

# **Klinische und radiologische Ergebnisse nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit Augmentation eines Periostlappens im 11 Jahres Follow-up**

Bernhard Otto Winand Freiherr von Bibra

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der Technischen Universität München zur Erlangung eines  
Doktors der Medizin (Dr. med.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: apl. Prof. Dr. Bernhard Haslinger

Prüfende der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist
2. apl. Prof. Dr. Marc Hanschen

Die Dissertation wurde am 19.04.2024 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am 06.11.2024 angenommen.

**für meine Ehefrau Andrea  
und meine Eltern Helene und Ludwig**

Inhaltsverzeichnis	
I Tabellenverzeichnis.....	5
II Abbildungsverzeichnis.....	6
1. Einleitung.....	8
1.1 Anatomie.....	9
1.1.1 Humerus.....	9
1.1.2 Cavitas glenoidalis.....	10
1.1.3 Schultergürtel.....	10
1.1.4 Größenverhältnis Schultergelenk und Gelenkstabilität.....	11
1.1.5 Rotatorenmanschette.....	11
1.1.6 Fornix humeri.....	13
1.1.7 Bursa subacromialis.....	13
1.1.8 Musculus deltoideus.....	13
1.1.9 Innervation und Gefäßversorgung.....	14
1.1.10 Periost.....	15
1.2 Rotatorenmanschettenrupturen.....	15
1.2.1 Definition.....	15
1.2.2 Pathogenese.....	16
1.2.3 Prävalenz .....	17
1.2.4 Klinik.....	18
1.2.5 Bildgebung.....	18
1.2.6 Klassifikationen.....	19
1.3 Therapiemöglichkeiten der Rotatorenmanschettenruptur.....	20
1.3.1 Operative Rotatorenmanschettenrekonstruktion.....	21
1.3.2 Komplikationen der operativen Versorgung.....	22
1.4 Probleme der Sehnen-Knochen Heilung.....	23
1.4.1 Augmentationsstrategien in der Schulterchirurgie.....	24
1.4.2 Studien mit Periostlappenaugmentation.....	25
1.4.3 Vorgängerstudie.....	26
2. Zielsetzung .....	27
3. Material und Methoden .....	28
3.1 Studiendesign.....	28
3.2 Ethikvotum.....	28
3.3 Studienpopulation.....	28

3.4 Untersuchungsintervall und Datenerhebung.....	29
3.4.1 Körperliche Untersuchung.....	30
3.4.2 Simple-shoulder Test (SST).....	30
3.4.3 Constant Score (CS) .....	31
3.4.4 Ultraschall und Röntgen .....	32
3.4.5 Magnetresonanztomographie.....	32
3.5 Chirurgische Technik .....	33
3.5.1 Postoperatives Management .....	37
3.6 Einteilung in Subgruppen.....	38
3.7 Statistik.....	38
4. Ergebnisse .....	39
4.1 Patientendaten.....	39
4.2 Bildgebung.....	39
4.2.1 Magnetresonanztomographie.....	39
4.2.2 Ultraschall.....	42
4.2.3 Einteilung in Subgruppen.....	43
4.3 Körperliche Untersuchung.....	43
4.4 Scores.....	44
4.4.1 Simple Shoulder Test.....	44
4.4.2 Constant Score.....	46
4.5 Vergleich zwischen Re-Rupturen und intakten Manschetten.....	48
4.5.1 Basisdaten der Subgruppe.....	48
4.5.2 Subgruppenanalyse.....	49
4.6 Vergleich zwischen Sehnen mit Ossifikationen und Sehnen ohne Nachweis einer Ossifikation.....	50
4.6.1 Basisdaten der Subgruppen.....	50
4.6.2 Subgruppenanalyse .....	51
4.7 Gesamtergebnis.....	52
5. Diskussion .....	52
5.1 Methodik .....	52
5.1.1 Studiendesign .....	53
5.1.2 Statistik.....	56
5.2 Ergebnisse.....	57
5.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	57

5.2.2 Diskussion der Ergebnisse.....	57
5.2.3 Limitationen und Bedeutung der Studie .....	62
5.2.4 Ausblick.....	64
6. Zusammenfassung .....	65
7. Anhang.....	66
7.1 Simple shoulder Test.....	66
7.2 Constant Score.....	67
7.3 Patientendaten im Detail.....	70
7.4 Abkürzungsverzeichnis.....	71
8. Literatur.....	72
9. Danksagung.....	83

## **I Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Prävalenz der symptomatischen Rotatorenmanschettenruptur.....	17
Tabelle 2: Klassifikation der Defektgröße nach Bateman.....	19
Tabelle 3: Klassifikation der Sehnenretraktion nach Patte.....	19
Tabelle 4: Klassifikation der fettigen Infiltration des Muskelbauchs nach Goutallier.....	19
Tabelle 5: Klassifikation der muskulären Atrophie nach Thomazeau oder Fuchs im MRT.....	19
Tabelle 6: Klassifikation nach Sugaya zur Bewertung der Sehnenqualität nach Rekonstruktion im MRT.....	20
Tabelle 7: Constant Score Normalwerte verschiedener Autoren.....	31
Tabelle 8: Beweglichkeit der operierten Schulter in der LZU.....	43
Tabelle 9: Kraftgrade der operierten Schulter in der LZU.....	44
Tabelle 10: Funktionstests der operierten Schulter in der LZU.....	44
Tabelle 11: LZU Constant Score: Ergebnisse aufgeteilt nach Kategorien.....	46
Tabelle 12: präoperative Basisdaten Subgruppe Re-Ruptur.....	48
Tabelle 13: präoperative bildgebende Klassifikation Subgruppe Re-Ruptur.....	48
Tabelle 14: präoperative arthroskopische Befunde Subgruppe Re-Ruptur.....	48
Tabelle 15: Geschlechts-, und altersadaptierter Constant Score Subgruppe Re- Ruptur LZU.....	49
Tabelle 16: präoperative Basisdaten Subgruppe Ossifikation.....	50

Tabelle 17: präoperative bildgebende Klassifikation Subgruppe Ossifikation....	50
Tabelle 18: präoperative arthroskopische Befunde Subgruppe Ossifikation.....	50
Tabelle 19: Geschlechts-, und altersadaptierter Constant Score Subgruppe Ossifikation LZU.....	51
Tabelle 20: Gesamtergebnis im Vergleich mit der Literatur.....	61

## **II Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Proximaler Humerusknochen Ansicht von ventral.....	9
Abbildung 2: Scapula mit Cavitas Glenoidalis. Ansicht von lateral.....	10
Abbildung 3: Röntgenaufnahme der Schulter in a.p. Projektion.....	11
Abbildung 4: Rotatorenmanschette, Ansicht von lateral.....	12
Abbildung 5: Frontalschnitt einer injizierten, entkalkten und aufgehellten rechten Frühgeborenschulter.....	14
Abbildung 6: Defekt der Supraspinatussehne in typischer Lokalisation.....	16
Abbildung 7: Akromiontyp nach Bigliani und Morrison.....	19
Abbildung 8: Suture-bridge-Rotatorenmanschettennaht.....	21
Abbildung 9: Histologischer Ausschnitt eines normalen Supraspinatussehnenansatzes.....	23
Abbildung 10: Histologischer Ausschnitt des Supraspinatussehnenansatzes 4 Wochen nach Rekonstruktion im Rattenmodell.....	24
Abbildung 11: Intraoperative Darstellung des angefrischten Sehnenendes.....	34
Abbildung 12: Intraoperative Ansicht des proximal gestielten Periostlappens...35	35
Abbildung 13: Intraoperative Darstellung des Fassens des Periostlappens mit dem Fadenmaterial.....	36
Abbildung 14: Intraoperative Darstellung des Fassens der Sehne mit den zuvor den Periostlappen perforierenden Nähten.....	36
Abbildung 15: Intraoperative Darstellung des Festziehens der modifizierten Mason-Allen Naht.....	37
Abbildung 16: Intraoperative Darstellung des rekonstruierten und mit Periostlappen augmentierten Rotatorenmanschettendefekts.....	37
Abbildung 17: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: eine intakte Supraspinatussehne.....	40
Abbildung 18: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: eine Supraspinatussehne mit	

Ruptur.....	40
Abbildung 19: MRT Transversalebene axiale IM-w fs TSE: eines Patienten mit Ossifikation.....	41
Abbildung 20: MRT Frontalebene T1-w GE: des gleichen Patienten mit Ossifikation.....	41
Abbildung 21: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: des gleichen Patienten mit Ossifikation.....	42
Abbildung 22: Simple Shoulder Test Scores im Vergleich zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	45
Abbildung 23: adaptierter Constant Score im Vergleich zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	47

# 1. Einleitung

Schulterschmerzen sind ein häufiges Phänomen in der Bevölkerung. Die Lebensprävalenz wird mit bis zu 66,7% angegeben [7]. Eine der häufigsten Ursachen dafür sind Rotatorenmanschettenrupturen [8]. Die Entität der Ruptur ist meistens intrinsisch, eine Kombination aus abnehmender Durchblutung und Sehnedegeneration [8, 9]. Bei der konservativen Therapie wird die Ruptur im Verlauf nicht kleiner, und die zugehörige Muskulatur verfettet zunehmend [10]. Eine operative Therapie mit Rekonstruktion der Sehne bringt sowohl eine Schmerzreduktion, als auch den Erhalt der Muskulatur und damit auch eine bessere Schulterfunktion [11]. Langfristig leidet ungefähr jeder zweite Patient unter einer Re-Ruptur [12]. Die Operation sollte sich also neben der Wiederherstellung der Sehnenkontinuität auch der zugrunde liegenden Degeneration widmen [13]. Es stellt sich die Frage nach neuen chirurgischen Techniken, welche das biologische Heilungspotential verbessern, um eine langfristig stabile Sehnenrekonstruktion zu gewährleisten, um damit die Schulterfunktion zu erhalten. Im Tierversuch wurde bei einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit einer Periostlappenaugmentation eine erhöhte Ausrissfestigkeit nachgewiesen, im Gegensatz zu der Rotatorenmanschettenrekonstruktion ohne Periostlappenaugmentation [14]. Faserknorpel ist ein wichtiger Bestandteil einer intakten Sehnen-Knochen-Verbindung, der nach einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion sich jedoch nicht mehr bildet [15]. Mit der Periostlappenaugmentation konnte, im Tierversuch, die Bildung von Faserknorpel im Sehnen-Knochen-Übergang nachgewiesen werden [14].

In dieser Dissertation wird die Schulterfunktion und die Struktur der Rotatorenmanschette elf Jahre nach Rekonstruktion mit Periostlappenaugmentation untersucht und evaluiert.

## 1.1 Anatomie

Das Schultergelenk, *Articulatio humeri*, ist ein klassisches Kugelgelenk und besteht aus dem näherungsweise kugelförmigen Humeruskopf und der Schultergelenkpfanne, der *Cavitas glenoidalis*. [16]

### 1.1.1 Humerus

Am proximalen Humerus (Abbildung 1) sitzen ventral das *Tuberculum minus* und lateral das *Tuberculum majus*, die zusammen mit ihren nach distal auslaufenden Leisten als Ansatz für wichtige Muskeln dienen. Zwischen den *tubercula* liegt der *Sulcus intertubercularis*. Er wird gebildet von Ausläufern der fibrösen Gelenkkapsel und von einer Fortsetzung der Sehne des *M. subscapularis*, und dient als Gleitkanal für die lange Bizepssehne. [16, 17]

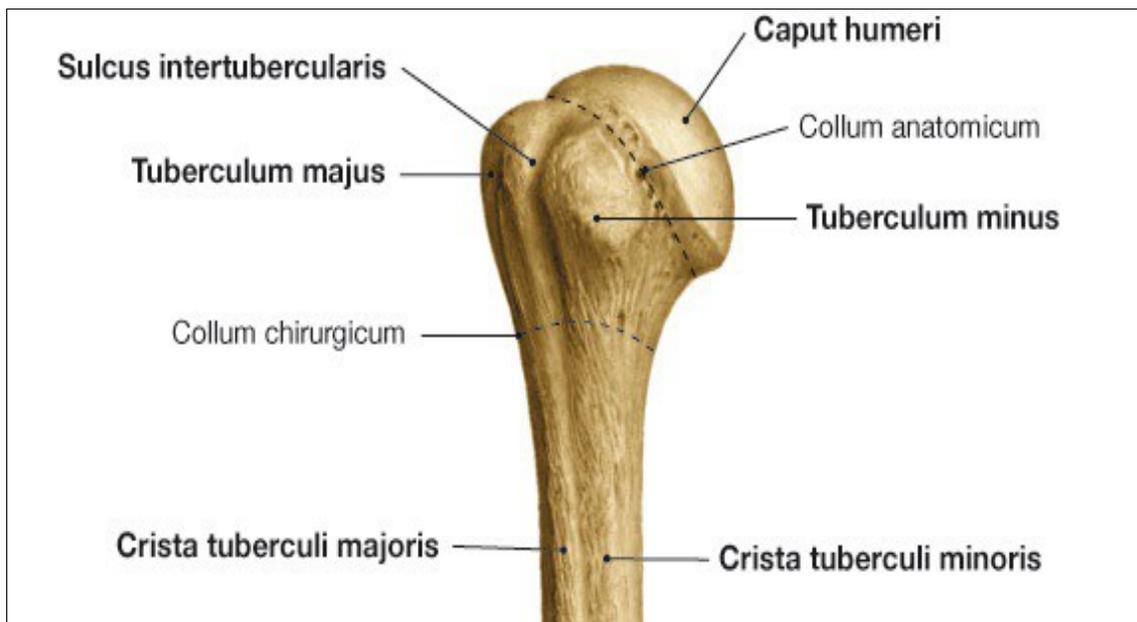
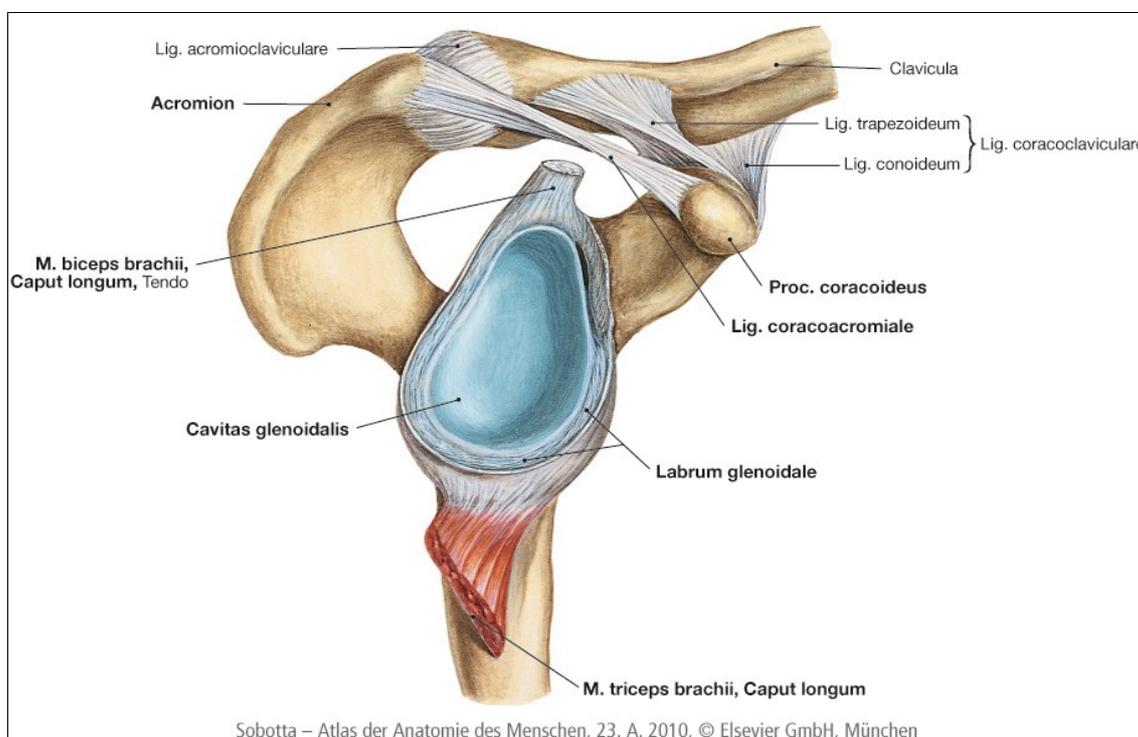


Abbildung 1: Proximaler Humerusknochen Ansicht von ventral [1]

### 1.1.2 Cavitas glenoidalis

Die Pfanne wird oben schmaler und wirkt insgesamt birnenförmig (Abbildung 2). Die Pfannenebene ist, gegenüber der Scapulaebene, um im Mittel 5° retrovertiert [17]. Der hyaline Gelenkknorpel ist in Umkehrung des runden Humeruskopfes am Rand dicker als im Zentrum. Das Labrum glenoidale, ein Faserknorpelring, sitzt der cavitas glenoidalis rundherum auf. Diese Gelenkklippe vergrößert nicht nur die Pfanne, sondern verstärkt auch die Konkavität und verbessert damit die Kongruenz zum Humeruskopf. Das Caput longum des Musculus Bicipitis entspringt vom Labrum glenoidale am tuberculum supraglenoidale. [16, 18, 19]



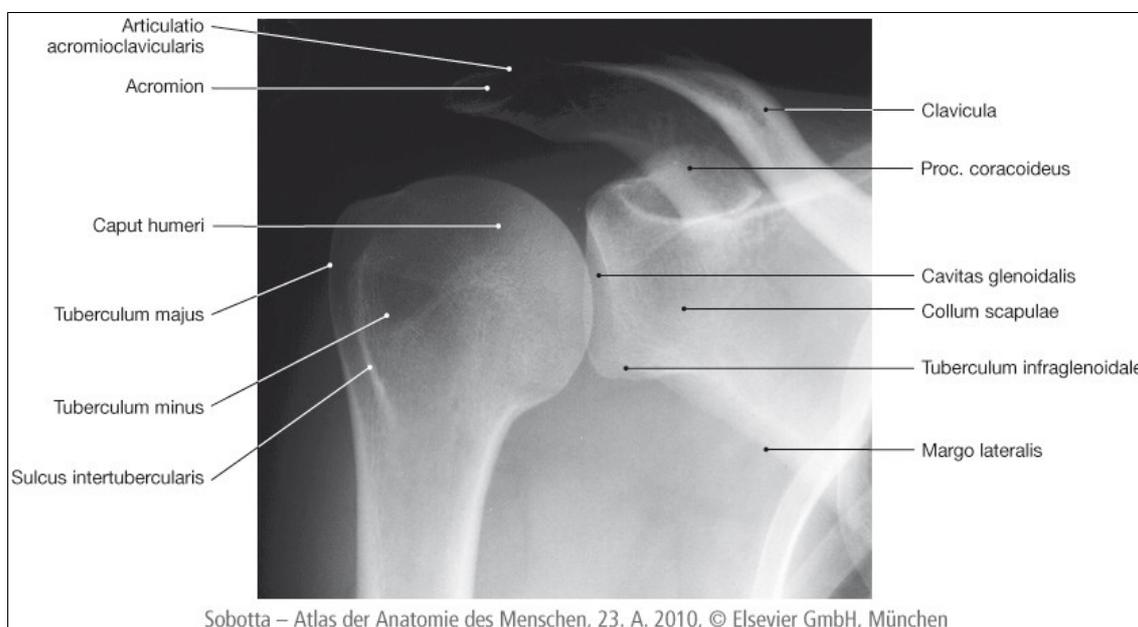
**Abbildung 2: Scapula mit Cavitas Glenoidalis. Ansicht von lateral [1]**

### 1.1.3 Schultergürtel

Der Schultergürtel besteht aus der Klavikula und Scapula, welche durch Diarthrosen und Syndesmosen verbunden sind. Er ist dem Thorax aufgelagert und fungiert als bewegliches Bindeglied zwischen Arm und Brustkorb. Die muskuläre Aufhängung des Schultergürtels am Thorax und die Verschiebbarkeit des Schulterblatts ermöglicht erst die große Beweglichkeit der Arme und gestattet die umfassende Nutzung des Tast- und Greiforgans Hand. [16, 19]

### 1.1.4 Größenverhältnis Schultergelenk und Gelenkstabilität

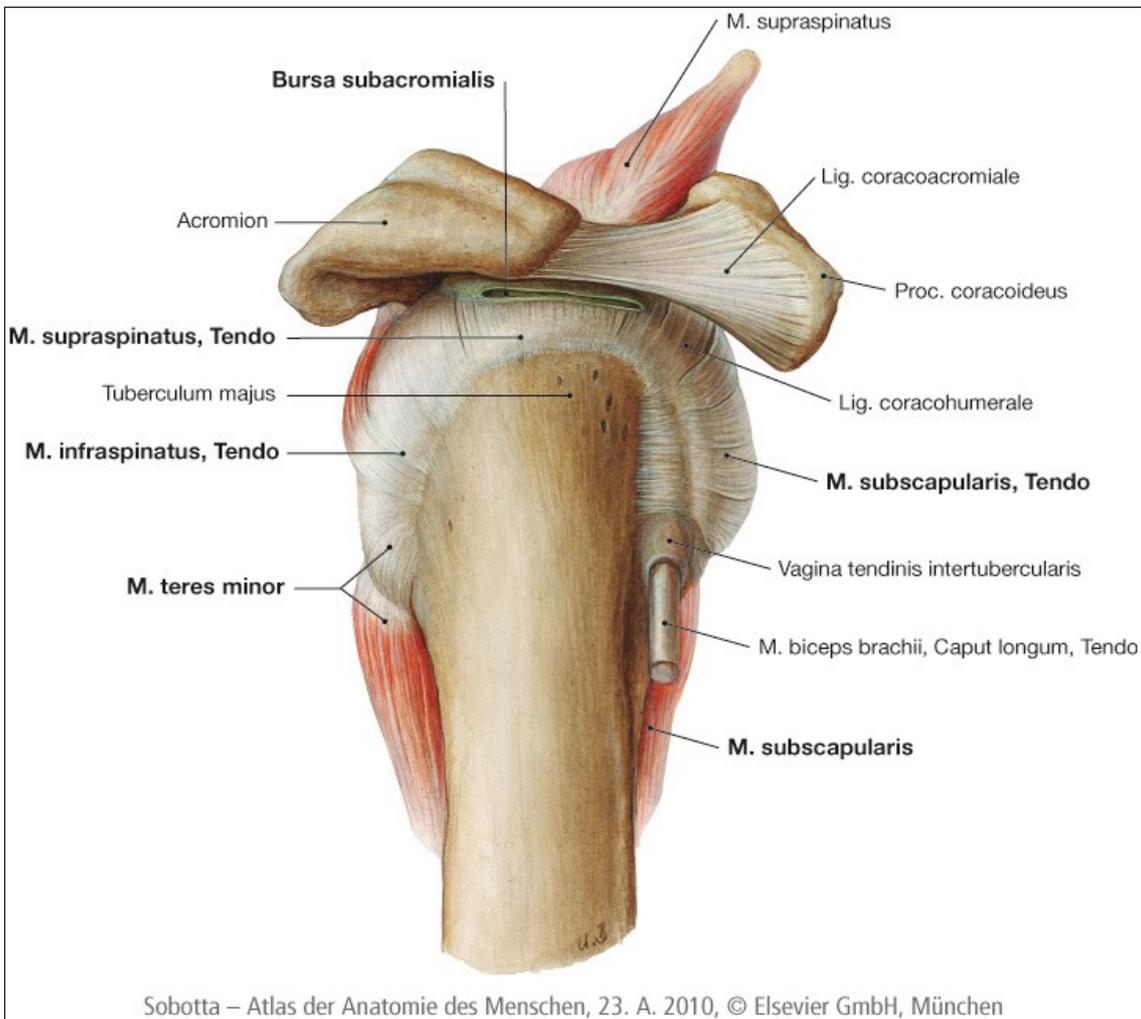
Auffallend ist das Missverhältnis zwischen den Größen der Gelenkkörper, bei denen der Kopf die knöcherne Pfanne um ca. das Dreifache übertrifft (Abbildung 3). Die Gelenkkapsel besitzt jedoch keine typischen Verstärkungsbänder, die Stabilität des Gelenks erfolgt beinahe ausschließlich muskulär. Dadurch wird einerseits die große Beweglichkeit ermöglicht, andererseits wird es anfällig für Luxationen. Nicht umsonst ist es das Gelenk mit den Häufigsten Luxationen des menschlichen Körpers. Für die maximale Abduktion wird zusätzliches Kapselgewebe benötigt, welches bei herunterhängendem Arm den Recessus axillaris bildet. [16]



**Abbildung 3: Röntgenaufnahme der Schulter in a.p. Projektion [1]**

### 1.1.5 Rotatorenmanschette

Die vier Muskeln, welche primär die Stabilität des Schultergelenks sichern, werden auch Muskel-Sehnen-Kappe genannt. Im klinischen Sprachgebrauch hat sich der Ausdruck Rotatorenmanschette etabliert. Diese vier sind M. subscapularis, M. supraspinatus, M. infraspinatus und M. teres minor. Sie liegen der Kapsel unmittelbar auf und bedecken diese zu circa dreiviertel. Distal strahlen die Sehnen der Rotatorenmanschette in die Kapsel ein und verstärken sie (Abbildung 4). [19]



**Abbildung 4: Rotatorenmanschette, Ansicht von lateral [1]**

Die Mm. subscapularis und infraspinatus arbeiten als Antagonisten für die Innen- und Außenrotation eng zusammen. Der M. teres minor unterstützt den M. infraspinatus in der Außenrotation. Der M. Supraspinatus ist für die Abduktion der Schulter zuständig, insbesondere aus der Neutral-Null-Stellung heraus. Alle Muskeln der Rotatorenmanschette arbeiten eng zusammen, um den Humeruskopf jederzeit in der Pfanne zu zentrieren. Die Schädigung auch nur einer dieser Sehnen reicht aus, um die Zentrierung und den Bewegungsablauf im Schultergelenk zu stören. [16, 19]

### **1.1.6 Fornix humeri**

Das Schulterdach, die Fornix humeri, besteht aus dem Akromion, dem Processus coracoideus und dem Ligamentum coracoacromiale. Der M. supraspinatus ist durch seinen Verlauf unter dem Fornix humeri in einem Engpasses (Abbildung 4). Entsprechend häufig tritt das Impingement-Syndrom auf, wo die Sehne schmerzhaft eingeklemmt wird. Die Sehne rutscht bei Außenrotation nach dorsal unter das Akromion und bei Innenrotation nach ventral unter das Ligamentum coracoacromiale. Bei Rotatorenmanschettenrupturen ist die Supraspinatussehne bei über 95% der Fälle beteiligt. [16, 20, 21]

### **1.1.7 Bursa subacromialis**

Die Bursa subacromialis liegt der Rotatorenmanschette auf, insbesondere dem M. supraspinatus, und reicht nach ventral fast bis zum Processus coracoideus. Häufig bildet sie mit der Bursa subdeltoidea eine Einheit, wodurch der größte Gleitbeutel des Bewegungsapparates entsteht. Die Funktion der bursa subacromialis geht über die eines normalen Gleitbeutels hinaus: Er erlaubt die freie Verschiebbarkeit des Humeruskopfes bei allen Bewegungen [19, 22].

