

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie

(Vorstand: Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff)

**„Klinische und radiologische Ergebnisse nach  
arthroskopischer und offener Rekonstruktion von  
isolierten Subscapularissehnen-Rupturen“**

**Gernot Seppel**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für **Medizin** der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades  
eines

**Doktors der Medizin**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff  
2. apl. Prof. Dr. K. Wörtler

Die Dissertation wurde am 23.01.2013 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.09.2013 angenommen.

Meiner Frau  
und meiner Familie

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>1</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Ätiologie der Subscapularissehnen-Ruptur .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Anatomische und biomechanische Aspekte .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Diagnostik .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Therapie.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Nachbehandlung .....</b>	<b>18</b>
<b>2. STUDIENZIEL .....</b>	<b>19</b>
<b>3. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Patienten .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Anamnese und klinische Untersuchung .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Allgemeine Schulteruntersuchung .....	22
3.2.2 Spezielle Untersuchung des Musculus subscapularis .....	22
3.2.3 Erweiterte Untersuchungstechniken der Schulter.....	25
<b>3.3 Klinische Scores .....</b>	<b>29</b>
3.3.1 Constant-Murley Schulter Score.....	29
3.3.2 Visuelle Analogskala .....	33
3.3.3 Simple Shoulder Test.....	33
<b>3.4 Kraftmessplatte.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5 Radiologische Diagnostik.....</b>	<b>39</b>
3.5.1 Röntgenuntersuchung .....	39
3.5.2 Magnetresonanztomographie .....	40
3.5.2.1 MR-tomographische Bestimmung der Integrität des M. subscapularis.....	46
3.5.2.2 Kontrollgruppe zur Flächen- und Durchmesserbestimmung im MRT .....	49
<b>3.6 Statistische Verfahren.....</b>	<b>50</b>
<b>4. ERGEBNISSE .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Klinische Ergebnisse.....</b>	<b>51</b>
4.1.1 Beschreibung des Gesamtkollektivs .....	51
4.1.2 Intraoperative Ergebnisse .....	54
4.1.3 Klinische Ergebnisse der Untersuchung.....	57

<b>4.2 Scores</b> .....	<b>63</b>
4.2.1 Constant-Murley Schulter Score.....	63
4.2.2 Postoperative Zufriedenheit.....	66
4.2.3 Visuelle Analogskala.....	67
4.2.4 Simple Shoulder Test.....	69
<b>4.3 Kraftmessung des M. subscapularis</b> .....	<b>70</b>
<b>4.4 Radiologische Ergebnisse</b> .....	<b>72</b>
4.4.1 Röntgen.....	72
4.4.2 Magnetresonanztomographie.....	73
4.4.2.1 Sehnenintegrität und fettiger Infiltrationsgrad des M. subscapularis.....	73
4.4.2.2 Bestimmung der Querschnittsfläche des M. subscapularis.....	75
4.4.2.3 Bestimmung der Muskeldurchmesser des M. subscapularis.....	76
4.4.2.4 Vergleich der ermittelten Muskelflächen und Muskeldurchmesser mit einer Kontrollgruppe.....	78
<b>5. DISKUSSION</b> .....	<b>82</b>
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>96</b>
<b>7. LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>98</b>
<b>8. ANHANG</b> .....	<b>105</b>
<b>9. DANKSAGUNG</b> .....	<b>107</b>

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A./Aa.	Arteria/Arteriae
Abb.	Abbildung
AC	Acromioclavicular
ACG	Acromioclaviculargelenk
AGRCS	Age and gender related Constant Score
AHA	Acromiohumeraler Abstand
AP	Anterior-posterior
AR	Außenrotation
Art.	Articulatio
BP	Belly-Press
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CHL	Coraco humeral ligament
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
et al	lat.: et alii (und andere)
etc.	lat.: et cetera (und so weiter)
evtl.	eventuell
ges.	gesamt
ggf.	gegebenenfalls
HAGL	Humeral avulsion of glenohumeral ligament
HK	Humeruskopf
IR	Innenrotation
ISP	Musculus infraspinatus
KMP	Kraftmessplatte
LBS	lange Bizepssehne
Lig./Ligg.	Ligamentum/Ligamenta
LO	Lift-Off
LWS	Lendenwirbelsäule
m	männlich

M./Mm.	Musculus/Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
N.	Nervus
nd	nicht durchführbar
neg	negativ
Nm	Newton meter
OP	Operation
p	Signifikanzniveau
pos	positiv
Postop	postoperativ
Präop	präoperativ
Proc.	Processus
RI	Rotatorenintervall
RM	Rotatorenmanschette
RMI	Rotatorenmanschetten-Intervall
RMR	Rotatorenmanschetten-Ruptur
SI	Signalintensität
sign.	signifikant
SSC	Musculus subscapularis
SSP	Musculus supraspinatus
STIR-Sequenz	short tau inversion recovery-Sequenz
Tab.	Tabelle
Tub.	Tuberculum
u.a.	unter anderem
V./Vv.	Vena/Venae
v.a.	vor allem
V.a.	Verdacht auf
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach

# 1. EINLEITUNG

Der Schultergürtel setzt sich aus fünf Gelenken, dem Glenohumeralgelenk, dem Subacromialraum, der scapulothorakalen Verschiebeschicht, dem Acromioclaviculargelenk und dem Sternoclaviculargelenk zusammen.

Das eigentliche Gelenk des Schultergürtels, das Glenohumeralgelenk, besitzt als muskelgesichertes Kugelgelenk den größten Bewegungsumfang aller menschlichen Gelenke. Dies resultiert aus dem einzigartigen Verhältnis von großem Gelenkkopf, dem Humeruskopf und der deutlich kleineren Gelenkpfanne, der Cavitas glenoidalis, die zusätzlich durch das knorpelige Labrum, den Ansatzpunkt der Gelenkkapsel, stabilisiert wird. Aufgrund dieser anatomischen Gegebenheiten sowie der begünstigend relativ schlaffen Gelenkkapsel [111] fällt die ossäre Gelenkführung optimal gering aus, was die Grundlage für die hohe Beweglichkeit darstellt.

Neben den ligamentär stabilisierend wirkenden Ligg. coracohumerale et glenohumerales nimmt vor allem die Rotatorenmanschette (RM) den Part des wichtigsten Stabilisators, des Glenohumeralgelenkes ein und spielt gleichzeitig eine Schlüsselrolle in Sachen Bewegungsfunktion für Ab- und Adduktion, Ante- und Retroversion sowie für Außen- und Innenrotation [3]. Hauptaufgabe dieses Muskel-Sehnen-Komplexes ist, sowohl in Ruhe als auch in Bewegung, neben der Stabilisierung besonders die Zentrierung des Humeruskopfes in der Gelenkpfanne [86], was durch alle Anteile der RM gleichermaßen bewerkstelligt wird [9]. Neben den muskulären Bestandteilen der RM, die aus den Mm. subscapularis, supraspinatus, infraspinatus et teres minor besteht, trägt die funktionell und anatomisch zur RM gehörende lange Bizepssehne unterstützend zur ventralen Stabilisation bei [54, 110].

Zwischen RM und Schulterdach, das von Acromion, Proc. coracoideus sowie den verbindenden ligamentären Strukturen gebildet wird, befindet sich der Subacromialraum. Dieser Bereich beinhaltet neben Bindegewebe die Bursae subdeltoidea et subacromialis, welche auch als „subacromiales Narbengelenk“ bezeichnet wird.

Das scapulothorakale Gelenk ist neben dem Glenohumeralgelenk bei Bewegungen über 90° Abduktion und 90° Anteversion von entscheidender Bedeutung.

Das Acromioclaviculargelenk, das die Clavicula mit dem Acromion verbindet, wird ähnlich wie das Sternoclaviculargelenk, welches die eigentliche Verbindung zwischen oberer Extremität und Thorax herstellt, durch straffe Bandverbindungen stabilisiert und ermöglicht daher eine nur ziemlich eingeschränkte Beweglichkeit.

Aus diesem Grund ist die Integrität des Schultergelenkes auf das Zusammenspiel aller Komponenten angewiesen.

Der ventral gelegene M. subscapularis (SSC) ist der einzige Innenrotator der RM, wobei der obere Anteil auch bei der Anteversion des abduzierten Armes mitwirkt. Die dorsale Stabilisierung erfolgt durch die Außenrotatoren Mm. Infraspinatus (ISP) et teres minor (TM). Sie bilden zusammen mit dem SSC das transversale „force couple“ [20, 56, 108]. Der dorso-kränial gelegene M. supraspinatus (SSP) dient der Schulterabduktion.

Der Raum zwischen SSP und SSC wird als Rotatorenintervall (RI) bezeichnet und bildet mit dem superioren glenohumeralen Ligament (SGHL) sowie dem coracohumeralen Ligament (CHL) die Überdachung der langen Bizepssehne [47].

Der SSP, der vor allem in der Initialphase seine Wirkung entfaltet, bewirkt zusammen mit dem M. deltoideus die Armabduktion bis zu einem Winkel von ca. 90°. Dann kommt es zum Anschlag des Tuberculum majus an den oberen Pfannenrand. Die endgradige Schlussbewegung wird letztlich durch die Drehung des Schulterblattes, die Rotation in den Claviculargelenken sowie die simultane, flektorische Mitbewegung der Wirbelsäule erreicht.

Während der Abduktion bewirkt das Höherentreten des Humeruskopfes eine Kompression der im subacromialen Raum verlaufenden Strukturen gegen das knöcherne Acromion. Diese „Einklemmung“ / „Enge“ (Impingement) führt zu mechanischen Irritationen und degenerativen Veränderungen der SSP-Sehne.

Bezüglich der Pathogenese von Rotatorenmanschetten-Rupturen (RMR) geht man heutzutage von multifaktoriellen Ursachen aus, die sich im Verlauf klinisch manifestieren.

Die Ätiologie kann hierbei akut traumatisch oder degenerativen Ursprungs [87] sein. Der exakte Schädigungsmechanismus wird jedoch kontrovers diskutiert.

So geht beispielsweise E.A. Codman [28], der als einer der „Wegweiser“ auf dem Gebiet der Schulter-Chirurgie gilt [26] und erheblich zur grundlegenden Strukturierung und Einteilung der Rotatorenmanschetten-Rupturen beitrug, davon aus, dass RMR auf der Grundlage von geringen muskulären Traumata entstehen.

Er beschreibt weiterhin die sog. „critical zone“, eine hypovaskularisierte Zone im Ansatzbereich des SSP, in der es im Rahmen des Impingementsyndroms und degenerativer Veränderungen aufgrund von Zellarmut und Nekrosen zu muskulären Mikrotraumata, Verkalkungen und der Bildung von Granulationsgewebe kommt.

Uthoff und Sakar dagegen sehen die primäre Tendopathie als Ursprung der Erkrankung an [129].

Auch Neer, durch den später u.a. die Einteilung verschiedener Impingementstadien erfolgte, machte mechanische Irritationen der Sehnen mit dem Lig. coracoacromiale, speziell im Bereich der vorderen und unteren Kante des Acromions, als primäre Degenerationsursache aus [92].

Klinisch manifest wird ein bereits ursächlich degenerativ vorbestehender RM-Defekt häufig erst durch ein zusätzliches Trauma, das den ursprünglichen Schaden vergrößert und somit verschlimmert. Die Beschwerdesymptomatik äußert sich, abhängig von Art und Umfang der Ruptur, beispielsweise durch Schmerzen, besonders während längerer Ruhephasen wie nachts [34]. Darüber hinaus finden sich Kraftverlust, Bewegungs- und Rotationseinschränkungen durch einen Humeruskopfhochstand aufgrund fehlender Stabilisierung und Zentrierung, da die RM als Gegenspieler zum M. deltoideus als Humeruskopf-Depressor wirkt.

Da die stetig progrediente Sehnendegeneration bereits zwischen dem 30. und 35. Lebensjahr beginnt, steigt mit fortschreitendem Alter die Wahrscheinlichkeit für degenerativ bedingte Schädigungen [14]. Als begünstigende Faktoren gelten dabei sich wiederholende Belastungen, wie z.B. Überkopfarbeiten [29].

Bei jüngeren Patienten mit Rotatorenmanschetten-Rupturen stehen dagegen vor allem die Instabilität des Glenohumeralgelenkes [94] sowie bei schulterintensiven, leistungsmäßig betriebenen Sportarten wie Tennis, Volleyball, Speerwerfen, Handball etc. auftretende Mikrotraumata im Vordergrund.

## 1.1 Ätiologie der Subscapularissehnen-Ruptur

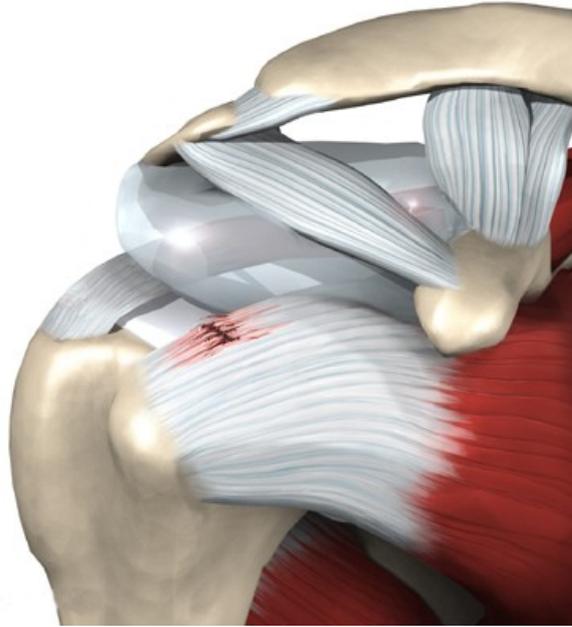
Im Gegensatz zur SSP-Sehne, welche in ca. 95% aller RMR beteiligt ist [42, 115], sind Läsionen der SSC-Sehne deutlich seltener. Ihre Inzidenz in klinischen Studien variiert und wird mit 3,5-28% beschrieben [27, 34, 37, 43, 77, 83]. Ätiologisch handelt es sich hierbei meist um degenerative Partialläsionen und Rupturen des oberen Sehnenanteils, die nicht isoliert, sondern im Rahmen von ausgedehnten RMR auftreten [3, 22].

Zu isolierten traumatischen Rupturen des SSC kommt es allerdings nur in ca. 1-2% der Fälle [115].

Dabei stehen bei isolierten SSC-Rupturen folgende drei Pathomechanismen im Vordergrund:

1. Direkt traumatisch bedingte isolierte SSC-Rupturen (z.B. durch direkten Sturz auf die Schulter), von McAuliffe erstmals 1987 beschrieben [89].
2. Isolierte traumatische SSC-Rupturen durch Hyperextensions- bzw. Abduktions-/Außenrotationstraumata ohne Luxation, wie sie beispielsweise im Handball bei Bewegungen mit plötzlich einsetzendem Widerstand vorkommen (z.B. bei der Abwehr eines Angriffsspielers durch Griff in den Wurfarm) [34].
3. Isolierte SSC-Rupturen im Rahmen von anterioren Schulterluxationen [34, 43].

Anders als bei Schädigungen der Sehnen der Mm. supraspinatus et infraspinatus, bei denen ursächlich eine degenerative Schädigung zu Grunde liegt, werden isolierte Läsionen der SSC-Sehne, die in den meisten Fällen den kranialen Teil des Muskels betreffen, zu 70% durch ein alleiniges adäquates Trauma ausgelöst [14, 131].



*Abb. 1: Kraniale Subscapularissehnen-Ruptur: Modifizierte Abbildung [95].*

Hierbei kommt es sehr häufig zur Subluxation oder Luxation der langen Bizepssehne (LBS) [14, 87, 100]. Dieser Zusammenhang von Läsionen der LBS und Defekten der SSC-Sehne wurde in mehreren Studien beschrieben [34, 50, 59, 61, 100, 115].

Auch im Rahmen von Läsionen der anderen RM-Muskeln wird eine LBS-Beteiligung, deren Häufigkeit mit der Defektgröße der RM korreliert, von vielen Autoren beschrieben [29, 59].

Darüber hinaus kommt es, wie Habermeyer beschreibt, bei isolierten Subscapularissehnen-Rupturen ohne Luxationsereignis auch immer gleichzeitig zur Subluxation der langen Bizepssehne und zu Einrissverletzungen der Pulley-Schlinge, der sog. „Pulley-Läsion“. Dies führt häufig zu einer vorderen oberen Schulterinstabilität [53], die ätiologisch von der herkömmlichen antero-inferioren Schulterinstabilität abzugrenzen ist.

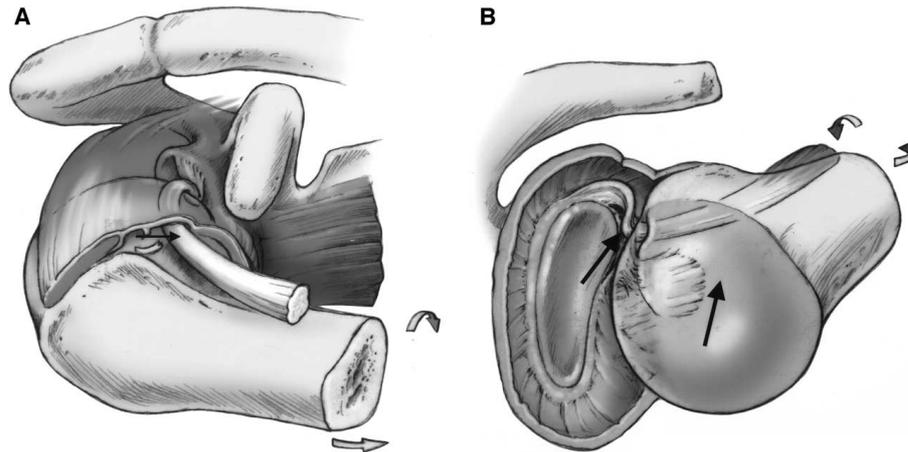


Abb. 2: A: Pathomechanismus der vorderen oberen Schulterinstabilität mit  
B: medialer Subluxation der LBS und Einriss des M. subscapularis [55].

Das Pulley-System, das anatomisch aus dem superioren glenohumeralen Ligament (SGHL), dem coracohumeralen Ligament (CHL) sowie Faserzügen der Mm. subscapularis et supraspinatus besteht, bildet die Führungsschiene der LBS am Eingang zum Sulcus bicipitalis [55].

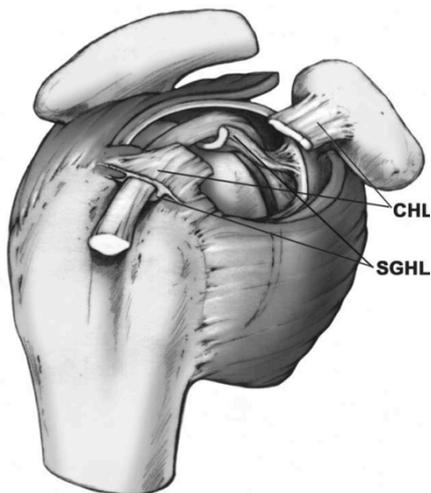


Abb. 3: Die Anatomie des Rotatorenintervalls [55].

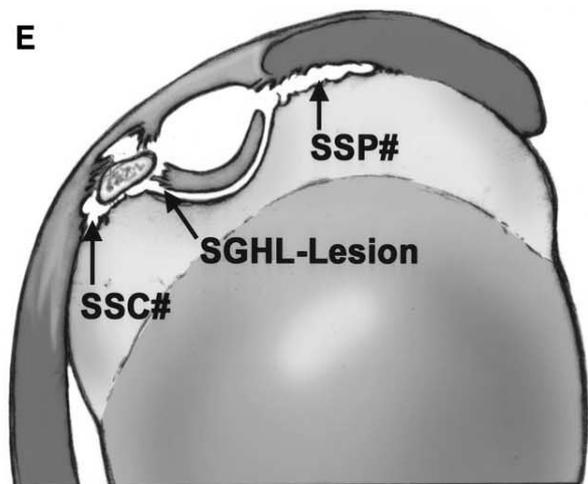


Abb. 4: SGHL-Läsion mit artikulareseitiger Teilruptur der Sehne des M. supraspinatus (SSP) und des M. subscapularis (SSC) [55].

Ein ebenfalls beschriebenes Verletzungsmuster im Zusammenhang mit traumatischen Subscapularissehnen-Rupturen ist die sog. „HAGL-Läsion“ („humeral avulsion of glenohumeral ligament“), bei der es nach einem Außenrotationstrauma zu einem humeralen Abriss der glenohumeralen Bänder kommt [13].

## 1.2 Anatomische und biomechanische Aspekte

Der M. subscapularis ist der wichtigste, dynamische anteriore Stabilisator des Glenohumeralgelenkes [114, 128]. Als kräftigster Muskel und einzige anteriore Komponente der RM übernimmt der SSC die wesentliche Funktion der Humeruskopf-Zentrierung [17, 72]. Der M. subscapularis fungiert vor allem als Innenrotator, wobei der obere Anteil bei Abduktionsbewegungen und der untere Anteil bei Adduktionsbewegungen mitwirkt [56].

Bei Abduktions-/Außenrotationsbewegungen positioniert sich die Subscapularissehne antero-superior am Humeruskopf, wobei der untere Sehnenanteil das Glenohumeralgelenk nach ventral stabilisiert [128]. Das inferiore Drittel des humeralen Ansatzes besteht aus Muskelfasern ohne jeglichen sehnigen Anteil [74, 123].

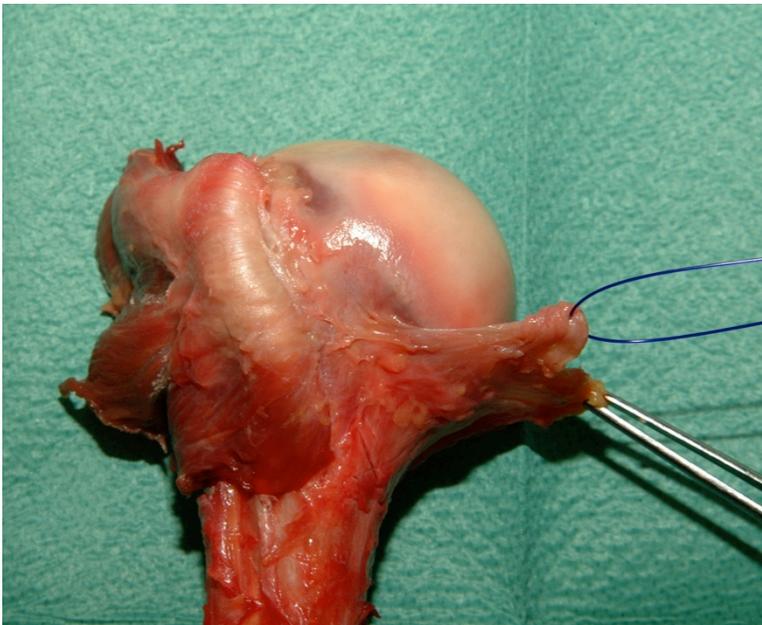


Abb. 5: Humeraler Sehnenansatz des M. subscapularis.

Halder zeigte in seiner biomechanischen Studie zur strukturellen Beschaffenheit der SSC–Sehne, dass die meisten Rupturen im oberen Teil, hier vor allem ansatznah, auftreten [56]. Darüber hinaus lässt sich eine kontinuierliche Abnahme des Sehnen-durchmessers von superior nach inferior erkennen.

### 1.3 Diagnostik

Patienten mit Subscapularissehnen-Rupturen fallen typischerweise durch ein positives Innenrotations-Lag-Zeichen sowie durch einen positiven Lift-Off - Test auf [43, 73]. Hierbei versucht der Patient in Schürzengriffposition, d.h. in nahezu maximaler Innenrotation, auf Höhe der Lendenwirbelsäule (LWS) sein Handgelenk gegen den Widerstand des Untersuchers weiter nach dorsal, d.h. vom Rumpf weg, zu drücken und in dieser Position zu halten. Bei einer Läsion des M. subscapularis ist dies nicht möglich, und der Handrücken fällt auf die LWS zurück [44] (Detaillierte Beschreibung der Tests siehe Kapitel 3.2).

Der Lift-Off - Test ist ein sehr sensitiver und spezifischer Marker für die Funktion des M. subscapularis, was nicht zuletzt auch Greis 1996 in seiner elektromyographischen Untersuchung nachgewiesen hat. Hierbei beschreibt er, dass in der innenrotierten Lift-Off - Position fast ausschließlich der M. subscapularis elektromyographisch aktiv ist. Ein signifikanter Aktivitätsunterschied zwischen oberem und unterem Anteil des M. subscapularis war jedoch in Innenrotation nicht zu erkennen [51].

Tokish et al wiesen 2003 in einer elektromyographischen Vergleichsstudie von Lift-off- Test und Belly-Press - Test (hierbei versucht der Patient bei extendiertem Handgelenk, 90° flektiertem Ellenbogen und 80° innenrotiertem Oberarm, seine Hand gegen den Widerstand des Untersuchers auf seinen Oberbauch zu drücken) nach, dass es bei den jeweiligen Tests zu einer unterschiedlichen Beanspruchung des oberen und unteren SSC-Anteils kommt. Im Lift-Off - Test wird vor allem der untere Anteil des SSC, beim Belly-Press - Test dagegen maßgeblich der obere Anteil beansprucht [127] .

Pennock et al zeigten in ihrer elektromyographischen Arbeit 2011, dass es in Lift-Off- und Belly-Press - Position zu einer selektiv erhöhten Aktivität im SSC im Vergleich zu den anderen beteiligten Muskeln kommt [101].

Bei Patienten, die aufgrund eingeschränkter Innenrotation den Lift-Off - Test nicht durchführen können, dient der Napoleon - Test [22], eine Abwandlung des Belly-Press - Tests nach Gerber, als gute diagnostische Prüfung der SSC-Funktion, da die Ausgangsposition vor und nicht hinter dem Körper liegt.

Bei Partialläsionen können die Tests jedoch auch negativ ausfallen.

Um eine Dezentrierung und eine permanente Instabilität sowie ein massives Innenrotationsdefizit nach SSC-Ruptur zu vermeiden, ist eine schnellstmögliche operative Rekonstruktion des Defektes unbedingt erforderlich. Somit lässt sich in der Regel ein drastischer Funktionsverlust aufgrund von Muskelatrophie, Sehnenretraktion und Muskelverfettung, wie man ihn häufig bei chronischen Rupturen findet, vermeiden [126].

Die vorliegenden Studien zeigen, dass eine verzögerte operative Versorgung (Anamnesedauer > sechs Monate) postoperativ schlechtere klinische Resultate als eine sofortige Therapie erbringt [35, 43].

Daher ist eine frühzeitige Diagnosestellung mit umfassender Anamnese und klinischer Untersuchung (Einzelheiten siehe Kapitel 3.2) sowie aussagekräftiger Bildagnostik, wie der konventionellen Röntgenuntersuchung in zwei Ebenen („true anterior-posterior“ und Y - Aufnahme) und der Kernspintomographie (MRT), hier besonders die parasagittalen und die transversalen Sequenzen [77, 103], von großer Wichtigkeit [126].

Die MRT ist heutzutage als Untersuchung hoher Sensitivität und Spezifität eine sehr effiziente Methode zur Kontrolle und Beurteilung des Status der muskulo-tendinösen Einheit des M. subscapularis. Darüber hinaus gehören die sofortige Rekonstruktion sowie die anschließend langfristige physiotherapeutische Nachbehandlung zu den essentiellen Grundvoraussetzungen für das Erreichen eines guten Behandlungsergebnisses.

Allerdings stellt die frühzeitige Erkennung häufig ein großes Problem dar, da isolierte SSC-Rupturen oftmals nicht erkannt [85] oder als Schulterprellung bzw. Impingement-Syndrom fehlinterpretiert werden [25, 34].

## 1.4 Therapie

Als Therapie kommt eine konservative physiotherapeutische Behandlung oder eine operative Versorgung in Frage.

Kontraindikationen für eine operative Behandlung sind:

- Arthropathie der RM aufgrund von Chronifizierung
- Schultersteife (Außenrotation  $< 30^\circ$ , Flexion  $< 120^\circ$ , Innenrotation  $< \text{LWK } 3$ ) [96]
- Schmerzfreiheit
- Incompliance der Patienten
- Fortgeschrittene Omarthrose
- Höhergradige SSC-Atrophie ( $> \text{Grad II}$  nach Thomazeau [125] ) im MRT
- fettige Infiltration des SSC  $> \text{Grad } 3$  nach Goutallier [49]

Bezüglich der Indikation für eine chirurgische Versorgung unterscheidet man:

➤ Absolute Indikationen:

- Frische Ruptur, auch mit höhergradiger Sehnenretraktion
- Schmerzen
- Chronische Funktionseinschränkung bei positiven klinischen SSC-Tests (Belly-Press und Lift-Off)
- Dezentrierung des Humeruskopfes bei chronischer Ruptur
- Anterosuperiore Rotatorenmanschetteninsuffizienz
- geringgradige SSC-Atrophie ( $< \text{Grad II}$  nach Thomazeau [125] ) im MRT
- fettige Infiltration des SSC  $< \text{Grad } 3$  nach Goutallier [49]

➤ Relative Indikationen:

- Kraniale SSC-Läsion (z.B. im Rahmen einer Pulley-Läsion)
- Partiailläsion

## ❖ Offene chirurgische Versorgung

Indikationen für eine offene Rekonstruktion sind SSC-Sehnenrupturen Typ 4 nach Fox & Romeo, HAGL-Rupturen sowie Gewebsanschwellung im Rahmen der diagnostischen Arthroskopie. Hierbei kommt es aufgrund der Enge des anterioren Gelenkkompartimentes zu einer starken Sichteinschränkung nach vorne unten. Als Vorteile des offenen Verfahrens werden in der Literatur teilweise neben der technisch einfacheren Durchführung die bessere Übersicht bei weit retrahierter SSC-Sehne sowie die leichtere Mobilisation bei ausgeprägten Rupturen genannt.

Nachteile des offenen Verfahrens sind das größere Weichteiltrauma, das höhere Infektionsrisiko sowie die Gefahr, artikulare Partialrupturen zu übersehen.

Der deltopectorale Zugang gilt als Standardzugang, da er wenig invasiv ist und es zu keiner Kompromittierung des M. deltoideus kommt. Zudem ermöglicht er optimale Sichtverhältnisse auf die wichtigen anatomischen Strukturen.

Hierbei erfolgt eine Hautinzision vom Korakoid entlang des Sulcus deltoideopectoralis über eine Länge von ca. 10-15 cm. Unter Schonung des M. deltoideus lateral sowie der V. cephalica und des M. pectoralis major medial wird in die Tiefe präpariert. Nach Durchtrennung der clavipectoralen Faszie lateral der „conjoined tendons“ erfolgt die Eröffnung und Mobilisierung des RI sowie die Darstellung der SSC-Ruptur. Im Falle einer HAGL-Läsion wird nach Einbringen einer schmalen Knochennut am Übergang zum Tuberculum minus eine humeralseitige Rekonstruktion der Gelenkkapsel mit Fadenankern durchgeführt.

Abschließend finden ein „Seit-zu-Seit-Repair“ der Gelenkkapsel mit dem Rotatorenintervall und eine humeralseitige Refixation der Subscapularissehne mittels vorgelegter Kapselnähte statt [53].

Die SSC-Refixation erfolgt nach Anfrischen des Knochens sowie einem Release, wobei die medialen Anker kaudal und kranial zuerst gesetzt werden. Anschließend wird die Sehne mit je einem Fibre-Tape-Ende von innen nach außen durchstochen. Nach Kreuzen je eines Tape-Schenkels erfolgt nach Spannung der Sehne die Refixation mit einer lateralen Ankerreihe an der Knorpel-Knochen-Grenze.

Obwohl die offene Versorgung lange Zeit als der Goldstandard galt, hat sich in den letzten Jahren ein immer deutlicherer Trend zur arthroskopisch durchgeführten Re-

konstruktion gezeigt. Jeder offenen SSC-Rekonstruktion geht jedoch immer eine diagnostische Arthroskopie voraus.

### ❖ Arthroskopische Versorgung

Im Laufe der letzten Jahre hat die rein arthroskopische Versorgung von RMR und von SSC-Rupturen im Speziellen aufgrund zunehmender Verbesserung der arthroskopischen Instrumente und Techniken deutlich zugenommen [10, 22].

