wird die Kraftmessung durch Schmerz beeinträchtigt?	ja	nein				ja	nein					
2. Flexion	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
2. Abduktion	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
2. ARO	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
2. IRO	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5

Instabilität

0 = keine, 1 = milde (0-1cm Translation), 2 = moderate (1-2cm Translation), 3 = schwere (>2cm Translation)

	Rechter Arm				Linker Arm			
1. Anteriore Translation	0	1	2	3	0	1	2	3
2. Posteriore Translation	0	1	2	3	0	1	2	3
3. Sulcus Sign	0	1	2	3	0	1	2	3
4. Apprehension sign	0	1	2	3	0	1	2	3
5. Reproduzierbares Instabilitätsgefühl	ja	nein			ja	nein		
6. Willkürliche Instabilität	ja	nein			ja	nein		
7. Relocation Test positiv	ja	nein			ja	nein		
8. Allg. Hyperlaxitätszeichen	ja	nein			ja	nein		

Relativer Schulterstand und Skapulastellung statisch 0° ABD

Kibler (Einteilung):

- Typ 0
keine Prominenz auffällig
- Typ I:
Prominenz des infero medialen Scapularandes (Angulus inferior scapulae)
- Typ II:
Prominenz des kompletten medialen Scapularandes
- Typ III:
Prominenz des supero medialen Scapularandes (Angulus superior scapulae)

Messung Kibler (Abstand WS – Margo medialis):

0° Abduktion: re: _____ cm li: _____ cm
 45° Abduktion: re: _____ cm li: _____ cm
 90° Abduktion: re: _____ cm li: _____ cm

Funktionelle Tests

Closed Kinetic Chain Upper-Extremity Stability Test (CKC-UE stability test)

Versuch	1	2	3	Durchschnitt
Kontakte				

Score _____

Power _____

Functional Throwing Performance Index Test (FTPI test)

Versuch	1	2	3	Summe
Absolute Anzahl an Würfeln				
Trefferanzahl				

Trefferquote _____

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mir bei der Verwirklichung meiner Promotion geholfen haben.

Allem voran möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Andreas Imhoff danken, der mir die Infrastruktur seiner Abteilung für die Durchführung der Promotion zur Verfügung gestellt hat.

Mein Dank gilt speziell meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. Peter Brucker. Ich bin froh, dass ich an seinem Wissen, seiner Erfahrung und seinem Forschergeist teilhaben durfte und bedanke mich für seine Unterstützung, die mir in der Zeit der Promotion zugekommen ist.

Besonders danken möchte ich zudem Herrn PD Dr. Knut Beitzel. Er hat entscheidend an der Entstehung der Arbeit mitgewirkt und war stets mein erster Ansprechpartner. Er hat mich in die Methodik der klinischen Untersuchung und MRT-Bildgebung eingewiesen und stand mir immer mit Rat und Tat zur Seite. Sein stetes Engagement hat mir die Erstellung der Promotion erst ermöglicht.

Zudem möchte ich Frau Dr. Julia Baldini, Herrn PD Dr. Stefan Buchmann und meinem Mitstreiter Alexander Wagner für die tatkräftige Unterstützung bei der Eingabe und Auswertung der Daten, Durchführung der Versuche und die tolle gemeinsame Zeit danken. Jeder von euch hat seinen speziellen Beitrag dazu geleistet, mich in meiner Promotion voranzubringen.

Ebenso möchte ich allen Probanden für ihre Teilnahme an den Untersuchungen danken.

Ein persönliches und besonders großes Dankeschön geht an meine Familie und Freunde. Ihr wisst, dass ich ohne euch diesen Weg nicht hätte gehen können. Ich bin froh, dass ihr stets an mich geglaubt habt und ich mich jederzeit auf euch verlassen kann – Danke!