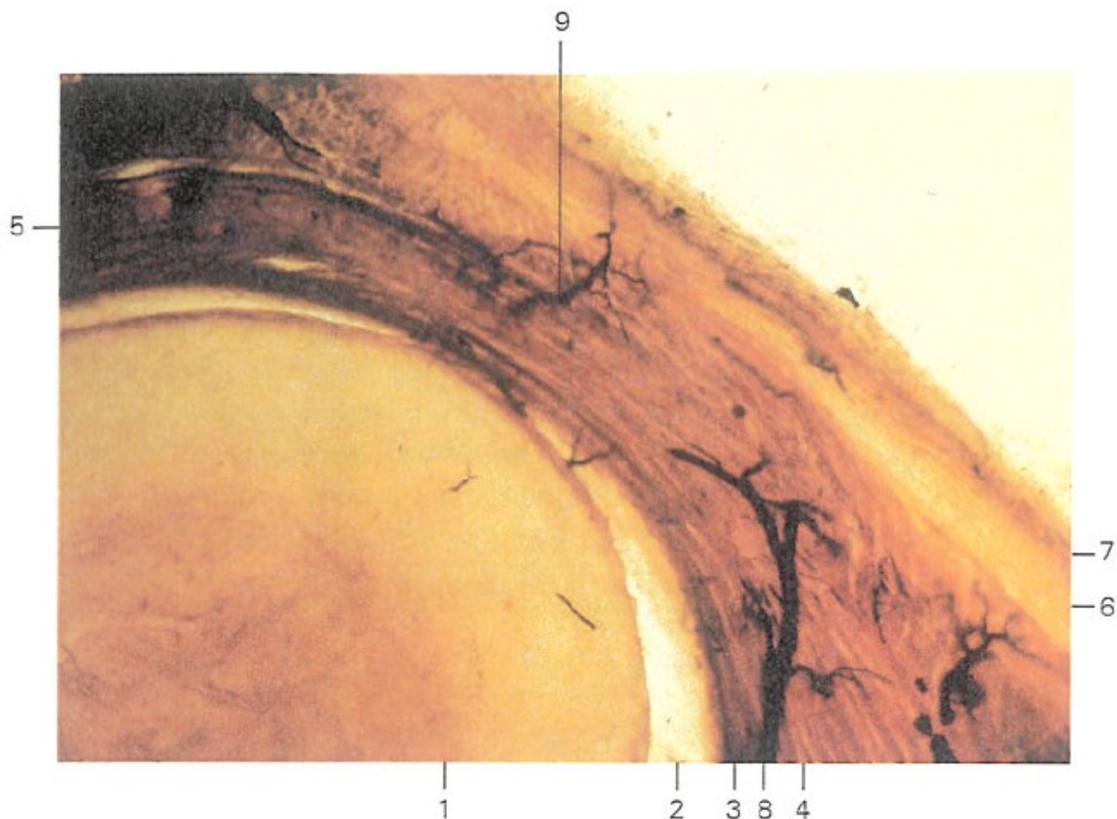
### **1.1.8 Musculus deltoideus**

Der M. deltoideus, auch Deltamuskel genannt, kann mit seinen drei Anteilen fast alle Armbewegungen unterstützen. Voraussetzung hierfür ist eine stabile Zentrierung des Humeruskopfes in der Gelenkpfanne. Je größer die Rotatorenmanschettenruptur und je mehr Sehnen betroffen sind, desto schlechter ist die Zentrierung und damit verliert der M. Deltoideus an Funktion und Kraft [23].

### 1.1.9 Innervation und Gefäßversorgung

Die Innervation der M. supraspinatus und M. infraspinatus erfolgt durch den N. suprascapularis. Der N. subscapularis innerviert den gleichnamigen Muskel und der N. axillaris innerviert den M. teres minor. [19]

Die arterielle Blutversorgung des Oberarmkopfes erfolgt durch die Aa. circumflexae humeri anterior et posterior, welche eine Anastomose bilden und ventral und dorsal Äste für die Muskulatur abgeben. Der M. supraspinatus und seine Sehne wird versorgt über die A. suprascapularis und Gefäßen aus der A. humeri anterior. Ein hypovaskuläres Areal bleibt frei von den aufeinanderzulaufenden Ästen der beiden Arterien im lateralen Drittel der Supraspinatussehne (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Frontalschnitt einer injizierten, entkalkten und aufgehellten rechten Frühgeborenschulter [2] 1 Humeruskopf, 5 Supraspinatussehne, 8 A. suprascapularis 9 A. circumflexa humeri**

Diese gefäßarme Zone der Suprastinatussehne entspricht der „letzten Wiese“ aus den beiden gefäßversorgenden Arterien der Supraspinatussehne. [2, 19]

### **1.1.10 Periost**

Die Knochenhaut, auch Periost genannt, umgibt jeden menschlichen Knochen vollständig, mit Ausnahme der knorpeligen Gelenkflächen. Es erfüllt zahlreiche Funktionen, wie die Ernährung und Regeneration des Knochens, sowie Verteilung und Aufnahme von mechanischen Kräften bei Bewegung und den sensorischen Schutz durch Nervenfasern, inklusive Nozizeptoren. [24]

Histologisch besteht es aus zwei Schichten:

- die innere Schicht (Stratum osteogenicum oder auch Kambium), welche zellreich ist und Stammzellen zur Regeneration des Knochens sowie Blutgefäße und Nerven enthält.
- die äußere Schicht (Stratum fibrosum), welche zellarm ist, dafür reich an Kollagenfasern. Von dort ziehen zur Verankerung die sogenannten Sharpey-Fasern in den Knochen. [24]

Die Stammzellen im Kambium sind adulte mesenchymale Progenitorzellen und können zu Osteoblasten oder zu Chondroblasten differenzieren. [14]

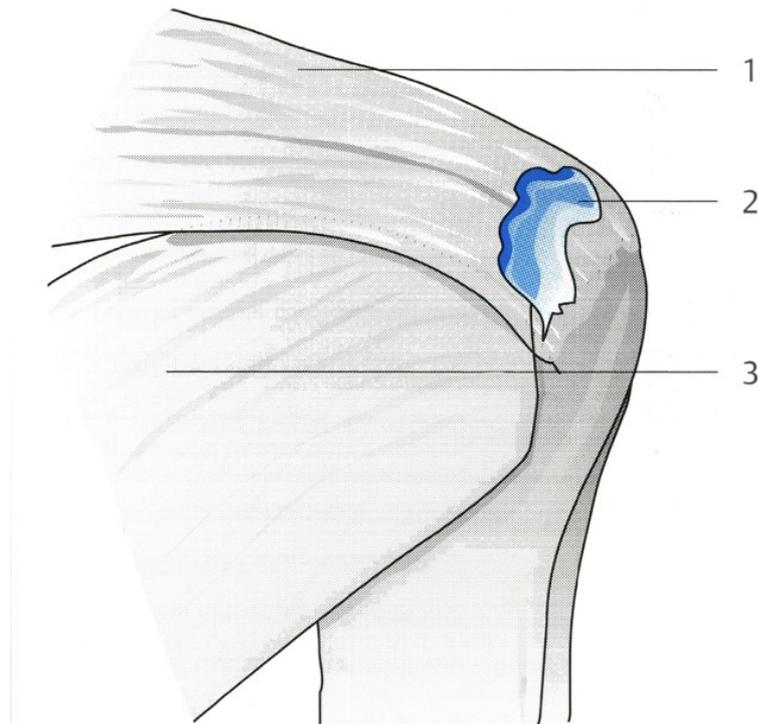
## **1.2 Rotatorenmanschettenrupturen**

### **1.2.1 Definition**

Die deutsche S2e Leitlinie Rotatorenmanschette definiert die Rotatorenmanschettenruptur folgendermaßen:

„Die Rotatorenmanschettenruptur ist eine teilweise (partielle) oder komplette Kontinuitätsunterbrechung von Sehnenfasern einer oder mehrerer Sehnen der Rotatorenmanschette“ (Abbildung 6). [8]

Eine komplette oder auch transmurale Läsion ermöglicht eine Kommunikation zwischen Subakromialraum und glenohumeralem Gelenk. Schäden der Rotatorenmanschette sind besonders in ihrem Ansatzbereich am Tuberculum majus und minus häufig. Die Mehrzahl aller Schäden an der Rotatorenmanschette sind degenerativer Natur. [9, 25-27]



**Abbildung 6: Defekt der Supraspinatussehne in typischer Lokalisation. 1 = M. Supraspinatus 2 = Defekt 3 = M. Infraspinatus [3]**

### 1.2.2 Pathogenese

Rotatorenmanschettenrupturen entstehen meist auf dem Boden degenerativer Prozesse, seltener als Folge eines Traumas. Die Degeneration kann in intrinsische und extrinsische Faktoren aufgeteilt werden. Verfechter der extrinsischen Theorie waren unter anderem Neer und Bigliani, welche eine Einklemmung der Supraspinatussehne unter dem Fornix humeri als Ursache für Rupturen beschrieben [28, 29]. Anderer Meinung war Codman mit seiner intrinsischen Theorie. Er beschrieb bereits 1984 eine kritische Zone am Ansatz der Supraspinatussehne, ca. 1cm von ihrer Insertion entfernt, wo die meisten Rupturen ihren Ausgangspunkt haben. Seine Theorie wurde 1997 durch Katzer unterstützt, welche das hypovaskuläre Areal darstellen konnte. Bei Abduktion und Bursitiden wird dieser Bereich zusätzlich eingeengt, was eine weitere Minderperfusion verursacht [2, 19]. Bei Rotatorenmanschettenrupturen konnte Hashimoto auch Veränderungen der Sehnenqualität feststellen, wie die

Ausdünnung von Kollagenfasern, myxoider Degeneration und hyaliner Degeneration, welche bereits vor der Ruptur vorhanden gewesen sein müssen [30].

Wie es von einer Degeneration zu einer Ruptur kommt, ist weiterhin ungeklärt. Die Theorie, welche auf die breiteste Akzeptanz stößt, ist das Degeneration-Mikrotrauma Modell. Bei einer fortgeschrittenen Sehnendegeneration reichen Mikrotraumata aus, die im Alltag oft unbemerkt bleiben, um Mikrorupturen hervorzurufen. Bei wiederholenden Mikrotraumata oder fehlender Heilung der Mikrorupturen können diese sich im Laufe der Zeit bei weiterhin fortschreitender Sehnendegeneration vergrößern und zu Partialrupturen, oder sogar transmuralen Rupturen entwickeln. [13]

Die Supraspinatussehne ist in ca. 95% der Fälle beteiligt, die Infraspinatussehne in 40% und die Subscapularissehne in ca. 10% [21]. Bei zunehmender Rupturgröße kommt es durch ein Überwiegen der Deltamuskelkraft zu einer Kranialisierung des Humeruskopfes. Im weiteren Verlauf sind progressive Knorpelschäden und die Ausbildung einer Defektarthropathie möglich. [16]

### 1.2.3 Prävalenz

Die Prävalenz der Rotatorenmanschettenruptur nimmt im Alter zu und kann mit und ohne Symptome auftreten. Die Prävalenz für komplette Rupturen beträgt 20 – 35%. Es gibt keinen Unterschied in der Betroffenheit von Männern und Frauen. Der dominante Arm weist bei manchen Autoren eine höhere Inzidenz auf, bei anderen ist dieser Unterschied nicht signifikant. [16, 31, 32]

**Tabelle 1: Prävalenz der symptomatischen Rotatorenmanschettenruptur [8]**

Alter	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
Prävalenz	2,5%	6%	13%	26%	46%	50%

Alle 10 Jahre findet ungefähr eine Verdoppelung der Prävalenz statt bis zum 7. Lebensjahrzehnt. [8, 32-34].

### **1.2.4 Klinik**

Symptome einer Rotatorenmanschettenläsion können Schmerz, Kraftverlust und Minderung der Beweglichkeit sein. Häufig können Rotatorenmanschettenrupturen jedoch auch symptomarm bleiben. Wenn Schmerzen vorhanden sind, treten sie häufig bei Bewegung und Belastung auf. Sie können aber auch nachts und in Ruhe auftreten. Der Schlaf auf der betroffenen Schulter ist häufig beeinträchtigt. Die Schmerzangaben korrelieren nicht mit der Größe der Rotatorenmanschettenruptur. Zunächst findet sich ein nur geringer Kraftverlust mit Unfähigkeit, schwere Gegenstände in der Scapulaebene zu heben oder Überkopftätigkeiten durchzuführen. [16]

In der körperlichen Untersuchung (im Kapitel 3 ausführlicher beschrieben) sollte auf Muskelatrophien der Mm. supra-, und/oder infraspinatus geachtet werden, diese sprechen für große Defekte. Die Palpation am Sehnenansatz, zB des Tuberculum majus, ergibt einen Druckschmerz. Es gibt eine Reihe an isometrischen Provokationstests, die eine gezielte Funktionsüberprüfung einzelner Sehnen der Rotatorenmanschette erlauben. [16]

### **1.2.5 Bildgebung**

Sonografisch können Rotatorenmanschettendefekte mit hoher Sensitivität (95,3%) und Spezifität (94,9%) nachgewiesen werden [21]. Neben der Lokalisation und Größenbestimmung kann dabei eine dynamische Untersuchung des Muskelkontraktionsverhaltens erfolgen [35].

Im konventionellen Röntgenbild kann als Hinweis für einen ausgedehnten Rotatorenmanschettendefekt und eine beginnende Defektarthropathie ein Humeruskopfhochstand nachgewiesen werden. Beträgt der akromiohumerales Abstand auf dem a.p. Röntgenbild weniger als 6 mm, gilt die Rotatorenmanschette als nicht mehr rekonstruierbar. [16]

Mit der Kernspintomografie sind nicht nur komplette Defekte in deutlich über 90% der Fälle zuverlässig zu erfassen, sondern auch das Rupturausmaß, die betroffenen Sehnen, der Grad der Retraktion und Atrophie, sowie die fettige Infiltration der Muskulatur. [16, 36, 37]

## 1.2.6 Klassifikationen

Hier ist eine Übersicht der Klassifikationen, auf die in dieser Arbeit Bezug genommen wird.

**Tabelle 2: Klassifikation der Defektgröße nach Bateman [38]**

Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
<1 cm	1-3 cm	3-5 cm	>5 cm

**Tabelle 3: Klassifikation der Sehnenretraktion nach Patte [39] ursprünglich für CT entwickelt, inzwischen auf MRT transferiert**

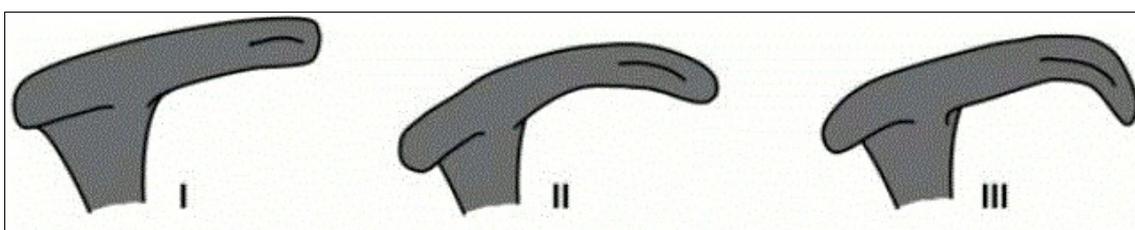
<b>Stadium I</b>	proximaler Sehnenstumpf zwischen Tuberculum majus und Apex
<b>Stadium II</b>	proximaler Sehnenstumpf zwischen Apex und Glenoidrand
<b>Stadium III</b>	proximaler Sehnenstumpf auf Höhe des Glenoids oder dahinter

**Tabelle 4: Klassifikation der fettigen Infiltration des Muskelbauchs nach Goutallier [40]**

<b>Grad I</b>	geringe Verfettung
<b>Grad II</b>	weniger muskuläre Verfettung als Muskelmasse
<b>Grad III</b>	fettige Degeneration mit Muskelmasse identisch
<b>Grad IV</b>	vermehrte fettige Degeneration im Vergleich zur Muskelmasse

**Tabelle 5: Klassifikation der muskulären Atrophie nach Thomazeau oder Fuchs im MRT [37, 41]**

<b>Grad I</b>	normaler oder nur gering atrophierte Muskel, bei dem das Verhältnis zwischen Muskel und Fossa supraspinata zwischen 1,00 und 0,60 liegt
<b>Grad II</b>	mäßige Atrophie, das Verhältnis Muskel zu Fossa supraspinata liegt zwischen 0,60 und 0,40
<b>Grad III</b>	schwere Atrophie, das Verhältnis Muskel zu Fossa supraspinata liegt unter 0,40



**Abbildung 7: Akromiontyp nach Bigliani und Morrison  
I = flach, II = gekrümmt, III = hakenförmig [4]**

**Tabelle 6: Klassifikation nach Sugaya zur Bewertung der Sehnenqualität nach Rekonstruktion im MRT [42]**

<b>Typ I</b>	Suffiziente Sehnendicke mit gleichmäßig niedriger Signalintensität
<b>Typ II</b>	Suffiziente Sehnendicke mit partieller hoher Signalintensität
<b>Typ III</b>	Sehnendicke kleiner als die Hälfte verglichen mit einer normalen Sehne ohne Diskontinuität
<b>Typ IV</b>	Vorhandensein einer kleinen Diskontinuität auf bis zu 2 Schnittbildern einer Ebene
<b>Typ V</b>	Vorhandensein einer großen Diskontinuität auf mehr als 2 Schnittbildern einer Ebene

### **1.3 Therapiemöglichkeiten der Rotatorenmanschettenruptur**

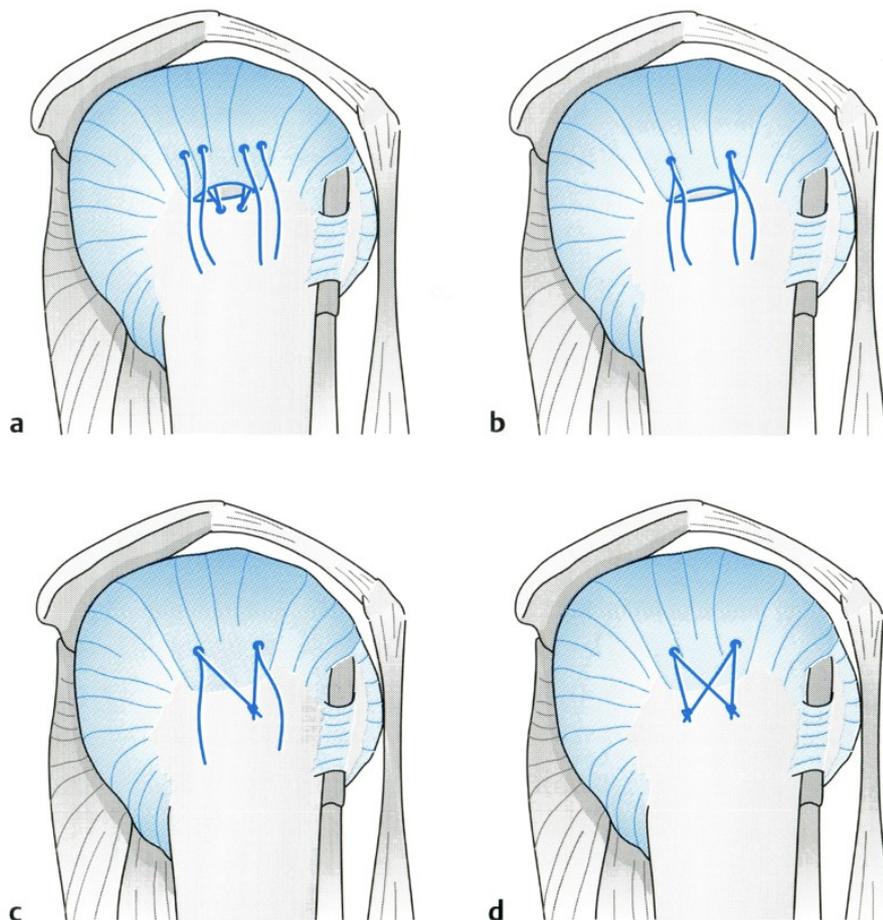
Über 70-jährige Patienten mit nur geringen Symptomen, sowie multimorbide Patienten mit geringem Funktionsanspruch können konservativ mit einer Schmerztherapie und krankengymnastischer Beübung sowie physikalischen Maßnahmen behandelt werden. Die Indikation zur operativen Versorgung sollte bei symptomatischen Patienten weniger vom Lebensalter, sondern eher vom Funktionsanspruch und dem individuellen Befund gestellt werden. Prognostisch bedeutsam sind die Größe des Defekts, die Anzahl der betroffenen Sehnen, und ob das Acromioklavikulargelenk und die lange Bizepssehne Pathologien aufweisen [43].

Beim Entschluss zur operativen Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist ein vollständiger Verschluss des Defekts anzustreben. Ist der Defekt nicht rekonstruierbar, kann bei vordergründigen Schmerzen ein arthroskopisches Debridement durchgeführt werden. Bei jüngeren Patienten mit hohem Funktionsanspruch und nicht rekonstruierbarem Defekt kann ein Muskel-Sehnen-Transfer durchgeführt werden: bei anterioren Defekten ein Transfer des M. Pectoralis major, bei dorsalen Defekten des M. latissimus dorsi. Bei Patienten über 60 Jahre mit bereits manifester Defektarthropathie ist die Implantation einer sogenannten inversen Schulterendoprothese Mittel der Wahl. Hierbei kann, durch die Verschiebung des Drehzentrums der Schulter, der M. deltoideus die Funktion der gerissenen Rotatorenmanschette übernehmen. [8, 16, 19]

### 1.3.1 Operative Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Die Rekonstruktion der Rotatorenmanschette ist nur sinnvoll, sofern Atrophie und Verfettung des zugehörigen Muskels in der MRT gering ausgeprägt sind. Die aktuelle Standardtherapie eines Schadens an der Rotatorenmanschette setzt sich aus drei Schritten zusammen:

- Arthroskopie, um Zusatzschäden abzugrenzen und die technische Rekonstruierbarkeit der Rotatorenmanschette zu sichern
- knöcherne Erweiterung des Subakromialraums vorzugsweise in arthroskopischer Technik, um der rekonstruierten Sehne mehr Platz zu verschaffen
- die Sehnennaht, die offen mit transossären Nähten oder arthroskopisch mit Ankernähten erfolgt (Abbildung 8). [8, 16]



**Abbildung 8: Suturo-bridge-Rotatorenmanschettennaht**  
**a: Medial werden Fadenanker gesetzt, die Fäden werden durch die Manschette geführt.**  
**b: Die Fäden werden verknüpft.**  
**c&d: Je ein Faden pro Anker wird mit einem neuen Anker weiter lateral knotenlos befestigt, hierbei wird ein Zug auf den Faden ausgeübt, der die Sehne flächig auf den Knochen presst. [3]**

### **1.3.2 Komplikationen der operativen Versorgung**

Die Kurzzeit-Komplikationsrate beträgt zwischen 0,9 und 2,1% [44, 45] und umfasst die Allgemeinen OP-Risiken, wie Nervenschäden, Gefäßverletzungen, Wundheilungsstörungen, postoperative Infektionen, thromboembolische Komplikationen, sowie Intraoperative Frakturen. [8]

Spezielle Risiken, wie die Re-Rupturrate haben starke Schwankungen in Abhängigkeit von initialer Rupturgröße, fettiger Degeneration, betroffener Sehnenanzahl und Zeitpunkt der Untersuchung.