Verfechter des arthroskopischen Vorgehens begründen ihre Entscheidung mit der Tatsache, dass die meisten aller Subscapularissehnen-Ausrisse im kranialen Sehendrittel oder der oberen Sehnenhälfte lokalisiert sind und daher auch gut arthroskopisch nach exakter Darstellung rekonstruiert werden können. Ein Vorteil liegt in der guten Therapiemöglichkeit von artikularseitigen SSC-Läsionen [53]. Darüber hinaus ist eine gleichzeitige Mitversorgung von begleitenden Labrumpathologien sowie Bizepssehnen- und Pulley-Läsionen möglich. Außerdem sprechen die geringere Weichteil- und Muskelverletzung sowie die kleine, ästhetisch schönere Inzision für die arthroskopische Variante. Sie setzt aber gleichzeitig aufgrund des erhöhten technischen Anspruchs einen hohen Erfahrungswert des Operateurs voraus.

Nachteile des rein arthroskopischen Verfahrens sind die schwierige Sehnenstumpfdarstellung und dessen Mobilisierung, die längere Operationszeit sowie eine flachere Lernkurve des Operateurs bei einer insgesamt technisch anspruchsvolleren Durchführung als der offenen Variante.

Nach Beach Chair - Lagerung und Markierung der wichtigsten anatomischen Landmarken (AC-Gelenk, Klavikula, Acromion, Proc. coracoideus) erfolgt zuerst das Einbringen der Optik über das dorsale Standardportal im sog. „soft spot“, ca. 2 cm unterhalb und 2 cm medial der posterolateralen Akromionecke. Sie dient dem Operateur dazu, sich in vivo einen genauen Überblick über das Gelenk in seiner Gesamtheit, die komplette Rotatorenmanschette, die Läsionslokalisation sowie die Art und das Ausmaß des Defektes zu verschaffen. Darüber hinaus lassen sich die Beschaffenheit bzw. etwaige pathologische Veränderung der langen Bizepssehne (z.B. Partilläsionen, Tenosynovitis, ...), des Bizepssehnenankers, des Pulleysystems oder der subacromialen Bursa sowie Arthrose und Knorpelschäden erkennen. Die Inspektion der Subscapularissehne erfolgt in Neutralstellung, Abduktion und Innenrotation

zur genauen Untersuchung des humeralen Ansatzpunktes (Footprint), um artikulär-seitige, ansatznahe Rupturen darzustellen.

Während der Arthroskopie erfolgt intraoperativ die Einteilung der SSC-Rupturen nach Fox & Romeo [38], was sich im Laufe der Jahre sehr bewährt hat.

### Klassifikation von Subscapularissehnen-Rupturen nach Fox und Romeo:

- ❖ Typ 1: Partialruptur
- ❖ Typ 2: Komplette Ruptur der oberen 25% der Sehne
- ❖ Typ 3: Komplette Ruptur der oberen 50% der Sehne
- ❖ Typ 4: Komplette Ruptur der gesamten Sehne



Abb. 6: Klassifikation der Subscapularissehnen-Rupturen nach Fox & Romeo [38] [von links (Typ 1) nach rechts (Typ 4)]; Quelle: [79].

In Anlehnung an die durch Patte [98] beschriebene Einteilung der Sehnenretraktion des M. supraspinatus erfolgte intraoperativ eine Klassifizierung der Sehnenretraktion des M. subscapularis [6]:

- ❖ **Grad I:** Der Sehnenstumpf liegt in unmittelbarer Nähe des Tuberculum minus
- ❖ **Grad II:** Der Sehnenstumpf liegt am medialen Rand des Humeruskopfes
- ❖ **Grad III:** Der Sehnenstumpf liegt auf Höhe des Glenoids oder weiter medial

Im Anschluss wird ventral des AC-Gelenkes unter Sicht (ggf. unter Zuhilfenahme einer langen Hohladel) das anterosuperiore Portal angelegt, wodurch später die Ankerplatzierung, die Durchführung der Fadenpassage sowie die Fadenverknötung ermöglicht werden.

Nach dem diagnostischen Rundgang und Darstellen einer kompletten SSC-Ruptur ist eine umgehende arthroskopische SSC-Rekonstruktion von entscheidender Bedeutung, da mit Fortschreiten der Operationsdauer die Einsicht in den vorderen Gelenkanteil aufgrund der Enge des anterioren Gelenkkompartmentes abnimmt [8, 22].

Anschließend wird die lange Bizepssehne (LBS) auf ihre Integrität geprüft. Bei Partialläsionen oder Instabilitäten mit Zerreißen der Pulley-Schlinge (SGHL/CHL-Komplex) erfolgt nach einem Sehnenrelease eine Tenotomie oder Tenodese über ein drittes, das anterolaterale Portal (anteriorer Rand der LBS). Dieser Arbeitszugang dient der Sehnenmobilisation mittels Hilfsfäden, der Präparation des Knochenbettes am Tuberculum minus für die Anker, der Fadenverknötung sowie der arthroskopisch durchgeführten Bizepsstenodese.

Die Tenodese kann als Weichteil-Tenodese unter Vernähung der LBS an das Lig. transversum, was allerdings sehr schmerzhaft sein kann und zunehmend verlassen wurde, oder unter Fixierung der Sehne mit einer Tenodeseschraube im Sulcus intertubercularis durchgeführt werden. Eine Tenodese kommt vor allem bei aktiven Patienten zum Einsatz, während bei geringer Anforderung und Aktivität eine Tenotomie bevorzugt wird.

Bei kompletten Ausrissen der SSC am Tuberculum minus ist die Sehne oft weit nach medial retrahiert und mit der Kapsel oder dem Korakoid verwachsen. Zudem zeigt sich im Rahmen einer häufig einhergehenden Pulley-Läsion das sog. „Comma-Sign“, eine narbige Struktur aus Pulley-Restfasern und Verklebungen mit dem superolateralen Rand der Subscapularissehne. Es dient zur genauen Lokalisation des lateralen und superioren Sehnenrandes.

Im Rahmen der arthroskopischen Versorgung einer SSC-Läsion erfolgt zunächst die Mobilisation und Repositionsprüfung nach medial sowie ein umfangreiches Release (nach anterior, posterior und superior) mittels Gewebsschere, eingebrachter Zugfäden, Weichteilshaver oder elektrothermischen Instrumentarien. An dieser Stelle

erfolgt der Ausschluss einer Verletzung der glenohumeralen Bänder (HAGL-Läsion), was eine offene Versorgung nötig machen würde.

Zu Beginn wird die ossäre Insertionsstelle am Tub. minus bzw. leicht medial davon am Knorpel-Knochen-Übergang mittels Fräse angefrischt. Über das anterosuperiore Portal erfolgen mittels Pfriem in einem 45°-Winkel („deadman angle“ [108] ) die Anbohrung des Knochens und anschließend das Setzen der Anker, wobei resorbierbare oder nicht-resorbierbare Systeme zum Einsatz kommen können. Richards et al [109] publizierten in einer Kadaverstudie, dass der SSC am Footprint eine trapezoide Form von durchschnittlich 2,5 cm Länge und einer Breite von 1,8 cm im obersten Anteil aufweist. Nach inferior zeigt sich eine markante Ausdünnung mit einer durchschnittlichen Breite von 0,3 cm am inferiorsten Part. Entsprechend des durch Richards et al [109] beschriebenen trapezoiden Footprints werden die Anker von kaudal nach kranial positioniert. In Abhängigkeit der Knochenbeschaffenheit bzw. des Ankersystems ist nach Anbohrung das Schneiden eines Gewindes erforderlich.

Die Anzahl der verwendeten Anker richtet sich nach der Art bzw. dem Ausmaß der Ruptur. Bei Partialrupturen im oberen Teil der Sehne wird in der Regel nur ein Anker verwendet, bei Komplettrupturen zwischen zwei und vier Anker. Bei vollständiger Sehnenruptur oder einer Ruptur der oberen 50% der Sehne wird eine „double-row“-Refixation mit je einem superioren und einem inferioren Anker in der medialen und lateralen Reihe durchgeführt. Diese Technik gilt gegenüber der „single-row“-Variante als biomechanisch potenter.

Nach Positionierung der Anker und Stabilitätsprüfung durch Zug an den anterolateral ausgeleiteten Fäden wird die Sehne durchstoßen, der Faden mittels Shuttle-Instrumentarium nach anterosuperior ausgeleitet und in 20° Außenrotation und leichter Abduktion unter Zuhilfenahme des Knotenschiebers verknotet (initial ein Rutschknoten, dann drei gegenläufige Halbschläge). Die Refixierung erfolgt in Mason-Allen-Technik.

Wahlweise kann ein knotenloses Ankersystem verwendet werden (z.B. Speedbridge, Fa. Arthrex Inc., Naples, FL, USA).

## 1.5 Nachbehandlung

Der operierte Arm wird nach dem Eingriff für sechs Wochen in einer Schulter-Abduktions-Orthese in 15° Abduktion gelagert. Überkopfbewegungen und Außenrotation sind in den ersten sechs postoperativen Wochen auf 0° begrenzt und werden anschließend schrittweise gesteigert. Die passive Innenrotation des Armes ist bereits kurz nach der OP erlaubt, eine aktive Innenrotation muss allerdings aufgrund der dadurch bedingten Kontraktion des SSC vermieden werden. Ab der siebten postoperativen Woche ist eine freie, aktiv-assistierte Beweglichkeit erlaubt, ab der neunten postoperativen Woche eine freie, aktive Beweglichkeit. Auch aktive Bizepskontraktionen (bei LBS-Tenodese oder -Tenotomie) sowie das Heben von schweren Gegenständen sind in den ersten sechs Wochen verboten. Der Deltamuskel und die Rotatorenmanschette werden erst nach zehn Wochen durch isometrische Übungen gekräftigt. Unbegrenzte sportliche Aktivität kann erst nach sechs bis zwölf Monaten freigegeben werden.

## **2. STUDIENZIEL**

Ziel der Studie war die spezifische, postoperative Messung der Funktion und der Kraft des M. subscapularis nach Rekonstruktion isolierter SSC-Rupturen sowie die Korrelation der klinischen Parameter mit den MR-tomographischen Befunden.

## 3. MATERIAL UND METHODEN

### 3.1 Patienten

Zwischen 2000 und 2006 wurden in der Abteilung für Sportorthopädie der Technischen Universität München 59 Patienten mit einer isolierten SSC-Ruptur operativ therapiert.

Von diesen erklärten sich 33 Patienten (30 m, 3 w) nach vorheriger, gründlicher Aufklärung bezüglich des Studienprotokolls und der geplanten Durchführung bereit, an dieser prospektiven Studie teilzunehmen. Das Einschlusskriterium war eine isolierte SSC-Ruptur ohne Beteiligung anderer muskulärer Bestandteile der RM.

Ausschlusskriterien waren neben Voroperationen der betroffenen Schulter eine fortgeschrittene fettige Degeneration (> Grad III nach Fuchs bzw. Goutallier), eine fortgeschrittene Omarthrose sowie eine fraglich mangelnde Compliance hinsichtlich der Durchführung des postoperativen Rehabilitations-Protokolls.

Durchschnittlich betrug das Patientenalter zum Zeitpunkt der Operation 45 Jahre (zwischen 13 und 64 Jahren).

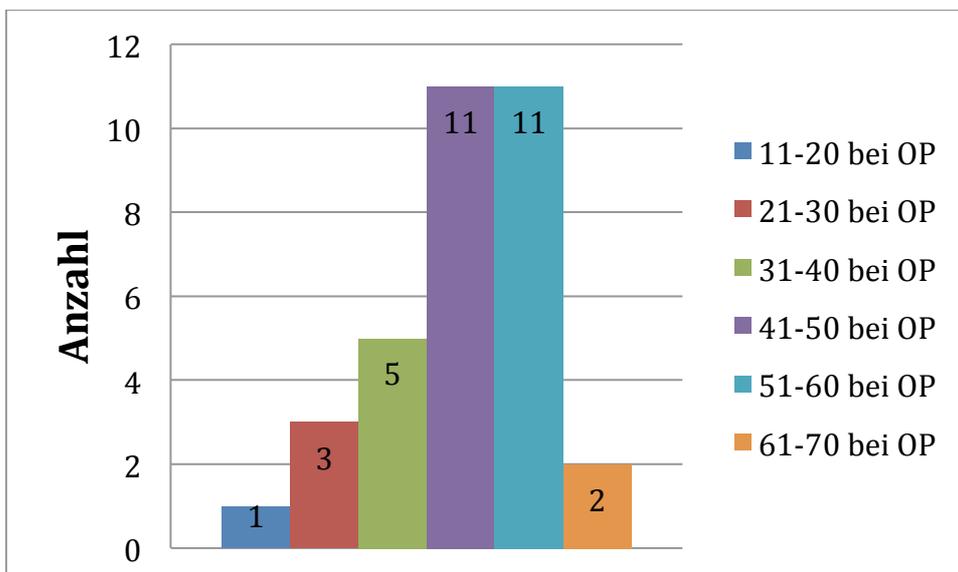


Diagramm 1: Lebensdekade zum Zeitpunkt der Operation.

Um ein möglichst umfassendes und aussagekräftiges Behandlungsergebnis zu erhalten, erfolgte präoperativ nach einer ausführlichen Anamneseerhebung eine um-

fassende körperliche Untersuchung, nicht zuletzt mit spezifischen, den M. subscapularis betreffenden Tests.

Die intraoperativ dokumentierte Befundung der Rupturgröße und -lokalisierung stellte einen wichtigen prognostischen Parameter dar.

Im Rahmen der postoperativen Untersuchung konnten wesentliche Informationen bezüglich des Wohlbefindens der Patienten, teils subjektiv, wie etwa mittels Visueller Analog Skala (VAS) oder Simple Shoulder Test (SST), teils objektiv mittels „ISOBEX-Kraftmessung“ und dem darauf aufbauenden Constant-Murley Shoulder-Score erhoben werden. (Siehe 3.3.1 – 3.3.3)

Darüber hinaus konnte mittels einer Kraftmessplatte (vgl. 3.4), die eigens für diese Untersuchung in Zusammenarbeit mit dem Labor für Biomechanik der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar in München entwickelte wurde, das reelle postoperative Kraftausmaß der Patienten objektiv visualisiert werden. Zudem wurden konventionelle Röntgenaufnahmen (siehe 3.5.1) in zwei Ebenen durchgeführt.

Ein weiterer Eckpfeiler der Studie war die standardisierte kernspintomographische Untersuchung (siehe 3.5.2) der Integrität des M. subscapularis, speziell im Hinblick auf Atrophie und fettige Infiltration.

## **3.2 Anamnese und klinische Untersuchung**

Anamnestisch besonders von Bedeutung waren neben dem Unfallmechanismus vor allem die Dauer des symptomatischen Intervalls, die Schmerzintensität – gemessen mittels Visueller Analogskala, die Schmerzsymptomatik sowie die manuelle Dominanz der Patienten.

### **3.2.1 Allgemeine Schulteruntersuchung**

Um eine gute Reliabilität zu gewährleisten, wurden alle Tests jeweils in der gleichen Reihenfolge, zum einen immer von dem selben Untersucher, zum anderen immer zuerst an der gesunden, dann an der betroffenen Schulter durchgeführt.

Bei der postoperativen klinischen Untersuchung lag das Hauptaugenmerk nach vorangegangener Inspektion und Palpation der Schulter beidseits auf der Erfassung von Muskelatrophien, Schmerzpunkten oder -projektionen. Darüber hinaus wurde die aktive und passive Schulterbeweglichkeit nach der Neutral-Null-Methode beurteilt. Dabei wird das Bewegungsausmaß in Elevation, Retroversion, Abduktion, Adduktion, Außenrotation und Innenrotation ausgehend von der „anatomischen Normalstellung“ geprüft, bei der sich der Patient in aufrechtem, geraden Stand mit hängenden Armen und nach vorne zeigenden Daumen befindet.

Außen- und Innenrotation wurden bei abduziertem Oberarm im 90° Ellenbogenflexion sowie aktiv durch Rotations-Kombinationsbewegungen mittels Schürzen- (Innenrotation, Extension; Norm: 5.BWK - 2.LWK) und Nackengriff (Außenrotation, Flexion, Abduktion; Norm: 2.BWK - 5.BWK) gemessen.

### **3.2.2 Spezielle Untersuchung des Musculus subscapularis**

Da die Innenrotation oftmals schwierig in Winkelangaben gemessen werden kann, wird das Bewegungsausmaß auch durch die mit dem Daumen erreichbaren anatomischen Strukturen an Gesäß oder Rücken dokumentiert. Der M. subscapularis, als stärkster und entscheidender Innenrotator der RM, wird vor allem durch folgende Tests auf seine Integrität geprüft:

## Lift-Off - Test

Hierbei hält der Patient den innenrotierten Arm in Schürzengriffposition und versucht, die Hand weiter nach dorsal, d.h. vom Rumpf weg zu drücken.



Abb. 7: Lift-Off - Test: negatives Ergebnis.

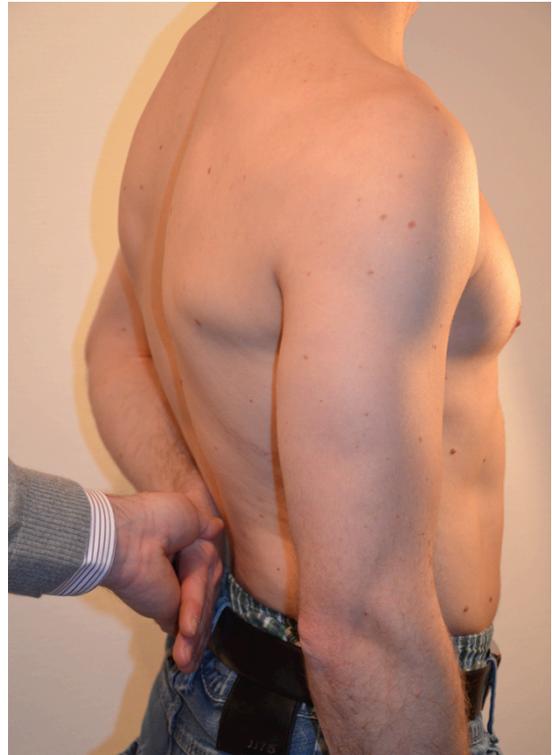
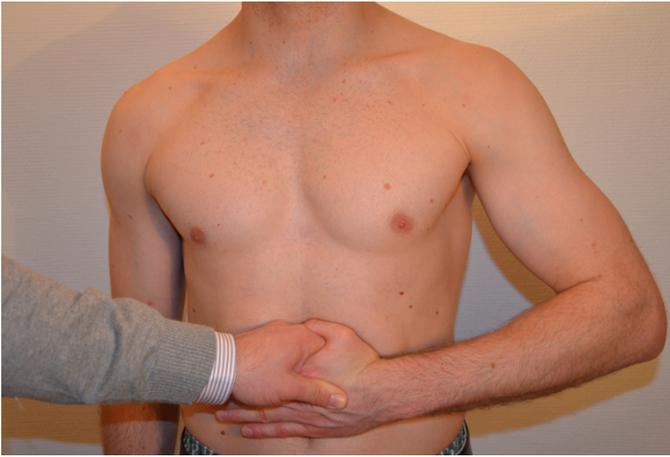


Abb. 8: Ausgangsposition (persistierend) = positives Ergebnis des Lift-Off - Tests.

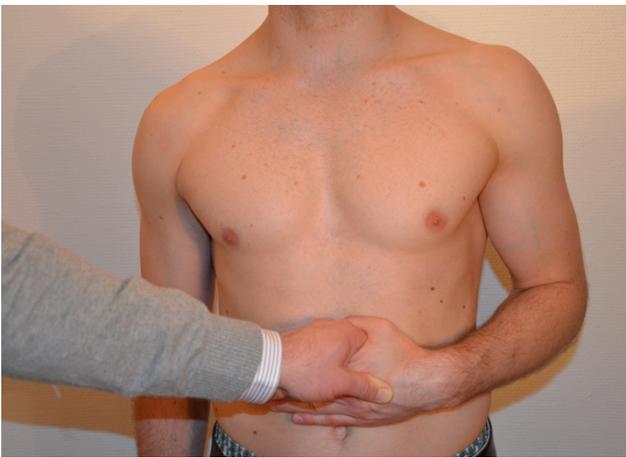
Bei einer Läsion des M. subscapularis ist dies nicht möglich [44] und die Hand verharrt in der Ausgangsposition.

## Belly-Press - Test

Bei schlechter oder schmerzhafter Innenrotation, bei der der Arm nicht in die Endposition des Lift-Off - Tests gebracht werden kann, dient der Belly-Press - Test zur Überprüfung der SSC-Funktion. Der Patient drückt den im Ellenbogengelenk gebeugten Unterarm bei geradem Handgelenk mit ganzer Kraft gegen den Bauch. Dabei ist darauf zu achten, dass das Handgelenk durchgestreckt ist und mit dem Ellenbogen möglichst eine Linie bildet. Ist dies möglich, gilt der Test als „negativ“.



*Abb. 9: Negativer Belly-Press - Test (frontal und seitlich).*



*Abb. 10: Positiver Belly-Press - Test (frontal und seitlich).*

Gelingt dies nicht, kommt es aufgrund der Wirkung des M. latissimus dorsi und des M. teres major zur Dorsalbewegung des Ellenbogens, zum Abknicken des Handgelenkes sowie zur Anhebung der Schulter. Dies deutet auf eine Läsion des SSC und die damit verbundene muskuläre Unfähigkeit, die Innenrotation aufrecht zu erhalten, hin – der Test ist „positiv“.

Nichts desto weniger können die spezifischen Subscapularis-Testergebnisse auch negativ ausfallen, wie beispielsweise bei Partialläsionen der SSC-Sehne.

Bei einem Abriss der Subscapularissehne kann sich zudem eine klinisch auffällige, vermehrte Außenrotationsfähigkeit ( $> 90^\circ$ ) zeigen.

### **3.2.3 Erweiterte Untersuchungstechniken der Schulter**

Darüber hinaus beinhaltet die Schulteruntersuchung standardmäßig die Überprüfung folgender Tests: [16, 53, 135]

Rotatorenmanschettenfunktionstests:

- Jobe - Test → SSP
- 0°-Abduktionstest → SSP + M. deltoideus
- Außenrotations-lag-sign (ARLS)  
→ ISP u. M. teres minor

Impingementfunktionstests:

- Painful arc (60°-120°)
- Hawkins - Test

Tests der langen Bizepssehne:

- Yergason - Test
- O'Brien/Active Compression - Test

Stabilitätstests:

- Schubladen - Test
- Sulcus Sign
- Apprehension - Test

#### **Jobe - Test ( 90° - Supraspinatustest)**

Der Patient hält die Arme mit zum Boden zeigenden Daumen in 90° Abduktion und 30° Horizontalflexion (Scapulaebene) sowie Innenrotation gestreckt, während der Untersucher von oben Druck auf die Unterarme ausübt. Hierdurch werden vornehmlich dorsale Anteile der SSP-Sehne unter dem Schulterdach eingeeengt. Die eher ventral gelegenen Anteile können bei außenrotiertem Arm überprüft werden. Ein positives Ergebnis ist meist ein Hinweis auf eine Pathologie des SSP [16, 53].

#### **0° - Abduktionstest**

Hierbei versucht der mit locker am Körper herabhängenden Armen stehende Patient diese gegen den Widerstand des Untersuchers zu abduzieren. Dabei auftretende Schmerzen lassen auf eine Läsion der „Abduktions-Starter-Muskeln“, M. deltoideus

und v.a. des M. supraspinatus, schließen; größere Rupturen gehen immer mit Muskelschwäche oder einem Funktionsverlust einher. Allerdings weist dieser Test keine sehr hohe Spezifität auf [16].

### **Außenrotations-lag-sign (ARLS)**

Das Außenrotations-lag-sign (ARLS) beschreibt die muskuläre Unfähigkeit, bei nahezu adduziertem Oberarm den passiv bis zur Endposition außenrotierten Unterarm in dieser Position zu halten, so dass dieser spontan körperwärts zurückkehrt, was als sog. „Dropping-Sign“ bezeichnet wird. Typischerweise lässt sich dies bei Insuffizienz der Infraspinatus-Sehne erkennen.

### **Painful arc**

Während der Armabduktion kann es im Bereich von bestimmten Winkeln zur Schmerzauslösung kommen, welche nach Durchlaufen derselben wieder abklingt. Im Bereich von 120°-170°, dem sog. „AC - painful arc“ deutet eine Schmerzauslösung auf eine Affektion des Acromioclaviculargelenkes, z.B. arthrotisch bedingt, hin [32].

Der Schmerzeintritt bei aktiver Abduktion zwischen 60° und 120° spricht dagegen für ein subacromiales Impingement, bei dem bereits vorgeschädigte subacromiale Strukturen (v.a. Bursa subacromialis und die Sehne des M. supraspinatus) unter Druck geraten. Die passive Bewegung ist beim Impingement-Syndrom häufig schmerzfrei [135].

Allerdings ist der schmerzhafte Bogen ein relativ unspezifisches Zeichen, das auch bei vielen anderen Krankheitsbildern ausgelöst werden kann.

### **Hawkins - Test**

Kommt es bei fixierter Scapula während der passiven Adduktion des 90° elevierten und innenrotierten sowie im Ellenbogen 90° flektierten Armes zum Auftreten von Schmerzen, so spricht man von einem positiven Hawkins - Test. Diese treten als

Folge des subacromialen Impingements durch ein Anstoßen oder Einklemmen der Supraspinatussehne unter bzw. gegen das Lig. coracoacromiale auf.

Ein coracoidales Impingement zeigt sich bei der Adduktionsbewegung, wenn die SSP-Sehne zusätzlich gegen den Proc. coracoideus stößt.

### **Yergason - Test**

Supination gegen Widerstand bei rechtwinklig gebeugtem Ellenbogengelenk führt zur Anspannung der langen Bicepssehne im Sulcus und damit zu Provokationsschmerzen, hervorgerufen durch eine Läsion der langen Bicepssehne, ihrer Sehnenscheide oder der ligamentären Verankerung durch das Lig. transversum. Der Provokationsschmerz ist durch Druck auf den Sulcus noch intensivierbar [16, 53].

### **O'Brien-/Active Compression - Test**

Dieser Test dient zur Beurteilung einer SLAP-Läsion.

Hierbei hält der stehende Patient seinen Arm 90° eleviert, 10° adduziert und maximal innenrotiert, so dass der Daumen bodenwärts zeigt. Nun versucht der Untersucher, den Arm des Patienten gegen Widerstand nach unten zu drücken.

Anschließend wird der Test analog in maximaler Außenrotation durchgeführt.

Ein positives Testergebnis tritt auf, wenn während der Pronation (Innenrotationsstellung) Schmerzen ausgelöst werden, die bei Supination (zunehmende Außenrotation) abnehmen oder verschwinden. Hierbei ist die genaue Lokalisation der Beschwerden entscheidend, da Schmerzen im Inneren der Schulter ein Hinweis auf eine SLAP-Läsion sind, über dem AC-Gelenk jedoch eher für eine AC-Gelenksarthrose sprechen [16].

### **Schubladen - Test**

Voraussetzung für die Durchführung des Tests ist die vollständige muskuläre Entspannung. Zur Stabilisierung der Schulter umgreift der Untersucher mit der einen Hand die Spina scapulae bzw. den Processus coracoideus, während er mit der anderen den Oberarmkopf erst zentriert und anschließend soweit wie möglich nach vorne (vordere Schublade) und hinten (hintere Schublade) schiebt. Physiologischerweise

ist dies nach vorne hin nicht möglich, nach hinten nur bis auf den Rand des Glenoids. Alle Befunde müssen mit der Gegenseite verglichen werden [53].

### **Sulcus Sign**

Während die eine Hand des Untersuchers die nicht betroffene Schulter des Patienten stabilisiert, zieht die andere den entspannten Arm im Bereich des leicht gebeugten Ellenbogens entlang der Armachse nach distal. Kommt es an der ventralen und lateralen Kante unterhalb des Acromions zum Auftreten einer deutlich nachweisbaren Weichteileinziehung, dem sog. „Sulcuszeichen“, ist dies Ausdruck für eine Instabilität mit Tiefertreten des Humeruskopfes. Durch Funktionsröntgenaufnahmen mittels Gewichten ist das Ausmaß der Subluxation quantifizierbar [16].

### **Apprehension - Test**

Der Untersucher bringt den Arm des Patienten in 90° Abduktion und maximale Außenrotation und fixiert gleichzeitig von hinten und oben die Scapula. Zusätzlich drückt er mit dem Daumen den Oberarmkopf nach vorne, um das bei vorderer Schulterinstabilität vorhandene Luxationsgefühl nach ventral zu verstärken.

Der Test ist positiv bei unwillkürlicher Abwehrspannung des Patienten zur Vermeidung einer möglichen Subluxation oder Luxation [135].

## 3.3 Klinische Scores

### 3.3.1 Constant-Murley Schulter Score

Beim sog. "Constant-Murley Schulter Score" handelt es sich um einen Score zur Einschätzung der Schulterfunktion und -beweglichkeit nach Schulterverletzungen. Der aus mehreren Komponenten bestehende Score setzt sich sowohl aus subjektiven Angaben der Studienteilnehmer als auch aus durch den Arzt/Untersucher ermittelten objektivier- und messbaren Größen zusammen.

(Anteile des Constant-Murley Schulter Scores [30] siehe Anhang)

Der subjektive Teil, der 35% der Gesamtpunktzahl ausmacht, beinhaltet Aussagen bezüglich des Schmerzniveaus, der alltäglichen Belastbarkeit in Freizeit, Beruf und nachts sowie der Alltagsaktivität, gemessen an der Arbeitshöhe des betroffenen Arms.

Im objektivierbaren Abschnitt, in den 65% der Messergebnisse einfließen, erfolgt die durch den Untersucher durchgeführte Überprüfung des Arms hinsichtlich der Flexion, der Abduktion/Elevation, der Außen- und Innenrotation sowie der Kraft (gemessen in Newton) in 90° Abduktions-/30° Anteversionsstellung.

Diese isometrische Abduktions-Kraftmessung wurde mittels *ISOBEX-Dynamometer* (*Cursor SA, Bern, Schweiz*) erhoben.



Abb. 11: ISOBEX-Kraftmessgerät.

Dabei bewegt der sitzende Patient den in 90° Abduktion ausgestreckten Arm in Richtung Decke, während die Handinnenflächen zum Boden gerichtet sind.



Abb. 12: Kraftmessung in 90° Abduktions-/30° Anteversionsstellung.

In dieser Position werden vor allem die Abduktoren um den M. deltoideus beansprucht.

Anhand dieser Parameter verbunden mit den zuvor in der klinischen Untersuchung ermittelten Ergebnissen bezüglich der Schulterbeweglichkeit kann der „Constant-Murley Schulter Score“ erhoben und eine Höchstpunktzahl von 100 Punkten erreicht werden.

Die Beurteilung und Einschätzung der Schulterfunktion erfolgt dann wie unten beschrieben anhand der erreichten Punkt- und Prozentzahl der Patienten [12]:

Ausgezeichnet	91 – 100%
Gut	81 – 90%
Befriedigend	71 – 80%
Ausreichend	61 – 70%
Schlecht	< 60%

Tab. 1: Wertung des Constant-Murley Schulter Scores.

Alters- und geschlechtsadaptierter Constant-Murley Schulter Score nach Gerber:

Da es jedoch schwierig bis nahezu unmöglich ist, die Ergebnisse von jungen Patienten mit denen von deutlich älteren sowie von Frauen und Männern direkt auf einem Score zu vergleichen, wurden die erreichten Punkte im Constant-Murley Schulter Score anhand des „Age and gender related Constant-Score“ nach Gerber [41] alters- und geschlechtsadaptiert gewichtet. Diese erforderliche Differenzierung haben Boehm et al [12] in ihrer Studie aufgezeigt, in der schultergesunde Frauen bei der Kraftmessung durchschnittlich 4,8 kg, schultergesunde Männer dagegen im Durchschnitt 9,2 kg erreicht haben. Des Weiteren zeigte sich eine starke Kraftreduktion mit fortschreitendem Alter.

Im alters- und geschlechtsadaptierten Constant-Murley Score nach Gerber werden die erreichten Absolutpunkte des ungewichteten Constant-Murley Scores durch geschlechtsspezifisch standardisierte Durchschnitts-Sollwerte geteilt, wobei der resultierende adaptierte Wert als Prozentwert zu verstehen ist.