Bei 1-Sehnenruptur betrifft die Re-Rupturrate 10-36 % [12, 46, 47], bei 2-Sehnenruptur bereits 41-43 % [12, 46], und bei 3-Sehnenruptur 68-89 % [12, 46]. Bei arthroskopischen Rekonstruktionen wurde eine vergleichbare Re-Rupturrate festgestellt, wie bei offenen Verfahren [48, 49]. Diese herangezogenen Studien hatten einen Untersuchungszeitpunkt 2-3 Jahre postoperativ. Die Langzeit Re-Rupturrate wird in dieser Arbeit mittels folgender drei Studien genauer angeschaut: Zumstein [50] untersuchte 10 Jahre nach Rekonstruktion (mini-Open) von 2-3 Sehnenrupturen die Patienten noch einmal und fand im MRT eine 57% Re-Rupturrate. Randelli [51] untersuchte 10 Jahre nach einer arthroskopischen Rekonstruktion die Patienten erneut und fand im Ultraschall eine Re-Rupturrate von 51%. Plachel [52] untersuchte 15 Jahre nach arthroskopischer Rekonstruktion einer 1-2 Sehnenruptur die Patienten noch einmal und fand im MRT eine Re-Rupturrate von 34%.

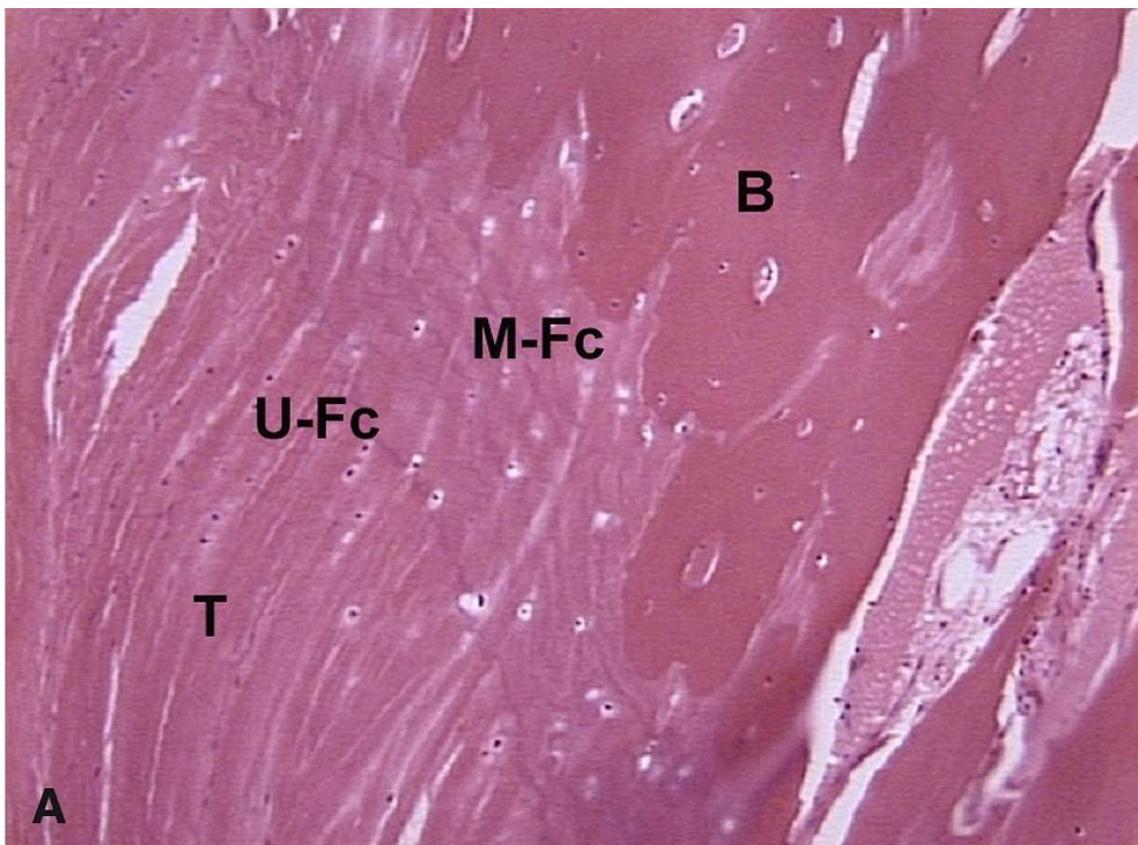
Das Risiko von Knorpelschäden und der adhäsiven Kapsulitis, auch Frozen Shoulder genannt, liegen zwischen 1,5 und 11 % [8]. Mögliche Spätkomplikationen umfassen einen low grade Infekt und ein CRPS (komplexes regionales Schmerzsyndrom). Ebenso besteht die Möglichkeit von dauerhaft bestehenden ästhetisch störende Narben, persistierender Kraftminderung und Bewegungseinschränkung bis hin zu einer Omarthrose. [8]

Heterotope Knochenbildung oder Ossifikationen sind an der Schulter eine seltene Komplikation im Gegensatz zu anderen Gelenken [53]. Beim Einsetzen einer Schulterprothese treten sie in ca. 15% der Fälle auf [54]. Bei anderen

Schulteroperationen sind Ossifikationen so selten, dass eine Fall Beschreibung von einer heterotopen Ossifikation im Verlauf der Supraspinatussehne nach offener Sehnenrekonstruktion und arthroskopischer Dekompression mit einer folgenden Nervus Axillaris Lähmung publiziert wurde [55].

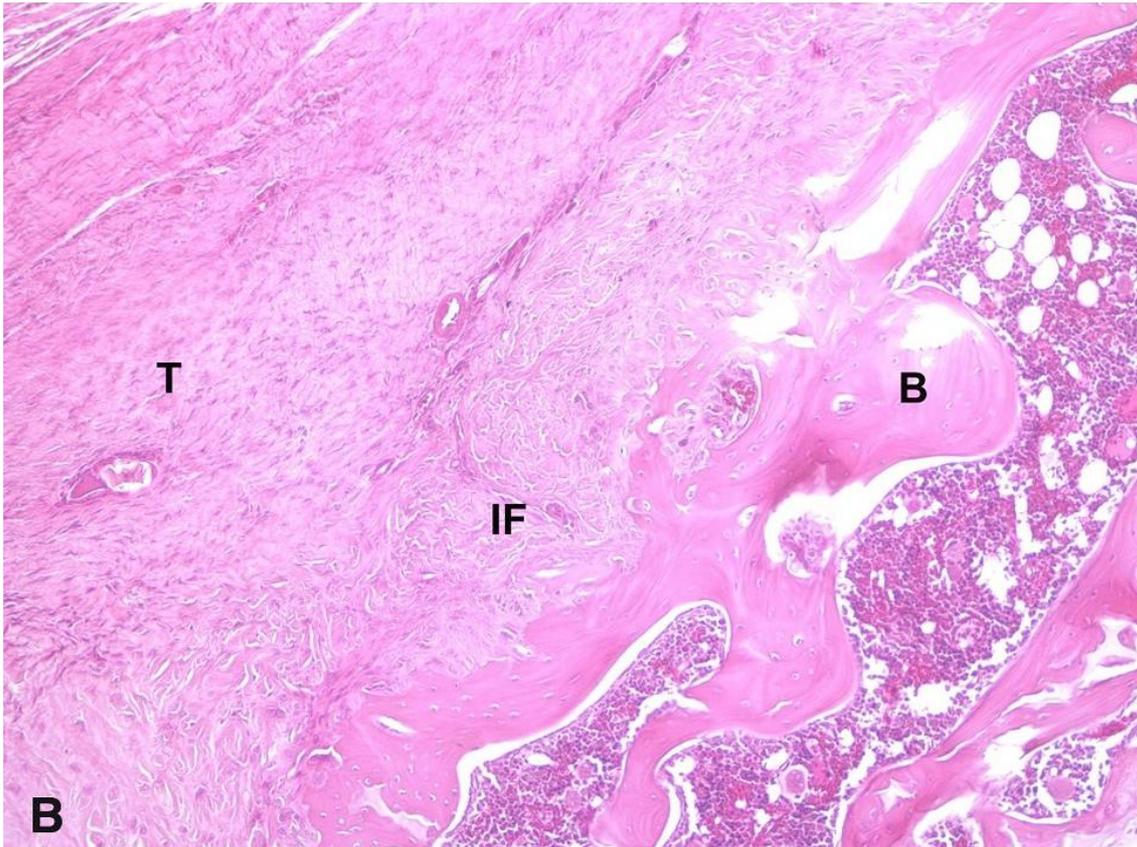
#### 1.4 Probleme der Sehnen-Knochen Heilung

Histologisch ist im Übergang von einer Rotatorenmanschettensehne zum Knochen ein Faserknorpel vorhanden (Abbildung 9). Dieser Faserknorpel wird zunehmend mineralisierter, je näher er an dem Knochen liegt.



**Abbildung 9: Histologischer Ausschnitt eines normalen Supraspinatussehnenansatzes. B = Knochen, M-Fc= mineralisierter Faserknorpel, U-Fc = nicht-mineralisierter Faserknorpel, T = Sehne [5]**

Jedoch fehlt in der Heilung vom Sehnen-Knochen Übergang nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette vor allem die Bildung von mineralisiertem Faserknorpel (Abbildung 10) [5]. Statt mineralisiertem Faserknorpel bildet sich Narbengewebe, welches nachweislich mechanisch schwächer, und anfälliger für Verletzungen ist [56].



**Abbildung 10: Histologischer Ausschnitt des Supraspinatussehnenansatzes 4 Wochen nach Rekonstruktion im Rattenmodell. B = Knochen, IF = fibrovaskuläres Narbengewebe, T = Sehne [5]**

### **1.4.1 Augmentationsstrategien in der Schulterchirurgie**

Um die Einheilung der Sehnen der Rotatorenmanschette nach operativer Rekonstruktion zu verbessern, wurden Augmentationsstrategien entwickelt. Eine Augmentation ist das hinzufügen von Material lokal an oder um die rekonstruierte Sehne. Meistens werden biologische Stoffe verwendet. Im klinischen Alltag konnte sich noch keine Augmentation etablieren. Die Forschung befasst sich aber weiterhin intensiv mit diesem Thema, da bei nachgewiesener Heilung von Sehnen zu Knochen die funktionellen Resultate besser sind. [8]

Ein Beispiel für eine Augmentation ist das „Platelet Rich Plasma“ (PRP): Für die Augmentation mit PRP, aus Patientenvollblut gewonnenes Blutplasma mit einer hohen Blutplättchenkonzentration, konnte in Studien zwar eine geringere Re-Rupturrate nachgewiesen werden, aber kein funktioneller Vorteil. [8, 57-61]

Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von mesenchymalen Stammzellen. Diese

können aus verschiedenen Geweben gewonnen werden, zum Beispiel aus dem Knochenmark. Sie kommen ebenso in der Kambiumschicht des Periost vor. Studien konnten zwar in histologischen Untersuchungen eine physiologische Knochen-Sehnen-Heilung zeigen, jedoch traten auch heterotope Ossifikationen auf. Die wenigen Studien an Menschen zeigen zwar vielversprechende Ergebnisse, sind für den klinischen Alltag aber noch nicht aussagekräftig genug. [62]

Die Anwendung von Transplantaten, sogenannten Auto-, Allo, oder Xenografts, wurde ebenso vielseitig erforscht. Beispiele umfassen ein azelluläres menschliches Hautmatrix-Transplantat [63], die Infiltration mit Knochenmarksstammzellen [64] und die Periostlappenaugmentation [14].

#### **1.4.2 Studien mit Periostlappenaugmentation**

Es gibt einige Studien, welche die Sehnen-Knochen Heilung mit Periostlappen untersucht haben. Eine sehr wichtige ist von Chang et al [14]: Sie untersuchten bei Kaninchen die Einheilung und Ausrissfestigkeit der Infraspinatussehne mit und ohne Periostlappenaugmentation. Dazu wurde Periost von der Tibia entnommen, die Infraspinatussehne durchtrennt und refixiert mit dem Periost zwischen Sehne und Knochen. Als Kontrolle diente die Gegenseite, wo die Infraspinatussehne durchtrennt und ohne Periostlappenaugmentation refixiert wurde. Nach 4, 8 und 12 Wochen postoperativ wurden die Ausrissfestigkeit der Sehnen getestet. Es konnte eine erhöhte Ausrissfestigkeit für die Periostlappenaugmentation in Woche 8 (159 Newton vs. 131 Newton) und 12 (192 Newton vs. 158 Newton) festgestellt werden. In der histologischen Untersuchung zeigte die Gruppe mit Periostlappenaugmentation ein vermehrtes fibrovaskuläres Gewebe, welches sich in Woche 4 bis 8 wieder verkleinerte, dafür aber an Mineralisierung zunahm. Nach 12 Wochen wurde Faserknorpelbildung nachgewiesen, welcher bei der Einheilung ohne Periostlappenaugmentation nicht nachgewiesen werden konnte und anatomisch bei intakten Manschetten vorhanden ist. Die Autoren vermuten, dass für die Faserknorpelbildung die Kambiumschicht des Periost als Grundlage dient. [14] In ähnlicher Weise konnte eine histologische und biomechanisch überlegene Einheilung einer Sehne in einem Knochenbohrkanal im Kaninchen

nachgewiesen werden, wenn die Sehne mit Periost ummantelt wird [65]. Eine zweite Studie von anderen Autoren mit sehr ähnlicher Technik bestätigte diese Ergebnisse [66].

Die Einheilung der Sehne in einem Bohrkanal ist insbesondere bei der Kreuzbandplastik wichtig. In einer Studie am Menschen wurde eine Sehne aus der ischiocruralen Muskulatur (Hamstring) mit Periost ummantelt, bevor sie als Kreuzbandplastik eingesetzt wurde. Die Resultate wurden zwei mal veröffentlicht. Das erste mal mit zufriedenstellenden Resultaten [67]. Nach bis zu sieben Jahren wurden die Langzeitergebnisse publiziert, mit weiterhin zufriedenstellenden Ergebnissen und einer geringeren Bohrkanelerweiterung als bei vergleichbaren Techniken ohne Periostlappenaugmentation [68].

Eine Anwendung der Periostlappenaugmentation ist bereits 1966 von Broström am Fuß beschrieben worden [69]. Hierbei wird ein gestielter Periostlappen benutzt um ein chronisch instabiles Ligament zu ersetzen. Die Technik wurde im Verlauf zwar modifiziert, ist aber heutzutage immer noch weit verbreitet. [70]

### **1.4.3 Vorgängerstudie**

Die Ergebnisse mit Periostlappenaugmentation in den o.g. experimentellen Studien war vielversprechend, sodass die Augmentation bei größeren Rotatorenmanschettenrekonstruktionen durchgeführt wurde. Die Studie von Scheibel et al beschreibt die kurzfristigen Ergebnisse [71], ebenso werden diese in der Promotion von Frau Brown [6] erörtert. Zusammenfassend zeigten die 1 Jahres Ergebnisse eine Re-Rupturrate von 20% im MRT und eine Ossifikationsrate von 20% im Röntgenbild [6, 71]. Generell treten die meisten Re-Rupturen üblicherweise im Rahmen der fehlenden postoperativen Sehnenheilung auf. Aus diesem Grund ist die Wahrscheinlichkeit, eine Re-Ruptur zu erleiden, im ersten postoperativen Jahr am höchsten. Es stellt sich also die Frage, wie die Wahrscheinlichkeit einer Re-Ruptur sich über die weiteren postoperativen Jahre verändert. Unklar ist auch, was mit den heterotopen Ossifikationen passiert: Wie entwickelt sich die Häufigkeit und auch die Symptomatik? In der vorliegenden Studie wird die gleiche Studienpopulation daher 11 Jahre nach der initialen Operation nachuntersucht.

## 2. Zielsetzung

Wegen der hohen Re-Rupturrate von bis zu über 50% nach 10 Jahren bei der Rekonstruktion einer Rotatorenmanschettenruptur, ist es essentiell neue chirurgische Techniken zu entwickeln, die diese Rate verbessern.

Nach vielversprechenden Ergebnissen in Vorstudien, welche eine Verbesserung der Sehnen-Knochen-Heilung vermuten lassen, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie, bei sehr großen Defekten der Rotatorenmanschette, versucht die Einheilung mit einer Periostlappenaugmentation zu unterstützen.

Die vorliegende Dissertation hat unter Einbezug der Vorgängerstudie folgende Ziele:

- Ein vollständiges Bild der Periostlappenstudie mit Einbeziehung der Vorgängerstudie aufzuzeigen.
- Die klinischen, sonografischen und kernspintomografischen Langzeit-Ergebnisse dieser Studienpopulation zu untersuchen und die Ergebnisse zu interpretieren.
- Die Langzeit-Ergebnisse mit den präoperativen Daten und den Kurzzeit-Ergebnissen aus der Vorgängerstudie zu vergleichen.

Kann die Hypothese der besseren Einheilung durch die Periostlappenaugmentation bestätigt werden? Kann eine klinische Relevanz aus den Daten gefolgert werden?

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Studiendesign**

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine Querschnittsuntersuchung im elf Jahres Follow-up, die auf einer von Anna Brown [6] und Markus Scheibel [71] angelegten Interventionsstudie und Studienpopulation basiert.

### **3.2 Ethikvotum**

Die Ethikkommission der Technischen Universität München, Fakultät für Medizin, hat am 03.03.2015 dem Ethikantrag unter dem Zeichen 70/15s stattgegeben. Die Patienten haben, nach entsprechender Aufklärung, inklusive dem jederzeit möglichen Austritt, schriftlich eingewilligt, an der Studie teilzunehmen.

### **3.3 Studienpopulation**

23 Patienten mit einer kompletten Rotatorenmanschettenruptur waren zwischen Mai 2003 und Mai 2004 prospektiv in die Vorgängerstudie eingeschlossen worden. Im ein Jahres Follow-up der Vorgängerstudie, waren drei Patienten von der Nachuntersuchung ausgeschlossen worden. Zwei dieser Patienten hatten sich durch einen Sturz auf die betroffene Schulter innerhalb von drei Monaten nach der Operation eine Re-Ruptur zugezogen. Der dritte Patient hatte eine septische Sehnennekrose entwickelt. [6, 71]

15 Patienten hatten eine Ruptur auf der dominanten Seite, vier Patienten auf der nicht dominanten Seite. Fünf Patienten litten unter einem eingestellten arteriellen Hypertonus. Ein Patient litt unter einem Diabetes mellitus und ein Patient war aktiver Raucher mit 30 Packyears. [6, 71]

Die Einschlusskriterien der Vorgängerstudie hatten gelautet:

- eine degenerative, symptomatische, komplette Ruptur der Supraspinatussehne mit variabler Ausdehnung von anterior zu posterior in die

obere Subscapularissehne oder die Infraspinatussehne

- ein halbmondförmiges Aussehen der Ruptur
- ein hoher funktioneller Anspruch des Patienten

Ausschlusskriterien hatten umfasst:

- Teilruptur oder U-förmigen Ruptur
- eine traumatische Genese
- vorangehende Operationen an der betroffenen Schulter
- fortschreitende Zeichen einer Defektarthropathie, d.h. Dezentralisierung des Humeruskopfes mit einem acromiohumeralen Abstand von unter 6 mm
- Rupturen der Klassifikationen Grad III Sehnenretraktion nach Patte, Grad III oder IV fettiger Infiltration nach Goutallier oder Grad III Atrophie der Rotatorenmanschette nach Thomazeau

### **3.4 Untersuchungsintervall und Datenerhebung**

Die Patienten wurden insgesamt 3 mal für die Studie untersucht. Die erste Untersuchung zur Bestimmung des Ausgangswertes war präoperativ (präop) gewesen. Die Kurzzeituntersuchung (KZU) hatte von April 2004 bis April 2005 stattgefunden und war im Median 12 Monate nach der Operation durchgeführt worden. Die ersten beiden Untersuchungen waren in der Vorgängerstudie erfolgt. [6, 71]

Im Zeitraum von April 2014 bis November 2015 fand die Langzeituntersuchung (LZU) statt, im Median 11 Jahre postoperativ.

Bei jeder Untersuchung wurden die Patienten körperlich untersucht, der Constant-Murley Score und der Simple-Shoulder-Test erhoben. Ebenso wurde bei jeder Untersuchung eine MRT der Schulter durchgeführt. Eine Röntgenaufnahme der Schulter war nur präop und bei der KZU gemacht worden. Die Ultraschalluntersuchung der Schulter fand nur in der LZU statt.

### **3.4.1 Körperliche Untersuchung**

Das Bewegungsausmaß wurde mittels Neutral Null Methode ermittelt. Untersucht wurden die Anteversion (AV), Abduktion (AB), Innenrotation (IRO) und Außenrotation (ARO). Die AV und AB wurden gesamt und glenohumeral (gh), bei fixierter Scapula, untersucht. Die IRO und ARO wurden in 0° AB und 90° AB (hohe IRO/ARO) untersucht, jeweils bei fixierter Scapula.

Die Kraft der Rotatorenmanschette wurde in der Jobe-Position (90°AB und 30°AV) für den M. supraspinatus (SSP) und bei angelegtem, 90° flektiertem Ellbogen für die M. infraspinatus (ISP) und M. subscapularis (SSC) getestet. Eingeteilt wurde in Kraftgrade: M0: keine muskuläre Aktivität; M1: Kontraktion ohne Bewegung; M2: Bewegung unter Ausschaltung der Schwerkraft; M3: Bewegung gegen die Schwerkraft; M4: Bewegung gegen leichten Widerstand; M5: Normale Kraft. [36]

Außerdem wurden spezifische Tests zur Prüfung der Rotatorenmanschette durchgeführt:

- Starter-Test für SSP: aktive Abduktionsbewegung gegen Widerstand aus 0°. Positiv bei vermindertem Kraftgrad. [36]
- ARO Lag-Sign für ISP: positiv, wenn der passiv aussenrotierte und im Ellenbogen 90° flektierte Arm nicht in maximaler Außenrotation gehalten werden kann. [36, 72]
- Lift-off für SSC: Abheben der Hand vom Rücken gegen Widerstand. Positiv bei nicht möglicher Durchführung. [36, 72]
- Belly press modifiziert nach Scheibel für SSC: Hand auf den Bauch drücken bei 90° flektiertem und seitlich ausgestrecktem Ellenbogen. Positiv bei Handgelenksflexion >30°. [36]
- Druckschmerz sensible Punkte, wie zB: Tuberculum majus, minus, sulcus intertubercularis, Akromioklavikulargelenk und processus Coracoideus. [36]

### **3.4.2 Simple-shoulder Test (SST)**

Der SST wurde 1993 von Lippitt, Harryman und Matsen entwickelt und ist ein Schulterpezifischer Test, welcher sich aus 12 subjektiven Fragen

zusammensetzt, die mit ja oder nein beantwortet werden können. Der Score ergibt sich aus den addierten ja-Antworten. Fragen beinhalten Stichpunkte wie: Beschwerdefreiheit, Schlafbeeinträchtigung, Beweglichkeit, Heben, Tragen, Werfen und Berufsfähigkeit. [73]

### 3.4.3 Constant Score (CS)

Der CS ist ein Schulterspezifischer Score, der maximal 100 Punkte in 4 Kategorien erzielt. In der subjektiven Schmerzangabe können maximal 15 Punkte erreicht werden, die subjektive Angabe zu Aktivitäten des alltäglichen Lebens maximal 20 Punkte. Objektive Messungen der schmerzfreien Beweglichkeit steuern maximal 40 Punkten bei und die objektive Kraftmessung des Musculus supraspinatus 25 Punkte.

Wir benutzten zur Kraftmessung den IsoBex isometric dynamometer (MDS Medical Device Solutions AG, Oberburg, Schweiz) als Messgerät. Jeweils drei Messungen wurden durchgeführt und der Durchschnitt zur Berechnung genommen.

Der Score, insbesondere der Punktwert der Kraftmessung, hängt stark von Geschlecht und Alter ab [74, 75]. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Ergebnisse deshalb geschlechts- und altersadaptiert. Es gibt verschiedene Autoren, die Adaptationen vorschlagen, ein allgemeiner Standard existiert nicht. Wie bei der Vorgängerstudie adaptierten wir nach Constant.

**Tabelle 7: Constant Score Normalwerte verschiedener Autoren**

	<b>Constant</b>		<b>Katholik</b>		<b>Yian</b>	
<b>Alter</b>	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
<b>21-30</b>	95	86	95	88	94	86
<b>31-40</b>	96	86	95	87	94	86
<b>41-50</b>	94	87	96	86	93	85
<b>51-60</b>	92	84	94	84	91	83
<b>61-70</b>	89	83	92	83	90	82
<b>&gt;=71</b>			88	81	86	81

Um den adaptierten Wert zu errechnen, wird der erzielte Score durch den jeweiligen Wert bei betreffendem Alter und Geschlecht geteilt. Das Ergebnis wird in Prozent angegeben.

Ein CS mit einem Punktwert von 91 bis über 100 gilt als exzellent, von 81 bis 90 als gut, von 71 bis 80 als Befriedigend, von 61 bis 70 als ausreichend und kleiner gleich 60 als schlecht. [76]

### **3.4.4 Ultraschall und Röntgen**

In der präoperativen und der Kurzzeituntersuchung war ein Röntgenbild der Schulter in 2 Ebenen durchgeführt worden. Die Röntgenbilder waren zum Ausschluss einer knöchernen Läsion, zur Bestimmung des Akromiontyp nach Bigliani und zur Messung des acromiohumeralen Abstands gemacht worden. Zur Langzeituntersuchung wurde aus Strahlenschutzgründen auf eine erneute Röntgenaufnahme verzichtet.

Stattdessen wurden in der Langzeituntersuchung die Schultern per Ultraschall untersucht. Die Ultraschalluntersuchung wurde von einem einzigen Untersucher mit einem 13,5 MHz Ultraschallssystem Acuson Antares der Firma Siemens, nach einer standardisierten Methode durchgeführt, wie von der deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin empfohlen. Hierbei wurde insbesondere auf Rupturzeichen nach der Sugaya Klassifikation und Ossifikationen geachtet.

### **3.4.5 Magnetresonanztomographie**

Die MRT Bilder wurden mit einer 3 Tesla Ganzkörper MRT, der Fa. Ingenia von Philips Healthcare und einer 8 Kanal Schulerspule der Fa. Medical Advances, Milwaukee, USA erzeugt.

Die MR Sequenzen umfassten:

- eine parakoronare, zwei-dimensionale, intermediär-gewichtete fettsaturation Turbo-Spin-Echo Sequenz (parakoronare 2D IM-w fs TSE)
- eine transversale, zwei-dimensionale, intermediär-gewichtete

fettsaturation Turbo-Spin-Echo Sequenz (axiale 2D IM-w fs TSE)

- eine parasagittale zwei-dimensionale, T1-gewichtete Turbo-Spin-Echo Sequenz (parasagittale 2D T1-w TSE)
- eine parakoronare, drei-dimensionale, T1-gewichtete Gradient-Echo-Sequenz mit einer kurzen Echozeit (parakoronare 3D T1-w GE)

Anhand der MRT-Bilder wurden die Rekonstruktionen der Rotatorenmanschette mit Periostlappenaugmentation auf mögliche Re-Rupturen überprüft. Hierfür wurden die Befunde anhand der Sugaya Klassifikation eingeteilt. Typ 4 und 5 wurden als Re-Ruptur gewertet. Zudem wurde auf das Auftreten von Ossifikationen geachtet. Fettige Infiltration der Rotatorenmanschettenmuskulatur und Muskelatrophie wurden nach Goutallier und Thomazeau eingeteilt. [40-42]

### **3.5 Chirurgische Technik**

Zur Vollständigen Dokumentation, erfolgt nun die ausführliche Beschreibung des operativen Verfahrens, wie es in der Vorgängerstudie erfolgt ist.

Das Narkoseverfahren war eine Allgemeinanästhesie mit endotrachealer Intubation. Zur analgetischen Therapie wurde ein Skalenskatheter gelegt. Eine Einmalgabe von 1,5 g Cefuroxim wurde intravenös verabreicht. Die Lagerung erfolgte in der Beach-chair Position. Vor der offenen Operation wurde eine diagnostische Arthroskopie mit posteriorem Zugang durchgeführt, um die Rupturlokalisierung, die Rupturgröße nach Bateman und Begleitverletzungen zu beurteilen und die OP zu planen.

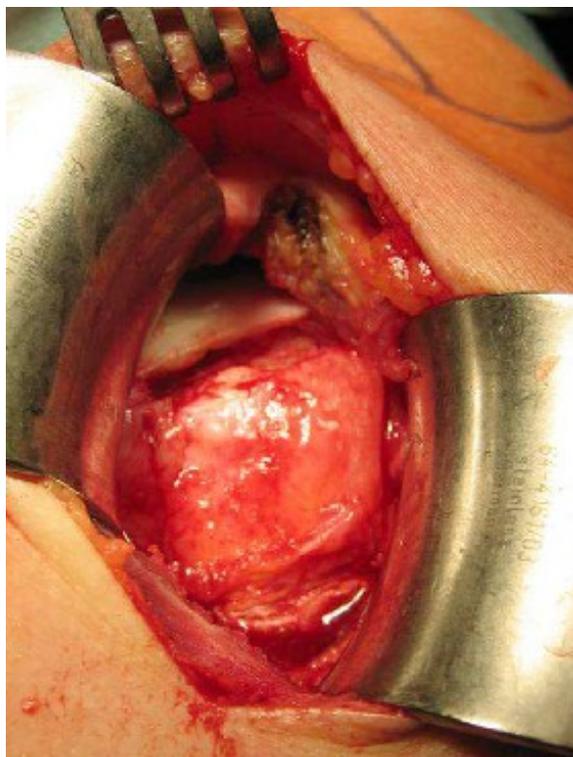
Bei allen Patienten wurde eine arthroskopische Subacromiale Dekompression (ASAD) durchgeführt. Hierbei wurde mit dem Shaver die Akromionunterseite anterior mehr als posterior reseziert, um ein Akromion Typ I nach Bigliani wieder herzustellen. [6, 71]

Die arthroskopische Resektion des Akromioklavikulargelenks erfolgte bei den neun Patienten, welche eine symptomatische ACG-Arthrose hatten. Die ARAC

erfolgte über einen indirekten Zugang. Mit dem Shaver wurde der Diskus und das laterale Ende der Klavikula reseziert, so dass der Shaver gerade in das Gelenk passt, was ca. 6 mm entspricht. Dabei werden die AC-Gelenk stabilisierenden Bänder erhalten. [6, 71]

Die Tenodese der langen Bizepssehne (LBS-Tenodese) wurde mit einer bioabsorbierbaren Interferenzschraube (Arthrex, Naples, FL, USA) im Rahmen der offenen Operation bei 15 Patienten mit LBS-Pathologie durchgeführt. [6, 71]

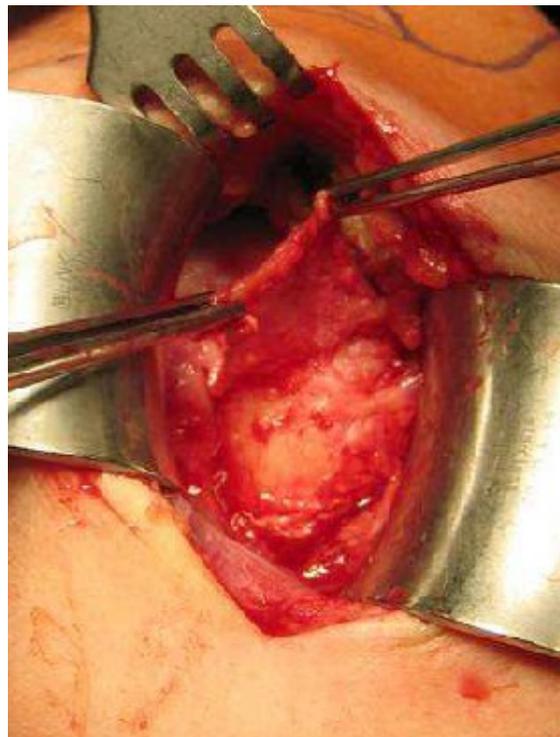
Nach der Arthroskopie wurde über einen antero-lateralen Zugang der M. deltoideus im Faserverlauf gespalten. Im Falle einer entzündeten und hypertrophierten Bursa subacromialis wurde diese reseziert. Anschließend wurde die Ruptur dargestellt. Die Rotatorenmanschette wurde mittels stumpfer Dissektion aus der Fossa supra- und infraspinata mobilisiert. Bei retrahierten Sehnenenden wurde am glenohumeralen Band nahe des Coracoids eine Inzision durchgeführt, um eine spannungsfreie Versorgung der Sehnen am Tuberculum majus zu garantieren. Ausgefranzte, rupturierte Sehnenenden wurden debridiert, um eine stabile Grenzfläche zu kreieren (Abbildung 11).



**Abbildung 11: Intraoperative Darstellung des angefrischten Sehnenendes [6]**

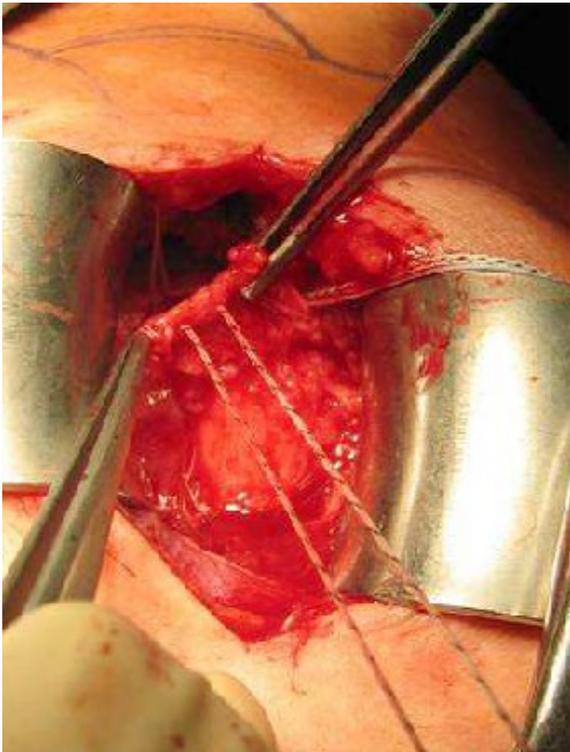
Die verbliebenen Sehnenstümpfe am Tuberculum majus wurden entfernt und der Ansatz der Rotatorenmanschette dargestellt. Es wurde keine knöcherne Mulde geschaffen. Das Tuberculum majus wurde debridiert, um eine Blutung im Ansatzbereich zu verursachen. [6, 71]

Die Präparation des Periostlappens erfolgte von distal am Tuberculum majus mit größter Vorsicht, um das Periostgewebe, insbesondere die Kambiumschicht, nicht zu beschädigen. Der Periostlappen blieb proximal immer in Verbindung zum Tuberculum majus (Abbildung 12). [6, 71]

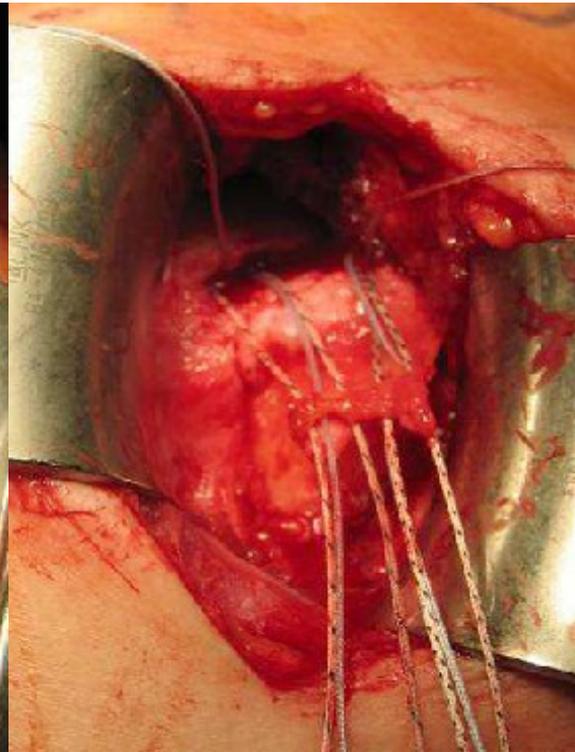


**Abbildung 12: Intraoperative Ansicht des proximal gestielten Periostlappens**  
[6]

Die Anker wurden an der Ansatzstelle der Rotatorenmanschette gesetzt. Im Median wurden 2 (Range 2 – 4) Bio-Corkscrew Fadenanker mit Fibre-Wire (Arthrex, Naples), bzw. bei vier Patienten mit Ethibond 2 eingebracht. Die Fäden wurden zuerst durch das distale Ende des Periostlappens gestochen (Abbildung 13 und 14) und anschließend, nach der modifizierten Mason-Allen Technik, durch die Sehne.



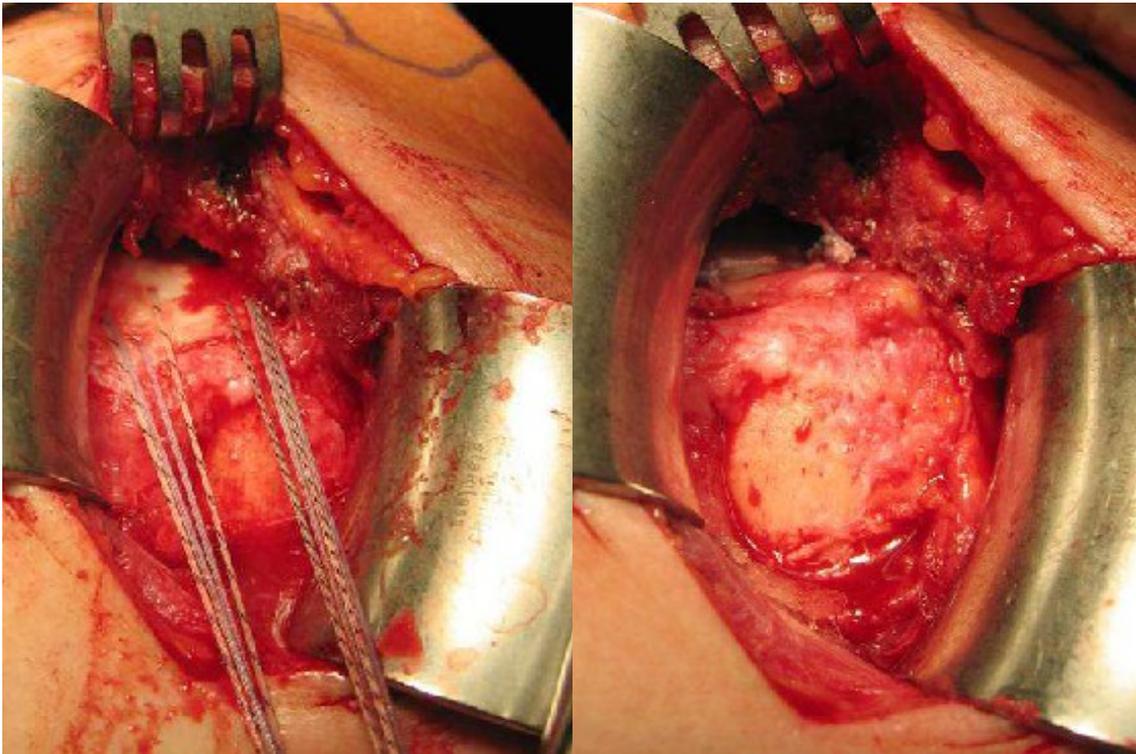
**Abbildung 13: Intraoperative Darstellung des Fassens des Periostlappens mit dem Fadenmaterial [6]**



**Abbildung 14: Intraoperative Darstellung des Fassens der Sehne mit den zuvor den Periostlappen perforierenden Nähten [6]**

Bei dieser Technik werden Matratzennähte und Einzelnähte so kombiniert, dass ein Konstrukt entsteht, welches konstanten und balancierten Druck der Sehnenenden auf das Knochenbett ausübt. Hierdurch minimiert sich das Risiko, dass Fäden durch die Sehnenenden und das Periostgewebe schneiden, was zu einer Re-Ruptur führen kann.

Beim Festziehen (Abbildung 15) schlug der Periostlappen nach proximal um und legte sich mit der Kambiumschicht nach außen, Richtung Sehne zeigend, an. Kyung (Chen) et al empfiehlt diese Vorgehensweise [66]. Abbildung 16 zeigt die rekonstruierte Sehne. Der Wundverschluss erfolgte schichtweise. [6, 71]



**Abbildung 15: Intraoperative Darstellung des Festziehens der modifizierten Mason-Allen Naht [6]**

**Abbildung 16: Intraoperative Darstellung des rekonstruierten und mit Periostlappen augmentierten Rotatorenmanschettendefekts [6]**

### **3.5.1 Postoperatives Management**

Analgesie erfolgte mit Diclofenac 50 mg zweimal täglich und mittels Skalenuskatheter (3-6ml/h Ropivacain 0,2%), meist bis zum dritten postoperativen Tag. Die Schulter wurde vier Wochen auf einem Thoraxabduktionskissen ruhig gestellt. Bei der physiotherapeutischen Behandlung wurde sechs Wochen die passive Anteversion und Abduktion auf 60° limitiert. Im Falle einer Subscapularis-Mitbeteiligung wurde die Außenrotation sechs Wochen auf 0° limitiert, im Falle einer LBS-Tenodese wurde sechs Wochen eine kraftvolle, aktive Flexion im Ellbogengelenk untersagt. Nach sechs Wochen wurde die Rehabilitation mit assistierten und schließlich aktiven Übungen intensiviert. [6, 71]

### **3.6 Einteilung in Subgruppen**

In den bildgebenden Verfahren zeigten sich bei den 19 Patienten zwei mögliche morphologische Veränderungen der rekonstruierten Sehne: Eine Re-Ruptur und eine Ossifikation. Um zu untersuchen, ob es einen klinischen Unterschied mit einer dieser morphologischen Veränderung gibt, wurden die Patienten in Subgruppen unterteilt und die Daten miteinander verglichen.

### **3.7 Statistik**

Zur statistischen Analyse wurde das Statistical Package for Social Sciences (SPSS, version 1.0.0.1298, SPSS Inc., Chicago, IL) benutzt. Die beschreibende Statistiken wurden als Median, mittlere absolute Abweichung vom Median (MAD) und Range errechnet. Statistische Signifikanz wurde bei  $p < 0,05$ ; hohe Signifikanz bei  $p < 0,001$  gesetzt.

Zur Analyse verbundener Stichproben wurde eine Varianzanalyse für Messwiederholungen (repeated measures ANOVA oder auch rmANOVA) verwendet. Die Bedingungen für diesen parametrischen Test wurden vorher getestet: Die Normalverteilung wurde mittels Shapiro-Wilk getestet und die Sphärizität mittels Mauchly Test. Bei Verletzung der Sphärizität wurde die Greenhouse-Geisser Korrektur herangezogen. Für multiple Vergleiche wurde als post hoc Test Sidak's multiple comparisons Test angewendet.

Zwei unabhängige Gruppen wurden mittels t-Test für unabhängige Stichproben verglichen. Die Bedingungen für diesen parametrischen Test wurden vorher getestet. Für die Normalverteilung wurde hier ebenfalls mittels Shapiro-Wilk getestet. Für nicht normal verteilte Daten wurde statt dem parametrischen t-test der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test benutzt. Bei Verletzung der Varianzgleichheit im Leven-Test wurde der Welch-Test herangezogen.

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Patientendaten**

Bei der Langzeituntersuchung, im Median 11,1 Jahre ( $\pm 0,4$ ; range 10,2 – 12,1) postoperativ, betrug der Altersdurchschnitt 71,6 Jahre ( $\pm 5,6$ ; range 56 – 84). Insgesamt konnten 19 der 20 verbliebenen Patienten eingeschlossen werden. Trotz intensiven Bemühungen konnte ein Patient nicht erreicht werden und war somit „lost to follow-up“. Das Alter bei der Operation betrug im Median 60 Jahre ( $\pm 5,5$ ; range 44 - 72). Bei 15 Patienten war die Ruptur auf der dominanten Seite.

Zwei Patienten gaben bei der LZU an, an der im Rahmen der Studie operierten Schulter, eine Re-Ruptur erlitten zu haben und sich erneut einer operativen Refixation unterzogen zu haben. Eine dieser zwei Patienten habe daraufhin einen kompletten SSP-Abriss erlitten, welcher nicht mehr operiert worden sei.

### **4.2 Bildgebung**

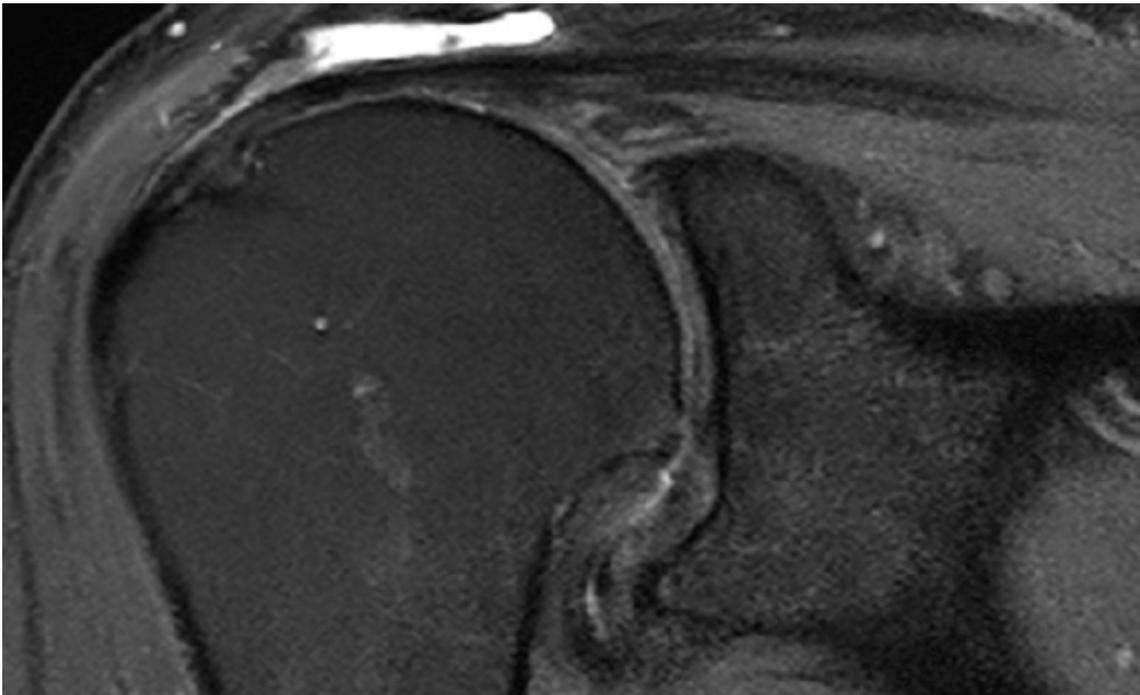
#### **4.2.1 Magnetresonanztomographie**

Bei der LZU wurden bei 15 der 19 Patienten MRT-Scans durchgeführt. Ein Patient weigerte sich in die Klinik zu kommen, so dass er zu Hause untersucht werden musste und somit für eine Ultraschall- und MRT-Untersuchung nicht zur Verfügung stand. Zwei Patienten verweigerten die MRT-Untersuchung aus klaustrophobischen Gründen und der Patient, welche einen SSP-Abriss nach Revisions-OP erlitten hatte, weigerte sich ebenfalls.