<b>Alter</b>	<b>Frauen</b>	<b>Männer</b>
20-30	97	98
31-40	90	93
41-50	80	92
51-60	73	90
61-70	70	83
71-80	69	75
81-90	64	66
91-100	52	56

*Tab. 2: Alters- und geschlechtsadaptierter Constant-Murley Score nach Gerber mit zu erreichenden Durchschnitts-Sollwerten.*

Zur Beurteilung des klinischen Operationsergebnisses wurden die im Score erreichten Punkte in 4 Gruppen unterteilt:

1. 90-100 Punkte:     Ausgezeichnetes Resultat
2. 80-89 Punkte:     Gutes Resultat
3. 70-79 Punkte:     Mäßiges Resultat
4. unter 70 Punkte:   Schlechtes Resultat

Darüber hinaus wurde das postoperative Resultat mit der subjektiven Zufriedenheit der Patienten in Zusammenhang gebracht. Somit konnten in Anlehnung an Iannotti [66] die erzielten Ergebnisse zu vier Zustandsbezeichnungen formuliert werden:

1. NORMAL:  
Weder Schmerz noch Funktionseinschränkung bei Schulter-Aktivität
2. FAST NORMAL:  
Gelegentlich Schmerz oder Funktionseinschränkung bei Schulter-Aktivität
3. VERBESSERTER ZUSTAND:  
Schmerzverbesserung trotz Funktionseinschränkung
4. SCHLECHTER ZUSTAND:  
Postoperative Beschwerdepersistenz oder -progredienz

### 3.3.2 Visuelle Analogskala

Bei der Visuellen Analogskala (VAS) handelt es sich um eine subjektiv durch den Patienten abgegebene Einschätzung seines Schmerzempfindens anhand einer vorgefertigten Intensitätsskala. Dabei steht die Zahl „0“ für keinen Schmerz, die Zahl „10“ für unerträgliche Schmerzen. Die Patienten bewerteten jeweils das Schmerzausmaß präoperativ und postoperativ zum Zeitpunkt der Untersuchung.

Wie stark schränken **Schmerzen** ihr Wohlbefinden ein?



Abb. 13: Visuelle Analogskala (VAS) zur Beurteilung des subjektiven Schmerzempfindens.

### 3.3.3 Simple Shoulder Test

Beim Simple Shoulder Test (SST) handelt es sich um eine durch den Patienten beurteilte Belastungsfähigkeitsbestimmung der jeweilig betroffenen Schulter. In dem dichotom aufgebauten Fragebogen, der aus zwölf Fragen bezüglich schulterspezifischer Funktionen besteht, geben die Patienten durch Ankreuzen von „JA“ oder „NEIN“ an, welche Tätigkeiten sie ausführen können bzw. wie belastbar sie im täglichen Leben sind [84] (detaillierter Inhalt des SST siehe Anhang).

### 3.4 Kraftmessplatte

Bei der in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Biomechanik am Klinikum rechts der Isar in München entwickelten Versuchsanordnung handelt es sich um eine kalibrierte Kraftmessplatte (KMP), bei der in Dehnmessstreifentechnik die durch die Patienten aufgebrachte Muskelkraft mittels Spannungsdifferenzumwandlung, gemessen in Newton (N), objektiv nachvollziehbar ermittelt und visualisiert werden kann.

Der Versuchsaufbau besteht aus vier Komponenten:

1. Der Druckmessplatte
2. Dem USB-analog-digital-Wandler
3. Dem Messverstärker sowie
4. Einem Computer mit passender Mess-Software (PC-LAB 2000) zur Visualisierung der Ergebnisse in einem Amplituden-Zeit-Diagramm



Abb. 14: Kompletter Versuchsaufbau der Kraftmessplatte.

Die in der vorliegenden Studie verwendete Kraftmessplatte besteht aus einer Wägezelle mit einem integrierten Dehnungsmessstreifen (Firma HBM Messtechnik<sup>®</sup>, Darmstadt, Deutschland), der temperatur- und kriechkompensiert ist. Die Wägezelle ist zwischen zwei Aluminiumplatten eingepasst, um eine optimale Positionierung der Platte zu ermöglichen. Somit kann die einwirkende Kraft der Patientenhand auch bei einem nicht ganz zentral einwirkenden Kraftvektor optimal auf die Platte übertragen werden.

Die Geometrie des Federkörpers in der Wägezelle verändert sich bei extern einwirkenden Kräften (Druck der Patientenhand auf die Aluminiumplatte), wobei die elastische Verformung in einer Veränderung des elektrischen Widerstandes der Dehnungsmessstreifen resultiert, der wiederum ermittelt werden kann. Dabei ist die Änderung der elektrischen Spannung zu der einwirkenden Kraft proportional.

Mittels USB-analog-digital-Wandler (ADU, Firma Velleman<sup>®</sup>, Gavere, Belgien) mit einer Samplingrate von 100 Hz erfolgt die Aufzeichnung der Signal-Daten, sodass der Spannungsverlauf in einem Amplituden-Zeit-Diagramm dargestellt und aufgezeichnet werden kann. Somit kommt es zur Quantifizierung eines kontinuierlichen Spannungssignals in der Zeit und der Amplitude. Die Verstärkung des Signals erfolgt über einen zwischengeschalteten Messverstärker (Semmeg 3000, Fa. Burster<sup>®</sup>, Gernsbach, Deutschland), welcher aus mehreren Verstärker- und Filterschaltungen inklusive eines Messumformers zur Normierung des Messsignals besteht.

Mit Hilfe dessen können die initial analogen Signale des Dehnungsmessstreifens in digitale Signale umgewandelt und, mittels Messverstärker aufbereitet, am Computer ausgewertet werden.

Vor jeder Messung erfolgt eine erneute Eichung des Gerätes. Die ermittelte Spannungsdifferenz wird in Kraftwerte, gemessen in Newton, umgewandelt und aufgezeichnet. Die Darstellung erfolgt mittels Kraft-Zeit-Diagramm.

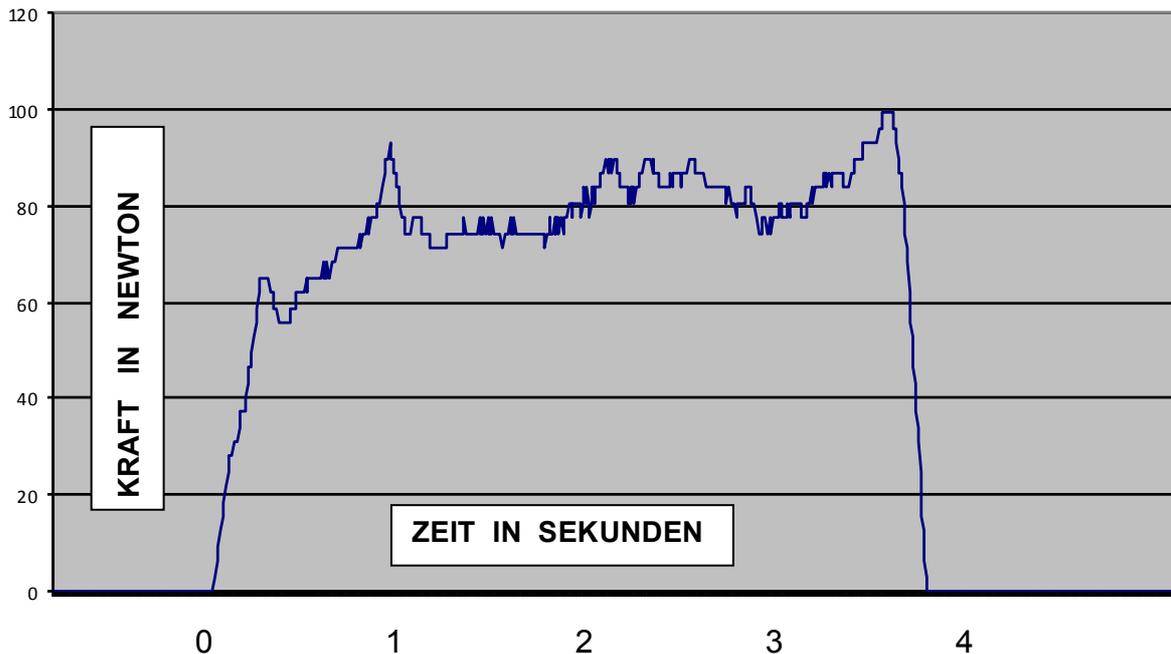


Diagramm 2: Kraft-Zeit-Diagramm.

Um eine fehlerhafte Durchschnittswert-Kraftmessung aufgrund sehr geringer Werte zu Beginn und am Ende der Messung zu vermeiden, erfolgte die Bestimmung des tatsächlichen Messwertes als Mittelwert aus dem Kraftmaximum und dem 70%-Wert des Kraftmaximums, der über die mindestens drei Sekunden lange Messperiode ermittelt wird.

Die Auswertung der Daten erfolgte unter Anwendung der PC-LAB 2000 Software, Velleman<sup>®</sup>-Instruments (Version 1.01 für Windows 2003, Fa. Magnova<sup>®</sup>, Belgien).

Die klinischen Kraftmessungen wurden bei den Patienten sowohl auf der betroffenen Seite als auch auf der Gegenseite durchgeführt. Um eine möglichst exakte Untersuchung der Muskelkraft des SSC zu gewährleisten, erfolgte die Bestimmung in Belly-Press - und Lift-Off - Position, analog den jeweiligen Funktionstests (vgl. hierzu 3.2.2). Bei diesen Testpositionen wird die Innenrotationskraft in maximaler Extension und Innenrotation gemessen. Auf diese Weise kann die Innenrotationskraft des SSC isoliert unter Ausschluss anderer Innenrotationskräfte bestimmt werden [127]. Wichtig hierbei ist, dass die Hand mittig auf der Druckplatte aufgesetzt wird.



*Abb. 15: Kraftmessung in Belly-Press - Position.*

In Belly-Press - Position ist es, wie bereits unter 3.2.2 beschrieben, entscheidend, dass Hand und Unterarm bei durchgestrecktem Handgelenk eine Achse bilden, während in Lift-Off - Position bei leichter Schrittstellung auf einen gewissen Abstand zwischen Testperson und Druckplatte sowie auf die lumbale Handposition zu achten ist. Darüber hinaus wurde speziell darauf geachtet, dass der Patient nur mit der Hand und nicht durch leichtes Zurücklehnen auch mit dem Rumpf gegen die Platte drückt. In Lift-Off - Position ist die KMP individuell anpassbar mittels Schrauben in der Wand befestigt, während diese in Belly-Press - Position dem Patienten an einer Schnur befestigt um den Hals hängt.



*Abb. 16:* Kraftmessung in Lift-Off - Position seitlich.

Die Ergebnisse der operierten sowie der kontralateralen Extremität wurden anschließend miteinander verglichen, um so einen nachvollziehbaren Unterschied bezüglich der erreichten Kraftwerte herstellen zu können.

## 3.5 Radiologische Diagnostik

### 3.5.1 Röntgenuntersuchung

Zum Ausschluss ossärer Subscapularissehnen-Ausrisse, wie sie vor allem bei adoleszenten Patienten zu erkennen sind, wird eine standardisierte Röntgenserie durchgeführt. Typischerweise werden zwei Röntgenbilder in verschiedenen Ebenen angefertigt [15].

Hierbei handelt es sich um die „true-ap“ und die Outlet-view (= Y) -Aufnahme.

Die „true-anteroposteriore“ Aufnahme wird am besten am stehenden Patienten durchgeführt. Hierbei wird die Gelenkpfanne orthograd abgebildet, vorderer und hinterer Pfannenrand überschneiden sich und der Gelenkspalt wird optimal sichtbar [48].

In der zweiten Ebene, der „Outlet-view“-Aufnahme, auch „Scapula-Y-Einstelltechnik“ genannt, wird bei stehendem Patienten mit 60° zur Kassette aufgedrehtem Oberkörper die Lage des Gelenkkopfes zur Pfanne dargestellt, wobei sich die Scapula in dieser tangentialen Einstellung als „Y“ darstellt. Darin entspricht der untere Schenkel dem Schulterblatt, der vordere dem Proc. coracoideus und der hintere dem Acromion [113].

Auch degenerative Veränderungen im Sinne von Arthrosezeichen können gut dargestellt werden.

Die Einteilung der Schultergelenksarthrose erfolgt nach Samilson [116]:

**Grad 0:** Keine Zeichen der Arthrose

**Grad 1:** Milde Arthrose: Osteophyt < 3mm kaudal am Humeruskopf (HK) oder Glenoid oder an HK und Glenoid

**Grad 2:** Moderate Arthrose: Osteophyt 3-7mm kaudal am Humeruskopf oder Glenoid oder an HK und Glenoid + glenohumerale Gelenksirregularitäten

**Grad 3:** Starke Arthrose: Osteophyt >8mm kaudal am Humeruskopf oder Glenoid oder an HK und Glenoid + glenohumerale Gelenkspaltverschmälerung und Sklerose



Abb. 17: AP-Aufnahme mit Osteophyt; Samilson 1.

### **3.5.2 Magnetresonanztomographie**

Im Laufe der letzten Jahre hat sich die Magnetresonanztomographie (MRT) in der bildgebenden Diagnostik aufgrund ihrer hohen Detailgenauigkeit und der guten räumlichen Darstellung bezüglich Muskulatur, Sehnen und Weichteile sowie des knöchernen Status der Schulter als nicht-invasives Schnittbildverfahren der Wahl durchgesetzt. Speziell im Bereich der RM ermöglicht sie die Darstellung eventueller Pathologien von enormer Sensitivität und Spezifität, was beispielsweise bei der Beurteilung von Partial- und Totalrupturen von höchster Bedeutung ist [36, 39, 67, 76].

Imhoff et al geben bei Verletzungen der Rotatorenmanschette die MR-Sensivität mit 83,3% und die Spezifität mit 90,3% an [68].

Zlatkin beschreibt eine Sensitivität von 91% bei einer Spezifität von 88% [138].

So lassen sich in den drei Ebenen, der parakoronaren, der parasagittalen und der axialen/transversalen Ebene besonders gut folgende Strukturen erfassen:

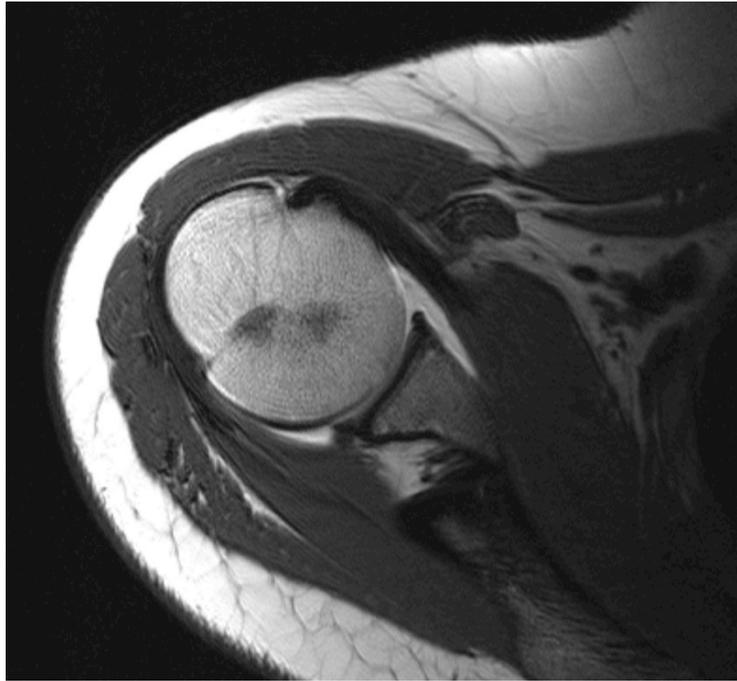
- Parakoronar:
- Supraspinatussehne und -muskel in Längsrichtung
  - Bursa subacromialis/-subdeltoidea
  - kraniales Labrum
  - axillärer Gelenkrezessus

- Parasagittal:
- gesamte Rotatorenmanschette um den Humeruskopf mit dem Rotatorenintervall
  - Muskelquerschnitte
  - intraartikulärer Verlauf der langen Bizepssehne
- Beurteilung der Muskelatrophie sowie der fettigen Infiltration [103].



*Abb. 18: Parasagittale Ebene der Schulter im MRT.*

- Axial/transversal:
- Glenoid mit vorderem und hinterem Labrum
  - Subscapularis
  - Infraspinatus
  - Verlauf der langen Bizepssehne im Sulcus intertubercularis
- Beurteilung des Ausmaßes der Sehnenretraktion und der fettigen Infiltration des SSC sowie einer evtl. Dislokation der LBS [2, 49, 103].



*Abb. 19: Transversale Ebene der Schulter im MRT.*

Alle Ebenen sind geeignet für die Darstellung des M. deltoideus, des Humeruskopfes und des Acromioclaviculargelenkes.

Zur Diagnostik von RMR [106] mittels nativer MRT bietet sich neben den standardmäßig parakoronaren T2- und protonengewichteten Bildern sowie den T1- und T2-gewichteten Sequenzen in parasagittaler und transversaler Ebene eine fettunterdrückte T2-gewichtete Sequenz an.

Um partielle RMR mit hoher Sensitivität zu diagnostizieren, ist die MR-Arthrographie geeignet [103]. Hierbei wird dem Patienten vor der Durchführung des MRT ein Kontrastmittel intraartikulär verabreicht, wodurch eine bessere Visualisierung vor allem kleinerer Defekte möglich ist.

Typische Charakteristika kompletter Rotatorenmanschettenrupturen sind je nach Ausprägung und Lokalisation Kontinuitätsunterbrechungen sowie signalintensive flüssigkeitsähnliche Ansammlungen im Bereich der Sehne [138], welche auf zwei unterschiedlichen, aber möglichst gleich gewichteten Schnittebenen darstellbar sein müssen. Hierzu dienen besonders die T2-gewichteten und STIR-Sequenzen, da diese besonders eindrucksvoll die Diskontinuität der Sehne aufgrund des hohen Kontrastes zwischen signalreichem Defekt und intaktem Sehnenrand verdeutlichen [49,

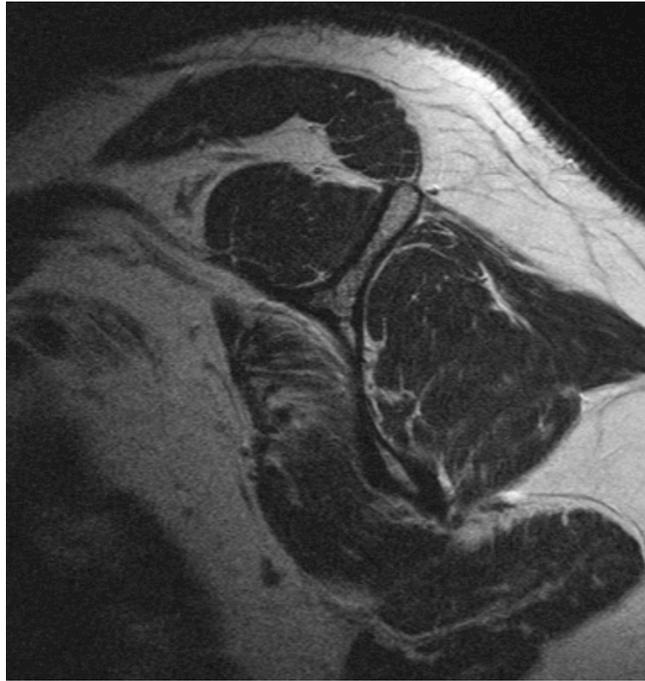
67]. Des Weiteren kann es bei größeren Läsionen zur Kranialisierung des Humeruskopfes kommen. Patienten mit chronischen RMR können je nach Alter und Größe des Defektes im MR starke Atrophien und Verfettungen der Muskulatur aufweisen, was sich besonders gut auf gewinkelt sagittalen Sequenzen beurteilen lässt [103] und für das postoperative Outcome von entscheidender Bedeutung ist [49, 67].

Kommt es zur fettigen Infiltration eines Muskels, lässt sich dies gut in den T1-gewichteten Aufnahmen darstellen. Hierbei bildet sich das Fett signalreicher ab als die normale Muskulatur und imponiert in den Muskelbäuchen als lineare Bandstruktur mit hoher Signalintensität [137].

1994 beschreibt Goutallier in seiner Veröffentlichung eine Möglichkeit zur Einteilung verfetteter Muskeln im CT, die er im Folgenden in fünf Grade einteilt [49]:

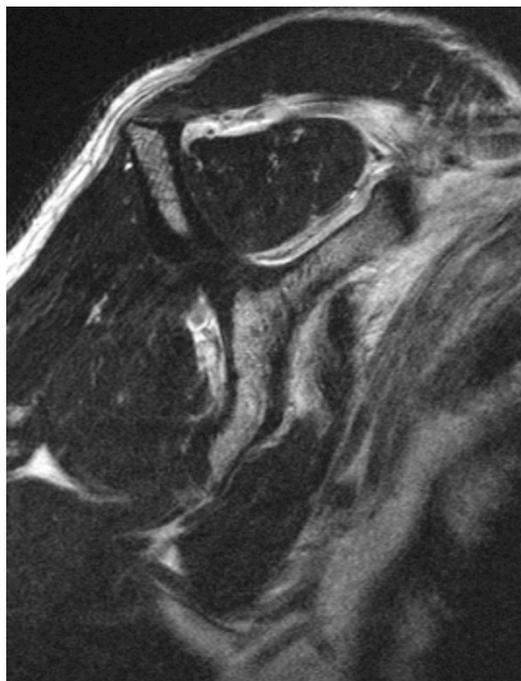
- ❖ **Grad 0:** Normale Muskulatur ohne Fettstreifen
- ❖ **Grad I:** Muskulatur mit einigen Fettstreifen (hyperintense Einlagerungen im T1-gewichteten Bild)
- ❖ **Grad II:** Deutliche fettige Infiltration, aber mehr Muskulatur
- ❖ **Grad III:** Fettige Degeneration mit gleich viel Fett wie Muskulatur
- ❖ **Grad IV:** Fettige Degeneration mit mehr Fett als Muskulatur

Fuchs et al legten in ihrer Studie aus dem Jahr 1999 dar, dass die Beurteilung der fettigen Infiltration anhand von CT-Bilder nach der Goutallier-Einteilung auf die MR-tomographische Befundung anwendbar ist [39, 49].



*Abb. 20: Leicht verfetteter M. subscapularis in der parasagittalen Ebene.*

Die Bestimmung der Muskelatrophie des M. subscapularis erfolgte auf den parasagittalen Schnittbildern („Y-View“). Hierzu wurden mehrere Parameter berechnet; einerseits die gesamte Muskelfläche, andererseits der vertikale sowie der kaudal-transversale und der kranial-transversale Durchmesser.



*Abb. 21: Atrophierter und kranial verfetteter M. subscapularis in der parasagittalen Ebene („Y-View“).*

## **MRT – Sequenzprotokoll:**

Für die kernspintomographische Diagnostik wurde ein MRT-Gerät mit einem Hauptmagnetfeld von 1,5 Tesla (Magnetom Espree; Siemens® Medical Solutions, Erlangen, Deutschland) verwendet. Dabei wurden alle Patienten postoperativ mit einem standardisierten Sequenzprotokoll mit konstanten Schnittebenen sowie konstanten geometrischen und zeitlichen Parametern untersucht, um eine exakte Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu ermöglichen.

Nach gängigen Evaluationskriterien [39, 103] erfolgte die Beurteilung der Sehnenintegrität des M. subscapularis anhand von parakoronaren T2-gewichteten, axialen „proton density-weighted“ sowie von parasagittalen T2-gewichteten Sequenzen.

Der kranial-transversale, der kaudal-transversale sowie der vertikale Durchmesser wurden in der parasagittalen Ebene in „Y-View“ bestimmt (Angabe in Millimetern) [118]. Auch die Evaluierung der SSC-Atrophie durch Messung der Muskelfläche (Angabe in Quadrat-Millimetern) erfolgte in Anlehnung an Juul-Kristensen et al [69] in der parasagittalen Schicht.

### **Sequenzprotokoll:**

#### **Parakoronare Ebene:**

***Spin-Echo SE T1w: TR 510 ms, TE 1 ms***

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

***Turbo-Spin-Echo TSE T2w: TR 2800 ms, TE 45 ms***

Länge des Echo-Trains: 7

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

**Axiale Ebene:**

***Fatsuppressed intermediate weighted Turbo-Spin-Echo: TSE TR 2800 ms, TE 45 ms*** (Synonym: proton density-weighted (PDw))

Länge des Echo-Trains: 7

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

**Parasagittale Ebene:**

***Turbo-Spin-Echo TSE T2w: TR 4200 ms, TE 90 ms***

Länge des Echo-Trains: 9

Schichtdicke: 3 mm

in-plane resolution: 0,4×0,3–0,5 mm

Auf eine standardmäßige Arthrographie wurde verzichtet, da von einem postoperativen Kontrastmittelaustritt durch das offene RMI ausgegangen werden muss.

### 3.5.2.1 MR-tomographische Bestimmung der Integrität des M. subscapularis

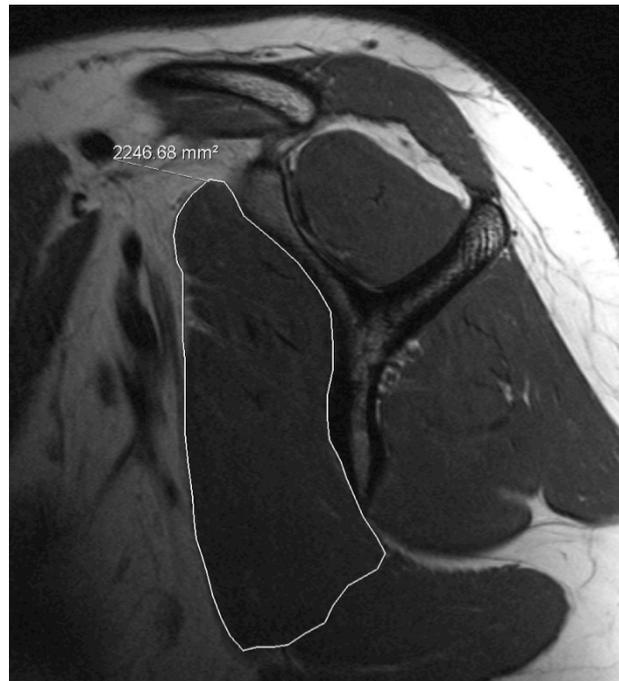
Aufgrund von Ablehnung gegenüber einer erneuten MRT-Untersuchung oder aufgrund von Klaustrophobie reduzierte sich das Patientenkollektiv von n=33 auf n=27.

In dieser Studie wurde die postoperative Sehnenintegrität des M. subscapularis bei dem Patientenkollektiv mittels MRT kontrolliert und einvernehmlich durch einen unabhängigen, auf die muskuloskeletale Radiologie spezialisierten Radiologen sowie zwei in der Schulterchirurgie erfahrene Orthopäden beurteilt. Darüber hinaus erfolgte die Bestimmung der fettigen Degeneration (Goutallier [49], Fuchs [39]) sowie der Muskelfläche.

Die Muskelfläche wurde anhand in definierten Positionen bestimmter vertikaler, kaudal-transversaler und kranial-transversaler Durchmesser („Y-View“) gemessen.

Als Vorgabe diente hierbei die von Thomazeau et al [124] beschriebene „Y-shaped-position“ in der parasagittalen Schichtung, in der die Schnittebene senkrecht zur Scapula verläuft.

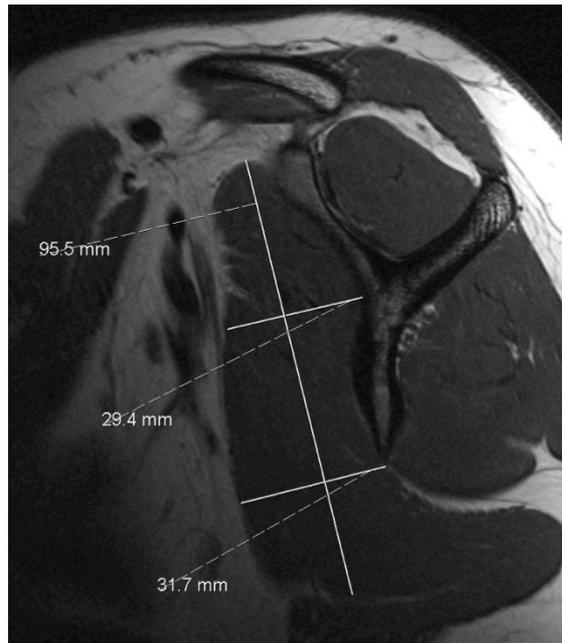
Die Bestimmung der Muskelfläche wurde mittels PACS-Software in einer modifizierten Technik nach Juul-Kristensen [69] ermittelt.



*Abb. 22: Bestimmung der Muskelfläche in der parasagittalen Ebene.*

Der kranial-transversale Durchmesser wird an der Spitze der Konkavität der Subscapularisgrube bestimmt, während der kaudal-transversale Durchmesser senkrecht zum vertikalen Durchmesser gemessen wird und am untersten Punkt der Scapulaspitze endet [119].

Die Ermittlung des maximalen vertikalen Durchmessers erfolgt in Anlehnung an die von Schröder et al [119] beschriebenen Messtechniken für die Größenbestimmung des M. subscapularis vom höchsten bis zum niedrigsten Punkt des Muskels.



*Abb. 23: Bestimmung der Muskeldurchmesser in der parasagittalen Ebene; vertikal, kranial-transversal und kaudal-transversal.*

Neben der Evaluierung von fettiger Infiltration und Atrophie ist der Ausschluss etwaiger Re-Rupturen, die im MRT durch ein sich vom artikulären bis zum bursalen Rand der Sehne erstreckendes, wasserähnliches Signal auffallen, von entscheidender Bedeutung.



*Abb. 24: Ruptur des M. subscapularis.*

Re-Rupturen zeigen, ausgelöst durch einen vermehrten Wassergehalt der Sehne, erhöhte Signalintensitäten und lassen sich gut in T2-gewichteten und STIR-Sequenzen nachweisen [103, 119]. Allerdings sind diese Veränderung nicht nur bei frischen Rupturen, sondern auch im Rahmen von fibrotischen Heilungsprozessen sowie nach operativer RM-Rekonstruktion zu beobachten, bei denen sich diese Auffälligkeiten laut Spielmann et al [120] sogar noch Jahre nach RM-Rekonstruktion trotz asymptomatischer Klinik nachweisen lassen. So stellt die Differenzierung einer re-rupturierten von einer einheilenden Sehne gerade in der post-operativen Begutachtung eine gewisse Schwierigkeit dar, da bei zunehmendem Kollagen- und abnehmendem Wassergehalt im Rahmen des Einheilungsprozesses die Signalintensität sukzessive wieder abnimmt [64].

Aus diesem Grund gilt es, weitere spezifische, MR-morphologische Rupturmerkmale wie Kalibersprünge der Sehne, Sehnendiskontinuitäten oder vermehrte Kontrastmitelanreicherung im Bereich des Tuberculum minus auszuschließen, um einen intakten Sehnenstatus zu attestieren [36, 103] .

### 3.5.2.2 Kontrollgruppe zur Flächen- und Durchmesserbestimmung im MRT

Auch bezüglich Fläche und Durchmesser des M. subscapularis im Patientengut erfolgte MR-tomographisch ein Vergleich mit einer gematchten Kontrollgruppe.

Die Fragestellung bestand vor allem darin, ob sich die in der Literatur oftmals beschriebene Aussage einer postoperativen SSC-Atrophie [88, 104, 119] bestätigen und damit ein objektivierbarer, signifikanter Unterschied bezüglich Fläche und Durchmesser zur Kontrollgruppe nachweisen lässt.

Die Kontrollgruppe im MRT bestand aus insgesamt 42 Personen, vier (9,5%) Frauen und 38 (90,5%) Männern. Der Altersdurchschnitt betrug 40,1 Jahre (22-68)  $\pm$  11,8.

Auch in diesem Kollektiv hatten die Personen weder Schulterprobleme (vorangegangenes Trauma, Schmerzen, Bewegungseinschränkung, etc.) noch Voroperationen an der Schulter.

### 3.6 Statistische Verfahren

Die ermittelten Daten wurden mittels eines Datenbankprogramms gespeichert und nach weiterer Konvertierung mit dem Statistikprogramm SigmaPlot 11 bearbeitet.

Die Auswertung und Überprüfung von Signifikanzen erfolgten sowohl für verbundene als auch für unverbundene Stichproben mit Hilfe des T-Tests (nach Student). Einige erhobene Parameter wurden zur Überprüfung einer möglichen Signifikanz einem Mann-Whitney-U Test für unabhängige Stichproben oder einem Wilcoxon Test für verbundene Stichproben unterzogen. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  als signifikant für sämtliche statistischen Tests festgelegt.

Zur deskriptiven Auswertung der Daten wurden Median, Standardabweichung und prozentuelle Verteilung der Daten angegeben und bewertet.

In dieser Studie sollten die Zusammenhänge zwischen klinischen Funktionstests (spezifische Muskeltests sowie Bewegungsumfang (Constant-Score)), MR-tomographischen Flächen- und Volumenbestimmungen des M. subscapularis sowie spezifischen Innenrotations-Kraftmessungen (Kraftmessplatte) ermittelt und korreliert werden. Zudem wurde untersucht, in wieweit sich hierauf die Art und Ausdehnung der Ruptur, die Art der Versorgung und das Alter der Patienten auswirken.