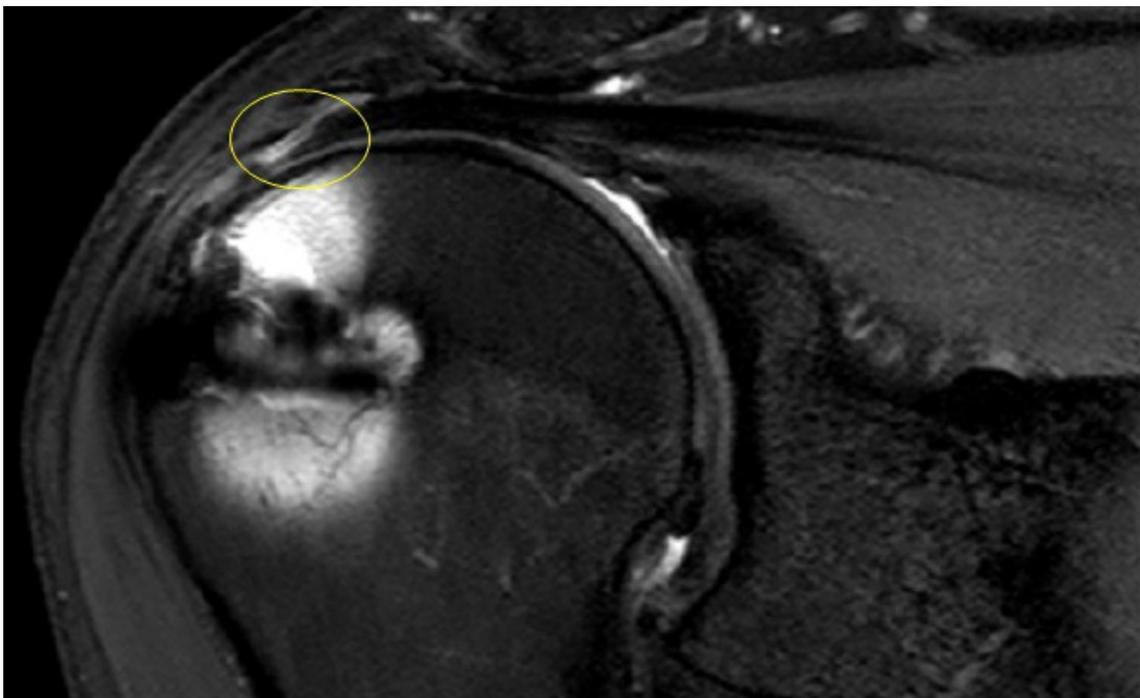
Bei der Auswertung der MRT-Bilder wurden nach der Sugaya Klassifikation 9 intakte Manschetten, Typ II 6mal und Typ III 3 mal, sowie 6 Re-Rupturen, Typ IV 4 mal und Typ V 2 mal, gefunden. Ein Patient, welcher in der KZU als Re-Ruptur klassifiziert wurde, ist in der LZU als Sugaya Typ II und damit intakte Manschette gewertet worden.

Die Muskelatrophie nach Thomazeau wurde in 9 Fällen als Grad I, in 5 Fällen als Grad II und nur in einem Fall als Grad III diagnostiziert. Die Fettige Infiltration nach Goutallier/Fuchs wurde in einem Fall als Grad 0, in 9 Fällen als Grad 1, in 4 Fällen als Grad 2 und nur in einem Fall als Grad 4 klassifiziert.

Eine intakte Supraspinatussehne ist in Abbildung 17 dargestellt, eine rupturierte Supraspinatussehne in Abbildung 18 zu sehen.

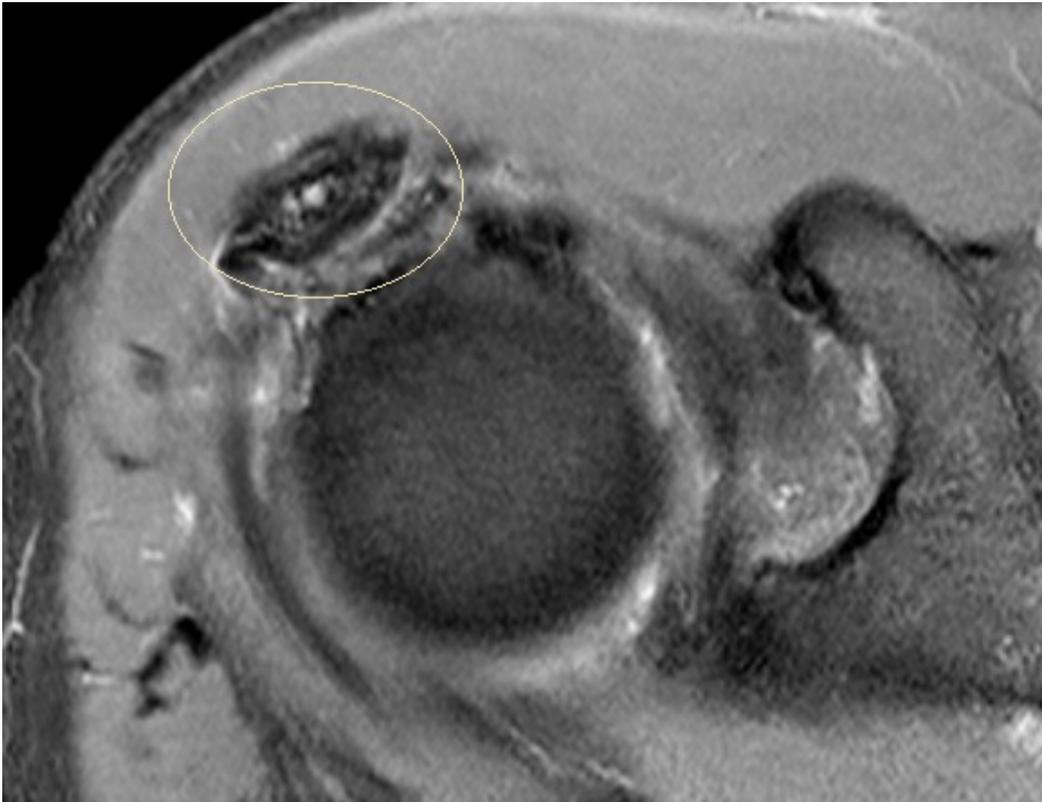


**Abbildung 17: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: eine intakte Supraspinatussehne**



**Abbildung 18: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: eine Supraspinatussehne mit Ruptur. Der Sehnenstumpf ist zur besseren Erkennbarkeit eingekreist.**

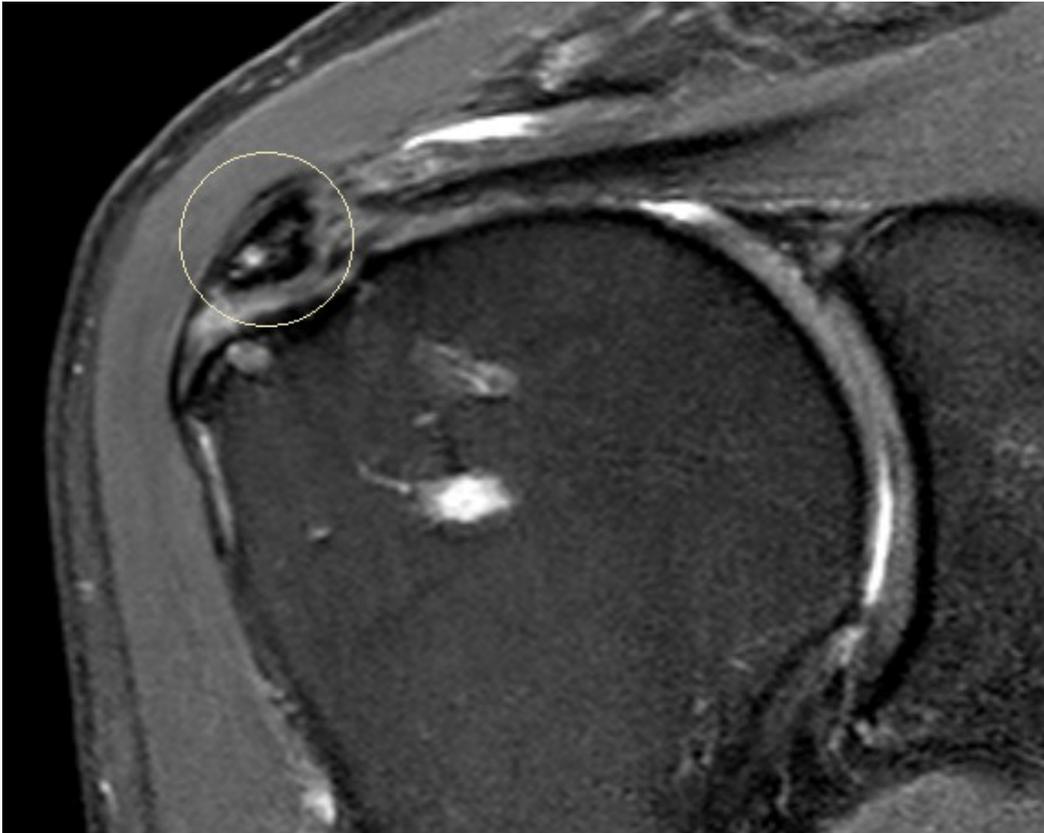
Ossifikationen im Sehnenverlauf wurden in sieben Patienten entdeckt. In den Abbildungen 19 bis 21 sind die MRT-Bilder eines Patienten mit einer Ossifikation im Sehnenverlauf zur Veranschaulichung.



**Abbildung 19: MRT Transversalebene axiale IM-w fs TSE: eines Patienten mit Ossifikation. Die Ossifikation ist zur besseren erkenntlichkeit eingekreist.**



**Abbildung 20: MRT Frontalebene T1-w GE: des gleichen Patienten mit Ossifikation. Die Ossifikation ist zur besseren erkenntlichkeit eingekreist.**



**Abbildung 21: MRT Frontalebene IM-w fs TSE: des gleichen Patienten mit Ossifikation. Die Ossifikation ist zur besseren erkenntlichkeit eingekreist.**

Die Größe dieser dargestellten Ossifikation bemisst sich auf ca. 15\*8\*6 mm und ist im Vergleich mit den anderen Ossifikationen groß. Die Ossifikationen waren Zufallsbefunde und verursachten keinerlei Beschwerden, wie die Subgruppenanalyse zeigte.

#### **4.2.2 Ultraschall**

Ultraschall wurde bei 18 der 19 Patienten durchgeführt. Nur der Patient, der zuhause untersucht wurde, wurde nicht geschallt. Die bereits in der MRT gefundenen Ossifikationen bei sieben Patienten wurden auch im Ultraschall gesehen. Jedoch wurde im Ultraschall bei einem weiteren Patienten eine Ossifikation entdeckt, die in der MRT nicht zu sehen war. Insgesamt wurden also 8 Ossifikationen bei 18 Patienten in der LZU klassifiziert, im Gegensatz zu 4 Ossifikationen in der KZU.

### 4.2.3 Einteilung in Subgruppen

#### Re-Ruptur vs. Intakte Rotatorenmanschette

9 der 19 Patienten hatten eine Re-Ruptur. Bei den 15 Patienten mit MRT war der Typ IV und V nach Sugaya entscheidend. Bei 3 der übrigen 4 Patienten wurde der Ultraschalluntersuchung als entscheidendes Diagnostikum angewandt. Hierbei zeigte sich bei 2 Patienten eine Re-Ruptur und bei einem Patienten eine intakte Sehne. Der Patient ohne Bildgebung hatte bereits in der Kurzzeituntersuchung eine Re-Ruptur und wurde anhand dieser und der deutlichen klinischen Untersuchungszeichen (Starter-Test und Jobe-Test positiv) ebenfalls als Re-Ruptur gewertet.

#### Ossifikation vs. Keine Ossifikation

Im Ultraschall wurde bei 8 Patienten eine Ossifikation entdeckt, bei 10 Patienten wurde keine gesehen. Ein Patient konnte wegen fehlender Bildgebung in keine der beiden Gruppen zugeteilt werden.

## 4.3 Körperliche Untersuchung

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung finden sich in den Tabellen 8 bis 10. Das n steht für die Anzahl der Teilnehmer, bei denen ein Ergebnis vorliegt.

**Tabelle 8: Beweglichkeit der operierten Schulter in der LZU**

	<b>Median</b>	<b>MAD±</b>	<b>range</b>	<b>n</b>
<b>AV gh</b>	90	2,0	80 - 100	19
<b>AV gesamt</b>	170	16	110 - 180	15
<b>AB gh</b>	90	6,0	70 - 100	19
<b>AB gesamt</b>	170	24	80 - 180	15
<b>ARO</b>	50	15	10 – 80	19
<b>ARO hoch</b>	83	11	30 - 100	18
<b>IRO</b>	L1		L5 - Th7	19
<b>IRO hoch</b>	45	19	0 - 75	18

**Tabelle 9: Kraftgrade der operierten Schulter in der LZU**

	<b>Median</b>	<b>MAD±</b>	<b>range</b>	<b>n</b>
<b>SSP in M</b>	4	0,5	3 – 5	19
<b>ISP in M</b>	5	0,6	3 – 5	19
<b>SSC in M</b>	5	0,2	4 – 5	18

**Tabelle 10: Funktionstests der operierten Schulter in der LZU**

<b>Funktionstest</b>	<b>positiv</b>	<b>negativ</b>	<b>n</b>
<b>Starter</b>	5	14	19
<b>ARO Lag</b>	2	15	17
<b>Lift-off</b>	8	11	19
<b>Belly press</b>	10	9	19

## 4.4 Scores

### 4.4.1 Simple Shoulder Test

Zwei Fragen zur Beweglichkeit wurden in der LZU von allen Patienten mit ja beantwortet: Die Frage, ob Sie sich mit der Hand der betroffenen Schulter die Rückseite der anderen Schulter waschen können und mit der Hand der betroffenen Schulter das Hemd am Rücken einstecken können. Eine Häufung der Nein-Antworten wurde in der LZU bei drei Fragen gefunden: 15 Patienten (79%) gaben an, dass die Schulter ihnen einen komfortablen Schlaf ermögliche; 14 Patienten (74%) gaben an, sie könnten mit dem Arm der betroffenen Schulter vier Kg auf Schulterhöhe heben ohne den Ellenbogen zu beugen; 12 Patienten (63%) gaben an, dass Sie mit der betroffenen Schulter einen Tennisball über Kopf 20 Meter weit werfen könnten. Alle anderen Fragen wurden in der LZU von nur ein bis zwei Patienten mit nein beantwortet.

Abbildung 22 zeigt den Verlauf des SST Scores zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten. Der Score betrug präoperativ im Median 5 ( $\pm 5,1$ ; range 1 – 8), stieg bei der KZU hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) auf 11 ( $\pm 1,0$  range 8 – 12) und blieb in der LZU unverändert ( $p = 1,0$ ) mit 12 ( $\pm 1,6$ ; range 5 – 12), weiterhin hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) verbessert zu präop.

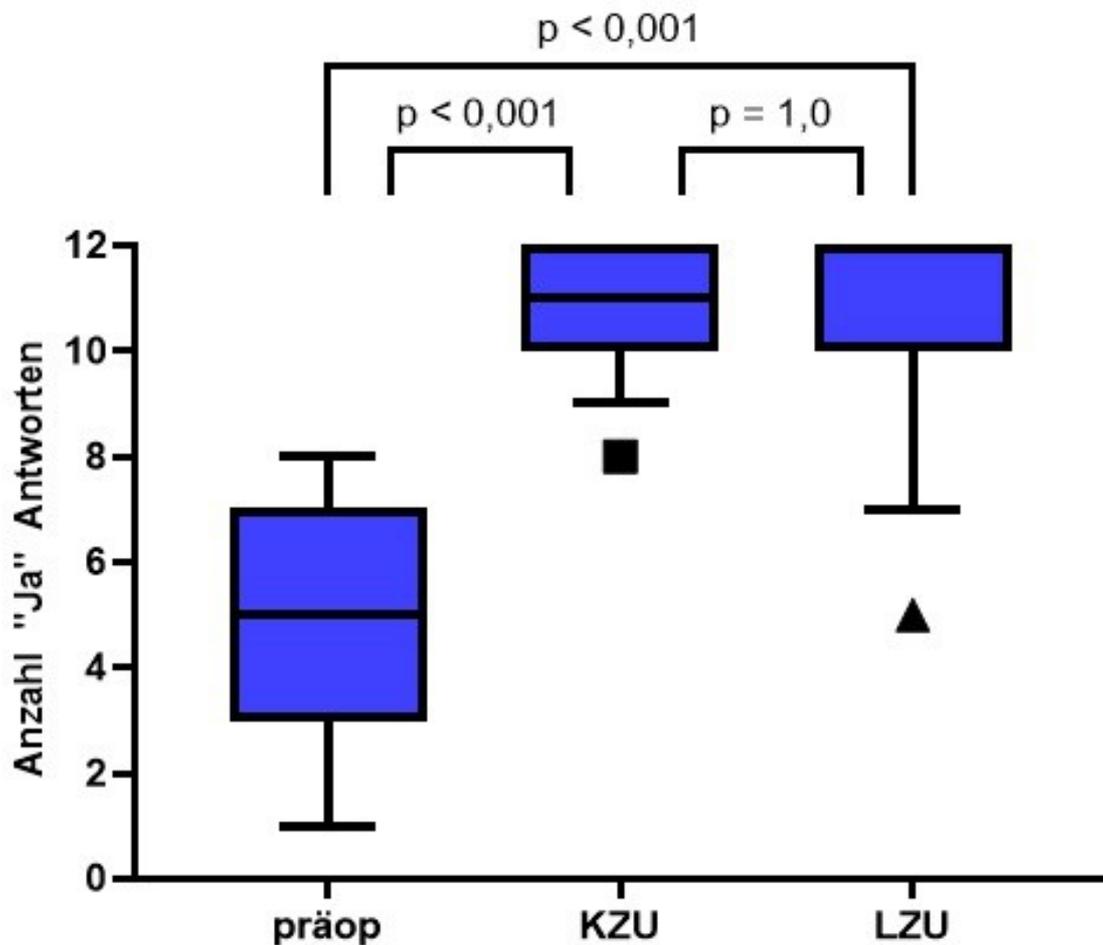


Abbildung 22: Simple Shoulder Test Scores im Vergleich zu den drei Untersuchungszeitpunkten

Der Boxplot der LZU sieht so asymmetrisch aus, weil 12 die maximal zu erreichende Punktzahl ist, und zugleich der Median bei 12 liegt. Der Patient mit nur 5 Punkten in der LZU erlitt eine zweifache Re-Ruptur mit nur einer erneuten Revision, hatte also zum Untersuchungszeitpunkt einen vollständigen SSP-Abriss.

## 4.4.2 Constant Score

Tabelle 11: LZU Constant Score: Ergebnisse aufgeteilt nach Kategorien

	Median	MAD±	range	n
<b>Schmerzpunkte</b>	15	2,5	5 – 15	19
<b>Aktivitäten d. Alltägl. Lebens Punkte</b>	19	3,1	8 – 20	19
<b>Beweglichkeitspunkte</b>	38	4,5	20 – 40	19
<b>Kraftmessung Punkte</b>	7,0	4,0	1 – 19	19
<b>Constant Score gesamt ohne Adaption</b>	77	10,7	41 - 94	19
<b>Constant Score gesamt adaptiert</b>	87	12,3	46 - 106	19

Schmerz: Der Score betrug präoperativ im Median 7 ( $\pm 1,2$ ; range 4,5 – 12,5), stieg bei der KZU hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) auf 14 ( $\pm 0,8$ ; range 12 – 15) und blieb in der LZU unverändert zur KZU ( $p = 0,36$ ) mit 15 ( $\pm 2,5$ ; range 5 – 15), weiterhin hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) verbessert zu präop. In der LZU gaben 12 Patienten (63%) Schmerzfreiheit an.

Aktivitäten des alltäglichen Lebens (ADL): Der Score betrug präoperativ im Median 10 ( $\pm 2,4$ ; range 4 – 15), stieg bei der KZU hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) auf 20 ( $\pm 0,9$  range 16 – 20) und blieb in der LZU relativ unverändert zur KZU ( $p = 0,11$ ) mit 19 ( $\pm 3,1$ ; range 8 – 20), weiterhin hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) verbessert zu präop. Die maximale Punktzahl wurde in der LZU von neun Patienten (47%) erreicht. Keinerlei Schulter bedingtes Aufwachen gaben 13 Patienten (68%) in der LZU an.

Beweglichkeit (ROM): Der Score betrug präoperativ im Median 30 ( $\pm 6,3$  range 14 – 40), stieg bei der KZU signifikant ( $p = 0,001$ ) auf 38 ( $\pm 1,2$ ; range 34 – 40) und blieb in der LZU unverändert zur KZU ( $p = 0,19$ ) mit 38 ( $\pm 4,5$  range 20 - 40), und unverändert zu präop ( $p = 0,073$ ).

Kraft: Der Score betrug präoperativ im Median 5,6 ( $\pm 2,8$ ; range 0 - 11), stieg bei der KZU signifikant ( $p = 0,001$ ) auf 11 ( $\pm 3,1$  range 4,4 – 16,3) und blieb in der LZU unverändert zur KZU ( $p = 0,11$ ) mit 7,0 ( $\pm 4,0$ ; range 1 – 19), nicht signifikant ( $p = 0,18$ ) verändert zu präop.

Constant Score roh: Der Score betrug präoperativ im Median 54 ( $\pm 9,8$ ; range 25 - 68), stieg bei der KZU hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) auf 80 ( $\pm 3,9$  range 73-89) und blieb in der LZU unverändert ( $p = 0,18$ ) mit 77 ( $\pm 10,7$ ; range 41 - 94), weiterhin hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) verändert zu präop.

Constant Score adaptiert nach Constant (siehe Abbildung 23): Der Score betrug präoperativ im Median 60 ( $\pm 11,2$ ; range 28 - 81), stieg bei der KZU hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) auf 91 ( $\pm 4,8$  range 81 - 101) und blieb in der LZU unverändert ( $p = 0,18$ ) mit 87 ( $\pm 12,3$ ; range 46 - 106), weiterhin hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) verändert zu präop.

Der adaptierte Constant score in der LZU galt 8 mal als exzellent, 6 mal als gut, 1 mal als befriedigend, 2 mal als ausreichend und 2 mal als schlecht [76].

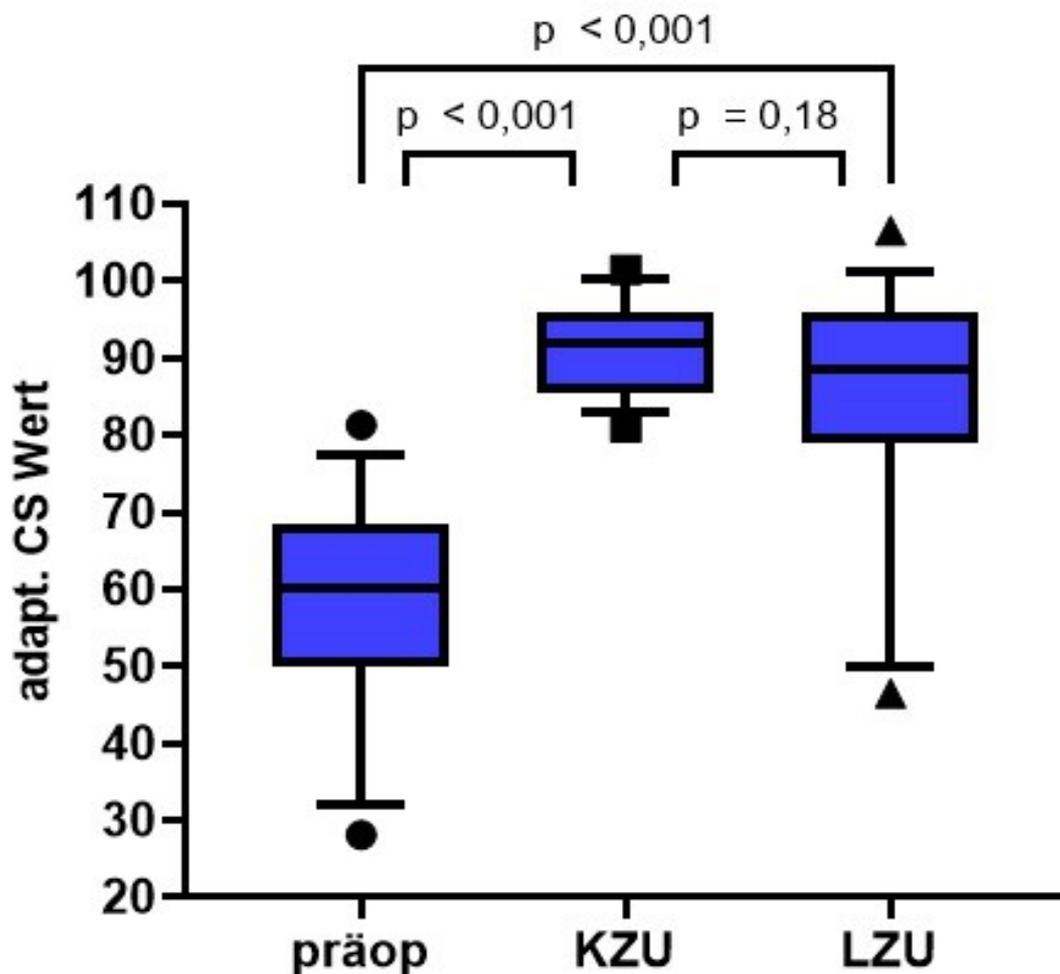


Abbildung 23: adaptierter Constant Score im Vergleich zu den drei Untersuchungszeitpunkten

Bei den beiden Ausreißern handelt es sich in einem Falle von einem revidierten Patienten zwischen KZU und LZU. Der andere Patient hat das MRT verweigert und hatte im Ultraschall eine große Ruptur der SSP-Sehne, sowie eine craniale ISC- und SSC-Sehnenruptur.

## 4.5 Vergleich zwischen Re-Rupturen und intakten Manschetten

### 4.5.1 Basisdaten der Subgruppe

Es folgt wieder eine tabellarische Darstellung der präoperativen Basisdaten beider Gruppen im Vergleich.