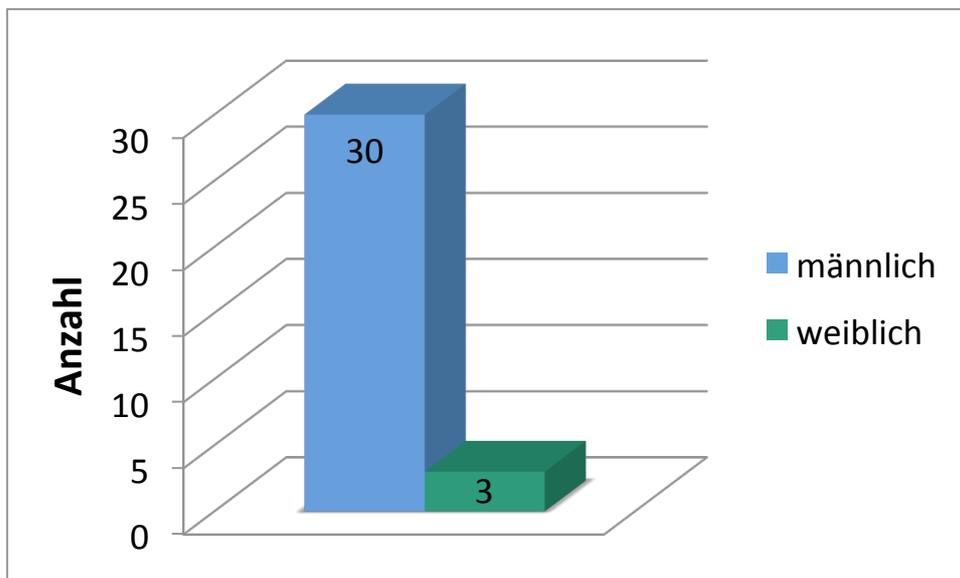
Die Ermittlung des Pearson-Korrelationskoeffizienten „r“ diente der Bestimmung des Zusammenhangs zweier normalverteilter Variablen. Bei nicht normalverteilten Variablen wurde das Maß der Verknüpfung durch den Spearman-Korrelationskoeffizienten bestimmt.

## **4. ERGEBNISSE**

### **4.1 Klinische Ergebnisse**

#### **4.1.1 Beschreibung des Gesamtkollektivs**

Die aus 33 Untersuchten bestehende Patientengruppe setzt sich zusammen aus drei Frauen und 30 Männern.



*Diagramm 3: Geschlechterverteilung.*

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation betrug 44,8 (13-64) Jahre. Die Männer waren durchschnittlich 44,5 (13-64) Jahre, die Frauen 48,3 (42-54).

Die unten abgebildete Tabelle zeigt die Altersverteilung des Patientenkollektivs in Abhängigkeit der Operationstechnik.

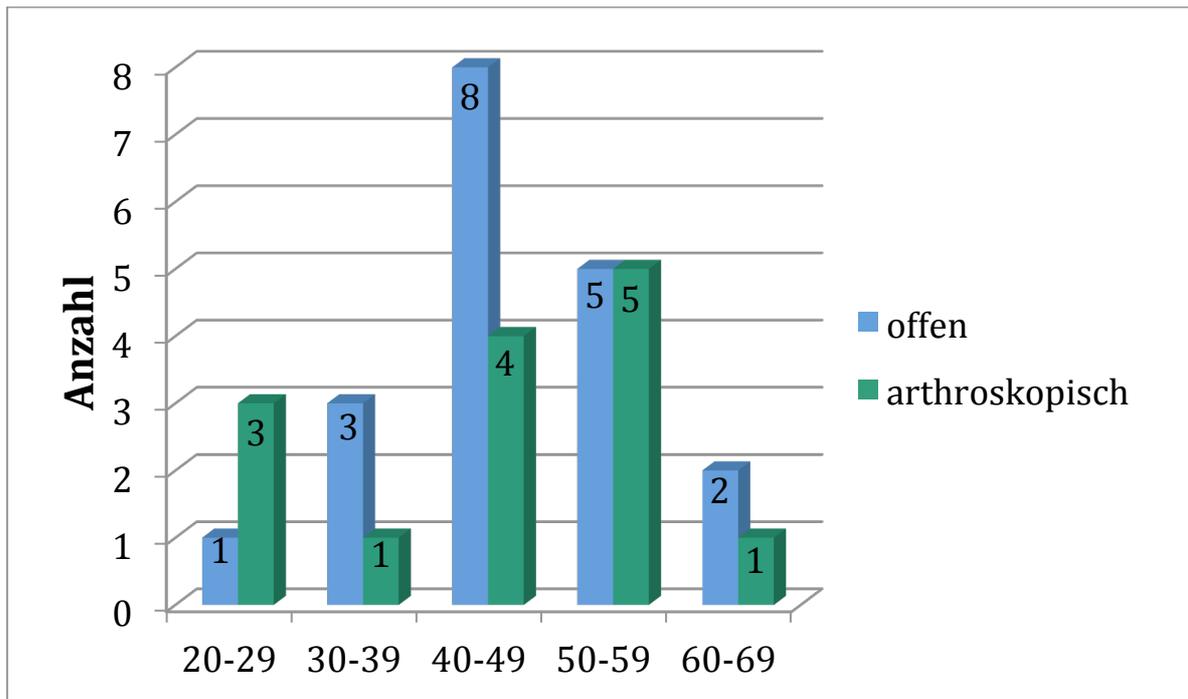


Diagramm 4: Altersverteilung des Patientenkollektivs.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter bei der Operation und Art der Versorgung sowie der Ätiologie der Läsion konnte nicht hergestellt werden ( $p > 0,05$ ).

Das symptomatische Intervall (Zeit zwischen Schmerzbeginn/Unfall und OP) lag bei den arthroskopisch behandelten Patienten durchschnittlich bei 4,5 Monaten (0,2 - 26,0), während bei den offen behandelten Patienten im Schnitt 3,8 Monate (0,1-13,0) vergingen.

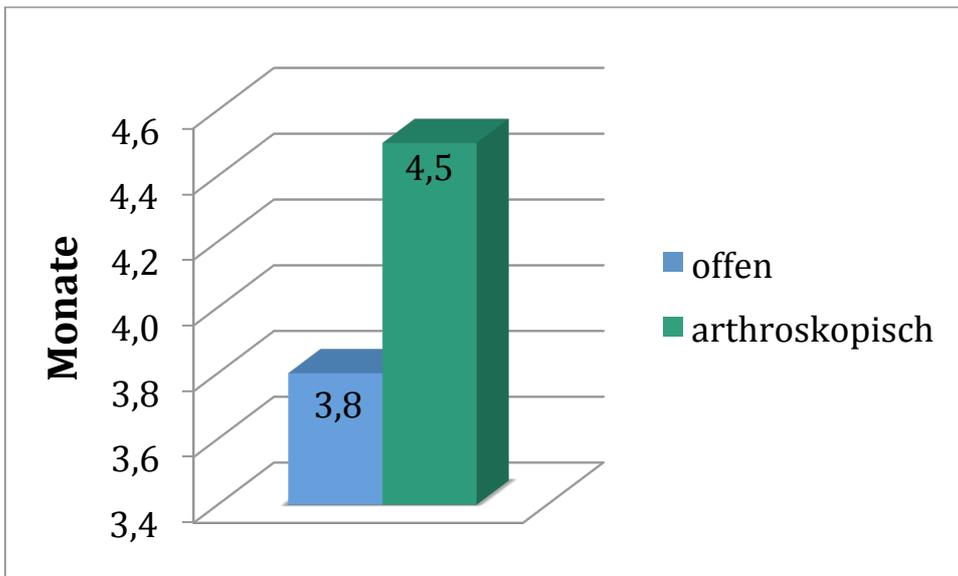


Diagramm 5: Symptomatisches Intervall der offen vs. arthroskopisch versorgten Patienten.

Ein Zusammenhang zwischen symptomatischem Intervall und Art der Versorgung sowie dem Alter bei der Operation konnte nicht nachgewiesen werden ( $p > 0,05$ ).

Als Ursache der Beschwerden gaben 26 (78,8%) Patienten ein traumatisches Ereignis an, während bei sieben Untersuchten (21,2%) kein relevantes Trauma eruiert war.

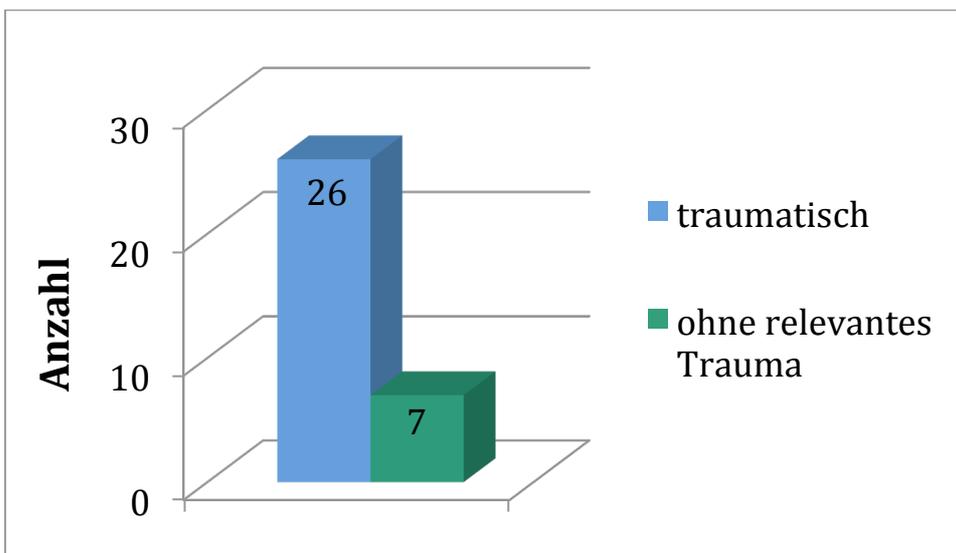


Diagramm 6: Rupturätiologie.

Die dominante Seite war in 21 Fällen (63,6%) betroffen, die nicht dominante Seite in zwölf Fällen (36,4%). Die rechte Schulter war in 22 Fällen (66,7 %) beteiligt, die linke Schulter in elf Fällen (33,3%).

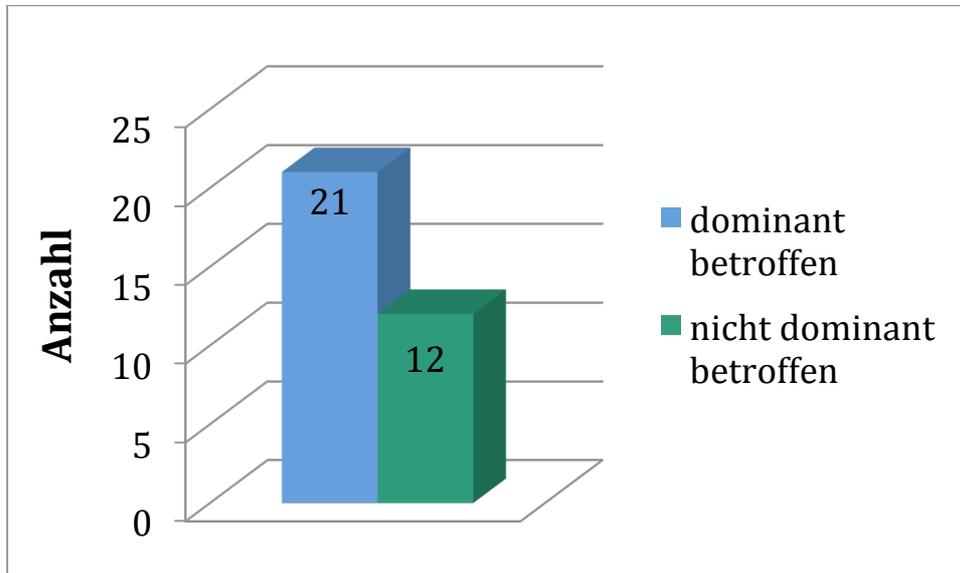


Diagramm 7: Beteiligung der betroffenen Extremität in Abhängigkeit von der Dominanz.

#### 4.1.2 Intraoperative Ergebnisse

Die isolierten SSC-Rupturen wurden bei 19 (57,6%) Patienten offen und bei 14 (42,4%) Patienten rein arthroskopisch rekonstruiert.

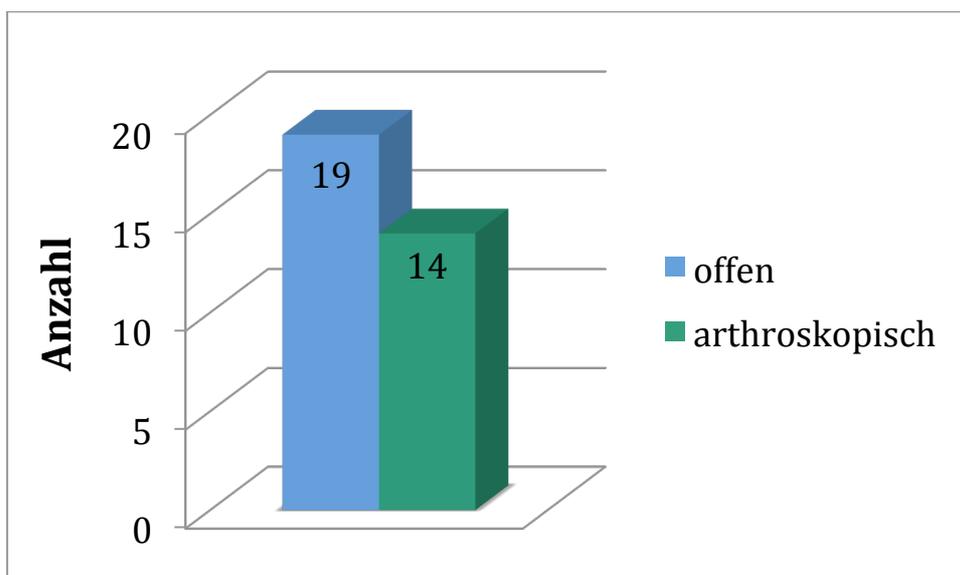


Diagramm 8: Verteilung der offenen vs. arthroskopischen Rekonstruktionstechnik.

Bei allen Patienten wurde in der Arthroskopie eine isolierte Ruptur der Subscapularissehne bestätigt.

In der intraoperativen Ruptureinteilung nach Fox & Romeo [38] zeigte sich in zwölf Fällen (36,4%) ein Riss des oberen Sehnenviertels (= Typ 2), wovon 58,3% (7/12) offen und 41,7% (5/12) arthroskopisch versorgt wurden.

Je zwei Patienten (=12,1%) wiesen eine Typ 3-Läsion auf. Eine Ruptur von über 50% des cranio-caudalen Sehnenansatzes (= Typ 4) konnte bei 17 (51,5%) Patienten nachgewiesen werden. Von diesen 17 Patienten wurden zehn (58,8%) in offener Technik und sieben (41,2%) rein arthroskopisch versorgt.

Zur Rekonstruktion der Subscapularissehnen-Rupturen wurden durchschnittlich 2,2 Anker (1-4) verwendet.

Patienten mit einer Typ 1-Ruptur, welche eine artikulareseitige Partialläsion des oberen Anteils der SSC-Sehne darstellt, waren nicht Bestandteil dieser Studie.

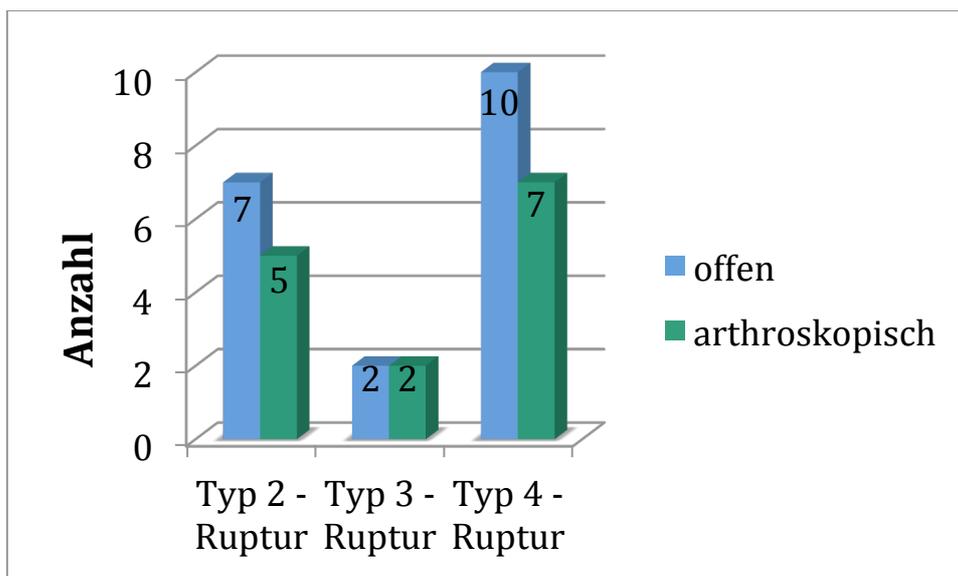


Diagramm 9: Intraoperative Rupturklassifikation nach Fox & Romeo.

Kein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) konnte zwischen der Rupturgröße, eingeteilt nach Fox & Romeo [38], und dem Alter bei der OP, dem symptomatischen Intervall und der OP-Technik hergestellt werden.

Der Grad der Sehnenretraktion konnte intraoperativ ermittelt werden (Einteilung siehe Kapitel 3. MATERIAL UND METHODEN).

Hierbei zeigte sich bei 13 (39,5 %) Patienten eine Retraktion 1. Grades und bei 17 (51,5%) Patienten eine Grad 2-Retraktion. Bei zwei Untersuchten (9%) war die Retraktion dem Grad 3 zuzuordnen.

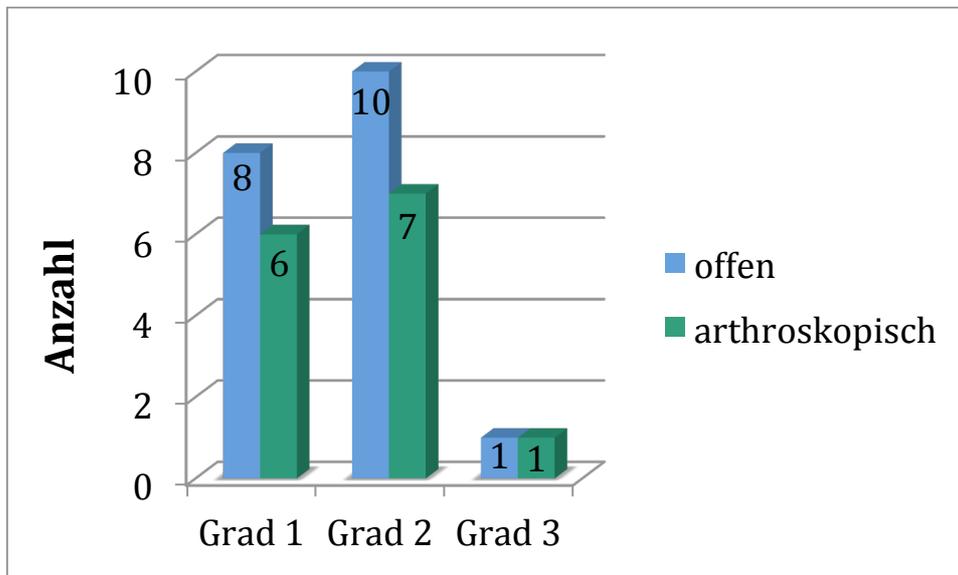


Diagramm 10: Einteilung der SSC-Sehnenretraktion.

Bezüglich des Alters bei der OP, der OP-Technik und des symptomatischen Intervalls konnte keine statistisch signifikante Korrelation ( $p > 0,05$ ) mit der Sehnenretraktion hergestellt werden.

Allerdings zeigte sich ein positiv signifikanter Zusammenhang von Sehnenretraktion und Rupturgröße ( $p < 0,05$ ).

Eine Beteiligung der langen Bizepssehne konnte in 69,7% der Fälle (23/33) festgestellt werden.

Dabei handelte es sich in drei Fällen (9,1%) um eine vollständige LBS-Ruptur, bei neun (27,3%) Patienten um eine Teilruptur. Eine Luxation nach medial fand sich bei drei Untersuchten (9,1%), eine Subluxation der LBS bei acht Patienten (24,2%).

Die LBS-Pathologien wurden zweimal (6,6%) mittels Tenotomie und in 21 (63,6%) Fällen mittels Tenodese versorgt.

Bei zehn Patienten (30,3%) fanden sich keine Auffälligkeiten an der langen Bizepssehne.

Eine Pulley-Läsion konnte in 48,5% der Fälle (16/33) diagnostiziert werden, wohingegen sich eine HAGL-Läsion nur bei vier Patienten (13,2%) fand.

Bei einem Patienten (3%) erfolgte aufgrund einer Bankart-Läsion zusätzlich ein Bankart-Repair mittels arthroskopischer Kapsel-Labrum-Refixation.

Eine Re-Operation musste bei zwei Patienten (6,1%) erfolgen. Bei einem dieser zwei Patienten wurde aufgrund persistierender Schmerzen verbunden mit starker Bewegungseinschränkung gut elf Monate nach der Operation eine arthroskopische Arthrolyse durchgeführt. Der andere Patient wurde zehn Wochen postoperativ aufgrund einer MR-tomographisch gesicherten Re-Ruptur erneut mittels offener Rekonstruktion versorgt. Im Verlauf zeigte sich nach intensiven physiotherapeutischen Bewegungs- und Kräftigungsübungen eine deutliche Schmerzreduktion bei gleichzeitig signifikanter Bewegungszunahme der betroffenen Schulter.

Postoperative Komplikationen wie Hämatome, Gelenkinfektionen, Ankerdislokationen, neurologische Auffälligkeiten oder Weichteilinfekte konnten bei keinem der 33 Patienten festgestellt werden.

#### **4.1.3 Klinische Ergebnisse der Untersuchung**

Zum finalen Nachuntersuchungszeitpunkt waren die Patienten im Durchschnitt 47,6 (15-66) Jahre alt, die Männer 47,2 (15-66) und die Frauen 51,3 (45-55) Jahre. Das „Follow-up“ betrug durchschnittlich 32,5 Monate.

Die Funktion des Musculus subscapularis wurde klinisch anhand zweier spezifischer Tests beurteilt:

1. Lift-Off - Test
2. Belly-Press - Test

Präoperativ zeigte sich bei 21 Untersuchten (63,4%) ein positiver und bei acht (24,3%) Patienten ein negativer Lift-Off - Test (vier Patienten (12,1%) waren aufgrund schmerzbedingt eingeschränkter Innenrotationfähigkeit nicht in der Lage, die Ausgangsposition (Lift-Off - Position) zu erreichen. Postoperativ fand sich bei 28 (84,8%) Patienten ein negativer Lift-Off - Test und in fünf Fällen (15,2%) ein positiver Test.

<b>Lift-Off - Test</b>	<b>Präoperativ</b>	<b>Postoperativ</b>
negativ	8 (24,3%)	28 (84,8%)
positiv	21 (63,6%)	5 (15,2%)
nicht durchführbar (nd)	4 (12,1%)	---

*Tab. 3: Ergebnisse des Lift-Off - Tests.*

Von den vier Patienten, die präoperativ nicht die Ausgangsposition des Lift-Off - Tests erreichen konnten, zeigten alle postoperativ einen positiven Test.

16 der 21 Personen (76,2 %) mit präoperativ positivem Lift-Off - Test zeigten postoperativ ein negatives Ergebnis, bei 23,8 % (5/21) blieb auch postoperativ ein positiver Test bestehen. Hierbei handelt es sich durchwegs um Patienten mit höhergradiger Sehnenretraktion sowie vermehrter Außenrotationseinschränkung und den Patienten mit der Re-Ruptur.

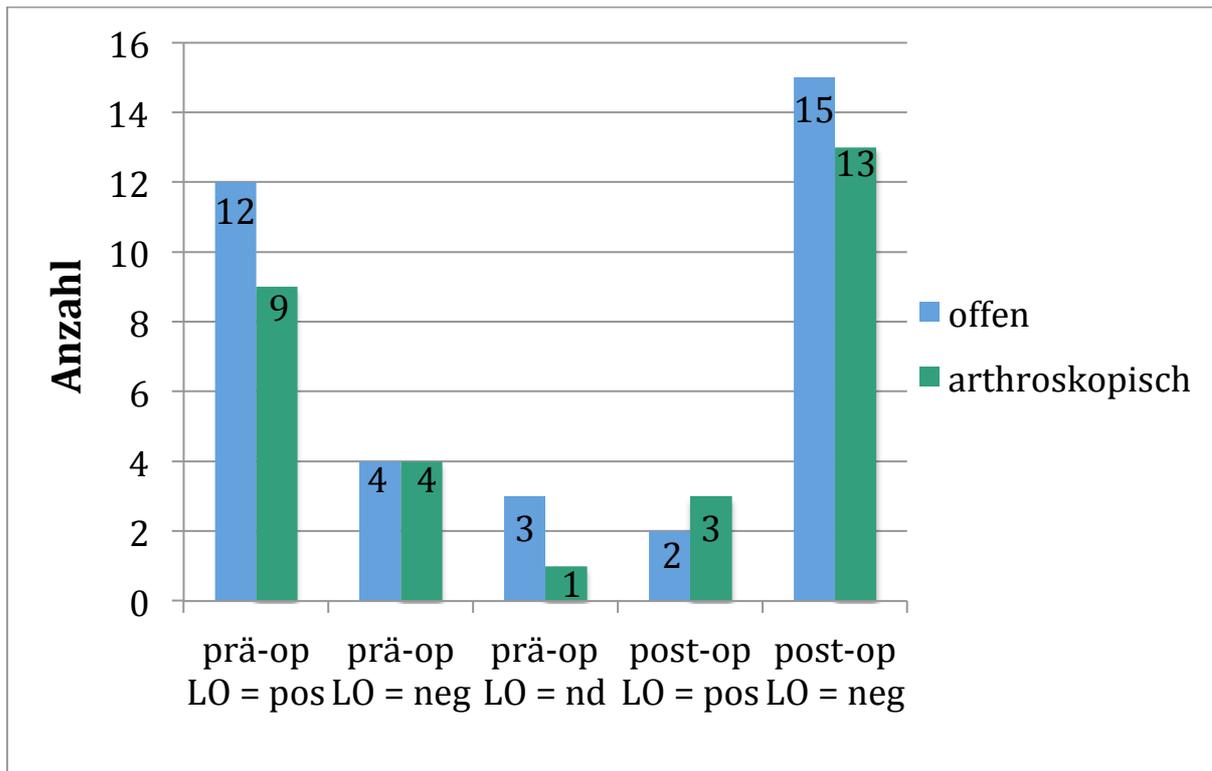


Diagramm 11: Prä- und postoperative klinische Ergebnisse des Lift-Off - Tests der betroffenen Schulter in Abhängigkeit von der OP-Technik.

In der statistischen Auswertung konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen positivem postoperativem Lift-Off - Testergebnis und der Art der operativen Versorgung (offen vs. arthroskopisch) ermittelt werden ( $p > 0,05$ ).

Dagegen korrelierten positive postoperative Lift-Off - Testergebnisse signifikant positiv ( $p < 0,05$ ) mit der Rupturgröße sowie dem Ausmaß der Sehnenretraktion.

Die SSC-Funktionsprüfung mittels Belly-Press - Test ergab postoperativ in sieben Fällen (21,2%) ein positives Bild. Bei 26 der 33 Patienten (78,8%) fiel dieser Test negativ aus. Verglichen mit den präoperativen Ergebnissen, bei denen fünf Patienten (15,2%) einen negativen und noch 28 (84,9%) einen positiven Test zeigten, lässt sich postoperativ eine deutliche Verbesserung im Belly-Press - Test aufzeigen.

Belly-Press - Test	Präoperativ	Postoperativ
negativ	5 (15,2%)	26 (78,8%)
positiv	28 (84,8%)	7 (21,2%)

Tab. 4: Ergebnisse des klinischen Belly-Press - Tests prä- und postoperativ.

Von den 28 präoperativ positiven Tests (84,8%) konnten durch die Operation 75% (21/28) in ein negatives Ergebnis umgewandelt werden. In sieben der 28 Fälle (25%) blieb das präoperativ positive Resultat auch postoperativ bestehen. Hierbei handelte es sich um Patienten mit einer Typ 4- Läsion sowie den Patienten mit der Re-Ruptur.

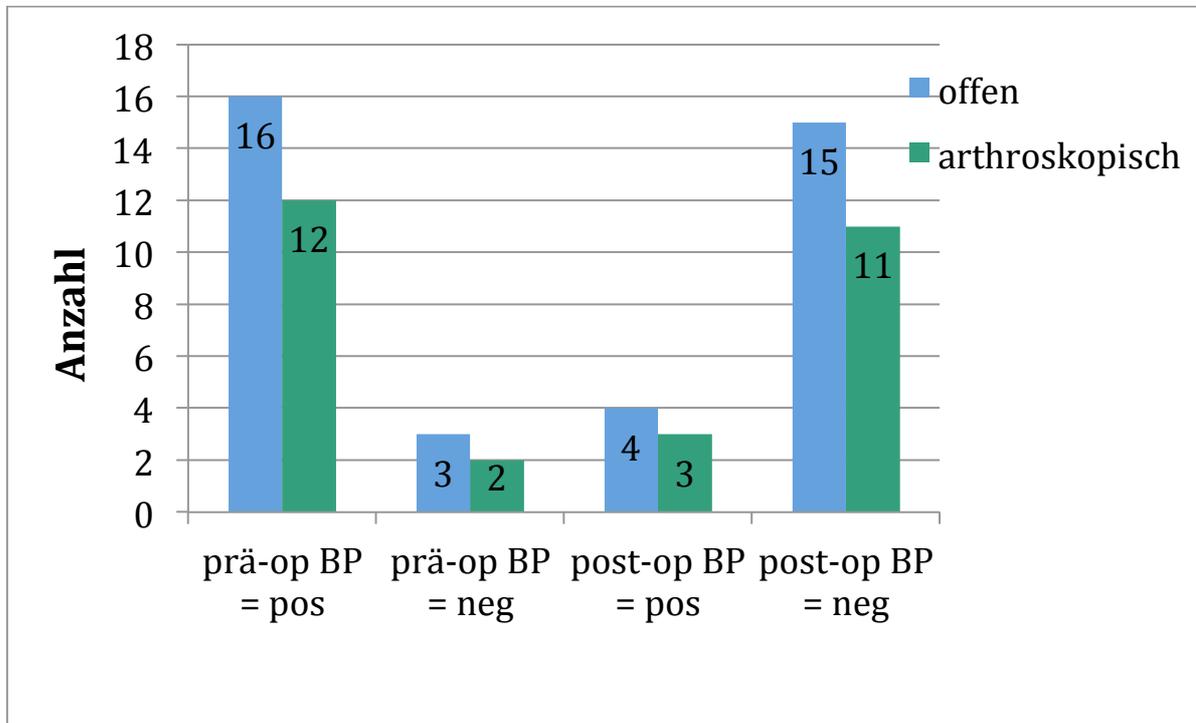


Diagramm 12: Prä- und postoperative klinische Ergebnisse des Belly-Press - Tests der betroffenen Schulter in Abhängigkeit von der OP-Technik.

Ein signifikant positiver Zusammenhang ( $p < 0,05$ ) ließ sich zwischen einem positiven postoperativen Belly-Press - Testergebnis und dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation, der Rupturgröße sowie dem Ausmaß der Sehnenretraktion herstellen

Kein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) konnte zwischen einem positiven postoperativen Belly-Press - Testergebnis und der Art der operativen Versorgung (offen vs. arthroskopisch) ermittelt werden.

In der klinischen Funktionsprüfung der Bewegungsumfänge fanden sich, wie die unten aufgeführte Tabelle demonstriert, keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) zwischen operierter und kontralateraler Seite weder bezüglich Anteversion noch bezüglich Abduktion.

Die Außenrotation betreffend zeigten sich statistisch signifikant geringere Werte ( $p < 0,05$ ) an der operierten Seite als kontralateral. Darüber hinaus korrelierte eine Außenrotationseinschränkung von  $> 10^\circ$  der betroffenen Seite im Vergleich zur kontralateralen Schulter signifikant positiv ( $p < 0,05$ ) mit der Größe der Ruptur.