**Tabelle 12: präoperative Basisdaten Subgruppe Re-Ruptur**

	Geschlecht	Alter bei OP	Dominante Seite
<b>Rerupt.</b>	6m / 3w	57 ( $\pm$ 6; range 50-72)	7 (78%)
<b>Int. Mansch.</b>	8m / 2w	61 ( $\pm$ 5; range 44-71)	8 (80%)

**Tabelle 13: präoperative bildgebende Klassifikation Subgruppe Re-Ruptur**

	Muskel- atrophie n. Thomazeau	Verfettung n. Goutallier/ Fuchs	Retraktion n. Patte	AHA (mm)	Akromiontyp n. Bigliani
<b>Rerupt.</b>	I: 7 (78%) II: 2 (22%)	0: 2 (22%) I: 4 (44%) II: 3 (33%)	0: 1 (11%) I: 5 (56%) II: 3 (33%)	9 ( $\pm$ 2; range 7 - 13)	II: 4 (44%) III: 5 (56%)
<b>Int. Mansc h.</b>	I: 10 (100%) II: 0 (0%)	0: 1 (10%) I: 7 (70%) II: 2 (20%)	0: 2 (20%) I: 4 (40%) II: 4 (40%)	8 ( $\pm$ 1; range 7 - 12)	II: 8 (80%) III: 2 (20%)

**Tabelle 14: präoperative arthroskopische Befunde Subgruppe Re-Ruptur**

	Rupturierte Sehnen	Rupturgröße n. Bateman
<b>Rerupt.</b>	Nur SSP: 3 (33%) SSP&ISP: 2 (22%) SSP&SSC: 4 (44%) SSP&SSC&ISP: 0	II: 5 (56%) III: 4 (44%)
<b>Int. Mansch.</b>	Nur SSP: 6 (60%) SSP&ISP: 1 (10%) SSP&SSC: 2 (20%) SSP&SSC&ISP: 1 (10%)	II: 7 (70%) III: 3 (30%)

Auch wenn augenscheinlich Unterschiede auffallen sind diese statistisch nicht

signifikant:

- Akromiontyp: 80% Typ 2 bei den intakten Manschetten und 56% Typ 3 bei den Re-Rupturen,  $p = 0,20$
- Sehnenbeteiligung: 60% nur SSP Beteiligung bei den intakten Manschetten, gegenüber 33% nur SSP Beteiligung bei den Re-Rupturen.  $P = 0,49$

Das bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied in den präoperativen Daten zwischen den Patienten mit Re-Ruptur und denen mit intakten Manschetten festgestellt werden konnte.

#### 4.5.2 Subgruppenanalyse

Die Ossifikationsrate beträgt bei den Rupturen 4/8 (50%) und bei den intakten Manschetten 4/10 (40%) und ist somit ähnlich.

**Tabelle 15: Geschlechts-, und altersadaptierter Constant Score Subgruppe Re-Ruptur LZU**

	Re-Ruptur	Median	MAD±	range	n	p
<b>Schmerzpunkte</b>	ja	14	3,2	5 – 15	9	0,103
	nein	15	1,4	9 – 15	10	
<b>Aktivitäten d. alltäg. Lebens Punkte</b>	ja	18	4	8 – 20	9	0,177
	nein	20	2	11 – 20	10	
<b>Beweglichkeit Punkte</b>	ja	38	6,1	20 - 38	9	0,289
	nein	38	3,1	28 - 40	10	
<b>Kraftmessung Punkte</b>	ja	6	3,1	1 – 11	9	0,031
	nein	11	4,2	5 – 19	10	
<b>adaptierter CS Gesamtwert</b>	ja	84	15	46 - 95	9	0,053
	nein	94	8,3	68 - 107	10	
<b>SST</b>	ja	11	2,1	5 – 12	9	0,24
	nein	12	0,8	9 – 12	10	

Die Patienten mit einer Re-Ruptur wiesen im Vergleich zu Patienten mit einer intakten Rekonstruktion eine signifikant schlechtere Kraftmessung im Constant Score auf  $p = 0,031$ . Im adaptierten CS Gesamtwert wird die statistische Signifikanz gerade verpasst  $p = 0,053$ .

## 4.6 Vergleich zwischen Sehnen mit Ossifikationen und Sehnen ohne Nachweis einer Ossifikation

### 4.6.1 Basisdaten der Subgruppen

Es folgt eine tabellarische Darstellung der präoperativen Basisdaten, oder auch Ausgangswerten, beider Gruppen im Vergleich.

**Tabelle 16: präoperative Basisdaten Subgruppe Ossifikation**

Gruppe	Geschlecht	Alter bei OP	Dominante Seite
<b>Mit Ossifikation</b>	6m / 2w	62 (± 6; range 51-72)	7 (87,5%)
<b>Ohne Ossifikation</b>	7m / 3w	60 (± 5; range 44-71)	7 (70%)

**Tabelle 17: präoperative bildgebende Klassifikation Subgruppe Ossifikation**

Gruppe	Muskelatrophie n. Thomazeau	Verfettung n. Goutallier/ Fuchs	Retraktion n. Patte	AHA (mm)	Akromiontyp n. Bigliani
<b>mit Ossif.</b>	I: 7 (75%) II: 1 (25%)	0: 1 (13%) I: 5 (63%) II: 2 (25%)	0: 1 (13%) I: 5 (63%) II: 2 (25%)	9 (± 2; range 7 - 13)	II: 6 (75%) III: 2 (25%)
<b>ohne Ossif.</b>	I: 9 (90%) II: 1 (10%)	0: 2 (20%) I: 5 (50%) II: 3 (30%)	0: 2 (20%) I: 5 (50%) II: 3 (30%)	9 (± 1; range 7 - 11)	II: 6 (60%) III: 4 (40%)

**Tabelle 18: präoperative arthroskopische Befunde Subgruppe Ossifikation**

Gruppe	Rupturierte Sehnen	Rupturgröße n. Bateman
<b>Mit Ossifikation</b>	Nur SSP: 4 (50%) SSP&ISP: 1 (25%) SSP&SSC: 3 (38%) SSP&SSC&ISP: 0	II: 7 (88%) III: 1 (13%)
<b>Ohne Ossifikation</b>	Nur SSP: 5 (50%) SSP&ISP: 2 (20%) SSP&SSC: 2 (20%) SSP&SSC&ISP: 1 (10%)	II: 5 (50%) III: 5 (50%)

Zusammengefasst fällt eine relativ homogene Verteilung der erhobenen Daten auf, der augenscheinliche Unterschied bei der Rupturgröße nach Bateman ist statistisch nicht signifikant:  $p = 0,19$

#### 4.6.2 Subgruppenanalyse

Die Re-Rupturrate war im Gruppenvergleich ähnlich. Bei den Ossifikationen beträgt sie 4/8 (50%), im Vergleich zu 4/10 (40%) bei den Patienten ohne Ossifikation im Sehnenverlauf.

**Tabelle 19: Geschlechts-, und altersadaptierter Constant Score Subgruppe Ossifikation LZU**

	Ossifikation	Median	MAD±	range	n	p
<b>Schmerzpunkte</b>	ja	15	0,8	12 – 15	8	0,435
	nein	14	3,4	5 – 15	10	
<b>Aktivitäten d. Alltägl. Lebens Punkte</b>	ja	20	0,6	18 - 20	8	0,046
	nein	17	4,1	8 – 20	10	
<b>Beweglichkeit Punkte</b>	ja	38	0,5	36 - 40	8	0,075
	nein	33	5,6	20 - 40	10	
<b>Kraftmessung Punkte</b>	ja	8	3,5	1 – 17	8	0,807
	nein	8	4,3	2 – 19	10	
<b>Adaptierter CS Gesamtwert</b>	ja	92	4,7	86 - 101	8	0,055
	nein	80	17	46 - 107	10	
<b>SST</b>	ja	12	0,8	9 – 12	8	0,156
	nein	10,5	1,9	5 – 12	10	

Eine statistische Signifikanz konnte nur in dem Unterpunkt ADL gefunden werden. Knapp an einer statistischen Signifikanz vorbei sind ROM und der adaptierte CS Gesamtwert.

## **4.7 Gesamtergebnis**

Die erhobenen Scores zeigten auch elf Jahre nach der Operation eine deutliche Steigerung im Vergleich zu den Ausgangswerten, ohne Unterschied zwischen der KZU und der LZU.

Bezüglich der Re-Rupturrate erlitten drei der 23 Patienten eine Re-Ruptur durch Sturz oder Infektion innerhalb von 3 Monaten nach der OP. Weitere 4 Re-Rupturen wurden nach einem Jahr festgestellt, im Vergleich zu 9 Re-Rupturen nach weiteren zehn Jahren. Ein Patient wurde in der KZU als Re-Ruptur gewertet, jedoch in der LZU als intakte Manschette klassifiziert. Ein Patient war lost to follow-up. Die Re-Rupturrate im elf Jahres Follow-up betrug also  $12/22 = 54,5\%$ .

Von den 18 Patienten mit Bildgebung hatten in der KZU 4 eine Ossifikation, im Vergleich zu den 8 Patienten in der LZU. Bei einem Patienten bildete sich die Ossifikation zurück. Insgesamt betrug die Ossifikationsrate im elf Jahres Follow-up  $8/18 = 44\%$ .

Ein Übersicht der Patientenbezogenen Daten ist im Anhang beigefügt.

## **5. Diskussion**

### **5.1 Methodik**

Die Patienten dieser Studie hatten eine sehr große Rotatorenmanschettenruptur, bei der das Risiko einer Re-Ruptur höher ist [8, 77]. Nach den erfolgversprechenden Studien im Tiermodell und der bereits durchgeführten Periostlappenaugmentation bei einer Kreuzbandplastik [67], wurde bei den Patienten dieser Studie die anatomische Rekonstruktion durch eine Periostlappenaugmentation verstärkt, bevor nicht-rekonstruierende operative Verfahren drohten, wie das Sehnen-Debridement oder die Implantation einer inversen Schulterprothese. Die Vorteile der Periostlappenaugmentation gegenüber anderen Augmentationsstrategien ist die Verfügbarkeit im OP-Gebiet ohne Einsetzen von körperfremdem Material.

In der Tierstudie, die als Grundlage dieser Studie diente, wurde eine intakte Sehne der Rotatorenmanschette durchtrennt und bei der Refixation mit einem

Periostlappen augmentiert [14]. Innerhalb von 12 Wochen wurde die Ausrissfestigkeit gemessen sowie die Sehnen-zu-Knochen Heilung Histologisch untersucht [14]. Der Unterschied zu unserer Studie ist, dass die Patienten eine degenerative Ruptur hatten, und wir nicht die Ausrissfestigkeit testen konnten, sowie keine histologische Untersuchung durchgeführt haben. Grundsätzlich ist der tierexperimentelle Vergleich schwierig. Die tierexperimentell festgestellte erhöhte Ausrissfestigkeit ist nicht gleichbedeutend mit einer langfristig intakten Sehne nach Rekonstruktion einer degenerativen Rotatorenmanschettenruptur. Die Frage ist eigentlich, ob die Periostlappenaugmentation den degenerativen Prozess, der in den häufigsten Fällen hinter eine Rotatorenmanschettenruptur steht [13], aufhalten kann. Es besteht die Hypothese, dass die Botenstoffe und Stammzellen im Periost auch im Menschen, trotz degenerativer Veränderung, die Einheilung verbessern und langfristig eine intakte Sehne gewährleisten können.

Ein Beispiel für diese Hypothese ist die, zunächst im Tierversuch nachgewiesene, überlegene histologische und biomechanische Einheilung nach Kreuzbandplastik mit Periostlappenaugmentation [65]. Schließlich konnte beim Menschen, ebenso bei einer Kreuzbandplastik mit Periostlappenaugmentation, in der Langzeituntersuchung gute klinische Ergebnisse, sowie eine geringere Bohrkanalweite nachgewiesen werden [68]. Diese Ergebnisse sind aber auf die Schulter nicht sicher übertragbar, denn eine geringere Bohrkanalweite spricht für vermehrte Knochenbildung, wo dieser entfernt wurde, nicht für eine Reversion von degenerativen Prozessen.

Die Degeneration hinter der Rotatorenmanschette ist immer noch nicht ausreichend untersucht, um sie völlig zu verstehen. Es bestehen immer noch unterschiedliche Theorien zur Pathogenese, welche weiterhin untersucht werden [85].

### **5.1.1 Studiendesign**

Das Design ist eine Langzeit Follow-up Studie mit einer uni-zentrischen Querschnittuntersuchung, welche alle Patienten der Vorgängerstudie einschließt. Die Vorgängerstudie ist eine Interventionsstudie ohne

Kontrollgruppe.

Bei diesem Studiendesign sind Nachteile bekannt [78]: Die fehlende Compliance betrifft bei der operativen Therapie nur die Nachbehandlung. Nach Abschluss dieser gibt es keine Limitationen, die beachtet werden müssen. Deshalb ist dieser Nachteil bei dieser Studie zu vernachlässigen. Ein Therapiewechsel ist bei dieser Studie in zwei Fällen aufgetreten. Diese werden im Punkt 5.1.2 Statistik ausführlicher diskutiert. Der Verlust von Patienten, in dieser Studie ein Patient, wurde ausgeglichen, in dem seine Daten nachträglich aus der KZU gestrichen wurden. Nur einer von 20 Patienten ist verloren gegangen, das sind wenige verglichen mit anderen Studien [50, 77].

Es gibt eine Vielzahl von Bias die auftreten können, zum Beispiel bei der Datenerhebung der Interviewerbias [79]. Die Untersuchung erfolgte bei uns immer mit zwei anwesenden Untersuchern, einem Untersuchenden und einem Dokumentierenden. Es wäre besser gewesen, wenn beide unabhängig voneinander untersucht hätten und die Ergebnisse bei Abweichungen nochmal betrachtet worden wären. Dennoch halten wir die erhobenen Untersuchungsergebnisse für valide, der Dokumentierende hat bei der Untersuchung zugesehen und konnte bei Meinungsverschiedenheit intervenieren. Der Konfirmationsbias [80] ist ein generelles Problem. Um diesen Bias zu minimieren haben wir uns eng an unser Studienprotokoll gehalten und in der Literaturrecherche auch widersprüchliche Ergebnisse dargestellt. Der Erinnerungsbias [81] sollte kein Problem darstellen, denn das einzige was die Patienten gefragt wurden, ist ob die Schulter einer Reoperation unterzogen wurde.

Der größte Kritikpunkt ist die fehlende Kontrollgruppe mit einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion ohne Periostlappenaugmentation. Unter streng wissenschaftlichen Aspekten, ist eine exakte Aussage nur mit einer Kontrollgruppe möglich. Eine retrospektive Erhebung einer Kontrollgruppe ist, aus wissenschaftlicher Sicht, auch mit einer nicht so hohen Aussagekraft verbunden. Kontrollgruppen sollten unbedingt prospektiv erhoben werden und mit der Interventionsgruppe randomisiert werden, nur dann liegt der wissenschaftliche Goldstandard vor: eine randomisierte kontrollierte Studie.

In der LZU wurden nicht nach Vorerkrankungen gefragt wie Bluthochdruck, Diabetes mellitus oder Hypothyreose, diese Daten wurden nur bei der

Operation erhoben. Besser wäre gewesen diese nochmal zu erheben, da ein Zusammenhang zwischen Rotatorenmanschettenrupturen und Bluthochdruck sowie Diabetes mellitus bekannt sind [82, 83].

Die Einschlusskriterien führten zu einer sehr heterogenen Rupturmorphologie in der Studienpopulation, insbesondere in der Verteilung der Sehnenbeteiligung. Zwar ist im Rahmen einer experimentellen OP-Technik verständlich, sich nicht nur auf eine gewisse Rupturmorphologien zu beschränken, aber diese Heterogenität schränkt die Auswertung und damit Aussagekraft der Studie ein, insbesondere, da die Kontrollgruppe fehlt. Es wäre wahrscheinlich besser gewesen, sich auf Rupturen mit einer 1-2 Sehnenbeteiligung oder 2-3 Sehnenbeteiligung zu beschränken.

Die Scores wurden ausgewählt, weil sie bereits in der Vorgängerstudie benutzt wurden und somit eine Vergleichbarkeit zu drei verschiedenen Zeitpunkten möglich ist. Der Constant Score erfasst die klinisch wichtigen Schulterfunktionen. Durch die Erhebung dieses Scores und der fehlenden Kontrollgruppe ist ein Vergleich mit der Literatur nötig. Der Constant Score ist dort weit verbreitet und bietet daher Vergleichsmöglichkeiten, die im Kapitel 5.2.2 diskutiert werden.

Ein Nachteil ist die nicht-standardisierte Durchführung der Kraftmessung und die damit einhergehende niedrige inter-tester Verlässlichkeit. Kritisiert wird außerdem, dass im Bereich Schmerz nur eine Frage und im Bereich der Alltagsfunktion (ADL) nur 3 Fragen gestellt werden. Angst, Schwyzer et al vermuten daher, dass der Test einer adäquaten Erfassung der subjektiven Schmerzen und Alltagsfunktion damit nicht gerecht werden könnte [84].

Der Simple-Shoulder-Test ist ein kurzer, rein subjektiver Fragebogen, der in kurzer Zeit erhoben ist. Er ist weit verbreitet. Daher bietet auch der Simple shoulder test die Möglichkeit ein Vergleich mit der Literatur zu machen. Angst, Schwyzer et al kritisiert, dass die Testergebnisse für den einzelnen Patienten eine eingeschränkte Aussagekraft haben, weil zu wenige Daten erhoben werden und damit eine niedrige Kriteriumsvalidität einhergeht. Außerdem wird eine fehlende Wichtung der Fragen kritisiert. [84]

Ein Vorteil dieser Studie ist die homogene Untersuchung der Patienten zu drei Untersuchungszeitpunkten mit jeweils einer körperlichen Untersuchung, Erhebung der beiden Fragebögen und einem MRT der betroffenen Schulter. Ein

Nachteil ist der Wechsel der Diagnostik von Röntgen auf Ultraschall. Fragestellungen, wie Omarthrose und akromiohumeraler Abstand, können deshalb nicht beurteilt werden. Diese Fragestellungen waren aber nicht Ziel dieser Studie, und daher war eine Röntgenaufnahme nicht indiziert. Der multimodale Ansatz mit zweifacher Bildgebung und zweifachem Score ist ein Vorteil, denn teilweise können die Daten ergänzt werden, oder sie können verifiziert werden. Die MRT und der Ultraschall gelten als der nicht-invasive Goldstandard für die Untersuchung der Rotatorenmanschette [85]. Bildgebungstechnisch war daher eine hohe Qualität gegeben.

### **5.1.2 Statistik**

Zwei Patienten hatten eine operative Revision zwischen der KZU und LZU auf der betroffenen Schulter. Sie hätten ausgeschlossen werden können, es wurde jedoch entschieden dies nicht zu tun. Diese beiden Patienten hatten insgesamt schlechte Ergebnisse und es ist wahrscheinlich, dass die Werte noch schlechter gewesen wären ohne Revisions-OP. Somit sind deren Werte als falsch-hoch anzusehen. Das Gesamtergebnis ist aber dadurch, dass sie immer noch unterdurchschnittlich sind, mit deren Einschluss weniger verfälscht.

Subgruppenanalysen sind limitiert in der Aussagekraft. Durch multiple Vergleiche können falsch positive Ergebnisse gefunden werden. Falsch negative Ergebnisse können durch eine zu niedrige Power auftreten [86]. Bei der *rmANOVA* ist zwar eine Voraussetzung die Normalverteilung, aber einige Autoren sehen diese Voraussetzung als vernachlässigbar und die *rmANOVA* als ausreichend robust gegenüber der Verletzung dieser Annahme [87-89]. Ein Vorteil der Nutzung des *posthoc* Tests ist die automatische Korrektur des Alpha-Fehlers und damit eine Reduktion von falsch positiven Ergebnissen. Bei der Entwicklung der Studie wurde die Power der Studie auf die gesamte Teilnehmerzahl gerechnet. Die Subgruppenanalyse hat daher eine niedrige Power und dadurch können falsch negative Ergebnisse entstehen.

Bei der Auswertung der Daten ist aufgefallen, dass einzelne Werte bei Patienten fehlen. Betroffen ist ausschließlich die körperliche Untersuchung, die Scores wurden allesamt vollständig erhoben. Im Ergebnisteil wurden, im Falle

von fehlenden Daten, dies gekennzeichnet. Das Fehlen von diesen wenigen Daten – Bei 4 Patienten ist zwar die AV und AB gh dokumentiert, jedoch fehlt die AV und AB gesamt; Bei einem Patienten fehlt die hohe IR und AR; Bei einem Patienten fehlt der Kraftgrad SSC; Bei zwei Patienten fehlt der Aussenrotation Lag Test - ist für die Aussagekraft der Studie in unseren Augen vernachlässigbar.

## **5.2 Ergebnisse**

### **5.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Re-Rupturrate betrug 54,5%. Die Ossifikationsrate betrug 44% für alle Patienten, die in der LZU mit Bildgebung untersucht werden konnten. Der Simple-Shoulder-Test hatte im Median die maximale Punktzahl von 12 erreicht. Im adaptierten Constant Score wurden im Median 87 Prozentpunkte erreicht. 14 Patienten (74%) erreichten hier einen Wert von über 80 Prozentpunkten, während vier Patienten (21%) einen Wert unter 70 Prozentpunkten hatten. Die LZU Scores zeigen keine statistisch Signifikante Veränderung zur KZU, aber eine statistisch hochsignifikante Verbesserung zu präop. In der Subgruppenanalyse konnten intakte Manschetten höhere Kraftwerte erzielen und Patienten mit Ossifikationen im Sehnenverlauf hatten einen höheren Score im Bereich Aktivitäten des alltäglichen Lebens. Eine statistische Signifikanz für den adaptierten CS Gesamtwert wurde bei beiden Subgruppenvergleichen gerade verpasst ( $p = 0,055$  für den Vergleich zwischen Sehnen mit und ohne Ossifikationen und  $p = 0,053$  für den Vergleich zwischen intakten Manschetten und Re-Rupturen).

### **5.2.2 Diskussion der Ergebnisse**

Da eine Kontrollgruppe fehlt, werden die Ergebnisse mit der Literatur verglichen. Es gibt leider nur sehr wenige Studien, die ein Follow-up von mindestens 10 Jahren haben, und von diesen kommen viele für einen Vergleich nicht in Frage, weil die Technik oder die untersuchten Rupturen zu unterschiedlich sind, zum Beispiel Partialrupturen, Infektionen, experimentelle Designs, Debridement, oder weil andere Daten erhoben wurden, zum Beispiel

andere Scores wie der UCLA.

Zur eindeutigen Zuordnung der Ergebnisse in den folgenden Absätzen wird die vorliegende Studie „Klinische und radiologische Ergebnisse nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit Augmentation eines Periostlappens im 11 Jahres Follow-up“ als Periostlappenstudie abgekürzt.