<b>Untersuchung postoperativ</b>	<b>OP-Seite</b>	<b>kontralateral</b>
Anteversion	171,4°	173,2°
Abduktion	172,5°	174,7°
Außenrotation	57,3°	63,8°

Tab. 5: *Bewegungsausmaß postoperativ.*

Der Bewegungsumfang der Innenrotation wurde dezidiert in der unten dargestellten Tabelle anhand der mit dem Daumen erreichbaren Strukturen auf der Körperrückseite dokumentiert:

<b>Innenrotation</b>	<b>Häufigkeit</b>	
	<b>OP-Seite</b>	<b>kontralateral</b>
Höhe		
Schulter (interscapular)	6 (18,2 %)	15 (45,5 %)
BWS (BWK 12)	15 (45,5 %)	17 (51,5 %)
LWS (LWK 3)	12 (36,4 %)	1 (3 %)
Lumbosakraler Übergang	0	0
Gluteal	0	0
Oberschenkel (Außenseite)	0	0

Tab. 6: *Postoperative Innenrotationsfähigkeit im Vergleich zur kontralateralen, gesunden Seite.*

Bei der Innenrotationsfähigkeit zeigten sich postoperativ deutliche Unterschiede zwischen der operierten und der kontralateralen Seite.

So kamen zwölf der 33 Patienten (36,4%) nur bis zur Lendenwirbelsäule (Höhe LWK 3), während dies kontralateral nur ein Patient (3%) war. Des Weiteren ist festzustellen, dass postoperativ 63,7% (21/33) der Untersuchten auf der betroffenen Seite ein gutes Bewegungsausmaß hinsichtlich der Innenrotation haben, während es kontralateral 97% (32/33) sind.

Statistisch zeigt sich bezüglich der Innenrotationsfähigkeit auf der operierten Seite im Vergleich zur kontralateralen Seite eine signifikante Bewegungseinschränkung ( $p < 0,05$ ).

## 4.2 Scores

### 4.2.1 Constant-Murley Schulter Score

Der durchschnittliche Wert im Constant-Murley Schulter Score lag präoperativ bei  $48,42 \pm 8,1$  Punkten. Durch die operative Rekonstruktion zeigte sich eine hoch signifikante Score-Verbesserung ( $p < 0,001$ ) bei postoperativ durchschnittlichen Werten von  $79,6 \pm 12,3$  Punkten.

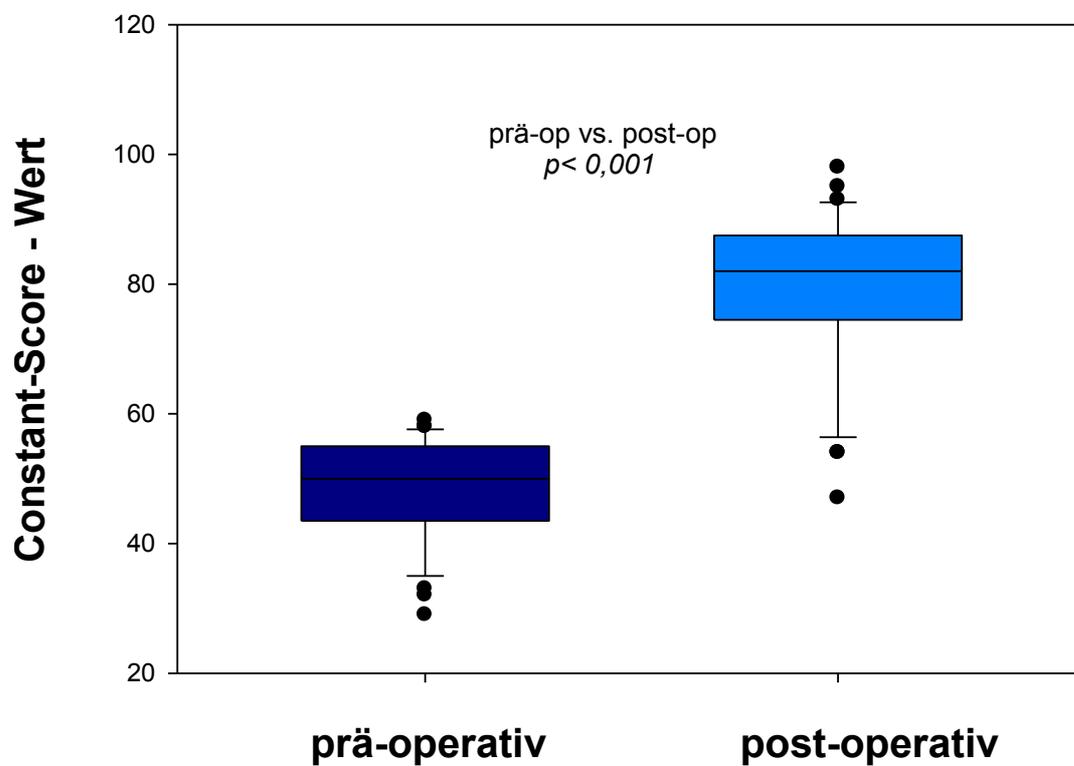


Diagramm 13: Constant-Score präoperativ vs. postoperativ.

Alters- und geschlechtsadaptiert fand sich ein Durchschnittswert von  $89,1 \% \pm 13,3$ .

Kategorie	Postoperativ: insgesamt	Männer: postoperativ	Frauen: postoperativ
Constant-Score (100 Punkte)	79,58 ± 12,3	80,33 ± 12,5	72,00 ± 6,6
<b>Constant-Score age- and gender-related in %</b>	<b>89,12 ± 13,3</b>	<b>88,47 ± 13,5</b>	<b>95,67 ± 10,7</b>
Schmerz (15 Punkte)	13,0 ± 3,3	13,0 ± 3,4	13,3 ± 2,9
Aktivitätsniveau (10 Punkte)	8,6 ± 1,9	8,7 ± 1,9	8,0 ± 2,6
Alltagsaktivität (10 Punkte)	9,4 ± 1,3	9,4 ± 1,3	10,0 ± 0
Funktion (40 Punkte)	36,2 ± 3,4	36,4 ± 3,1	34,7 ± 6,1
Kraft in kg (25 Punkte)	12,2 ± 6,2 kg	12,9 ± 6,1	6,0 ± 1,7

Tab. 7: Mittelwerte des Constant-Murley Scores postoperativ.

Bezüglich der Gruppierungen der offen bzw. arthroskopisch behandelten Patienten zeigten sich postoperativ sowohl im absoluten als auch im age- and gender-related Constant-Score keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ).

Darüber hinaus findet sich ein hochsignifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001$ ) zwischen einem niedrigen postoperativen Wert im Constant-Score bzw. im AGRCS und pathologischen Lift-Off - Tests postoperativ.

Der postoperative Constant-Score sowie der AGRCS korrelieren signifikant negativ ( $p < 0,05$ ) mit der Dauer des symptomatischen Intervalls.

Kein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) konnte zwischen hohen postoperativen Werten im Constant-Score bzw. dem AGRCS und der Rupturgröße sowie dem Ausmaß der Sehnenretraktion ermittelt werden.

Anhand der erzielten Punktwerte im ungewichteten Constant-Murley Score erfolgte postoperativ die Beurteilung des funktionellen Outcomes.

18,2% (6/33) der Patienten erreichten postoperativ ein „ausgezeichnetes“, 39,4% (13/33) ein „gutes“, 27,3% (9/33) ein „befriedigendes“ und 15,2% (5/33) ein „ausreichendes“ Resultat. Die Schulterfunktion keines Patienten wurde als „schlecht“ beurteilt.

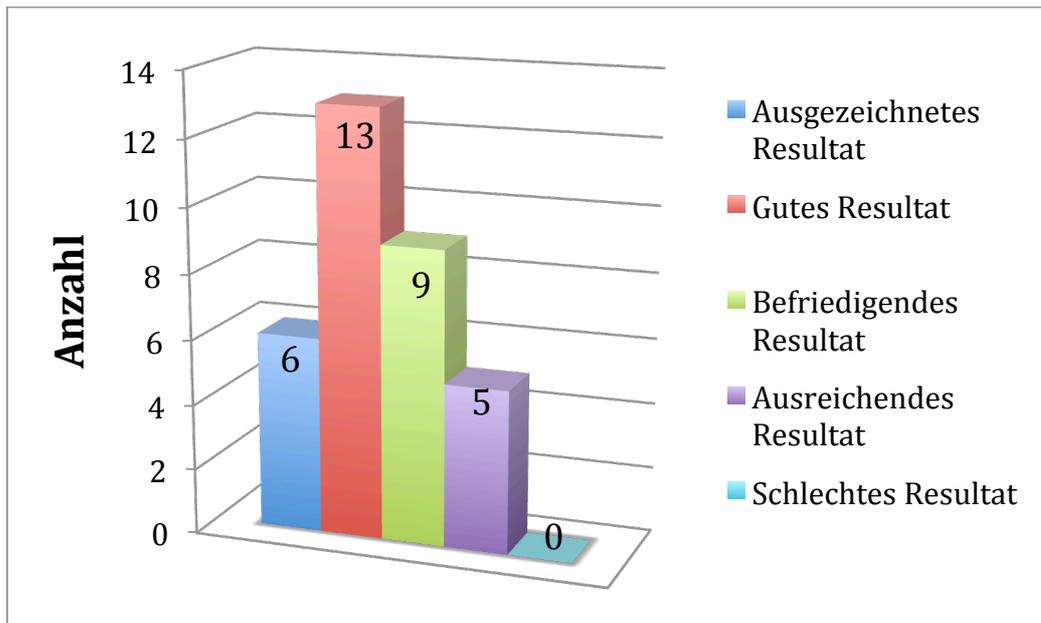


Diagramm 14: Beurteilung des ungewichteten Constant-Scores postoperativ.

In der Gruppe mit Constant-Score - Werten unter 70 Punkten gaben die Patienten neben ihrer postoperativen Unzufriedenheit eine mäßige funktionelle Einschränkung der Schulter verbunden mit intermittierenden Schmerzen an.

## 4.2.2 Postoperative Zufriedenheit

In der nach Iannotti [66] modifizierten Einteilung bezüglich der subjektiven postoperativen Zufriedenheit erreichten 30,3% (10/33) ein „normales“ Resultat, 42,4% (14/33) ein „fast normales“ Resultat und 12,1% (4/33) einen „verbesserten Status“, während 15,2% (5/33) ein „schlechtes“ Ergebnis beschrieben.

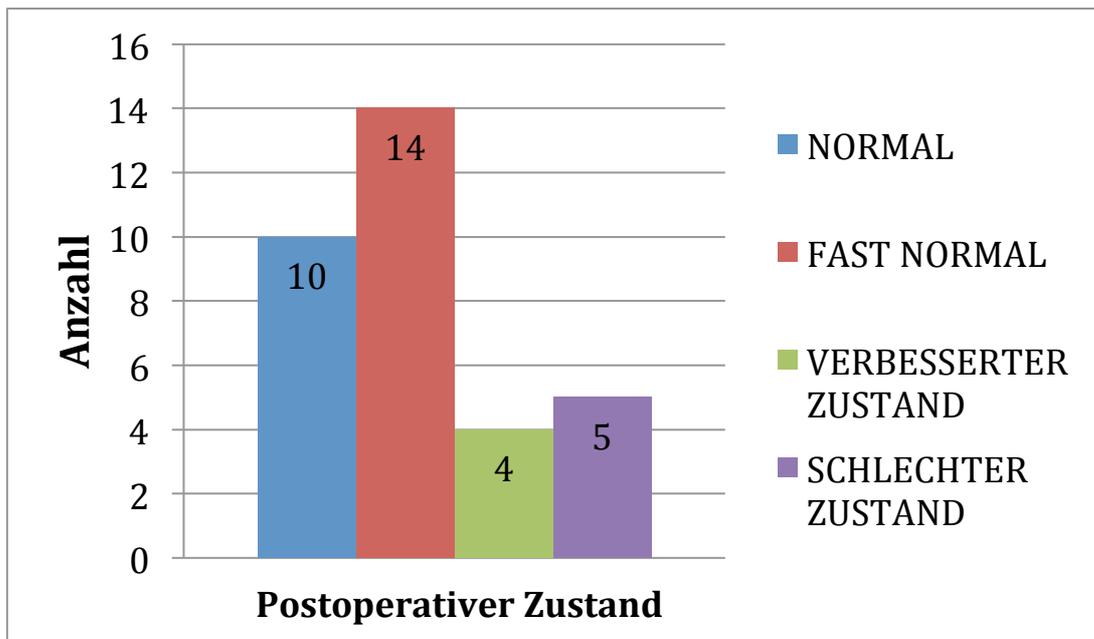


Diagramm 15: Zusammenhang zwischen postoperativem Resultat und subjektiver Zufriedenheit in Anlehnung an Iannotti [66].

84,5% (28/33) der Patienten waren demnach mit dem postoperativen Ergebnis zufrieden.

Ein signifikanter Unterschied bezüglich des postoperativen Zustandes zwischen den offen und den rein arthroskopisch therapierten Patienten konnte nicht nachgewiesen werden ( $p > 0,05$ ).

### 4.2.3 Visuelle Analogskala

Bei der subjektiven Schmerzintensitätseinschätzung der Patienten, ausgedrückt durch die 10-skalige visuelle Analogskala (VAS), gaben die Untersuchten präoperativ einen durchschnittlichen Wert von  $6,3 \pm 2,8$  an.

Postoperativ, zum Zeitpunkt der Untersuchung, betrug dieser Wert bei den 33 Patienten nur noch  $0,9 \pm 1,8$ .

Somit lässt sich eine hochsignifikante Verbesserung ( $p < 0,001$ ) der Schmerzen von stark bis sehr stark zu sehr gering bis schmerzfrei erkennen.

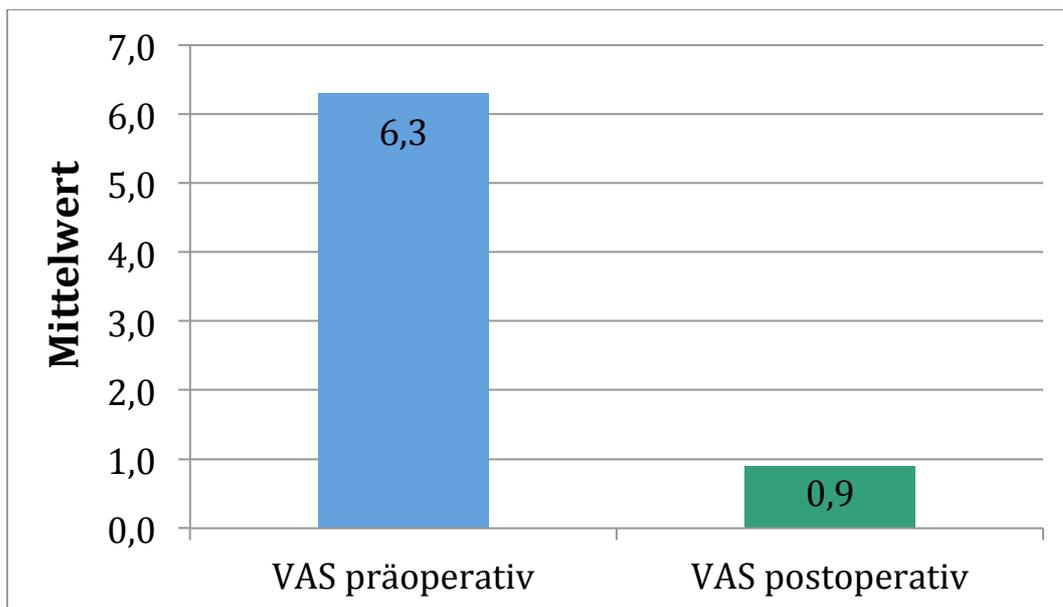


Diagramm 16: Mittelwerte der VAS prä- und postoperativ.

In der statistischen Auswertung korrelieren hohe Werte in der VAS, sowohl prä- als auch postoperativ, hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) mit niedrigen Werten im Constant-Murley Score sowie im AGRCS. Gleiches findet sich hinsichtlich der Dauer des symptomatischen Intervalls.

Zudem lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,05$ ) von starken postoperativen Schmerzen und pathologischen Lift-Off - Tests erkennen.

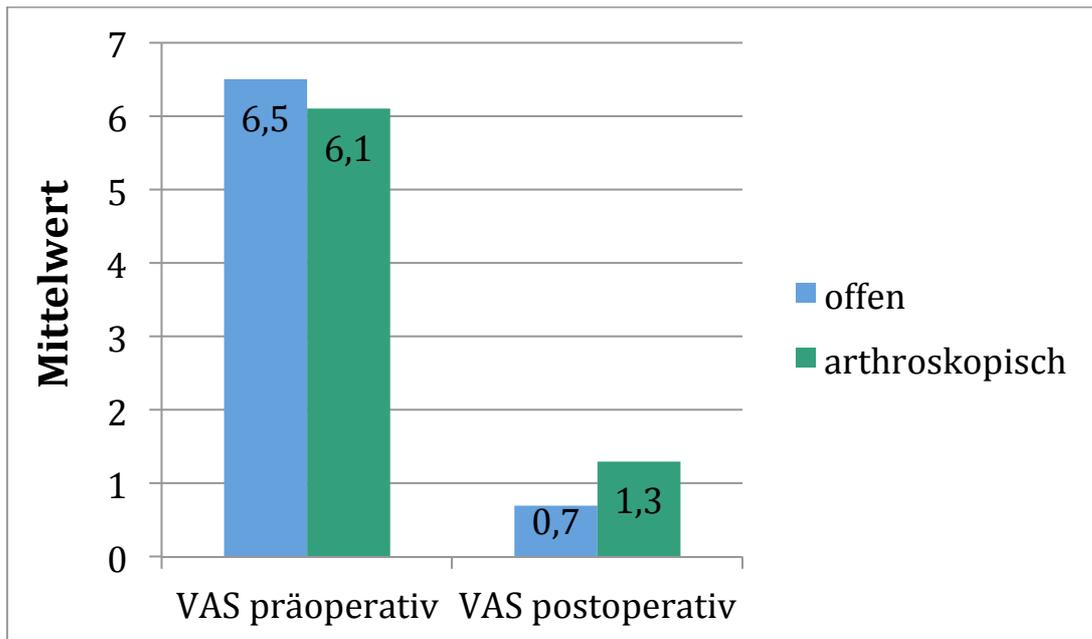
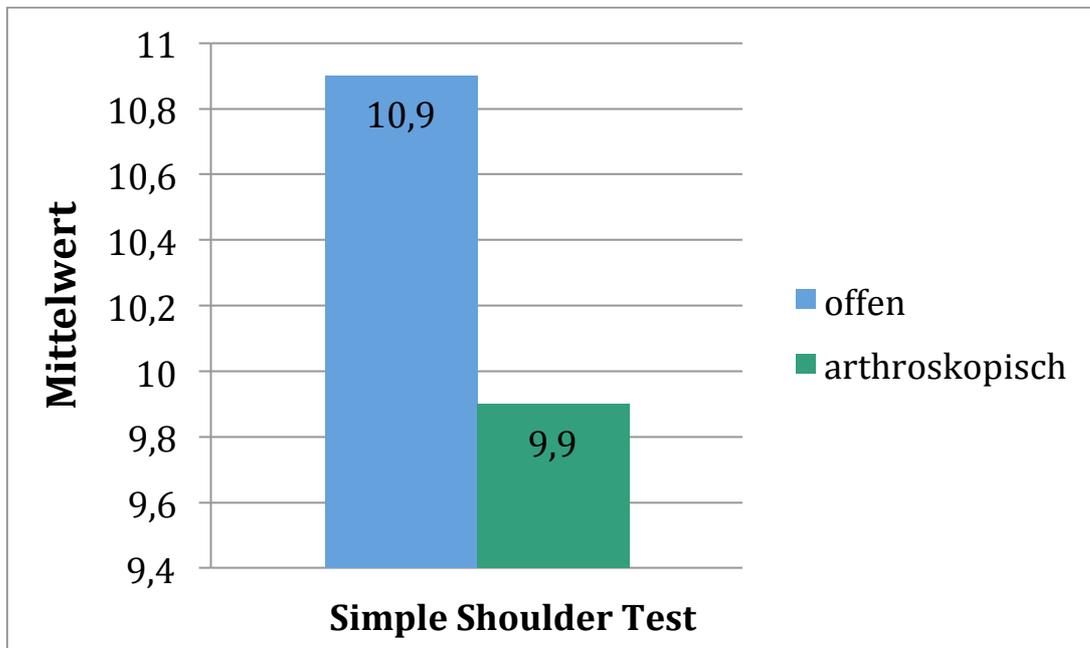


Diagramm 17: Mittelwerte der VAS prä- und postoperativ in Abhängigkeit von der OP-Technik.

Bezüglich der OP-Technik (offen vs. arthroskopisch) fanden sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) in der prä- und postoperativ bestimmten VAS. Auch die Rupturgröße und das Ausmaß der Sehnenretraktion konnten nicht in einen statistisch signifikanten Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) mit der VAS gebracht werden.

#### **4.2.4 Simple Shoulder Test**

Im SST zeigt sich in der Gruppe der offen therapierten Patienten ein um einen Punkt höherer Wert im Vergleich zur rein arthroskopisch operierten Gruppe, ein statistisch signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht ermittelt werden ( $p > 0,05$ ).



*Diagramm 18: Mittelwerte des postoperativen Simple Shoulder Tests (SST) in Abhängigkeit von der Versorgungsart.*

### 4.3 Kraftmessung des M. subscapularis

Die SSC-spezifische postoperative Muskelkraft wurde mit einer Kraftmessplatte bestimmt. Als Testpositionen wurden die Lift-Off - und die Belly-Press - Position ausgewählt. Wie Tokish et al [127] und Pennock et al [101] in ihren elektromyographischen Arbeiten zeigen, sind die Lift-Off - und die Belly-Press - Position die einzigen Stellungen (max. Innenrotations-Position), in welcher der M. subscapularis von allen anderen Innenrotatoren am meisten isoliert ist. Dadurch ist nur in diesen beiden Positionen eine aussagekräftige und objektivierbare Messung der Muskelkraft des SSC möglich.

Position	Insgesamt	
	OP-Seite	kontralateral
<b>Belly-Press</b>	71,9 N	87,6 N
<b>Lift-Off</b>	53,6 N	72,9 N

Tab. 8: Kraftmessergebnisse (Mittelwert) in Lift-Off - und Belly-Press - Position.

Wie die oben dargestellte Tabelle demonstriert, wiesen die SSC-Kraftwerte der operierten Schulter sowohl in Lift-Off - als auch in Belly-Press - Position signifikant ( $p < 0,05$ ) verminderte Kraftwerte im Vergleich zur Gegenseite auf.

Der durchschnittliche postoperative Kraftwert der betroffenen Schulter in Belly-Press-Position betrug  $71,9 \pm 30,9$  Newton, kontralateral durchschnittlich  $87,6 \pm 35,8$  Newton.

In Lift-Off - Position fand sich an der operierten Seite ein durchschnittlicher Kraftwert von  $53,6 \pm 36$  Newton, auf der kontralateralen Seite von  $72,9 \pm 36,1$  Newton.

Bezüglich der OP-Technik (offen vs. arthroskopisch) sowie der erreichten Werte im Constant-Score bzw. AGRCS zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge ( $p > 0,05$ ) mit den Ergebnissen der SSC-Kraftmessung in Belly-Press - und Lift-Off - Position.

### Vergleich der mittels Kraftmessplatte in Belly-Press - und Lift-Off - Position ermittelten SSC-Kraftwerte mit einer Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe (KG) bestand aus insgesamt 96 Personen, 42 (45,7%) Frauen und 54 (54,3%) Männern. Der Altersdurchschnitt betrug 45,9 Jahre (20-79).

Die Personen der Kontrollgruppe hatten weder Schulterprobleme (vorangegangenes Trauma, Schmerzen, Bewegungseinschränkung, etc.) noch eine Voroperation an der Schulter.

Bei der SSC-Kraftmessung der KG in Belly-Press - und Lift-Off - Position fanden sich, wie in der unten dargestellten Grafik ersichtlich, keine signifikanten ( $p > 0,05$ ) Kraftunterschiede zwischen der dominanten und der kontralateralen Seite.

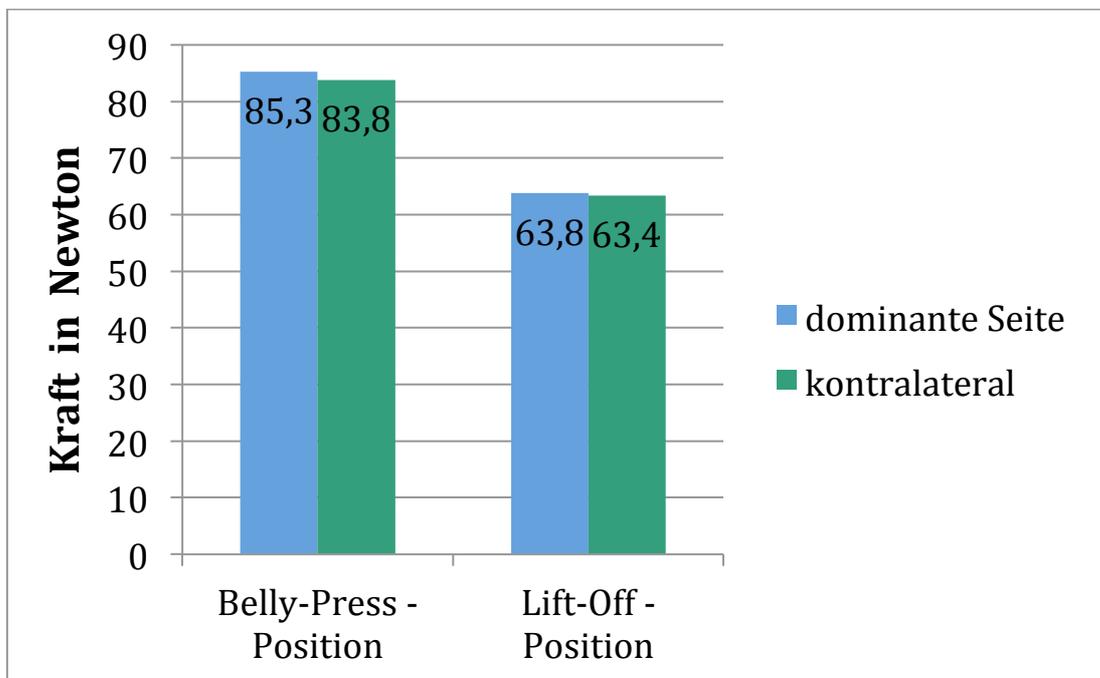


Diagramm 19: Kraftmessung (Mittelwert) der dominanten und der kontralateralen Seite mittels Kraftmessplatte bei der Kontrollgruppe in Belly-Press - und Lift-Off - Position.

Dies wiederum zeigt, dass der ermittelte signifikante SSC-Kraftunterschied des Patientenkollektivs zwischen operierter Schulter und kontralateral nicht mit der Dominanz der Seite, sondern ausschließlich mit einer resultierenden postoperativen Kraftminderung zu erklären ist.

## 4.4 Radiologische Ergebnisse

### 4.4.1 Röntgen

Die standardmäßig durchgeführten konventionell-radiologischen Untersuchungen der Schulter in zwei Ebenen („true-ap“, „Y“) wurden auch im Rahmen der Nachuntersuchungen durchgeführt.

Bei einem durchschnittlichen Alter von 47,6 Jahren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigten sich in der nach Samilson [116] benannten Klassifikation der Schultergelenksarthrose in 17 von 33 Fällen (51,5%) keinerlei Arthrosezeichen. Bei 14 (42,4%) Patienten fand sich eine milde Arthrose mit Osteophythen <3mm (Samilson 1), während bei zwei der 33 Nachuntersuchten (6,1%) mäßige arthrotische Veränderungen (Samilson 2) nachgewiesen werden konnten.

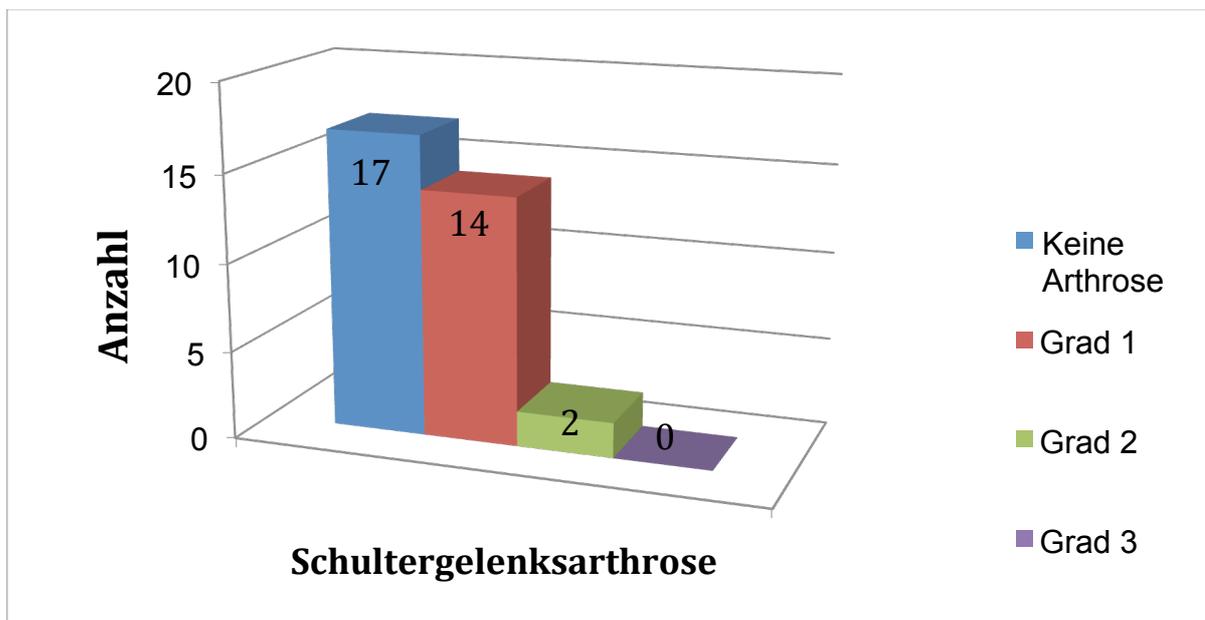


Diagramm 20: Einteilung der Schultergelenksarthrose nach Samilson (Grad 1-3).

Im Vergleich mit den präoperativen Röntgenaufnahmen zeigte sich postoperativ keine statistisch signifikante ( $p > 0,05$ ) Progredienz der Arthrosezeichen.

## **4.4.2 Magnetresonanztomographie**

Mit Hilfe der Magnetresonanztomographie wurde, wie bereits in Kapitel 3.5.2 deziert beschrieben, das Ausmaß der postoperativen Atrophie untersucht. Dazu wurden in standardisierten Schichten („Y“-Schicht) die Muskelquerschnittsfläche sowie der vertikale, der kranial-transversale sowie der kaudal-transversale Durchmesser des SSC bestimmt. Darüber hinaus wurde der Grad der postoperativen fettigen Infiltration des M. subscapularis ermittelt. Im Anschluss wurde untersucht, ob ein Zusammenhang von Muskelatrophie und fettigem Infiltrationsgrad mit den klinischen Testergebnissen, den Ergebnissen im Constant Score, den SSC-Kraftmessungen sowie der OP-Technik besteht.

### **4.4.2.1 Sehnenintegrität und fettiger Infiltrationsgrad des M. subscapularis**

Die fettige Infiltration des M. subscapularis wurde in Anlehnung an Goutallier [49] bzw. MRT-adaptiert nach Fuchs [39] in die Grade „0-4“ eingeteilt. Bildmorphologisch dienten dabei die parasagittalen Sequenzen zur Beurteilung der postoperativen fettigen Infiltration [39].

Jeweils elf Patienten konnten in *Grad 0* und *Grad 1* (insg. 22/27 = 81,5%) eingestuft werden. Unter *Grad 2* fielen 14,8% (4/27) der Untersuchten. Nur ein Patient (3,7%) wurde gemäß des *Verfettungsgrades 3* eingestuft.

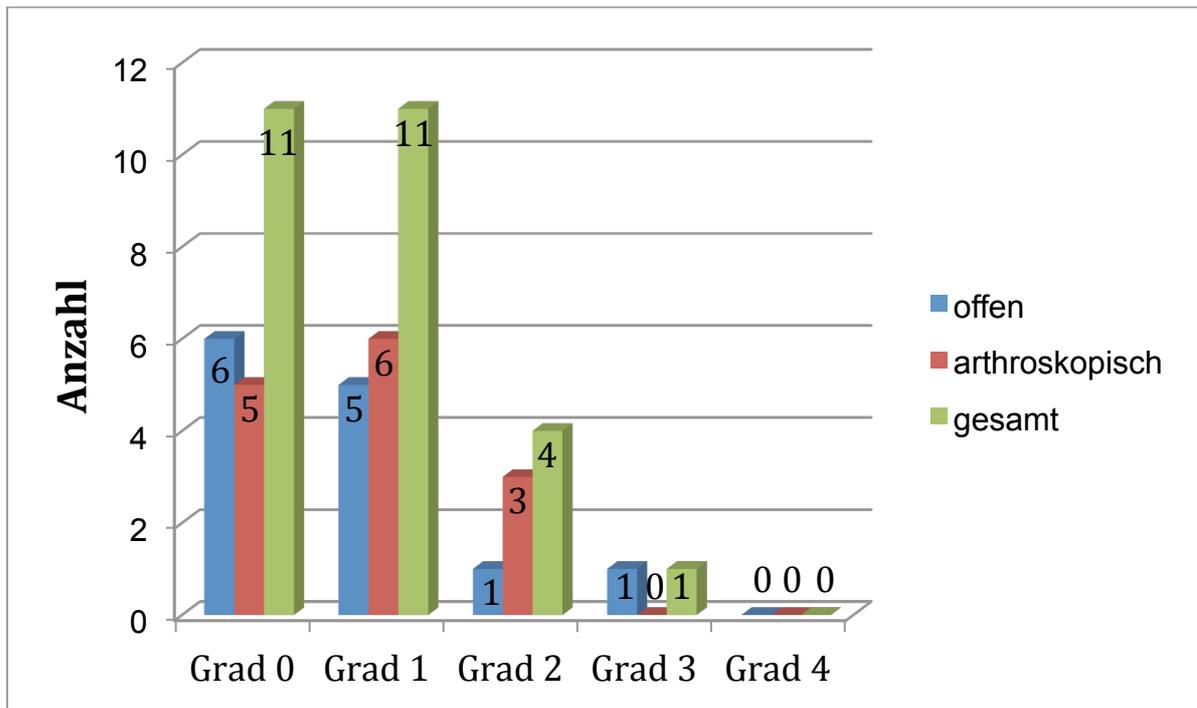


Diagramm 21: Übersicht über den postoperativen Muskelverfettungsgrad nach Goutallier in Abhängigkeit von der Versorgungsart.

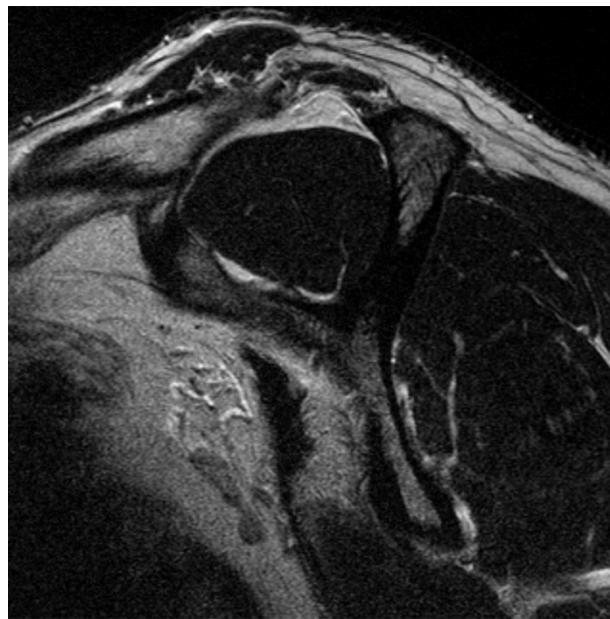


Abb. 25: M. subscapularis mit kranialer, fettiger Infiltration.

In der statistischen Auswertung zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,05$ ) eines hohen Grades der fettigen Infiltration mit einem höhergradigen Rupturausmaß des SSC, einer ausgeprägten Sehnenretraktion sowie einer geringen, MR-tomographisch bestimmten Muskelfläche.

Kein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) konnte bezüglich der OP-Technik (offen vs. arthroskopisch), pathologischer klinischer Tests oder hoher Werte in der SSC-Kraftmessung mittels KMP nachgewiesen werden.

#### 4.4.2.2 Bestimmung der Querschnittsfläche des M. subscapularis

Die Muskelquerschnittsfläche des M. subscapularis betrug postoperativ an der operierten Schulter durchschnittlich  $2017,2 \pm 566,9 \text{ mm}^2$ .

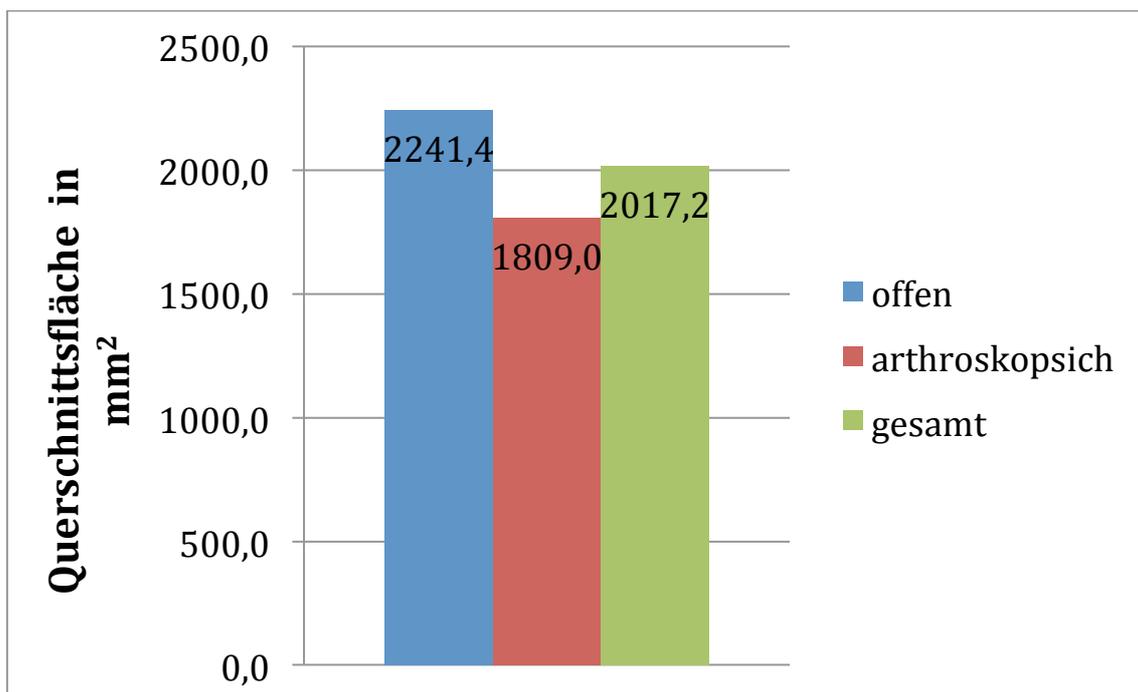


Diagramm 22: Postoperative Muskelquerschnittsfläche ( $\text{mm}^2$ ) des M. subscapularis in Abhängigkeit von der OP-Technik.

Bezüglich der OP-Technik (offen vs. arthroskopisch) zeigte sich eine signifikant größere postoperative Fläche ( $p < 0,05$ ) des M. subscapularis bei dem offen operierten Kollektiv im Vergleich zu den arthroskopisch versorgten Patienten. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit höheren Constant-Score - Werten oder höheren Werten in der SSC-Kraftmessung konnte nicht nachgewiesen werden ( $p > 0,05$ ).



*Abb. 26: Bestimmung der Muskelfläche des M. subscapularis.*

#### 4.4.2.3 Bestimmung der Muskeldurchmesser des M. subscapularis

Neben der Muskelquerschnittsfläche wurden in den parasagittalen MRT-Sequenzen drei standardisierte Muskeldurchmesser (vgl. Kapitel 3.5.2) bestimmt – der vertikale, der kranial-transversale und der kaudal-transversale.

Für den kranial-transversalen Durchmesser ergab sich ein Durchschnittswert von  $23,8 \pm 6,6$  mm<sup>2</sup>, für den kaudal-transversalen ein durchschnittlicher Wert von  $29,1 \pm 7,4$  mm<sup>2</sup>.

Hinsichtlich des vertikalen Durchmessers ließ sich beim Patientenkollektiv ein Durchschnittswert von  $80,0 \pm 9,9$  mm<sup>2</sup> ermitteln.

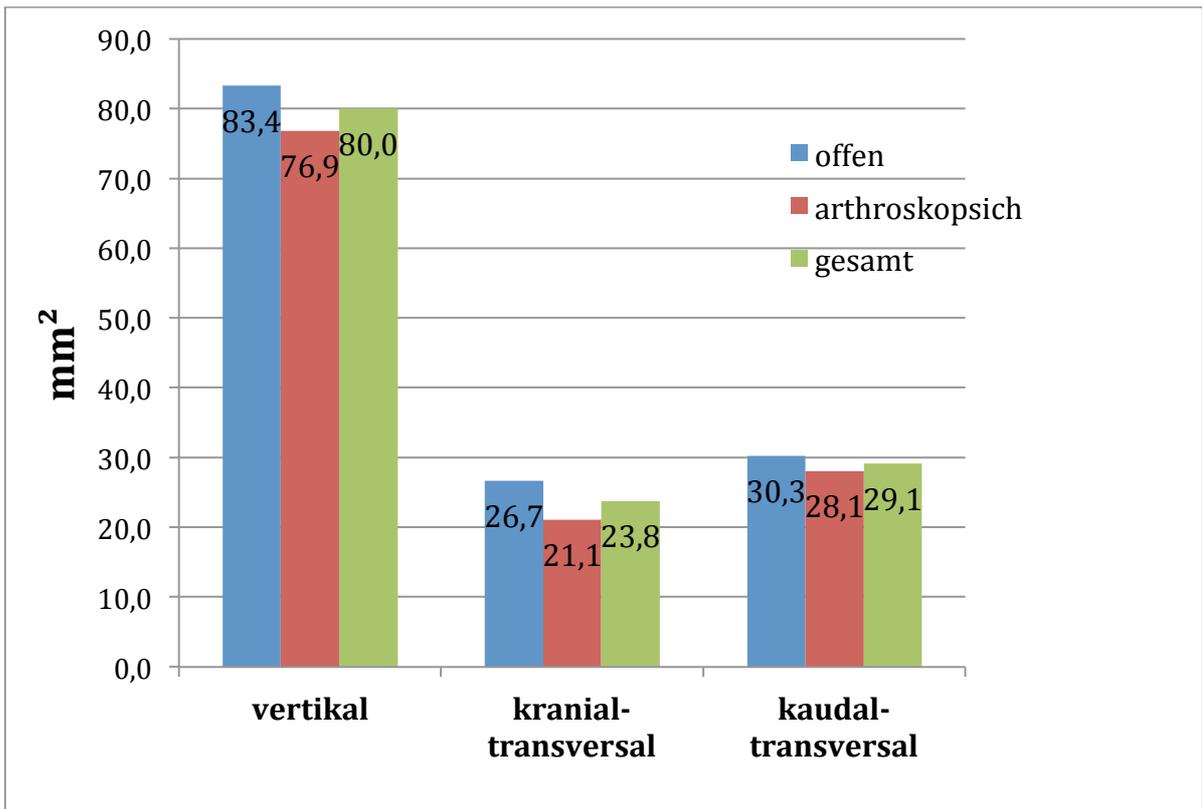


Diagramm 23: Postoperative Muskeldurchmesser des M. subscapularis in Abhängigkeit von der OP-Technik.

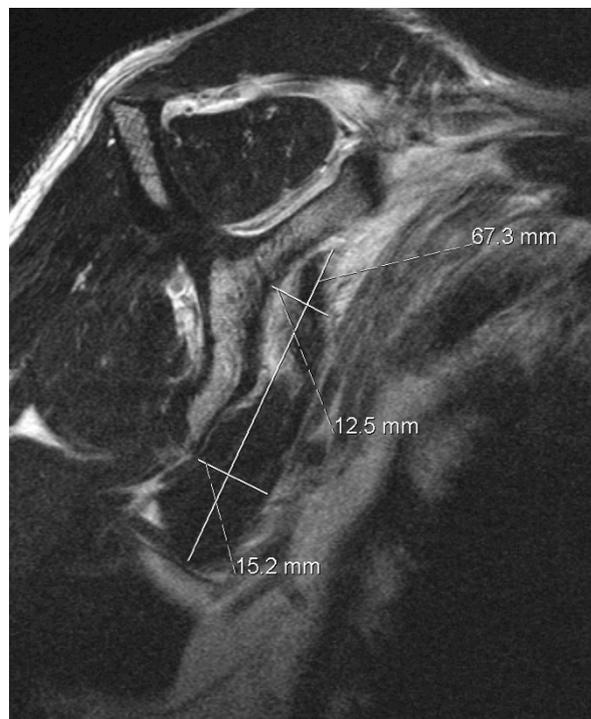


Abb. 27: Bestimmung der Muskeldurchmesser des M. subscapularis.

Bei dem offen operierten Kollektiv zeigte sich postoperativ im Vergleich zu den rein arthroskopisch versorgten Patienten ein signifikant größerer kranial-transversaler Durchmesser ( $p < 0,05$ ) des M. subscapularis.

Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der vertikalen und kaudal-transversalen Durchmesser beider Gruppen ließ sich nicht nachweisen ( $p > 0,05$ ).

Große vertikale Durchmesser korrelierten positiv signifikant ( $p < 0,05$ ) mit einer großen Muskelfläche sowie hohen Werten im Constant-Score.

Keine statistisch signifikanten Zusammenhänge ( $p > 0,05$ ) konnten zwischen den Muskeldurchmessern und den Ergebnissen in den klinischen Tests (Belly-Press - und Lift-Off - Test) sowie den erreichten SSC-Kraftwerten in Belly-Press - und Lift-Off- Position, ermittelt anhand der Kraftmessplatte, nachgewiesen werden.

#### 4.4.2.4 Vergleich der ermittelten Muskelflächen und Muskeldurchmesser mit einer Kontrollgruppe

Zur Veranschaulichung und Einschätzung der gemessenen Muskelflächen und -durchmesser des Patientenkollektivs erfolgte zudem zur Objektivierung ein Vergleich der Resultate mit einer Kontrollgruppe.

Voraussetzung für die Studienteilnahme in der Kontrollgruppe war auch hier, dass die Personen weder Schulterprobleme (vorangegangenes Trauma, Schmerzen, Bewegungseinschränkung etc.) noch eine Voroperation an der Schulter hatten.

Diese Kontrollgruppe setzte sich aus 42 Teilnehmern, vier Frauen (9,5%) und 38 Männern (90,5%), zusammen. Das Durchschnittsalter betrug  $40,1 \pm 11,8$  Jahre.

Dabei zeigte sich auf den bekannten, klar definierten und somit direkt vergleichbaren Sequenzen (vgl. Sequenzprotokoll) im Schnitt eine ermittelte Fläche von  $2527,3 \pm 556,2$  mm<sup>2</sup>.

Verglichen mit dem Patientenkollektiv, in dem eine durchschnittliche Fläche des SSC von  $2017,2 \pm 566,9$  mm<sup>2</sup> ermittelt wurde, lässt sich somit ein hochsignifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) im Sinne einer reduzierten postoperativen Muskelfläche, also einer Atrophie, erkennen.

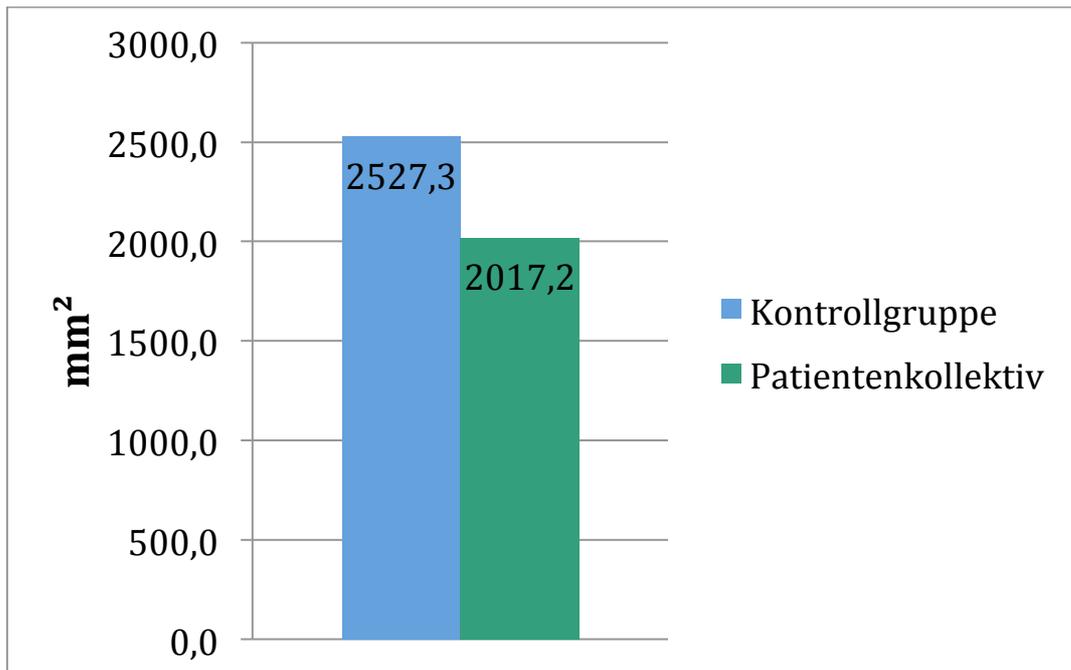


Diagramm 24: Übersicht über die ermittelten SSC-Muskelflächen (Mittelwerte) des Patientenkollektivs vs. Kontrollgruppe.

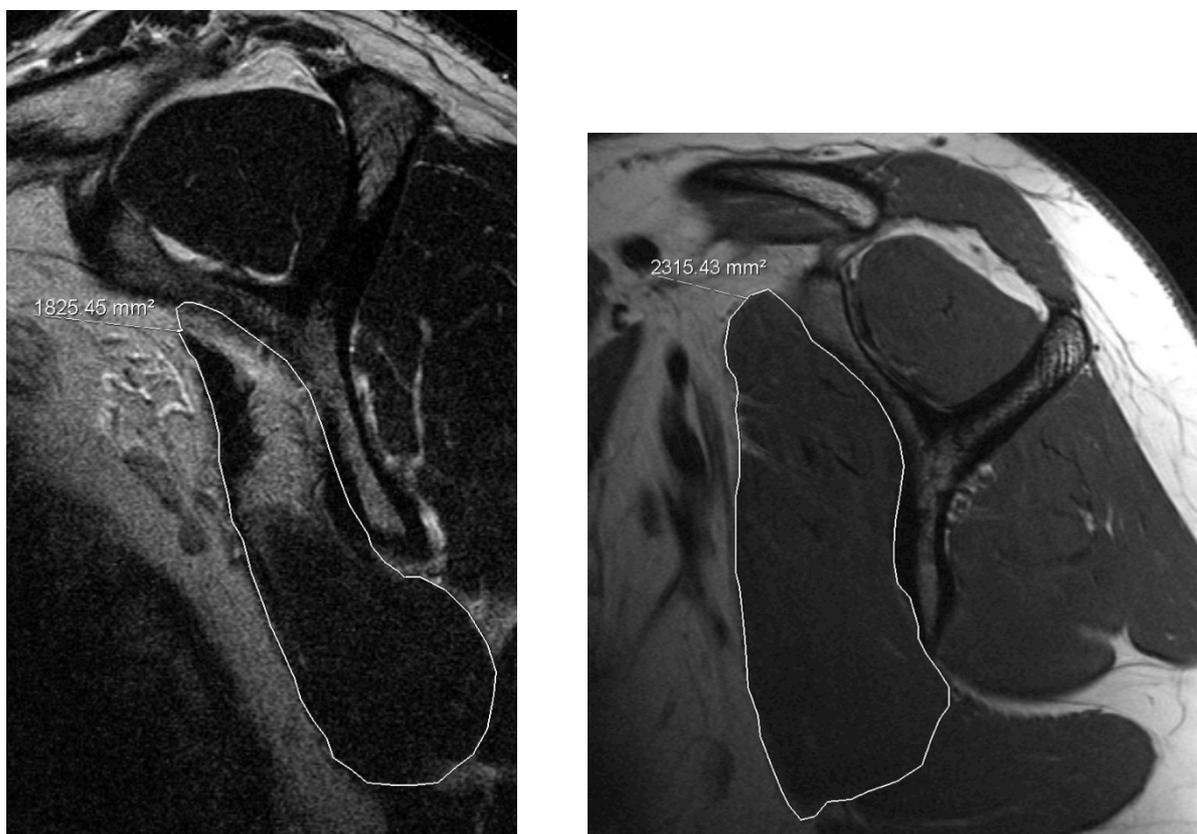


Abb. 28: Muskelfläche eines Patienten des Kollektivs (links) und eines Patienten der Kontrollgruppe (rechts).

Verglichen mit dem Patientenkollektiv, in dem der vertikale SSC-Durchmesser  $80,0 \pm 9,9 \text{ mm}^2$  betrug, fand sich in der Kontrollgruppe im Schnitt ein Wert von  $94,5 \pm 10,2 \text{ mm}^2$ .

Bei der Bestimmung des kranial-transversalen Durchmessers ließen sich in der Kontrollgruppe mit durchschnittlich  $30,4 \pm 4,3 \text{ mm}^2$  signifikant größere Werte ( $p < 0,05$ ) als im Patientenkollektiv ( $23,8 \pm 6,6 \text{ mm}^2$ ) ermitteln. Dies zeigte sich auch bei den vertikalen SSC-Durchmessern ( $p < 0,05$ ), die bei dem Patientenkollektiv durchschnittlich  $80,0 \pm 9,9 \text{ mm}^2$ , bei der Kontrollgruppe im Schnitt  $94,5 \pm 10,2 \text{ mm}^2$  betragen.

Auch hinsichtlich der kaudal-transversalen Durchmesser zeigten sich in der Kontrollgruppe signifikant ( $p < 0,005$ ) höhere Durchschnittswerte ( $33,5 \pm 5,8 \text{ mm}^2$ ) als bei den Kollektivpatienten ( $29,1 \pm 7,4 \text{ mm}^2$ ).

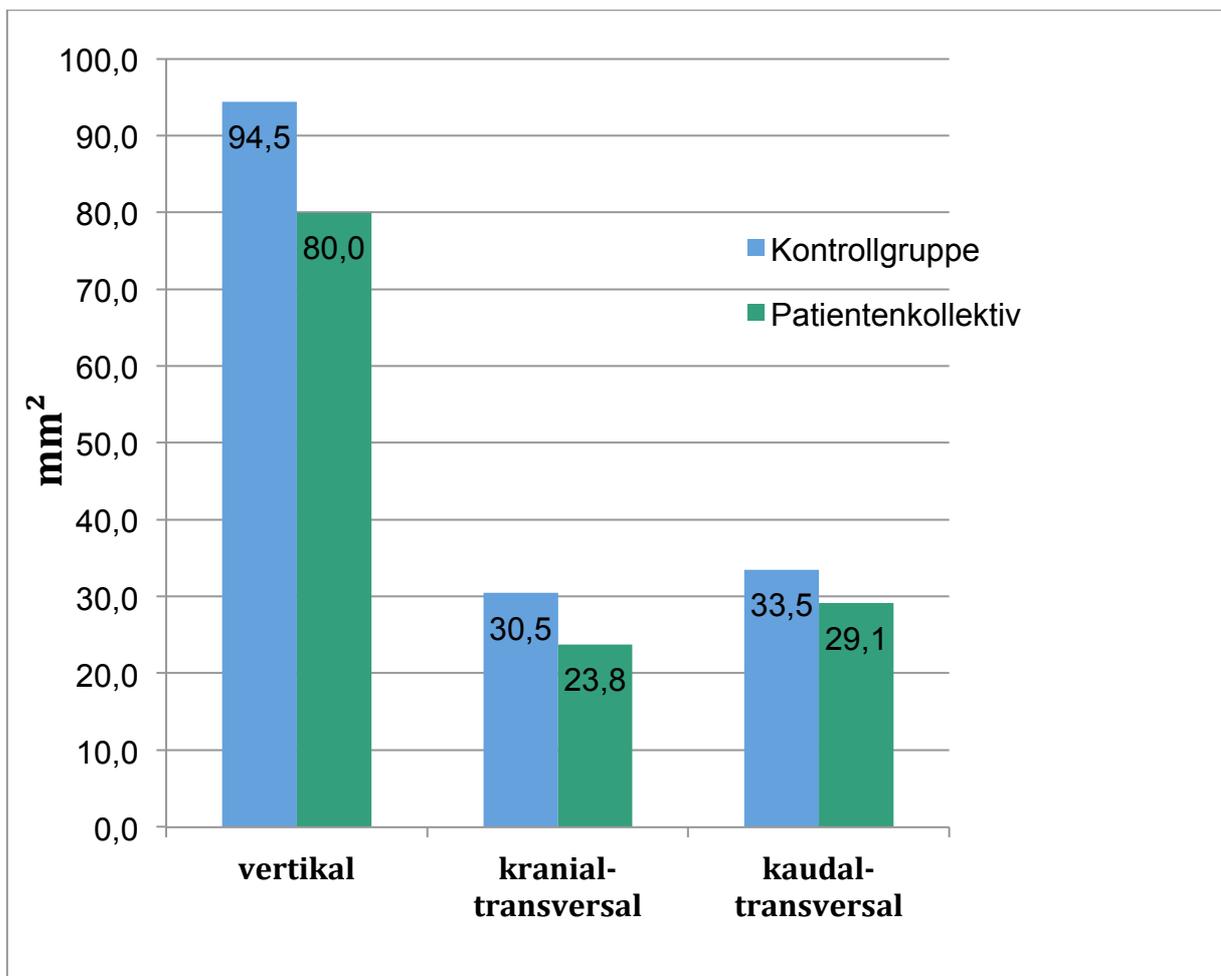
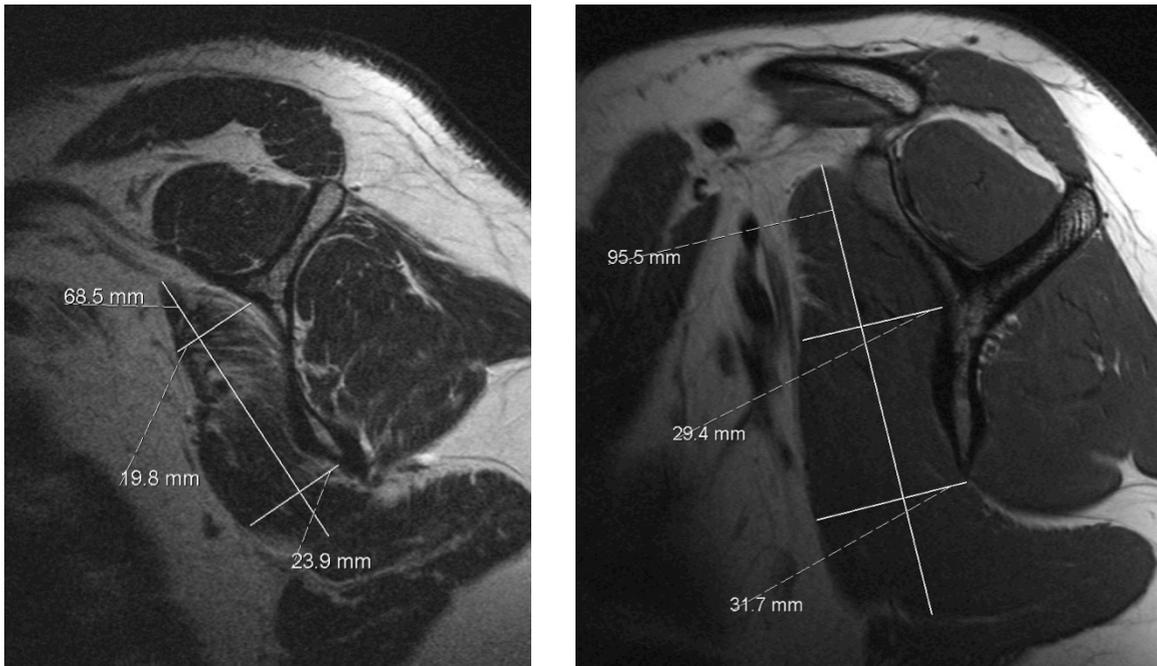


Diagramm 25: Übersicht über die ermittelten SSC-Muskeldurchmesser (Mittelwerte) des Patientenkollektivs vs. Kontrollgruppe.



*Abb. 29: Muskeldurchmesser eines Kollektivpatienten und eines Patienten der Kontrollgruppe.*

Somit zeigten sich sowohl bei den vertikalen als auch den kranial-transversalen Durchmessern hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) größere Werte in der Kontrollgruppe als in dem Patientenkollektiv. Auch hinsichtlich des kaudal-transversalen Durchmessers fanden sich signifikant höhere Werte ( $p < 0,05$ ) in der Kontrollgruppe.

Zwar können die Ergebnisse des Patientenkollektivs bezüglich einer Atrophie des M. subscapularis nicht direkt mit denen der Kontrollgruppe verglichen werden, wohl aber zeigt sich tendenziell eine postoperative Atrophie, vor allem des kranial-transversalen Anteils.

## **5. DISKUSSION**

Rotatorenmanschetten-Läsionen stellen heutzutage ein häufiges Verletzungsbild dar. Dabei geht man hinsichtlich der Pathogenese von RMR von multifaktoriellen Ursachen aus, obwohl die genaue Ätiologie (traumatisch vs. degenerativ) [87] in der Literatur kontrovers diskutiert wird. Die Erklärungsansätze für das Auftreten von RMR reichen von mechanischen Irritationen im Subacromialraum [92] über primäre Tendopathien [129] bis hin zu muskulären Mikrotraumata [28].

Neben den Partialrupturen, inkompletten Unterbrechungen des Kalibers der zweischichtigen, aus Kapsel und Sehne bestehenden Rotatorenmanschette, treten die kompletten Rotatorenmanschetten-Rupturen je nach Literatur mit einer Häufigkeit von 10-15% im Alter von 50-60 Jahren, von ca. 20-25% im 7. Dezennium und von >30% im 8. Dezennium auf. Dabei zeigen sich ca. zwei Drittel bis drei Viertel der Läsionen als asymptomatisch [60]. Yamaguchi et al [136] beschreiben bei Partialrupturen ein durchschnittliches Alter der Patienten von 49 Jahren und bei symptomatischen Komplettrupturen ein Durchschnittsalter von 59 Jahren. Diesen Zusammenhang von progredientem Alter und fortgeschrittenem Ruptorausmaß bei RMR legte ebenfalls Gohlke [46] 1993 dar. Auch Gschwend et al [52] beschrieben eine mit dem Alter ansteigende Zahl an Rotatorenmanschetten-Rupturen. Dabei wird unter anderem die Studie von Rothman et al [112] zitiert, in der eine Läsion der RM bei nahezu jedem über 70-jährigen Menschen konstatiert wird.

Das durchschnittliche Alter von Patienten mit Subscapularissehnen-Rupturen wird in der Literatur oft mit  $\geq 51$  Jahren beschrieben [44, 93], wobei einige Autoren in den letzten Jahren auch Studien mit deutlich jüngeren Durchschnittsalter-Angaben (39 Jahren) v.a. bei aktiven Patienten veröffentlicht haben [34].

Die Prävalenz von Läsionen der Subscapularissehne divergiert in der Literatur stark von 3,5% [27] bzw. 4% [34] bei v.a. offen versorgten und 27% [11] bzw. 29,4% [4] bei arthroskopisch versorgten Läsionen bis hin zu 37% im Rahmen der anatomischen Kadaver-Studie von Sakurai et al [115]. Bennett [11] beschrieb 2001 in einer Datenregisteranalyse die Prävalenz von SSC-Rupturen mit 27%.

Isolierte Rupturen der Sehne des M. subscapularis, welche erstmalig 1984 durch Walch [82, 131] beschrieben wurden und verglichen mit Läsionen der übrigen RM nur sehr selten (1-2%) auftreten [115], sind meist traumatischer Natur [40, 43, 78, 89]. Dies trifft speziell auf die Typ II-IV – Läsionen [38] zu, während Typ I - Rupturen,

also Partialrupturen, häufiger auch degenerativen Ursprungs sein können. Isolierte SSC-Läsionen sind klinisch schwierig zu diagnostizieren, werden oftmals nicht erkannt [85] oder falsch interpretiert [25, 34]. Dies gilt besonders für Läsionen des oberen Drittels [103]. Klinisch resultieren Funktionsverlust, Muskelschwäche und Schmerz [34, 37, 107, 130, 133].

Trotz guter klinischer Ergebnisse zur Beurteilung des M. subscapularis mittels sensitiver und spezifischer Tests [4, 24, 51, 56, 127] scheinen diese, im Gegensatz zur Magnetresonanztomographie, jedoch eine suffiziente Diagnosestellung oder Verlaufskontrolle nicht gewährleisten zu können.