In der Periostlappenstudie betrug der adaptierte Constant Score im Mittelwert 84% und die Re-Rupturrate 54,5%. Zumstein et al [50] berichtet in seiner Publikation von einem adaptierten Constant Score Mittelwert von 85%, sowie von einer Re-Rupturrate von 57% im MRT. Die Kriterien für eine komplette Re-Ruptur waren bei Zumstein, wenn ein Flüssigkeitsäquivalentes Signal oder eine nicht-Visualisierung der SSP, ISP oder SSC-Sehne in einer oder mehreren standard T2-w Bildern oder fs T2-w Bildern gefunden wurde. Er untersuchte seine Patienten im 10 Jahres Follow-up. Die präoperativen Rupturen waren bei Zumstein größer als bei der Periostlappenstudie: 0% hatten eine 1-Sehnenbeteiligung, 63% eine 2-Sehnenbeteiligung und 37% eine 3-Sehnenbeteiligung, verglichen zu der Periostlappenstudie mit 47% 1-Sehnenbeteiligung, 47% 2-Sehnenbeteiligung und 5% 3-Sehnenbeteiligung. Die operative Rekonstruktion ist ähnlich, in beiden Fällen wurde offen operiert, die Sehne in einer modifizierten Mason-Allen Naht genäht, die Befestigung erfolgte bei Zumstein transossär mit Titanplatte und bei der Periostlappenstudie mit Faden-Anker-Technik. Insgesamt sind die beiden Studien sehr gut für Vergleiche geeignet, die Ergebnisse liegen erstaunlich nahe beisammen: 84% vs. 85% adaptierter CS Wert und 54,5% vs. 57% Re-Rupturrate zeigt, dass die beiden OP-Techniken ungefähr gleiche Ergebnisse liefern. Berücksichtigt man jedoch, dass Zumstein die größeren Rupturen versorgt hat, die bekanntlich eine schlechtere Prognose haben, so kann diskutiert werden, dass Zumsteins OP-Technik leicht überlegen ist. [50]

Ebenso kann Randelli et al [51] mit seiner Untersuchung der Langzeit Ergebnisse nach arthroskopischer Rotatorenmanschettenrekonstruktion hinzugezogen werden. Er hat im 10 Jahres Follow-up seine Patienten nachuntersucht. Operiert wurden seine Patienten mit arthroskopischer Faden-Anker-Technik. Eine Einteilung in 1-/2-/3-Sehnenrupturen ist nicht direkt

publiziert, er teilte seine Patienten nach dem SCOI (Southern California Orthopedic Institute) in zwei Gruppen ein: 62% hatten eine 1-Sehnenruptur, 38% hatten eine größere Ruptur mit Beteiligung von 1 bis 3 Sehnen. Damit waren seine Rupturen kleiner als in der Periostlappenstudie. Dies überrascht nicht, denn große Rupturen sind arthroskopisch schwieriger zu versorgen. Leider ist der Constant Score nicht vergleichbar, denn er adaptierte diesen nicht nach Geschlecht und Alter und hatte einen deutlich höheren Frauenanteil. Im SST hatte er einen Median von 11 Punkten, im Vergleich zum Median von 12 Punkten in der Periostlappenstudie Studie. 6,7% von Randellis Patienten unterzogen sich einem Revisionseingriff, im Vergleich zu 15% in der Periostlappenstudie. Er fand außerdem im Ultraschall eine 51%ige Re-Rupturrate – Kriterium für eine Re-Ruptur war eine Sehne mit einer kompletten Diskontinuität der Fasern oder mit einem echoarmen Areal größer als 1cm -, welche mit den 54,5% in der Periostlappenstudie wieder erstaunlich nahe zusammen liegt. Die Ergebnisse von Randelli sind insgesamt ein wenig besser, aber seine Patienten hatten auch kleinere Rupturen. Alles in allem könnte man das outcome der beiden OP Techniken miteinander als gleichwertig betrachten. [51]

Millet et al [77] untersuchte die Re-OP Rate nach offener Rotatorenmanschettenrekonstruktion. Er hatte offene transossäre Nähte, sowie offene Faden-Anker-Technik und auch seit-zu-seit Nähte. Die Rupturen waren ungefähr gleich groß: 1-/2-/3-Sehnenrupturen betrug 53%/35%/11% im Vergleich zu 47%/47%/5% der Periostlappenstudie. Die klinischen Ergebnisse wurden mit dem ASES (American Shoulder and Elbow Surgeons) Score erhoben und bieten daher keine Vergleichbarkeit. Millet bestätigte, dass 1-Sehnenrupturen eine niedrigere Re-Rupturrate haben als Rupturen die mehr als 1 Sehne betreffen. Er fand bei 1,7% seiner Patienten Revisionseingriffe wegen einer Infektion. In der Vorgängerstudie der Periostlappenstudie gab es einen Patient mit einer Infektion und damit 4,3% infektbedingte Revision. Die Interpretation eines Einzelfalles darf zwar nicht klein geredet werden, die Infekt-Rate mit 4,3% ist vielleicht aber auch falsch-hoch. 3,8% von Millets Patienten hatten eine erneute OP wegen einer Re-Ruptur, im Vergleich zu 10,5% bei der Periostlappenstudie. Insgesamt betrug bei Millet die Re-OP rate nach 10 Jahren

17%. Bei der Periostlappenstudie sind für die Re-OP Rate neben den beiden Patienten, die eine Revision hatten auch der Patient mit einer Infektion gezählt. Diskutabel bleibt, ob die beiden Patienten, die wegen eines Sturzes während der postoperativen Nachbehandlung revidiert werden mussten, hier berücksichtigt werden sollten. Mit einem Einschluss würde sich die Re-OP Rate von 15% auf 23% erhöhen, und die der Re-Ruptur bedingten Revision auf 19%. Die Sturzursache und damit der Grund für diese beiden Revisionen ist aber höchstwahrscheinlich nicht durch die Periostlappenaugmentation gegeben. Die Vergleichbarkeit hier ist etwas schwieriger, einzelne Fälle in einer nicht zu großen Kohorte haben möglicherweise eine über repräsentative Wirkung. Mit wohlwollen betrachtet liegt die Re-OP Rate der Periostlappenstudie ungefähr in dem Bereich, was Millet beschrieben hat. [77]

Mayne et al [90] untersuchte die Infekt-Rate bis zu 2 Jahre nach elektiver Schulter-OP, und fand bei offener Technik eine höhere Infekt-Rate als bei arthroskopischen Verfahren mit Nutzung von Implantaten: 2,5% vs. 0,7%. Arthroskopische Verfahren ohne Einsetzen von Implantaten gingen vollständig ohne Infekte einher. Alle arthroskopischen Infekte betreffen Rotatorenmanschettennähte. Die offenen Fälle betreffen auch größere Operationen, wie zum Beispiel Endoprothetik und Operation nach Latarjet. Andere Daten wurden nicht erhoben und untersucht. Wie bereits im Absatz vorher diskutiert hat die Periostlappenstudie einen Fall mit Infektion und damit eine Infekt-Rate von 4,3% im Vergleich zu den 2,5% von Mayne bei offenen Schulter-OPs. Die Einordnung eines Einzelfalles ist schwierig. Eine Steigerung der Infektrate von 1,7% [77] bzw. 2,5% [90] auf 4,3% entspricht ungefähr einer Verdopplung. Es ist schwer vorstellbar, dass diese Steigerung alleinig durch die Präparation des Periostlappens und dessen Anschlingen mit Fäden begründet ist. Alle Sonstigen OP-Schritte werden bei jeder herkömmlichen Rotatorenmanschettenrekonstruktion ebenso angewandt. Es ist wahrscheinlich, dass durch die etwas längere OP-Zeit und das etwas invasivere Vorgehen eine leicht erhöhte Infektrate existiert, jedoch sind die Autoren sicher, dass die Infektionsrate von 4,3% falsch-hoch ist. [90]

Das Gesamtergebnis dieser Studie ist in Tabelle 20 im Vergleich mit der Literatur aufgelistet.

**Tabelle 20: Gesamtergebnis im Vergleich mit der Literatur**

	<b>Periostlappen- studie</b>	<b>Literatur [50, 51, 77, 90]</b>
<b>Infektion</b>	4,3%	1,7%-2,5%
<b>Erneute RM Sehennaht</b>	10,5%-19%*	3,8%
<b>Revisions-OP Rate insgesamt</b>	15%-23%*	3,9%-17%
<b>Re-Rupturrate</b>	50-54,5%*	51-57%
<b>Adaptierter Constant Score</b>	Mittelwert: 84%	Mittelwert: 85%
<b>Ossifikationsrate</b>	44%	Nicht beschrieben
<b>SST</b>	Median 12	Median 11

\*mit oder ohne Ausschluss der gestürzten Patienten

Wie bereits bei der Re-OP Rate diskutiert, könnte man auch für die Re-Rupturrate in Betracht ziehen, die Stürze in der Nachbehandlung nicht zu berücksichtigen. Bei Ausschluss dieser wäre die Re-Rupturrate 50%. Aber auch mit diesem Ausschluss, liegt die Rate ungefähr im Bereich dessen was in der Literatur beschrieben ist: 51-57%.

Der adaptierte Constant Score ist im Mittelwert fast identisch mit dem einzig vorliegenden Wert 84% vs. 85% [50]. Leider haben viele Autoren andere Scores benutzt und Randelli hat leider nicht nach Geschlecht und Alter adaptiert, was eine Vergleichbarkeit erschwert. Im Mittelwert und Median liegt der Constant Score, nach der Einteilung von Iannotti [76], im Bereich sehr gut. Der Simple-Shoulder-Test hat ebenso nur einen vorliegenden Wert zum Vergleichen und liegt sehr nah beisammen 12 vs. 11 bei einem im Median sehr guten Ergebnis nahe an der Höchstpunktzahl 12.

Eine Ossifikation im Sehnenverlauf ist nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion ohne Periostlappenaugmentation nicht bekannt. Periost hat unter anderem die Aufgabe der Knochenbildung. Die deutlich erhöhte Ossifikationsrate ist somit auf die Periostlappenaugmentation zurückzuführen. Eine Ossifikation im Sehnenverlauf ist nicht physiologisch, aber auch nicht mit

Kalk, wie bei der Tendinitis calcarea, zu vergleichen. Die einzige sonstige Bildung von heterotopen Ossifikationen an der Schulter ist bei ca. 15% nach Schulterprothetischen Eingriffen bekannt [54], liegt dort aber nicht innerhalb der Sehne. Interessant ist, dass in der KZU nur 4 Patienten eine Ossifikation hatten, im Gegensatz zu 9 Patienten in der LZU. Der Prozess der Ossifikation hat also nach einem Jahr nicht aufgehört. Interessant ist außerdem, dass dieser Prozess an dem Ort stattfindet, wo üblicherweise eine schlechte Durchblutung vorliegt. Überraschenderweise haben Patienten mit Ossifikation keinerlei Symptome und haben im Subgruppenvergleich bessere Werte im Bereich Aktivitäten des alltäglichen Lebens des CS. Bei den adaptierten Gesamtwerten des CS wird die Signifikanz gerade verpasst mit  $p = 0,055$ . Es kann sein, dass durch die niedrige Power die Signifikanz verschleiert wird.

Die Nutzung von Periostlappen finden noch in der Fußchirurgie Anwendung, genauer gesagt bei der chronischen Instabilität des oberen Sprunggelenks. Hierbei wird ein bis zu 10cm langer distal gestielter Periostlappen, der von der fibula präpariert wird, so umgeschlagen und damit gedoppelt, dass die dem Knochen anliegenden Blätter aufeinander zum Liegen kommen. Anschließend wird dieser gedoppelte Periostlappen um den Stiel so umgeschlagen, dass er das fehlende Ligament ersetzt und nur noch distal befestigt werden muss. Interessanterweise fehlt bei der Auflistung der Komplikationen die Ossifikation im Sehnenverlauf. [70]

Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Stammzellen in der Kambiumschicht die Ossifikation verursachen, aber durch die Positionierung nach innen - nach aussen zeigt das Stratum fibrosum – zumindest die Ossifikation gehemmt wird. Diese Positionierung entspricht auch dem normalen Aufbau der Knochen (Kambium innen, Stratum fibrosum aussen).

### **5.2.3 Limitationen und Bedeutung der Studie**

Es gab einige Limitationen in dieser Studie. Die ungleiche Verteilung der Geschlechter in der Studienpopulation erschwert eine Übertragung der Ergebnisse auf die Bevölkerung. Die Anzahl der eingeschlossenen Patienten ist nicht auf eine Subgruppenanalyse ausgelegt worden, so dass in dieser nun ein

Alpha-Fehler vorliegen könnte. Das Fehlen der Kontrollgruppe war die am schwersten wiegende, denn die exakte Einordnung der Ergebnisse war dadurch kaum noch gegeben. Es blieb nur noch der Vergleich mit der Literatur, und hier folgten nun leider diverse Erschwernisse: Es existierten nur wenige ähnliche Studien, die für einen Vergleich überhaupt in Frage kommen, nämlich Langzeitstudien nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit einem Follow up von um die 10 Jahre. Für jede Kategorie in der Tabelle 20 existierten nach der Recherche des Autors nur eine oder zwei Studien, und selbst hier gab es Schwierigkeiten beim Vergleich: Teilweise war die OP-Technik unterschiedlich (arthroskopisch oder offen), teilweise die Rupturmorphologie sehr verschieden (1-2 Sehnenrupturen oder 2-3 Sehnenrupturen), oder es wurden andere Scores erhoben. Aus Mangel an Alternativen mussten diese Studien trotzdem zum Vergleich herangezogen werden, da sie noch die beste Vergleichbarkeit boten. Die Einordnung der Ergebnisse wurden somit bestmöglich durchgeführt, genügen aber nicht höchsten wissenschaftlichen Standards.

Ob eine Periostlappenaugmentation bei einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion die Sehnen-Knochen Heilung verbessert kann mit dieser Studie nicht eindeutig beantwortet werden. Zumindest zeigen sich in der LZU vergleichbare Ergebnisse zur spärlichen Literatur hinsichtlich Re-Rupturraten und klinischen Scores. Allerdings zeigt sich mit den beschriebenen Ossifikationen im Sehnenverlauf ein negativer, bzw. ungewollter Effekt, der jedoch keinen negativen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse zu haben scheint. Die operative Revisionsrate ist bezüglich Infektionen und Re-Rupturen erhöht, operative Revisionen aus anderen Gründen liegen in der Periostlappenstudie nicht vor. Betrachtet man die Re-OP Rate der Schultern insgesamt, ist die Periostlappenstudie der Literatur nicht überlegen.

Durch diese Studie haben sich auch neue Fragestellungen ergeben:

Was bedeutet die Ossifikation als nicht physiologischer Prozess, bzw. als physiologischer Prozess der Periostlappentransplantation an atypischer Stelle? Da er bei allen Patienten dieser Studie keinerlei Beschwerden gemacht hat, ist eine genaue Einordnung schwierig.

Ist die Ossifikation ein Beweis einer vitalen Periostlappenaugmentation? Dies

wird als möglich betrachtet.

Ist die Abwesenheit der Ossifikation dementsprechend eine nicht erfolgreiche Periostlappenaugmentation? Es könnte sein, dass der Fortschritt der zugrunde liegenden Degeneration den Periostlappen in einer Ossifikationsbildung gehemmt hat.

Ist die Periostlappenaugmentation für alle Rotatorenmanschettenrekonstruktionen sinnvoll, oder gibt es eine Subgruppe an Patienten, die davon mehr profitiert?

In der Analyse der Basisdaten konnten keine Merkmale gefunden werden, die eine Ossifikation begünstigen. Aktuell gibt es keinen Hinweis auf eine Subgruppe, die von der Periostlappenaugmentation profitieren würde.

Es gibt zwar einzelne Hinweise auf Vorteile der Periostlappenaugmentation zur Unterstützung der Sehnen-Einheilung bei der Rotatorenmanschettenrekonstruktion, jedoch sind diese nicht groß genug, bzw. gibt es ebenso Hinweise auf Nachteile, so dass aktuell dieses Verfahren nicht empfohlen werden kann.

#### **5.2.4 Ausblick**

Ob die Periostlappenaugmentation bei der Rotatorenmanschettenrekonstruktion wirklich einen Vorteil bringt, müsste noch genauer untersucht werden. Dazu würde sich eine kontrollierte randomisierte Studie anbieten, die das Verfahren auf tatsächliche Überlegenheit gegenüber der Rekonstruktion ohne Augmentation untersucht. Interessant hierbei wäre nicht nur der Gesamtvergleich der Periostlappengruppe mit der Kontrollgruppe, sondern auch die Subgruppe Ossifikation und non-Ossifikation miteinander und mit der Kontrollgruppe.

Ein Problem bei der Weiterführung dieser Technik ist der offene Zugang. Der heutige Trend geht zu einer arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion; nur bei großen Rupturen wird primär offen, bzw. min-open, operiert. Die Ablösung des Periostlappens mit anschließender Augmentation einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist arthroskopisch eher nicht

umsetzbar. Deshalb würde es sich hierbei empfehlen, ein Patienten Kollektiv mit großen Rupturen zu nehmen, die man sowieso primär offen Rekonstruieren würde.

## **6. Zusammenfassung**

Die Rotatorenmanschettenrekonstruktion hat eine Re-Rupturrate von über 50% nach zehn Jahren. Zur Verbesserung dieser Rate ist die Entwicklung von neuen operative Techniken unumgänglich. Im Tiermodell konnte mit einer Periostlappenaugmentation eine höhere Ausrissfestigkeit nach Rotatorenmanschettennaht festgestellt werden, als ohne Augmentation.

Ziel dieser Studie war es, die Langzeitergebnisse nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit Periostlappenaugmentation zu beschreiben und interpretieren, ob die Periostlappenaugmentation die Sehneneinheilung verbessert.

In einer prospektiven Interventionsstudie wurden 23 Patienten mit einer degenerativen transmuralen Rotatorenmanschettenruptur eingeschlossen und die Sehnenrekonstruktion mit einem Periostlappen augmentiert, wie im Tierversuch beschrieben. Präoperativ, ein Jahr und elf Jahre nach der Operation wurden die Patienten, jeweils körperlich, mittels Bildgebung und durch die Erhebung des Constant Scores und des Simple Shoulder Tests untersucht.

Acht der 18 Patienten mit Bildgebung entwickelten eine asymptomatische Ossifikation im Sehnenverlauf, was bisher in der Literatur nicht beschrieben worden war. Die Re-Rupturrate von 54,5% ist mit der Re-Rupturrate von anderen LZU vergleichbar. Der Constant Score ist mit 87% Punkten im Median sehr gut und ebenso mit Werten aus LZU in der Literatur vergleichbar. In der Subgruppenanalyse konnte bei der Gruppe mit Ossifikationen im Sehnenverlauf bessere Werte für Aktivitäten des Alltäglichen Lebens im Constant Score gefunden werden und bei den intakten Manschetten bessere Werte in der Kraftmessung im Constant Score. Eine Überlegenheit der Subgruppen Ossifikationen und intakten Manschetten konnte nicht gezeigt werden.

Zusammengefasst sind die Re-Rupturrate und die klinischen Ergebnisse im Vergleich mit anderen Operationstechniken nicht unterlegen. Die Ossifikation im

Sehnenverlauf ist ein ungewollter Effekt unklarer Wertigkeit. Eine Periostlappenaugmentation zur Verbesserung der Sehnenheilung bei Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist aktuell, da diese Studie keinen sicheren Vorteil zeigen konnte, im klinischen Alltag nicht zu empfehlen.

## 7. Anhang

### 7.1 Simple shoulder Test

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

## 7.2 Constant Score

### Schulterstudie

Liebe Patienten!

Auf den folgenden Seiten finden Sie Fragen zu gesundheitlichen Einschränkungen. Wir möchten Sie bitten, für **beide Schultern** möglichst genaue Angaben zu machen.

Bitte kreuzen sie die entsprechenden Antworten an!

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit!

#### Patientendaten

Code:

Datum:

Bitte zutreffendes ankreuzen.

Beeinträchtigte Schulter (bzw. aktuell behandelte Schulter):

rechts  links

Sind Sie Rechtshänder  oder Linkshänder ?

#### I. Schmerz

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** die durchschnittliche Stärke Ihrer Schmerzen während der letzten Woche an:

rechte Schulter:



linke Schulter:



#### II. Beruf

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** an, ob Sie durch deren Einsetzbarkeit bzw. Schmerzen bei den Tätigkeiten in Ihrem **Beruf** eingeschränkt sind (Sollten Sie nicht berufstätig sein, dann treffen Sie bitte die Angaben entsprechend der Haupttätigkeiten Ihres Alltags)

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. weniger als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. mehr als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. vollständig eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### III. Freizeit

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** an, ob Sie durch deren Einsetzbarkeit bzw. Schmerzen bei den Aktivitäten in Ihrer **Freizeit** (Hobby, Sport, Garten etc.) eingeschränkt sind.

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. weniger als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. mehr als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. vollständig eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### IV. Arbeitshöhe

Kreuzen Sie bitte an, bis zu welcher **Höhe** Sie Tätigkeiten verrichten können, ohne eingeschränkt zu sein oder Schmerzen zu empfinden.  
Tätigkeiten (wie z. B. Wäsche auf die Leine zu hängen) sind möglich bis einschließlich....

	rechte Schulter	linke Schulter
a. Gürtelhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Brusthöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Nackenhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Scheitelhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. über den Kopf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### V. Schlaf

Kreuzen Sie bitte an, ob Sie in Ihrem **Schlaf** durch Schmerzen in der Schulter gestört sind.

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht gestört	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. gelegentliches Aufwachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. regelmäßiges Aufwachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kreuzen sie bitte bei **jedem Bild** und für **beide Schultern** an, ob Sie die Bewegung schmerzfrei ausführen können

VI. Schmerzfreies Heben des Armes nach vorne

	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	0 - 30°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	31 - 60°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	61 - 90°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	91 - 100°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	121 - 150°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	>150°
---	---	---------	---	---	---	----------	---	---	---	----------	---	---	---	-----------	---	---	---	------------	---	---	---	-------

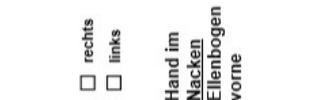
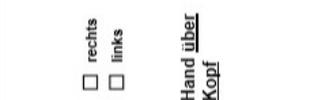
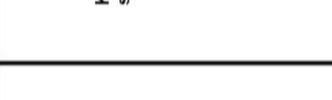
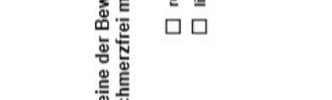
VII. Schmerzfreies seitliches Anheben des Armes

	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	0 - 30°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	31 - 60°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	61 - 90°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	91 - 100°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	121 - 150°	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	>150°
---	---	---------	---	---	---	----------	---	---	---	----------	---	---	---	-----------	---	---	---	------------	---	---	---	-------

VIII. Schmerzfreie Innendrehung hinter dem Körper

	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	bis Taschenbeginn	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	bis unter Gürtel	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Gürtel	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	über Gürtel	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	zwischen Schulterblätter
---	---	-------------------	---	---	---	------------------	---	---	---	--------	---	---	---	-------------	---	---	---	--------------------------

IX. Schmerzfreie Außenrotation

	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Hand im Nacken Ellenbogen vorne	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Hand auf Scheitel Ellenbogen vorne	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Hand auf Scheitel Ellenbogen seitlich	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Keine der Bewegungen ist schmerzfrei möglich!
	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Hand <u>über Kopf</u>	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Keine der Bewegungen ist schmerzfrei möglich!	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Keine der Bewegungen ist schmerzfrei möglich!	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links		<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	Keine der Bewegungen ist schmerzfrei möglich!

**X. Kraftmessung**

Zur Kraftmessung füllen Sie bitte eine Tasche mit Gewichten z.B. 1 Liter Tetra-Pak-Tüten (Milch/Saft) 1 Liter Plastikflaschen ,1 kg Zucker oder Mehl und halten Sie diese in der unten abgebildeten Stellung für **5 Sekunden**. Geben Sie dann an wie viel kg sie halten können



Arm im rechten Winkel vom Körper abspreizen und ihn leicht vor den Körper halten

rechts:

Gewicht: \_\_\_\_kg

links:

Gewicht: \_\_\_\_kg

Anmerkungen:



## 7.4 Abkürzungsverzeichnis

2D	Zwei dimensional
3D	Drei dimensional
AB	Abduktion
AC	Akromioklavikular
ACG	Akromioklavikulargelenk
ADL	Aktivitäten des alltäglichen Lebens
ARAC	Arthroskopische Resektion des Akromioklavikulargelenks
ARO	Aussenrotation
Art.	Articulatio
ASAD	Arthroskopische subacromiale Dekompression
AV	Anteversio
CS	Constant Score
CT	Computertomographie
Fs	Fettsaturation
GE	Gradient-Echo-Sequenz
gh	glenohumeral
IM-w	Intermediär gewichtet
IRO	Innenrotation
ISP	Infraspinatus
KZU	Kurzzeituntersuchung
LBS	Lange Bizepssehne
LZU	Langzeituntersuchung
m.	Musculus
MAD	mittlere absolute Abweichung
mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
präOP	präoperativ
ROM	Beweglichkeit (Range of Motion)
SSC	Subscapularis
SSP	Supraspinatus
SST	Simple Shoulder Test
T1-w	T1 gewichtet
TSE	Turbo-Spin-Echo

## 8. Literatur

- [1] F. Paulsen and J. Waschke, *Sobotta Atlas der Anatomie*, 24. ed. Elsevier GmbH, Urban & Fischer, 2017.
- [2] A. Katzer, J. V. Wening, H. U. Becker-Männich, D. E. Lorke, and K. H. Jungbluth, "Die Rotatorenmanschettenruptur," *Unfallchirurgie*, vol. 23, no. 2, pp. 52-59, 1997/04/01 1997, doi: 10.1007/BF02628150.
- [3] V. Ewerbeck *et al.*, *Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie* 4ed. Thieme 2014.
- [4] L. U. Bigliani, "The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears," *Orthop. Trans.*, vol. 10, p. 228, 1986 1986. [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10005046846/en/>.
- [5] D. Kovacevic and S. A. Rodeo, "Biological augmentation of rotator cuff tendon repair," *Clin Orthop Relat Res*, vol. 466, no. 3, pp. 622-33, Mar 2008, doi: 10.1007/s11999-007-0112-4.
- [6] A. Brown, "Rotatorenmanschettenrekonstruktion mit Periostlappenaugmentation," *Dr-Arbeit*, 2011.
- [7] J. J. Luime *et al.*, "Prevalence and incidence of shoulder pain in the general population; a systematic review," (in eng), *Scand J Rheumatol*, vol. 33, no. 2, pp. 73-81, 2004, doi: 10.1080/03009740310004667.
- [8] D. Liem and U. H. Brunner, "S2e-Leitlinie „Rotatorenmanschette“,“ *AWMF*, 2017.
- [9] J. F. Lohr and H. K. Uthoff, "The microvascular pattern of the supraspinatus tendon," *Clin Orthop Relat Res*, no. 254, pp. 35-8, May 1990. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2323147>.
- [10] J. Kukkonen, T. Kauko, T. Vahlberg, A. Joukainen, and V. Aarimaa, "Investigating minimal clinically important difference for Constant score in patients undergoing rotator cuff surgery," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 22, no. 12, pp. 1650-5, Dec 2013, doi: 10.1016/j.jse.2013.05.002.
- [11] A. A. Narvani *et al.*, "Degenerative rotator cuff tear, repair or not repair? A review of current evidence," *Ann R Coll Surg Engl*, vol. 102, no. 4, pp. 248-255, Apr 2020, doi: 10.1308/rcsann.2019.0173.