Die MRT, die sich in den letzten Jahren als das bildgebende Diagnostikum der Wahl durchgesetzt hat [67, 75, 99, 103, 105], bietet wie kein anderes Instrumentarium in der postoperativen Untersuchung der Schulter die Möglichkeit einer hoch spezifischen und sensitiven Beurteilung der Integrität des Muskel-Sehnen-Komplexes sowie sonstiger Weichteilveränderungen [97, 103, 119, 138].

Der M. subscapularis, als einziger Innenrotator der Rotatorenmanschette, stellt den anterioren Anteil des transversalen "force couple" [20, 56, 108] dar und dient zur statischen und dynamischen glenohumeralen Kopfzentrierung. Aus diesem Grund ist eine operative Rekonstruktion für den beschriebenen Zentrierungsmechanismus sowie die daraus resultierende biomechanische Stabilität und Funktionsfähigkeit der Schulter von entscheidender Bedeutung [13, 56, 107, 122, 128].

In der vorliegenden Arbeit wurde erstmals die postoperative Funktion des M. subscapularis in Abhängigkeit von der OP-Technik (arthroskopisch vs. offen) anhand multipler Parameter innerhalb einer einzigen Studie untersucht und dokumentiert.

Um die postoperativen Ergebnisse zu objektivieren und direkt mit anderen Studien [5, 22, 34, 35, 78, 81] vergleichen zu können, wurden etablierte klinische Tests (Belly-Press - und Lift-Off - Test), anerkannte Schulter-Scores (Constant-Score, Age and gender related Constant-Score, Simple-Shoulder-Test) sowie standardisierte MRT-Schnittebenen zur Bestimmung von Muskelfläche [69] und fettiger Infiltration [119] des SSC verwendet. Zusätzlich konnte die isolierte Kraft des M. subscapularis mittels eigens entwickelter Kraftmessplatte (Testung in Belly-Press - und Lift-Off - Position) objektiv reproduzierbar ermittelt werden.

Das „Follow-up“ von durchschnittlich 32,5 Monaten lässt sich mit dem aktueller Studien [1, 10, 35, 43, 81] vergleichen, die alle ein „Follow up“ von mindestens 24 Monaten aufweisen.

Die SSC-Rupturen, welche sich in 63,6% an der dominanten Seite zeigten, beruhten dabei in 78,8% (26/33) der Fälle auf einem Trauma, was der in der Literatur beschriebenen Dominanz der traumatischen gegenüber der degenerativen Ätiologie [2, 34, 43, 78] bei isolierten SSC-Rupturen entspricht. Die Patho-Mechanismen waren, wie häufig beschrieben, entweder das klassische Hyperextensions- bzw. Abduktions- / Außenrotationstrauma [89] oder eine anteriore Schulterluxation [34, 43].

Das symptomatische Intervall, d.h. die Zeit zwischen Trauma-Ereignis bzw. Schmerzbeginn und operativer Rekonstruktion, wird in der Literatur oftmals als mitentscheidender Faktor bezüglich eines hohen postoperativen fettigen Infiltrationsgrades [49] sowie eines schlechten klinischen postoperativen Ergebnisses [43] angeführt. In unserem Patientengut hat sich dieser Einfluss auf die fettige Infiltration jedoch nicht bestätigen lassen ( $p > 0,05$ ).

Allerdings spielte das symptomatische Intervall, wie im Folgenden noch ausführlicher beschrieben wird, eine ausschlaggebende Rolle hinsichtlich des Constant-Scores, des AGRCS sowie der subjektiven Schmerzintensitätseinschätzung (VAS) der Patienten.

Unsere Studie verdeutlicht somit auch, dass eine umgehende Diagnosestellung mit zeitnaher operativer Versorgung bzgl. des postoperativen Outcomes von entscheidender Wichtigkeit ist. Auch aktuelle Veröffentlichungen zeigen, dass eine verzögerte operative Versorgung (Anamnesedauer  $> 6$  Monate) schlechtere klinische Resultate als eine sofortige Therapie nach sich zieht [35, 43].

Da die fettige Infiltration bereits sechs Wochen nach Traumaereignis einsetzt [49], stellt diese zusammen mit dem Atrophiegrad maßgebliche negative Prädiktoren für das postoperative klinische Ergebnis dar [49, 103]. Hedtmann et al [60] empfehlen daher, ähnlich wie Basset und Cofield [7], bei frischen traumatischen Läsionen eine operative Versorgung innerhalb von drei Wochen. Auch bei degenerativer Ätiologie sollte eine Rekonstruktion schnellstmöglichst erfolgen.

Eine langfristige Schmerzreduktion und die Verbesserung der Schulterfunktion stellen die entscheidenden Kriterien für den Erfolg der jeweiligen Operationsmethode dar.

Das optimale operative Rekonstruktionsverfahren bei isolierten Subscapularissehnen-Rupturen wird bis zum heutigen Tag in der Literatur kontrovers diskutiert.

Während Verfechter der offenen Variante wie Wright et al [134] diese, aufgrund mangelnder Einsicht (nur ca. 25-50%) v.a. kaudaler Sehnenanteile bei alleiniger Arthroskopie, bevorzugen und dabei gute klinische Ergebnisse [1, 5, 34, 35, 37, 43, 44, 77] erzielen, nimmt die rein arthroskopische Rekonstruktion einen zunehmenden Stellenwert ein. Obwohl in der Literatur diesbezüglich bis dato nur eine begrenzte Anzahl an Studien veröffentlicht ist [1, 10, 22, 81], wurden dennoch gute klinische postoperative Ergebnisse beschrieben. Nach Morse et al [91] scheinen bei ausgedehnteren RM-Läsionen die postoperativen Ergebnisse offen wie arthroskopisch versorgter 1- und 2-Sehnen-Defekte (max. Bateman III) gleichwertig zu sein.

In unserem Kollektiv wurde zudem speziell untersucht, inwieweit sich die Art der Versorgung auf das klinische Outcome, die Ergebnisse der Scores, die Kraftmessung, die postoperative Zufriedenheit sowie die Bestimmung der Muskel-Atrophie des SSC auswirkt. Ein ähnlich homogen verteiltes Patientengut hinsichtlich der Rupturgröße und der Operationstechnik ist in der Literatur noch nicht beschrieben.

Intraoperativ fand sich in 69,7% der Fälle eine Läsion der langen Bizepssehne, eine häufige Begleitverletzung [34, 50, 59, 61, 100, 115], die im Rahmen von Subscapularissehnen-Rupturen zusammen mit Pulley-Läsionen mit bis zu über 50% Wahrscheinlichkeit beschrieben wird [31, 35, 55]. In unserem Kollektiv konnte die hohe Begleitverletzungsrate von z.B. Pulley-Läsionen mit 48,5% (16/33) der Fälle bestätigt werden.

In der intraoperativen Rupturgrößeneinteilung nach Fox & Romeo [38] zeigte sich, dass mehr als die Hälfte (51,5%) der Untersuchten eine Ruptur von  $\geq 50\%$  der cranio-caudalen Subscapularissehne (Typ 4) hatte, während bei 36,4% (12/33) der Patienten nur das obere Drittel (Typ 2) betroffen war. Dabei fand sich eine homogene Verteilung der unterschiedlichen Rupturgrößen hinsichtlich ihrer operativen Versorgung (rein arthroskopisch vs. offen).

Bezüglich der in Anlehnung an Patte [98] klassifizierten intraoperativen Sehnenretraktion fand sich bei 39,4% der Untersuchten eine Retraktion 1. Grades, während über die Hälfte (51,5%) eine Grad 2-Retraktion zeigte. Eine Retraktion 3. Grades fand sich nur bei drei Patienten (9%). In dem Kollektiv zeigte sich ein hochsignifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001$ ) von Sehnenretraktion und Rupturgröße.

Bis dato wurden viele unterschiedliche Tests zur Beurteilung der muskulo-tendinösen Einheit des M. subscapularis beschrieben und im Verlauf durch anatomische, radiologische und biomechanische Studien untersucht [4, 18, 21, 34, 36, 39, 43, 44, 45, 57, 62, 65, 70, 77, 78, 80, 90, 103, 117, 121, 126, 127].

Neben den in den 90er Jahren durch Gerber et al publizierten Tests (Lift-Off - Test [44] und Belly-Press - Test [43]) und dem Innenrotations-Lag-Sign (IRLS) nach Hertel et al [63] wurden in den letzten Jahren mit dem Belly-Off - Sign nach Scheibel et al [117] und dem „Bear-Hug“ - Test nach Barth und Burkhart [4] weitere sensitive und spezifische Tests entwickelt.

Da sich der M. subscapularis in unterschiedlichen Gelenkstellungen nicht automatisch als gesamter Muskel kontrahiert, sondern, wie Kadaba et al [70] 1992 in ihrer elektromyographischen Studie nachwies, der obere Anteil und der untere Anteil eigenständig je nach Armposition anspannen, kann der SSC, Kadaba et al zufolge, als ein aus zwei funktionellen Einheiten bestehender Muskel betrachtet werden. Dabei zeigte sich bei zunehmender Abduktion von 0 bis 90° des innenrotierten Armes eine abnehmende Aktivität des oberen Anteils, während die Aktivität des unteren Anteils des SSC umgekehrt proportional zunahm [70]. Eine ähnliche Beobachtung machten Kronberg et al [80] bereits 1990.

Halder et al [56] beschrieben in ihrer biomechanischen, 22 Kadaver-Präparate umfassenden Studie, dass sich bei der anatomisch-biomechanischen Begutachtung der SSC-Sehne eine kontinuierliche Regredienz der Sehnendicke vom Ober- zum Unter- rand des SSC erkennen lässt, da das untere Drittel des SSC von muskulärer Struktur ist und ohne tendinösen Anteil ossär am Tuberculum minus inseriert [56, 74, 123].

Zu der oben beschriebenen selektiven Aktivierung beider SSC-Anteile und ihrer neuralen [71] Unabhängigkeit beschrieben Decker et al [33] unterschiedliche Aktivie-

nungsebenen und damit die funktionelle Unabhängigkeit des oberen und unteren Anteils des SSC im Rahmen rehabilitativer Bewegungsübungen.

Pennock et al [101] konnten 2011 in ihrer elektromyographischen Studie die durch Kadaba et al [70] und Tokish et al [127] beschriebene selektive Aktivierung des oberen und unteren Anteils des SSC nicht bestätigen, bekräftigten aber die Isolierung des M. subscapularis im Belly-Press - und Lift-Off - Test. Als mögliche Erklärung sehen Pennock et al die durch McCann [90] beschriebene in der Regel mehrfache Innervation des SSC (82% dreifach, 16% vierfach und nur 2% zweifach innerviert).

Diese elektromyographischen Untersuchungen führen letztendlich zu dem Schluss, dass zu einer vollständigen klinischen Untersuchung des M. subscapularis die separate und selektive Testung beider Anteile nötig ist.

In der Studie von Scheibel et al [117] bezüglich der Diagnostizierung von SSC-Rupturen mittels Belly-Off - Sign fand sich sowohl bei kleinen Partial-Läsionen als auch bei Komplett rupturen ein positives Testergebnis, während dies im Lift-Off - und dem Belly-Press -/ Napoleon - Test sowie bei dem Innenrotations-Lag-Sign nicht der Fall war. Allerdings setzt dieser Test intakte Außenrotatoren voraus, weshalb er primär als „Ergänzungstest“ zu den Standardtestverfahren (Belly-Press - und Lift-Off - Test) zu sehen ist.

Der durch Barth und Burkhart [4] beschriebene „Bear-Hug“ - Test soll laut Beschreibung der Autoren der sensitivste Test sein. Hierbei wird die Sensitivität des Tests mit 60%, die des Belly-Press - Tests mit 40%, die des Napoleon - Tests mit 25% und die des Lift-Off - Tests mit 17,5% angegeben. Bezüglich der Spezifität zeigte sich jedoch im Vergleich zu dem Lift-Off - Test (100%), dem Napoleon - Test (97,9%) und dem Belly-Press - Test (97,9%) ein geringerer Wert (91,7%).

Sowohl ein positiver „Bear-Hug“ - Test als auch ein positiver Belly-Press - Test korrelieren nach Barth und Burkhart [4] mit einem Riss von mind. 30% des SSC, während ein positiver Napoleon - Test auf einen Riss von > 50% der Sehne hinweist [4].

Der Lift-Off - Test dagegen fällt nach Barth et al [4] erst positiv auf, wenn ein Riss mehr als 75% ausmacht.

Stefko et al [121] haben in Lift-Off - Position im gesamten Schultergürtel (Mm. Latissimus dorsi, teres major, pectoralis major, deltoideus et triceps) eine erhöhte elektromyographische Aktivität nachgewiesen; diese übernehmen möglicherweise einen

Teil der Innenrotation, was eine plausible Erklärung dieses Phänomens, sprich eines negativen Testergebnisses in Lift-Off - Position bei Partialrupturen, darstellt.

Auch Chang et al [23] berichten über messbare Aktivitäten der Mm. supraspinatus, infraspinatus et teres minor während der Innenrotation.

Diese Ansicht bestätigen auch die Ergebnisse von Mandori et al in einer klinischen Studie, in der der Lift-Off - Test bei Komplettrupturen des SSC zu 100% positiv war, während er bei Partialrupturen nur in 40% der Fälle positiv ausfiel [117].

Auch Tokish et al [127] beschreiben in ihrer elektromyographischen Vergleichsarbeit von Lift-Off - Test und Belly-Press - Test, dass es bei den jeweiligen Tests zu einer unterschiedlichen Beanspruchung des oberen und unteren SSC-Anteils kommt.

Im Lift-Off - Test wird vor allem der untere Anteil des SSC gefordert, während im Belly-Press - Test maßgeblich der obere Anteil (32% höhere Aktivität) beansprucht wird.

In unserer Studie beschränken wir uns auf die Auswertung der Ergebnisse aus Belly-Press - [43] und Lift-Off - Test [44], da in unseren Augen so ein objektivierbarer prä- und postoperativer Vergleich und damit ein repräsentativer Verlauf möglich wird. Zudem sind einheitliche Test-Positionen, auch hinsichtlich der Kraftmessung, von entscheidender Bedeutung.

Präoperativ wurde im Rahmen der klinischen Untersuchung in unserem Kollektiv bei 63,4% der Untersuchten (21/33) ein positiver Lift-Off - Test ermittelt. Vier Patienten (12,1%) waren aufgrund schmerzbedingt eingeschränkter Innenrotation gar nicht in der Lage, die Ausgangsposition (Lift-Off - Position) zu erreichen. Dieses Phänomen beschrieben Burkart et al [22] bereits 2002, allerdings mit einem deutlich höheren Prozentsatz (19/25 = 76%). Die vier Patienten, die präoperativ nicht die Ausgangsposition des Lift-Off - Tests erreichen konnten, zeigten alle postoperativ einen positiven Test.

Von den 21 Personen mit präoperativ positiven Lift-Off - Tests zeigten postoperativ fünf Patienten auch weiterhin ein positives Untersuchungsergebnis. Bei 16 Untersuchten (84,8%) fand sich ein negativer Lift-Off - Test.

Positive postoperative Lift-Off - Testergebnisse korrelierten positiv signifikant ( $p < 0,05$ ) mit der Ausdehnung der Ruptur, eingeteilt nach Fox und Romeo [38] sowie dem Ausmaß der Sehnenretraktion klassifiziert in Anlehnung an Patte [98]. MR- to-

mographisch zeigte sich bei diesen Patienten im Vergleich zum Restkollektiv eine signifikante Atrophie ( $p < 0,05$ ).

75% (21/28) der präoperativ positiven Belly-Press - Tests konnten durch die Operation in ein negatives Ergebnis umgewandelt werden, während in nur sieben Fällen das präoperativ positive Resultat auch postoperativ bestehen blieb.

Hierbei stellten sich als signifikante ( $p < 0,05$ ) Einflussgrößen das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation, die Ausdehnung der Ruptur sowie das Ausmaß der Sehnenretraktion dar. Ein positiver postoperativer Belly-Press - Test deckt sich darüber hinaus MR-tomographisch mit einer vermehrten Atrophie des oberen Anteils sowie einem verminderten cranio-transversalen Durchmesser ( $p < 0,05$ ).

Wie auch in den Studien von Edwards et al [35] und Gerber et al [43], welche im postoperativen Verlauf persistierend positive Funktions-Testergebnisse als Zeichen einer partiellen SSC-Insuffizienz (20% und 31%) beschrieben, zeigte sich in unserem Kollektiv ebenfalls ein mäßiger Anteil an postoperativ positiven Lift-Off - (5/33; 15,2%) und Belly-Press - Tests (7/33; 21,2%). Auch Lafosse et al [81] beschreiben bei 24% ihrer nachuntersuchten Patienten einen persistierend positiven Belly-Press - Test.

Somit decken sich unsere Resultate mit den Ergebnissen o.g. Studien, was die häufig postulierte, persistierende postoperative Insuffizienz des SSC bestätigt. Allerdings konnten sowohl im Constant-Score als auch dem alters- und geschlechtsadaptierten Constant-Score sowie hinsichtlich der subjektiven Zufriedenheit keine signifikanten Unterschiede zum Restkollektiv nachgewiesen werden. Dies kann möglicherweise mit der Aussage von Edwards [35], dass der Constant-Score nur unzureichend die Funktion des SSC widerspiegelt, erklärt werden.

Einen weiteren wichtigen Punkt neben den klinischen Funktionstests stellte die postoperative Beweglichkeit dar.

Hinsichtlich der Innenrotationsfähigkeit fanden sich signifikante ( $p < 0,05$ ) Unterschiede zwischen der operierten und der kontralateralen Seite. Postoperativ hatten 63,7% (21/33) der Untersuchten auf der betroffenen Seite ein gutes Bewegungsausmaß bei der Innenrotation, kontralateral waren es 97% (32/33), wobei 36,4% die Innenrotation nur bis auf Höhe LWK 3 durchführen konnten. Postoperative Außenrotationsein-

schränkungen von  $> 10^\circ$  gingen mit einem höhergradigen intraoperativen Ruptur- ausmaß (Typ 3-4) einher.

Auch im Constant-Score zeigte sich durch die Operation eine signifikante Verbesserung ( $p < 0,05$ ) auf durchschnittlich 79,6 Punkte (ungewichtet) bzw. 89,1 % (AGRCS) postoperativ. Ähnlich gute Ergebnisse werden in der aktuellen Literatur beschrieben [10, 35, 43, 81].

Der Constant-Score und der AGRCS korrelieren dabei negativ signifikant ( $p < 0,05$ ) mit einem langen symptomatischen Intervall sowie postoperativ positiven Belly-Press- und Lift-Off - Ergebnissen.

Der postoperative Erfolg durch die chirurgische Rekonstruktion des SSC spiegelt sich auch in der hohen Zufriedenheit (84,5%), eingeteilt in Anlehnung an Iannotti [66], wider, ohne dass ein signifikanter Zusammenhang mit der Art der Versorgung (offen vs. arthroskopisch) nachgewiesen werden konnte ( $p > 0,05$ ). Lediglich fünf Patienten waren mit dem postoperativen Ergebnis nicht zufrieden.

In dieser Gruppe befand sich auch der Patient mit der Re-Ruptur. Die Ursachen hierfür sind unterschiedlich, z.B. bei ausgeprägten degenerativen Veränderungen des Muskels oder wenn der Defekt mit zu großer Spannung vernäht wurde. Verglichen mit anderen Studien [35, 81] ist die Zahl der Re-Rupturen in unserem Kollektiv mit 1/33 (3%) sehr gering. Die anderen Patienten wiesen präoperativ ein überdurchschnittlich verlängertes symptomatisches Intervall sowie eine fortgeschrittene Atrophie bzw. fettige Infiltration auf.

Eine wichtige Einflussgröße auf die subjektive Gesamt-Zufriedenheit stellt in hohem Maße auch die postoperative Schmerzintensität dar. Diese verbesserte sich auf der Visuellen Analogskala (VAS) durch die Operation signifikant von 6,3 auf 0,9. Patienten mit starken Schmerzen zeigten eine geringere Zufriedenheit, niedrigere Werte im Constant-Score und dem AGRCS sowie klinisch positive Lift-Off - Testergebnisse.

In Anlehnung an die Ergebnisse aktueller anatomischer und radiologischer Studien [4, 18, 21, 34, 36, 39, 43, 44, 45, 57, 62, 65, 70, 77, 78, 80, 90, 103, 117, 121, 126, 127] erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Biomechanik und Elektrophysiologie [24, 33, 56, 58, 70, 71, 80, 127] des M. subscapularis die Bestimmung der

Muskelkraft in Lift-Off - und Belly-Press - Position sowohl auf der betroffenen Seite als auch auf der Gegenseite.

Eine postoperative partielle Insuffizienz des SSC, wie durch Edwards et al [35], Gerber et al [43] oder Lafosse et al [81] beschrieben, sollte objektiv quantifizier- und reproduzierbar nachgewiesen werden. Dazu ist eine isolierte SSC-Kraftmessung beider Seiten in maximaler Innenrotation nötig. Nur so kann eine höhergradige Beteiligung anderer Innenrotatoren, wie z.B. des M. pectoralis major, ausgeschlossen werden.

Klinisch zeigte sich an der operierten Extremität sowohl in Lift-Off - (53,6 vs. 72,9 N) als auch in Belly-Press - Position (71,9 vs. 87,6 N) ein durchschnittlich signifikant ( $p < 0,05$ ) geringeres Kraftniveau als kontralateral, was die Aussagen von Edwards et al [35], Gerber et al [43] oder Lafosse et al [81] bestätigt.

Die Überlegung bestand darüber hinaus darin, die von Tokish et al [127] beschriebene separierte muskuläre Aktivität des oberen (BP) und unteren (LO) Anteils des SSC isoliert und differenziert zu bestimmen.

Der Ansatz, die muskelspezifische Kraft zu ermitteln, wurde bereits von Barth und Burkhart [4] beschrieben.

In ihrer Studie wurde die Kraft mittels eines digitalen Kraftmessgerätes über eine an der Hand befestigte Schlinge, in Belly-Press - und Bear-Hug - Position gemessen.

Der Vorteil unseres Versuchsaufbaus besteht jedoch darin, dass die einwirkende Kraft der Patientenhand, durch die sich in der Kraftmessplatte zwischen zwei Aluminiumplatten eingepasste Wägezelle, auch bei einem nicht ganz zentral einwirkenden Kraftvektor optimal auf die Platte übertragen wird. Aufgrund sehr geringer Werte zu Beginn und am Ende der Messung erfolgt die Bestimmung des tatsächlichen Messwertes als Mittelwert aus dem Kraftmaximum und dem 70%-Wert des Kraftmaximums, der über eine mindestens drei Sekunden lange Messperiode ermittelt wird. Somit kann eine fehlerhafte Durchschnittswert-Kraftmessung vermieden werden (vgl. Kapitel 3.4).

Anhand einer „gematchten“ Kontrollgruppe konnte darüber hinaus nachgewiesen werden, dass es in o.g. Test-Positionen keine signifikanten Kraftunterschiede ( $p > 0,05$ ) zwischen dominanter und kontralateraler Seite gibt.

Mit Hilfe der Kraftmessplatte ist es somit möglich, eine residuelle SSC-Insuffizienz zu diagnostizieren, was anhand der o.g. Schulter Scores nur unzureichend gelingt [35].

Die entwickelte Kraftmessplatte komplettiert damit ein umfassendes Schema aus Diagnosestellung, Diagnosesicherung, Therapie und postoperativer Rehabilitation.

Die MRT ist heutzutage aufgrund ihrer hohen Sensitivität und Spezifität [68, 103, 138] das Instrumentarium der Wahl zur Diagnostizierung von RMR, zur Diagnosesicherung bei klinisch pathologischen Tests sowie zur Re-Evaluierung nach operativer Rekonstruktion.

Präoperativ können wichtige Erkenntnisse bezüglich Sehnenretraktion oder Rupturgröße gewonnen werden. Auch die fettige Infiltration, welche bereits sechs Wochen nach Kontinuitätsunterbrechung einer Sehne beginnen kann [49], sowie die muskuläre Atrophie können gut beurteilt werden, um das passende operative Rekonstruktionsverfahren in Anbetracht der klinischen Symptomatik wählen zu können.

So ist die präoperative Durchführung einer MRT zum Ausschluss stärker ausgeprägter fettiger Infiltration (>50%) äußerst wichtig, da dies ein relatives Ausschlusskriterium für die RM-Rekonstruktion darstellt [103].

Wie bereits Farley et al [36] für den M. supraspinatus nachwiesen, sind zudem der fettige Infiltrationsgrad sowie das Ausmaß der Atrophie höchst spezifisch (97%) und wegweisend für das Vorhandensein einer Rotatorenmanschetten-Läsion [49, 67].

Pfirrmann et al [102] konnten dies in ihrer Studie auch für den M. subscapularis nachweisen.

Darüber hinaus stellen die fettige Infiltration und das Ausmaß der Atrophie wichtige (negative) Prädiktoren hinsichtlich der operativen Rekonstruktionsmöglichkeit [49, 103, 132] von Rotatorenmanschetten-Läsionen und des postoperativen klinischen Outcomes dar. Eine entscheidende Einflussgröße in diesem Zusammenhang ist hierbei das symptomatische Intervall.

Zanetti et al [137] beschrieben in ihrer Arbeit eine direkte Korrelation von Rupturgröße und Atrophieausmaß der Rotatorenmanschetten-Muskulatur und stellten somit einen direkten Zusammenhang zwischen dem Grad der Atrophie und dem Ausmaß der fettigen Degeneration dar.

Den M. subscapularis betreffend sind vor allem die T<sub>1</sub>-gewichteten axialen Schichten zur Bestimmung der Sehnenretraktion und der LBS-Integrität [2, 49, 103] sowie die parasagittalen Schichten zur Klassifizierung der Atrophie und der fettigen Infiltration des SSC wichtig.

Erhöhte Signalintensitäten, wie sie beispielsweise bei RM-(Re-)Rupturen oder bei sich in Heilung befindlichen, bereits rekonstruierten Rotatorenmanschetten zu finden sind, lassen sich zur Beurteilung der Sehnenintegrität gut in T<sub>2</sub>-gewichteten und den STIR-Sequenzen erkennen [36, 138] (vgl. Sequenzprotokoll).

Zur objektivier- und reproduzierbaren Beurteilung sowie Verlaufskontrolle dieser Parameter sind definierte, standardisierte Schnittebenen unerlässlich, da diese die Voraussetzung für aussagekräftige Bestimmungen von Rupturgröße, Sehnenretraktion, Atrophie und fettiger Infiltration darstellen.

So wurden die Muskelflächen [69] und -durchmesser [119] standardisiert und reproduzierbar in der von Thomazeau et al [124] beschriebenen „Y-shaped-position“ in der parasagittalen Ebene ermittelt.

Gerade in der postoperativen Begutachtung ist eine akribische Beurteilung von Sehnenintegrität und Muskelbeschaffenheit wichtig, da es neben muskulärer Verfettung und Atrophie etwaige Re-Rupturen, die nicht immer symptomatisch sein müssen, auszuschließen gilt.

Ein wesentlicher Aspekt unserer Studie bestand darin, die postoperativen kernspintomographischen Ergebnisse bezüglich Muskelfläche, -durchmessern sowie Muskelatrophie und -verfettung in Zusammenhang mit dem klinischen Outcome, den spezifischen Tests (Lift-Off und Belly-Press) und dem Constant-Score zu bringen. Die Funktionsfähigkeit hinsichtlich der Kraftentwicklung (KMP) wurde mit den MRT-Ergebnissen verglichen.

Die durchschnittliche Muskelfläche des SSC betrug 2017,2 mm<sup>2</sup>. Das offen operierte Kollektiv zeigte postoperativ eine signifikant größere Fläche ( $p < 0,05$ ) als bei der rein arthroskopischen Technik. Ebenso fand sich bei der offen operierten Gruppe ein größerer kranial-transversaler Durchmesser ( $p < 0,05$ ). Dies ist möglicherweise mit einer suffizienteren Darstellung, Versorgung und somit besseren Einheilung zu erklären, wie es Verfechter der offenen Technik wie Wright et al [134] ggf. begründen würden.

Ein hoher postoperativer Grad der fettigen Infiltration konnte statistisch nicht in Zusammenhang mit einem langen symptomatischen Intervall gebracht werden, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass die Typ IV-Rupturen bereits nach einem kurzen

Intervall operativ versorgt wurden. Dies steht im Gegensatz zur Aussage von Edwards et al [35].

Eine Parallele findet sich allerdings hinsichtlich eines höhergradigen Rupturausmaßes des SSC, einer geringen Muskelfläche sowie einer ausgeprägten Sehnenretraktion.

Während einige Autoren [49] einen hohen Grad der fettigen Muskelinfiltration kategorisch in direkten Zusammenhang mit einem schlechten postoperativen klinischen Outcome bringen, konnte diese Aussage z.B. durch Burkhart et al [19] in Frage gestellt werden. Auch in unserer Studie ließ sich diesbezüglich kein statistisch signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ) nachweisen.

Im Vergleich mit einer gematchten Kontrollgruppe zeigten sich in dem operierten Kollektiv geringere postoperative Muskelflächen und Muskeldurchmesser (vertikal, kranial-transversal, kaudal-transversal) ( $p < 0,05$ ).

Patienten mit positiven Belly-Press - Tests weisen oftmals eine Atrophie des oberen Anteils des SSC verbunden mit einem verringerten kranial-transversalen Durchmesser auf. Nur zwei der fünf Patienten mit einem postoperativ positiven Belly-Press - Test zeigten parallel auch einen positiven Lift-Off - Test. Hierbei handelte sich es um den Patienten mit der Re-Ruptur sowie einen Patienten mit bereits präoperativ fortgeschrittener Atrophie.

Es scheint, dass eine Insuffizienz des am häufigsten betroffenen oberen Anteils des SSC nicht zwangsläufig mit einer Atrophie des unteren Anteils einhergeht und somit die Grundfunktion des M. subscapularis durch den unteren Anteil aufrecht erhalten werden kann [35, 43, 81], was die Aussagen von Tokish et al [127] bestätigt.

Insgesamt zeigt sich in unserem Kollektiv, dass eine rein arthroskopische Technik vergleichbar gute Ergebnisse hinsichtlich des postoperativen klinischen Outcomes, der funktionellen Kraft sowie der MR-tomographischen Größenbestimmung des SSC mit sich bringt.

Neben der geringen Anzahl an untersuchten Patienten sahen wir uns im Rahmen dieser Studie mit einigen weiteren limitierenden Faktoren konfrontiert.

Aufgrund häufig auswärtig durchgeführter MRTs oder schlechter Bildqualität war ein Vergleich mit den präoperativen Ergebnissen hinsichtlich der Muskelflächen- und Muskeldurchmesser-Berechnungen nicht suffizient möglich. Zudem war eine direkte Gegenüberstellung mit der gesunden, kontralateralen Seite nicht durchführbar.

Zwar erfolgte zur groben Einschätzung der Ergebnisse eine Gegenüberstellung mit einer Kontrollgruppe, ein direkter Vergleich kann jedoch nicht angestellt werden. Allerdings scheint dies auch im Hinblick auf folgende Studien nur schwierig durchführbar, da bereits präoperativ im Rahmen der Diagnosestellung immer beide Schultern kernspintomographisch untersucht werden müssten, was einen erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand mit sich bringen würde.

Auch das Fehlen einer Randomisierung muss in dieser Studie kritisiert werden.

Bezüglich der Kraftmessplatte muss konstatiert werden, dass präoperativ keine Daten ermittelt wurden und somit ein direkter Vergleich nicht möglich ist.

Die postoperativen Ergebnisse nach einem Follow-up von 32,5 Monaten sind bei dem homogen verteilten Patientengut hinsichtlich Rupturgröße und Operationstechnik sehr vielversprechend und in der Literatur so noch nicht beschrieben. Auch die geringen Komplikationsraten (Re-Rupturen <10%) sind erstaunlich, jedoch können erst Langzeitergebnisse ggf. mit einer größeren Patientenzahl zeigen, ob mit der Zeit Atrophie und Verfettung sowie Muskelinsuffizienz des SSC zunehmen oder ob die Re-Rupturrate steigt.

Zudem muss untersucht werden, ob auf längere Sicht das postoperative Outcome der arthroskopisch versorgten Patienten dem der offen Operierten gleich zu setzen ist.

## **6. ZUSAMMENFASSUNG**

Läsionen der Rotatorenmanschette rücken in den letzten Jahren zunehmend in das Blickfeld sportorthopädischer Verletzungen. Dabei treten die isolierten Rupturen des M. subscapularis, die in aller Regel traumatischer Natur sind und oftmals nicht erkannt oder falsch interpretiert werden, nur relativ selten (1-2%) auf. Zur Diagnostizierung derselben ist neben spezifischen und sensitiven klinischen Tests vor allem die Kernspintomographie das Mittel der Wahl zur Beurteilung der Integrität des Muskel-Sehnen-Komplexes.

In der vorliegenden Studie mit insgesamt 33 Teilnehmern bei einem Durchschnittsalter von 47,6 Jahren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung konnte die postoperative Funktion des M. subscapularis mit Hilfe klinischer Tests, einer neu entwickelten Kraftmessplatte sowie MR-tomographisch veranschaulicht werden. Darüber hinaus wurde der Einfluss der OP-Technik auf oben genannte Parameter kontrolliert. Zudem wurde ein Zusammenhang mit dem symptomatischen Intervall, der intraoperativ bestimmten Sehnenretraktion, der Rupturgröße sowie der postoperativen, fettigen Muskelinfiltration hergestellt.

Bei einem „Follow-up“ von 32,5 Monaten korrelierten pathologische postoperative Lift-Off - und Belly-Press - Testergebnisse positiv signifikant ( $p < 0,05$ ) mit der Rupturgröße, der Sehnenretraktion sowie einem langen symptomatischen Intervall und niedrigen Werten im Constant-Score und im AGRCS.

Trotz operativer Rekonstruktion persistiert in gut 20% der Fälle ein positiver Belly-Press - Test und bei gut 15% der Patienten ein pathologischer Lift-Off - Test.

Diese Ergebnisse bestätigen damit die mehrfach beschriebene residuelle postoperative Partialinsuffizienz des SSC [35, 43, 81], ohne allerdings mit einem schlechteren klinischen Outcome einherzugehen.

Insgesamt zeigt sich postoperativ eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Kraftminderung im Vergleich zur kontralateralen Seite. Hohe Kraftmesswerte in Lift-Off - und Belly-Press - Position korrelieren positiv signifikant ( $p < 0,05$ ) mit hohen Werten im Constant-Score.

Summa summarum fand sich postoperativ eine deutliche Verbesserung ( $p < 0,05$ ) der Constant-Score - Werte sowie der Schmerzintensität und der subjektiven Zufrieden-

heit. Trotz einer persistierenden leichten Innenrotationseinschränkung ergibt sich im Patientenkollektiv keine Beeinträchtigung der subjektiven postoperativen Zufriedenheit ( $p > 0,05$ ).

Die Art der operativen Rekonstruktion hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse der klinischen Tests, der Kraftmessung oder der Score-Systeme (Constant, ARGCS, SST).

Die oben bereits erwähnte postoperative Partialinsuffizienz spiegelt sich zudem in einer resultierenden MR-tomographischen Atrophie, ausgedrückt durch geringere Muskelflächen und kranial-transversale Durchmesser, wider. Trotzdem muss konstatiert werden, dass die Restfunktion des SSC auszureichen scheint, um eine glenohumerale Zentrierung bzw. Stabilisierung aufrechtzuerhalten, da die Constant-Score-Werte davon unbeeinflusst bleiben. Des Weiteren kann diskutiert werden, ob der Constant-Score seine Stellung als etabliertes Instrumentarium zur Beurteilung der Schulterfunktion behaupten kann, da er nur unspezifisch die einzelnen Komponenten der Rotatorenmanschette, v.a. den SSC, repräsentiert.

Bei Patienten mit ausgedehnten Rupturen des SSC und einer weiten Sehnenretraktion findet sich in der kurzfristigen Verlaufskontrolle bei verringerten Muskelflächen eine fortgeschrittene fettige Infiltration ( $p < 0,05$ ).

Vorausblickend wird untersucht werden müssen, ob sich die durch diese Arbeit bestätigten, guten arthroskopischen Ergebnisse auch langfristig mit den offenen Verfahren hinsichtlich des klinischen Outcomes oder einer möglichen Atrophie bzw. fettigen Infiltration vergleichen lassen.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Adams CR, Schoolfield JD, Burkhart SS (2008) The results of arthroscopic subscapularis tendon repairs. *Arthroscopy* 24:1381-1389
2. Ambacher T, Holz U (2002) [Ruptures of the subscapular tendon. A diagnostic problem?]. *Unfallchirurg* 105:486-491
3. Balvanyosy P (1990) [Static stabilizers of the shoulder joint]. *Unfallchirurg* 93:27-31
4. Barth JR, Burkhart SS, De Beer JF (2006) The bear-hug test: a new and sensitive test for diagnosing a subscapularis tear. *Arthroscopy* 22:1076-1084
5. Bartl C, Imhoff AB (2007) [Management of isolated subscapularis tendon tears]. *Orthopade* 36:848-854
6. Bartl C, Scheibel M, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P (2011) Open repair of isolated traumatic subscapularis tendon tears. *The American journal of sports medicine* 39:490-496
7. Bassett RW, Cofield RH (1983) Acute tears of the rotator cuff. The timing of surgical repair. *Clin Orthop Relat Res*:18-24
8. Bauer GJ, Kniesel B (2006) [Arthroscopic reconstruction of the rotor cuff]. *Der Unfallchirurg* 109:619-627
9. Beickert R, Bühren V (1998) Zusammenhangsfragen bei Verletzungen an der Rotatorenmanschette und der langen Bizepssehne. *Trauma Berufskrankh* 1:61-67
10. Bennett WF (2003) Arthroscopic repair of isolated subscapularis tears: A prospective cohort with 2- to 4-year follow-up. *Arthroscopy* 19:131-143
11. Bennett WF (2001) Subscapularis, medial, and lateral head coracohumeral ligament insertion anatomy. Arthroscopic appearance and incidence of "hidden" rotator interval lesions. *Arthroscopy* 17:173-180
12. Boehm T (1997) Age and sex related Constant Murely Score. *J Shoulder and Elbow Surg* 6: 194
13. Bokor DJ, Conboy VB, Olson C (1999) Anterior instability of the glenohumeral joint with humeral avulsion of the glenohumeral ligament. A review of 41 cases. *J Bone Joint Surg Br* 81:93-96
14. Braune C, Gramlich H, Habermeyer P (2000) [The macroscopic aspect of rotator cuff tears in traumatic and nontraumatic rupture cases]. *Unfallchirurg* 103:462-467
15. Brown WH, Dennis JM, Davidson CN, Rubin PS, Fulton H (1957) Posterior dislocation of the shoulder. *Radiology* 69:815-822
16. Buckup K (2005) *Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln*. Georg Thieme Verlag
17. Burkhart SS (1991) Arthroscopic treatment of massive rotator cuff tears. Clinical results and biomechanical rationale. *Clin Orthop Relat Res*:45-56
18. Burkhart SS, Brady PC (2006) Arthroscopic subscapularis repair: surgical tips and pearls A to Z. *Arthroscopy* 22:1014-1027
19. Burkhart SS, Danaceau SM, Pearce CE, Jr. (2001) Arthroscopic rotator cuff repair: Analysis of results by tear size and by repair technique-margin convergence versus direct tendon-to-bone repair. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 17:905-912
20. Burkhart SS, Diaz Pagan JL, Wirth MA, Athanasiou KA (1997) Cyclic loading of anchor-based rotator cuff repairs: confirmation of the tension overload phenomenon and comparison of suture anchor fixation with transosseous fixation. *Arthroscopy* 13:720-724

21. Burkhart SS, Morgan CD, Kibler WB (2003) The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part I: pathoanatomy and biomechanics. *Arthroscopy* 19:404-420
22. Burkhart SS, Tehrany AM (2002) Arthroscopic subscapularis tendon repair: Technique and preliminary results. *Arthroscopy* 18:454-463
23. Chang YW, Hughes RE, Su FC, Itoi E, An KN (2000) Prediction of muscle force involved in shoulder internal rotation. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 9:188-195
24. Chao S, Thomas S, Yucha D, Kelly JDT, Driban J, Swanik K (2008) An electromyographic assessment of the "bear hug": an examination for the evaluation of the subscapularis muscle. *Arthroscopy* 24:1265-1270
25. Clark RJ, Marchessault J, Sizer PS, Jr., Slauterbeck J (2002) Isolated traumatic rupture of the subscapularis tendon. *J Am Board Fam Pract* 15:304-308
26. Codman E (1906) On stiff an painful shoulder. The anatomy of the subdeltoid and subacromial bursa an its clinical importance. *Bost Med Surg J* 154:613-616
27. Codman E (ed) (1934) *The shoulder*. 2nd edn. Todd, Boston
28. Codman EA (1990) Rupture of the supraspinatus tendon. 1911. *Clin Orthop Relat Res*:3-26
29. Cofield RH, Parvizi J, Hoffmeyer PJ, Lanzer WL, Ilstrup DM, Rowland CM (2001) Surgical repair of chronic rotator cuff tears. A prospective long-term study. *J Bone Joint Surg Am* 83-A:71-77
30. Constant CR, Murley AH (1987) A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res*:160-164
31. Danesi PR, Bleise A, Burkart W, Cabianca T, Campbell MJ, Makarewicz M, Moreno J, Tuniz C, Hotchkis M (2003) Isotopic composition and origin of uranium and plutonium in selected soil samples collected in Kosovo. *J Environ Radioact* 64:121-131
32. De Palma AF (1983) *Surgery of the Shoulder*. J.B. Lippincolt Company
33. Decker MJ, Tokish JM, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ (2003) Subscapularis muscle activity during selected rehabilitation exercises. *Am J Sports Med* 31:126-134
34. Deutsch A, Altchek DW, Veltri DM, Potter HG, Warren RF (1997) Traumatic tears of the subscapularis tendon. Clinical diagnosis, magnetic resonance imaging findings, and operative treatment. *Am J Sports Med* 25:13-22
35. Edwards TB, Walch G, Sirveaux F, Mole D, Nove-Josserand L, Boulahia A, Neyton L, Szabo I, Lindgren B (2005) Repair of tears of the subscapularis. *J Bone Joint Surg Am* 87:725-730
36. Farley TE, Neumann CH, Steinbach LS, Jahnke AJ, Petersen SS (1992) Full-thickness tears of the rotator cuff of the shoulder: diagnosis with MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 158:347-351
37. Flury MP, John M, Goldhahn J, Schwyzer HK, Simmen BR (2006) Rupture of the subscapularis tendon (isolated or in combination with supraspinatus tear): when is a repair indicated? *J Shoulder Elbow Surg* 15:659-664
38. Fox JR (2003) Arthroscopic Subscapularis Repair. In: Annual meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.
39. Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M, Hodler J, Gerber C (1999) Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 8:599-605
40. Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K (2004) The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 86-A:219-224

41. Gerber C, Arneberg O (1992) Measurement of abductor strength with an electronical device (Isobex). *J. Shoulder and elbow Surg.* 2: 6.
42. Gerber C, Fuchs B, Hodler J (2000) The results of repair of massive tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Am* 82:505-515
43. Gerber C, Hersche O, Farron A (1996) Isolated rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am* 78:1015-1023
44. Gerber C, Krushell RJ (1991) Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. *J Bone Joint Surg Br* 73:389-394
45. Gerber C, Schneeberger AG, Beck M, Schlegel U (1994) Mechanical strength of repairs of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br* 76:371-380
46. Gohlke F (1993) [Ultrasonographic appearance of the rotator cuff in elderly subjects]. *Der Orthopäde* 22:288-293
47. Gohlke F, Hedtmann A (eds) (2002) *Schulter: Das Standardwerk für Klinik und Praxis*. Thieme, Stuttgart
48. Goldman A (1982) *Shoulder arthrography: technique, diagnosis, and clinical correlation* Little, Brown 1982, Boston
49. Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC (1994) Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res*:78-83
50. Grauer JD, Paulos LE, Smutz WP (1992) Biceps tendon and superior labral injuries. *Arthroscopy* 8:488-497
51. Greis PE, Kuhn JE, Schultheis J, Hintermeister R, Hawkins R (1996) Validation of the lift-off test and analysis of subscapularis activity during maximal internal rotation. *Am J Sports Med* 24:589-593
52. Gschwend N, Ivosevic-Radovanovic D, Patte D (1988) Rotator cuff tear--relationship between clinical and anatomopathological findings. *Arch Orthop Trauma Surg* 107:7-15
53. Habermeyer P (2002) *Schulterchirurgie*. Urban & Fischer Verlag, München - Jena
54. Habermeyer P, Kaiser E, Knappe M, Kreusser T, Wiedemann E (1987) [Functional anatomy and biomechanics of the long biceps tendon]. *Unfallchirurg* 90:319-329
55. Habermeyer P, Magosch P, Pritsch M, Scheibel MT, Lichtenberg S (2004) Anterosuperior impingement of the shoulder as a result of pulley lesions: a prospective arthroscopic study. *J Shoulder Elbow Surg* 13:5-12
56. Halder A, Zobitz ME, Schultz E, An KN (2000) Structural properties of the subscapularis tendon. *J Orthop Res* 18:829-834
57. Halder A, Zobitz ME, Schultz F, An KN (2000) Mechanical properties of the posterior rotator cuff. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 15:456-462
58. Halder AM, Itoi E, An KN (2000) Anatomy and biomechanics of the shoulder. *Orthop Clin North Am* 31:159-176
59. Harryman DT, 2nd, Mack LA, Wang KY, Jackins SE, Richardson ML, Matsen FA, 3rd (1991) Repairs of the rotator cuff. Correlation of functional results with integrity of the cuff. *J Bone Joint Surg Am* 73:982-989
60. Hedtmann A (2010) Weichteilerkrankungen der Schulter - Subakromialsyndrome Teil2. *Orthopädie und Unfallchirurgie* up2date:147-170
61. Hedtmann A, Fett H (1995) [Ultrasonography of the shoulder in subacromial syndromes with disorders and injuries of the rotator cuff]. *Orthopäde* 24:498-508
62. Hedtmann A, Heers G (2007) [Imaging in evaluating rotator cuff tears]. *Orthopäde* 36:796-809
63. Hertel R, Ballmer FT, Lombert SM, Gerber C (1996) Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. *J Shoulder Elbow Surg* 5:307-313

64. Herzog RJ (1998) Magnetic resonance imaging of the shoulder. *Instr Course Lect* 47:3-20
65. Hodler J, Kursunoglu-Brahme S, Snyder SJ, Cervilla V, Karzel RP, Schweitzer ME, Flannigan BD, Resnick D (1992) Rotator cuff disease: assessment with MR arthrography versus standard MR imaging in 36 patients with arthroscopic confirmation. *Radiology* 182:431-436
66. Iannotti JP, Bernot MP, Kuhlman JR, Kelley MJ, Williams GR (1996) Postoperative assessment of shoulder function: a prospective study of full-thickness rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 5:449-457
67. Iannotti JP, Zlatkin MB, Esterhai JL, Kressel HY, Dalinka MK, Spindler KP (1991) Magnetic resonance imaging of the shoulder. Sensitivity, specificity, and predictive value. *J Bone Joint Surg Am* 73:17-29
68. Imhoff AB, Hodler J (1996) Correlation of MR imaging, CT arthrography, and arthroscopy of the shoulder. *Bull Hosp Jt Dis* 54:146-152
69. Juul-Kristensen B, Bojsen-Moller F, Finsen L, Eriksson J, Johansson G, Stahlberg F, Ekdahl C (2000) Muscle sizes and moment arms of rotator cuff muscles determined by magnetic resonance imaging. *Cells Tissues Organs* 167:214-222
70. Kadaba MP, Cole A, Wootten ME, Mccann P, Reid M, Mulford G, April E, Bigliani L (1992) Intramuscular wire electromyography of the subscapularis. *J Orthop Res* 10:394-397
71. Kato K (1989) Innervation of the scapular muscles and its morphological significance in man. *Anat Anz* 168:155-168
72. Keating JF, Waterworth P, Shaw-Dunn J, Crossan J (1993) The relative strengths of the rotator cuff muscles. A cadaver study. *J Bone Joint Surg Br* 75:137-140
73. Kim TK, Rauh PB, Mcfarland EG (2003) Partial tears of the subscapularis tendon found during arthroscopic procedures on the shoulder: a statistical analysis of sixty cases. *Am J Sports Med* 31:744-750
74. Klapper RC, Jobe FW, Matsuura P (1992) The subscapularis muscle and its glenohumeral ligament-like bands. A histomorphologic study. *Am J Sports Med* 20:307-310
75. Kneeland JB, Middleton WD, Carrera GF, Zeuge RC, Jesmanowicz A, Froncisz W, Hyde JS (1987) MR imaging of the shoulder: diagnosis of rotator cuff tears. *AJR Am J Roentgenol* 149:333-337
76. Knudsen HB, Gelineck J, Sojbjerg JO, Olsen BS, Johannsen HV, Sneppen O (1999) Functional and magnetic resonance imaging evaluation after single-tendon rotator cuff reconstruction. *J Shoulder Elbow Surg* 8:242-246
77. Kreuz PC, Remiger A, Erggelet C, Hinterwimmer S, Niemeyer P, Gachter A (2005) Isolated and combined tears of the subscapularis tendon. *Am J Sports Med* 33:1831-1837
78. Kreuz PC, Remiger A, Lahm A, Herget G, Gachter A (2005) Comparison of total and partial traumatic tears of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Br* 87:348-351
79. Krieter C (2008) Die arthroskopische Klassifikation der artikulareseitigen Rotatorenmanschettenpartialrupturen. In: Dissertation. Freiburg
80. Kronberg M, Nemeth G, Brostrom LA (1990) Muscle activity and coordination in the normal shoulder. An electromyographic study. *Clinical orthopaedics and related research*:76-85
81. Lafosse L, Jost B, Reiland Y, Audebert S, Toussaint B, Gobezie R (2007) Structural integrity and clinical outcomes after arthroscopic repair of isolated subscapularis tears. *J Bone Joint Surg Am* 89:1184-1193

82. Lehmann LJ, Engel GB, Lichtenberg S, Habermeyer P (2002) [Isolated traumatic rupture of the subscapular muscle tendon as an adolescent injury]. *Unfallchirurg* 105:560-564
83. Li XX, Schweitzer ME, Bifano JA, Lerman J, Manton GL, El-Noueam KI (1999) MR evaluation of subscapularis tears. *J Comput Assist Tomogr* 23:713-717
84. Lippitt SBH, D.T., Li; and Matsen, F.A.: (1993) A practical tool for evaluating function: the Simple Shoulder Test. In *The Shoulder: A balance of mobility and stability*. The American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, IL, September, :501-518
85. Lo IK, Burkhart SS (2003) The comma sign: An arthroscopic guide to the torn subscapularis tendon. *Arthroscopy* 19:334-337
86. Loehr JF, Helmig P, Sojbjerg JO, Jung A (1994) Shoulder instability caused by rotator cuff lesions. An in vitro study. *Clin Orthop Relat Res*:84-90
87. Loew M (2000) Zur traumatischen Entstehung der Rotatorenmanschettenläsion - Wissenschaftliche Grundlagen und ihre Konsequenzen für die Begutachtung. *Orthopäde* 29:881 - 887
88. Maynou C, Cassagnaud X, Mestdagh H (2005) Function of subscapularis after surgical treatment for recurrent instability of the shoulder using a bone-block procedure. *J Bone Joint Surg Br* 87:1096-1101
89. Mc Auliffe TB, Dowd GS (1987) Avulsion of the subscapularis tendon. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 69:1454-1455
90. Mc Cann PD, Wootten ME, Kadaba MP, Bigliani LU (1993) A kinematic and electromyographic study of shoulder rehabilitation exercises. *Clin Orthop Relat Res*:179-188
91. Morse K, Davis AD, Afra R, Kaye EK, Schepsis A, Voloshin I (2008) Arthroscopic versus mini-open rotator cuff repair: a comprehensive review and meta-analysis. *Am J Sports Med* 36:1824-1828
92. Neer Li CS (1983) Impingement lesions. *Orthop. Clin.* 173:70-77
93. Neviasser RJ, Neviasser TJ, Neviasser JS (1988) Concurrent rupture of the rotator cuff and anterior dislocation of the shoulder in the older patient. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 70:1308-1311
94. Nobuhara K, Ikeda H (1987) Rotator interval lesion. *Clin Orthop Relat Res*:44-50
95. Oetiker R (2010) Das Impingementsyndrom der Schulter und der Rotatorenmanschettenriss der Schulter <http://www.orthozentrum.ch/Schulter-Ellbogen-Hand/Rotatorenmanschettenruptur-und-Impingementsyndro.aspx> Stand:18.06.2012.
96. Oh JH, Kim SH, Lee HK, Jo KH, Bin SW, Gong HS (2008) Moderate preoperative shoulder stiffness does not alter the clinical outcome of rotator cuff repair with arthroscopic release and manipulation. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 24:983-991
97. Owen RS, Iannotti JP, Kneeland JB, Dalinka MK, Deren JA, Oleaga L (1993) Shoulder after surgery: MR imaging with surgical validation. *Radiology* 186:443-447
98. Patte D (1990) Classification of rotator cuff lesions. *Clin Orthop Relat Res*:81-86
99. Patten RM (1994) Tears of the anterior portion of the rotator cuff (the subscapularis tendon): MR imaging findings. *AJR Am J Roentgenol* 162:351-354
100. Pavlidis T, Ganten M, Lehner B, Dux M, Loew M (2003) [Tenoplasty of the long head of the biceps in massive rotator cuff tear]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141:177-181
101. Pennock AT, Pennington WW, Torry MR, Decker MJ, Vaishnav SB, Provencher MT, Millett PJ, Hackett TR (2011) The influence of arm and shoulder position on the bear-

- hug, belly-press, and lift-off tests: an electromyographic study. *The American journal of sports medicine* 39:2338-2346
102. Pfirrmann CW, Schmid MR, Zanetti M, Jost B, Gerber C, Hodler J (2004) Assessment of fat content in supraspinatus muscle with proton MR spectroscopy in asymptomatic volunteers and patients with supraspinatus tendon lesions. *Radiology* 232:709-715
  103. Pfirrmann CW, Zanetti M, Weishaupt D, Gerber C, Hodler J (1999) Subscapularis tendon tears: detection and grading at MR arthrography. *Radiology* 213:709-714
  104. Picard F, Saragaglia D, Montbarbon E, Tourne Y, Thony F, Charbel A (1998) [Anatomo-clinical consequences of the vertical sectioning of the subscapular muscle in Latarjet intervention]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 84:217-223
  105. Recht MP, Resnick D (1993) Magnetic resonance-imaging studies of the shoulder. Diagnosis of lesions of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Am* 75:1244-1253
  106. Reinus WR, Shady KL, Mirowitz SA, Totty WG (1995) MR diagnosis of rotator cuff tears of the shoulder: value of using T2-weighted fat-saturated images. *AJR Am J Roentgenol* 164:1451-1455
  107. Resch H, Povacz P, Ritter E, Matschi W (2000) Transfer of the pectoralis major muscle for the treatment of irreparable rupture of the subscapularis tendon. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 82:372-382
  108. Richards DP, Burkhart SS, Lo IK (2003) Subscapularis tears: arthroscopic repair techniques. *Orthop Clin North Am* 34:485-498
  109. Richards DP, Burkhart SS, Tehrany AM, Wirth MA (2007) The subscapularis footprint: an anatomic description of its insertion site. *Arthroscopy* 23:251-254
  110. Rodosky MW, Harner CD, Fu FH (1994) The role of the long head of the biceps muscle and superior glenoid labrum in anterior stability of the shoulder. *Am J Sports Med* 22:121-130
  111. Rohen J, Lütjen-Drecoll E (2006) Funktionelle Anatomie des Menschen-Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten. Schattauer Verlag
  112. Rothman RH, Parke WW (1965) The vascular anatomy of the rotator cuff. *Clin Orthop Relat Res* 41:176-186
  113. Rubin SA, Gray RL, Green WR (1974) The scapular "Y": a diagnostic aid in shoulder trauma. *Radiology* 110:725-726
  114. Saha AK (1971) Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Scand* 42:491-505
  115. Sakurai G, Ozaki J, Tomita Y, Kondo T, Tamai S (1998) Incomplete tears of the subscapularis tendon associated with tears of the supraspinatus tendon: cadaveric and clinical studies. *J Shoulder Elbow Surg* 7:510-515
  116. Samilson RL, Prieto V (1983) Dislocation arthropathy of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 65:456-460
  117. Scheibel M, Magosch P, Pritsch M, Lichtenberg S, Habermeyer P (2005) The belly-off sign: a new clinical diagnostic sign for subscapularis lesions. *Arthroscopy* 21:1229-1235
  118. Scheibel M, Tsynman A, Magosch P, Schroeder RJ, Habermeyer P (2006) Postoperative subscapularis muscle insufficiency after primary and revision open shoulder stabilization. *Am J Sports Med* 34:1586-1593
  119. Schroeder RJ, Scheibel M, Tsynman A, Magosch P, Habermeyer P (2006) [Magnetic resonance analysis of the subscapularis muscle after open anterior shoulder stabilization]. *Rofo* 178:706-712
  120. Spielmann AL, Forster BB, Kokan P, Hawkins RH, Janzen DL (1999) Shoulder after rotator cuff repair: MR imaging findings in asymptomatic individuals--initial experience. *Radiology* 213:705-708

121. Stefko JM, Jobe FW, Vanderwilde RS, Carden E, Pink M (1997) Electromyographic and nerve block analysis of the subscapularis liftoff test. *J Shoulder Elbow Surg* 6:347-355
122. Su WR, Budoff JE, Luo ZP (2009) The effect of anterosuperior rotator cuff tears on glenohumeral translation. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 25:282-289
123. Symeonides PP (1972) The significance of the subscapularis muscle in the pathogenesis of recurrent anterior dislocation of the shoulder. *J Bone Joint Surg Br* 54:476-483
124. Thomazeau H, Duval JM, Darnault P, Dreano T (1996) Anatomical relationships and scapular attachments of the supraspinatus muscle. *Surg Radiol Anat* 18:221-225
125. Thomazeau H, Rolland Y, Lucas C, Duval JM, Langlais F (1996) Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. *Acta Orthop Scand* 67:264-268
126. Ticker JB, Warner JJ (1997) Single-tendon tears of the rotator cuff. Evaluation and treatment of subscapularis tears and principles of treatment for supraspinatus tears. *Orthop Clin North Am* 28:99-116
127. Tokish JM, Decker MJ, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ (2003) The belly-press test for the physical examination of the subscapularis muscle: electromyographic validation and comparison to the lift-off test. *J Shoulder Elbow Surg* 12:427-430
128. Turkel SJ, Panio MW, Marshall JL, Girgis FG (1981) Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surg Am* 63:1208-1217
129. Uthoff HK, Sarkar K (1995) [Anatomy and pathology of the rotator cuff]. *Orthopade* 24:468-474
130. Vidil A, Augereau B (2000) [Transfer of the clavicular portion of the pectoralis major muscle in the treatment of irreparable tears of the subscapularis muscle]. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 86:835-843
131. Walch G, Dejour H, Trillat AG (1987) [Recurrent anterior luxation of the shoulder occurring after the age of 40]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 73:609-616
132. Warner JJ, Higgins L, Parsons IMT, Dowdy P (2001) Diagnosis and treatment of anterosuperior rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 10:37-46
133. Wirth MA, Rockwood CA, Jr. (1997) Operative treatment of irreparable rupture of the subscapularis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 79:722-731
134. Wright JM, Heavrin B, Hawkins RJ, Noonan T (2001) Arthroscopic visualization of the subscapularis tendon. *Arthroscopy* 17:677-684
135. Wuelker N (2005) *Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie.*
136. Yamaguchi K, Ditsios K, Middleton WD, Hildebolt CF, Galatz LM, Teefey SA (2006) The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 88:1699-1704
137. Zanetti M, Gerber C, Hodler J (1998) Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging. *Invest Radiol* 33:163-170
138. Zlatkin MB, Iannotti JP, Roberts MC, Esterhai JL, Dalinka MK, Kressel HY, Schwartz JS, Lenkinski RE (1989) Rotator cuff tears: diagnostic performance of MR imaging. *Radiology* 172:223-229

## 8. ANHANG

### Simple Shoulder Test (SST)

	Ja	Nein
1. Ist der betroffene Arm in Ruhe schmerzfrei?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Können Sie von Seiten der Schulter her problemlos schlafen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Können Sie mit dem betroffenen Arm Ihr Hemd auf dem Rücken in die Hose stecken?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Können Sie Ihre Hände mit zur Seite gestreckten Ellenbogen auf den Hinterkopf legen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Können Sie den gestreckten Arm auf Schulterhöhe heben?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Können Sie mit gestrecktem Arm 500g (z.B. 2 Stück Butter) auf Schulterhöhe heben?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Können Sie mit gestrecktem Arm 4kg (z.B. 4 1l-Milchpackungen) auf Scheitelhöhe heben?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Können Sie seitlich am Körper mit dem betroffenen Arm 10kg (z.B. 10 1l-Milchpackungen) tragen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Glauben Sie, dass Sie einen Tennisball mit dem betroffenen Arm seitlich vom Körper 10m weit werfen können?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Glauben Sie, dass Sie einen Tennisball mit dem betroffenen Arm über Kopf 20m weit werfen können?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Können Sie mit dem betroffenen Arm die Rückseite der Gegenschulter waschen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Sind Sie von Seiten der Schulter her im erlernten Beruf voll arbeitsfähig?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 30: Simple Shoulder Test (SST).

## Constant-Schulter-Score

Name, Vorname: _____	Betroffene Schulter: <input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Geb.-Datum: _____	Dominanter Arm: <input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Untersuchungsdatum: _____	

<b>Schmerz:</b> (der am stärksten verspürte im Verlauf des täglichen Lebens)	
kein	mild
0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15	mäßige
<b>starke Schmerzen</b>	
Punkte: 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0	_____ 15

<b>Alltagsaktivitäten:</b>	
<b>Arbeitsfähigkeit:</b>	0 - 1 - 2 - 3 - 4
<b>Freizeit-/Sportfähigkeit:</b>	0 - 1 - 2 - 3 - 4
<b>Schlaffähigkeit:</b>	0 - 1 - 2
<b>Handreichweite:</b> Verrichtung von Arbeiten schmerzlos möglich bis .....	
Gürtellinie	Xiphoid
2	4
Hals	Scheitel
6	8
über den Kopf hinaus	10
_____ 20	

<b>Motilität:</b> schmerzfrei + aktiv !	
<b>Flexion:</b>	<b>Abduktion:</b>
0° - 30°	0
31° - 60°	2
61° - 90°	4
91° - 120°	6
121° - 150°	8
151° - 180°	10
<b>Außenrotation:</b> (Punkte jeweils addieren)	
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen nach vorne	2
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen zur Seite	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen nach vorne	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen zur Seite	2
Uneingeschränkte Überkopfbeweglichkeit	2
<b>Innenrotation:</b>	
Handrücken auf Außenseite des Oberschenkels	0
Handrücken auf Gesäß	2
Handrücken auf lumbosacralem Übergang	4
Handrücken auf Gürtellinie (3. LWK)	6
Handrücken auf 12. Rückenwirbel	8
Handrücken zwischen den Schulterblättern	10
_____ 40	

<b>Kraft:</b> Messwert: _____ kg → entsprechenden Punktwert unten markieren
90° Abduktion in der Scapularebene, Hand proniert.
Messung mit Isobex Kraftmessgerät (Cursor AG, Bern, Schweiz). 1 Punkt entspricht einem Pfund (=0,45 kg)
1 P 0,45 kg    6 P 2,7 kg    11 P 4,95 kg    16 P 7,2 kg    21 P 9,45 kg
2 P 0,9 kg    7 P 3,15 kg    12 P 5,4 kg    17 P 7,65 kg    22 P 9,9 kg
3 P 1,35 kg    8 P 3,6 kg    13 P 5,85 kg    18 P 8,1 kg    23 P 10,35 kg
4 P 1,8 kg    9 P 4,05 kg    14 P 6,3 kg    19 P 8,55 kg    24 P 10,8 kg
5 P 2,25 kg    10 P 4,5 kg    15 P 6,75 kg    20 P 9,0 kg    25 P 11,25 kg

Untersucher: \_\_\_\_\_

Gesamtpunktzahl: \_\_\_\_\_ 100

Abb. 31: Constant Schulter Score ; in Anlehnung an [30].

## **9. DANKSAGUNG**

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Andreas B. Imhoff möchte ich für die Ermöglichung dieser Arbeit sowie die im Verlauf ausgezeichnete Betreuung bedanken.

Ich danke meinem Betreuer PD Dr. med. Christoph Bartl für die fachliche Beratung und Unterstützung bei der Umsetzung dieser Dissertation.

Meiner Frau Veronika und meiner Familie gebührt mein außerordentlicher Dank für die unermüdliche Hilfe, die seelische Unterstützung und die unerschöpfliche Motivation.

Zudem möchte ich mich bei meinen Freunden Joost und Carsten für die Unterstützung bei den Bilddarstellungen bedanken.