- [12] D. T. Harryman, 2nd, L. A. Mack, K. Y. Wang, S. E. Jackins, M. L. Richardson, and F. A. Matsen, 3rd, "Repairs of the rotator cuff. Correlation of functional results with integrity of the cuff," *J Bone Joint Surg Am*, vol. 73, no. 7, pp. 982-9, Aug 1991. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1874784>.
- [13] V. Pandey and W. Jaap Willems, "Rotator cuff tear: A detailed update," *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 1-14, 2015/01/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asmart.2014.11.003>.
- [14] C. H. Chang, C. H. Chen, C. Y. Su, H. T. Liu, and C. M. Yu, "Rotator cuff repair with periosteum for enhancing tendon-bone healing: a biomechanical and histological study in rabbits," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 17, no. 12, pp. 1447-53, Dec 2009, doi: [10.1007/s00167-009-0809-x](https://doi.org/10.1007/s00167-009-0809-x).
- [15] M. Benjamin, E. J. Evans, and L. Copp, "The histology of tendon attachments to bone in man," (in eng), *J Anat*, vol. 149, pp. 89-100, Dec 1986.
- [16] C. J. Wirth, W. Mutschler, D. Kohn, and D. Pohlemann, *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*, 3. ed. Georg Thieme Verlag, 2014.
- [17] H. Resch, H. F. Wykypiel, H. Maurer, and M. Wambacher, "The antero-inferior (transmuscular) approach for arthroscopic repair of the Bankart lesion: an anatomic and clinical study," *Arthroscopy*, vol. 12, no. 3, pp. 309-19; discussion 320-2, Jun 1996. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8783825>.
- [18] P. Habermeyer, E. Kaiser, M. Knappe, T. Kreuzer, and E. Wiedemann, "[Functional anatomy and biomechanics of the long biceps tendon]," *Unfallchirurg*, vol. 90, no. 7, pp. 319-29, Jul 1987. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3659929>. Zur funktionellen Anatomie und Biomechanik der langen Bizepssehne.
- [19] S. Bartsch *et al.*, *Praxisbuch Schulter*, 2. ed. Georg Thieme Verlag, 2004.
- [20] B. Moriggl, "[Fundamentals, possibilities and limitations of sonography of osteofibrous tunnels in the shoulder area. 1]," *Ann Anat*, vol. 179, no. 4, pp. 355-73, Aug 1997. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9312994>. Grundlagen,

Möglichkeiten und Grenzen der Sonographie osteofibroser Kanäle im Schulterbereich. Teil 1.

- [21] A. Hedtmann and H. Fett, "[Ultrasonography of the shoulder in subacromial syndromes with disorders and injuries of the rotator cuff]," *Orthopäde*, vol. 24, no. 6, pp. 498-508, Nov 1995. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8532336>. Schultersonographie bei Subakromialsyndromen mit Erkrankungen und Verletzungen der Rotatorenmanschette.
- [22] Pfuhl Wilhelm 1889 [from old catalog], *Entwicklung und wachstum des menschen*. Leipzig,: Quelle & Meyer, 1933, p. 108 p.
- [23] J. F. Löhr and H. K. Uhthoff, "Epidemiologie und Pathophysiologie der Rotatorenmanschettenrupturen," *Der Orthopäde*, vol. 36, no. 9, pp. 788-795, 2007/09/01 2007, doi: 10.1007/s00132-007-1146-8.
- [24] M. R. Allen, J. M. Hock, and D. B. Burr, "Periosteum: biology, regulation, and response to osteoporosis therapies," *Bone*, vol. 35, no. 5, pp. 1003-1012, 2004/11/01/ 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2004.07.014>.
- [25] J. B. Rathbun and I. Macnab, "The microvascular pattern of the rotator cuff," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 52, no. 3, pp. 540-53, Aug 1970. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5455089>.
- [26] H. F. Moseley and I. Goldie, "The Arterial Pattern of the Rotator Cuff of the Shoulder," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 45, no. 4, pp. 780-9, Nov 1963. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14074332>.
- [27] J. R. Rudzki *et al.*, "Contrast-enhanced ultrasound characterization of the vascularity of the rotator cuff tendon: age- and activity-related changes in the intact asymptomatic rotator cuff," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 17, no. 1 Suppl, pp. 96S-100S, Jan-Feb 2008, doi: 10.1016/j.jse.2007.07.004.
- [28] C. S. I. Neer, "Anterior Acromioplasty for the Chronic Impingement Syndrome in the Shoulder: A PRELIMINARY REPORT," *JBJS*, vol. 54, no. 1, pp. 41-50, 1972. [Online]. Available: [https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/1972/54010/Anterior\\_Acromioplasty\\_for\\_the\\_Chronic\\_Impingement.3.aspx](https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/1972/54010/Anterior_Acromioplasty_for_the_Chronic_Impingement.3.aspx).
- [29] L. U. Bigliani, J. B. Ticker, E. L. Flatow, L. J. Soslotcsky, and V. C. Mow, "The Relationship of Acromial Architecture to Rotator Cuff Disease," *Clinics in Sports Medicine*, vol. 10, no. 4, pp. 823-838, 1991/10/01/ 1991,

doi: [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(20\)30586-X](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(20)30586-X).

- [30] T. Hashimoto, K. Nobuhara, and T. Hamada, "Pathologic Evidence of Degeneration as a Primary Cause of Rotator Cuff Tear," *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, vol. 415, pp. 111-120, 2003, doi: 10.1097/01.blo.0000092974.12414.22.
- [31] S. N. Sambandam, V. Khanna, A. Gul, and V. Mounasamy, "Rotator cuff tears: An evidence based approach," (in eng), *World J Orthop*, vol. 6, no. 11, pp. 902-18, Dec 18 2015, doi: 10.5312/wjo.v6.i11.902.
- [32] S. Tempelhof, S. Rupp, and R. Seil, "Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 8, no. 4, pp. 296-9, Jul-Aug 1999. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10471998>.
- [33] C. Milgrom, M. Schaffler, S. Gilbert, and M. van Holsbeeck, "Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 77, no. 2, pp. 296-8, Mar 1995. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7706351>.
- [34] J. S. Sher, J. W. Uribe, A. Posada, B. J. Murphy, and M. B. Zlatkin, "Abnormal findings on magnetic resonance images of asymptomatic shoulders," *J Bone Joint Surg Am*, vol. 77, no. 1, pp. 10-5, Jan 1995, doi: 10.2106/00004623-199501000-00002.
- [35] T. D. Boehm, S. Kirschner, T. Mueller, U. Sauer, and F. E. Gohlke, "Dynamic ultrasonography of rotator cuff muscles," *J Clin Ultrasound*, vol. 33, no. 5, pp. 207-13, Jun 2005, doi: 10.1002/jcu.20124.
- [36] A. B. Imhoff, R. D. Linke, and R. Baumgartner, *Checkliste Orthopädie*, 3. ed. Thieme, 2014.
- [37] B. Fuchs, D. Weishaupt, M. Zanetti, J. Hodler, and C. Gerber, "Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 8, no. 6, pp. 599-605, Nov-Dec 1999. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10633896>.
- [38] J. E. Bateman, "The Diagnosis and Treatment of Ruptures of the Rotator Cuff," *Surg Clin North Am*, vol. 43, pp. 1523-30, Dec 1963. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14090198>.
- [39] D. Patte, "Classification of rotator cuff lesions," *Clin Orthop Relat Res*,

- no. 254, pp. 81-6, May 1990. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2323151>.
- [40] D. Goutallier, J. M. Postel, J. Bernageau, L. Lavau, and M. C. Voisin, "Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan," *Clin Orthop Relat Res*, no. 304, pp. 78-83, Jul 1994. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8020238>.
- [41] H. Thomazeau, Y. Rolland, C. Lucas, J. M. Duval, and F. Langlais, "Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology," *Acta Orthop Scand*, vol. 67, no. 3, pp. 264-8, Jun 1996. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8686465>.
- [42] H. Sugaya, K. Maeda, K. Matsuki, and J. Moriishi, "Functional and Structural Outcome After Arthroscopic Full-Thickness Rotator Cuff Repair: Single-Row Versus Dual-Row Fixation," *Arthroscopy*, vol. 21, no. 11, pp. 1307-1316, 2005, doi: 10.1016/j.arthro.2005.08.011.
- [43] F. O. Lambers Heerspink, O. Dorrestijn, J. J. A. M. van Raay, and R. L. Diercks, "Specific patient-related prognostic factors for rotator cuff repair: a systematic review," *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, vol. 23, no. 7, pp. 1073-1080, 2014/07/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.01.001>.
- [44] M. Day *et al.*, "Comparison of Short-term Complications After Rotator Cuff Repair: Open Versus Arthroscopic," *Arthroscopy*, vol. 34, no. 4, pp. 1130-1136, Apr 2018, doi: 10.1016/j.arthro.2017.10.027.
- [45] B. D. Owens, A. E. Williams, and J. M. Wolf, "Risk factors for surgical complications in rotator cuff repair in a veteran population," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 24, no. 11, pp. 1707-12, Nov 2015, doi: 10.1016/j.jse.2015.04.020.
- [46] D. F. Gazielly, P. Gleyze, and C. Montagnon, "Functional and anatomical results after rotator cuff repair," *Clin Orthop Relat Res*, no. 304, pp. 43-53, Jul 1994. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8020233>.
- [47] B. C. Hanusch, L. Goodchild, P. Finn, and A. Rangan, "Large and massive tears of the rotator cuff: functional outcome and integrity of the repair after a mini-open procedure," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 91, no. 2,

- pp. 201-5, Feb 2009, doi: 10.1302/0301-620X.91B2.21286.
- [48] S. Lichtenberg, D. Liem, P. Magosch, and P. Habermeyer, "Influence of tendon healing after arthroscopic rotator cuff repair on clinical outcome using single-row Mason-Allen suture technique: a prospective, MRI controlled study," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 14, no. 11, pp. 1200-6, Nov 2006, doi: 10.1007/s00167-006-0132-8.
- [49] D. Liem, C. Bartl, S. Lichtenberg, P. Magosch, and P. Habermeyer, "Clinical outcome and tendon integrity of arthroscopic versus mini-open supraspinatus tendon repair: a magnetic resonance imaging-controlled matched-pair analysis," *Arthroscopy*, vol. 23, no. 5, pp. 514-21, May 2007, doi: 10.1016/j.arthro.2006.12.028.
- [50] M. A. Zumstein, B. Jost, J. Hempel, J. Hodler, and C. Gerber, "The clinical and structural long-term results of open repair of massive tears of the rotator cuff," *J Bone Joint Surg Am*, vol. 90, no. 11, pp. 2423-31, Nov 2008, doi: 10.2106/JBJS.G.00677.
- [51] P. S. Randelli *et al.*, "Long-term Results of Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Initial Tear Size Matters: A Prospective Study on Clinical and Radiological Results at a Minimum Follow-up of 10 Years," *Am J Sports Med*, vol. 47, no. 11, pp. 2659-2669, Sep 2019, doi: 10.1177/0363546519865529.
- [52] F. Plachel, A. Traweger, I. Vasvary, J. E. Schanda, H. Resch, and P. Moroder, "Long-term results after arthroscopic transosseous rotator cuff repair," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 28, no. 4, pp. 706-714, Apr 2019, doi: 10.1016/j.jse.2018.09.003.
- [53] O. Dhollander, A. McKee, and R. Houben, "Severe heterotopic ossification after a shoulder arthroscopy : a rare clinical presentation," *Acta Orthop Belg*, vol. 86, no. 1, pp. 162-165, Mar 2020. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32490788>.
- [54] T. D. Boehm, W. A. Wallace, and L. Neumann, "Heterotopic ossification after primary shoulder arthroplasty," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 14, no. 1, pp. 6-10, Jan-Feb 2005, doi: 10.1016/j.jse.2004.04.007.
- [55] I. Degreeef and P. Debeer, "Heterotopic ossification of the supraspinatus tendon after rotator cuff repair: case report," *Clin Rheumatol*, vol. 25, no. 2, pp. 251-3, Mar 2006, doi: 10.1007/s10067-004-0983-7.

- [56] J. Apostolakos *et al.*, "The enthesis: a review of the tendon-to-bone insertion," (in eng), *Muscles Ligaments Tendons J*, vol. 4, no. 3, pp. 333-42, Jul 2014.
- [57] F. A. Barber, S. A. Hrnack, S. J. Snyder, and O. Hapa, "Rotator cuff repair healing influenced by platelet-rich plasma construct augmentation," *Arthroscopy*, vol. 27, no. 8, pp. 1029-35, Aug 2011, doi: 10.1016/j.arthro.2011.06.010.
- [58] A. G. Bergeson, R. Z. Tashjian, P. E. Greis, J. Crim, G. J. Stoddard, and R. T. Burks, "Effects of platelet-rich fibrin matrix on repair integrity of at-risk rotator cuff tears," *Am J Sports Med*, vol. 40, no. 2, pp. 286-93, Feb 2012, doi: 10.1177/0363546511424402.
- [59] R. Castricini *et al.*, "Platelet-rich plasma augmentation for arthroscopic rotator cuff repair: a randomized controlled trial," *Am J Sports Med*, vol. 39, no. 2, pp. 258-65, Feb 2011, doi: 10.1177/0363546510390780.
- [60] C. H. Jo *et al.*, "Does platelet-rich plasma accelerate recovery after rotator cuff repair? A prospective cohort study," *Am J Sports Med*, vol. 39, no. 10, pp. 2082-90, Oct 2011, doi: 10.1177/0363546511413454.
- [61] P. Randelli, P. Arrigoni, V. Ragone, A. Aliprandi, and P. Cabitza, "Platelet rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a prospective RCT study, 2-year follow-up," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 20, no. 4, pp. 518-28, Jun 2011, doi: 10.1016/j.jse.2011.02.008.
- [62] A. Guevara-Alvarez, A. Schmitt, R. P. Russell, A. B. Imhoff, and S. Buchmann, "Growth factor delivery vehicles for tendon injuries: Mesenchymal stem cells and Platelet Rich Plasma," (in eng), *Muscles Ligaments Tendons J*, vol. 4, no. 3, pp. 378-85, Jul 2014.
- [63] V. Agrawal, "Staged Arthroscopic Rotator Cuff Repair with a Bridging Acellular Human Dermal Graft in the Treatment of Infection Following Open Rotator Cuff Repair: A Case Report," *JBJS Case Connect*, vol. 2, no. 3, p. e30, Jul-Sep 2012, doi: 10.2106/JBJS.CC.K.00162.
- [64] Y. S. Kim, H. J. Lee, J. H. Ok, J. S. Park, and D. W. Kim, "Survivorship of implanted bone marrow-derived mesenchymal stem cells in acute rotator cuff tear," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 22, no. 8, pp. 1037-45, Aug 2013, doi: 10.1016/j.jse.2012.11.005.
- [65] C. H. Chen, W. J. Chen, C. H. Shih, C. Y. Yang, S. J. Liu, and P. Y. Lin,

- "Enveloping the tendon graft with periosteum to enhance tendon-bone healing in a bone tunnel: A biomechanical and histologic study in rabbits," *Arthroscopy*, vol. 19, no. 3, pp. 290-6, Mar 2003, doi: 10.1053/jars.2003.50014.
- [66] H. S. Kyung, S. Y. Kim, C. W. Oh, and S. J. Kim, "Tendon-to-bone tunnel healing in a rabbit model: the effect of periosteum augmentation at the tendon-to-bone interface," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 11, no. 1, pp. 9-15, Jan 2003, doi: 10.1007/s00167-002-0317-8.
- [67] C. H. Chen, W. J. Chen, C. H. Shih, and S. W. Chou, "Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with periosteum-enveloping hamstring tendon graft," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 12, no. 5, pp. 398-405, Sep 2004, doi: 10.1007/s00167-004-0498-4.
- [68] C. H. Chen *et al.*, "Arthroscopic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with periosteum-enveloping hamstring tendon graft: clinical outcome at 2 to 7 years," *Arthroscopy*, vol. 26, no. 7, pp. 907-17, Jul 2010, doi: 10.1016/j.arthro.2009.11.011.
- [69] L. Broström, "Sprained ankles. VI. Surgical treatment of "chronic" ligament ruptures," (in eng), *Acta Chir Scand*, vol. 132, no. 5, pp. 551-65, Nov 1966.
- [70] T. Mittlmeier and S. Rammelt, "Die Periostlappenplastik bei chronischer Instabilität des oberen Sprunggelenks," *Operative Orthopädie und Traumatologie*, vol. 31, no. 3, pp. 180-190, 2019/06/01 2019, doi: 10.1007/s00064-019-0600-1.
- [71] M. Scheibel, A. Brown, K. Woertler, and A. B. Imhoff, "Preliminary results after rotator cuff reconstruction augmented with an autologous periosteal flap," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 15, no. 3, pp. 305-14, Mar 2007, doi: 10.1007/s00167-006-0173-z.
- [72] DVSE, "Untersuchungstechniken des Schultergelenks," *Obere Extremität*, vol. 7, no. 1, pp. 1-67, 2012/06/01 2012, doi: 10.1007/s11678-012-0165-1.
- [73] S. Lippitt, D. T. Harryman, F. Matsen, and S. Lippitt, "A practical tool for evaluating function: The simple shoulder test," 1993.
- [74] L. I. Katolik, A. A. Romeo, B. J. Cole, N. N. Verma, J. K. Hayden, and B. R. Bach, "Normalization of the Constant score," *J Shoulder Elbow Surg*,

- vol. 14, no. 3, pp. 279-85, May-Jun 2005, doi: 10.1016/j.jse.2004.10.009.
- [75] E. H. Yian, A. J. Ramappa, O. Arneberg, and C. Gerber, "The Constant score in normal shoulders," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 14, no. 2, pp. 128-33, Mar-Apr 2005, doi: 10.1016/j.jse.2004.07.003.
- [76] J. P. Iannotti, M. P. Bernot, J. R. Kuhlman, M. J. Kelley, and G. R. Williams, "Postoperative assessment of shoulder function: a prospective study of full-thickness rotator cuff tears," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 5, no. 6, pp. 449-57, Nov-Dec 1996, doi: 10.1016/s1058-2746(96)80017-6.
- [77] P. J. Millett, M. P. Horan, K. E. Maland, and R. J. Hawkins, "Long-term survivorship and outcomes after surgical repair of full-thickness rotator cuff tears," *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 20, no. 4, pp. 591-7, Jun 2011, doi: 10.1016/j.jse.2010.11.019.
- [78] R. D. Herbert, J. Kasza, and K. Bø, "Analysis of randomised trials with long-term follow-up," *BMC Medical Research Methodology*, vol. 18, no. 1, p. 48, 2018/05/29 2018, doi: 10.1186/s12874-018-0499-5.
- [79] E. L. Wynder, "Investigator bias and interviewer bias: The problem of reporting systematic error in epidemiology," *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 47, no. 8, pp. 825-827, 1994/08/01/ 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0895-4356(94)90184-8).
- [80] A. Althubaiti, "Information bias in health research: definition, pitfalls, and adjustment methods," (in eng), *J Multidiscip Healthc*, vol. 9, pp. 211-7, 2016, doi: 10.2147/jmdh.S104807.
- [81] A. Bell, P. Ward, M. E. H. Tamal, and M. Killilea, "Assessing recall bias and measurement error in high-frequency social data collection for human-environment research," *Population and Environment*, vol. 40, no. 3, pp. 325-345, 2019/03/01 2019, doi: 10.1007/s11111-019-0314-1.
- [82] S. Gumina *et al.*, "The association between arterial hypertension and rotator cuff tear: the influence on rotator cuff tear sizes," (in eng), *J Shoulder Elbow Surg*, vol. 22, no. 2, pp. 229-32, Feb 2013, doi: 10.1016/j.jse.2012.05.023.
- [83] M. Abate, C. Schiavone, and V. Salini, "Sonographic evaluation of the shoulder in asymptomatic elderly subjects with diabetes," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 11, no. 1, p. 278, 2010/12/07 2010, doi: 10.1186/1471-2474-11-278.

- [84] F. Angst, H.-K. Schwyzer, A. Aeschlimann, B. R. Simmen, and J. Goldhahn, "Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and Its Short Version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society Standardized Shoulder Assessment Form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI)," *Arthritis Care & Research*, vol. 63, no. S11, pp. S174-S188, 2011, doi: <https://doi.org/10.1002/acr.20630>.
- [85] M. J. Rutten, G. J. Spaargaren, T. van Loon, M. C. de Waal Malefijt, L. A. Kiemeney, and G. J. Jager, "Detection of rotator cuff tears: the value of MRI following ultrasound," (in eng), *Eur Radiol*, vol. 20, no. 2, pp. 450-7, Feb 2010, doi: 10.1007/s00330-009-1561-9.
- [86] J. F. Burke, J. B. Sussman, D. M. Kent, and R. A. Hayward, "Three simple rules to ensure reasonably credible subgroup analyses," *BMJ : British Medical Journal*, vol. 351, p. h5651, 2015, doi: 10.1136/bmj.h5651.
- [87] M. J. Blanca, R. Alarcón, J. Arnau, R. Bono, and R. Bendayan, "Non-normal data: Is ANOVA still a valid option?," (in eng), *Psicothema*, vol. 29, no. 4, pp. 552-557, Nov 2017, doi: 10.7334/psicothema2016.383.
- [88] N. J. Salkind, *Encyclopedia of Research Design*, 1. ed. Los Angeles: SAGE, 2010.
- [89] E. Schmider, M. Ziegler, E. Danay, L. Beyer, and M. Bühner, "Is It Really Robust?," *Methodology*, vol. 6, no. 4, pp. 147-151, 2010, doi: 10.1027/1614-2241/a000016.
- [90] A. I. W. Mayne, A. S. Bidwai, R. Clifford, M. G. Smith, I. Guisasola, and P. Brownson, "The incidence and causative organisms of infection in elective shoulder surgery," *Shoulder Elbow*, vol. 10, no. 3, pp. 179-185, Jul 2018, doi: 10.1177/1758573217711888.
- [91] D. Boehm, N. Wollmerstedt, M. Doesch, M. Handwerker, E. Mehling, and F. Gohlke, "[Development of a questionnaire based on the Constant-Murley-Score for self-evaluation of shoulder function by patients]," *Unfallchirurg*, vol. 107, no. 5, pp. 397-402, May 2004, doi:

10.1007/s00113-004-0757-3. Entwicklung eines Fragebogens basierend auf dem Constant-Murely-Score zur Selbstevaluation der Schulterfunktion durch den Patienten.

## 9. Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei meinem Mentor Prof. Stefan Buchmann bedanken, der mir die Arbeit vermittelt hat.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Prof. Sebastian Siebenlist und Prof. Andreas B. Imhoff, die als Doktorvater eingesprungen sind, und somit diese Dissertation ermöglicht haben.

Einen großen Dank möchte ich auch Dr. Christian Holwein aussprechen. Er hat mich durch die gesamte Doktorarbeit begleitet - angefangen von der Untersuchung der Patienten bis hin zur Diskussion über Statistik und die zahlreichen Korrekturen.

Natürlich wäre diese Dissertation ohne die Patienten, die teilweise weite Wege auf sich genommen haben, nicht möglich gewesen. Vielen herzlichen Dank, daher an alle Patienten der Studie und ebenso an Anna Brown, ohne deren Vorarbeit dieses Thema nicht zur Verfügung gestanden wäre.

Diese Dissertation sowie mein Studium wären nie ohne meine Eltern möglich gewesen. Der größte Dank gilt daher euch, Mama und Papa.

Danken möchte ich außerdem Dr. Iven von Mücke-Heim. Mit ihm habe ich rege Diskussionen über die Wissenschaft im Allgemeinen sowie auch über unsere damaligen Studien geführt, die mich zu zahlreichen Gedankenanstößen für die Dissertation inspiriert haben.

Last but not least möchte ich meiner Ehefrau Andrea danken. Die Promotion fertig zu stellen ist nicht leicht, wenn man einen Vollzeitjob mit anstrengenden Diensten hat und inzwischen auch Nachwuchs im Haus ist. Dies wäre ohne deine Unterstützung nicht möglich gewesen.